

**PENGARUH SIFAT FISIK ASPAL MODIFIKASI LIMBAH PVC DAN LLDPE TERHADAP  
SIFAT VOLUMETRIK ASPHALT CONCRETE WEARING COURSE**  
*Effect of Waste PVC and LLDPE Modified Asphalt Physical Characteristics on  
Volumetric Properties of Asphalt Concrete Wearing Course*

Hasyim\*

\*Jurusan Teknik Sipil Universitas Mataram, Jl Majapahit 62 Mataram

Email :hasyim\_husien@unram.ac.id

**Abstrak**

*Aspal yang digunakan sebagai bahan perkerasan jalan harus memenuhi persyaratan tertentu yang ditetapkan Direktorat Jenderal Bina Marga agar dapat memikul beban lalu lintas selama umur yang telah direncanakan. Namun seringkali ditemukan bahwa aspal yang digunakan tidak sesuai dengan standar. Karena itu, perlu ada upaya untuk meningkatkan kualitas aspal dengan modifikasi menggunakan bahan-bahan lain. Tulisan ini ingin mengkaji hubungan antara sifat fisik aspal yang dimodifikasi limbah PVC dan LLDPE dengan sifat-sifat volumetrik campuran, yaitu rongga di antara mineral agregat (VMA), rongga dalam campuran (VIM) dan rongga terselimuti aspal (VFB). Sifat fisik aspal modifikasi limbah PVC dan LLDPE yang dikaji adalah daktilitas, penetrasi dan titik lembek. Dari analisa yang dilakukan, disimpulkan bahwa daktilitas, penetrasi dan titik lembek aspal modifikasi limbah PVC dan LLDPE berpengaruh sangat signifikan terhadap sifat volumetrik campuran aspal-agregat. Campuran asphalt concrete wearing course yang menggunakan aspal modifikasi limbah PVC menghasilkan ikatan antara aspal dan agregat yang lebih kuat dibandingkan dengan campuran yang menggunakan aspal modifikasi limbah LLDPE.*

*Kata Kunci : Aspal modifikasi, Limbah, PVC, LLDPE, Volumetrik campuran.*

**PENDAHULUAN**

Bertambahnya volume dan beban lalu lintas kendaraan dari tahun ke tahun merupakan penyebab dari kerusakan lapis perkerasan jalan di samping pengaruh air dan perubahan cuaca. Untuk mengurangi kerusakan dan memperpanjang umur layanan jalan, material yang digunakan harus memenuhi standar spesifikasi yang telah ditentukan. Namun seringkali ditemukan bahwa aspal yang digunakan tidak sesuai dengan standar. Hasil penelitian yang dilakukan Farid (2017) menyebutkan bahwa titik lembek aspal penetrasi 60/70 lebih rendah dari standar persyaratan titik lembek yaitu 48°C. Karena itu, perlu ada upaya untuk meningkatkan kualitas aspal dengan modifikasi menggunakan bahan-bahan lain.

Salah satu bahan yang dapat digunakan sebagai *additive* pada aspal adalah limbah plastik. Limbah plastik *polyvinyl chloride* (PVC) umumnya diperoleh dari talang air, pipa air, kusen dan daun pintu PVC yang sudah tidak digunakan lagi. Penggunaan *polyvinyl chloride* (PVC) sebagai bahan tambah pada aspal meningkatkan titik lembek aspal modifikasi tersebut (Mashuri, 2009). Di samping itu, limbah *low linear density poly ethylene* (LLDPE) yang umumnya diperoleh dari plastik pembungkus gula pasir atau es batu dapat digunakan sebagai bahan tambah pada aspal. Hasil penelitian Pratomo (2016) menunjukkan bahwa penambahan *low linear density poly ethylene* (LLDPE) dapat meningkatkan kemampuan *hot mix asphalt* untuk memikul beban lalu lintas secara signifikan.

Penelitian lain terkait pengaruh penggunaan limbah plastik pada campuran lapis aspal beton adalah penelitian Rozy (2019) yang menggunakan limbah PVC dan Firmansyah (2019) yang menggunakan limbah LLDPE. Namun penelitian tersebut belum mengkaji hubungan antara sifat-sifat

fisik aspal modifikasi limbah PVC dan LLDPE dengan sifat volumetrik campuran. Besarnya rongga dalam campuran, rongga di antara mineral agregat, rongga yang terselimuti aspal adalah sifat-sifat volumetrik yang berdampak pada daya tahan campuran terhadap tingkat kerusakan dan umur layanan jalan. Penelitian ini bertujuan mengkaji sifat-sifat volumetrik campuran laston *asphalt concrete wearing course* berdasarkan perbedaan sifat fisik aspal yang dimodifikasi limbah PVC dan LLDPE tersebut.

