



Prediksi Retak Perkerasan Jalan Pada Campuran *Cold Mix Asphalt* (CMA) Lapis Aus

Hery Awan Susanto^{1,*}, Bambang Edison², Dani Nugroho Saputro¹

¹Program Studi Teknik Sipil
Universitas Jenderal Soedirman
Purbalingga
hery.susanto@unsoed.ac.id
Dani.saputro@unsoed.ac.id

²Program Studi Teknik Sipil
Universitas Pasir Pengaraian
Riau
Bambang.edison@upp.ac.id

ABSTRAK

Cold Mix Asphalt dikenal sangat ramah lingkungan namun memiliki beberapa kerugian, salah satunya adalah menurunnya kekuatan dari perkerasan jalan itu sendiri. Dengan menurunnya kekuatan pada perkerasan jalan, akan sangat memungkinkan bila terjadi retak. Retak dapat disebabkan apabila tegangan tarik yang terjadi pada lapisan aspal melampaui tegangan tarik maksimum yang mampu ditahan oleh perkerasan tersebut. Penelitian ini membahas tentang prediksi retak pada lapis AC-WC campuran *cold mix asphalt* menggunakan variabel temperatur dengan suhu 50, 60, 70° C durasi rendaman selama 2, 4, dan 6 jam. Metode yang digunakan untuk penelitian ini adalah eksperimental, dimana untuk memprediksi retak perkerasan jalan digunakan alat ITS (*Indirect Tensile Strength*). Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai ITS untuk masing-masing besarnya temperatur 25, 50, 60, 70 °C rata-rata sebesar 291,99, 227,31, 187,84, dan 148,2 kPa. Sedangkan untuk rendaman selama 0, 2, 4, 6 jam didapatkan rata-rata sebesar 291,99, 261,78, 230,54, dan 210 kPa. Dapat disimpulkan bahwa dengan bertambahnya temperatur dan lamanya rendaman, akan meningkatkan potensi retak yang terjadi pada perkerasan tersebut.

Kata kunci: CMA; retak; ITS; temperature; rendaman

ABSTRACT

Cold Mix Asphalt (CMA) is known to be very environmentally friendly. However, it has several disadvantages and among those is the decreased strength of the road pavement. With a decrease in the strength of the road pavement, it is very possible for cracking to occur. Cracking could happen when the tensile stress on an asphalt layer exceeds the maximum tensile stress that the pavement could withstand. This research discusses the prediction of cracking in the AC-WC layer of cold mix asphalt mixture with temperature variables of 50, 60, and 70° C with dipping duration variations of 2, 4, and 6 hours. The method used for this research was experimental where the ITS (*Indirect Tensile Strength*) tool was used to predict pavement cracking. The results showed that the ITS values for the temperature variations of 25, 50, 60, and 70° C averaged in 291.99, 227.31, 187.84, and 148.2 kPa. As for the 0, 2, 4, and 6 hours of dipping duration variations, the average numbers were 291.99, 261.78, 230.54, and 210 kPa. As a conclusion, the higher the temperature and the longer the duration of dipping are, the higher is the potential for cracking to occur on the pavement.

Keywords: CMA; cracking; ITS; temperature; dipping

1. PENDAHULUAN

Menurut Sukirman [1], perkerasan jalan adalah lapisan perkerasan yang terletak di antara lapisan tanah dasar dan roda kendaraan, yang berfungsi memberikan pelayanan kepada transportasi, dan selama masa pelayanannya diharapkan tidak terjadi kerusakan yang berarti. Masing-masing lapis perkerasan (AC-WC, AC-BC atau AC-Base) mempunyai spesifikasi khusus serta struktural

yang berbeda. Campuran jenis fleksibel (*flexible pavement*) dapat dibuat dengan 3 (tiga) cara yaitu pencampuran panas (*hot-mix asphalt*, HMA), pencampuran hangat (*warm-mix asphalt*, WMA) dan pencampuran dingin (*cold-mix asphalt*, CMA). Pada saat proses pencampuran, agregat dipanaskan hingga 140°C-200°C (untuk HMA), atau dipanaskan hingga 60°C-100°C (untuk WMA) dan tanpa pemanasan (CMA). Secara umum, karakter HMA adalah unggul *properties engineeringnya* namun tidak ramah lingkungan, sedangkan CMA dikenal sangat ramah lingkungan namun *properties engineeringnya* rentan dengan prosedur pencampurannya. [2].

CMA juga memiliki beberapa kerugian, salah satunya adalah menurunnya kekuatan dari perkerasan jalan itu sendiri. Dengan menurunnya kekuatan pada perkerasan jalan, akan sangat memungkinkan bila terjadi kerusakan pada jalan. Salah satu kerusakan jalan yang sering terjadi adalah retak. Retak (*cracking*) adalah jenis gangguan perkerasan aspal yang dipicu oleh adanya kerusakan pada permukaan perkerasan akibat pembebanan oleh lalu lintas. Jenis-jenis retak pada perkerasan lentur terdiri dari retak memanjang, retak melintang, retak blok, retak tepi, dan retak buaya. Pada retak blok, utamanya terjadi karena penyusutan lapis beraspal atau karakteristik aspal, dan temperatur, bukan akibat beban lalu lintas.

Umumnya, retak dapat disebabkan apabila tegangan tarik yang terjadi pada lapisan aspal melampaui tegangan tarik maksimum yang mampu ditahan oleh perkerasan tersebut. Retak (*cracking*) juga dapat disebabkan oleh beberapa faktor, seperti bahan perkerasan atau kualitas material yang kurang baik, pelapukan aspal, tingginya air tanah pada perkerasan jalan, suhu, penuaan pada aspal, dan banyak faktor lainnya. Sehingga, penelitian ini akan membahas mengenai pengaruh temperatur dan rendaman terhadap retak perkerasan jalan. Nilai gaya tarik maksimum yang dapat diterima oleh aspal, yang nantinya dapat digunakan untuk memprediksi retak pada perkerasan, dapat dilakukan dengan pengujian *Indirect Tensile Strength* (ITS). Pengujian ITS hampir sama dengan pengujian marshall, yang membedakan adalah pada pengujian *indirect tensile strength* (ITS) menggunakan plat dengan bentuk cekung yang memiliki lebar 12,5 mm pada bagian penekan marshall. Campuran aspal AC-WC merupakan lapisan paling atas dari struktur perkerasan yang berhubungan langsung dengan roda kendaraan. Prediksi retak dengan menggunakan jenis campuran ini diharapkan lebih akurat untuk memprediksi retak karena lapis inilah yang menjadi lapis pertama yang menerima beban lalu lintas.

