

Pengaruh Variasi Waktu Rendaman Terhadap Durabilitas Campuran *Split Mastic Asphalt* (SMA) dengan Tambahan Arang Tempurung Kelapa sebagai Bahan Tambah pada Aspal

Muhammad Krisna Triandana ¹⁾

Sasana Putra ²⁾

Siti Anugrah Mulya Putri Ofrial ³⁾

Rahayu Sulistyorini ⁴⁾

Abstract

Uncertain weather changes, especially during the rainy season, are one of the causes of road damage. Therefore, maintenance and repairs are needed to maintain road conditions at a reasonable level and slow down the rate of deterioration of road conditions. Good road conditions are greatly influenced by the layers that make up the road itself, one of which is the Split Mastic Asphalt (SMA). It is necessary to increase the strength of the asphalt, one of which is to use coconut shell charcoal ash added because this material has the same compound content as asphalt and can increase the stiffness of the asphalt. The purpose of this study was to determine the characteristics of marshall mixture Split Mastic Asphalt (SMA) using coconut shell charcoal waste as an additive to asphalt. This study uses the immersion method by taking the IDP (First Durability Index) and IDK (Second Durability Index) values. From the results of data processing analysis and literature study, the largest values for IDP and IDK were 0.38% and 21.55%, respectively.

Key words : effect, durability, split mastic asphalt, coconut shell charcoal.

Abstrak

Perubahan cuaca yang tidak pasti terutama pada saat musim hujan menjadi salah satu penyebab kerusakan jalan. Oleh karena itu, diperlukan pemeliharaan maupun perbaikan untuk mempertahankan kondisi jalan pada tingkat yang layak dan memperlambat laju penurunan kondisi jalan. Kondisi jalan yang baik sangat dipengaruhi oleh lapisan-lapisan penyusun jalan itu sendiri, salah satunya adalah lapisan *Split Mastic Asphalt* (SMA). Diperlukan peningkatan kekuatan pada aspal, salah satunya adalah dengan menggunakan bahan tambah abu arang tempurung kelapa karena bahan ini mempunyai kandungan senyawa yang sama dengan aspal dan dapat menambah kekakuan dari aspal tersebut. Tujuan dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik *marshall* pada campuran *Split Mastic Asphalt* (SMA) dengan menggunakan limbah arang tempurung kelapa sebagai bahan tambah pada aspal. Penelitian ini menggunakan metode rendaman dengan mengambil nilai IDP (Indeks Durabilitas Pertama) dan IDK (Indeks Durabilitas Kedua). Dari hasil analisis pengolahan data dan studi literatur, sehingga diperoleh nilai terbesar IDP dan IDK adalah 0,38% dan 21,55%.

Kata kunci : pengaruh, durabilitas, *split mastic asphalt*, arang tempurung kelapa.

¹⁾ Mahasiswa S1 pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung.
Surel: krisnatrion8@gmail.com

²⁾ Dosen pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan. Prof. Sumantri Brojonegoro No.1 . Gedong Meneng Bandar Lampung. 35145.

³⁾ Dosen pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan. Prof. Sumantri Brojonegoro no. 1. Gedong Meneng Bandar Lampung. 35145.

⁴⁾ Dosen pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan. Prof. Sumantri Brojonegoro no. 1. Gedong Meneng Bandar Lampung. 35145.

I. PENDAHULUAN

Jalan raya sebagai salah satu sarana transportasi darat, kegunaannya dirasakan semakin penting untuk menunjang peningkatan perekonomian, informasi, sosial, budaya dan ketahanan nasional. Perkembangan penelitian tentang bahan konstruksi perkerasan jalan khususnya perkerasan lentur (*flexible pavement*) diarahkan pada usaha pemanfaatan material setempat dan disesuaikan dengan kondisi daerah dimana konstruksi pengerasan akan dilaksanakan.

Perubahan cuaca yang tidak pasti terutama pada saat musim hujan menjadi salah satu penyebab kerusakan jalan. Hal ini dapat mempengaruhi kinerja perkerasan aspal, khususnya kemampuan menerima beban, masalah ketahanan dan keawetan (*durability*). Oleh karena itu, diperlukan pemeliharaan maupun perbaikan untuk mempertahankan kondisi jalan pada tingkat yang layak dan memperlambat laju penurunan kondisi jalan. Kondisi jalan yang baik sangat dipengaruhi oleh lapisan-lapisan penyusun jalan itu sendiri, salah satunya adalah lapisan *Split Mastic Asphalt (SMA)*.

