

Analisis Pengaruh Penggunaan Cangkang Telur Bebek Ras Petelur Sebagai *Filler* Pada Campuran Aspal Beton

Yonas Prima Arga Rumbyarso¹, Rikzan Bachrul Ulum²

¹Universitas Krisnadwipayana, Jalan Raya Jatiwaringin Pondok Gede Jaticepaka Kota Bekasi 13077 Jawa Barat Indonesia

²STT Wastukencana, Jalan Cikopak, Purwakarta, Jawa Barat 41118 Indonesia

Corresponding author: yonasprima@unkris.ac.id; rikzan@stt-wastukencana.ac.id

Abstrak : Perkerasan jalan yang baik adalah perkerasan jalan yang mampu menahan beban lalu lintas. Perkerasan jalan yang paling banyak digunakan di Indonesia adalah lapisan aspal beton atau Laston (AC atau *Asphalt Concrete*). Lapisan aspal beton banyak digunakan karena jenis perkerasan ini memiliki nilai stabilitas dan fleksibilitas yang baik. Lapisan aspal beton merupakan suatu konstruksi perkerasan jalan yang mencampurkan aspal, agregat kasar, agregat halus, bahan pengisi (*filler*). Keberadaan cangkang telur bebek ras petelur yang melimpah belum dimanfaatkan dengan baik. Berbagai penelitian dengan menambahkan bahan tambah untuk meningkatkan nilai stabilitas telah banyak dilakukan, salah satunya dengan menambahkan cangkang telur bebek ras petelur dalam campuran aspal beton. Penelitian ini menggunakan metode Marshall dengan meninjau pengaruh cangkang telur bebek ras petelur terhadap nilai stabilitas, kelelahan (*flow*), VFA (*Voids Filled Asphalt*), VIM (*Voids In Mix*), dan VMA (*Void Mineral Agregate*). Dari hasil pengujian stabilitas didapat bahwa penggunaan *filler* cangkang telur bebek ras petelur lebih besar daripada penggunaan *filler semen*. Untuk pengujian *flow* nilai semua persentase masuk dalam spesifikasi yaitu minimal 3mm. Untuk nilai stabilitas *Marshall Quotient* didapat bahwa semakin banyak penambahan cangkang telur bebek ras petelur pada *filler* maka nilai MQ semakin tinggi. Nilai VIM yang didapat melebihi nilai VIM minimal 2,5%. Sedangkan untuk nilai VMA didapatkan yaitu berbanding lurus dimana semakin banyak persentase cangkang telur bebek ras petelur maka rongga didalam campuran aspal semakin besar. Untuk nilai VFA menunjukkan antara kadar aspal terhadap campuran dengan % rongga terisi aspal campuran tersebut masuk spesifikasi standar campuran aspal beton AC-WC dimana nilai VFA minimal 65%.

Kata kunci : Cangkang telur, stabilitas *Marshall*, kelelahan (*flow*), VIM, VMA, VFA.

Abstract : A good road pavement is a road pavement that is able to withstand traffic loads. The most widely used road pavement in Indonesia is a layer of asphalt concrete or Laston (AC or Asphalt Concrete). Asphalt concrete layer is widely used because this type of pavement has good stability and flexibility values. Asphalt concrete layer is a road pavement construction that mixes asphalt, coarse aggregate, fine aggregate, and filler. The abundance of eggshells of laying ducks has not been utilized properly. Various studies by adding additional materials to increase the stability value have been carried out, one of which is by adding egg shells of laying ducks in the asphalt concrete mixture. This study uses the Marshall method by reviewing the effect of laying duck egg shells on the value of stability, melt (*flow*), VFA (*Voids Filled Asphalt*), VIM (*Voids In Mix*), and VMA (*Void Mineral Aggregate*). From the results of stability testing, it was found that the use of eggshell filler for laying ducks was greater than the use of cement filler. For flow testing, the value of all percentages is included in the specification, which is at least 3mm. For the Marshall Quotient stability value, it was found that the more egg shells of laying duck eggs added to the filler, the higher the MQ value. The VIM value obtained exceeds the minimum VIM value of 2.5%. Meanwhile, the VMA value obtained is directly proportional where the more the percentage of eggshells of laying ducks eat the cavity in the asphalt mixture, the greater the percentage of eggshells. For the VFA value, it shows that the asphalt content of the mixture and the % of the cavity filled with asphalt, the mixture is included in the standard specifications for AC-WC asphalt concrete mixtures where the VFA value is at least 65%.

Keywords: egg shells, marshall stability, meltdown (*flow*), VIM, VMA, VFA.