Beberapa penelitian terdahulu telah membahas beberapa cara mengatasi kekurangan *Cold Mix Asphalt*, namun belum ada yang membahas tentang prediksi retak perkerasan jalan pada campuran CMA. Sehingga perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai prediksi retak perkerasan jalan pada campuran CMA. Studi ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variabel temperatur lapangan dan rendaman pada aspal terhadap retak (*cracking*) pada lapis AC-WC campuran CMA. Hasil penelitian ini diharapkan mampu menggambarkan hubungan variabel-variabel tersebut terhadap retak pada perkerasan jalan campuran CMA. Sehingga dapat diperoleh campuran perkerasan jalan yang ramah lingkungan dan mengurangi dampak kelelahan yang akan berpengaruh pada retak (*cracking*).

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gradasi Campuran AC-WC

Gradasi gabungan untuk campuran beraspal dingin dengan asbuton butir dan aspal emulsi yang ditunjukkan dalam persen berat harus memenuhi batas-batas

yang diberikan dalam **Error! Reference source not found.** Gradasi gabungan merupakan gradasi dari agregat kasar, halus dan mineral asbuton.

Tabel 2. 1 Persyaratan Campuran Aspal Dingin

Sumber: Spesifikasi Bina Marga Umum 2010

Ukuran Saringan	Persyaratan Gradasi Gabungan Lapis Permukaan 12,5 mm
1"	
3/4" (19)	100
1/2" (12,5)	90-100
3/8" (9,5)	68-85
No.4 (4,76)	45-70
No.8 (2,36)	25-55
No.50 (0,300)	5-20
No.200 (0,075)	2-9

2.2 Cold Mix Asphalt

Campuran aspal dingin merupakan campuran agregat dengan aspal emulsi atau aspal cair yang dicampur dengan perbandingan tertentu menggunakan *unit pan mixer* atau *paddle mixer* atau alat pencampur beton semen. Campuran aspal dingin dihampar dan dipadatkan dalam keadaan dingin [3]. Campuran aspal dingin harus memenuhi persyaratan seperti yang tertera pada **Error! Reference source not found.**

Tabel 2. 2 Persyaratan Campuran Aspal Dingin

Sifat Campuran	Persyaratan
Jumlah tumbukan	2x50
Rongga di antara mineral agregat (VMA). (%)	Min. 16
Rongga dalam campuran (VIM) Marshall, (%)	3 – 12
Stabilitas Marshall pada 22° C (kg)	Min. 450

2.3 Aspal Emulsi

Aspal emulsi adalah aspal cair yang dihasilkan dengan cara mendispersikan aspal keras ke dalam air atau sebaliknya dengan bantuan bahan pengemulsi. Berdasarkan muatan listrik yang dikandungnya aspal emulsi dapat dibedakan atas:

- Aspal kationik, disebut juga aspal emulsi asam, merupakan aspal emulsi yang bermuatan arus listrik positif.
- Aspal anionik, disebut juga aspal emulsi alkali, merupakan aspal emulsi yang bermuatan arus listrik negatif.
- Nonionik, merupakan aspal emulsi yang tidak menghantarkan arus listrik.

Berdasarkan kecepatan mengerasnya aspal emulsi dapat dibedakan atas:

- Rapid Setting (RS), aspal yang mengandung sedikit bahan pengemulsi sehingga pengikatan yang terjadi cepat.
- Medium Setting (MS).
- Slow Setting (SS), aspal emulsi yang paling lama menguap.

Bahan aspal emulsi untuk *cold mix* harus memenuhi persyaratan yang disediakan dalam Tabel 2. 3

Tabel 2. 3 Persyaratan Rancangan Campuran Aspal

Rancangan Campuran	Standar Rujukan	Jenis Aspal Cair atau Emulsi	
		C	E
Aspal Cair	SNI 03-4799-1998	MC 250 MC 800	-

Rancangan Campuran	Standar Rujukan	Jenis Aspal Cair atau Emulsi	
		C	E
Aspal Emulsi	SNI 03-4798-1998	-	CMS2 CMS2-h CSS1

Sumber : Spesifikasi Bina Marga Umum 2010

2.4 Kelelahan

Kelelahan merupakan suatu fenomena timbulnya retak akibat beban berulang yang terjadi karena pengulangan tegangan atau regangan yang batasnya masih dibawah batas kekuatan material [4]. Besar tegangan dan regangan yang terjadi tergantung pada beban kendaraan, dan sifat-sifat dasar dari perkerasan jalan secara keseluruhan. Penentuan kuat kelelahan (*fatigue*) dinyatakan dengan jumlah pengulangan pembebanan hingga runtuh, selain dengan pengujian di laboratorium, juga dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan empiris (perhitungan teoritis). Salah satu persamaan yang dapat digunakan adalah persamaan yang dikembangkan oleh Asphalt Institute (AI), yaitu :

$$N_f = f_1 \cdot (\varepsilon_t)^{-f_2} \cdot (E)^{-f_3} \quad (1)$$

Dengan:

N_f = Jumlah pengulangan pembebanan hingga runtuh (*cycles*)

ε_t = Regangan tarik yang terjadi

E = Modulus elastisitas campuran (psi)

$f_1, f_2, \text{ dan } f_3$ = konstanta dengan nilai masing-masing 0,0796; 3,291; dan 0,85