## TINJAUAN PUSTAKA

Plastik adalah istilah umum bagi polimer, yaitu material yang terdiri dari rantai panjang karbon dan elemen-elemen lain yang mudah dibuat menjadi berbagai bentuk dan ukuran. Karakteristik polimer antara lain adalah ringan (rasio bobot/volume kecil), tahan korosi dan kerusakan terhadap lingkungan yang agresif. Plastik dibuat dengan cara polimerisasi yaitu menyusun dan membentuk bahan-bahan dasar plastik yang disebut monomer melalui reaksi kimia. Polimer yang bersifat kenyal, dapat berubah bentuk dan dapat ditarik, tetapi bentuknya akan kembali seperti semula disebut dengan *elastomer*. Polimer yang bersifat kaku, apabila ditarik dan diberi tegangan tidak akan kembali ke bentuk semula disebut dengan *plastomer*. Salah satu contoh jenis polimer *plastomer* adalah *polyvinylchloride* atau PVC (Rahayu, 2009).

Berdasarkan perubahan suhu, Harsojuwono dan Arnata (2015) membagi polimer menjadi:

1. Termoplastik, merupakan jenis plastik yang dapat meleleh pada suhu tertentu, melekat mengikuti perubahan suhu dan mempunyai sifat dapat balik (*reversible*) kepada sifat aslinya. Proses pemanasan akan membuat plastik ini dapat melunak dan kembali mengeras jika didinginkan. Salah satu contoh plastik ini adalah LLDPE.
2. Termoset, tidak dapat mengikuti perubahan suhu (*irreversible*). Plastik termoset adalah plastik yang apabila telah mengalami kondisi tertentu tidak dapat dicetak kembali karena bangun polimernya berbentuk jaringan tiga dimensi. Jenis plastik ini tidak dapat dilunakkan kembali setelah proses pengerasan. Proses pemanasan yang tinggi akan membentuk arang dan terurai pada jenis plastik ini. Jenis-jenis plastik termoset antara lain : *poly urethane* (PU), *urea formaldehyde* (UF), *melamine formaldehyde* (MF), *polyester*, epoksi dan lain-lain.

Aspal modifikasi polimer merupakan aspal modifikasi yang proses pembuatannya melalui proses pencampuran aspal keras dengan bahan tambah polimer. Penambahan polimer sangat berpengaruh terhadap sifat reologi aspal. Dalam jumlah yang sedikit penambahan polimer dapat membuat sifat reologi aspal berubah sangat drastis. Manfaat dan keuntungan dari penggunaan aspal modifikasi polimer yaitu meningkatkan ketahanan terhadap deformasi, meningkatkan penyaluran beban dan menurunkan kegetasan (Yildirim, 2005).

## METODE PENELITIAN

Data yang digunakan untuk melakukan pengkajian terhadap sifat volumetrik campuran laston ini adalah data sekunder yang mengacu pada hasil penelitian Rozy (2019) dan Firmansyah (2019). Prosedur penelitian agregat, aspal dan *hot mix asphalt* berpedoman pada Standar Nasional Indonesia (SNI). Pengujian tersebut menggunakan aspal pen 60/70 serta agregat kasar dan agregat halus yang

diambil dari stok agregat di pabrik pencampur aspal (*asphalt mixing plant*) di Pringgabaya, Lombok Timur. Distribusi ukuran agregat yang digunakan disajikan pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Distribusi Ukuran Agregat Yang Digunakan

| No. Saringan | Ukuran saringan (mm) | Gradasi (% lolos)* |
|--------------|----------------------|--------------------|
| 3/4"         | 19.000               | 100.000            |
| 1/2"         | 12.500               | 95.000             |
| 3/8"         | 9.500                | 83.500             |
| No. 4        | 4.750                | 61.000             |
| No. 8        | 2.360                | 43.000             |
| No. 16       | 1.180                | 30.500             |
| No. 30       | 0.600                | 22.000             |
| No. 50       | 0.300                | 15.500             |
| No. 100      | 0.150                | 10.500             |
| No. 200      | 0.075                | 6.500              |

Sumber: \*) Rozy (2019), Firmansyah (2019).