1 Pendahuluan

Latar Belakang

Perkerasan jalan yang baik adalah perkerasan jalan yang mampu menahan beban lalu lintas. Perkerasan jalan yang paling banyak digunakan di Indonesia adalah lapisan aspal beton

(*asphalt concrete*) karena memiliki nilai stabilitas dan fleksibilitas yang baik. Bahan pengisi (*filler*) dalam campuran aspal beton adalah bahan yang lolos saringan No.200 yaitu (0,075 mm). Bahan pengisi bertujuan untuk meningkatkan kekentalan bahan bitumen, mengurangi sifat rentan terhadap temperatur, dan karena banyak terserap dalam bahan bitumen maka akan menaikkan volumenya.

Selain itu bahan pengisi (*filler*) dapat mengurangi volume pori-pori sehingga dapat meningkatkan kepadatan dan menurunkan permeabilitas campuran aspal. Kada bahan pengisi (*filler*) pada campuran perkerasan jalan sangat mempengaruhi sifat campuran aspal tersebut. Jika terlalu banyak maka sifat campuran tersebut akan membeku dan mudah retak, sebaliknya jika terlalu sedikit maka akan membuat campuran tersebut menjadi sangat lentur dan mudah terdeformasi oleh beban lalu lintas sehingga jalan tersebut akan bergelombang. Pada penelitian ini penulis melakukan percobaan untuk bahan pengisi (*filler*)

Identifikasi Masalah

- Bagaimana karakteristik bahan pengisi (*filler*) cangkang telur bebek ras petelur pada campuran aspal beton ?
- Menganalisis hasil campuran aspal beton dengan menggunakan perbandingan bahan pengisi (*filler*) semen 100%, semen 50% - cangkang telur bebek ras petelur 50% dan cangkang telur bebek ras petelur 100% ?

Tujuan Penelitian

- Mengetahui karakteristik cangkang telur bebek ras petelur sebagai bahan pengisi (*filler*) pada campuran aspal beton untuk mendapatkan hasil yang bermutu baik.
- Menganalisis dan menentukan perbandingan bahan pengisi (*filler*) yang bermutu baik untuk campuran aspal beton.

2 Kajian Pustaka

Perkerasan lentur (*flexible pavement*) adalah sistem perkerasan dimana konstruksinya terdiri dari beberapa lapisan yaitu lapisan permukaan (*surface course*), lapisan pondasi atas (*base course*), lapisan pondasi bawah (*sub-base course*), lapisan tanah dasar (*subgrade*). Tiap-tiap lapisan perkerasan berfungsi untuk menyebarkan beban roda kendaraan sedemikian rupa sehingga dapat ditahan oleh tanah dasar dalam batas daya dukungnya. Aspal merupakan bahan yang dihasilkan dari penyaringan minyak mentah, digunakan sebagai bahan pembentuk lapis permukaan dari perkerasan komposit maupun perkerasan lentur. Hidrokarbon merupakan bahan dasar utama dari aspal yang dikenal dengan istilah bitumen. Aspal menjadi bahan padat pada suhu rendah dan pada suhu tertentu aspal berubah menjadi cair. Daya tahan aspal dalam mempertahankan sifat aslinya, mampu mengikat agregat campuran merupakan sifat fisik aspal yang diperhitungkan dalam perancangan, pembangunan dan pemeliharaan Jalan. Agregat didefinisikan secara umum sebagai formasi kulit bumi yang keras dan padat yang terdiri dari bahan-bahan berbutir yang memiliki komposisi mineral seperti pasir, kerikil, batu kapur, terak, (*slag*) atau batu pecah. Agregat merupakan komponen utama dari struktur perkerasan yaitu 90-95% berdasarkan persentase berat atau 75-85% agregat berdasarkan persentase volume.

Bahan pengisi yang ditambahkan harus kering dan bebas dari gumpalan-gumpalan dan bila diuji dengan pengayakan sesuai SK SNI M-02-1994-03 harus mengandung bahan yang lolos ayakan No.200 (75 micron) tidak kurang dari 75% terhadap beratnya. Bahan pengisi yang digunakan dalam penelitian ini berbentuk bubuk (*powder*). Pengujian yang dilakukan adalah analisis saringan. Jenis bahan alternatif *filler* yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah cangkang telur bebek ras petelur. Cangkang telur bebek ras petelur mengandung sekitar 95% kalsium karbonat dengan berat 5,5 gram (Maxweel T. Hincle etc, 2012). Sementara itu (Said Nurdin etc, 2018) melaporkan bahwa cangkang telur bebek ras petelur terdiri atas 97% kalsium karbonat. Ekosemen adalah salah satu jenis produk semen yang hampir sama dengan semen portland dan karena bahan bakunya menggunakan bahan berbasis limbah serta ramah lingkungan maka disebut ekosemen. Alternatif yang dapat digunakan sebagai pengganti bahan baku semen yang berbasis limbah dan ramah lingkungan pada penelitian penulis yaitu cangkang telur bebek (*Cairina moschata*) ras petelur.