2.5 Pengujian Kuat Tarik Tidak Langsung

Kuat tarik tidak langsung (*Indirect tensile strength*) adalah salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengetahui nilai gaya tarik dari campuran aspal. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui indikasi terjadinya retak dilapangan. Pengujian ini hampir sama dengan pengujian *Marshall*, yang membedakan hanyalah pada pengujian kuat tarik tidak langsung (ITS) tidak menggunakan cincin penguji namun menggunakan plat berbentuk cekung dengan lebar 12,7 mm pada bagian penekan *Marshall*. Kenyataannya yang terjadi di lapangan adalah saat suatu perkerasan jalan menerima beban dari arus lalu lintas yang melintas di atasnya maka material lapisan permukaan bagian atas mendapatkan gaya tekan, sedangkan material bagian bawah mendapatkan gaya tarik. Pemberian beban pada pengujian kuat tarik tidak langsung atau *Indirect Tensile Strength* (ITS) akan mengakibatkan kenaikan tegangan (*stress*) yang akan diikuti pula dengan kenaikan regangan (*strain*). Saat tercapainya suatu regangan tertentu dan benda uji mulai runtuh atau mengalami retak, berarti tegangan yang terjadi telah mencapai maksimum. Setelah itu regangan yang akan terjadi semakin besar, yang disebabkan oleh semakin rendahnya ikatan dalam benda uji karena mengalami retak yang berakibat pada pecahnya benda uji

Berdasarkan beban maksimum yang bekerja pada benda uji pada saat mengalami kegagalan, ITS dihitung dengan :

$$ITS = \frac{2P_{max}}{\pi d t} \quad (2)$$

Dimana :

ITS : *Indirect Tensile Strength* (kPa)

P_{max} : maksimal pembebanan (kN)

t : tinggi rata – rata benda uji (m)

d : diameter benda uji (m)

3. METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Pada penelitian ini digunakan metode eksperimental. Metode eksperimental dilakukan dengan cara melakukan percobaan atau melakukan pengamatan untuk memperoleh data guna dianalisis sehingga didapatkan hasil dari penelitian. Nantinya akan diketahui apakah hasil dari penelitian sesuai dengan hipotesis awal atau tidak.

3.2 Variabel Penelitian

Dalam penelitian ini terdapat 2 jenis variabel yaitu variabel bebas dan terikat. Variabel bebas yang dimaksud adalah pengaruh temperatur dan lamanya perendaman, sedangkan variabel terikatnya adalah nilai ITS yang akan mewakili prediksi retak pada *cold mix asphalt* lapis AC-WC.

3.3 Benda Uji

Penelitian ini dilakukan dalam 2 (dua) tahap, tahap pertama menentukan perkiraan kadar aspal residu optimum (KARO) dan pembuatan benda uji, tahap kedua pembuatan benda uji dengan menggunakan kadar aspal residu optimum untuk pengujian ITS.

a. Mencari Kadar Aspal Optimum

$$Pb = \{0,05(\%CA) + 0,1(\%FA) + 0,5(\%filler) \times K\} \quad (3)$$

$$K = 0,7 \text{ (Laston)}$$

$$Pb = ((0,05 \times 42,5) + (0,1 \times 52) + (0,5 \times 5,5)) \times 0,7 \\ = 7,05 \%$$

b. Mencari Kadar Aspal Residu Optimum

$$KARO = (P/X) \% \quad (4)$$

$$X = 60,1\%$$

Nilai residu aspal sebesar 60,1% didapatkan dari pengujian penyulingan aspal

$$KARO = (7,05/60,1) \%$$

$$KARO = 11,73 \% \cong 11,5 \%$$

Keterangan :

Pb = Perkiraan kadar aspal optimum

CA = Nilai presentase agregat kasar

FA = Nilai presentase agregat halus

K = Konstanta (untuk laston 0,5 - 1)

X = Residu Aspal

Setelah didapatkan nilai KARO, nilai KARO digunakan untuk pembuatan sampel dengan variabel rendaman dan temperatur dan diuji menggunakan alat ITS. Dengan variasi 25,50,60,70 °C, dan 2,4,6 jam yang masing-masing berjumlah 3 sampel sehingga total sampel sebanyak 21 sampel.

3.4 Analisis Data

a. Analisis Karakteristik *Marshall*

Setelah data benda uji diinput dan di analisis didapatkan nilai-nilai dari karakteristik *Marshall* yaitu nilai stabilitas, *flow*, MQ, *density*, VIM, VMA, VFA.

b. Analisis Karakteristik ITS Modifikasi

Setelah data-data diinput dengan rumus persamaan (2) didapatkan nilai kuat tarik tidak langsung dengan satuan kPa.

4. HASIL PENELITIAN

4.1 Pemeriksaan Agregat

Pengujian agregat yang dilakukan terdiri dari pengujian agregat halus, agregat kasar dan *filler*. Hasil pengujian agregat kasar, agregat halus, dan *filler* dapat dilihat pada **Error! Reference source not found.**, Tabel 4. 2., Tabel 4. 3.

Tabel 4. 1 Pengujian Agregat Kasar

Jenis Pengujian	Hasil	Syarat
Abrasi dengan mesin <i>Los Angeles</i> 100 Putaran	3%	Maks. 8%
500 Putaran	17%	Maks. 40%
Berat jenis <i>bulk</i> (gr/cc)	2,80	>2,5
Berat jenis SSD (gr/cc)	2,84	>2,5
Berat jenis <i>apparent</i> (gr/cc)	2,92	>2,5
Penyerapan Air (%)	1,49%	<3%
Kelekatan Agregat terhadap Aspal (%)	100%	> 95%

Tabel 4. 2 Pengujian Agregat Halus

Jenis Pengujian	Hasil	Syarat
Berat jenis <i>bulk</i> (gr/cc)	2,62	>2,5
Berat jenis SSD (gr/cc)	2,65	>2,5
Berat jenis <i>apparent</i> (gr/cc)	2,70	>2,5
Penyerapan Air (%)	1,12%	<3%
Kelekatan Agregat terhadap Aspal (%)	8,91%	> 10%