Untuk membuat aspal modifikasi, aspal 60/70 ditambahkan dengan limbah PVC sebesar 1%, 2%, 3% dan 4% terhadap berat aspal 60/70 (Rozy, 2019). Adapun aspal modifikasi limbah LLDPE dibuat dengan penambahan 1%, 1.5%, 2% dan 2.5% terhadap berat aspal 60/70 (Firmansyah, 2019). Pembuatan campuran *asphalt concrete-wearing course* dilakukan secara panas (*hotmix*) pada suhu 155°C sedangkan proses pemadatan dilakukan sebanyak 75 kali dengan alat pemadat Marshall pada kedua sisinya. Sifat volumetrik campuran ditentukan melalui pengukuran rongga di antara mineral agregat (*voids in the mineral aggregate = VMA*), rongga dalam campuran (*voids in mix = VIM*) dan rongga yang diselimuti aspal (*voids filled with bitumen = VFB*).

Berdasarkan bahan *additive* yang digunakan pada aspal, dianalisa hubungan antara nilai daktilitas, penetrasi dan titik lembek aspal modifikasi limbah PVC dan LLDPE dengan sifat-sifat volumetrik campuran yaitu VMA, VIM dan VFB pada kadar aspal optimum 6%.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik aspal dan agregat disajikan pada Tabel 2 dan Tabel 3, sedangkan hasil uji aspal modifikasi serta sifat volumetrik campuran disajikan pada Tabel 4-Tabel 6.

**Tabel 2.** Hasil Pengujian Aspal

| Jenis pengujian                          | Hasil pengujian*) | Persyaratan**) |
|--|-------------------|----------------|
| Penetrasi (25°C, 5 detik, 0.1 mm)        | 67.50             | 60-70          |
| Titik lembek (°C)                        | 47.75             | ≥ 48.00        |
| Titik nyala (°C)                         | > 300.00          | ≥232.00        |
| Daktilitas (cm)                          | 142.00            | ≥100.00        |
| Berat jenis                              | 1.06              | ≥ 1.00         |
| Kehilangan berat (%)                     | 0.20              | ≤ 0.80         |
| Penetrasi setelah kehilangan berat (%)   | 65.40             | ≥ 54.00        |
| Daktilitas setelah kehilangan berat (cm) | 135.00            | ≥100.00        |

Sumber: \*) Rozy (2019), Firmansyah (2019) \*\*) Direktorat Jenderal Bina Marga (2013)

**Tabel 3.** Hasil Pengujian Agregat

| Jenis pengujian                      | Agregat kasar*) | Agregat halus*) | Persyaratan**) |
|--------------------------------------|-----------------|-----------------|----------------|
| Keausan <i>impact</i> (%)            | 8.58            | -               | ≤ 30.00        |
| Berat jenis bulk                     | 2.66            | 2.64            | ≥ 2.50         |
| Berat jenis semu                     | 2.79            | 2.84            | ≥ 2.50         |
| Penyerapan terhadap air (%)          | 1.73            | 2.67            | ≤ 3.00         |
| Kelekatan agregat terhadap aspal (%) | 98.00           | -               | ≥ 95.00        |

Sumber: \*) Rozy (2019), Firmansyah (2019) \*\*) Direktorat Jenderal Bina Marga (2013)

**Tabel 4.** Hasil Pengujian Aspal Modifikasi Limbah PVC dan LLDPE

| Jenis pengujian    | Aspal modifikasi limbah PVC*) |        |        |        | Aspal modifikasi limbah LLDPE**) |        |        |        |
|--------------------|-------------------------------|--------|--------|--------|----------------------------------|--------|--------|--------|
|                    | 1%                            | 2%     | 3%     | 4%     | 1%                               | 1.5%   | 2%     | 2.5%   |
| Penetrasi (0.1 mm) | 66.90                         | 65.70  | 64.30  | 61.70  | 66.50                            | 64.80  | 62.60  | 60.80  |
| Titik lembek (°C)  | 49.00                         | 51.50  | 53.00  | 54.00  | 48.15                            | 48.35  | 48.95  | 49.10  |
| Daktilitas (cm)    | 125.00                        | 119.00 | 112.00 | 106.00 | 118.50                           | 127.50 | 133.50 | 137.00 |

Sumber: \*) Rozy (2019)

\*\*\*) Firmansyah (2019)

**Tabel 5.** Hasil Pengujian Volumetrik Campuran Menggunakan Aspal Modifikasi Limbah PVC

| Prosentase limbah PVC (%) | VMA*)  | VIM*) | VFB*)  |
|---------------------------|--------|-------|--------|
| 1                         | 15.418 | 4.334 | 72.535 |
| 2                         | 15.551 | 4.446 | 71.948 |
| 3                         | 15.625 | 4.492 | 71.225 |
| 4                         | 15.674 | 4.508 | 71.239 |
| Persyaratan**)            | ≥ 15   | 3 - 5 | ≥ 65   |

Sumber: \*) Rozy (2019)

\*\*\*) Direktorat Jenderal Bina Marga (2013)