Kandungan kalsium yang cukup besar berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan tambah pembuatan semen. Di Indonesia produksi cangkang telur bebek ras petelur akan terus berlimpah selama telur diproduksi dibidang peternakan serta digunakan di restoran, pabrik roti dan mie sebagai bahan baku pembuatan makanan. Seiring dengan banyaknya telur yang dikonsumsi masyarakat, cangkang telur bebek ras petelur yang terbuang juga semakin menumpuk. Kebanyakan masyarakat masih membuang cangkang telur bebek ini dengan begitu saja karena dianggap tidak ada manfaatnya. Karena sebab itu, maka penulis akan melakukan penelitian atas cangkang telur bebek ras petelur sebagai bahan pengisi (*filler*) pada campuran aspal beton.



Gambar 1. Powder cangkang telur bebek ras petelur

Sumber : Olahan dokumentasi penelitian, 2021.

Pengujian *Marshall*, pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan ketahanan (stabilitas) terhadap kelelahan plastis (*flow*) dari campuran aspal dan agregat. Pemeriksaan ini diperkenalkan oleh Bruce Marshall, selanjutnya dikembangkan oleh *U.S. Corps of Engineer*. Prosedur pengujian Marshall mengikuti SNI 06-2489-1991, atau AASHTO T 245-90, atau ASTM D 1559-76. Stabilitas pada lapisan perkerasan jalan adalah kemampuan lapisan perkerasan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi deformasi tetap seperti gelombang atau *bleeding*. *Flow* atau kelelahan menunjukkan besarnya penurunan atau deformasi yang terjadi pada lapis keras akibat menahan beban yang diterimanya. *Void In Mix* (VIM) adalah volume total udara yang berada di antara partikel agregat yang terselimuti aspal dalam suatu campuran yang telah dipadatkan, dan dinyatakan dalam persen volume *bulk*. *Void In Mix* atau disebut juga rongga dalam campuran digunakan untuk mengetahui besarnya rongga campuran dalam persen. *Void Mineral Agregat* (VMA) adalah volume rongga yang terdapat diantara partikel agregat suatu campuran yang telah dipadatkan, yang dinyatakan dalam persen terhadap volume total benda uji sedangkan yang dimaksud dengan *Void Filled Asphalt* (VFA) adalah persen rongga yang terdapat diantara partikel agregat VMA yang terisi oleh aspal, tetapi tidak termasuk aspal yang diserap oleh agregat.

3 Metode Penelitian

Dalam penelitian ini pengujian dilakukan secara bertahap, yaitu terdiri dari atas pengujian pengujian aspal termasuk juga pengujian penetrasi, titik nyala-titik bakar, titik lembek, kehilangan berat, daktilitas dan berat jenis. Pengujian agregat termasuk pemeriksaan berat jenis, kelekatan terhadap aspal, indeks kepipihan dan penyerapan air. Sedangkan metode yang digunakan sebagai pengujian campuran adalah metode *marshall*, dimana dari pengujian *marshall* tersebut didapatkan hasil-hasil yang berupa komponen *marshall*, yaitu stabilitas, *flow*, *Void in Mixture* (VIM), *Void Mineral Agregat* (VMA), *Void Filled Asphalt* (VFA) dan kemudian dapat dihitung *Marshall Quotient*-nya.

Peraturan yang digunakan adalah : SK-SNI 03-1970-1990 (penyerapan), SNI 06-2432-1991 (Pengujian daktilitas), SK-SNI 03-1968-1990 (analisa saringan), SK-SNI 03-1970-1990 (tata cara pelaksanaan uji berat jenis), SNI 06-2432-1991 (titik lembek), SNI 06-2456-1991 (penetrasi), SNO 06-2433-1991 (titik bakar), SK SNI 03-6893-2002 (tata cara pengujian berat jenis campuran maksimum).

3.1 Populasi dan Sampel

Populasi dalam penelitian ini adalah kumpulan dari semua benda uji aspal yang berbentuk silinder dengan diameter 10,16 cm dan tinggi 7,62 cm dengan menggunakan cangkang telur bebek ras petelur sebagai pengganti *filler*.