Selain itu, diperlukan peningkatan kekuatan pada aspal yang dapat dilakukan dengan beberapa cara, salah satunya adalah dengan menggunakan bahan tambah yang digunakan untuk meningkatkan kualitas dari perkerasan jalan. Maka abu arang tempurung kelapa ini dapat dijadikan sebagai salah satu alternatif untuk zat adiktif dari campuran perkerasan karena abu arang tempurung kelapa mempunyai kandungan senyawa yang sama dengan aspal dan dapat menambah kekakuan dari aspal tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik *marshall* pada campuran *Split Mastic Asphalt (SMA)* dengan menggunakan limbah arang tempurung kelapa sebagai bahan tambah pada aspal.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Penelitian ini melanjutkan dari penelitian sebelumnya oleh Rahmad Dzulhadi dengan judul “Karakteristik Marshall Pada Campuran *Split Mastic Asphalt (SMA)* Dengan Menggunakan Limbah Arang Tempurung Kelapa Sebagai Bahan Tambah Pada Aspal. Penelitian tersebut dilakukan untuk mendapatkan nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) yaitu suatu kadar aspal yang memberikan stabilitas tertinggi pada lapisan perkerasan. Pada penelitian ini difokuskan untuk mengetahui pengaruh arang tempurung kelapa pada campuran *Split Mastic Asphalt (SMA)* terhadap durabilitas. Maka dari itu, dilakukan beberapa variasi perendaman selama 1 hari, 7 hari, 14 hari, 28 hari, 42 hari pada waterbath dengan suhu 60°C.

Berdasarkan penelitian (Setiawan, 2014) tentang “Pengaruh Penuaan dan Lama Perendaman Terhadap Durabilitas Campuran *Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC)*” dan diperoleh hasil pengaruh penuaan dan lama perendaman berpengaruh cukup signifikan terhadap durabilitas campuran *AC-WC*.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Sutazril & Sentosa, 2014) “Durabilitas *AC-WC* Spesifikasi Bina Marga 2010 Menggunakan Pasir Alam Kampar Dengan Uji Rendaman Modifikasi *Marshall*” diperoleh hasil bahwa pada kondisi campuran dengan kadar aspal optimum setelah perendaman 28 hari, variasi penambahan kadar pasir alam 15% memiliki nilai stabilitas tertinggi yaitu 1248,4 kg, dan memiliki Indeks Kekuatan Sisa (IKS) tertinggi yaitu 75,5%.

Indeks Durabilitas Pertama didefinisikan sebagai kelandaian yang berurutan dari kurva keawetan. Indeks durabilitas pertama menunjukkan hilangnya persentase kekuatan selama perendaman, baik itu dalam durasi hari atau jam (Fahmi et al., 2017). Nilai positif (+) yang diperoleh pada indeks durabilitas pertama (r) menunjukkan penurunan persentase indeks durabilitas campuran, sedangkan nilai negatif (-) yang diperoleh menunjukkan meningkatnya persentase indeks durabilitas campuran. Semakin landai penurunan nilai IDP maka semakin kecil kehilangan kekuatan dan semakin curam penurunan nilai IDP maka semakin besar kehilangan kekuatan atau semakin sensitif terhadap perendaman. Rumus untuk menghitung Indeks Durabilitas Pertama beraspal, yaitu (Anggraeni et al., 2019) :

$$r = \sum_{i=0}^{n-1} \frac{S_i - S_{i+1}}{t_{i+1} - t_i} \quad (1)$$

r adalah indeks penurunan stabilitas (%). S_{i+1} adalah persentase kekuatan sisa pada waktu t_{i+1} (%). S_i adalah persentase kekuatan sisa pada waktu t_i (%). t_i , t_{i+1} adalah periode perendaman (dimulai dari awal pengujian).

Indeks IDK dapat didefinisikan sebagai persentase ekuivalen kekuatan sisa satu hari (S_a), nilai absolut dari ekuivalen kehilangan kekuatan (A), nilai absolut kekuatan sisa (S_a) sebagai berikut :

$$a = \frac{1}{t_n} \cdots \sum_{i=1}^n a_i \quad (2)$$

Indeks durabilitas ini menggambarkan kehilangan kekuatan satu hari. 'a' bernilai positif menggambarkan kehilangan kekuatan, sedangkan 'a' bernilai negatif menggambarkan penambahan kekuatan. Semakin kecil nilai IDK maka semakin kecil kehilangan kekuatan dan semakin besar nilai IDK maka semakin besar pula kehilangan kekuatannya atau semakin tidak *durable*.

