

KAJIAN PARAMETER MARSHALL LIMBAH CANGKANG ALE-ALE DAN ABU BATU SEBAGAI FILLER CAMPURAN LAPIS ASPAL BETON

Ahmad Ravi¹, Betti Ses Eka Polonia^{2*}

^{1,2} Program Studi Teknik Sipil, Politeknik Negeri Ketapang, Indonesia
e-mail: *2betti.polonia@gmail.com (corresponding author)

Abstrak

Pada proses perencanaan jalan, penggunaan material perkerasan menentukan kualitas mutu jalan yang dihasilkan. Bahan dasar untuk campuran aspal panas terdiri dari bahan agregat kasar, agregat halus, filler, dan aspal. Filler adalah suatu mineral agregat dari fraksi halus yang merupakan bahan non-plastis dan non-organik. Pada campuran aspal, filler berfungsi sebagai bahan pengisi rongga dalam campuran sehingga meningkatkan kepadatan dan ketahanan campuran serta meningkatkan stabilitas campuran. Filler yang lazim digunakan untuk campuran aspal beton antara lain abu batu. Penggunaan filler pada campuran aspal beton banyak diteliti untuk mendapatkan kinerja campuran yang baik dan ekonomis, namun untuk jenis bahan tertentu harganya dipasaran mahal dan susah ditemukan di daerah-daerah tertentu sehingga campuran aspal menjadi tidak ekonomis. Bagi masyarakat Kabupaten Ketapang, konsumsi ale-ale sebatas dagingnya, sehingga menghasilkan limbah cangkang yang banyak jumlahnya. Limbah cangkang ale-ale dapat bermanfaat dan digunakan sebagai filler dalam campuran aspal beton. Parameter Marshall pada campuran filler cangkang ale-ale 4% dan 8% yang memenuhi spesifikasi lapisan aspal AC-BC dan lapisan aspal HRS-WC adalah pada nilai kepadatan, nilai VMA, nilai stabilitas, nilai kelelahan, dan nilai MQ (Marshall Quotient). Parameter Marshall pada campuran filler abu batu 4% dan 8% yang memenuhi spesifikasi lapisan aspal AC-BC dan lapisan aspal HRS-WC adalah pada nilai kepadatan, nilai VMA, nilai stabilitas, nilai kelelahan, dan nilai MQ (Marshall Quotient).

Kata kunci— cangkang ale-ale, aspal beton, uji marshall,

Abstract

The Road planning process, which uses pavement materials, determines the quality of the roads produced. The essential ingredients for hot mix asphalt are coarse aggregate, fine aggregate, filler and asphalt. A filler is a mineral aggregate of a fine fraction, a non-plastic and non-organic material. In asphalt mixtures, filler functions as a cavity-filling material in the mixture, thereby increasing the density and durability of the mixture as well as increased stability of the mixture. The use of filler in asphalt concrete mixtures have been widely studied to obtain excellent and economical mixture performance. However, for certain types of materials, the prices on the market are already high and hard to find in certain areas, so asphalt mixtures become uneconomical. For the people of Ketapang Regency, consumption of ale-ale is limited to meat, resulting in a large amount of shell waste. Ale-ale shell waste can be helpful and used as filler in concrete asphalt mixture. The Marshall parameters for the 4% and 8% ale-ale shell filler mixture that meet the specifications for the AC-BC asphalt layer and HRS-WC asphalt layer are the density value, VMA value, stability value, melting value, and MQ (Marshall Quotient) value. The Marshall parameters for the 4% and 8% rock ash filler mixture that meet the specifications for the AC-BC asphalt layer and HRS-WC asphalt layer are the density value, VMA value, stability value, melting value, and MQ (Marshall Quotient) value.

Keywords— ale-ale shells, asphalt concrete, marshall test

I. PENDAHULUAN

Potensi pengembangan sumberdaya di suatu daerah sangat bergantung dari ketersediaan sarana dan prasarana transportasi yang memadai. Dengan meningkatnya sarana dan prasarana suatu daerah dapat juga meningkatkan pendapatan daerah tersebut. Salah satu caranya yaitu meningkatkan mutu jalan sebagai sarana penghubung daerah tersebut ke daerah lainnya (Sari, 2021).

Dalam perencanaan pembuatan jalan harus dilakukan dengan perhitungan secermat mungkin. Hal ini dilakukan sebagai upaya untuk mendapatkan hasil yang optimal dengan kualitas mutu yang diharapkan. Dalam perencanaan jalan, terdapat tiga hal yang harus diperhatikan, yaitu biaya, kualitas, dan kuantitas. Tiga faktor tersebut berperan dalam mendapatkan alternatif perkerasan jalan beraspal yang cocok dan sesuai (Aris et al., 2020; Putra et al., 2020).

Pada proses perencanaan jalan yang sering dilakukan, penggunaan material perkerasan menentukan kualitas mutu jalan yang dihasilkan. Bahan dasar untuk campuran aspal panas terdiri dari bahan agregat kasar, agregat halus, *filler*, dan aspal. *Filler* adalah suatu mineral agregat dari fraksi halus yang merupakan bahan non-plastis dan non-organik (Abidin et al., 2021; Chen et al., 2022). Pada campuran aspal, *filler* berfungsi sebagai bahan pengisi rongga dalam campuran sehingga meningkatkan kepadatan dan ketahanan campuran serta meningkatkan stabilitas campuran.

Pada prakteknya fungsi dari *filler* adalah untuk meningkatkan viskositas dari aspal dan mengurangi kepekaan terhadap temperature (Pareira et al., 2021). Komposisi *filler* dalam campuran dapat meningkatkan stabilitas campuran tetapi menurunkan kadar air sekaligus rongga udara dalam campuran (Chen et al., 2022; Wu et al., 2021). Komposisi *filler* dalam campuran tetap dibatasi, karena terlalu tinggi kadar *filler* dalam campuran akan mengakibatkan campuran menjadi getas (*brittle*) dan akan retak (*crack*) (Nisumanti & Yusuf, 2020). Oleh karena itu, jika kadar *filler* terlalu rendah akan mengakibatkan campuran akan terlalu lunak pada saat cuaca panas.

Aspal dengan penetrasi rendah dipakai untuk daerah yang memiliki cuaca panas atau volume lalu-lintas tinggi, sedangkan aspal dengan penetrasi tinggi dipakai untuk daerah dingin atau volume lalu lintas rendah. Di Indonesia umumnya digunakan aspal penetrasi 60/70 dan 80/100. Laston memiliki beberapa

lapisan, yaitu lapis aus (*wearing course*), lapis perat (*binder course*) dan lapis pondasi (*base course*). Kerusakan jalan biasanya terjadi pada lapisan aus aspal beton, karena lapis aus itu sendiri merupakan lapisan yang paling atas dan langsung terkena gesekan akibat beban roda. Laston (lapis aspal beton) adalah suatu lapisan permukaan yang terdiri dari campuran laston keras dan agregat yang bergradasi menerus, dicampur, dihamparkan dan dipadatkan dalam kondisi panas atau suhu tertentu (Wiyogo et al., 2021). Laston bersifat kedap air, mempunyai nilai struktural, awet tipe kerusakan yang biasanya terjadi adalah retak dan terlepasnya butiran (Aris et al., 2020).