Sample penelitian ini berasal dari populasi, yang merupakan benda uji yang berbentuk silinder dengan diameter 10,16 cm dan tinggi 7,62 cm dengan ketentuan sebagai berikut :

- a. 5 benda uji dengan menggunakan semen 100%
- b. 5 benda uji dengan menggunakan cangkang telur bebek ras petelur 50%, semen 50%
- c. 5 benda uji dengan menggunakan cangkang telur bebek ras petelur 100%

4 Hasil dan Pembahasan

Hasil analisis *Marshall* pada kondisi aspal optimum, pengujian ini dilakukan untuk mencari : Stabilitas, Kelelahan (*Flow*), *Marshall Quotien* (MQ), Rongga Terisi Aspal (VFA), Rongga Dalam Campuran (VIM) dan Rongga Dalam Agregat (VMA) pada Kadar Aspal Optimum (KAO)

4.1 Stabilitas

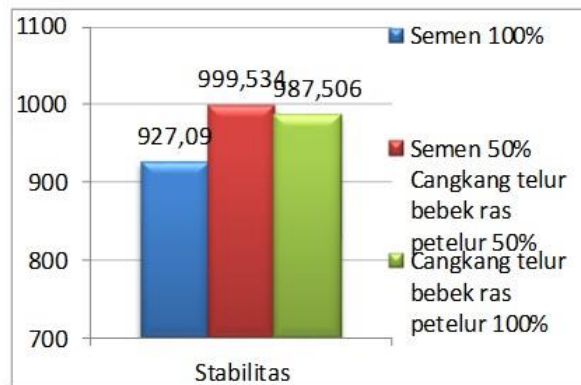
Hasil pengujian stabilitas benda uji campuran standar dengan variasi campuran aspal beton yang menggunakan *filler* semen cangkang telur bebek ras petelur dapat dilihat pada Tabel 1 dibawah ini.

Tabel 1. Nilai stabilitas Campuran Aspal Beton

No. Benda Uji	Komposisi Filler		
	Semen 100%	Semen 50% Cangkang telur bebek ras petelur 50%	Cangkang telur bebek ras petelur 100%
I	993,37	982,27	1.137,36
II	896,10	1.173,98	913,34
III	1.011,43	930,57	1.065,62
IV	939,19	911,35	1.065,62
V	795,36	999,50	755,59
Rata-rata	927,09	999,534	987,506

Sumber : Laboratorium Balai Penelitian dan Pengembangan Teknologi Irigasi Bekasi, Jawa Barat

Dari nilai rata-rata stabilitas tiap sampel maka didapat grafik nilai stabilitas campuran aspal beton dengan menggunakan *filler* semen dan cangkang telur bebek ras petelur.



Gambar 2. Grafik Stabilitas

Sumber : Olahan data penelitian, 2021.

Dari grafik diatas semua variasi campuran aspal beton masuk dalam spesifikasi standar campuran aspal beton AC-WC dimana minimal nilai stabilitas adalah 800 Kg. Dari hasil pengujian stabilitas didapatkan hasil bahwa penggunaan *filler* cangkang telur bebek ras petelur lebih besar dari pada penggunaan *filler* semen.

4.2 Kelelahan (*Flow*)

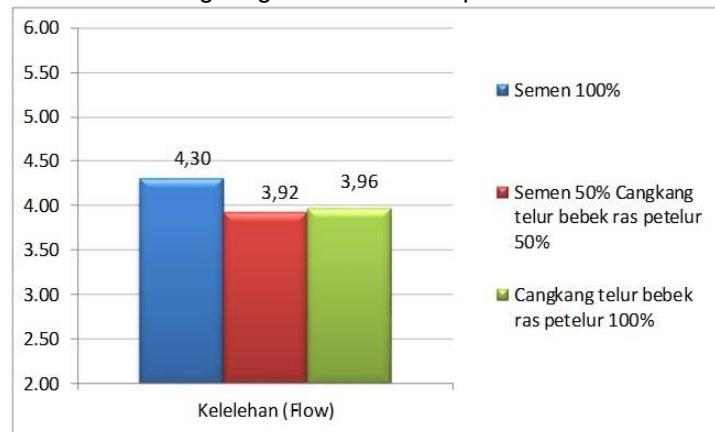
Hasil pengujian kelelahan (*flow*) benda uji campuran standar dengan variasi campuran yang menggunakan *filler* semen dan cangkang telur bebek ras petelur dapat dilihat pada Tabel 2 dibawah ini.

Tabel 2. Nilai kelelehan (Flow) Campuran Aspal Beton

No. Benda Uji	Komposisi Filler		
	Semen 100%	Semen 50% Cangkang telur bebek ras petelur 50%	Cangkang telur bebek ras petelur 100%
I	3,9	3,9	3,9
II	4,7	3,9	3,8
III	3,9	3,8	4,2
IV	4,5	4,0	4,1
V	4,5	4,0	3,8
Rata-rata	4,3	3,92	3,96

Sumber : Laboratorium Balai Penelitian dan Pengembangan Teknologi Irigasi Bekasi, Jawa Barat

Dari nilai rata-rata kelelehan tiap sampel maka didapat grafik nilai kelelehan dengan menggunakan filler semen dan cangkang telur bebek ras petelur.



