

MENINGKATKAN KARAKTERISTIK MARSHALL DENGAN MENAMBAH SERBUK BAN BEKAS KE DALAM CAMPURAN LASTON AC-WC

Radiks Gilang Maulana¹⁾, Zaaim Arroffif¹⁾, Warsiti¹⁾, Kusdiyono¹⁾, Risman¹⁾

¹⁾ Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Semarang

Jln. Prof. Soedarto, SH, Tembalang, Semarang, 50275

email: siti.polines@yahoo.co.id, rismanrisam@gmail.com

ABSTRAK

Konstruksi perkerasan perkerasan lentur (*flexible pavement*) secara garis besar terdiri dari tiga lapis yaitu *sub base course*, *base course* dan *surface course*. Salah satu bahan *surface course* berupa laston AC-WC. Bahan campuran konstruksi perkerasan laston AC-WC akan menentukan karakteristik campuran tersebut. Karakteristik campuran perkerasan meliputi Kepadatan (*Density*), Rongga Pada Mineral Agregat (*VMA*), Rongga Terisi Aspal (*VFA*), Rongga Dalam Campuran (*VIM*), Rongga Dalam Campuran Kondisi Membal (*Refusal VIM*), Stabilitas Marshall (*MS*), Stabilitas Marshall Sisa (*IRS*), Kelelahan Marshall (*Flow*). Penambahan bahan tambah seperti serbuk ban bekas ke dalam campuran aspal dapat menjadi alternatif bahan tambah guna meningkatkan kualitas dan keawetannya dan daya tahan yang lebih baik terhadap suhu tinggi, dibandingkan dengan aspal tanpa penambahan bahan tambah. Tujuan penelitian adalah menganalisis pengaruh penambahan serbuk ban karet bekas terhadap nilai karakteristik Marshall campuran Laston AC-WC dan membandingkan hasil parameter Marshall campuran Laston AC-WC standar dengan yang ditambahkan serbuk ban. Hasil penelitian menunjukkan bahwa KAO yang dipakai (6.0%) yang berpengaruh pada nilai *Density* maksimum 2.376 gr/cc dengan prosentase serbuk ban sebesar 7.4%, *VMA* maksimum 5.186% dengan prosentase serbuk ban sebesar 7.4%, *VFA* maksimum 72.510% dengan prosentase serbuk ban sebesar 7.4%, *VIM* minimum 4.22% dengan prosentase serbuk ban sebesar 7.4%, *VIM Refusal density* minimum 4.231% dengan prosentase serbuk ban sebesar 6,2%, Stabilitas Marshall (*MS*) maksimum 1008.86 kg dengan prosentase serbuk ban sebesar 4.5%, Stabilitas Marshall Sisa (*IRS*) maksimum 671.813 kg dengan prosentase serbuk ban sebesar 4.1%, Nilai Kelelahan Marshall (*Flow*) maksimum 3.40 mm dengan prosentase serbuk ban sebesar 6,9%, dan Marshall Quotient (*MQ*) maksimum sebesar 309.26 gr/mm dengan prosentase serbuk ban sebesar 4.1%. Dalam perhitungan penambahan serbuk ban optimum dari 9 parameter marshall yang digunakan, dari berbagai parameter marshall yang sudah dianalisis diperoleh hasil kadar penambahan serbuk ban terendah yaitu pada persentase 4.1% dan sedangkan persentase penambahan serbuk ban pada kondisi tertinggi (*optimum*) diperoleh hasil yaitu 7.4%.

Kata kunci: Laston AC-WC, Parameter Marshall, Serbuk Ban Bekas.

PENDAHULUAN

Lapisan aspal beton adalah suatu lapisan beraspal pada konstruksi jalan raya yang terdiri dari agregat, aspal, dan bahan pengisi (*filler*) dengan suatu gradasi menerus kemudian dicampur, dihampar dan dipadatkan dalam keadaan panas sehingga menghasilkan campuran

dengan daya ikat yang kuat. Penggunaan serbuk ban bekas pada campuran beton aspal mampu meningkatkan ketahanan terhadap deformasi permanen akibat jejak roda. (Kurniati, 2004). Penggunaan serbuk ban bekas sangat cocok digunakan pada daerah beriklim tropis karena dapat mencegah terjadinya retak-retak, *bleeding* dan

memperkecil terjadinya pelepasan butir pada permukaan perkerasan lentur (Kennedy, 2000).

Hal tersebut mendorong penelitian untuk melakukan penelitian tentang karakteristik campuran bahan konstruksi perkerasan lentur (*flexible pavement*) menggunakan campuran *Asphaltic Concrete-Wearing Course* (AC-WC) sebagai lapis permukaan (lapis aus) dengan penambahan bahan polimer berupa serbuk ban bekas yang diharapkan dapat menjadi alternatif bahan tambah dalam campuran aspal beton, memperbaiki karakteristik marshall dan membantu memecahkan masalah-masalah yang terjadi pada perkerasan jalan di Indonesia.

Lapis Aspal Beton AC-WC

Menurut Silvia Sukirman (2003), Lapis aspal beton (Laston) sebagai bahan pengikat, dikenal dengan nama *Asphalt Concrete-Binder Course* (AC-BC). Lapisan ini merupakan bagian dari lapis permukaan diantara lapis pondasi atas *Base Course* dengan lapis aus *Wearing Course* yang bergradasi agregat gabungan rapat/menerus, umumnya digunakan untuk jalan-jalan dengan beban lalu lintas yang cukup berat.

