

## PENGARUH LAMA RENDAMAN AIR LAUT TERHADAP DURABILITAS CAMPURAN ASPAL BETON MENGUNAKAN ASPAL PEN.60/70 YANG DISUBSTITUSI LIMBAH *ETHYLENE VINYL ACETATE* (EVA)

Rizal Fahmi<sup>1</sup>, Sofyan M. Saleh<sup>2</sup>, M. Isya<sup>3</sup>

<sup>1)</sup> Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala  
Jl. Tgk. Syeh Abdul Rauf No. 7, Darussalam Banda Aceh 23111,  
Email : rizalfahmi29061991@gmail.com

<sup>2,3)</sup> Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala  
Jl. Tgk. Syeh Abdul Rauf No. 7, Darussalam Banda Aceh 23111, email:  
sofyan.saleh@unsyiah.ac.id<sup>2</sup>, m\_isya@unsyiah.ac.id<sup>3</sup>

**Abstract:** in 2010 until 2012 occurs wave and abrasion in coastal areas of aceh province. The phenomenon is caused by global climate change, so can the immersion of sea water on highways. sea water immersion can be lower the durability index of asphalt concrete wearing course (AC-WC) mixture after immersion in a long time, thus to damage the pavement like crack caused the sea water immersion and traffic conditions. Alternatives to minimize the damage by using waste polymers Ethylene Vinyl Acetate (EVA) in AC-WC mixture as substitution asphalt. EVA polymer waste used is slippers, mattress and float tools of fishermen. This research is conducted to find out the Durability Index of asphalt mixture with percentage substitution of EVA polymer waste at 0.0%, 1.5%, 2.5%, 3.5%, 4.5%, 5.5% and 6.5% in asphalt, so the influence of long time sea water immersion continuous for 30 minutes, 12 hours, 24 hours, 36 hours, 48 hours, 60 hours and 72 hours at 60°C temperature. Durability Index of mixture is observation based on indicators Index of Retained Stability (IRS) and Deformation Stability Index, i.e. the First Durability Index (FDI), Second Durability Index (SDI), the Absolute Values of The Equivalent Loss or Retained Marshall Stability (RMS). The results showed the longer time immersion of sea water can decrease the Durability Index values of asphalt concrete with and without substitution EVA waste. The best asphalt concrete mixture with substitution EVA waste is obtained at 2.5% EVA substitution with value durability index (RMS) it was 91.40% greater than 90% based on the specifications of the Bina Marga 2010 at which time immersion during 72 hours, while in other substitution percentages do not meet specifications with the same immersion time period.

**Keywords :** Asphalt Concrete, Sea Water Immersion Period, RMS, Waste EVA

**Abstrak:** Pada tahun 2010 s.d 2011 terjadi gelombang pantai dan abrasi di daerah pesisir pantai provinsi aceh. Fenomena tersebut disebabkan oleh perubahan iklim global, sehingga terjadi genangan air laut pada jalan raya. Genangan air laut dapat menurunkan indeks durabilitas campuran aspal setelah terendam dengan waktu yang lama, sehingga terjadi kerusakan pada perkerasan berupa retak yang disebabkan oleh rendaman air laut dan kondisi lalu lintas. Alternatif untuk meminimalisir kerusakan dengan menggunakan limbah polimer *Ethylene Vinyl Acetate* (EVA) pada campuran Laston (AC-WC) sebagai substitusi aspal. Limbah polimer EVA yang digunakan berupa sandal, matras dan alat apung nelayan. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui Indeks Durabilitas campuran yang disubstitusi dengan persentase limbah polimer EVA sebesar 0,0%, 1,5%, 2,5%, 3,5%, 4,5%, 5,5% dan 6,5% terhadap berat aspal, serta pengaruh lama waktu rendaman air laut secara berkala selama 30 menit, 12 jam, 24 jam, 36 jam, 48 jam, 60 jam dan 72 jam pada suhu 60°C. Tinjauan Indeks Durabilitas campuran berdasarkan indikator *Index of Retained Stability* (IRS) dan *Stability Deformation Index*, yaitu Indeks Durabilitas Pertama (IDP), Indeks Durabilitas Kedua (IDK), Nilai Absolut Ekuivalen Kekuatan Tersisa (Sa) atau *Retained Marshall Stability* (RMS). Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin lama rendaman air laut pada campuran Laston nilai Indeks Durabilitas cenderung menurun dengan dan tanpa substitusi limbah EVA. Campuran Laston dengan substitusi limbah EVA terbaik diperoleh pada persentase substitusi limbah EVA 2,5% dengan nilai Indeks durabilitas (RMS) yaitu 91,40% lebih besar dari 90% berdasarkan spesifikasi Bina Marga 2010 pada waktu rendaman selama 72 jam, sedangkan pada persentase substitusi lainnya tidak memenuhi spesifikasi dengan durasi waktu rendaman yang sama.