Berdasarkan definisi tersebut, maka nilai $a < 100$. Oleh karena itu, memungkinkan untuk menyatakan persentase ekuivalen kekuatan sisa satu hari S_a sebagai berikut:

$$\bar{S}_a = 100 - a \quad (3)$$

$$A = \frac{a}{100} \times S_o \quad (4)$$

$$\bar{S}_a = S_a - A \quad (5)$$

Split Mastic Asphalt (SMA) adalah campuran agregat kasar, agregat halus, bahan pengisi, aspal dan bahan tambah, atau merupakan campuran beton aspal panas bergradasi terbuka

yang terdiri dari campuran split, mastik aspal, serta bahan tambah (Tahir, 2011). Pada dasarnya campuran *Split Mastic Asphalt* terdiri dari 3 unsur, dimana agregat sebagai bahan utama, aspal, serta sebagai bahan tambahan. Menurut (Sari, 2020), menyatakan kualitas pengerasan aspal dapat dikarakteristikan dengan kekakuan, stabilitas, daya tahan, permeabilitas, kemampuan bahan, ketahanan leleh, ketahanan selip dan ketahanan terhadap kerusakan kelembapan.

Menurut (Tarigan & Nurdiana, 2017) agregat merupakan butir-butir batu pecah, kerikil, pasir atau mineral lain, baik yang berasal dari alam maupun buatan yang berbentuk mineral padat berupa ukuran besar maupun kecil atau fragmen-fragmen. Sedangkan Gradasi merupakan distribusi partikel agregat yang berada dalam rentang ukuran tertentu dan untuk masing-masing ukuran partikel harus dalam proporsi tertentu (Permana, 2015). Gradasi agregat memiliki satuan dalam persentase tertahan ataupun persentase lolos yang dihitung dari berat agregat (Juharni, 2015). Persentase ini ditentukan dengan menimbang agregat yang lolos atau tertahan pada masing-masing saringan. Gradasi agregat dapat dibedakan atas gradasi seragam, gradasi rapat, dan gradasi senjang.

Ada berbagai macam zat aditif yang ditambahkan pada campuran aspal antara lain, gilsonite, silica, dan lignin. Pada penelitian ini digunakan arang tempurung kelapa dikarenakan arang tempurung kelapa memiliki kandungan silika dan lignin. Pemanfaatan limbah untuk bahan konstruksi disamping akan memberikan penyelesaian permasalahan terhadap lingkungan juga akan meningkatkan mutu bahan konstruksi.

Parameter *Marshall* yaitu terdiri dari 3 parameter yaitu beban maksimum yang dapat diterima benda uji sebelum hancur atau disebut dengan *Marshall Stability*, deformasi permanen dari benda uji sebelum hancur atau disebut *Marshall Flow*, dan turunan atau perbandingan antara *Marshall Stability* dan *Marshall Flow* yang biasa disebut *Marshall Quotient (MQ)*. Pengujian *Marshall* menggunakan alat tekan *Marshall* yang dilengkapi dengan cincin penguji (*Proving Ring*) berkapasitas 22,2 KN (5000 lbs) dan *flow meter*. Benda uji *Marshall* standar berbentuk silinder dengan tinggi 2,5 inch (6,35 cm) dan berdiameter 4 inch (10,16 cm).

III. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Inti Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Penelitian dilakukan dalam kurun waktu satu hari.

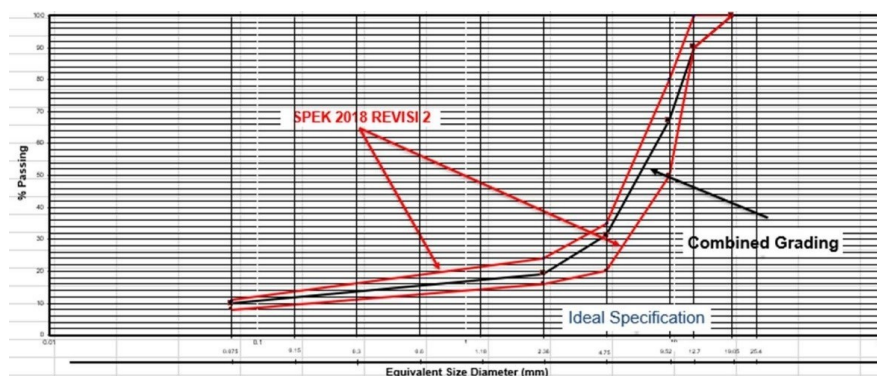
Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah agregat kasar, agregat halus, *filler* atau material lolos saringan No.200, aspal keras dengan penetrasi 60/70, serta bahan pengikat alami (*natural binder*) berupa arang tempurung kelapa.