Gambar 3. Grafik Kelelehan

Sumber : Olahan data penelitian, 2021.

Dari grafik diatas menunjukkan hubungan antara kadar aspal terhadap kelelehan. Dimana pada grafik menunjukkan hubungan yang didapat yaitu berbanding lurus bahwa semakin banyak persentase limbah cangkang telur bebek ras petelur maka kelelehan akan semakin meningkat. Dari grafik diatas semua persentase masuk dalam spesifikasi yaitu minimal 3 mm.

4.3 Marshall Quotient (MQ)

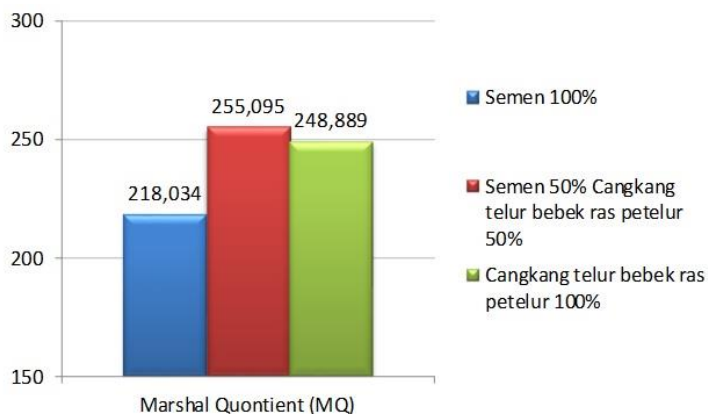
Hasil pengujian *Marshall Quotient* (MQ) benda uji campuran dengan variasi campuran yang menggunakan *filler* semen dan cangkang telur bebek ras petelur dapat di lihat pada Tabel 3 dibawah ini.

Tabel 3. Nilai Stabilitas Marshall Quotient (MQ)

No. Benda Uji	Komposisi Filler		
	Semen 100%	Semen 50% Cangkang telur bebek ras petelur 50%	Cangkang telur bebek ras petelur 100%
I	254,710	251,864	291,631
II	190,660	301,013	240,353
III	259,341	244,887	253,719
IV	208,709	227,837	259,907
V	176,750	249,875	198,839
Rata-rata	218,034	255,095	248,889

Sumber : Laboratorium Balai Penelitian dan Pengembangan Teknologi Irigasi Bekasi, Jawa Barat

Dari nilai rata-rata tiap sampel maka didapat grafik perbandingan nilai *marshall quotient* (MQ) seperti Gambar 3 dibawah ini.



Gambar 4. Grafik Marshall Quotient (MQ)

Sumber : Olahan data penelitian, 2021.

Dari grafik diatas menunjukkan hubungan antara penambahan dimana pada grafik semakin banyak penambahan cangkang telur bebek ras petelur pada *filler* maka nilai *Marshall Quotient* (MQ) semakin tinggi, batas nilai MQ minimum 200 kg/mm.

4.4 Void In Mixture (VIM)

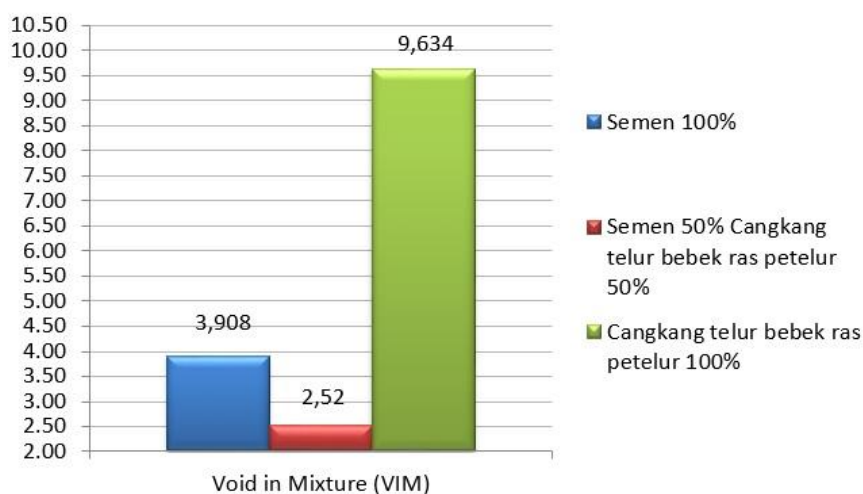
Hasil pengujian *Void In Mixture* (VIM) benda uji dengan variasi campuran yang menggunakan *filler* semen dan cangkang telur bebek ras petelur pada Tabel 4 dibawah ini.