Gradasi Agregat

Gradasi merupakan distribusi partikel-partikel berdasarkan ukuran agregat yang saling mengisi sehingga terjadi suatu ikatan yang saling mengunci (Faisal dkk. 2014). Gradasi agregat dapat diperoleh melalui analisis saringan butiran Persyaratan

gradasi agregat untuk setiap jenis campuran terlihat pada Tabel 1

Tabel 1. Persyaratan Gradasi Agregat

| ukuran Ayakan (mm) | % berat yg Lolos terhadap total agregat dalam campuran aspal |
|--------------------|--|
| | Laston AC-WC |
| 37,5 | |
| 25 | |
| 19 | 100 |
| 12,5 | 90-100 |
| 9,5 | 77-90 |
| 4,75 | 53-69 |
| 2,36 | 33-53 |
| 1,18 | 21-40 |
| 0,6 | 14-30 |
| 0,3 | 9-22 |
| 0,15 | 6-15 |
| 0,075 | 4-9 |

Serbuk Ban Bekas

Penambahan bahan tambah (serbuk ban bekas) pada aspal dapat memberikan indikasi untuk memperbaiki ketahanan geser pada suhu tinggi sehingga mencegah terjadinya kerusakan., komposisi dasar penyusun serbuk ban bekas seperti pada Tabel 2.

Tabel 2 Komposisi Penyusun Serbuk Ban

| Komponen | Prosentase (%) |
|-----------------------------------|----------------|
| Karbon , C | 97,06 |
| Magnesium Iksida, MgO | 0,06 |
| Silika Dioksida, SiO ₂ | 0,12 |
| Sulfit, SO ₃ | 1,81 |
| Kalsium Oksida, CaO | 0,06 |
| Zink Oksida, ZnO | 0,73 |
| Timbal (II) Oksida, PbO | 0,16 |

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan metode eksperimental di Laboratorium Bahan dan Bangunan Teknik Sipil Politeknik Negeri Semarang.

Persiapan Bahan

Bahan yang akan digunakan untuk penelitian harus diuji lebih dahulu untuk memastikan bahan yang akan digunakan untuk penelitian ini memenuhi persyaratan yang ditetapkan. Pengujian bahan yang digunakan dalam campuran Laston AC-WC, yang meliputi agregat kasar, agregat halus, filler, aspal keras. Adapun bahan baku untuk aspal beton campuran panas Laston AC-WC yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari: a) Aspal Pen. 60/70 diperoleh dari Produk PT Pertamina. b) Agregat : Agregat Halus dari Pasir merapi hasil penambangan di Kali Woro dan Agregat Kasar dari mesin pemecah batu JKB Karang Jati; c) Bahan pengisi (*Filler*) yang digunakan dari Semen Portland Type I *Indocement*; d) Serbuk ban bekas tipe radial lolos ayakan No. 16 dari Tahan Jaya Vulkanisir produk Bridgestone, GT Radial dan sebagainya.

Perencanaan Benda Uji

Dalam perencanaan benda uji yang akan dilakukan antara lain: a) Membuat Perkiraan Kadar Aspal Optimum (Pb). Perkiraan Kadar Aspal Optimum didapatkan dengan rumus : $Pb = 0,035 (\%CA) + 0,045 (\%FA) + 0,18 (\%FF) + \text{Konstanta}$. Dimana: Pb = kadar aspal, CA = agregat kasar tertahan saringan No. 8,

FA = agregat halus lolos saringan No. 8 dan tertahan NO. 200, FF = agregat halus lolos saringan NO. 200 Konstanta = 0,50 – 1,0 (AC dan HRS). b) Pembuatan benda uji untuk memperoleh KAO sebanyak 6 seri dengan perbedaan kadar aspal tiap seri 0,5%, dimulai dari kadar aspal - 1,00% sampai 1,50%. Adapun banyaknya benda uji untuk tiap perbedaan kadar aspal 0,5 % sebanyak masing-masing sebanyak 2 buah, sehingga jumlah total benda uji sebanyak 12 buah. c) Pembuatan benda uji untuk Stabilitas Marshall pada Kadar Aspal Optimum (KAO) sebanyak 4 seri dengan berbagai variasi penambahan kadar serbuk ban bekas, variasi penambahan kadar serbuk ban bekas 0%, 5%, 10%, 15% terhadap berat aspal masing-masing sebanyak 2 buah. sehingga jumlah benda uji keseluruhan sebanyak 8 buah. d) Dengan Pembuatan benda uji Kepadatan Membal (*Refusall Density*) sebanyak 4 seri pada Kadar Aspal Optimum (KAO) dengan variasi penambahan kadar serbuk ban bekas 0%, 5%, 10%, 15% terhadap berat aspal masing-masing sebanyak 2 buah. sehingga jumlah benda uji keseluruhan sebanyak 8 buah.

Analisis Data

Semua bahan untuk aspal beton campuran panas pada laston AC-WC meliputi batu pecah, pasir dan aspal masing - masing diperiksa karakteristiknya. Bahan yang digunakan untuk melakukan pembuatan benda uji harus memenuhi spesifikasi yang ditentukan.

Analisis pada penelitian ini meliputi: a) Menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO). b) Pengujian

kesembilan parameter Marshall Laston AC-WC pada Kadar Aspal Optimum (KAO) dengan kadar penambahan serbuk ban bekas 0%,5%, 10%, 15%. c) Membuat grafik hubungan dari masing-masing parameter Marshall dengan prosentase penambahan serbuk ban bekas. d) Menentukan nilai maksimum ke Sembilan parameter Marshall berdasarkan hasil persamaan yang diperoleh pengujian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pemeriksaan Karakteristik Agregat

Hasil pengujian terhadap bahan untuk aspal beton campuran panas pada laston AC-WC seperti pada Tabel 3. Sampai dengan Tabel 6.