Prosedur penelitian yang akan dilakukan pada penelitian ini adalah studi literatur, pengambilan bahan penelitian, pengujian bahan, pembuatan benda uji durabilitas, pengujian menggunakan alat *Marshall*, serta menghitung parameter *Marshall*, setelah didapatkan data pada saat penelitian di Laboratorium, akan dilakukan analisa pengolahan data terhadap nilai stabilitas pada campuran aspal dengan penambahan bahan arang tempurung kelapa. Hasil penelitian yang diperoleh berupa nilai Indeks Durabilitas pada campuran *Split Mastic Asphalt* akibat variasi penambahan kadar arang tempurung kelapa.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Agregat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu diantaranya uji analisa saringan, uji berat jenis, uji keausan agregat (*Los Angeles Test*), uji kekuatan agregat terhadap tumbukan (*aggregate impact value*), serta uji kekuatan agregat terhadap tekanan (*aggregate crushing value*). Pengujian yang dilakukan berdasarkan pada ketentuan yang ada pada Standar Nasional Indonesia (SNI) dan *American Society for Testing Material (ASTM)*.

Data hasil pengujian analisa saringan ini menggunakan data sekunder yang diambil dari penelitian sebelumnya oleh Rahmad Dzulhadi dengan judul “Karakteristik *Marshall* Pada Campuran *Split Mastic Asphalt (SMA)* Dengan Menggunakan Limbah Arang Tempurung Kelapa Sebagai Bahan Tambah Pada Aspal”.

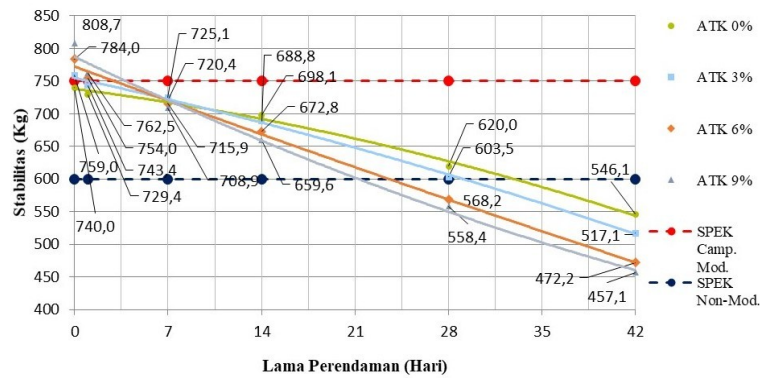


Gambar 1. Grafik Gradasi Kombinasi Analisa Saringan.

Pengujian aspal ini terdiri dari pengujian penetrasi, daktilitas dan titik lembek. Dalam penelitian ini didapat hasil pengujian aspal dengan kadar ATK 0%, 3%, 6% dan 9%. Kekerasan aspal meningkat akibat penambahan arang tempurung kelapa. Hal ini ditunjukkan dengan nilai penetrasi aspal dengan arang tempurung kelapa lebih rendah dibandingkan aspal tanpa arang tempurung kelapa.

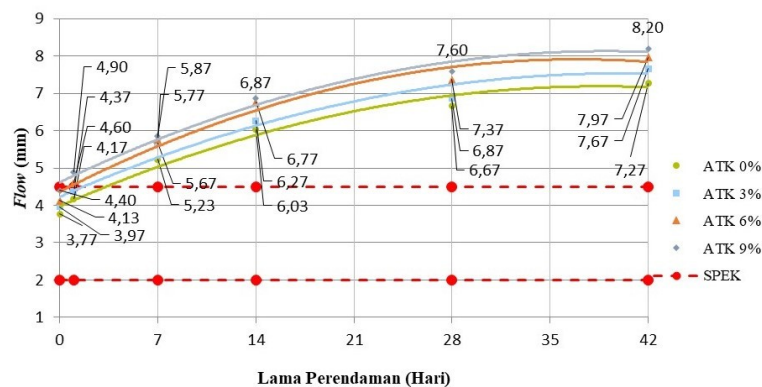
Kadar aspal optimum pada penelitian ini merupakan data sekunder yang didapat berdasarkan penelitian sebelumnya yaitu 6%, 6,1%, 6,25%, dan 6,4%.

