Jurnal Ilmiah Universitas Batanghari Jambi
Volume 26, Issue 01, Februari 2026, 68-76
Webite: https://ji.unbari.ac.id, E-Mail: jiubj.unbari@gmail.com
e-ISSN: 2549-4236 (Online), p-ISSN: 1411-8939 (Print), DOI: 10.33087/jiubj.v26i1.6267

Model Korelasi Antara Lama Perendaman Campuran Perkerasan AC-WC terhadap Karakteristik Marshall

Alik Ansyori Alamsyah*, Azhar Adi Darmawan
Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Malang
*Correspondence: alik.syah@yahoo.com

ABSTRAK
Jalan adalah sarana transportasi darat yang terdiri dari beberapa material seperti bitumen, filler (bahan pengisi), agregat kasar, dan agregat halus. Salah satu penyebab kerusakan yang sering terjadi selama proses pemeliharaan adalah air. Studi ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana perendaman (air) mempengaruhi sifat Marshall seperti stabilitas, kelelahan plastis, hasil Marshall, dan rongga udara. Uji statistik, sebanyak 3 x 9 benda uji silinder dengan berat 1200 gram dibuat dengan kadar aspal optimum 7.30 %. Dalam penelitian ini, tiga benda uji digunakan untuk masing-masing dengan waktu perendaman 2, 4, 6, 8, 10, 12, 24, 48, dan 72 jam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perendaman mempengaruhi Stabilitas Marshall, Kelelehan Plastis, Hasil Marshall, dan Rongga Udara pada sifat campuran AC-WC. Stabilitas Marshall, persamaannya adalah: Y = -10,67x + 2288,5. Stabilitas Marshall diperkirakan akan mencapai persyaratan setelah 172,31 jam. Persamaan untuk nilai kelelehan plastis adalah Y = 7E-05x2 – 0,0291x + 3,4923. Nilai Hasil Marshall dapat ditemukan dengan persamaan berikut: Y = -0,0042X2 + 0,3556X + 6,1448. Setelah 95,5 jam, Marshall Qoutient diperkirakan akan di bawah persyaratan. Dan persamaan untuk nilai rongga udara adalah Y = 0,0006X2 - 0,072 X + 5,1632. Dan diperkirakan Rongga Udara akan mencapai dibawah persyaratan setelah umur 20 jam.

Kata Kunci: model korelasi, lama perendaman, perkerasan AC – WC, karakteristik marshall.

ABSTRACT
Roads are a means of land transportation composed of several materials, such as bitumen, filler, coarse aggregate, and fine aggregate. Water is a common cause of damage during maintenance. This study aims to determine how immersion (water) affects Marshall properties such as stability, plastic fatigue, Marshall yield, and air voids. For statistical testing, three x nine cylindrical test specimens weighing 1200 grams were manufactured with an optimum asphalt content of 7.30%. In this study, three specimens were used, each with immersion times of 2, 4, 6, 8, 10, 12, 24, 48, and 72 hours. The results showed that soaking affected Marshall Stability, Plastic Yield, Marshall Yield, and Air Voids in the properties of the AC-WC mixture. Marshall Stability, the equation is: Y = -10.67x + 2288.5. Marshall Stability is expected to reach the requirements after 172.31 hours. The equation for the plastic yield strength is Y = 7E-05x2 – 0.0291x + 3.4923. The Marshall Yield Value can be found using the following equation: Y = -0.0042X2 + 0.3556X + 6.1448. After 95.5 hours, the Marshall Quotient is estimated to be below the required value. The equation for the air void value is Y = 0.0006X2 - 0.072X + 5.1632. The air void value is estimated to be below the required value after 20 hours.

Keywords: *correlation model, soaking time, AC - WC hardening, marshall characteristics.*

PENDAHULUAN

Untuk meningkatkan ketersediaan transportasi darat di negara yang sedang berkembang seperti Indonesia, jalan adalah sarana penting yang harus diperhatikan dalam pembangunan dan pemeliharaan. Dalam proses pemeliharaan, kerusakan jalan kadang-kadang terjadi lebih awal dari masa pelayanan karena berbagai alasan, termasuk tindakan manusia dan kondisi alam. Air, perubahan suhu, cuaca, dan temperatur udara adalah beberapa faktor alam yang dapat memengaruhi kualitas perkerasan jalan (Alamsyah, 2005).

Di Indonesia, dengan iklim tropis, banyak masalah kualitas dan keawetan jalan yang disebabkan oleh faktor alam, terutama air, baik dari sistem drainase jalan maupun air yang berasal dari air hujan. Karena konstruksi jalan dilindungi dari pengaruh air, diharapkan umur konstruksi akan lebih lama (Buku Panduan Pratikum Jalan Raya). Fenomena kerusakan perkerasan akibat pengaruh air biasanya terkait dengan penurunan stabilitas Marshall akibat melemahnya ikatan aspal–agregat karena penetrasi air (stripping), deformasi plastis yang meningkat ketika aspal kehilangan daya lekatnya, sensitivitas terhadap lama perendaman yang berbeda pada tiap campuran, tergantung pada kadar aspal, gradasi agregat, dan kepadatan. Masalah yang sering muncul adalah kurangnya model prediksi yang dapat memperkirakan penurunan sifat Marshall berdasarkan durasi perendaman, variasi hasil uji yang tinggi karena metode penelitian yang berbeda, misalnya kondisi perendaman, suhu air, atau jenis aspal. Dimana lapisan aspal beton mengurangi rembesan air (Asparini & Sulistiono, 2008).