**Tabel 6.** Hasil Pengujian Volumetrik Campuran Menggunakan Aspal Modifikasi Limbah LLDPE

| Prosentase limbah LLDPE (%) | VMA*)  | VIM*) | VFB*)  |
|-----------------------------|--------|-------|--------|
| 1                           | 15.930 | 4.913 | 69.161 |
| 1.5                         | 15.873 | 4.848 | 69.457 |
| 2                           | 15.646 | 4.592 | 70.673 |
| 2.5                         | 15.472 | 4.395 | 71.065 |
| Persyaratan**)              | ≥ 15   | 3 - 5 | ≥ 65   |

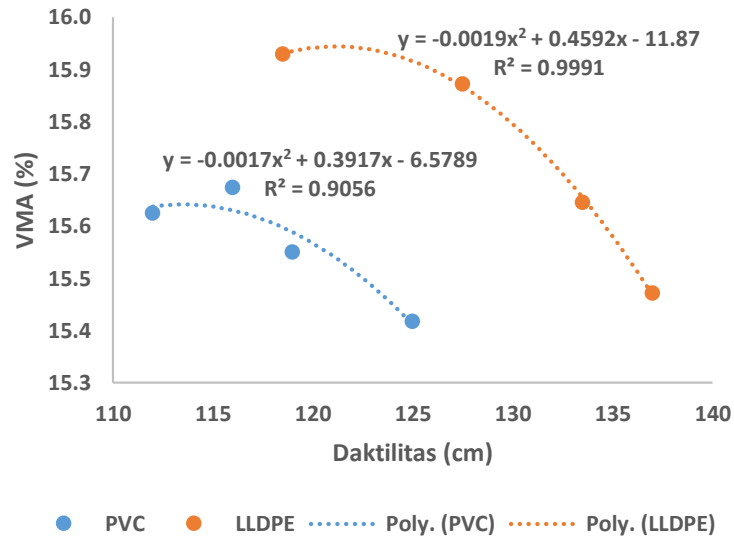
Sumber: \*) Firmansyah (2019)

\*\*\*) Direktorat Jenderal Bina Marga (2013)

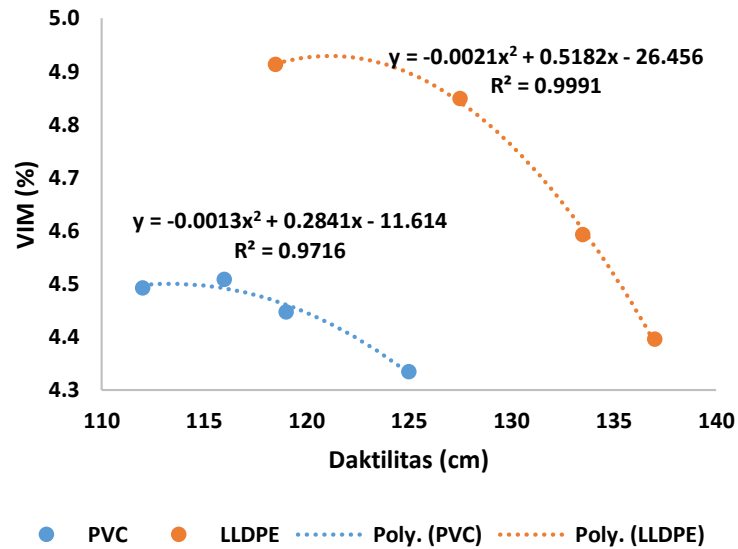
Berdasarkan **Tabel 2** terlihat bahwa secara umum karakteristik aspal yang digunakan memenuhi standar spesifikasi, kecuali pada nilai titik lembek. **Tabel 3** menunjukkan bahwa agregat yang digunakan memiliki kriteria yang sesuai ketentuan. Tingkat keausan *impact* sebesar 8.58% mengindikasikan bahwa agregat memiliki daya tahan yang cukup tinggi terhadap pembebanan baik ketika dipadatkan maupun ketika menahan beban lalu lintas kendaraan. Demikian juga kelekatan agregat terhadap aspal yang mencapai 98% menunjukkan bahwa agregat dapat terlapisi aspal dengan baik. Nilai berat jenis agregat yang berpengaruh terhadap kepadatan campuran juga memenuhi standar spesifikasi.

Pada **Tabel 4**, disajikan sifat fisik aspal yang dimodifikasi dengan limbah PVC dan LLDPE. Nilai penetrasi semakin menurun seiring dengan penambahan prosentase limbah PVC dan LLDPE pada aspal. Hal tersebut berarti bahwa aspal semakin keras dan kaku. Tingkat kekerasan aspal yang semakin tinggi juga ditunjukkan dengan hasil uji titik lembek. Aspal meleleh pada suhu yang lebih tinggi pada aspal dengan prosentase penambahan limbah PVC dan LLDPE yang lebih besar. Sebagaimana yang disebutkan sebelumnya, PVC termasuk dalam klasifikasi plastomer yang bersifat kaku, sehingga kemuluran aspal yang dimodifikasi limbah PVC lebih rendah dibandingkan dengan kemuluran aspal yang dimodifikasi limbah LLDPE.