Tabel 4. Nilai Void in Mixture (VIM)

No. Benda Uji	Komposisi Filler		
	Semen 100%	Semen 50% Cangkang telur bebek ras petelur 50%	Cangkang telur bebek ras petelur 100%
I	3,64	2,26	8,98
II	4,09	3,16	9,80
III	4,54	2,71	8,57
IV	4,09	1,81	9,80
V	3,18	2,71	11,02
Rata-rata	3,908	2,52	9,634

Sumber : Laboratorium Balai Penelitian dan Pengembangan Teknologi Irigasi Bekasi, Jawa Barat

Dari nilai rata-rata nilai VIM tiap sampel maka di dapat grafik perbandingan nilai kadar aspal terhadap campuran *filler* semen dengan cangkang telur bebek ras petelur.



Gambar 5. Grafik Void In Mixture (VIM)

Sumber : Olahan data penelitian, 2021.

Dari grafik diatas menunjukkan hubungan antara kadar *filler* dalam campuran dengan rongga dalam campuran. Dari grafik terlihat bahwa campuran tersebut memenuhi spesifikasi standar campuran aspal beton AC-WC dimana nilai VIM minimal 2,5 %.

4.5 Void Mineral Agregat (VMA)

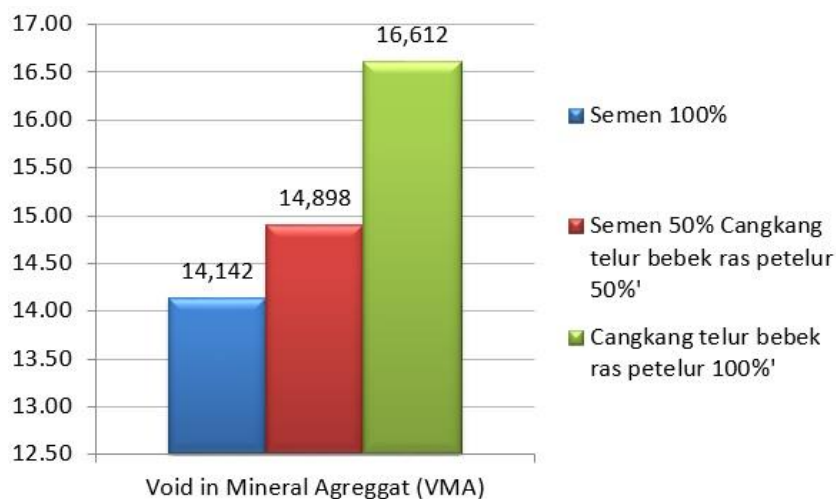
Hasil pengujian persentase rongga diantara butir agregat dalam campuran atau *Void Mineral Agregat* (VIM) benda uji campuran dengan variasi campuran yang menggunakan filler semen dan cangkang telur bebek ras petelur dapat dilihat pada Tabel 5 dibawah ini.

Tabel 5. Nilai Void in Mineral Agregat (VMA)

No. Benda Uji	Komposisi Filler		
	Semen 100%	Semen 50% Cangkang telur bebek ras petelur 50%	Cangkang telur bebek ras petelur 100%
I	14,34	15,12	16,25
II	14,00	14,37	17,00
III	13,62	14,75	15,87
IV	14,00	15,50	15,81
V	14,75	14,75	18,13
Rata-rata	14,142	14,898	16,612

Sumber : Laboratorium Balai Penelitian dan Pengembangan Teknologi Irigasi Bekasi, Jawa Barat

Dari nilai rata-rata VMA tiap sampel maka di dapat grafik perbandingan nilai *Void Mineral Agregat* (VMA) dengan kadar aspal terhadap campuran *filler* semen dengan cangkang telur bebek ras petelur.



Gambar 6. Grafik Void Mineral Agregat (VMA)

Sumber : Olahan data penelitian, 2021.

Dari grafik diatas menunjukkan hubungan antara kadar aspal terhadap campuran dengan rongga terhadap agregat. Hubungan yang didapatkan yaitu berbanding lurus semakin banyak persentase cangkang telur bebek ras petelur maka rongga didalam campuran aspal semakin besar.