Sebab kalau rembesan air tersebut besar, meskipun secara struktur badan jalan cukup kuat, maka dengan adanya rembesan tersebut mengakibatkan badan jalan atau campuran aspal beton akan menjadi lembek. Karena rembesan air yang besar akan membuat badan jalan atau campuran aspal beton lembek meskipun strukturnya kuat. Selain itu, campuran aspal yang terdiri dari agregat kasar, agregat halus, dan filler yang benar-

benar kedap air tidak digunakan (Mashuri & Batti, 2011). Untuk mengetahui seberapa besar dampak faktor air pada konstruksi jalan, penelitian harus dilakukan, dalam hal ini perendaman air terhadap campuran AC-WC. Penelitian harus dilakukan untuk mengetahui seberapa besar dampak faktor air pada konstruksi jalan, dalam hal ini perendaman air terhadap campuran AC-WC.

Rumusan masalah berikut dapat dibuat berdasarkan penjelasan di atas: Seberapa besar pengaruh perendaman campuran AC-WC pada stabilitas, kelelahan plastik, rongga udara, dan hasil Marshall. Dalam penelitian ini permasalahan akibat perendaman pada campuran AC-WC adalah sangat beragam, sebab untuk mengetahui besar pengaruh perendaman terhadap campuran AC-WC tersebut diperlukan penelitian jangka pendek dan jangka panjang. Untuk penelitian jangka pendek dapat dilakukan di laboratorium untuk mengetahui pengaruh sifat fisik aspal dan hasil pengujian campuran. Sedangkan untuk mengetahui perilaku dari adanya pengaruh perendaman pada campuran AC-WC harus diadakan penelitian jangka panjang yaitu penelitian di lapangan. Kondisi iklim tropis dengan curah hujan tinggi di Indonesia menyebabkan lapisan perkerasan sering terpapar air dalam jangka waktu lama, baik melalui infiltrasi dari permukaan maupun genangan di permukaan jalan. Perendaman yang terlalu lama dapat memicu terjadinya kerusakan prematur seperti raveling, bleeding, atau penurunan stabilitas struktural. Oleh karena itu, analisis hubungan lama perendaman terhadap karakteristik Marshall menjadi penting untuk memprediksi durabilitas AC–WC. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui seberapa besar pengaruh perendaman terhadap sifat-sifat campuran AC - WC terhadap stabilitas, kelelehan plastis, rongga udara dan hasil bagi marshall.

Tinjauan Literatur

Lapis Perkerasaan AC-WC

Beton aspal bergradasi menerus AC-WC, juga dikenal sebagai AC (Asphalt Concrete), adalah jenis beton aspal yang paling umum digunakan di jalan dengan banyak kendaraan. Karakteristik beton aspal yang terpenting pada campuran ini adalah stabilitas (Alamsyah & Meiyanto, 2016). Manfaat dari pembuatan beton asfalt AC-WC (asphalt concrete) adalah untuk membuat lapisan permukaan atau lapis antara pada perkerasan jalan raya yang dapat memberikan daya dukung yang dapat diukur dan juga berfungsi sebagai lapisan kedap air yang dapat melindungi konstruksi yang berada di bawahnya. Lapis aspal beton harus memiliki tingkat kenyamanan dan keamanan yang tinggi sebagai lapis permukaan (Petunjuk Pelaksanaan Lapis Aspal Beton (ATB), 1987). Asphalt Concrete terdiri dari tiga jenis campuran berdasarkan fungsinya; Asphalt Concrete-Binder Course (AC-BC), yang berfungsi sebagai lapisan pengikat, adalah salah satunya.

Spesifikasi AC-WC

Untuk rancangan AC-WC, spesifikasi fraksi agregat kasar yang tertahan saringan #8 adalah 2,36 mm (Petunjuk Pelaksanaan Lapis Aspal Beton (ATB) Untuk Jalan Raya, 1987). Namun, menurut SNI 03-6819-2002, filler dari sumber bahan mana pun harus terdiri dari bahan yang saringan #8 (2,36 mm) dan pasir atau hasil pengayakan batu pecah.

Material Kontruksi AC-WC

Menurut Direktorat Jendral Bina Marga (1996), campuran AC-WC terdiri dari aspal, filler, agregat kasar, dan halus. Agar gradasi campuran yang diperlukan dicapai, agregat yang terdiri dari berbagai fraksi harus dicampur dengan perbandingan yang sesuai. Gradasi agregat dan bahan pengisi harus sesuai dengan persyaratan.

Agregat

Agregat/batuan merupakan komponen utama dari lapisan perkerasaan jalan yaitu mengandung 90-95% agregat berdasarkan persentase berat atau 75-85% agregat berdasarkan persentase volume (Sukirman, 2016). Dengan demikian daya dukung, keawetan dan mutu perkerasaan jalan ditentukan juga dari sifat agregat dan hasil campuran agregat dengan material lain.

Filler

Filler pada umumnya harus lebih kurang sesuai dengan gradasi yang disyaratkan dibawah dan harus terdiri dari satu atau lebih pasir alam atau hasil pengayakan batu pecahan atau kombinasi yang cocok darinya.

Filler harus terdiri dari partikel yang keras, bersih, dan bebas dari gumpalan lempung atau mineral lain yang tidak diinginkan.

Aspal

Aspal adalah material utama pada konstruksi lapis perkerasan lentur (flexible favement) jalan raya, yang berfungsi sebagai campuran bahan pengikat agregat, karena mempunyai daya lekat yang kuat, mempunyai sifat adhesi, kedap air dan mudah dikerjakan. Aspal merupakan bahan plastis yang dengan kelenturannya mudah diawasi untuk dicampur dengan agregat (Alamsyah, 2015). Aspal yang digunakan sebagai material perkerasaan jalan berfungsi sebagai: (a) bahan pengikat, memberikan ikatan yang kuat antara aspal dan agregat dan antara sesama aspal; dan (b) bahan pengisi, mengisi rongga antar butir agregat dan pori-pori yang ada di dalam butir agregat itu sendiri.