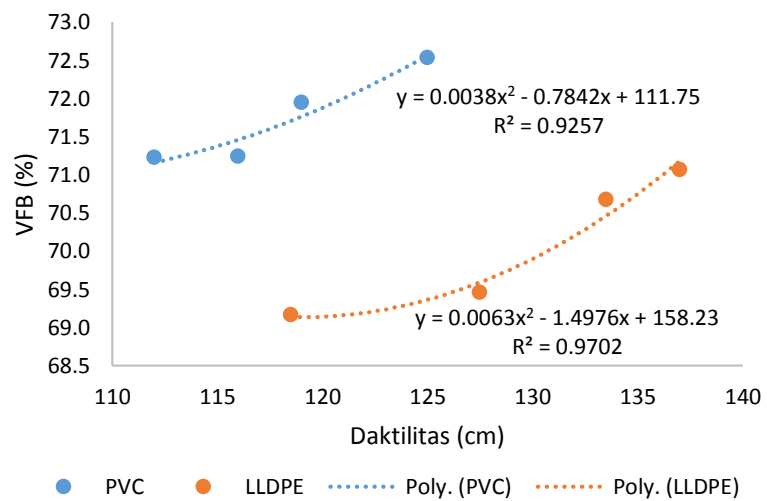
Hubungan antara sifat fisik aspal dengan volumetrik campuran disajikan pada Gambar 1 sampai dengan **Gambar 9**.



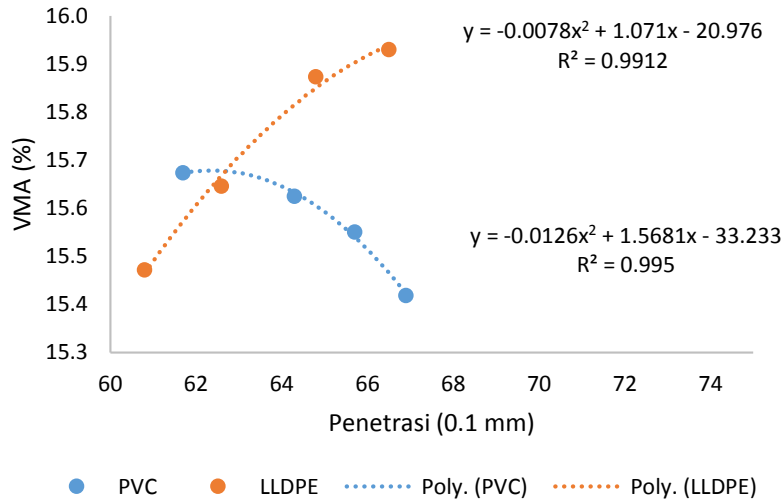
Gambar 1. Hubungan Antara Daktalitas Aspal Modifikasi dan Nilai VMA



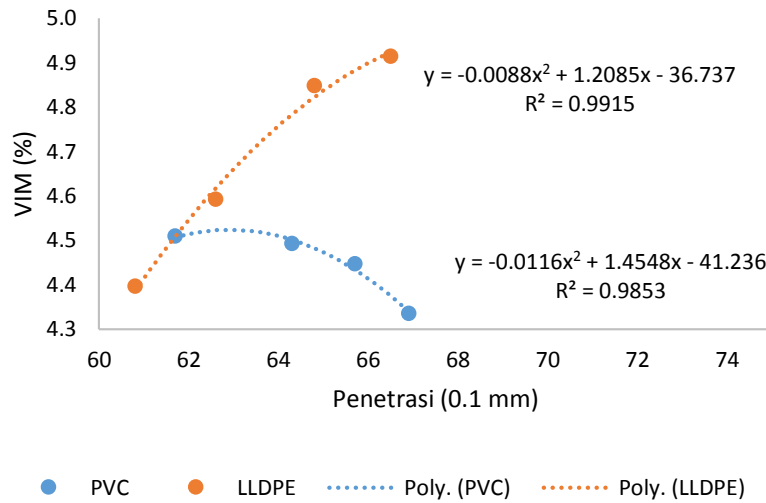
Gambar 2. Hubungan Antara Daktalitas Aspal Modifikasi dan Nilai VIM