Laston yang direncanakan di Indonesia setara dengan spesifikasi Laston Bina Marga (Spesifikasi Bina Marga 13/PT/B/1983) dan digunakan untuk jalan-jalan dengan lalu lintas berat, tanjakan, pertemuan jalan serta daerah-daerah lainnya dimana permukaan menanggung beban roda yang berat. Lapis aspal beton diperuntukan untuk kelas lalu lintas berat dapat ditinjau dari ketentuan parameter Marshall menurut Pelaksanaan Lapis Aspal Beton untuk Jalan Raya SNI 03-1737-1989 dan penetrasi aspal yang dipakai. Aspal dengan penetrasi rendah dipakai untuk daerah yang memiliki cuaca panas atau volume lalu-lintas tinggi, sedangkan aspal dengan penetrasi tinggi dipakai untuk daerah dingin atau volume lalu-lintas rendah (Rumbyarso & Ulum, 2021; Wiyogo et al., 2021).

Penggunaan *filler* pada campuran aspal beton banyak diteliti untuk mendapatkan kinerja campuran yang baik dan ekonomis, namun untuk jenis bahan tertentu harganya dipasaran sudah mulai mahal dan susah ditemukan di daerah-daerah tertentu sehingga campuran aspal menjadi tidak ekonomis. Selain itu perlu suatu upaya pemanfaatan material lokal dan bahan lokal yang persediaannya melimpah terutama di Kabupaten Ketapang.

Peran *filler* terhadap kinerja mekanik dalam campuran aspal beton dengan menggabungkan granit, kapur, dan kaolin sebagai bahan pengisi untuk tiga lapisan permukaan (Safariska & Kurniasari, 2020). Selanjutnya dengan mengevaluasi parameter Marshall menggunakan kadar aspal optimum menunjukkan bahwa penggunaan bahan pengisi/*filler* dalam campuran aspal-beton mempengaruhi kinerja campuran dalam tiga cara: (1) *filler* mempengaruhi jumlah kadar aspal, (2) *filler* mempengaruhi kemampuan kerja selama pencampuran dan pemadatan, dan (3) sifat yang dihasilkan dari aspal-*filler* mastic (kuning-muda) berkontribusi terhadap

kinerja campuran itu (H.p et al., 2022; Nursandah & Zaenuri, 2019; Veranita & Chaira, 2019). Hasil penelitian menunjukkan bahwa sifat-sifat filler menentukan interaksi dengan aspal dan berkontribusi terhadap kinerja campuran aspal (Abidin et al., 2021; Laila et al., 2022; Nisumanti & Yusuf, 2020; Rumbyarso & Ulum, 2021; Veranita & Chaira, 2019).

Alternatif laston yang diterapkan diharapkan mampu mengatasi dan mengurangi kerusakan-kerusakan akibat melemahnya daya ikat aspal terhadap butiran agregat dan filler, baik karena suhu, cuaca, mutu aspal dan agregat, maupun metode pelaksanaan di lapangan. Salah satu cara untuk mengatasi hal tersebut adalah dengan mengganti bahan dasar filler alternatif yang memiliki fungsi sama dengan kualitas yang lebih baik. Penggunaan *fly ash* (abu terbang) sebagai filler (Mistry & Kumar Roy, 2021; Wozuk et al., 2019) dari penelitiannya menyebutkan bahwa dengan bertambahnya kadar *fly ash* maka nilai stabilitas dan nilai *Marshall Quotient* campuran aspal akan semakin tinggi dengan penggunaan kapur dan gabungan keduanya. Penggunaan filler semen dan abu batu dengan mengkaji sifat *Marshall* dalam campuran AC WC dengan kadar aspal rencana yang digunakan baik pada campuran dengan filler semen *portland* maupun abu batu adalah 5,5% terhadap total campuran, menunjukkan bahwa semen menghasilkan nilai stabilitas dan durabilitas lebih baik dari pada abu batu (Pane et al., 2021).

Alternatif penggunaan filler untuk campuran aspal seperti debu batu kapur, debu *dolomite*, semen *portland*, bubuk terbang, debu tanur tinggi pembuat semen atau bahan mineral tidak plastis lainnya. Banyak jenis filler seperti debu batu kapur merupakan pilihan utama untuk filler namun sulit didapatkan dan dapat mengganggu kesehatan pernapasan. Untuk filler semen *portland* mudah diperoleh dan mempunyai *grading* butiran yang bagus namun harganya sangat mahal. Oleh karena itu untuk mengatasi masalah ini perlu dicari alternatif pengganti. Salah satu alternatif adalah limbah cangkang ale-ale yang berbentuk serbuk atau abu (Pane et al., 2021; Salim & Gunawan, 2021; Sari, 2021).

Ale-ale merupakan sejenis kerang yang menjadi makanan khas Kabupaten Ketapang. Ale-ale memiliki cangkang keras dan terdapat daging kenyal di dalamnya. Kekenyalan tersebut merupakan salah satu alasan ale-ale digemari oleh masyarakat Kabupaten Ketapang. Bagi masyarakat Kabupaten Ketapang, konsumsi ale-ale sebatas dagingnya, sehingga

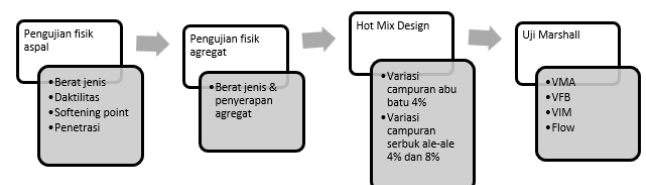
menghasilkan limbah cangkang yang banyak jumlahnya. Limbah cangkang ale-ale dapat bermanfaat dan digunakan sebagai filler dalam campuran aspal beton.

Pada umumnya bahan filler yang digunakan untuk campuran aspal panas berupa semen, kapur, dan abu batu. Dalam upaya menambah bahan filler yang dapat digunakan sebagai bahan pencampur pembuatan campuran aspal panas adalah cangkang ale-ale yang sudah dihaluskan. Hal ini juga termasuk salah satu cara mendaur ulang limbah yang ada di Kabupaten Ketapang. Penggunaan filler cangkang ale-ale diharapkan dapat melebihi daya rekat dari filler abu batu.