Perendaman Perkerasan Jalan

Air merupakan salah satu faktor utama yang menyebabkan baik tidaknya mutu perkerasan pada konstruksi jalan. Air yang dapat mempengaruhi baik tidaknya mutu perkerasan jalan dapat ditemukan dalam

bentuk air tanah (dalam tanah), air permukaan (kolam, sungai) ataupun air hujan (yang akan menjadi air permukaan jika telah sampai dan berkumpul di permukaan). Air dapat mempengaruhi mutu dan merusak jalan dalam dua cara, yaitu dengan membawa tanah (erosi/penggerusan) maupun dengan membuat jalan itu sendiri berkurang kekuatannya terhadap lalu- lintas (menurunkan kapasitas daya dukung jalan) (Pedoman Perencanaan Campuran Beraspal Dengan Pendekatan Kepadatan Mutlak, 1999). Air yang berasal dari hujan itulah yang menyebabkan terjadinya genangan – genangan disekitar maupun dibadan jalan, sehingga badan jalan akan terendam oleh air.

Dengan terendamnya konstruksi jalan, akan dapat mengakibatkan lepasnya ikatan butiran – butiran agregat dari aspal, dan bahkan aspal akan mengalami pengelupasan, sehingga lapisan perkerasan tidak lagi kedap air dan rusak. Salah satu fungsi dari lapisan campuran aspal adalah untuk menahan rembesan air. Karena rembesan air yang besar akan melemahkan struktur badan jalan. Karena tidak ada campuran agregat kasar, agregat halus, aspal, dan filler yang benar-benar kedap air (Badan Litbang Departemen Pekerjaan Umum, 1991). Ini menunjukkan bahwa terendamnya aspal jalan dapat menyebabkan penurunan mutu perkerasan jalan, yang ditunjukkan dengan terlepasnya ikatan butiran aspal (butiran agregat) dan terkelupasnya aspal dari struktur jalan. Untuk itu, penelitian ini meneliti dampak air dengan perendaman di laboratorium untuk mengetahui seberapa besar dampak air.

METODE

Populasi yang dimaksud dalam penelitian ini adalah campuran AC-WC, sementara sampel penelitian adalah campuran AC-WC setelah direndam dalam waktu yang cukup lama. Penelitian ini sebenarnya berfokus pada pembuatan capuran AC-WC dengan volume campuran yang diusahakan sebatas kebutuhan untuk membuat benda uji berbentuk silinder. Meskipun demikian penelitian ini berorientasi ke dalam pelaksanaan di lapangan dimana volume campuran AC - WC relatif sangat besar jika dibandingkan dengan benda uji penelitian. Campuran AC - WC terdiri dari bahan penyusun, maka dalam penelitian ini juga akan dijelaskan mengenai populasi dan sampel dari bahan penyusun tersebut.

Bahan – bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah berupa komponen penyusun campuran AC - WC, yang terdiri dari: (a) agregat kasar (batu pecah), dari pemecah batu; (b) agregat halus (pasir), dari pasir alam sungai brantas; (c) filler, yang berupa semen dan dipakai semen gresik; dan (d) aspal, yang ada di laboratorium dengan penetrasi 60/70. Selanjutnya, benda uji dibuat sesuai dengan tujuan penelitian, yaitu untuk mengetahui bagaimana perendaman berdampak pada sifat campuran AC-WC seperti stabilitas, kelelahan plastis, rongga udara, dan hasil bagi Marshall.

Rancangan penelitian tersebut terdiri dari :

a. Pemilihan agregat dan penentuan sifat-sifatnya, dengan melakukan kegiatan pemeriksaan terhadap agregat kasar, agregat halus, filler/bahan pengisi dan aspal.
b. Untuk agregat kasar, yang diperiksa adalah : abrasi atau keausan agregat dengan mesin los angeles; berat jenis dan penyerapan air agregat; dan analisa saringan agregat kasar
c. Untuk agregat halus, yang diperiksa adalah : berat jenis dan penyerapan air agregat; pemeriksaan sand equivalent; dan analisa saringan agregat halus
d. Dan, untuk aspal yang diperiksa adalah : penetrasi, titik lembek, titik nyala dan titik bakar; dan daktilitas
e. Perencanaan komposisi campuran dengan penentuan campuran nominal terlebih dahulu.
f. Mencari kadar aspal optimum, yaitu dengan melakukan kegiatan pemeriksaan sifat campuran terhadap proporsi agregat kasar dan agregat halus terpilih dengan variasi kadar aspal yang digunakan yaitu 4.2%, 5.2%; 6.2%; 7.2%, dan 8.2%, masing-masing dua benda uji, sehingga jumlah sampel untuk mencari kadar aspal optimum ada 10 sampel.
g. Setelah kadar aspal optimum diperoleh, selanjutnya dibuat benda uji aspal beton yang dipergunakan untuk mencari besar pengaruh perendaman aspal beton, dengan variasi waktu 2, 4, 6, 8, 10, 12, 24, 48 dan 72 jam, yang masing – masing perlakuan terdiri dari tiga benda uji, sehingga jumlahnya ada 27 benda uji.
h. Pemeriksaan dengan alat Marshall terhadap Stabilitas, Kelelehan Plastis, Rongga Udara, dan Hasil Bagi Marshall.
i. Setelah pemeriksaan dengan alat Marshall, kemudian dilakukan analisa terhadap benda uji.
j. Didapatkan hasil analisa terhadap benda uji.

Pengujian Benda Uji dengan Marshall Test.

Sebelum pengujian dengan Marshall Test dilakukan, batang penuntun (guide rod) dan kepala penekan (test head) dibersihkan terlebih dahulu agar kepala penekan dapat meluncur bebas, maka batang penuntun dilumasi, kepala penekan direndam bersama-sama benda uji pada suhu 21ºC sampai 38ºC. Benda uji dikeluarkan dan diletakkan dalam mesin penguji, arloji kelelehan (flow meter) dipasang pada kedudukannya diatas salah satu batang penuntun dan diatur jarum jam penunjuknya pada angka nol. Selanjutnya selubung tangkai arloji (sleeve) dipegang terhadap segmen atas kepala penekan (breaking head) dan ditekan selama pembebanan berlangsung.