Pengujian *marshall* ini digunakan untuk mengetahui nilai karakteristik *marshall* dengan beberapa parameter yaitu Stabilitas, Kelelehan (*flow*), VIM (*Void In Mixture*), VMA (*Void In Mineral Aggregate*), VFA (*Void Filled With Asphalt*) dan MQ (*Marshall Quotient*). Pada pengujian ini menggunakan benda uji dengan campuran aspal dengan tambahan arang tempurung kelapa 0%, 3%, 6% dan 9%. Metode pengujian dilakukan dengan metode rendaman menerus selama 42 hari dalam *waterbath* pada suhu 60°C.



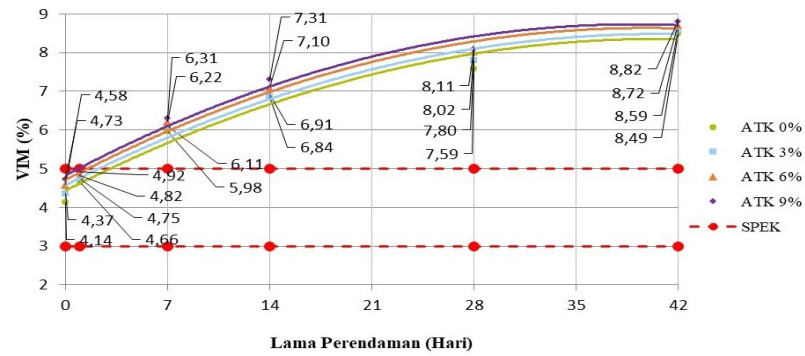
Gambar 2. Grafik Stabilitas Terhadap Arang Tempurung Kelapa.

Dari hasil penelitian didapatkan nilai stabilitas tertinggi yakni pada campuran arang tempurung kelapa 9% pada 30 menit yaitu 808.7 kg, sedangkan nilai stabilitas terkecil pada campuran arang tempurung kelapa 9% pada 42 hari yaitu 457.1 kg. Penurunan stabilitas dapat diakibatkan karena hilangnya adhesi atau ikatan antara agregat dengan aspal.



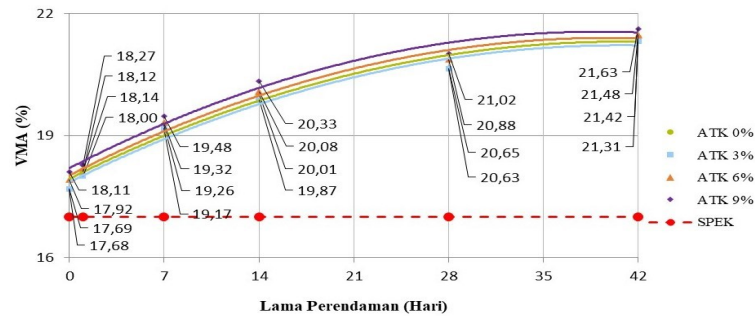
Gambar 3. Grafik Flow Terhadap Arang Tempurung Kelapa.

Seiring dengan bertambahnya waktu perendaman mulai dari perendaman 30 menit sampai 42 hari, nilai rata-rata *flow* mengalami peningkatan pada setiap campuran beraspal yang dimodifikasi dengan penambahan kadar arang tempurung kelapa 0%, 3%, 6%, dan 9%. Peningkatan nilai *flow* dapat disebabkan oleh pengaruh air dan suhu, hal ini dapat berakibat pada penurunan kinerja campuran beraspal terhadap kemampuannya dalam menahan beban yang diberikan.



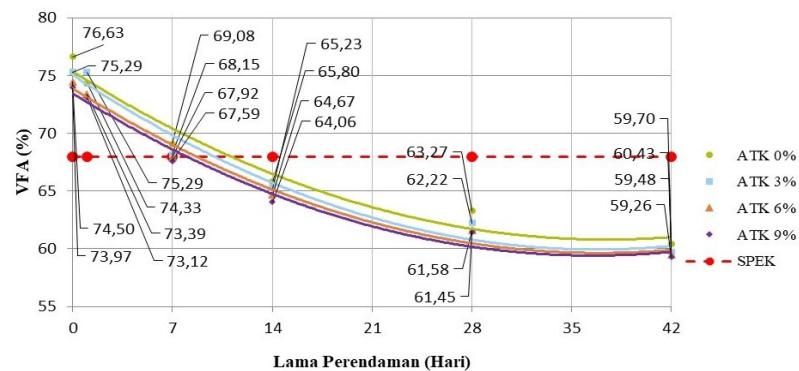
Gambar 4. Grafik VIM Terhadap Arang Tempurung Kelapa.