Dalam penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai stabilitas campuran aspal beton dengan menggunakan material filler abu batu dan filler serbuk cangkang ale-ale. Selain itu, dilakukan perbandingan pengaruh pemakaian filler abu batu dengan filler cangkang ale-ale berdasarkan nilai stabilitasnya. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan alternatif dalam pemilihan penggunaan filler dalam konstruksi perkerasan jalan. Hasil penelitian ini dapat dijadikan sebagai inovasi dalam penggunaan limbah lokal bagi Dinas PUPR Kabupaten Ketapang untuk proyek perkerasan jalan. Selain itu, bagi Dinas PUPR pemanfaatan limbah lokal khususnya cangkang ale-ale juga termasuk upaya pembangunan berwawasan lingkungan dan berkelanjutan.

II. METODE PENELITIAN

Jenis penelitian ini termasuk dalam penelitian eksperimen. Dimana penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai stabilitas campuran aspal beton dengan menggunakan material filler abu batu dan filler serbuk cangkang ale-ale. Selain itu, dilakukan perbandingan pengaruh pemakaian filler abu batu dengan filler cangkang ale-ale berdasarkan nilai stabilitasnya. Penelitian ini menggunakan bahan uji limbah cangkang ale-ale yang telah dihaluskan dan abu batu. Pada kegiatan awal dilakukan pengujian standar yang meliputi, pengujian fisik agregat.



Gambar 1. Desain Penelitian

Pengujian fisik terhadap aspal juga dilakukan. Pengujian tentang berat jenis aspal (SNI 06-2441-1991), daktilitas/kemuluran bitumen (SNI 06-2432-1991), *softening point* (titik lembek) bitumen metode cincin bola (SNI 06-2434-1991), penetrasi/kekerasan bitumen (SNI 06-2456-1991) dan *Cleveland flash point*/ titik nyala (SNI 06-2433-1991). Pengujian fisik agregat juga dilakukan untuk menguji berat jenis dan penyerapan agregat kasar (SNI 03-1969-1990), menguji berat jenis dan penyerapan agregat halus (SNI 03-1970-1990), serta berat jenis dan penyerapan *filler* dan analisa saringan *filler* (SNI 03-1968-1990). Uji keausan agregat kasar juga dilakukan menggunakan mesin *Los Angeles* (SNI 03-2417-1991).

TABEL 1. Benda Uji pada Uji Marshall

Bahan	Variasi Filler	Jumlah Sampel
Abu Batu	4%	3
	8%	3
Cangkang Ale-ale	4%	3
	8%	3
Jumlah Benda Uji		12

Selanjutnya dilakukan perencanaan campuran aspal (*Hotmix design*) dengan variasi kadar material *filler* pada campuran yang digunakan yaitu, untuk *filler* abu batu sebesar 4% dan 8% serta kadar 4% dan 8% untuk *filler* serbuk cangkang ale-ale. Setelah benda uji selesai dibuat, maka dilakukan pengujian stabilitas campuran dengan alat *Marshall*. Uji parameter *Marshall* mengikuti prosedur SNI 06-2489-1991 tentang Metode Pengujian Campuran Beraspal Panas dengan Alat *Marshall*. Analisa dilakukan terhadap sifat-sifat *Marshall*, yaitu stabilitas *Void in Minerale Agregate (VMA)*, *Void Filled with Bitumen (VFB)*, *Void in Mix (VIM)* dan *flow*/ kelelahan campuran.

Teknik analisis data yang digunakan adalah analisis data inferensial. Analisis inferensial dengan Uji Whitney berdasarkan prosedur pengumpulan data. Perhitungan dilakukan dengan bantuan *SPSS Statistic 21 for Windows*.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian dilakukan di Laboratorium Prodi Teknologi Rekayasa Konstruksi Jalan dan Jembatan Politeknik Negeri Ketapang. Variasi kadar material *filler* pada campuran yang digunakan yaitu, untuk *filler* abu batu sebesar 4% dan 8% serta kadar 4% dan 8% untuk *filler* serbuk cangkang ale-ale. Aspal yang digunakan pada penelitian ini merupakan aspal pen 60/70. Data hasil pengujian aspal penetrasi 60/70

merupakan data sekunder. Dari hasil pengujian yang dilakukan, aspal mempunyai karakteristik yang memenuhi spesifikasi.

A. Hasil Pengujian Karakteristik Aspal dan Agregat

TABEL 2. Hasil Pengujian Aspal Penetrasi 60/70

No.	Jenis Pengujian	Nilai Persyaratan	Hasil	Satuan	Keterangan
1.	Penetrasi 25° C (0,1 mm)	60-70	61,2	mm	Memenuhi
2.	Daktilitas 25° C (cm)	≥ 100,0	107,3	cm	Memenuhi
3.	Berat Jenis	≥ 1,00	1,061	-	Memenuhi

Berdasarkan Tabel 2, pemeriksaan penetrasi aspal 60/70 diperoleh nilai rata-rata pengujian adalah 61,2 mm. Dengan didapatnya hasil tersebut, maka nilai penetrasi aspal 60/70 yang diuji memenuhi spesifikasi yang disyaratkan oleh Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 (Revisi 2) yaitu 60-70, sehingga aspal dapat digunakan sebagai bahan pada campuran beton aspal panas.

Adapun hasil pengujian daktilitas aspal penetrasi 60/70 menghasilkan nilai daktilitas sebesar 107,3 cm sehingga memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 (Revisi 2) yaitu ≥ 100 cm. Adapun berat jenis aspal yang sudah dilakukan pengujian yaitu sebesar 1,061. Berdasarkan hasil pengujian ini dapat dinyatakan bahwa aspal tersebut memenuhi syarat Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 (Revisi 2) yaitu ≥ 1,0.

TABEL 3. Hasil Pengujian Agregat Kasar

No.	Jenis Pengujian	Nilai Persyaratan	Hasil	Satuan	Keterangan
1.	Abrasi	≤ 40,00	12,78	%	Memenuhi
2.	Berat Jenis Curah Kering	≥ 2,50	2,66	-	Memenuhi
3.	Berat Jenis Jemih Kering Permukaan	≥ 2,50	2,68	-	Memenuhi
4.	Berat Jenis Semu	≥ 2,50	2,73	-	Memenuhi
5.	Penyerapan Air	≤ 3,00	1,01	%	Memenuhi

TABEL 4. Hasil Pengujian Agregat Halus

No.	Jenis Pengujian	Nilai Persyaratan	Hasil	Satuan	Keterangan
1.	Berat Jenis Curah Kering	2,40 - 2,60	2,49	-	Memenuhi
2.	Berat Jenis Jemih Kering Permukaan	2,40 - 2,60	2,51	-	Memenuhi
3.	Berat Jenis Semu	2,40 - 2,60	2,55	-	Memenuhi
4.	Penyerapan Air	≤ 3,00	1,01	%	Memenuhi

Hasil pengujian agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 3 dan menunjukkan bahwa agregat kasar yang digunakan pada penelitian ini memiliki berat jenis curah kering (Sd) 2,66; berat jenis jenuh kering permukaan (Ss) 2,68; sedangkan berat jenis semu (Sa) sebesar 2,73; dan penyerapan air (Sw) sebesar 1,01%. Nilai berat jenis dan penyerapan air agregat kasar yang digunakan sudah memenuhi spesifikasi yang disyaratkan oleh Standar Nasional Indonesia (SNI).