**Kata kunci :** Campuran Aspal, Lama Waktu Rendaman Air Laut, Indeks Durabilitas, Limbah EVA.

Badan Nasional Penanggulangan Bencana mencatat bahwa pada tahun 2010 – 2011 terjadi gelombang pantai dan abrasi di beberapa daerah yaitu di Kota Langsa, Kota Lhokseumawe, Aceh Barat, Aceh Selatan, Aceh Besar, Kota Banda Aceh, Simeulue, Pidie Jaya, Aceh Utara, dan Aceh Barat Daya. Fenomena kenaikan gelombang pantai dan abrasi tersebut disebabkan oleh perubahan iklim secara global, sehingga dapat menyebabkan terjadi banjir rob yang mengenai ruas jalan raya pada daerah pesisir. Genangan air laut berdampak pada kerusakan jalan raya, hal ini karena air laut (rob) memiliki kandungan tingkat keasaman, klorida ( $\text{Cl}^-$ ), sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), dan tingkat alkalinitas yang tinggi yang dapat melemahkan kemampuan lekatan aspal (Prabowo, 2003).

Upaya mitigasi kerusakan jalan yang disebabkan oleh infiltrasi air laut pada perkerasan lentur yaitu dengan merancang campuran perkerasan yang tahan terhadap panas, kelelahan retak, yang diakibatkan oleh perubahan iklim dan kondisi lalu lintas (*Transportation association of Canada*, 2013). Aspal modifikasi polimer EVA pada campuran laston AC-WC dapat menurunkan kepekaan terhadap perubahan suhu (*temperature susceptibility*) dan memiliki ketahanan yang baik terhadap pengaruh air (Suparma, 2015).

Limbah EVA merupakan limbah yang paling banyak dihasilkan oleh industri alas kaki, karena saat ini sol sepatu berbahan baku EVA sedang digemari terutama untuk sepatu casual dan sandal (Nurhajati, 2005). Limbah EVA merupakan *Crosslinked Material* apabila hanya dibuang dan ditimbun dalam tanah tidak dapat terdegradasi oleh mikroba sehingga dapat mengganggu kelestarian hidup. Aspal modifikasi menggunakan material limbah EVA dapat menaikkan titik lembek aspal

dari 49,5 °C menjadi 63,5 °C dan menurunkan nilai penetrasi dari 68,5 menjadi 39.1 (Fang, 2009).

Upaya adaptasi akibat permasalahan tersebut berupa penggunaan material jalan raya yang mengandung *polimer* untuk menurunkan resiko kerusakan jalan akibat dampak genangan pasang air laut (*rob*), yang ditinjau berdasarkan Indeks Durabilitas campuran Laston dengan dan tanpa substitusi limbah EVA terhadap pengaruh lama waktu rendaman air laut.

## TINJAUAN KEPUSTAKAAN

*Asphalt Institute* (1997), campuran aspal beton yang baik diharapkan mampu melayani dengan baik variasi pembebanan selama bertahun-tahun dan akibat pengaruh kondisi lingkungan, serta diharapkan dari campuran aspal beton memiliki sifat-sifat dasar campuran aspal meliputi *stability*, *durability*, *impermeability*, *workability*, *flexibility*, *fatigue resistance*, dan *skid resistance*.

Laston (AC-WC) merupakan suatu lapisan permukaan paling atas dari struktur perkerasan jalan raya yang berhubungan langsung dengan roda kendaraan, mempunyai tekstur yang lebih halus dan mampu memberikan sumbangan daya dukung yang terukur serta berfungsi sebagai lapisan kedap air untuk melindungi konstruksi dibawahnya.