Tabel 3. Hasil Pengujian Agregat Kasar, Agregat Halus, dan *Filler*

| Jenis Pengujian | Metode Pengujian | Sat | Hasil | Spesifikasi | Keterangan |
|-----------------------------------|------------------|-------|----------------|-------------|------------|
| 1. Batu Pecah | | | | | |
| Berat Jenis Curah (<i>Bulk</i>) | SNI-03-1969-1990 | Gr/cc | 2.69 | $\geq 2,5$ | Memenuhi |
| Berat Jenis SSD | SNI-03-1969-1990 | Gr/cc | 2.75 | $\geq 2,5$ | Memenuhi |
| Berat Jenis Semi | SNI-03-1969-1990 | % | 2.87 | $\geq 2,5$ | Memenuhi |
| Penyerapan Air | SNI-03-1969-1990 | % | 2.26 | $\leq 3,0$ | Memenuhi |
| Analisa Saringan | SNI-03-1968-1990 | - | Pada Tabel 4.2 | | Memenuhi |
| Keausan Agregat | SNI-03-2417-1991 | % | 17.28 | ≤ 40 | Memenuhi |
| Indeks Kepipihan | SNI-M-25-1991-03 | % | 12.88 | ≤ 25 | Memenuhi |
| 2. Pasir | | | | | |
| Berat Jenis Curah (<i>Bulk</i>) | SNI-03-1969-1990 | Gr/cc | 2.68 | $\geq 2,5$ | Memenuhi |
| Berat Jenis SSD | SNI-03-1969-1990 | Gr/cc | 2.75 | $\geq 2,5$ | Memenuhi |
| Berat Jenis Semi | SNI-03-1969-1990 | % | 2.86 | $\geq 2,5$ | Memenuhi |
| Penyerapan Air | SNI-03-1969-1990 | % | 2.27 | $\leq 3,0$ | Memenuhi |
| Analisa Saringan | SNI-03-1968-1990 | - | Pada Tabel 4.2 | | Memenuhi |

Hasil Pemeriksaan Karakteristik Aspal

Tabel 4. Hasil Pengujian Aspal Pen 60/70 PT. Pertamina

| Pemeriksaan | Metode | Hasil | Spesifikasi | | Satuan |
|--|------------------|-------|-------------|-----|----------------|
| | | | Min | Max | |
| Penetrasi (25°C, 5 detik, 100 gr) | SNI 06-2456-1991 | 67.6 | 60 | 79 | 0.1 mm |
| Titik nyala dan Titik Bakar (Clev. Open cup) | SNI 06-2433-1991 | >200 | 200 | - | °C |
| Titik Lembek (Ring and Ball) | SNI 06-2434-1991 | 48 | 48 | 58 | °C |
| Berat Jenis | SNI 06-2488-1991 | 1.03 | 1 | - | gr/cc |
| Daktilitas | SNI 06-2456-1991 | 140 | 100 | - | cm |
| Penurunan Berat | SNI 06-2456-1991 | 0.11 | - | 0.8 | % Berat Semula |
| Viskositas Pencampuran SF 60 (°C) | SNI 06-6721-2002 | 120 | 100 | - | °C |

Hasil Laboratorium Uji Marshall Penentuan Kadar Aspal Optimum

Kadar aspal optimum (K.A.O) ditentukan dengan menggunakan standar Bina Marga, dimana ada 8

parameter yang harus dipenuhi yaitu : Stabilitas, Kelelahan (*Flow*), *Marshall Quotien* (MQ), rongga terisi aspal (VFA), rongga dalam campuran (VIM) dan rongga dalam agregat (VMA).

Tabel 5. Data pengujian marshall untuk penentuan kadar aspal optimum

| No. | Parameter Marshall | Satuan | Syarat | Kadar aspal (%) | | | | | |
|-----|--------------------------------------|--------|----------|-----------------|--------|---------|---------|--------|---------|
| | | | | 4.5 | 5 | 5.5 | 6 | 6.5 | 7 |
| 1 | Kepadatan (Density) | gr/cc | - | 2.353 | 2.357 | 2.362 | 2.368 | 2.379 | 2.378 |
| 2 | Rongga dalam mineral agregat (VMA) | % | Min. 15 | 14.73 | 15.02 | 15.24 | 15.46 | 15.5 | 15.98 |
| 3 | Rongga terisi aspal (VFA) | % | Min. 65 | 51.3 | 57.95 | 66.74 | 71.47 | 78.21 | 83.07 |
| 4 | Rongga dalam campuran (VIM) | % | 3,5-5,5 | 7.17 | 6.35 | 5.44 | 4.53 | 3.41 | 2.79 |
| 5 | Stabilitas Marshall (MS) | kg | Min. 800 | 1121.61 | 1243.6 | 1348.78 | 1374.08 | 1264.4 | 1114.66 |
| 6 | Kelelahan Marshall (Flow) | mm | Min. 3 | 3.3 | 3.55 | 3.62 | 3.62 | 3.81 | 4.05 |
| 7 | Hasil bagi Marshall (MQ) | kg/mm | Min. 250 | 340.4 | 350.31 | 373.11 | 380.1 | 332.3 | 275.57 |

Data hasil pengujian dan analisis parameter Marshall disajikan pada tabel 5, selanjutnya Kadar Aspal Optimum (K.A.O) ditentukan dengan menggunakan standar SNI, dimana ada 7 parameter yang harus dipeenuhi yaitu : Kepadatan, rongga dalam agregat (VMA), rongga terisi aspal (VFA), rongga dalam campuran (VIM), stabilitas marshall, kelelahan (Flow), dan marshall quotien (MQ). Menghasilkan kadar aspal optimum 6%.