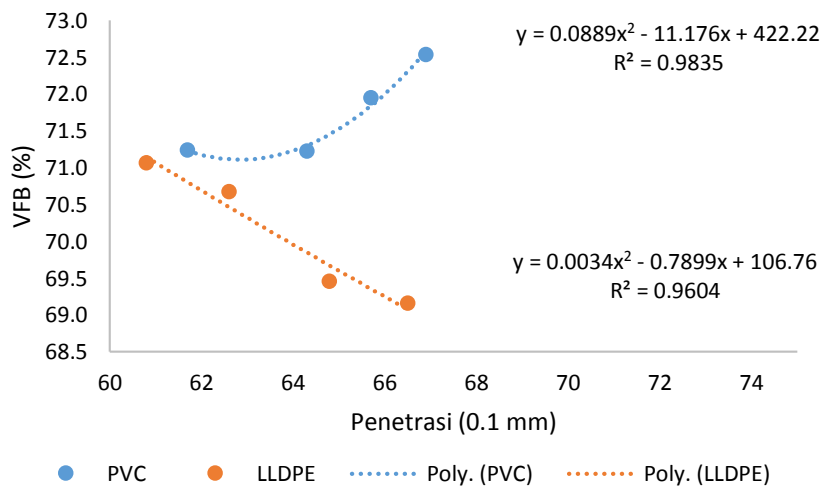
Gambar 3. Hubungan Antara Daktalitas Aspal Modifikasi dan Nilai VFB



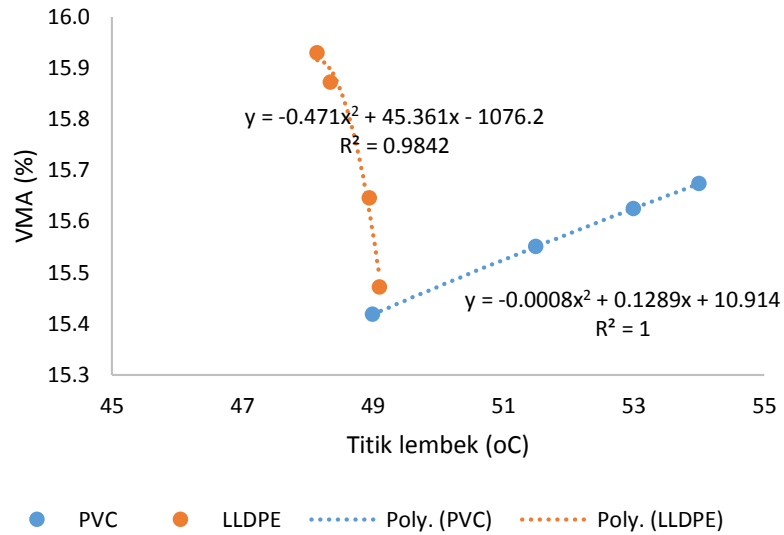
**Gambar 4.** Hubungan Antara Penetrasi Aspal Modifikasi dan Nilai VMA



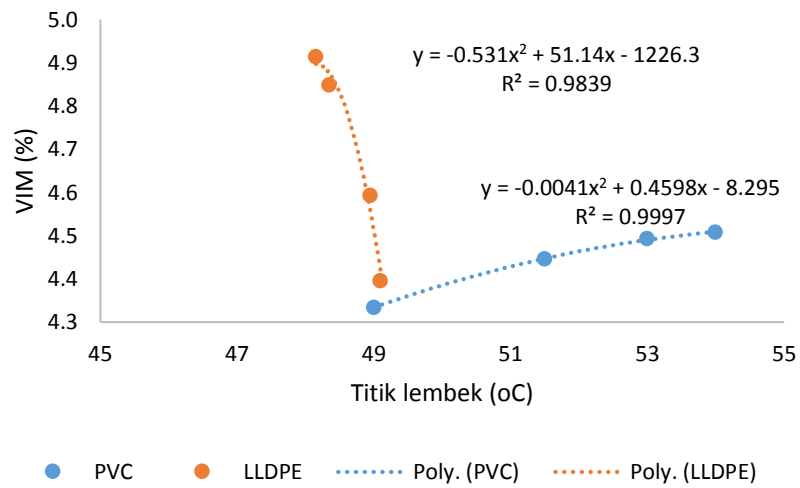
**Gambar 5.** Hubungan Antara Penetrasi Aspal Modifikasi dan Nilai VIM