Untuk hasil pengujian keausan agregat kasar dengan menggunakan mesin *Los Angeles*, menunjukkan bahwa agregat kasar yang digunakan tahan terhadap abrasi, ini terlihat dari nilai keausan rata-rata yang diperoleh yaitu sebesar 12,78% atau memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 (Revisi 2) yaitu maksimal 40%.

Hasil pengujian agregat halus, hasil pengujian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa agregat halus yang digunakan dalam penelitian memiliki nilai berat jenis curah kering (Sd) 2,49; berat jenis jenuh kering permukaan (Ss) 2,51; sedangkan berat jenis semu (Sa) sebesar 2,55; dan penyerapan air (Sw) sebesar 1,01%.

Pada penelitian ini *filler* yang digunakan adalah cangkang ale-ale dan abu batu. Spesifikasi filler mengacu pada persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 (Revisi 2). Adapun hasil pengujian karakteristik *filler* dapat dilihat pada Tabel 4. *Filler* yang digunakan adalah filler yang sudah lolos uji saringan No.200. Adapun standar SNI, syarat berat jenis filler yang harus dipenuhi adalah dengan nilai minimal 2.5 gr/cm². Berdasarkan Tabel 5, didapatkan hasil berat jenis *filler* abu batu sebesar 3.56 gr/cm³ dan berat jenis cangkang ale-ale sebesar 3.00 gr/cm³.

TABEL 5. Hasil Pengujian Filler

No	Jenis Pengujian	Filler	Hasil
1	Berat Jenis	Abu Batu	3.56
2	Berat Jenis	Cangkang Ale-ale	3.00

B. Hasil Pengujian Marshall Aspal & Agregat

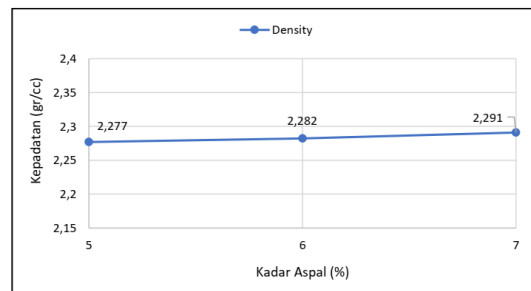
Hasil pengujian Marshall terhadap campuran aspal beton panas untuk mendapatkan nilai KAO yaitu nilai kepadatan (*density*), stabilitas (*stability*), VMA (*void in mineral aggregate*), VFA (*void filled with asphalt*), VIM (*void in the mix*), kelelahan (*flow*), dan *Marshall Quotient (MQ)* pada benda uji dengan masing-masing kadar aspal sebanyak tiga buah benda uji. Untuk mendapatkan nilai KAO yang digunakan dalam penelitian, maka dilakukan pengujian dengan cara percobaan pengujian Marshall dengan variasi kadar

aspal 5%, 6%, dan 7%. Hasil Uji Kepadatan Aspal dapat dilihat pada Tabel 6.

TABEL 6. Hasil Pengujian Kepadatan

Benda Uji	Kadar Aspal (%)		
	5	6	7
1	2,278	2,281	2,291
2	2,276	2,290	2,292
3	2,277	2,276	2,290
Rata-rata	2,277	2,282	2,291

Kepadatan (*density*) adalah berat campuran pada setiap satuan volume. Faktor-faktor yang mempengaruhi kepadatan adalah gradasi agregat, kadar aspal, berat jenis agregat, kualitas penyusunnya dan proses pemadatan yang meliputi suhu dan jumlah tumbukannya. Campuran yang memiliki nilai kepadatan yang besar akan mampu menahan beban yang lebih besar jika dibandingkan dengan campuran yang memiliki nilai kepadatan yang lebih rendah.



Gambar 2. Grafik Hubungan Kepadatan dan Kadar Aspal

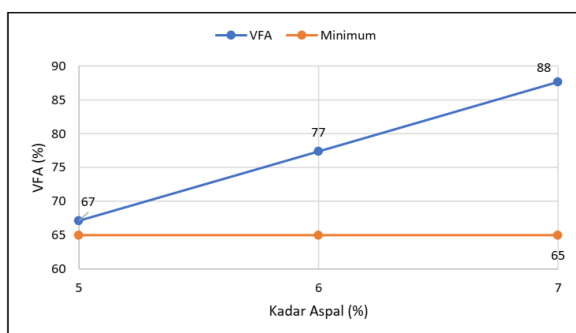
Berdasarkan Tabel 6 didapatkan nilai kepadatan sebesar 2,277 gr/cc pada kadar aspal 5%; 2,282 gr/cc pada kadar aspal 6%, dan 2,291 gr/cc pada kadar aspal 7%. Nilai kepadatan mengalami peningkatan setiap penambahan kadar aspal.

Rongga terisi aspal (VFA) menyatakan persen rongga yang terdapat diantara partikel agregat yang terisi oleh aspal, tetapi tidak termasuk aspal yang diserap oleh agregat. Nilai VFA semakin besar berarti semakin banyaknya rongga udara yang terisi oleh aspal sehingga kekedapan campuran aspal terhadap air dan udara akan semakin tinggi. Nilai VFA Aspal dapat dilihat pada Tabel 7.

TABEL 7. Hasil Pengujian VFA

Benda Uji	Kadar Aspal (%)		
	5	6	7
1	67,3	77,0	87,6
2	67,0	78,9	87,8
3	67,1	76,2	87,5
Rata-rata	67,1	77,4	87,6

Nilai VFA yang terlalu tinggi akan menyebabkan lapis perkerasan aspal mudah mengalami *bleeding*, sedangkan nilai VFA yang terlalu kecil akan menyebabkan kekedapan campuran air aspal terhadap air berkurang karena rongga yang terisi oleh aspal hanya sedikit. Dengan banyaknya rongga yang tidak terisi oleh aspal, maka air dan udara akan semakin mudah masuk ke dalam lapis perkerasan aspal yang menyebabkan keawetan lapis perkerasan akan berkurang. Nilai VFA dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti energi, suhu, pemadatan, jenis dan kadar aspal, serta gradasi agregatnya. Grafik Hubungan antara VFA dan kadar aspal dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik Hubungan VFA dan Kadar Aspal