Hasil Pengujian Marshall Laston AC-WC Dengan Penambahan Serbuk Ban Pada Kadar Aspal Optimum

Pengujian ini dilakukan untuk mencari Nilai parameter *marshall* yang disyaratkan pada Spesifikasi

Umum Bina Marga Edisi 2010 (Revisi 3), yaitu: kepadatan (*density*), rongga dalam agregat (VMA), rongga terisi aspal (VFA), rongga dalam campuran (VIM), rongga dalam campuran kondisi membal (RVIM), stabilitas *marshall* (MS), kelelahan *marshall* (*flow*), hasil bagi (*marshall quotien*), dan stabilitas *marshall* sisa (IRS).

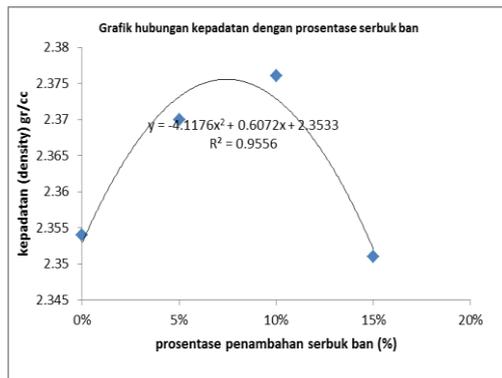
Parameter *marshall* digunakan untuk mengetahui perilaku laston AC-WC dengan penambahan serbuk ban, benda uji yang dibuat menggunakan kadar aspal optimum sebesar 6% dan dengan terdiri 4 jenis kadar penambahan serbuk ban sebesar 0%, 5%, 10%, 15% berdasarkan berat aspal. Hasil Uji ke 9 parameter Marshall disajikan dalam tabel 6.

Tabel 6. Data Hasil Pengujian Marshall Laston AC-WC dengan Penambahan Serbuk Ban Pada Kadar Aspal Optimum

| NO. | PARAMETER MARSHALL | SATUAN | SYARAT | PERSENTASE PENAMBAHAN SERBUK BAN TERHADAP BERAT ASPAL 6% (KAO) PADA CAMPURAN | | | | HASIL PERHITUNGAN PENAMBAHAN OPTIMUM | |
|-----|--|--------|--------------|--|---------|--------|--------|--------------------------------------|--------------|
| | | | | 0% | 5% | 10% | 15% | NILAI | % PENAMBAHAN |
| 1 | KEPADATAN (DENSITY) | GR/CC | - | 2.354 | 2.37 | 2.376 | 2.351 | 2.376 | 7,4 |
| 2 | RONGGA DALAM MINERAL ((VMA)AGREGAT (VMA) | % | MIN. 15 | 15.95 | 15.37 | 15.18 | 16.076 | 15.19 | 7,4 |
| 3 | RONGGA TERISI ASPAL (VFA) | % | MIN. 65 | 68.11 | 71.28 | 72.73 | 67.46 | 72.51 | 7,4 |
| 4 | RONGGA DALAM CAMPURAN (VIM) | % | 3,5-5,5 | 5.09 | 4.44 | 4.22 | 5.23 | 4.22 | 7,4 |
| 5 | RONGGA DALAM CAMPURAN KONDISI MEMBAL (R V) | % | 3,5-5,5 | 4.67 | 4.19 | 4.44 | 5.04 | 4.21 | 6,2 |
| 6 | STABILITAS MARSHALL (MS) | KG | MIN. 800 | 1000.97 | 1073.99 | 965.95 | 841.4 | 1008.86 | 4,5 |
| 7 | KELELEHAN MARSHALL (FLOW) | MM | MIN. 3 | 3.35 | 3.41 | 3.38 | 3.34 | 3.4 | 6,9 |
| 8 | HASIL BAGI MARSHALL (MQ) | KG/MM | MIN. 250 | 298.8 | 314.95 | 285.78 | 251.92 | 309.26 | 4,1 |
| 9 | STABILITAS MARSHALL SISA (IRS) | KG | MIN 640 (80) | 666.64% | 676.83 | 659.55 | 649.33 | 67.81 | 4,1 |

Analisis Hasil Pengujian Pengaruh Penambahan Serbuk Ban Terhadap Nilai Kepadatan (Density)

Nilai *density* / kepadatan menunjukkan besarnya kerapatan suatu campuran yang telah dipadatkan. Campuran dengan *density*/kepadatan yang tinggi akan lebih mampu menahan beban yang lebih berat dibandingkan pada campuran yang mempunyai *density* / kepadatan rendah. Dari hasil pengujian *density* dapat dibuat grafik hubungan antara *density* dengan prosentase penambahan serbuk ban, dan hasilnya dapat dilihat pada grafik berikut:



Gambar 1. Prosentase Penambahan Serbuk Ban Terhadap Nilai Kepadatan (*Density*)

Hasil analisis grafik hubungan antara kepadatan dengan prosentase penambahan serbuk ban diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$y = -4.1176x^2 + 0.06072x + 2.533$$

dan $R^2 = 0.9556$

Dimana $Y = \text{density}$ dan $X =$ prosentase penambahan serbuk ban

Dengan menggunakan persamaan tersebut kita dapat mencari

kepadatan maksimum dan prosentase penambahan serbuk ban optimum. Prosentase penambahan serbuk ban optimum jika $Y' = 0$.