## Bahan Campuran Aspal Beton

Bahan utama penyusun perkerasan jalan adalah agregat, aspal dan bahan pengisi (*filler*). Untuk menghasilkan perkerasan jalan yang sesuai dengan mutu yang diharapkan, maka pengetahuan tentang sifat, pengadaan dan pengolahan dari bahan penyusun perkerasan jalan sangat diperlukan (Sukirman, 2003).

Bahan pengisi (*filler*) merupakan mineral dengan ukuran partikel  $< 0,075$  mm (lolos saringan No. 200), yang mempunyai fungsi sebagai pengisi antara rongga agregat kasar dan agregat halus dalam rangka mengurangi besarnya rongga, meningkatkan kerapatan, dan stabilitas campuran aspal, berupa debu batu kapur (*limestone dust*), abu batu, abu terbang (*fly ash*), atau bahan lain dan harus dalam keadaan kering dengan kadar air maksimal 1%.

Bukhari (2007) gradasi agregat merupakan distribusi partikel-partikel agregat berdasarkan ukurannya yang saling mengisi dan membentuk suatu ikatan saling mengunci (*interlocking*) sehingga dapat mempengaruhi stabilitas perkerasan. Persyaratan gradasi agregat seperti yang diperlihatkan pada Tabel 1.

**Tabel 1. Spesifikasi Gradasi Agregat Laston AC-WC**

| ASTM    | Ukuran Ayakan<br>(mm) | % Berat Lolos<br>AC-WC |
|---------|-----------------------|------------------------|
| 1"      | 25                    |                        |
| 3/4"    | 19                    | 100                    |
| 1/2"    | 12,5                  | 90 – 100               |
| 3/8"    | 9,5                   | 77 – 90                |
| No. 4   | 4,75                  | 53 – 69                |
| No.8    | 2,36                  | 33 – 53                |
| No. 16  | 1,18                  | 21 – 40                |
| No. 30  | 0,6                   | 14 – 30                |
| No. 50  | 0,3                   | 9 – 22                 |
| No. 100 | 0,15                  | 6 – 15                 |
| No. 200 | 0,075                 | 4 – 9                  |

Sumber : Bina Marga 2014

### Aspal Modifikasi Polymer EVA

Aspal pada lapis perkerasan jalan berfungsi sebagai bahan pengikat antara agregat untuk membentuk suatu campuran yang kompak, sehingga akan memberikan kekuatan masing-masing agregat (Kerbs And Walker, 1971).

*Ethylene Vinyl Acetate* merupakan kopolimer yang mengandung persen berat *ethylene* dengan variasi 60% sampai dengan 90% dan *vinyl acetate*

10% sampai dengan 40%, EVA merupakan tipe polimer yang mudah digunakan, serta mempunyai kemampuan yang baik untuk bersatu dengan bitumen (homogen), suhunya yang stabil pada normal mixing, serta temperaturnya yang mudah dikendalikan (Whiteoak, 1991).

Ketahanan aspal terhadap keretakan (*crack*) pada suhu rendah akan lebih baik seiring dengan penambahan 2% atau 4% EVA terhadap berat aspal, meskipun demikian ketahan aspal terhadap keretakan pada suhu rendah akan menurun ketika menambahkan 6% terhadap berat aspal. EVA merupakan polimer yang memiliki kesamaan sifat seperti *polyethylene*, EVA dapat mencair pada suhu yang lebih tinggi dari 60° C (Isaccson, 1999).

Costa (2005) Limbah polimer EVA biasanya dicampur dengan komponen lain, seperti pengisi, pewarna, dan lainnya yang dapat mengubah efisiensi polimer dalam memodifikasi aspal.

### Air Laut

Air laut memiliki berat jenis 1,025 kg/m<sup>3</sup> dan derajat keasaman berkisar antara 6,2 sampai dengan 8,4 pH yang mengandung air sebanyak 96,5% sedangkan material terlarut dalam bentuk molekul dan ion sebanyak 3,5%. Material yang terlarut tersebut 89% terdiri dari garam *Chlor* sedangkan sisanya 11% terdiri dari unsur-unsur lainnya (Rahim, 2010).