Tabel 4. 3 Pengujian *Filler* Abu Batu

Jenis Pengujian	Hasil	Syarat
Berat jenis (gr/cc)	2,39	2,25 - 2,7
<i>Filler</i> Lolos Ayakan No. 200	82%	> 75%

Dari hasil pengujian agregat kasar, didapatkan nilai abrasi dengan mesin *Los Angeles* sebesar 3% untuk 100 putaran dan 17% untuk 500 putaran. Hasil pengujian ini relatif rendah dibandingkan dengan spesifikasi yang disyaratkan dengan maksimal 8% untuk 100 putaran dan maksimal 40% untuk 500 putaran. Pada pengujian berat jenis *bulk*, didapatkan hasil 2,83 gr/cc. Hasil dari pengujian ini masih diatas syarat spesifikasi yang telah ditentukan sebesar >2,5. Berat jenis SSD didapatkan hasil 2,86 gr/cc. Sedangkan untuk berat jenis *apparent* didapatkan hasil 2,93 gr/cc. Untuk pengujian penyerapan air, didapatkan hasil sebesar 1,24%. Untuk kelekatan agregat terhadap aspal, didapatkan hasil 100%. Nilai tersebut lebih besar dari yang disyaratkan sesuai dengan spesifikasi (min 95%).

Untuk pengujian agregat halus, didapatkan hasil untuk pengujian berat jenis *bulk* sebesar 2,62. Pada pengujian berat jenis SSD, didapatkan hasil sebesar 2,65 gr/cc. Sedangkan untuk pengujian berat jenis *apparent* didapatkan hasil 2,70 gr/cc. Untuk pengujian penyerapan air didapatkan hasil 1,12% dan untuk agregat lolos ayakan no. 200 didapatkan hasil 8,91%. Pada pengujian-pengujian yang dilakukan pada agregat halus, semua hasil memenuhi syarat yang telah ditetapkan oleh standar.

Untuk pengujian *filler*, terdapat 2 jenis pengujian yang dilakukan yaitu pengujian berat jenis dan *filler* lolos ayakan no. 200. Dari hasil pengujian pada Tabel 4. 3, didapatkan hasil berat jenis *filler* sebesar 2,395 gr/cc, dan *filler* lolos ayakan No.200 sebesar 82%. Pengujian lolos ayakan No.200 menandakan bahwa *filler* yang digunakan bebas dari gumpalan-gumpalan sehingga dapat lolos melalui saringan No. 200. Dari pengujian-pengujian yang dilakukan pada *filler* abu batu, semua hasil memenuhi syarat yang telah ditetapkan oleh standar.

4.2 Pengujian Aspal Emulsi

Aspal emulsi yang digunakan pada penelitian ini diperoleh dari PT. Utama Prima, Cilacap. Beberapa pengujian yang perlu dilakukan terkait aspal emulsi diantaranya adalah pengujian viskositas, uji campuran semen, residu penyulingan, penetrasi, daktilitas dan berat jenis. Hasil pengujian aspal emulsi dapat dilihat pada **Error! Reference source not found.**

Tabel 4. 4 Pengujian Aspal Emulsi

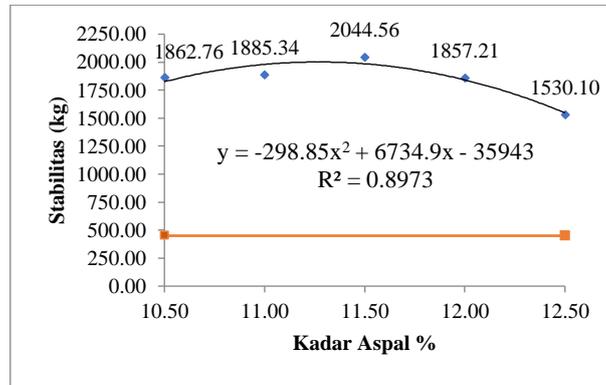
Pengujian	Hasil	Min	Max	Standar
Viskositas 25 °C	84,3 s	20 s	100 s	SNI 06-6721-2002
Uji campuran semen	0,85%	-	2%	SNI-ASTM-D6935,2012
Residu Penyulingan	60,50%	57%	-	SNI 03-3641-1994
Penetrasi	17,85 mm	10 mm	25 mm	SNI 06-2456-1991
Daktilitas	67,75 cm	40 cm	-	SNI 06-2432-1991
Berat Jenis	1,004	1	-	SNI 2441:2011

Dari pengujian viskositas, didapatkan hasil sebesar 84,3 detik. Uji viskositas digunakan untuk mengetahui kekentalan aspal yang akan digunakan. Hasil pengujian ini memenuhi spesifikasi yang tertera yaitu minimal 20 detik dan maksimal 100 detik. Untuk pengujian uji campuran semen didapatkan hasil sebesar 0,85%. Pada pengujian ini, didapatkan presentase kerusakan pada aspal emulsi yang diakibatkan oleh campuran semen. Hasil dari pengujian ini lebih kecil dibanding spesifikasi yaitu sebesar 2% yang berarti aspal emulsi yang telah didapat dapat digunakan untuk penelitian karena tingkat kerusakan aspal emulsi terhadap semen relatif kecil. Pada pengujian residu penyulingan didapatkan hasil 60,50%. Hasil ini sudah memenuhi spesifikasi yang besarnya minimal 57%. Sedangkan untuk pengujian penetrasi didapatkan hasil sebesar 17,85 mm. Nilai penetrasi digunakan untuk mengetahui tingkat kekerasan aspal. Semakin besar nilainya, maka akan semakin lembek aspal tersebut. Hasil tersebut telah sesuai dengan standar yang ada dengan minimal 10 mm dan maksimal 25 mm. Selanjutnya untuk pengujian daktilitas didapatkan hasil sebesar 67,75 cm. Uji daktilitas menggambarkan tingkat elastisitas aspal yang akan digunakan. Hasil dari pengujian lebih besar dari spesifikasi yang disyaratkan yaitu sebesar 40 cm. Pengujian berat jenis aspal menghasilkan nilai sebesar 1,004. Hasil tersebut lebih besar dari spesifikasi yang disyaratkan yaitu 1 gr/cc.