$$y = -4.1176x^2 + 0.06072x + 2.533$$

$$Y' = -8.235X + 0.6072$$

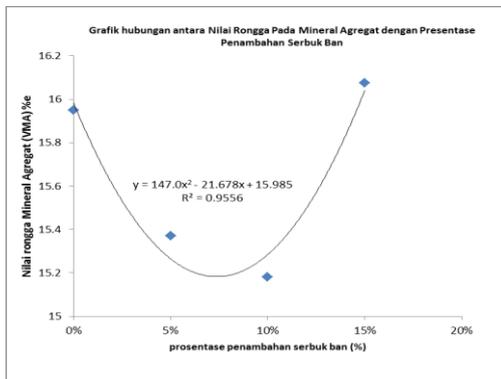
$$x = 0.074 \rightarrow 7.4\%$$

$$y_{max} = 2.376 \text{ gr/cc}$$

Dari Gambar 1 diatas bahwa nilai kepadatan naik dari prosentase penambahan serbuk ban 0% sampai 7,4%, kemudian kepadatan menurun dengan penambahan serbuk ban sampai 15%. Dari hasil perhitungan dengan nilai $R^2 = 0,9556$ artinya nilai korelasi sangat kuat dan nilai kepadatan optimum tercapai sebesar 2,376 gr/cc pada prosentase serbuk ban 7,4%.

Analisis Hasil Pengujian Pengaruh Penambahan Serbuk Ban Terhadap Nilai Rongga Pada Mineral Agregat (VMA)

Void in Mineral Aggregate (VMA) adalah rongga udara yang ada diantara mineral agregat di dalam campuran beraspal panas yang sudah dipadatkan termasuk ruang yang terisi aspal. VMA dinyatakan dalam prosentase dari campuran beraspal panas. VMA digunakan sebagai ruang untuk menampung aspal dan volume rongga udara yang diperlukan dalam campuran beraspal panas. Besarnya nilai VMA dipengaruhi oleh kadar aspal, gradasi bahan susun, jumlah tumbukan dan temperatur pemadatan.



Gambar 2. Persentase Penambahan Serbuk Ban Terhadap Nilai Rongga Pada Mineral Agregat (VMA)

Hasil analisis grafik hubungan antara Rongga Pada Mineral Agregat (VMA) dengan prosentase penambahan serbuk ban diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$y = 147x^2 - 21.678x + 15.985 \text{ dan } R^2 = 0.9556.$$

Dimana Y = Rongga Pada Mineral Agregat (VMA) dan X = prosentase penambahan serbuk ban.

Dengan menggunakan persamaan tersebut kita dapat mencari Rongga Pada Mineral Agregat (VMA) minimum dan prosentase penambahan serbuk ban optimum. Prosentase penambahan serbuk ban optimum jika $Y' = 0$

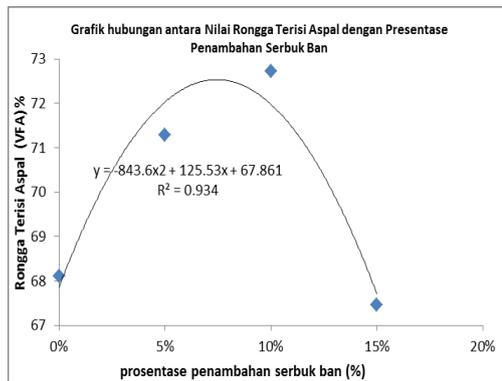
$$x = 0.074 \rightarrow 7.4\%$$

$$y_{\min} = 147 \cdot (0.074)^2 - 21.678 \cdot (0.074) + 15.985 = 15,186\%.$$

Dari Gambar 2 diatas nilai VMA semakin menurun dari penambahan serbuk ban mulai 0% sampai 7,4% namun tetap memenuhi syarat, kemudian nilai VMA kembali meningkat hingga penambahan serbuk ban 15%. Dari hasil perhitungan didapat nilai $R^2 = 0,9556$ artinya nilai korelasi sangat kuat dan nilai VMA optimum pada 7,4% dengan nilai sebesar 15,186%. Semakin besar nilai VMA maka campuran semakin awet. Akan tetapi jika VMA terlalu besar maka campuran bisa memperlihatkan masalah stabilitas dan tidak ekonomis untuk diproduksi.

Analisis Hasil Pengujian Pengaruh Penambahan Serbuk Ban Terhadap Nilai Rongga Terisi Aspal (VFA)

Nilai VFA menunjukkan persentase besarnya rongga yang dapat terisi oleh aspal. Besarnya nilai VFA menentukan keawetan suatu campuran beraspal panas, semakin besar nilai VFA akan menunjukkan semakin kecil nilai VIM, yang berarti rongga yang terisi aspal semakin banyak, oleh karena itu campuran beraspal panas akan semakin awet. Hasil pengujian hubungan antara penambahan serbuk ban terhadap nilai rongga terisi aspal (VFA) dapat dilihat pada grafik 3.



Gambar 3 Persentase Penambahan Serbuk Ban Terhadap Nilai Rongga Terisi Aspal (VFA)

Hasil analisis grafik hubungan antara Rongga Terisi Aspal (VFA) dengan prosentase penambahan serbuk ban diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$y = -843.6x^2 + 125.53x + 67.861$$

Dimana Y = Rongga Terisi Aspal (VFA) dan X = prosentase penambahan serbuk ban.