Pada saat pembebanan akan diberikan, terlebih dahulu benda uji dinaikkan hingga menyentuh atas cincin penguji dan jarum arloji diatur pada angka nol. Pembebanan diberikan dengan kecepatan tetap 50 mm/menit sampai pembebanan tercapai, yaitu pembebanan menurun yang ditunjukkan oleh jarum arloji tekan. Saat pembebanan maksimum tercapai selubung

tangkai arloji kelelehan segera dilepaskan. Nilai stabilitas didapat dari jarum penunjuk pada arloji tekan dan nilai kelelehan didapat dari jarum penunjuk pada arloji kelelehan saat tercapai pembebanan maksimum (Metode Pengujian Titik Nyala dan Titik Bakar dengan Cleveland Open Cup, 1991).

Teknik Analisa Data

Teknik analisa data dalam penelitian ini adalah analisa data dari hasil pengujian benda uji yang meliputi Stabilitas, Kelelehan Plastis (Flow Marshall), Rongga Udara (Air Void), dan Hasil Bagi Marshall (Marshall Quetient). Analisa data hasil pengujian bahan adalah berupa pengujian kebenaran hipotesa yang telah ditetapkan, yaitu adanya pengaruh waktu perendaman campuran AC-WC terhadap Stabilitas Marshall. Untuk menganalisa suatu pengaruh atau model hubungan antara variable yang satu dengan yang lain dapat diperoleh melalui analisa regresi. Untuk mendapatkan model yang sesuai, dilakukan pengujian dengan uji F-hitung terhadap koefisien regresi, simpangan model, serta penyelidikan terhadap koefisien korelasi dan determinasinya.\

Ada beberapa model regresi yang digunakan untuk mencari model yang paling sesuai sebagai pendugaan untuk menyatakan hubungan antar variable, antara lain: model regresi linier, bentuk persamaannya : Y = b0 + b1X; model regresi polynomial, bentuk persamaannya : Y = b0 + b1X + b2X; model regresi kuadratik, bentuk persamaannya : Y = b0 + b2X; dan, model regresi kubik, bentuk persamaannya : Y = b0 + b3X. Uji yang dipakai dalam penelitian ini adalah uji penduga model regresi yang paling sesuai dan memenuhi kriteria penelitian, yang mana dalam penelitian ini analisa regresi yang dipakai salah satunya.

HASIL

Hasil Pemeriksaan Bahan Penyusun

Setelah dilakukan pemeriksaan bahan sesuai dengan prosedur kerja tiap-tiap jenis percobaan sebagaimana yang telah disebutkan sebelumnya, maka akan ditunjukkan perencanaan campuran dan hasil pemeriksaannya.

Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat

Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat pada penelitian ini hanya terbatas pada tiga jenis agregat saja, yang meliputi : agregat kasar, pasir alam dan abu batu.

Agregat Kasar

Setelah dilakukan pemeriksaan didapatkan hasil sebagai berikut: berat jenis *(bulk specific gravity)* sebesar 2.765 gr/cm³; berat jenis kering permukaan *(saturated surface dry)* sebesar 2.825 gr/cm³; berat jenis semu *(apparent specific gravity)* sebesar 2.93 gr/cm³; penyerapan air *(absorbsion)* sebesar 1.97 % dari berat agregat kering.

Pasir

Pasir untuk penelitian ini berasal dari Sungai Brantas. Setelah diadakan pemeriksaan didapatkan hasil sebagai berikut: Berat jenis *(bulk specific gravity)* sebesar 2.34 gr/cm³; berat jenis kering permukaan *(saturated surface dry)* sebesar 2.39 gr/cm³; berat jenis semu *(apparent specific gravity)* sebesar 2.46 gr/cm³; dan Penyerapan air *(absorbsion)* sebesar 2.04 % dari berat agregat kering.

Abu Batu

Abu batu yang dipakai dalam penelitian ini adalah berasal dari pecahan batu. Setelah diadakan pemeriksaan didapatkan hasil sebagai berikut: berat jenis *(bulk specific gravity)* sebesar 2.41 gr/cm³; berat jenis kering permukaan *(saturated surface dry)* sebesar 2.50 gr/cm³; berat jenis semu *(apparent specific gravity)* sebesar 2.64 gr/cm³; dan penyerapan air *(absorbsion)* sebesar 3.52 % dari berat agregat kering.

Pemeriksaan Aspal

Aspal penetrasi 60/70 pertamina digunakan sebagai pengikat. Dan setelah dilakukan pemeriksaan didapatkan hasil sebagai berikut: penetrasi 67 dalam satuan 0,1 mm; titik lembek 50 ºC; titik nyala 232ºC; daktilitas 135 cm; dan berat jenis .

Perencanaan Campuran AC – WC

Sesuai dengan persyaratan proporsi campuran dan persyaratan sifat – sifat campuran aspal, maka dapat direncanakan campuran nominal sebagai berikut : Fraksi Agregat Kasar (CA) = 50.25%; Fraksi Agregat Halus (FA) = 37.75%; Fraksi Filler (FF) = 5.50%; dan Kadar Aspal (b) = 6.50%.