4.3 Penentuan Nilai KARO dengan *Marshall*

Dari hasil perhitungan empiris di bab sebelumnya, kadar aspal residu lapisan AC – WC sebesar 10,5% - 12,5%. Terdapat beberapa karakteristik Marshall yang ditinjau untuk menentukan nilai KARO campuran, diantaranya adalah :

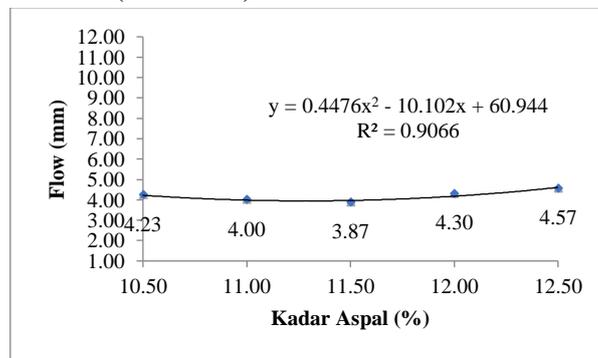
a. Stabilitas



Gambar 4.1 Grafik hubungan kadar aspal dan stabilitas

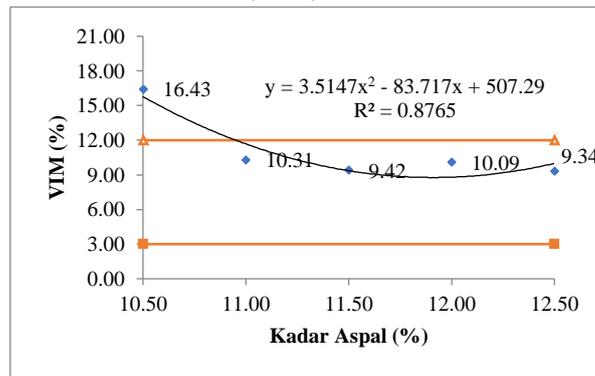
Error! Reference source not found. menunjukkan bahwa nilai stabilitas minimum sebesar 1530,10 kg terjadi pada kadar 12,5%, sedangkan nilai stabilitas maksimum sebesar 2044,56 kg terjadi pada kadar aspal 11,5%. Dari hasil pengujian, nilai stabilitas akan meningkat seiring dengan penambahan kadar aspal, dan menurun ketika telah melewati kadar aspal tertentu. Pada masing-masing kadar aspal menghasilkan nilai stabilitas yang memenuhi syarat yaitu sebesar >450 kg. Semakin besar nilai stabilitas menandakan semakin besar juga kemampuan perkerasan untuk menahan beban tanpa terjadi deformasi pada perkerasan itu sendiri.

b. *Flow* (Kelelehan)



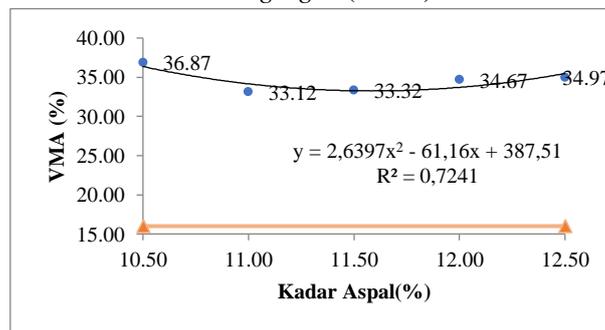
Gambar 4.2 Grafik hubungan kadar aspal dan flow

Flow merupakan kemampuan dari campuran aspal untuk berubah keplastisannya akibat beban sampai mencapai batas maksimal (Prihandoko, 2019). **Error! Reference source not found.** menunjukkan nilai *flow* minimum sebesar 3,87 mm terjadi pada kadar aspal 11,5%, sedangkan nilai *flow* maksimum sebesar 4,57 mm terjadi pada kadar aspal 12,5%. Pada penelitian ini, nilai *flow* yang terendah terdapat pada nilai stabilitas tertinggi. Pada kadar aspal 12% dan 12,5%, terjadi kenaikan pada nilai *flow* yang diakibatkan adanya penambahan kadar aspal yang mengakibatkan campuran aspal semakin plastis karena aspal bersifat plastis. Hal ini menyebabkan kemungkinan deformasi yang semakin meningkat apabila terjadi penambahan beban.

c. *Void in The Mix (VIM)*

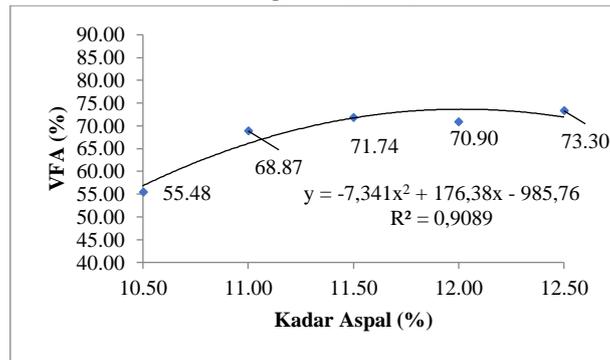
Gambar 4.3 Grafik hubungan kadar aspal dan VIM

Nilai VIM pada campuran menunjukkan banyaknya rongga pada campuran tersebut. Apabila Nilai VIM tinggi, rongga pada campuran juga semakin banyak sehingga semakin banyak rongga pada aspal yang dapat diisi oleh air dan udara. Pada **Error! Reference source not found.** Nilai VIM minimum sebesar 9,34% terjadi pada kadar aspal 12,5%, sedangkan nilai VIM maksimum sebesar 16,43% terjadi pada kadar aspal 10,5%. VIM pada campuran menurun dengan bertambahnya kadar aspal sampai kadar aspal tertentu, yaitu sampai kadar aspal 11,5% dan cenderung meningkat kembali. Nilai VIM yang masuk standar spesifikasi untuk campuran yang dibuat berada pada kadar aspal 11%, 11,5%, 12%, dan 12,5% dikarenakan nilai VIM pada kadar-kadar aspal tersebut berada di rentang 3-12 %. Semakin bertambahnya kadar aspal, akan semakin menurunkan nilai VIM. Hal ini disebabkan karena aspal akan masuk ke dalam rongga-rongga campuran yang menjadikan campuran semakin padat dan nilai VIM semakin kecil.