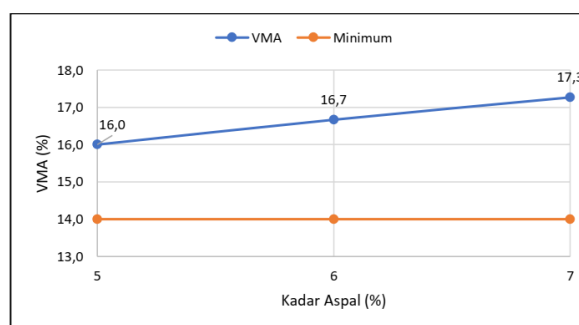
Berdasarkan Tabel 7, nilai VFA pada kadar aspal 5% adalah 67,1%. Pada setiap penambahan kadar aspal 6% dan 7% nilai VFA berturut-turut adalah sebesar 77,4% dan 87,6%. Sehingga dapat disimpulkan semakin besar penambahan kadar aspal, maka nilai VFA akan semakin besar. Berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 (Revisi 2), maka nilai VFA yang memenuhi spesifikasi harus $\geq 65\%$. Maka dapat disimpulkan nilai VFA dari semua kadar aspal memenuhi spesifikasi yang disyaratkan oleh Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 (Revisi 2).

Rongga diantara mineral agregat (VMA) adalah rongga udara yang terdapat diantara mineral agregat termasuk ruang yang terisi aspal pada campuran beraspal yang sudah dipadatkan termasuk ruang yang terisi aspal. Besarnya nilai VMA dipengaruhi oleh kadar aspal, gradasi bahan sisin, jumlah tumbukan, dan suhu pemadatan. Hubungan antara kadar aspal dan nilai VMA dapat dilihat pada Tabel 8 dan Gambar 4.

TABEL 8. Hasil Pengujian VMA

Benda Uji	Kadar Aspal (%)		
	5	6	7
1	16,0	16,7	17,3
2	16,0	16,4	17,2
3	16,0	16,9	17,3
Rata-rata	16,0	16,7	17,3

Berdasarkan Tabel 8, nilai VMA pada kadar aspal 5% adalah sebesar 16,0% pada setiap penambahan kadar aspal 6% dan 7% nilai VMA mengalami peningkatan berturut-turut adalah 16,7% dan 17,3%. Semakin banyak penambahan kadar aspal, maka nilai VMA akan semakin besar. Menurut Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 (Revisi 2), nilai VMA pada campuran laston minimal sebesar $\geq 14\%$. Nilai VMA pada semua benda uji memenuhi persyaratan yang telah ditentukan.



Gambar 4. Grafik Hubungan VMA dan Kadar Aspal

Rongga dalam campuran (VIM) adalah besarnya rongga campuran pada suatu campuran aspal beton panas yang dinyatakan dalam persentasi. Rongga udara yang terdapat di dalam campuran diperlukan ruang bergerak unsur-unsur campuran sesuai dengan sifat elastisnya. Nilai VIM dipengaruhi oleh gradasi agregat, kadar aspal, dan kepadatan. Hubungan antara kadar aspal dengan nilai VIM terdapat pada Tabel 8 dan Gambar 5 berikut.

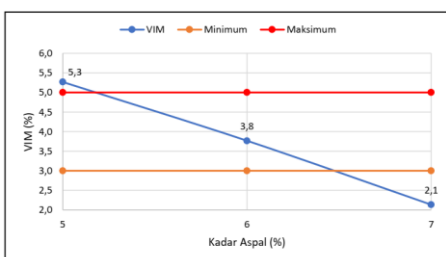
TABEL 9. Hasil Pengujian VIM

Benda Uji	Kadar Aspal (%)		
	5	6	7
1	16,0	16,7	17,3
2	16,0	16,4	17,2
3	16,0	16,9	17,3
Rata-rata	16,0	16,7	17,3

Nilai VIM yang terlalu tinggi akan mengakibatkan lapis keras mengalami oksidasi atau penuaan aspal dengan masuknya udara sehingga selimut aspal menjadi tipis dan kohesi aspal menjadi berkurang. Hal

ini berpengaruh terhadap keawetan dari lapis keras. Jika hal ini terjadi, akan menimbulkan pelepasan butiran pada lapis keras.

Nilai VIM yang terlalu rendah akan menyebabkan kekakuan pada lapis keras. Sedangkan jika nilai VIM semakin tinggi juga akan mengakibatkan retak apabila menerima beban lalu lintas yang terlalu berat karena tidak cukup lentur untuk menerima deformasi yang terjadi.



Gambar 5. Grafik Hubungan VIM dan Kadar Aspal

Berdasarkan Tabel 8, nilai VIM kadar aspal 5% adalah sebesar 5,3%. Pada penambahan kadar aspal 6% dan 7% nilai VIM mengalami penurunan berturut-turut sebesar 3,8% dan 2,1%. Hal ini dapat disimpulkan semakin banyak penambahan kadar aspal, maka nilai VIM akan semakin kecil. Berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 (Revisi 2) tentang ketentuan sifat-sifat campuran Laston, nilai VIM memenuhi syarat adalah sebesar 3%-5%. Nilai VIM yang memenuhi syarat adalah pada kadar aspal 6% yaitu sebesar 3,8%.

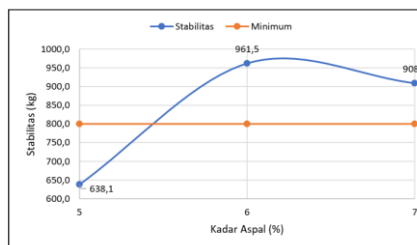
Stabilitas adalah kemampuan perkerasan jalan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur, ataupun *bleeding*. Semakin tinggi volume lalu lintas yang membebani sebuah jalan, maka stabilitas yang dibutuhkan oleh perkerasan jalan tersebut semakin tinggi. Stabilitas campuran pada pengujian *Marshall* ditunjukkan dengan pembacaan nilai stabilitas yang dikoreksi dengan angka koreksi tebal benda uji.

TABEL 10. Hasil Pengujian Stabilitas

Benda Uji	Kadar Aspal (%)		
	5	6	7
1	712,2	944,9	889,1
2	553,4	1025,1	929,9
3	648,6	914,5	907,2
Rata-rata	638,1	961,5	908,7

Nilai stabilitas dipengaruhi oleh gesekan antar butiran agregat (*internal friction*), penguncian antar

butir agregat (*interlocking*) dan daya ikat yang baik dari lapisan aspal (kohesi), disamping itu proses pemadatan, mutu agregat, dan kadar aspal juga berpengaruh. Berikut ini adalah Tabel 10 dan Gambar 6 Hubungan kadar aspal dan stabilitas.