Menentukan Proporsi Campuran Nominal

Fraksi rencana untuk agregat kasar :

$$CA = 50.25\ \% = A \cdot \frac{98.58}{100} + B \cdot \frac{19.12}{100} + C \cdot \frac{0}{100}$$

Fraksi rencana untuk agregat halus :

$$CA = 37.75\ \% = A \cdot \frac{0.91}{100} + B \cdot \frac{78.35}{100} + C \cdot \frac{0}{100}$$

Fraksi rencana untuk bahan pengisi :

$$CA = 5.50\ \% = A \cdot \frac{0.51}{100} + B \cdot \frac{2.53}{100} + C \cdot \frac{0}{100}$$

Proporsi penakaran *(Batch Proportion)* dapat diperoleh dengan memecahkan persamaan di bawah ke dalam bentuk matrik:

$$\begin{bmatrix} CA \\ FA \\ FF \end{bmatrix} = \frac{1}{100} \begin{bmatrix} 98.58 & 19.12 & 0 \\ 0.91 & 78.35 & 0 \\ 0.51 & 2.53 & 100 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A \\ B \\ C \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} CA \\ FA \\ FF \end{bmatrix} = \frac{1}{100} [S] \begin{bmatrix} A \\ B \\ C \end{bmatrix}$$

Determinan dari matrik $[S]$:

$$[S] = \begin{vmatrix} 98.58 & 19.12 & 0 & 98.58 & 19.12 \\ 0.91 & 78.35 & 0 & 0.91 & 78.35 \\ 0.51 & 2.53 & 100 & 0.51 & 2.53 \end{vmatrix}$$

$= 772374.3 + 0 + 0 - 0 - 1739.92 = 770634.38$

Transpose matrik $[S]$ =

$$[S]^T = \begin{bmatrix} 98.58 & 0.91 & 0.51 \\ 19.12 & 78.35 & 2.53 \\ 0 & 0 & 100 \end{bmatrix}$$

Adjoint dari matrik

$$\left([S]^T \right)^C = \begin{bmatrix} 7835 & -1912 & 0 \\ -91 & 9858 & 0 \\ -37.66 & -239.66 & 7706.34 \end{bmatrix}$$

$$\text{Invers dari matrik } [S]^{-1} = \frac{1}{770634.38} \begin{vmatrix} 7835 & -1912 & 0 \\ -91 & 9858 & 0 \\ -37.66 & -239.66 & 7706.34 \end{vmatrix}$$

Proporsi penakaran *(Batching Proportion)* agregat kasar A, agregat halus B dan bahan pengisi C adalah :

$$\begin{bmatrix} A \\ B \\ C \end{bmatrix} = \frac{1}{770634.38} \begin{bmatrix} 7835 & -1912 & 0 \\ -91 & 9858 & 0 \\ -37.66 & -239.66 & 7706.34 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} A \\ B \\ C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 41.723 \\ 47.697 \\ 4.080 \end{bmatrix}$$

Perhitungan Matrik didapatkan: A = CA = 41.723 (Agregat Kasar); B = FA = 47.697 (Agregat Halus); dan C = FF = 4.080 (Filler). Sehingga rancangan campuran nominal yang diperlukan, adalah : Agregat Kasar = 41.72%; Pasir = 47.70%; Filler/ Bahan Pengisi = 4.08%; dan Kadar Aspal = 6.50%

Penentuan Kadar Aspal

Setelah perbandingan agregat didapatkan, maka perkiraan absorbsi aspal perlu disesuaikan dengan rancangan campuran nominal. Perhitungan absorbsi aspal yang nantinya dipakai untuk mengoreksi kadar aspal yang diperlukan, diperkirakan 50% dari absorbsi air gabungan agregat (0,5 Wabs). Perhitungan besarnya perkiraan absorbsi aspal adalah sebagai berikut: Kadar aspal efektif = 5.5%; Absorbsi air (40 % Wabs) = 0.718%; Total kadar aspal ijin = 6.218%; Total kadar aspal minimum = 6.0%; dan Kadar aspal campuran nominal terpilih = 6.218%. Menurut perhitungan tersebut, kadar aspal campuran yang dipilih adalah 6.218%. Oleh karena itu, proporsi pasir alam dan abu batu dalam campuran nominal harus diubah untuk memastikan bahwa campuran total tetap 100%. Proporsi campuran ini adalah sebagai berikut: Agregat Kasar (CA) = 41.72%; Agregat Halus (FA) = 47.98%; Filler (FF) = 4.08%; Kadar Bitumen (b) = 6.22%.

Penyesuaian Gradasi Campuran Karena Pengaruh Aspal

Dalam merencanakan campuran, gradasi dinyatakan dalam 100% terhadap berat total agregat. Sehingga gradasi campuran nominal agregat perlu disesuaikan, untuk itu setiap jenis agregat harus dikalikan dengan faktor 100/(100-b). Dimana b adalah kadar bitumen, yaitu sebesar 7.3 % sehingga didapat gradasi campuran sebagai berikut: Agregat Kasar (CA) = 45.005%; Agregat Halus (FA) = 50.594%; dan Filler (FF) = 4.401%

Hasil Penelitian Kadar Aspal Optimum AC - WC Penetrasi 60/70

Sebelum pembuatan benda uji campuran aspal yang menggunakan AC - WC penetrasi 60/70 untuk mengetahui pengaruh perendaman campuran AC - WC ini, maka dicari terlebih dahulu kadar aspal optimumnya, yang mana variasi kadar aspal yang dipakai adalah dengan menggunakan campuran AC - WC penetrasi 60/70, yaitu 4.22%, 5.22%, 6.22%, 7.22% dan 8.22% dari keseluruhan berat agregat.

Perhitungan Berat Kumulatif Kadar Aspal Optimum Campuran AC - WC Penetrasi 60/70

Setelah kadar aspal optimum diperoleh yaitu 7.3%; karena memenuhi persyaratan spesifikasi kadar aspal pada campuran AC - WC, maka dipakai kadar aspal optimum yang telah diperoleh yaitu 7.3%; Batu pecah = 41.72%; Pasir = 46.90%; Filler = 4.08%; Aspal = 7.30%. Proporsi campuran agregat (%): Batu pecah = 45.005%; Pasir = 50.594%; Filler = 4.401%

Pembuatan Benda Uji dengan campuran AC - WC Penetrasi 60/70

Langkah awal dalam pembuatan benda uji adalah menentukan gradasi terhadap material agregat dan pasir yang akan digunakan. Mengambil agregat yang kemudian dicuci dan dioven. Dengan analisa saringan material tadi kemudian dipisahkan atas beberapa fraksi. Prosentase masing- masing fraksi ditentukan sedemikian rupa sehingga penggabungan fraksi tersebut berada dalam batas spesifikasi. Secara matematis perhitungan berat kumulatif agregat untuk pembuatan benda uji dapat dirumuskan:

P = {1200 – (b/100 x 1200)} x {100% - % Lolos Saringan)

Dimana : b = Kadar Aspal; P = Berat Agregat Kumulatif; Berat Total Campuran = 1200 gram; dan Pemeriksaan Benda Uji Campuran AC - WC Penetrasi 60/70

Tahap akhir dari serangkaian percobaan yang dilakukan adalah berupa pengujian benda uji. Pemeriksaan benda uji adalah untuk mengetahui sejauh mana pengaruh perbedaan waktu perendaman campuran AC-WC terhadap Stabilitas Marshall.