Campuran arang tempurung kelapa berpengaruh pada meningkatnya nilai VIM. Nilai VIM merupakan rongga dalam agregat, semakin kecil rongga maka semakin bagus lapisan tersebut.



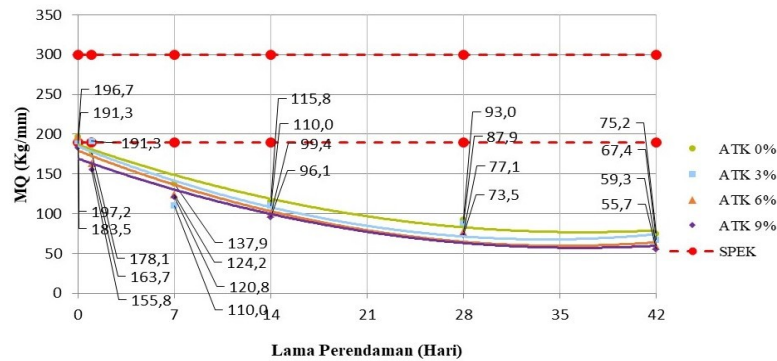
Gambar 5. Grafik VMA Terhadap Arang Tempurung Kelapa.

Campuran arang tempurung kelapa berpengaruh pada meningkatnya nilai VMA. Peningkatan nilai VMA ini disebabkan oleh viskositas bahan ikat yang semakin tinggi dengan bertambahnya kadar arang tempurung kelapa.



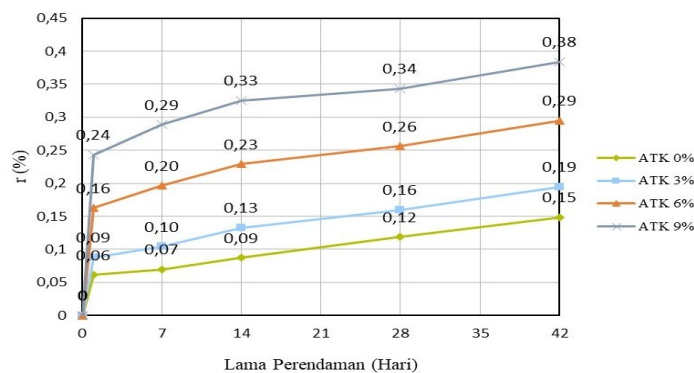
Gambar 6. Grafik VFA Terhadap Arang Tempurung Kelapa.

Dari hasil analisis dapat disimpulkan bahwa dengan bertambahnya kadar serbuk arang tempurung kelapa sebagai bahan campuran SMA, akan mengakibatkan campuran beraspal semakin padat sehingga mengurangi rongga yang ada di dalam campuran.



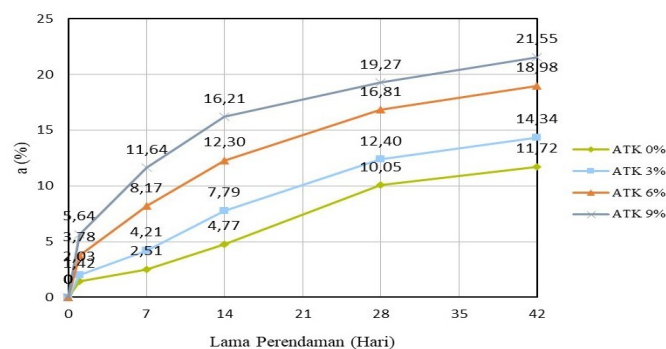
Gambar 7. Perbandingan Nilai Marshall Quotient (MQ) terhadap Penambahan ATK Pasca Rendaman Menerus.

Nilai MQ pada keempat campuran beraspal yang dimodifikasi dengan kadar arang tempurung kelapa 0%, 3%, 6%, dan 9% mengalami penurunan seiring dengan semakin lamanya perendaman dalam *waterbath*.



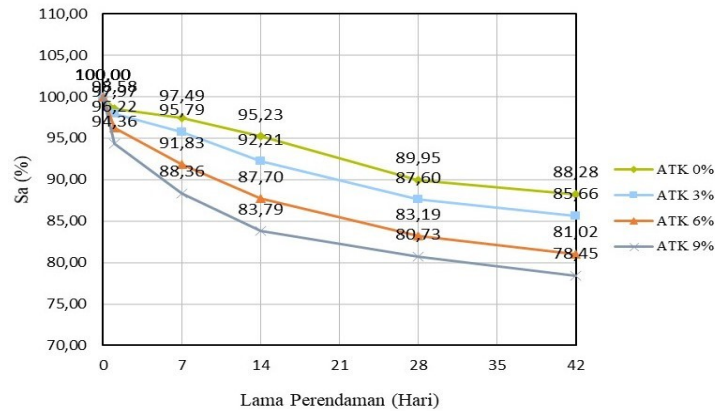
Gambar 8. Kurva Hubungan Penambahan ATK dengan Indeks Durabilitas Pertama (IDP).