Gambar 6. Grafik Hubungan Stabilitas dan Kadar Aspal

Berdasarkan Gambar 10, nilai stabilitas pada kadar aspal 5% adalah sebesar 638,1 kg, pada penambahan kadar aspal 6% dan 7% mengalami kenaikan berturut-turut sebesar 961,5 kg dan 908,7 kg. Berdasarkan Spesifikasi Bina Marga 2018 (Revisi 2) tentang ketentuan sifat-sifat campuran laston, nilai stabilitas minimum untuk lalu lintas berat yaitu 800 kg. dapat disimpulkan bahwa nilai stabilitas pada kadar aspal 6% dan 7% memenuhi spesifikasi yang disyaratkan.

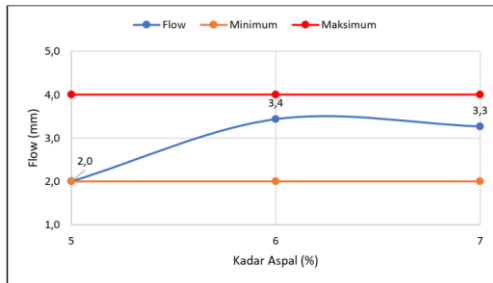
Kelelahan atau *flow* menunjukkan besarnya penurunan atau deformasi yang terjadi terhadap lapis keras akibat menahan beban yang diterimanya. Penurunan terjadi terhadap lapis keras akibat menahan beban yang diterimanya. Penurunan yang terjadi terhadap lapis keras juga tidak lepas dari pengaruh nilai karakteristik Marshall lainnya, seperti VIM, VFA, dan stabilitasnya. Nilai kelelahan dipengaruhi antara lain oleh gradasi agregat, kadar aspal, dan proses pemadatan yang meliputi suhu pemadatan dan energi pemadatan.

TABEL 11. Hasil Pengujian Kelelahan (*flow*)

Benda Uji	Kadar Aspal (%)		
	5	6	7
1	2,3	3,4	3,1
2	1,7	3,7	3,4
3	2,0	3,2	3,3
Rata-rata	2,0	3,4	3,3

Campuran lapis keras yang memiliki nilai kelelahan yang rendah dan stabilitas yang tinggi, cenderung bersifat kaku dan getas. Sedangkan campuran lapis keras yang memiliki nilai kelelahan yang tinggi dengan stabilita rendah cenderung bersifat plastis. Sifat plastis

yang dimiliki oleh lapis keras akan memudahkan lapis keras mudah berubah bentuk apabila mendapatkan beban lalu lintas. Berikut ini adalah Tabel 11 dan Gambar 7 Hubungan kadar aspal dan kelelahan.



Gambar 7. Grafik Hubungan Kelelahan dan Kadar Aspal

Pada kadar aspal 5%, nilai *flow* sebesar 2,0 mm. Pada penambahan kadar aspal 6% dan 7% nilai *flow* mengalami peningkatan pada arloji pembacaan yaitu sebesar berturut-turut 3,4 mm dan 3,3 mm. Nilai *flow* tertinggi ditunjukkan oleh penambahan kadar aspal sebesar 6 %. Berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 (Revisi 2) tentang ketentuan sifat-sifat campuran laston, nilai *flow* minimum adalah sebesar 2 mm dan maksimal sebesar 4 mm, sehingga dapat disimpulkan bahwa nilai *flow* pada setiap kadar aspal memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan.

TABEL 12. Nilai Marshall Quotients

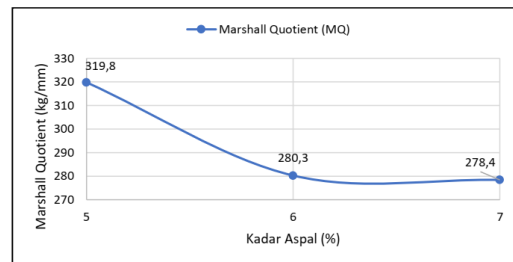
Benda Uji	Kadar Aspal (%)		
	5	6	7
1	309,6	277,9	286,8
2	325,5	277,1	273,5
3	324,3	285,8	274,9
Rata-rata	319,8	280,3	278,4

Nilai *Marshall Quotient (MQ)* adalah hasil bagi antara nilai stabilitas dan kelelahan (*flow*). Semakin besar nilai *Marshall Quotient (MQ)* maka campuran lapis keras akan semakin kaku dan semakin kecil *Marshall Quotient (MQ)*. Hal ini akan mengakibatkan perkerasan lapis kerasnya akan semakin lentur. Berikut ini adalah Tabel 12 dan Gambar 8 Hubungan Kadar Aspal dan *Marshall Quotient*.

Pada kadar aspal 5%, nilai MQ sebesar 319,8 km/mm. Pada penambahan kadar aspal 6% dan 7% nilai MQ mengalami penurunan berturut-turut sebesar 280,3 kg/mm dan 278,4 kg/mm. nilai MQ tertinggi

ditunjukkan oleh kadar aspal 5% yaitu sebesar 319,8 kg/mm.

Nilai kepadatan pada setiap penambahan kadar aspal 5% sampai 7% berturut-turut mengalami peningkatan. Nilai VFA yang terendah pada kadar aspal 5% dan tertinggi pada kadar aspal 7%. Nilai VMA yang memenuhi syarat pada kadar aspal adalah 5% sampai 7%.



Gambar 8. Grafik Hubungan MQ dan Kadar Aspal

Nilai VIM berturut-turut mengalami penurunan pada kadar aspal 5% sampai 7%. Pada pengujian stabilitas, nilai terendah didapat pada kadar aspal 5%, kemudian mengalami kenaikan pada kadar aspal 6% dan 7%. Nilai VFA, VIM, kepadatan, stabilitas, kelelahan dan MQ kadar aspal yang memenuhi syarat yaitu pada kadar aspal 6%. Kadar aspal yang memenuhi semua persyaratan adalah kadar aspal sebanyak 6%. Maka KAO yang dapat digunakan adalah kadar aspal 6%.

C. Hasil Pengujian Marshall Bahan Campuran Agregat dengan Filler

Setelah dilakukan pengujian *Marshall* untuk mendapatkan nilai kadar aspal optimum, kemudian dilakukan pencampuran aspal dengan agregat yang ditambahkan dengan *filler* cangkang ale-ale dan *filler* abu batu. Persentase kadar *filler* cangkang ale-ale dan abu batu dalam campuran sebesar 4 % dan 8%. Masing-masing persentase adalah tiga buah benda uji. Dengan jumlah keseluruhan benda uji adalah dua belas benda uji. Kadar aspal yang digunakan adalah nilai kadar aspal yang telah didapatkan dengan melakukan pengujian kadar aspal sebelumnya, yaitu 6%.