Pengaruh Perendaman Terhadap Stabilitas Marshall
Analisa Regresi Untuk Model Regresi Penduga
Model regresi : $Y = b + b_1.X + b_2X^2 = 697285,1$
Sidik Ragam regresi; JKT = y = 2411816,19
JKR = b . xy = (-10,67 x -98659,39) = 1052695,69
JKS = JKT – JKR = 2411816,19 – 1052695.69 = 1359120,5
r = JKR / JKT = 1052695,69 / 2411816,19 = 0,44
r = 0,66
KTR = JKR / (p – 1) = 1052695,69 / (2 – 1) = 1052695,69
KTS = JKS / (n – p) = 1359120,5 / (19 – 2) = 79948,26
F = KTR / KTS = 1052695,69 / 79948,26 = 13,17
Uji Simpangan Model
JKGM = ∑Y1 - {(∑Y1) /k } = 200638,95
JKSM = JKS – JKGM = 1359120,5 - 200638,95 = 1158481,55
dbGM = 10
dbSM = dbsisa – dbGM = 17 – 10 = 7
KTSM = JKSM / dbSM = 1158481,55 / 7 = 165497,36
KTGM = JKGM / dbGM = 200638,95 / 10 = 20063,89
F = KTSM / KTGM = 165497,36 / 20063,89 = 8,25.

Aspal digunakan sebagai bahan pengikat. Hasil uji statistik menunjukkan bahwa perendaman memengaruhi stabilitas campuran AC-WC (Tabel 6 dan Gambar 1), Ini menunjukkan penurunan nilai Stabilitas, tetapi penurunan tersebut masih di bawah spesifikasi Bina Marga (minimal 450 kg). Oleh karena itu, ketika ada perbedaan waktu perendaman antara 2 jam dan 72 jam terhadap campuran AC-WC tersebut berdampak signifikan pada nilai stabilitas, seperti yang ditunjukkan oleh persamaan berikut: Y = – 10,678x + 2288,6 (F-hitung regresi = 13,17 > F-tabel = 8,40 pada taraf probabilitas 0,01). Dan setelah 172,31 jam, Stabilitas Marshall diperkirakan akan memenuhi persyaratan. Jika dilihat dari nilai r^2 dapat dikatakan bahwa dengan derajat keterandalan 44%, sekitar 44% variasi Y (Stabilitas) dapat diterangkan oleh X (Waktu Perendaman) menurut persamaan diatas. Walaupun simpangan model yang ditunjukkan adalah signifikan (FSM = 8,25 > F-tabel = 6,62 pada taraf probabilitas 0,01).

Nilai Stabilitas Marshall bisa dipakai sebagai pendekatan kemampuan dari campuran aspal untuk menahan desakan akibat beban yang diteruskan ataupun beban berulang dari lalu lintas. Nilai Stabilitas Marshall yang tinggi akan berakibat campuran yang terlalu kaku (stiff) dan kurang awet. Dan sebaliknya, Stabilitas Marshall yang terlalu rendah akan mengakibatkan permukaan menjadi shoving dan rutting serta akan menimbulkan alur bekas kendaraan (Silvia Sukirman – Perkerasan Lentur Jalan Raya). Nilai Stabilitas Marshall harus minimal 450 kg dalam spesifikasi Bina Marga untuk campuran AC-WC. hasil pengujian dalam penelitian ini menunjukkan bahwa nilai Stabilitas Marshall masih memenuhi persyaratan Bina Marga, walaupun nilai dari Stabilitas Marshall tersebut mengalami penurunan. Untuk mengetahui kebenaran hipotesa, yaitu adanya pengaruh perendaman terhadap Stabilitas Marshall dilakukan analisa statistik. Selain itu, seperti yang dapat dilihat dari analisis statistik yang dilakukan pada Tabel 6, akan ada dampak pada nilai Stabilitas Marshall jika ada perbedaan dalam variasi waktu perendaman.

Hal tersebut ditunjukkan dengan F-hitung = 13,17 > F-tabel = 8,40 pada taraf probabilitas 0.01, sehingga H1 diterima dan H0 ditolak. Jadi, sangat berpengaruh pada Stabilitas Marshall dengan adanya perendaman pada campuran AC - WC. Selain itu, nilai Stabilitas Marshall mencapai titik tertingginya sebesar 2586,37 kilogram selama 6 jam perendaman dalam penelitian ini.