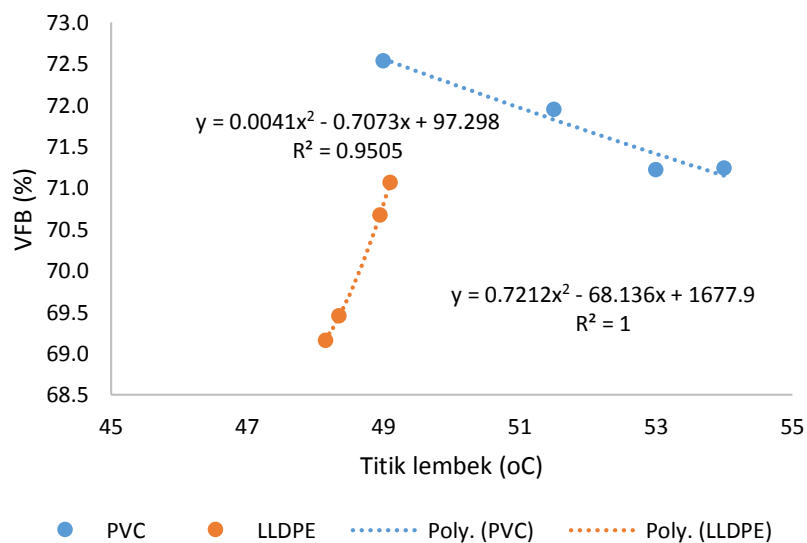
**Gambar 6.** Hubungan Antara Penetrasi Aspal Modifikasi dan Nilai VFB



**Gambar 7.** Hubungan Antara Titik Lembek Aspal Modifikasi dan Nilai VMA



**Gambar 8.** Hubungan Antara Titik Lembek Aspal Modifikasi dan Nilai VIM



**Gambar 9.** Hubungan Antara Titik Lembek Aspal Modifikasi dan Nilai VFB

**Gambar 1** menunjukkan hubungan antara daktilitas aspal dengan nilai VMA. Daktilitas diukur melalui kemuluran aspal dimana sifat ini sangat berkaitan dengan tingkat elastisitas. Semakin tinggi sifat kemuluran aspal, nilai VMA semakin rendah. Hal ini disebabkan karena semakin elastis sifat aspal, daya ikatnya dengan agregat semakin kuat sehingga VMA yang merupakan rongga di antara mineral agregat menjadi semakin kecil. Nilai VIM juga lebih kecil seiring dengan meningkatnya daktilitas aspal sebagaimana yang disajikan pada Gambar 2. Aspal yang lebih elastis menghasilkan ikatan lebih kuat sehingga rongga udara yang terbentuk dalam campuran juga lebih kecil. Adapun nilai VFB semakin besar akibat nilai daktilitas yang semakin tinggi. VFB adalah volume pori pada campuran yang terisi oleh aspal. Semakin kecil VIM yang terbentuk, maka VFB semakin besar.

Pada nilai daktilitas yang sama, campuran yang menggunakan aspal modifikasi limbah PVC menghasilkan nilai VMA dan VIM lebih rendah dibandingkan dengan campuran yang menggunakan aspal modifikasi limbah LLDPE. Hal ini mengindikasikan bahwa campuran yang menggunakan aspal modifikasi limbah PVC mempunyai kemampuan untuk mengikat agregat lebih kuat. Baik pada aspal modifikasi limbah PVC maupun LLDPE, nilai  $R^2 > 0.9$  yang menunjukkan bahwa nilai daktilitas berpengaruh terhadap karakteristik VMA, VIM dan VFB lebih dari 90%.

Pada **Gambar 4**, disajikan hubungan antara nilai penetrasi aspal yang dimodifikasi limbah PVC dan LLDPE dengan nilai VMA. Penetrasi adalah tingkat kekerasan aspal di mana nilai penetrasi yang tinggi menunjukkan tingkat kekerasan aspal yang lebih lunak. Pada nilai penetrasi yang sama, campuran yang menggunakan aspal modifikasi PVC menghasilkan nilai VMA yang lebih kecil dibandingkan dengan nilai VMA pada campuran yang menggunakan aspal modifikasi limbah LLDPE. Kondisi yang sama juga ditampilkan pada **Gambar 5** dimana nilai VIM yang dihasilkan juga lebih kecil. Hal tersebut berarti bahwa aspal modifikasi PVC lebih mampu mengikat agregat dan membuat campuran lebih padat sehingga nilai VFB yang merupakan prosentase rongga terselimuti aspal semakin besar. Dari **Gambar 4** sampai **Gambar 6** terlihat bahwa nilai  $R^2 > 0.96$  yang berarti bahwa kontribusi nilai penetrasi terhadap karakteristik VMA, VIM dan VFB lebih dari 96%.