TABEL 13. Hasil Pengujian *Marshall* campuran agregat dengan *filler*

No	Jenis Pemeriksaan	Spesifikasi AC-BC	Spesifikasi HRS-WC	Kadar <i>Filler</i> Cangkang Ale-ale		Kadar <i>Filler</i> Abu Batu	
				4%	8%	4%	8%
1	Kepadatan (gr/cm ³)	-	-	2.71	3.36	1.44	1.65
2	VFA (%)	Min. 65%	Min. 68%	61.4	66.6	31.4	25.2
3	VMA (%)	Min. 14%	Min. 17%	18.7	19.1	54.5	41.8
4	VIM (%)	3 – 5%	3 – 5%	18.0	40.1	37.3	31.3
5	Stabilitas	Min. 800 kg	Min. 600 kg	728.8	1950.5	1663.2	1167.3
6	Kelelahan	2 – 4 mm	-	2.7	2.6	3.8	3.7
7	MQ (kg/mm)	-	Min. 250	273.5	793.9	432.5	320.9

Pada hasil uji campuran aspal dengan filler didapatkan hasil yang memenuhi untuk spesifikasi lapisan aspal AC-BC Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 (Revisi 2). Pada campuran filler cangkang ale-ale 4% yang memenuhi kriteria nilai kepadatan (2,71 gr/cm³), nilai VMA (18.7%), nilai stabilitas (728.8 kg), nilai kelelahan (2.7 mm), dan nilai MQ (273.5 kg/mm). Pada campuran filler cangkang ale-ale 4% yang tidak memenuhi kriteria adalah nilai VFA (61.4%) dan nilai VIM (18%). Sedangkan pada campuran filler cangkang ale-ale 8% yang memenuhi kriteria nilai kepadatan (3.36 gr/cm³), nilai VMA (19.1%), nilai VFA (66.6%), nilai stabilitas (1950.5 kg), nilai kelelahan (2.6 mm), dan nilai MQ (793.9 kg/mm). Pada campuran filler cangkang ale-ale 8% yang tidak memenuhi kriteria adalah nilai VIM (40.1%).

Pada campuran filler abu batu 4% yang memenuhi kriteria nilai kepadatan (1.44 gr/cm³), nilai VMA (54.5%), nilai stabilitas (1663.2 kg), nilai kelelahan (3.8 mm), dan nilai MQ (432.5 kg/mm). Pada campuran filler abu batu 4% yang tidak memenuhi kriteria adalah nilai VFA (31.4%) dan nilai VIM (37.3%). Sedangkan pada campuran filler abu batu 8% yang memenuhi kriteria nilai kepadatan (1.65 gr/cm³), nilai VMA (41.8%), nilai stabilitas (1167.3 kg), nilai kelelahan (3.7 mm), dan nilai MQ (320.9 kg/mm). Pada campuran filler abu batu 8% yang tidak memenuhi kriteria adalah nilai VFA (25.2%) dan nilai VIM (31.3%).

Pada hasil uji campuran aspal dengan filler didapatkan hasil yang memenuhi untuk spesifikasi lapisan aspal HRS-WC Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 (Revisi 2). Pada campuran filler cangkang ale-ale 4% yang memenuhi kriteria nilai kepadatan (2,71 gr/cm³), nilai VMA (18.7%), nilai stabilitas (728.8 kg), nilai kelelahan (2.7 mm), dan nilai MQ (273.5 kg/mm). Pada campuran filler cangkang ale-ale 4% yang tidak memenuhi kriteria adalah nilai VFA (61.4%) dan nilai VIM (18%). Sedangkan pada campuran filler cangkang

ale-ale 8% yang memenuhi kriteria nilai kepadatan (3.36 gr/cm³), nilai VMA (19.1%), nilai stabilitas (1950.5 kg), nilai kelelahan (2.6 mm), dan nilai MQ (793.9 kg/mm). Pada campuran filler cangkang ale-ale 8% yang tidak memenuhi kriteria adalah nilai VIM (40.1%) dan nilai VFA (66.6%).

Pada campuran filler abu batu 4% yang memenuhi kriteria nilai kepadatan (1.44 gr/cm³), nilai VMA (54.5%), nilai stabilitas (1663.2 kg), nilai kelelahan (3.8 mm), dan nilai MQ (432.5 kg/mm). Pada campuran filler abu batu 4% yang tidak memenuhi kriteria adalah nilai VFA (31.4%) dan nilai VIM (37.3%). Sedangkan pada campuran filler abu batu 8% yang memenuhi kriteria nilai kepadatan (1.65 gr/cm³), nilai VMA (41.8%), nilai stabilitas (1167.3 kg), nilai kelelahan (3.7 mm), dan nilai MQ (320.9 kg/mm). Pada campuran filler abu batu 8% yang tidak memenuhi kriteria adalah nilai VFA (25.2%) dan nilai VIM (31.3%).

Parameter Marshall pada campuran filler cangkang ale-ale 4% dan 8% yang memenuhi spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 (Revisi 2) lapisan aspal AC-BC dan lapisan aspal HRS-WC adalah pada nilai kepadatan, nilai VMA, nilai stabilitas, nilai kelelahan, dan nilai MQ (*Marshall Quotient*). Parameter Marshall pada campuran filler abu batu 4% dan 8% yang memenuhi spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 (Revisi 2) lapisan aspal AC-BC dan lapisan aspal HRS-WC adalah pada nilai kepadatan, nilai VMA, nilai stabilitas, nilai kelelahan, dan nilai MQ (*Marshall Quotient*).

IV KESIMPULAN

Parameter Marshall pada campuran filler cangkang ale-ale 4% dan 8% yang memenuhi spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 (Revisi 2) lapisan aspal AC-BC dan lapisan aspal HRS-WC adalah pada nilai kepadatan, nilai VMA, nilai stabilitas, nilai kelelahan, dan nilai MQ (*Marshall Quotient*). Parameter yang tidak memenuhi pada campuran filler cangkang ale-ale

yaitu VIM dan VFA. Parameter Marshall pada campuran filler abu batu 4% dan 8% yang memenuhi spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 (Revisi 2) lapisan aspal AC-BC dan lapisan aspal HRS-WC adalah pada nilai kepadatan, nilai VMA, nilai stabilitas, nilai kelelahan, dan nilai MQ (*Marshall Quotient*). Parameter yang tidak memenuhi pada campuran filler abu batu yaitu VIM dan VFA.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih disampaikan kepada semua pihak yang telah membantu dalam pelaksanaan penelitian PDP Skema Pusat Dirjen Vokasi Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi. Selain itu, terimakasih juga disampaikan kepada PT. KTU (Karya Terang Utama) Ketapang dan Laboratorium Teknik Sipil Politeknik Negeri Ketapang yang telah membantu kelancaran penelitian ini.