4.6 Void Filled Asphalt (VFA)

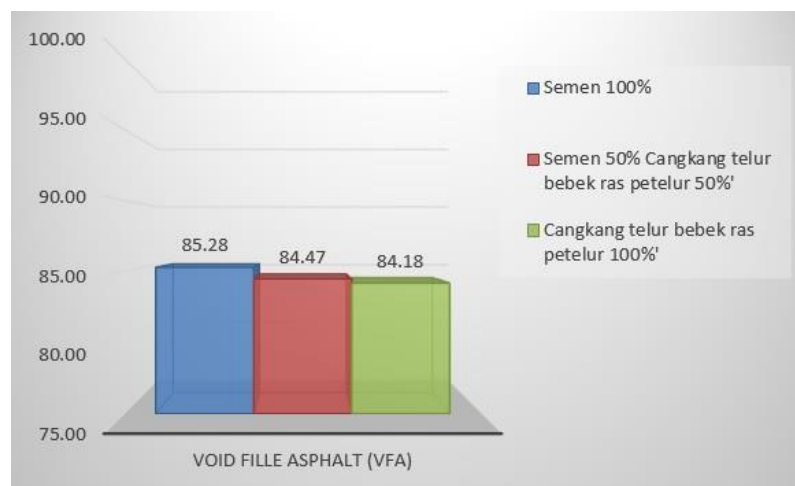
Hasil pengujian VFA benda uji campuran standar dengan variasi campuran yang menggunakan aspal modifikasi sebagai bahan pengikat dapat dilihat pada Tabel 6 dibawah ini.

Tabel 6. Nilai Void Fille Asphalt (VFA)

No. Benda Uji	Komposisi Filler		
	Semen 100%	Semen 50% Cangkang telur bebek ras petelur 50%	Cangkang telur bebek ras petelur 100%
I	85,49	80,36	73,78
II	88,00	85,32	69,94
III	90,82	82,78	75,93
IV	88,00	78,06	76,22
V	82,78	82,78	64,70
Rata-rata	87,018	81,860	72,114

Sumber : Laboratorium Balai Penelitian dan Pengembangan Teknologi Irigasi Bekasi, Jawa Barat

Dari nilai rata-rata VFA tiap sampel maka di dapat grafik perbandingan nilai *Void Filled Asphalt* (VFA) terhadap campuran *filler* semen dengan cangkang telur bebek ras petelur.



Gambar 7. Grafik Void Filled Asphalt (VFA)

Sumber : Olahan data penelitian, 2021.

Dari grafik diatas menunjukkan hubungan antara kadar aspal terhadap campuran dengan % rongga terisi aspal campuran tersebut masuk spesifikasi standar campuran aspal beton AC-WC dimana nilai VFA minimal 65 %.

4.7 Pembahasan

Dari hasil pengamatan pada pengujian *Marshall* diatas, berikut ini adalah penjelasan dari hasil yang telah didapatkan :

1. Stabilitas merupakan kemampuan lapis perkerasan menerima beban lalu-lintas tanpa mengalami perubahan bentuk tetap (deformasi permanen) seperti gelombang, alur (*rutting*), maupun mengalami *bleeding*. Nilai stabilitas dipengaruhi oleh kohesi atau penetrasi aspal, kadar aspal, gesekan (*internal friction*), sifat saling mengunci (*inter locking*) dari partikel-partikel agregat, bentuk dan tekstur permukaan, serta gradasi agregat.
2. Kelelahan (*flow*) adalah deformasi vertikal yang terjadi mulai awal pembebanan sampai kondisi stabilitas menurun, yang menunjukkan besarnya deformasi yang terjadi pada lapis perkerasan akibat menahan beban yang diterimanya. Besarnya nilai *flow* dinyatakan dalam mm atau 0,01". Nilai *flow* dipengaruhi oleh kadar aspal, viskositas aspal, gradasi agregat, jumlah dan temperatur pemadatan.
3. *Void in the Mixture* (VIM). VIM menunjukkan presentase rongga dalam campuran. Nilai VIM berpengaruh terhadap keawetan dari campuran aspal agregat, semakin tinggi nilai VIM menunjukkan semakin besar rongga dalam campuran sehingga campuran bersifat porrus.

4. *Void Fille Asphalt* (VFA). VFA adalah rongga terisi aspal pada campuran setelah mengalami proses pemadatan yang dinyatakan dalam persen terhadap rongga antar butiran agregat (VMA), sehingga antara nilai VMA dan VFA mempunyai kaitan yang sangat erat. Faktor-faktor yang mempengaruhi VFA antara lain kadar aspal, gradasi agregat, energi pemadat (jumlah dan temperatur pemadatan), dan absorpsi agregat. Mengecilnya nilai VMA pada kadar aspal yang tetap, berakibat memperbesar presentase rongga terisi aspal
5. *Marshall Quotient* (MQ). Nilai MQ menyatakan sifat kekakuan suatu campuran. Bila nilai MQ terlalu tinggi, maka campuran akan cenderung terlalu kaku dan mudah retak. Sebaliknya bila nilai MQ terlalu rendah, maka perkerasan menjadi terlalu lentur dan cenderung kurang stabil.