Dengan menggunakan persamaan tersebut kita dapat mencari Rongga Terisi Aspal (VFA) maksimum dan prosentase penambahan serbuk ban optimum. Prosentase penambahan serbuk ban optimum jika $Y' = 0$

$$x = 0.074 \rightarrow 7.4\%$$

$$y_{max} = -843.6(0.074)^2 + 125.53(0.074) + 67.861 = 72.510\%$$

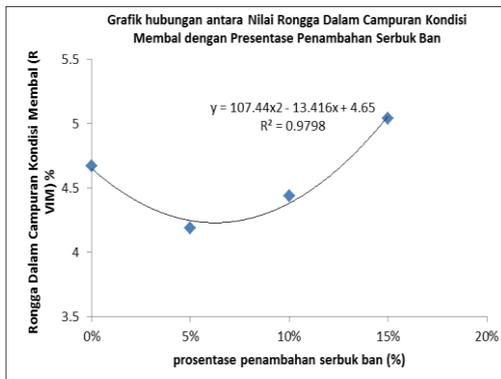
Dari grafik diatas nilai VFA meningkat dengan penambahan serbuk ban mulai 0% sampai 7,4% kemudian menurun sampai penambahan serbuk ban 15%. Dari hasil perhitungan nilai $R^2 = 0,934$ artinya nilai korelasi sangat kuat dan nilai VFA optimum pada prosentase penambahan serbuk ban

sebesar 7.4% dengan nilai 72.510%. Semakin besar nilai VFA maka campuran semakin awet dan semakin sedikit nilai VFA maka agregat yang terselimuti aspal semakin tipis yang menyebabkan campuran tidak awet. Nilai VFA berpengaruh pada sifat kedap air dan udara serta sifat elastisitas campuran.

Analisis Hasil Pengujian Pengaruh Penambahan Serbuk Ban Terhadap Nilai Rongga Dalam Campuran Kondisi Membal (VIM)

Refusal Void In Mix adalah volume total udara yang berada diantara partikel agregat yang terselimuti aspal dalam suatu campuran yang telah dipadatkan pada kondisi membal, dan dinyatakan dalam persen volume *bulk*. *Refusal Void In Mix* digunakan untuk mengetahui besarnya rongga campuran dalam persen, rongga udara yang dihasilkan ditentukan oleh susunan partikel agregat dalam campuran.

Rongga udara merupakan indikator durabilitas campuran beraspal sehingga rongga tidak terlalu kecil atau terlalu besar. Nilai Rongga udara dalam campuran kondisi membal ini dibutuhkan karena dengan pemadatan standar (2x75) dianggap belum cukup untuk menjamin kinerja campuran beraspal yang digunakan untuk lalu lintas berat dan padat pada temperatur tinggi.



Gambar 4 Persentase Penambahan Serbuk Ban Terhadap Nilai Rongga Dalam Campuran Kondisi Membal (*Refusal VIM*)

Hasil analisis grafik hubungan antara Rongga Dalam Campuran Kondisi Membal (*Refusal VIM*) dengan prosentase penambahan serbuk ban diperoleh persamaan sebagai berikut :

$$y = 107.44x^2 - 13.416x + 4.65 \text{ dan } R^2 = 0.9798$$

Dimana $Y =$ Rongga Dalam Campuran Kondisi Membal (*Refusal VIM*) dan $X =$ prosentase penambahan serbuk ban

Dengan menggunakan persamaan tersebut kita dapat mencari Rongga Dalam Campuran Kondisi Membal (*Refusal VIM*) minimum dan prosentase penambahan serbuk ban optimum. Prosentase penambahan serbuk ban optimum jika $Y' = 0$

$$Y' = 214.880 X - 13.416 = 0$$

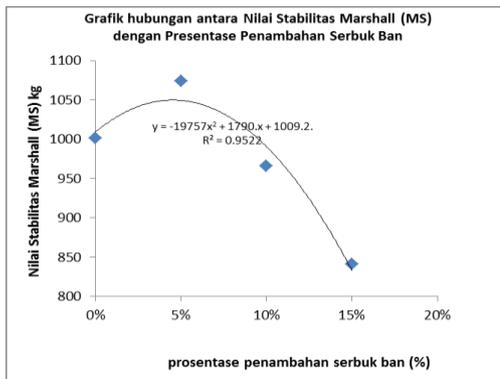
$$x = 0.062 \rightarrow 6.2\%$$

$$y_{max} = 107.44 * (0.062)^2 - 13.416 * (0.062) + 4.65 = 4.231\%$$

Dari Gambar 4 diatas nilai RVIM dengan penambahan serbuk ban menurun dari mulai 0% sampai 6,2%, dan kembali meningkat hingga penambahan serbuk ban 15%. Dari hasil perhitungan, penambahan serbuk ban optimum sebesar 6,2% dengan nilai RVIM sebesar 4,231%. RVIM menyatakan banyaknya persentase rongga udara dalam campuran aspal pada kondisi membal. Semakin kecil Nilai RVIM maka semakin awet campuran karena nilai rongga udara semakin kecil, namun tetap harus memenuhi syarat minimum.

Analisis Hasil Pengujian Pengaruh Penambahan Serbuk Ban Terhadap Nilai Stabilitas Marshall (*MS*)

Ketahanan (stabilitas) ialah kemampuan suatu campuran aspal untuk menerima beban sampai terjadi kelelahan beban sampai terjadi kelelahan plastisitas ialah keadaan perubahan bentuk suatu campuran aspal yang terjadi akibat suatu beban batas runtuh yang dinyatakan dalam mm, atau 0,01”.



Gambar 5 Persentase Penambahan Serbuk Ban Terhadap Nilai Stabilitas Marshall (MS).