Tabel 1
Tebal Nominal Minimum Campuran beraspal

Jenis Campuran		Simbol	Tebal Nominal Minimum (cm)
AC-WC	Lapis Aus	AC-WC	4,0
	Lapis Antara	AC-BC	6,0
	Lapis Pondasi	AC-Base	7,5

Sumber: Kementrian Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Bina Marga (2010)

Tabel 2
Gradasi Filler untuk AC - WC

Ukuran Saringan		Persen Berat yang Lolos
MM	ASTM	
9,5	3/8”	100
4,75	# 4	72 – 100
2,36	# 8	72 – 100
600	# 30	25 – 100
75	# 200	0 – 8

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga (1996)

Tabel 3
Persyaratan Aspal Keras

No	Jenis Pemeriksaan	Penetrasi 60/70		Satuan
		Min	Max	
1	Penetrasi	60	69	0.1 mm
2	Titik Lembek	46	54	ºC
3	Titik Nyala	225	-	ºC
4	Daktilitas	100	-	cm

Sumber: data olahan

Tabel 4
Hasil Penelitian Uji Marshall Untuk Mencari Kadar Aspal Optimum AC - WC Penetrasi 60/70

No	Kadar Aspal %	Stabilitas		Flow (mm)	Marshall Quotient (KN/mm)	Rongga Udara (%)
		Dibaca (0.0001)	Disesuaikan (Kg)			
1	4.22	109	1330.75	265	4.92	15.23
2	4.22	144	1645.12	4.20	3.84	16.87
3	5.22	170	2060.89	4.35	4.64	11.30
4	5.22	137	1626.16	2.08	7.66	15.48
5	6.22	131	1709.14	2.27	7.38	9.74
6	6.22	102	1397074	2.25	6.09	6.80
7	7.22	91	1292.50	2.70	4.69	2.13
8	7.22	64	8870.70	2.74	3.18	3.00
9	8.22	69	986.82	3.78	2.60	2.60
10	8.22	54	775.60	3.63	2.09	1.73

Sumber: data olahan

Tabel 5
Perhitungan Berat Kumulatif Agregat Kadar Aspal Optimum Berat benda uji = 1200 gram.

Kadar Aspal		7.30
Kebutuhan Aspal		*87.6*
Kebutuhan Agregat		1112.4
No. Saringan	GL	GC
¾ “	100	0
½ “	98.72	14.239
3/8 “	91.30	96.779
No. 4	73.59	293.785
No. 8	54.19	509.590
No. 16	43.51	628.395
No. 30	30.21	776.344
No. 50	18.52	906.383
No. 100	10.04	1000.715
No. 200	5.22	1054.333
Filler		**1112.4**

Sumber: data olahan

Tabel 6
Hasil penelitian Uji Marshall Pengaruh Perendaman Campuran AC – WC

No	Waktu Perendaman (Jam)	Stabilitas		Flow (mm)	Marshall Quotient (KN/mm)	Rongga Udara (%)
		Dibaca (0.0001)	Disesuaikan (Kg)			
1		145	2314.77	3.68	7.352	6.17
2	2	120	1830.74	1.95	6.062	9.20
3		123	1876.16	5.20	4.299	3.54
4		131	2189.38	4.40	7.179	4.88
5	4	170	2830.63	2.98	3.525	9.31
6		150	2393.63	2.52	4.428	9.31
7		169	2468.78	4.15	4.901	5.83
8	6	172	2737.47	1.8	5.331	14.91
9		153	2552.86	2.6	3.396	9.63

Tabel 6
Hasil penelitian Uji Marshall Pengaruh Perendaman Campuran AC – WC (lanjutan)

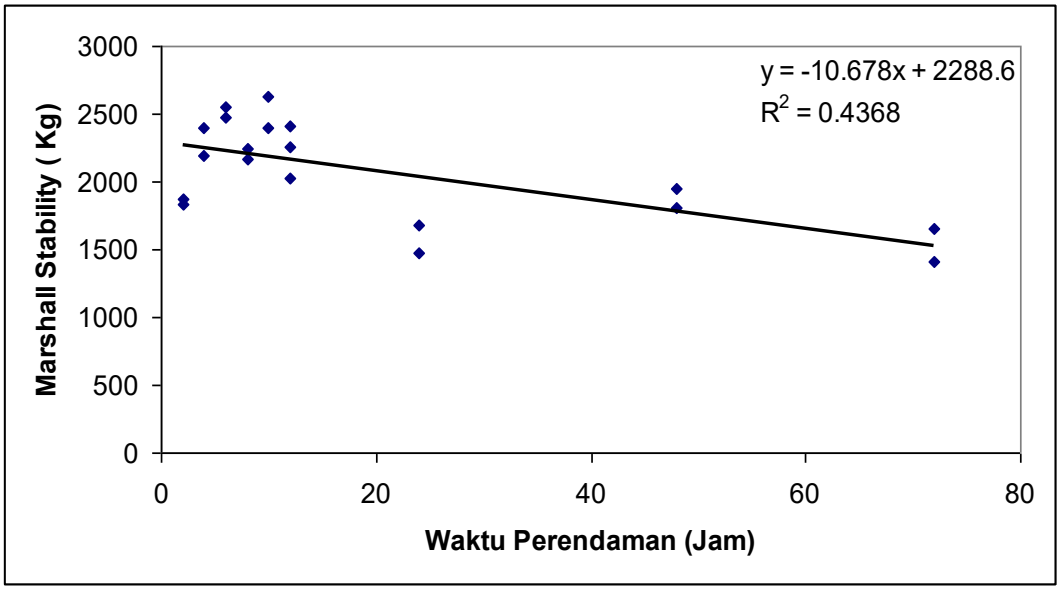
No	Waktu Perendaman (Jam)	Stabilitas		Flow (mm)	Marshall Quotient (KN/mm)	Rongga Udara (%)
		Dibaca (0.0001)	Disesuaikan (Kg)			
10		148	2167.05	2.10	3.396	10.12
11	8	167	2659.95	3.42	4.858	4.62
12		134	2238.96	1.84	4.557	11.93
13		150	2393.63	1.78	4.170	13.18
14	10	180	2624.98	4.36	3.783	5.90
15		99	1677.76	1.50	4.342	10.96
16		116	2026.97	2.42	3.912	8.21
17	12	144	2404.41	3.01	4.514	7.83
18		129	2250.65	1.93	3.783	11.43
19		91	1479.22	3.42	4.084	6.66
20	24	99	1677.76	2.18	3.353	6.55
21		188	3404.68	1.40	4.213	12.85
22		64	1045.17	2.70	3.095	3.79
23	48	112	1803.25	1.02	3.568	17.33
24		111	1951.58	1.05	3.396	18.22
25		65	1104.88	1.10	3.052	9.85
26	72	98	1648.29	2.10	2.451	7.69
27		83	1404.37	1.05	3.224	13.11