Hubungan antara titik lembek pada campuran yang dimodifikasi limbah PVC dan LLDPE dengan nilai VMA disajikan pada **Gambar 7**. Titik lembek merupakan suhu pada saat aspal meleleh yang merupakan indikator kepekaan aspal terhadap perubahan temperatur. Pada titik lembek yang sama, campuran yang menggunakan aspal modifikasi limbah PVC menghasilkan nilai VMA yang lebih rendah dari campuran yang menggunakan aspal modifikasi limbah LLDPE. Nilai VIM yang terbentuk pada campuran dengan aspal modifikasi PVC lebih kecil sehingga memperbesar nilai VFB. Sebagaimana yang ditampilkan pada **Gambar 7** sampai **Gambar 9**, titik lembek aspal memberikan kontribusi pengaruh yang sangat besar terhadap nilai VMA, VIM dan VFB yaitu lebih dari 95%.

Sifat-sifat fisik aspal yang dimodifikasi dengan limbah PCV dan LLDPE berpengaruh sangat besar terhadap nilai VMA, VIM dan VFB. Ditinjau dari persyaratan *asphalt concrete wearing course* bahwa nilai VMA minimal 15%, nilai VIM terletak pada rentang 3%-5% dan nilai VFB minimal 65%, maka hasil penelitian Rozy (2019) serta Firmansyah (2019) yang dianalisa pada tulisan ini telah memenuhi spesifikasi yang telah ditetapkan.



## SIMPULAN DAN SARAN

### Simpulan

Nilai daktilitas, penetrasi dan titik lembek aspal modifikasi limbah PVC dan LLDPE berpengaruh sangat signifikan terhadap sifat volumetrik campuran *asphalt concrete wearing course*. Dengan daktilitas, penetrasi dan titik lembek yang sama, nilai VMA dan VIM pada campuran yang menggunakan aspal modifikasi limbah PVC lebih kecil dibandingkan nilai VMA dan VIM pada campuran menggunakan aspal modifikasi limbah LLDPE, sedangkan nilai VFB yang dihasilkan pada campuran menggunakan aspal modifikasi limbah PVC lebih besar dari nilai VFB pada campuran menggunakan aspal modifikasi limbah LLDPE. Campuran *asphalt concrete wearing course* yang menggunakan aspal modifikasi limbah PVC menghasilkan ikatan aspal-agregat yang lebih kuat dibandingkan dengan campuran yang menggunakan aspal modifikasi limbah LLDPE. Ditinjau dari persyaratan sifat volumetrik *asphalt concrete wearing course*, hasil penelitian menggunakan aspal modifikasi limbah PVC dan LLDPE sesuai Rozy (2019) serta Firmansyah (2019) memenuhi spesifikasi yang telah ditetapkan.

### Saran

Perlu dilakukan pengkajian lebih lanjut tentang pengaruh parameter lain seperti suhu dan tingkat pemadatan pada campuran menggunakan aspal modifikasi limbah PVC dan LLDPE terhadap kinerja campuran tersebut.

## DAFTAR PUSTAKA

- Pratomo, P, Ali, H, Diansari, S. (2016). *Aspal Modifikasi dengan Penambahan Plastik Low Liniear Density Poly Ethylene (LLDPE) Ditinjau dari Karakteristik Marshall dan Uji Penetrasi pada Lapisan Aspal Beton (AC-WC)*. Jurnal Rekayasa, 20(3), 155-165.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. (2013). *Spesifikasi Umum Edisi 2010 Revisi 3*. Kementerian Pekerjaan Umum. Jakarta.
- Farid, M. (2017). *Pengaruh Ukuran Maksimum Agregat terhadap Kinerja Campuran Lapis Aspal Beton (Laston)*. Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Mataram.
- Firmansyah, H. (2019). *Pengaruh Penggunaan Plastik LLDPE (Low Liniear Density Polyethylene) Terhadap Kinerja Campuran Asphalt Concrete-Wearing Course*. Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Mataram.
- Harsojuwono, B.A. dan Arnata, I W. (2015). *Teknologi Polimer. Modul Kuliah 1*. Fakultas Teknologi Pertanian. Universitas Udayana.
- Mashuri. (2009). *Karakteristik Aspal Sebagai Bahan Pengikat yang ditambahkan Plastik Polyvinyl Chloride (PVC)*. Majalah Ilmiah Mektek, 11(2), 117-124.
- Rahayu, R., H. (2009). *Studi Karakteristik Campuran Beton Aspal Lapis Aus (AC-WC) yang Ditambahkan Plastik PVC*. Fakultas Teknik Universitas Tadulako.
- Rozy, F. (2019). *Pengaruh Penggunaan Plastik PVC Terhadap Kinerja Campuran Aspal Beton (AC-WC)*, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Mataram.
- Yildirim, Y. (2005). *Polymer Modified Asphalt Binders, Construction and Building Materials*. 21: 66–72.