Hasil analisis grafik hubungan antara Nilai Stabilitas Marshall (MS) dengan prosentase penambahan serbuk ban diperoleh persamaan sebagai berikut :

$$y = -19757x^2 + 1790x + 1009.2$$

dan $R^2 = 0.9522$

Dimana Y = Stabilitas Marshall (MS) dan X = prosentase penambahan serbuk ban.

Dengan menggunakan persamaan tersebut kita dapat mencari Stabilitas Marshall (MS) maksimum dan prosentase penambahan serbuk ban optimum. Prosentase penambahan serbuk ban optimum jika $Y' = 0$

$$Y' = 39514 X + 1790 = 0$$

$$x = 0.045 \rightarrow 4.5\%$$

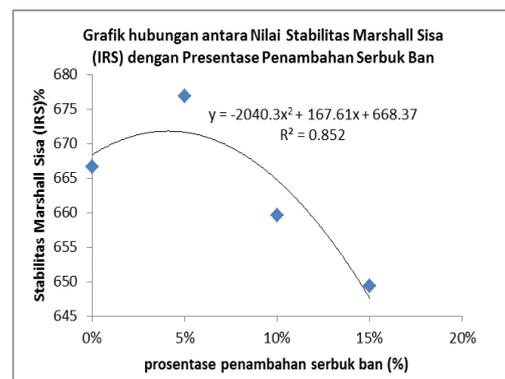
$$y_{max} = -19.757 * (0.045)^2 - 1790 * (0.045) + 1009.2 = 1008.86 \text{ kg}$$

Dari Gambar 5 diatas bahwa nilai stabilitas naik dari Penambahan serbuk ban 0% sampai 4,5%, kemudian stabilitas marshall menurun dengan penambahan serbuk ban sampai 15%. Stabilitas marshall turun karena film aspal terlalu tebal

menyelimuti agregat. Nilai stabilitas diatas memenuhi spesifikasi yang disyaratkan SNI minimal 800 kg. dari hasil perhitungan, Nilai $R^2 = 0,9522$ artinya nilai korelasi sangat kuat dan penambahan serbuk ban optimum sebesar 4,5% dengan nilai stabilitas marshall sebesar 1008,86 kg.

Analisis Hasil Pengujian Pengaruh Penambahan Serbuk Ban Terhadap Nilai Stabilitas Marshall Sisa (IRS)

Stabilitas marshall sisa di dapatkan dengan cara merendam ulang dengan suhu 60° C benda uji yang telah di uji stabilitas selama 24 jam, kemudian dilakukan pengujian stabilitas kembali tanpa pemadatan ulang. Stabilitas marshall sisa diperlukan pada lapisan permukaan perkerasan jalan, sehingga lapisan tersebut dapat bertahan terhadap pengaruh cuaca, air, perubahan temperature atau keausan akibat gesekan kendaraan.



Gambar 6 Persentase Penambahan Serbuk Ban Terhadap Nilai Stabilitas Marshall Sisa (IRS)

Hasil analisis grafik hubungan antara Nilai Stabilitas Marshall Sisa (IRS) dengan prosentase penambahan

serbuk ban diperoleh persamaan sebagai berikut :

$$y = -2040.3x^2 + 167.61x + 668.37$$

dan $R^2 = 0,852$

Dimana $Y =$ Stabilitas *Marshall* Sisa (*IRS*) dan $X =$ prosentase penambahan serbuk ban

Dengan menggunakan persamaan tersebut kita dapat mencari Stabilitas *Marshall* Sisa (*IRS*) maksimum dan prosentase penambahan serbuk ban optimum.

Prosentase penambahan serbuk ban optimum jika $Y' = 0$

$$Y' = 4080 X + 167.61 = 0$$

$$x = 0.041 \rightarrow 4.1\%$$

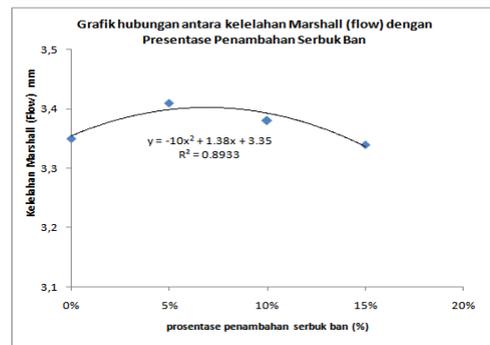
$$y_{max} = -2040.3 * (0.041)^2 - 167.61 * (0.041) + 668.37 = 671.813$$

Dari Gambar 6 di atas bahwa nilai stabilitas *marshall* naik dari Penambahan serbuk ban 0% sampai 4,1%, kemudian stabilitas Marsal sisa menurun dengan penambahan serbuk ban sampai 15%. Dari hasil perhitungan, Nilai $R^2 = 0,852$ artinya nilai korelasi sangat kuat dan penambahan serbuk ban optimum pada 4,1% dengan nilai stabilitas sebesar 67,8183 kg. Stabilitas *marshall* sisa turun karena film aspal terlalu tebal menyelimuti agregat. Nilai stabilitas *Marshall* sisa diatas memenuhi spesifikasi yang disyaratkan SNI minimal 80% dari stabilitas *Marshall* atau sebesar 640 kg.

Analisis Hasil Pengujian Karakteristik Marshall Pengaruh Penambahan Serbuk Ban

Terhadap Nilai Kelelahan *Marshall* (Flow)

Flow yaitu keadaan perubahan bentuk suatu campuran beton aspal (benda uji) yang terjadi akibat suatu benda sampai batas runtuh, yang dinyatakan dalam satuan 0,01. Nilai *flow* ini diperoleh pada saat jarum arloji pada pengukuran stabilitas mulai berhenti dan mulai turun kembali pada posisi semula dan pada saat itu pula diperoleh nilai *flow* yang ditunjukkan oleh jarum pada arloji kelelahan (*flow meter*).