### Durabilitas

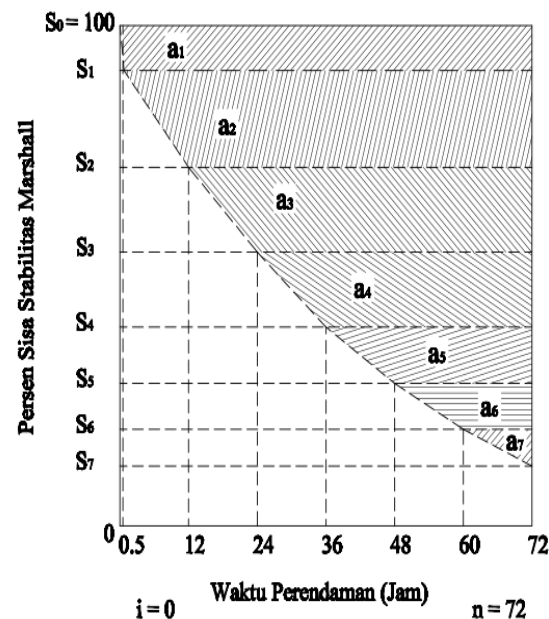
Durabilitas pada umumnya berkaitan dengan keawetan campuran terhadap pengaruh rendaman air dan temperatur dalam kurun waktu yang lama. Durabilitas campuran dapat ditingkatkan dengan membuat campuran beton aspal yang padat dan kedap, serta tahan terhadap pengaruh air, yang hanya dapat diperoleh dari penggunaan agregat

bergradasi rapat dengan aspal polimer yang mempunyai daya lengket lebih tinggi. Untuk menilai potensi dan pengaruh rendaman air pada pengujian durabilitas campuran aspal beton dengan melihat nilai *Index of Retained Stability* (IRS) dan *Stability Deformation Index*, yaitu Indeks Durabilitas Pertama (IDP), Indeks Durabilitas Kedua (IDK), Nilai Absolut Ekuivalen Kekuatan Tersisa ( $S_a$ ) atau *Retained Marshall Stability* (RMS) yang diperoleh berdasarkan hasil pengujian marshall setelah perendaman. Bina Marga (2010) menyebutkan nilai durabilitas dikatakan baik apabila lebih besar dari 90 %.

Karakteristik campuran setelah dilakukan perendaman 24 jam, tidak selalu menggambarkan keawetan campuran aspal setelah masa perendaman yang lebih lama (Craus, J, et.al, 1981). Craus telah melakukan penelitian keawetan campuran aspal setelah perendaman dengan waktu yang lebih lama, serta mencari suatu parameter kualitatif tunggal yang akan menunjukkan ciri-ciri keawetan campuran. Kriteria-kriteria berikut dinilai dapat memenuhi "indeks keawetan" yaitu :

- Harus rasional dan didefinisikan secara fisik.
- Harus menggambarkan kekuatan menahan dan nilainya absolut.
- Harus menunjukkan potensi keawetan untuk suatu rentang yang fleksibel dari masa perendaman.
- Harus dengan tepat memberikan gambaran dari perbedaan perubahan waktu rendaman dari kurva keawetan.

Nahyo (2014) menyebutkan dua kriteria indeks keawetan yang diperoleh diatas, dapat menggambarkan indeks keawetan campuran setelah masa perendaman yang lama.



Gambar 1. Gambaran skema kurva keawetan (Craus, J, 1981)

### Index of Retained Stability (IRS)

Nilai *Index of Retained Stability* atau Indeks stabilitas sisa dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan berikut :

$$IRS = \frac{MS_t}{MS_s} \times 100 \quad (1)$$

Keterangan :

IRS = Indeks Stabilitas Sisa (%);

$MS_t$  = Stabilitas Marshall Setelah Perendaman 24 Jam (Kg);

$MS_s$  = Stabilitas Marshall Setelah Perendaman 30 Menit (Kg).

### Indeks Durabilitas Pertama (IDP)

Indeks durabilitas pertama menunjukkan hilangnya persentase kekuatan selama perendaman, baik itu dalam durasi hari atau jam. Nilai positif (+) yang diperoleh pada indeks durabilitas pertama ( $r$ ) menunjukkan penurunan persentase indeks

durabilitas campuran, sedangkan nilai negatif (-) yang diperoleh menunjukkan meningkatnya persentase indeks durabilitas campuran. Berdasarkan kurva keawetan pada Gambar 1, penurunan nilai indeks durabilitas pertama (r) dapat dinyatakan seperti pada persamaan 2.