Sumber: data olahan

Tabel 7
Sidik Ragam Regresi dan Uji Simpangan Model (Stabilitas Marshall)

Sumber Keseragaman	db	JK	KT	F-hitung	F-tabel	
					0,05	0,01
Regresi	1	1052695,69	1052695,69	13,17	4,45	8,4
Sisa	17	1359120,5	79948,26			
Galat Murni	10	200638,95	20063,89	8,25	3,63	6,62
Simp. Model	7	1158481,55	165497,36			
Total	19	2411816,19				

Sumber: data olahan



Sumber: data olahan

Gambar 1.
Grafik Hubungan Waktu Perendaman dengan Stabilitas Marshall

SIMPULAN

Hasil penelitian ini menyimpulkan bahwa sifat campuran AC-WC, termasuk stabilitas (Stability), kelelehan plastis (Flow), rongga udara (Air Void), dan hasil Marshall, sangat dipengaruhi oleh perendaman. Hal tersebut dibuktikan dengan adanya pengujian perhitungan statistik (Uji F). Dengan demikian adanya perendaman sangat mempengaruhi baik tidaknya mutu dan sifat perkerasan jalan campuran AC - WC.

hasil pengujian campuran AC - WC menunjukkan adanya variasi perendaman dari umur 2 jam sampai dengan 72 jam yang berpengaruh terhadap nilai Stabilitas yaitu dengan ditunjukkan oleh persamaan : Y = -10,67x + 2288,5 (F-hitung regresi = 13,17 > F-tabel = 8,40 pada taraf probabilitas 0,01). Dan diperkirakan Stabilitas Marshall akan mencapai dibawah persyaratan setelah umur 172,31 jam. Nilai Kelelehan Plastis, dari uji statistik didapat bahwa ada sedikit pengaruh akibat perendaman dari umur 2 jam sampai dengan 72 jam terhadap Kelelehan Plastis pada campuran AC-WC, di mana persamaannya adalah Y = 7E-05x2 – 0,0291x + 3,4923, dengan F-hitung regresi = 2,31, dan F-tabel = 3,63 pada taraf probabilitas 0,05. Nilai Hasil Bagi Marshall menunjukkan adanya variasi perendaman dari umur 2 jam sampai dengan 72 jam terhadap campuran AC - WC tersebut berpengaruh terhadap nilai Hasil Marshall, yaitu persamaan berikut: Y = -0,0042X2 + 0,3556X + 6,1448, dengan F-regresi hitung 3,90 lebih besar daripada F-tabel 3,63 pada taraf probabilitas 0,05. Setelah 95,5 jam, Marshall Qoutient diperkirakan akan di bawah persyaratan; dan nilai Rongga Udara, perendaman dari umur 2 jam sampai dengan 72 jam terhadap campuran AC - WC tersebut berpengaruh yaitu dengan ditunjukkan oleh persamaan : $Y = 0{,}0006X^2 - 0{,}072\ X + 5{,}1632$ (F-hitung regresi = 10,78 > F-tabel = 5,93 pada taraf probabilitas 0,01). Hal ini disebabkan Rongga Udara dalam campuran AC - WC semakin rapat terisi oleh air. Dan diperkirakan Rongga Udara akan mencapai dibawah persyaratan setelah umur 20 jam.

DAFTAR PUSTAKA

Alamsyah, A. A., 2005, *Rekayasa Jalan Raya*, UMM Press.

Alamsyah, A. A., Meiyanto, H. E., 2016, Penggunaan Abu Ampas Tebu (Bagasse Ash Of Sugar Cane) sebagai Bahan Pengganti Filler pada Campuran Aspal Panas (Hot Mix) Latasir B, *J. Media Tek. Sipil*, 14(1), 15

Alamsyah, A. A., 2015, Korelasi Antara Temperatur Pemadatan Pada Campuran Aspal Beton Hasil Daur Ulang Terhadap Stabilitas Marshall, *J. Media Tek. Sipil*, 13(1), 21

Asparini, A., Sulistiono, D., 2008, Pemanfaatan Bahan Limbah Untuk Perkerasan Lentur Jalan Raya, 3(85), 9–18

Badan Litbang Departemen Pekerjaan Umum, 1991, *Metode Pengujian Penetrasi Bahan-Bahan Bitumen*.

Badan Litbang Departemen Pekerjaan Umum, 2012, *SNI.13.6000.03.06: Angka Kalibrasi Alat Uji Tekan*.

Badan Litbang Departmen Pekerjaan Umum, 1991, *Metode Pengujian Titik Lembek Aspal Dan Ter*.

Badan Litbang Departmen Pekerjaan Umum, *1991, Metode Pengujian Titik Nyala dan Titik Bakar dengan Cleveland Open Cup*.

Departemen Pekerjaan Umum, 1987, *Petunjuk Pelaksanaan Lapis Aspal Beton (ATB) SKBI – 2.4.26*.

Departemen Pekerjaan Umum, 1987, *Petunjuk Pelaksanaan Lapis Aspal Beton (ATB) Untuk Jalan Raya*.

Departemen Pekerjaan Umum, 1999, *Pedoman Perencanaan Campuran Beraspal Dengan Pendekatan Kepadatan Mutlak*. Indonesia

Mashuri, M., Batti, J. F., 2011, Pemanfaatan Material Limbah Pada Campuran Beton Aspal Campuran Panas, *Mektrik*, 13(3)

Sukirman, 2016, *Beton Aspal Campuran Panas*, 53(9)

Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Malang, 2011, *Buku Panduan Praktikum Jalan Raya, Pemeriksaan Bahan Aspal Beton Campuran Panas (Hot-Mix)*.