Gambar 7. Persentase Kadar Aspal Terhadap Nilai Kelelahan *Marshall* (Flow)

Hasil analisis grafik hubungan antara Nilai Stabilitas *Marshall* Sisa (*IRS*) dengan prosentase penambahan serbuk ban diperoleh persamaan sebagai berikut :

$$y = -10x^2 + 1.38x + 3.35 \text{ dan } R^2 = 0,8933$$

Dimana $Y =$ Kelelahan *Marshall* (Flow) dan $X =$ prosentase penambahan serbuk ban

Dengan menggunakan persamaan tersebut kita dapat mencari Stabilitas *Marshall* Sisa (*IRS*)

maksimum dan prosentase penambahan serbuk ban optimum.

Prosentase penambahan serbuk ban optimum jika $Y'=0$

$$Y' = 20 X + 1.38 = 0$$

$$x = 0.069 \rightarrow 6.9\%$$

$$y \text{ max} = -10*(0.069)^2 - 1.38*(0.069) + 3.35 = 3.40 \text{ mm}$$

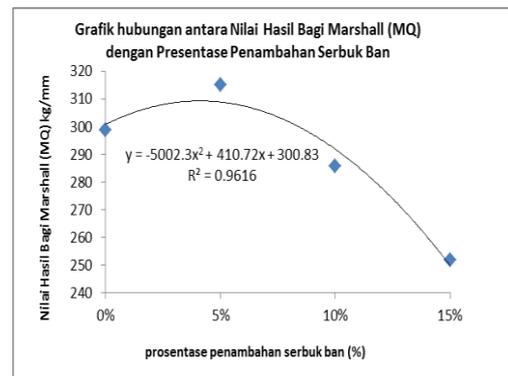
Dari Gambar diatas nilai kelelahan *marshall* meningkat seiring dengan penambahan serbuk ban dari mulai 0% hingga 6,9%. Dalam perhitungan, dengan nilai $R^2 = 0,8944$ artinya nilai korelasi sangat kuat dan persentase penambahan serbuk ban optimum sebesar 6.9% dengan nilai kelelahan sebesar 3,40 mm. Nilai kelelahan (*flow*) memenuhi spesifikasi yang disyaratkan yaitu minimal 3 mm. semakin besar Nilai *flow* maka sifat campuran menjadi semakin lentur, namun semakin lentur sifat campuran, nilai stabilitasnya akan semakin menurun.

Analisis Hasil Pengujian Karakteristik Marshall Pengaruh Penambahan Serbuk Ban Terhadap Nilai Hasil Bagi Marshall (*Marshall Question*)

Marshall Quotient (MQ) merupakan hasil bagi antara stabilitas dan *flow* yang mengindikasikan pendekatan terhadap kekakuan dan fleksibilitas dari suatu campuran beraspal panas. Besarnya nilai MQ tergantung dari besarnya nilai stabilitas yang dipengaruhi oleh gesekan antar butiran (*fictional resistance*) dan saling mengunci antar butiran (*interlocking*) yang terjadi antara partikel agregat dan kohesi campuran bahan susun, serta

nilai *flow* yang dipengaruhi oleh viscositas, kadar aspal, gradasi bahan susun dan jumlah tumbukan.

Campuran yang memiliki nilai MQ yang rendah, maka campuran beraspal panas akan semakin fleksibel, cenderung menjadi plastis dan lentur sehingga mudah mengalami perubahan bentuk pada saat menerima beban lalu lintas yang tinggi. Sedangkan campuran yang memiliki MQ tinggi, campuran beraspal panas akan kaku dan kurang lentur. Faktor yang mempengaruhi nilai MQ adalah gradasi bahan susun, bentuk butir, kadar aspal, kohesi, energi pemadatan dan temperatur pemadatan.



Gambar 8 Persentase Penambahan Serbuk Ban Terhadap Nilai Hasil Bagi Marshall (MQ).

Hasil analisis grafik hubungan antara Nilai Hasil Bagi *Marshall* (MQ) dengan prosentase penambahan serbuk ban diperoleh persamaan sebagai berikut :

$$y = -5002.3x^2 + 410.72x + 300.83 \text{ dan } R^2 = 0.9616$$

Dimana Y= Nilai Hasil Bagi *Marshall* (MQ) dan X = prosentase penambahan serbuk ban

DAFTAR PUSTAKA

- Faisal, Shaleh Sofyan M, Isya M. 2014. *Karakteristik Marshall Campuran Aspal Beton AC-BC Menggunakan Material Agregat Basalt dengan Aspal Pen. 60/70 dan Tambahan Parutan Ban Dalam Bekas Kendaraan Roda 4*. Jurnal Teknik Sipil Universitas Syiah Kuala. Vol. 3, No. 3 : 38-48.
- Kennedy, T.W. 2000. *Characterization of Asphalt Pavement Material Using The Indirect Tensile Strenngth*, Proceeding Association of Asphalt Paving Technology, Volume 46, Page 132-150, San Antonio, Texas, USA.
- Kurniati, Nelly, 2004, *Karakteristik Campuran Beton Aspal dengan Substitusi Ban Bekas Sebagai Agregat*, Tesis Magister. Program Studi Teknik Sipil Bidang Rekayasa Transportasi, Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Silvia Sukirman. 2003. *Campuran Beraspal Panas*. Bandung: Penerbit Granit.