$$r = \sum_{i=0}^{n-1} \frac{S_i - S_{i+1}}{t_{i+1} - t_i} \quad (2)$$

### Indeks Durabilitas Kedua (IDK)

Indeks Durabilitas Kedua didefinisikan sebagai rata-rata luasan kehilangan kekuatan campuran seiring lama perendaman. Nilai positif (+) yang diperoleh dari nilai (a) menunjukkan penurunan rata-rata nilai indeks durabilitas kedua, sedangkan nilai negatif (-) menunjukkan peningkatan rata-rata nilai indeks durabilitas kedua. Berdasarkan Gambar 1, penurunan nilai indeks durabilitas kedua (a) dapat dinyatakan seperti pada persamaan 3.

$$a = \frac{1}{t_n} \sum_{i=1}^n a_i = \frac{1}{2t_n} \sum_{i=0}^{n-1} (S_i - S_{i+1}) \cdot [2t_n - (t_i + t_{i+1})] \quad (3)$$

### Retained Marshall Stability (RMS)

Nilai absolut ekivalen kuat tahan tersisa ( $S_a$ ) atau *Retained Marshall Stability* (RMS) merupakan rata-rata luasan kehilangan kekuatan campuran seiring lama waktu rendaman pada indeks durabilitas kedua (IDK), nilai  $S_0$  merupakan nilai indeks durabilitas campuran awal pada rendaman 30 menit ( $S_0 = 100\%$ ), untuk menentukan nilai absolut ekivalen kuat tahan tersisa ( $S_a$ ) seperti diperlihatkan pada persamaan 2.3 dan persamaan 2.4 berikut.

$$A = \frac{a}{100} \times S_0 \quad (4)$$

$$S_a = S_0 - A \quad (5)$$

Keterangan :

- r = Nilai penurunan kekuatan (%) pada indeks durabilitas pertama.
- a = Nilai penurunan kekuatan (%) pada indeks durabilitas kedua.
- $t_n$  = Waktu perendaman ke n (akhir)
- $S_i$  = Persen indeks stabilitas sisa pada  $t_i$
- $S_{i+1}$  = Persen indeks stabilitas sisa pada  $t_{i+1}$
- $S_a$  = Nilai absolut ekivalen kuat tahan sisa (kg) pada Indeks Durabilitas Kedua.
- $S_0$  = Nilai kekuatan awal campuran pada waktu rendaman 30 menit (kg)
- $t_i, t_{i+1}$  = Waktu perendaman (mulai dari proses awal perendaman), misal lama waktu perendaman yang diambil adalah 30 menit ( $S_0$ ), 12 jam, 24 jam, 36 jam, 48 jam, 60 jam, dan 72 jam, seperti yang diperlihatkan pada persamaan 6.

$$r = \frac{S_0 - S_{12}}{12} + \frac{S_{12} - S_{24}}{12} + \frac{S_{24} - S_{36}}{12} + \frac{S_{36} - S_{48}}{12} + \frac{S_{48} - S_{60}}{12} + \frac{S_{60} - S_{72}}{12} \quad (6)$$

### METODE PENELITIAN

Metode pengujian mengikuti prosedur pengujian marshall, AASHTO, Bina Marga dan metode lain yang digunakan adalah pengujian durabilitas modifikasi, mengingat tidak ada dalam ketiga metode tersebut. Tahapan penelitian diawali dengan pemeriksaan sifat-sifat fisis agregat dan aspal setelah disubsitusi limbah EVA, serta bahan yang digunakan Agregat kasar, Agregat halus, Aspal penetrasi 60/70 produksi PT. Pertamina, dan Parutan Limbah EVA dari alas kaki, matras rumah tangga, alat apung nelayan yang berbentuk busa (*foam*), air laut yang digunakan berasal dari Kecamatan Lhoknga.

Perencanaan campuran Laston Lapis Aus (AC-WC) dengan spesifikasi Bina Marga 2010 revisi 3 (2014). Pemeriksaan indeks durabilitas campuran aspal dilakukan dengan metode Marshall setelah direndam pada suhu 60°C. Metode perendaman yang dilakukan yaitu metode perendaman menerus (*continuous*).

## Perencanaan Campuran

Berikut rekapitulasi jumlah sampel benda uji berdasarkan variasi lama waktu rendaman dan substitusi limbah EVA pada KAO seperti yang diperlihatkan pada Tabel 2.