Referensi

- Abidin, Z., Bunyamin, B., & Kurniasarir, F. D. (2021). Uji Marshall Pada Campuran AC-WC Dengan Substitusi Filler. *Jurnal Serambi Engineering*, 6(1), Article 1. <https://doi.org/10.32672/jse.v6i1.2653>
- Aris, M., Sukowati, D. G., & Sitorus, W. P. (2020). Analisa Perbandingan Nilai Uji Marshall Pada Lapis Aspal Beton (Laston) Dengan Menggunakan Material PT. Pro Intertech Indonesia Dengan Material Batu Kapur. *Jurnal Teknik Sipil : Rancang Bangun*, 6(2), Article 2. <https://doi.org/10.33506/rb.v6i2.1144>
- Chen, Y., Xu, S., Tebaldi, G., & Romeo, E. (2022). Role of mineral filler in asphalt mixture. *Road Materials and Pavement Design*, 23(2), 247–286. <https://doi.org/10.1080/14680629.2020.1826351>
- H.p, R., H.Nofrianto, A.Refi, & Anggun.P.JF. (2022). Pengaruh Abu Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Filler Dalam Campuran AC-WC Dengan Pengujian Marshall. *Seminar Nasional Riset & Inovasi Teknologi*, 1(1), Article 1.
- Laila, N., Kurniasari, F., Bunyamin, B., & Amin, A. (2022). Pemanfaatan Abu Cangkang Sawit (ACS) Untuk Substitusi Filler Pada Asphalt Concrete Wearing Course. *Jurnal Teknik Sipil Unaya*, 8(2), Article 2. <https://doi.org/10.30601/jtsu.v8i2.2808>
- Mistry, R., & Kumar Roy, T. (2021). Performance evaluation of bituminous mix and mastic containing rice husk ash and fly ash as filler. *Construction and Building Materials*, 268, 121187. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121187>
- Nisumanti, S., & Yusuf, M. (2020). Pengaruh Arang Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Pengganti Filler Aspal Penetrasi 60/70. *Jurnal Tekno Global*, 8(2), Article 2. <https://doi.org/10.36982/jtg.v8i2.900>
- Nursandah, F., & Zaenuri, M. (2019). Penelitian Penambahan Karet Alam (Lateks) Pada Campuran Laston Ac-Wc Terhadap Karakteristik Marshall. *Civilla: Jurnal Teknik Sipil Universitas Islam Lamongan*, 4(2), Article 2. <https://doi.org/10.30736/cvl.v4i2.375>
- Pane, Y., Suhelmi, & Pasca, D. S. (2021). Analisa Semen Portand Dan Abu Batu Sebagai Filler Dengan Marshall Dan Durabilitas Aspal Hotmix (AC – WC). *Skylandsea Profesional Jurnal Ekonomi, Bisnis Dan Teknologi*, 1(2), Article 2.
- Pareira, R., Nainggolan, T. H., & Santosa, A. (2021). Pengaruh Variasi Temperatur Pada Proses Pemadatan Berdasarkan Uji Marshall Pada Campuran Lapis Beton (Ac-Wc): *Student Journal Gelagar*, 3(1), Article 1.
- Putra, A., Mulyono, T., & Chrisnawati, Y. (2020). Kajian Parameter Marshall Dengan Menggunakan Limbah Serbuk Kerang Hijau Sebagai Filler Campuran Lapis Aspal Beton. *Menara: Jurnal Teknik Sipil*, 15(1), Article 1. <https://doi.org/10.21009/jmenara.v15i1.18124>
- Rumbyarso, Y. P. A., & Ulum, R. B. (2021). Analisis Pengaruh Penggunaan Cangkang Telur Bebek Ras Petelur Sebagai Filler Pada Campuran Aspal Beton. *Jurnal Teknologi*, 11(2), Article 2.
- Safariska, Z., & Kurniasari, F. D. (2020). Pengaruh Abu Cangkang Kemiri Sebagai Substitusi Agregat Halus (Filler) Terhadap Campuran Lapisan AC-WC. *Jurnal Teknik Sipil Dan Teknologi Konstruksi*, 6(1), Article 1. <https://doi.org/10.35308/jts-utu.v6i1.1953>
- Salim, M., & Gunawan, H. (2021). Variasi Persentase Abu Batu Terhadap Karakteristik Marshall Dalam Campuran Hrs Base. *Jurnal Gradasi Teknik Sipil*, 5(2), 96–102. <https://doi.org/10.31961/gradasi.v5i2.1146>
- Sari, K. I. (2021). Pengaruh Serbuk Abu Cangkang Kerang Sebagai Bahan Pengganti Filler Pada Campuran Aspal. *Journal Of Civil Engineering Building And Transportation*, 5(2), Article 2. <https://doi.org/10.31289/jcebt.v5i2.5847>
- SNI 03-2531-1991 *Metode Pengujian Berat Jenis Semen Portland*
- SNI 06-2432:2011 *Cara Uji Daktilitas*
- SNI 06-2433-2011 *Cara Uji Titik Nyala dan Titik Bakar Aspal Dengan Alat Cleveland Open Cup*
- SNI 06-2434:2011 *Cara Uji Titik Lembek Dengan Alat Cincin dan Bola (Ring and Nall)*
- SNI 06-2441:2011 *Cara Uji Berat Jenis Aspal Keras*
- SNI 06-2456:2011 *Cara Uji Penetrasi Aspal*
- SNI 06-2489-1991 *Metode Pengujian Campuran Aspal Dengan Alat Marshall*
- SNI 03-6820-2002 *Sfesifikasi Agregat Halus Untuk Pekerjaan Adukan dan*

History of article:

Received: 24 November 2022, Revised: 20 Juni 2023, Published: 30 Juni 2023

- Plesteran Dengan Bahan Dasar Semen*
SNI 1969-2016 *Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar*
SNI 1970-2008 *Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus*
SNI 1970-2008 *Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus*
SNI ASTM C 136:2012 *Metode Uji Untuk Analisis Saringan Agregat Halus dan Agregat Kasar*
Veranita, V., & Chaira, C. (2019). Pengaruh Pemberian Filler Abu Cangkang Loka Terhadap Parameter Marshall Pada Campuran Aspal Beton. *Jurnal Teknik Sipil Dan Teknologi Konstruksi*, 5(1), Article 1. <https://doi.org/10.35308/jts-utu.v5i1.1085>
Wiyogo, A., Amal, A. S., & Alamsyah, A. A. (2021). PENGARUH PEMAKAIAN PLASTIK LDPE SEBAGAI SUBSTITUSI ASPAL TERHADAP KARAKTERISTIK MARSHALL HRS-WC. *Jurnal Gradasi Teknik Sipil*, 5(1), 45–52. <https://doi.org/10.31961/gradasi.v5i1.1052>
Woszuk, A., Bandura, L., & Franus, W. (2019). Fly ash as low cost and environmentally friendly filler and its effect on the properties of mix asphalt. *Journal of Cleaner Production*, 235, 493–502. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.353>
Wu, W., Jiang, W., Yuan, D., Lu, R., Shan, J., Xiao, J., & Ogbon, A. W. (2021). A review of asphalt-filler interaction: Mechanisms, evaluation methods, and influencing factors. *Construction and Building Materials*, 299, 124279. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124279>