d. *Void in Mineral Agregat (VMA)*

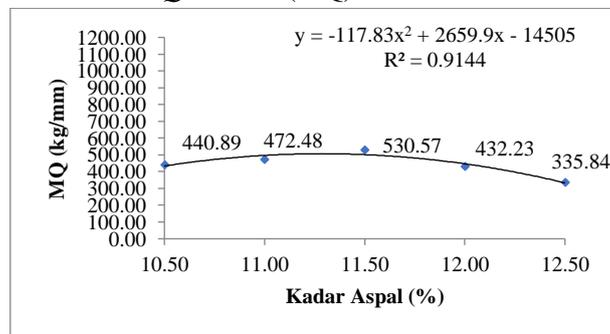
Gambar 4.4 Grafik hubungan kadar aspal dan VMA

Pada **Error! Reference source not found.** Nilai VMA minimum sebesar 33,12% terjadi pada kadar aspal 11%, sedangkan nilai VMA maksimum sebesar 36,87% terjadi pada kadar aspal 10,5%. Nilai VMA diartikan sebagai banyaknya rongga yang terisi aspal. Semakin banyak rongga yang terdapat pada campuran, semakin tinggi kedekatan campuran terhadap air dan udara karena banyaknya rongga yang terisi aspal. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa nilai VMA pada semua kadar aspal memenuhi syarat spesifikasi yaitu sebesar >16%.

e. *Void Filled with Asphalt (VFA)*

Gambar 4.5 Grafik hubungan kadar aspal dan VFA

Pada **Error! Reference source not found.** menunjukkan Nilai VFA minimum sebesar 55,48% terjadi pada kadar aspal 10,5%, sedangkan nilai VFA maksimum sebesar 73,30% terjadi pada kadar aspal 12,5%. Dari hasil penelitian, nilai VFA akan meningkat seiring dengan bertambahnya kadar aspal karena rongga antar butiran cukup besar sehingga aspal akan mengisi rongga tersebut. Akibatnya, campuran akan semakin rapat. VFA menurun cenderung setelah melewati kadar aspal 11,5%.

f. *Marshall Quotient (MQ)*

Gambar 4.6 Grafik hubungan kadar aspal dan MQ

Nilai MQ mewakili nilai kekakuan dan fleksibilitas dari suatu campuran. Campuran aspal yang memiliki nilai MQ yang sangat rendah akan lebih mudah mengalami deformasi saat menerima beban dikarenakan campuran tersebut cenderung memiliki sifat fleksibel (PUPR,2018). Pada **Error! Reference source not found.** Nilai MQ minimum sebesar 335,84 kg/mm terjadi pada kadar aspal 12,5%, sedangkan nilai MQ maksimum sebesar 530,57 kg/mm terjadi pada kadar aspal 11,5%. Hal ini menunjukkan bahwa nilai MQ akan meningkat seiring bertambahnya kadar aspal dan akan menurun setelah melewati kadar aspal 11,5%.

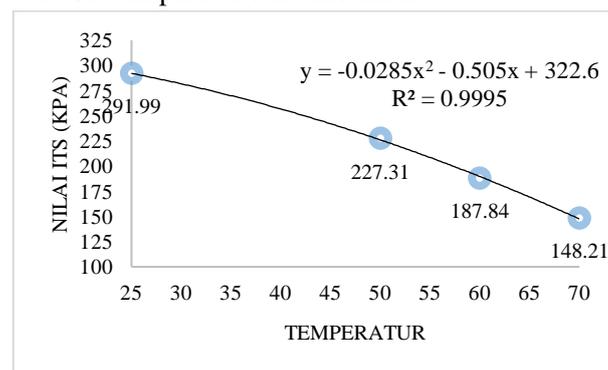
Tabel 4. 5 Kadar Aspal Residu Optimum

Parameter Marshall	Syarat	Rentang kadar aspal yang memenuhi spesifikasi				
		10,5%	11%	11,5%	12%	12,5%
Stabilitas(kg)	> 450					
VIM (%)	3 s/d 12					
VMA (%)	> 16					
VFA (%)	-					
Density(gr/cc)	-					
Kelelahan(mm)	-					
MQ(kg/mm)	-					
Kadar aspal residu optimum		11,75%				

Rekapitulasi nilai parameter marshall yang diperoleh dari hasil pengujian terhadap campuran *Cold Mix Asphalt* AC-WC dengan kadar aspal 10,5% sampai 12,5% disajikan pada **Error! Reference source not found.** Berdasarkan hasil pengujian marshall yang dapat dilihat pada **Error! Reference source not found.** dan telah dilakukan, nilai kadar aspal yang memenuhi seluruh parameter marshall adalah kadar aspal 11% - 12,5%. Kadar aspal residu optimum diambil dari rata-rata keempat kadar aspal yang memenuhi spesifikasi. Sehingga dapat disimpulkan bahwa nilai KARO yang digunakan sebesar 11,75%.

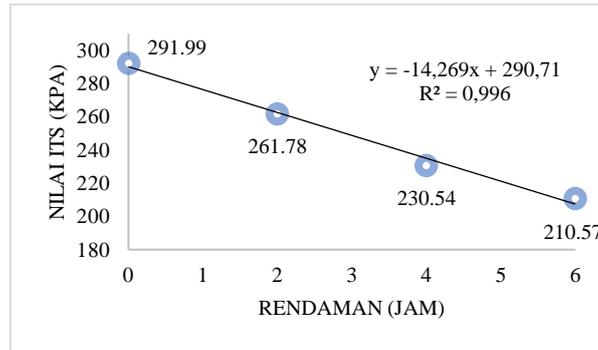
4.4 Indirect Tensile Strength (ITS)

Pengujian ITS dilakukan untuk memprediksi keretakan jalan di lapangan. Pengujian ITS di penelitian ini dilakukan dengan menggunakan 2 variabel yaitu variabel temperatur dan rendaman.