5 Kesimpulan

- a. Dari hasil pengujian serta analisis perhitungan dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

Tabel 7 Hasil Pengujian

Pengujian	Semen 100%	Semen - 50% cangkang telur bebek ras petelur	Cangkang telur bebek ras petelur 100%
Stabilitas (kg)	927,09	999,534	987,506
Kelelehan (Flow) (mm)	4,3	3,92	3,96
VIM (%)	3,908	2,52	9,634
VMA (%)	14,142	14,898	16,612
VFA (%)	87,018	81,860	72,114
MQ (kg/m)	218,034	255,095	248,889

Sumber : Olahan data penelitian, 2021.

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa karakteristik bahan pengisi (*filler*) dari cangkang telur bebek ras petelur memiliki nilai yang lebih tinggi daripada bahan pengisi (*filler*) yang biasa digunakan yaitu semen *portland*. Hasil campuran aspal beton dengan perbandingan semen 50% - cangkang telur bebek ras petelur 50% dan cangkang telur bebek ras petelur 100% sebagai bahan pengisi (*filler*) secara teknis dapat dipertimbangkan untuk diterapkan pada lapisan permukaan jalan sebagai bahan alternatif pengganti.

- b. Dari hasil penelitian dan analisis data, bahan campuran untuk mendapatkan hasil aspal beton yang bermutu baik yaitu dengan kadar bahan pengisi (*filler*) semen 50%-cangkang telur bebek ras petelur 50% dan cangkang telur bebek ras petelur 100%. Dengan nilai stabilitas dan nilai *flow* (kelelehan) telah memenuhi spesifikasi yang ditentukan dan kemudahan untuk memperoleh bahannya. Dimana nilai stabilitas minimum adalah 800 kg (SNI 03-1737-1989) nilai kelelehan (*Flow*) minimum 3 mm (SNI 03-1737-1989).

Referensi

- Akbar, Said Jalalul dan Wesli. *Stabilitas Lapis Aspal Beton AC-WC Menggunakan Abu Sekam Padi*. Teknik Sipil Universitas Malikussaleh.
- Departemen Pekerjaan Umum. 2010. *Spesifikasi Umum Bina Marga Revisi 3 Divisi 6.3 Campuran Beraspal Panas*. Direktorat Jenderal Bina Marga.
- Hardiyatmo, Hary Christiady. 2012. *Perancangan Perkerasan Jalan & Penyelidikan Tanah*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- Maxweel T. Hincle, and others, the "Eggshel : Struktur, composition, mineralization." *Article in Frontries Bioscience* 17. January 2012., h. 1266-1280.

Said Nurdin, and others, " Recovery Of Calcium Carbonate From Pre-Treated Duck Eggshel Waste (PDEW) Using Dissolved Air Flotation Technique (DAFT)", *International Jurnal of Engineering And Technology*. 7 (3.7), 2018, h. 577-581.

Standar Nasional Indonesia 2432:2011. *Cara uji daktilitas*. Badan Standarisasi Nasional.

Standar Nasional Indonesia 2434:2011. *Cara uji titik lembek aspal dengan alat cincin dan bola (ring and ball)*. Badan Standarisasi Nasional.

Standar Nasional Indonesia 2488:2011. *Cara uji penetrasi aspal*. Badan Standarisasi Nasional.

Standar Nasional Indonesia 1969:2008. *Cara uji berat jenis dan penyerapan air agregat kasar*. Badan Standarisasi Nasional.

Standar Nasional Indonesia 1970:2008. *Cara uji berat jenis dan penyerapan air agregat halus*. Badan Standarisasi Nasional.

Standar Nasional Indonesia 2433:2011. *Cara uji titik nyala dan titik bakar dengan alat cleveland open cup*. Badan Standarisasi Nasional.

Standar Nasional Indonesia 2441:2011. *Cara uji berat jenis aspal padat*. Badan Standarisasi Nasional.

Standar Nasional Indonesia ASTM c136:2012. *Cara uji untuk analisis saringan agregat halus dan agregat kasar*. Badan Standarisasi Nasional.

Standar Nasional Indonesia 2489:1991. *Metode Uji Stabilitas dan Pelelehan Campuran Beraspal Panas Dengan Menggunakan Alat Marshall*. Badan Standarisasi Nasional.

Sukirman, Silvia. 1999. *Perkerasan Lentur Jalan Raya*. Bandung: Nova.