**Tabel 2. Rekapitulasi jumlah sampel**

| No                  | Uraian                              | Jumlah          |
|---------------------|-------------------------------------|-----------------|
| 1                   | Sampel untuk penentuan KAO          | 15 buah         |
| 2                   | Sampel pada waktu rendaman 30 menit | 21 buah         |
| 3                   | Sampel pada waktu rendaman 12 jam   | 21 buah         |
| 4                   | Sampel pada waktu rendaman 24 jam   | 21 buah         |
| 5                   | Sampel pada waktu rendaman 36 jam   | 21 buah         |
| 6                   | Sampel pada waktu rendaman 48 jam   | 21 buah         |
| 7                   | Sampel pada waktu rendaman 60 jam   | 21 buah         |
| 8                   | Sampel pada waktu rendaman 72 jam   | 21 buah         |
| <b>Jumlah Total</b> |                                     | <b>162 buah</b> |

## HASIL PEMBAHASAN

### Hasil Pemeriksaan Sifat Fisis Agregat

Hasil pengujian sifat-sifat fisis agregat sebagian besar telah memenuhi persyaratan spesifikasi yang ditentukan, kecuali indeks kelongkongan yang tidak dapat memenuhi spesifikasi dengan syarat maksimal 10%, diperoleh sebesar 15,80%, serta indeks kepipihan diperoleh sebesar 17,18%, seperti yang diperlihatkan pada Tabel 3 berikut ini.

**Tabel 3. Hasil pemeriksaan sifat fisis agregat**

| No | Sifat-sifat Fisis Agregat            | Hasil | Syarat |
|----|--------------------------------------|-------|--------|
| 1. | Berat jenis ( $\text{gr/cm}^3$ )     | 2,775 | > 2.5  |
| 2. | Penyerapan terhadap air (%)          | 1,119 | < 3    |
| 3. | Keausan (%)                          | 15,00 | < 40   |
| 4. | Kelekatan Agregat Terhadap Aspal (%) | 98    | > 95   |
| 5. | Indeks Kepipihan (%)                 | 17.18 | < 10   |
| 6. | Indeks Kelongkongan (%)              | 15,80 | < 10   |
| 7. | Tumbukan ( <i>impact</i> ) (%)       | 8.94  | < 30   |
| 8. | Berat isi ( $\text{kg/dm}^3$ )       | 1,656 | > 1    |

### Hasil Pemeriksaan Sifat Fisis Aspal

Hasil pemeriksaan sifat-sifat fisis aspal

diperoleh bahwa terdapat pengaruh terhadap sifat-sifat fisis aspal setelah disubstitusi dengan variasi persentase limbah EVA, seperti yang diperlihatkan pada Tabel 4.

**Tabel 4. Hasil pemeriksaan sifat fisis aspal**

| Persentase substitusi EVA | Sifat- Sifat Fisis Aspal |                                     |                                  |                 |
|---------------------------|--------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|-----------------|
|                           | Penetrasi (0,1 mm)       | Titik Lembek ( $^{\circ}\text{C}$ ) | Berat Jenis ( $\text{gr/cm}^3$ ) | Daktalitas (cm) |
| EVA 0,0 %                 | 64                       | 48,25                               | 1,020                            | 130             |
| EVA 1,5 %                 | 58,56                    | 54,75                               | 1,041                            | 62,1            |
| EVA 2,5 %                 | 58,33                    | 55,75                               | 1,042                            | 60,3            |
| EVA 3,5 %                 | 58,11                    | 55,90                               | 1,043                            | 55,2            |
| EVA 4,5 %                 | 54,56                    | 56,25                               | 1,043                            | 54,5            |
| EVA 5,5 %                 | 53,22                    | 56,90                               | 1,043                            | 52              |
| EVA 6,5 %                 | 50,56                    | 57,15                               | 1,043                            | 50,1            |

### Hasil Pengujian Marshall

Berdasarkan hasil pengujian Marshall dengan variasi kadar aspal rencana diperoleh Kadar Aspal Optimum (KAO) sebesar 5,31%, yang memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 dan Parameter Marshall untuk campuran aspal beton AC-WC, kemudian substitusi dengan variasi persentase limbah EVA terhadap berat aspal (KAO).