Hasil dari nilai kelandaian (r) Indeks Durabilitas Pertama (IDP) pada keempat kadar arang tempurung kelapa menunjukkan nilai yang positif, hal ini menandakan bahwa adanya kehilangan kekuatan pada setiap campuran beraspal seiring dengan lama perendaman.



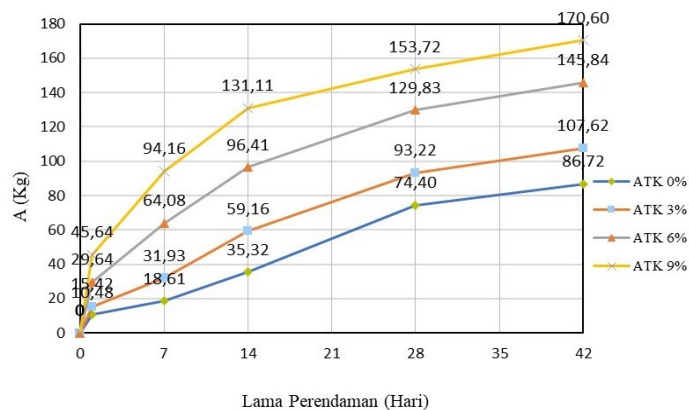
Gambar 9. Kurva hubungan penambahan ATK dengan kehilangan kekuatan (a).

Didapat nilai kehilangan kekuatan (a) pada keempat kadar arang tempurung kelapa bernilai positif yang mengindikasikan bahwa terjadi kehilangan kekuatan seiring dengan semakin lama waktu perendaman dan banyaknya arang tempurung kelapa yang ditambahkan pada campuran beraspal.



Gambar 10. Kurva hubungan penambahan ATK dengan kekuatan sisa (S_a).

Ditinjau dari nilai kehilangan kekuatan (a) dan nilai kekuatan sisa (S_a) campuran beraspal yang tidak dimodifikasi mengalami penurunan atau kehilangan kekuatan tetapi tidak terlalu signifikan, maka campuran beraspal yang tidak dimodifikasi dengan menambahkan arang tempurung kelapa lebih baik digunakan dibandingkan dengan aspal yang dimodifikasi.



Gambar 11. Kurva hubungan penambahan ATK dengan kekuatan sisa (A).

Berdasarkan beberapa hal diatas maka pengaruh dari perendaman terhadap campuran beraspal yang dimodifikasi dengan menambahkan arang tempurung kelapa rentan terhadap pengaruh air dan suhu serta dapat mengurangi kinerja dibandingkan dengan campuran beraspal yang tidak dimodifikasi dengan arang tempurung kelapa. Akibat lama waktu perendaman mengakibatkan berkurangnya durabilitas campuran aspal secara berturut-turut dapat dilihat dari menurunnya nilai Indeks Durabilitas Pertama (IDP) sebesar 0,38% dan nilai Indeks Durabilitas Kedua (IDK) sebesar 21,55%. (Tahir & Setiawan, 2009), melakukan penelitian kinerja durabilitas ditinjau dari faktor variasi suhu pemadatan dan lama perendaman. Hasil penelitian ini menunjukkan nilai Indeks Durabilitas Pertama (IDP) dan nilai Indeks Durabilitas Kedua (IDK) untuk berbagai suhu

pemadatan dan lama rendaman umumnya mengalami kehilangan kekuatan kecuali lama rendaman 4 hari mengalami perolehan kekuatan. (Hendrawan, 2021), meneliti tentang pengaruh rendaman terhadap durabilitas dan kuat tarik campuran AC-WC dengan bahan tambah Eva. Hasil dari penelitian ini untuk nilai indeks durabilitas campuran AC-WC (IDP dan IDK) pada variasi perhitungan 1, 2, dan 3 untuk aspal penetrasi 60/70 berturut-turut sebesar 27% dan 20%, 26,52% dan 19,98%, 26,03% dan 19,04%. Sedangkan untuk campuran dengan pengikat aspal modifikasi EVA berturut-turut sebesar 10,97% dan 8,18%, 9,72% dan 7,80%, 8,24% dan 5,96%. Sehingga bisa dilihat penurunan kekuatan yang paling besar terjadi pada variasi 1 (rendaman menerus) baik untuk campuran dengan pengikat aspal penetrasi 60/70 maupun campuran dengan pengikat aspal modifikasi EVA.