**Gambar 4.7** Hubungan Temperatur dengan Nilai ITS

Error! Reference source not found. menjelaskan tentang hubungan temperatur dengan nilai ITS pada campuran *cold mix asphalt*. Pengujian pada suhu normal 25°C menggunakan 3 sampel menghasilkan nilai rata-rata ITS sebesar 291,99kPa. Sedangkan pada temperatur pengujian (50°C, 60 °C, 70 °C) dengan masing-masing sebanyak 3 sampel menghasilkan rata-rata nilai ITS sebesar 227,31; 187, 84; dan 148,21 kPa. Perubahan temperatur pemanasan menunjukkan pengaruh terhadap nilai ITS, yaitu seiring bertambahnya temperatur, semakin menurun pula nilai ITS yang mengindikasikan semakin kecil beban yang mampu ditahan oleh perkerasan tersebut sehingga menimbulkan potensi retak yang semakin besar. Hasil penelitian ini sesuai dengan penelitian Basuki, T., dkk [5] yang menjelaskan bahwa besarnya kuat tarik tidak langsung akan berkurang

seiring dengan bertambahnya temperatur karena aspal adalah material yang bersifat *viscous* sehingga sifat-sifatnya sangat bergantung terhadap temperatur.



Gambar 4.8 Hubungan Durasi Rendaman dengan Nilai ITS

Error! Reference source not found. menjelaskan tentang hubungan durasi rendaman terhadap nilai ITS pada campuran *cold mix* asphalt. Pengujian dilakukan dengan variasi lama perendaman selama 2, 4, dan 6 jam dengan suhu 25°C. Untuk variabel kontrol, dibuat benda uji yang tidak direndam untuk melihat perbandingan antara sampel yang direndam dan tidak direndam. Dari hasil penelitian, sampel yang tidak direndam menghasilkan nilai rata-rata ITS sebesar 291,99 kPa. Sedangkan sampel dengan waktu perendaman 2 jam menghasilkan rata-rata nilai ITS sebesar 261,78 kPa, sampel dengan waktu perendaman 4 jam menghasilkan rata-rata nilai ITS sebesar 230,54 kPa, dan 3 sampel dengan waktu perendaman 6 jam menghasilkan rata-rata nilai ITS sebesar 210,57 kPa. Dari hasil tersebut, dapat dilihat bahwa durasi rendaman berpengaruh terhadap nilai ITS. Semakin lama durasi perendaman, semakin kecil nilai ITS. Hasil penelitian ini didukung dengan penelitian Made, G. (2019) yang menyatakan bahwa nilai ITS akan semakin menurun seiring dengan bertambahnya durasi perendaman dikarenakan berkurangnya ikatan antara agregat dengan aspal yang mengakibatkan semakin mudahnya campuran mengalami keretakan.

Dari data pengujian *Indirect Tensile Strength* (ITS), dapat diperoleh persamaan yang menggambarkan hubungan antara nilai ITS, temperatur, dan durasi perendaman, sebagai berikut:

$$ITS = 370,35 - 3,07 X1 - 14,53 X2$$

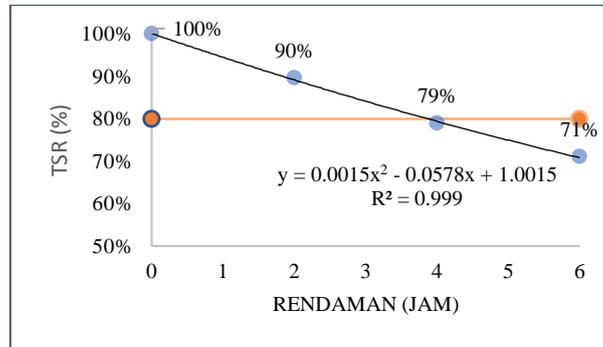
Dimana:

ITS = Indirect Tensile Strength (kPa)

X1 = temperatur (°C)

X2 = durasi perendaman (jam)

Ketika nilai temperatur (X1) meningkat sebesar 1, maka nilai ITS akan turun sebesar 3,07. Sedangkan ketika durasi perendaman (X2) bertambah sebesar 1, akan menyebabkan nilai ITS menurun sebesar 14,53. Sehingga dari persamaan yang telah diperoleh, dapat disimpulkan bahwa durasi perendaman lebih berpengaruh terhadap nilai ITS.



Gambar 4.9 Hubungan Durasi Rendaman dengan Nilai TSR

Error! Reference source not found. menjelaskan tentang hubungan durasi rendaman terhadap nilai TSR (*tensile strength ratio*). Nilai TSR adalah perbandingan antara nilai ITS untuk sampel yang tidak direndam dengan sampel yang direndam. Pengujian dilakukan dengan suhu 25°C. Hasil pengujian menunjukkan pada durasi 2 jam perendaman didapat nilai TSR sebesar 90%, durasi perendaman 4 jam sebesar 79% dan durasi perendaman 6 jam sebesar 71%. Dapat dilihat bahwa nilai TSR akan semakin menurun seiring dengan bertambahnya durasi perendaman. Ini disebabkan karena semakin bertambahnya durasi perendaman, akan semakin menurunnya kekuatan ikatan antar agregat dengan aspal [6] Menurut Asphalt Institute, nilai TSR harus lebih besar dari 80%. Nilai TSR yang kurang dari 80% menandakan bahwa campuran lebih mudah mengalami kerusakan yang disebabkan oleh air, sedangkan sebaliknya, apabila nilai TSR diatas 80%, menandakan campuran tahan terhadap potensi kerusakan yang disebabkan oleh air [7]. Dari hasil penelitian, yang memenuhi persyaratan minimum nilai TSR adalah sampel yang direndam dengan durasi 2 jam, sedangkan sampel dengan durasi perendaman 4 dan 6 jam tidak memenuhi persyaratan minimum nilai TSR.

5. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dan pembahasan sebelumnya dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

- Kadar Aspal Residu Optimum untuk campuran beraspal dingin (*cold mix asphalt*) AC-WC adalah sebesar 11,75% yang diperoleh melalui pengujian marshall.
- Peningkatan temperatur dapat meningkatkan potensi *cracking* karena seiring bertambahnya suhu pengujian, nilai *tensile strength* yang dihasilkan dari pengujian semakin menurun.
- Durasi perendaman juga dapat meningkatkan potensi *cracking*. Ini dibuktikan dengan menurunnya nilai *tensile strength* seiring dengan bertambahnya durasi perendaman.
- Parameter durasi perendaman lebih berpengaruh terhadap nilai ITS campuran *cold mix asphalt* AC-WC dibandingkan parameter temperatur.

Kondisi sampel yang memenuhi persyaratan minimum nilai TSR adalah sampel dengan durasi perendaman 2 jam dengan nilai TSR sebesar 90%, sedangkan sampel dengan durasi perendaman 4 dan 6 jam yang memiliki nilai TSR 79% dan 71% tidak memenuhi persyaratan minimum nilai TSR.

5.1 Saran

Dari hasil penelitian dan pembahasan seelumnya dapat ditarik beberapa saran yaitu:

- a. Dapat dilakukan penelitian lebih lanjut terhadap campuran aspal emulsi dingin dengan menggunakan berbagai bahan tambah agar bisa memperkecil potensi cracking. Hal ini dapat meningkatkan penggunaan aspal emulsi dingin di Indonesia
- b. Perlu peningkatan kualitas aspal emulsi dingin agar aspal emulsi dingin tidak hanya digunakan pada lalu lintas sedang.
- c. Perlu adanya penambahan variasi temperatur dan rendaman agar prediksi cracking hasil lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Al, Y. E. (1975). *Principles of Pavement Design 2nd Edition*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- [2] Arifin, S., Kasan, M., & Pradani, N. (2007). Pengaruh nilai abrasi agregat terhadap karakteristik beton aspal. *Smartek*, 5(1).
- [3] Binamarga. (2010). Spesifikasi Umum Binamarga 2010 Revisi 3. 6-89.
- [4] Binamarga. (2006). Campuran Beraspal Dingin Dengan Asbuton Butir Peremaja Emulsi. 5-36.
- [5] Basuki, T., Santosa, W., & Gunawan, S. U. (2001). Pengaruh Temperatur Terhadap Kuat Tarik Tidak Langsung Beton Aspal Pada Campuran Yang Mempgunakan High Stiffness Modulus Asphalt. 1-10.
- [6] Institute, A. (1983). Modification Of The Asphalt Institute Bituminous Mix Modulus Predictive Equation (DISCUSSION). 27-36.
- [7] Jaya, B. K. (2018). Analisis Propertis Marshall Dan Its Campuran Aspal Emulsi Hangat Menggunakan Bahan Tambah Rap Dan Portland Cement. 1-16. ADDIN MendeleyBibliographyCSL_BIBLIOGRAPHY
- [8] Jansen, F., Elisabeth, L., & Manoppo, M. R. (2012). Karang Gunung sebagai Agregat Alternatif pada Campuran Aspal Panas. *Jurnal Ilmiah Media Engineering*, 2(1).
- [9] Mamlouk, M. S. (2006). *Materials For Civil and Construction Engineers*. NJ, USA: Upper Saddle River.
- [10] Prihandoko, B., Sunarjono, S., Riyanto, A., & Hurnaeni, S. R. Kinerja Campuran Aspal Emulsi Sistem Warm Mix Dengan Variasi Penambahan Pc Dan Bahan Rap Pupr. (2018). Spesifikasi Umum 2018. Edaran Dirjen Bina Marga Nomor 02/SE/Db/2018, September.
- [11] Sa'dillah, M., & Leliana, A. (2020, October). Karakteristik Aspal Beton Lapis Aus (AC-WC) Dengan Penambahan Bahan Pengisi Abu Terbang Batubara. In *Prosiding SENTIKUIN (Seminar Nasional Teknologi Industri, Lingkungan dan Infrastruktur)* (Vol. 3, pp. D7-1).
- [12] SNI . (2002). Metode Pengujian Kekentalan Aspal Cair dan Aspal Emulsi Dengan Alat Saybolt. 1-11.
- [13] SNI. (2012). Metode Uji Penentuan Campuran Semen Pada Aspal Emulsi (ASTM D 6935-04,IDT). 1-7.
- [14] SNI. (1994). SNI 03-3641-1994 Metode Pengujian Kadar Air Aspal Emulsi. 1-6.
- [15] SNI. (1991). SNI 06-2456-1991 Metode Pengujian Penetrasi Bahan Bitumen. 1-4.

- [16] Sukirman, S. (2003). *Dasar-Dasar Perencanaan Geometrik Jalan*. Bandung: Nova.
- [17] Sunarjono, S. (2006). Evaluasi Engineering Bahan Perkerasan Jalan Menggunakan RAP dan Foamed Bitumen. *Jurnal eco REKAYASA Vol. 2 No. 2*, 65-71.
- [18] Toruan, A. L., Kaseke, O. H., Kereh, L. F., & Sendow, T. K. (2013). Pengaruh porositas agregat terhadap berat jenis maksimum campuran. *Jurnal Sipil Statik, 1*(3).
- [19] Wendani, N., & Selintung, M. (2020). Studi Penggunaan Agregat Sungai Bittuang Sebagai Bahan Campuran AC-WC. *Paulus Civil Engineering Journal, 2*(2), 138-144.
- [20] Widodo, S., & Riyanto, A. Peningkatan Stabilitas Campuran Aspal Emulsi Bergradasi Rapat dengan Filler Semen. *Media Komunikasi Teknik Sipil, 18*(1), 39-49.
- [21] Yamin, R., & Herman. (2005). “Pengaruh Lingkungan Tropis Indonesia Pada Penuaan Aspal Dan Modulus Kekakuan Resilien Campuran Beraspal”. *Jurnal Transportasi Vol. 5 No.2*, 99-110.