V. KESIMPULAN

Semakin lama waktu perendaman mengakibatkan berkurangnya durabilitas campuran aspal secara berturut-turut diperlihatkan dari menurunnya nilai Indeks Durabilitas Pertama (IDP) sebesar 0,38% dan nilai Indeks Durabilitas Kedua (IDK) sebesar 21,55%.

Semakin besar kadar aspal yaitu semakin rentan terhadap pengaruh air berdasarkan nilai Indeks Durabilitas Pertama (IDP) untuk kadar arang tempurung kelapa 0% 3%, 6%, 9% nilai Indeks Durabilitas Pertama (IDP) secara berturut-turut sebesar 0,15%, 0,19%, 0,29%, dan 0,38% dan nilai Indeks Durabilitas Kedua (IDK) secara berturut-turut sebesar 11,72%, 14,34%, 19,98%, dan 21,55%.

Berdasarkan nilai stabilitas maka kadar arang tempurung kelapa yang direkomendasikan atau yang terbaik adalah 3% karena pada hasil rendaman 0 hari, 1 hari, dan 7 hari nilai stabilitasnya masih lebih besar dari aspal non modifikasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggraeni, I. A., Riyanto, A., Sunarjono, S., & Harnaeni, S. R. 2019. Nilai Durabilitas Dan Nilai Workabilitas Campuran AC-WC Menggunakan Bahan Tambah Genteng Polimer. *Simposium Nasional RAPI XVIII*, 234–241.
- Fahmi, R., Saleh, S. M., & Isya, M. 2017. Pengaruh Lama Rendaman Air Laut Terhadap Durabilitas Campuran Aspal Beton Menggunakan Aspal PEN.60/70 Yang Disubstitusi Limbah Ethylene Vinyl Acetate (EVA). *Teknik Sipil Universitas Syiah Kuala*, 6(3), 271–282.
- Hendrawan. 2021. Kajian Laboratorium Pengaruh Rendaman Terhadap Durabilitas Dan Kuat Tarik Campuran Asphalt Concrete Wearing Course (Ac-Wc) Dengan Bahan Tambah Ethylene Vinyl Acetate (Eva). *Handasah*, 2(1), 13–23.
- Juharni, R. 2015. Analisa Penggunaan Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) Sebagai Bahan Campuran Aspal Dingin Jenis OGEMs Dengan Menggunakan Aspal Emulsi Modifikasi (Studi Kasus Material RAP Jalan Kolonel H. Burlian-Palembang). *Institut Teknologi Sepuluh Nopember*.

- Permana, I. G. B. M. 2015. Analisis Penggunaan Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) Sebagai Bahan Campuran Aspal Dingin Bergradasi Terbuka Dengan Menggunakan Aspal Emulsi Jenis Kationik (Studi Kasus Material RAP dari Jalan Ir. Soekarno, Tabanan). *Institut Teknologi Sepuluh Nopember*.
- Sari, R. R. 2020. Pengaruh Penambahan Lateks Terhadap Durabilitas Campuran Split Mastic Asphalt (SMA). *Universitas Andalas*.
- Setiawan, A. D. A. 2014. Pengaruh Penuaan dan Lama Perendaman terhadap Durabilitas Campuran Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC). *Universitas Muhammadiyah Surakarta*.
- Sutazril, M., & Sentosa, L. 2014. Durabilitas AC-WC Spesifikasi Bina Marga 2010 Menggunakan Pasir Alam Kampar Dengan Uji Rendaman Modifikasi Marshall. *Jom FTEKNIK*, 1(2), 1–11.
- Tahir, A. 2011. Kinerja Campuran Split Mastic Asphalt (SMA) Yang Menggunakan Serat Selulosa Alami Dedak Padi. *Rekayasa Dan Manajemen Transportasi*, 1(1), 27–41.
- Tahir, A., & Setiawan, A. 2009. Kinerja Durabilitas Campuran Beton Aspal Ditinjau dari Faktor Variasi Suhu Pemadatan dan Lama Perendaman. *SMARTek*, 7(1), 45–61.
- Tarigan, B. F., & Nurdiana. 2017. Pengaruh Komposisi Polipropilena Terhadap Kekuatan Asphalt Concrete Wearing Coarse Dengan Pengujian Marshall Test. *Juitech*, 1(1), 28–37.