### Hasil perhitungan Indeks Durabilitas

Berdasarkan hasil pengujian marshall, akan dihitung nilai indeks durabilitas campuran setelah direndam dengan waktu yang lama untuk menentukan indeks keawetan campuran atau potensi keawetan dari campuran, baik pada campuran dengan dan tanpa substitusi limbah EVA seperti yang diperlihatkan pada Tabel 5 sampai dengan Tabel 11.

**Tabel 5. Pengaruh lama rendaman terhadap durabilitas campuran tanpa substitusi limbah EVA**

| Indeks Durabilitas | Spek. Dept. PU (2014) | Lama Perendaman (Jam) |         |         |         |         |         |         |
|--------------------|-----------------------|-----------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                    |                       | 0.5                   | 12      | 24      | 36      | 48      | 60      | 72      |
| Stabilitas (kg)    | > 800                 | 1658.71               | 1923.94 | 2058.38 | 1877.58 | 1638.13 | 1273.15 | 1158.92 |
| IRS (%)            | 90                    | 100.00                | 115.99  | 124.10  | 113.20  | 98.76   | 76.76   | 69.87   |
| IDP (r, %)         |                       | 0.00                  | -1.33   | -2.01   | -1.10   | 0.10    | 1.94    | 2.51    |
| IDK (a, %)         |                       | 0.00                  | -7.99   | -14.07  | -4.99   | 7.64    | 27.44   | 33.76   |
| RMS (Sa, %)        |                       | 100.00                | 107.99  | 114.07  | 104.99  | 92.36   | 72.56   | 66.24   |

**Tabel 6. Pengaruh lama rendaman terhadap durabilitas campuran substitusi limbah EVA 1,5%**

| Indeks Durabilitas | Spek. Dept. PU (2014) | Lama Perendaman (Jam) |         |         |         |         |         |         |
|--------------------|-----------------------|-----------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                    |                       | 0.5                   | 12      | 24      | 36      | 48      | 60      | 72      |
| Stabilitas (kg)    | > 1000                | 2698.15               | 2784.24 | 2137.20 | 2166.07 | 1595.35 | 1609.91 | 1843.99 |
| IRS (%)            | 90                    | 100.00                | 103.19  | 79.21   | 80.28   | 59.13   | 59.67   | 68.34   |
| IDP (r, %)         |                       | 0.00                  | -0.27   | 1.73    | 1.64    | 3.41    | 3.36    | 2.64    |
| IDK (a, %)         |                       | 0.00                  | -1.60   | 16.39   | 15.50   | 34.01   | 33.52   | 25.57   |
| RMS (Sa, %)        |                       | 100.00                | 101.60  | 83.61   | 84.50   | 65.99   | 66.48   | 74.43   |

**Tabel 7. Pengaruh lama rendaman terhadap durabilitas campuran substitusi limbah EVA 2,5 %**

| Indeks Durabilitas | Spek. Dept. PU (2014) | Variasi Lama Perendaman (Jam) |         |         |         |         |         |         |
|--------------------|-----------------------|-------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                    |                       | 0.5                           | 12      | 24      | 36      | 48      | 60      | 72      |
| Stabilitas (kg)    | > 1000                | 1945.94                       | 1804.10 | 1786.36 | 1990.27 | 2225.20 | 1950.37 | 1719.87 |
| IRS (%)            | 90                    | 100.00                        | 92.71   | 91.80   | 102.28  | 114.35  | 100.23  | 88.38   |
| IDP (r, %)         |                       | 0.00                          | 0.61    | 0.68    | -0.19   | -1.20   | -0.02   | 0.97    |
| IDK (a, %)         |                       | 0.00                          | 3.64    | 4.33    | -4.40   | -14.97  | -2.26   | 8.60    |
| RMS (Sa, %)        |                       | 100.00                        | 96.36   | 95.67   | 104.40  | 114.97  | 102.26  | 91.40   |

**Tabel 8. Pengaruh lama rendaman terhadap durabilitas campuran substitusi limbah EVA 3,5 %**

| Indeks Durabilitas | Spek. Dept. PU (2014) | Variasi Lama Perendaman (Jam) |         |         |         |         |         |         |
|--------------------|-----------------------|-------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                    |                       | 0.5                           | 12      | 24      | 36      | 48      | 60      | 72      |
| Stabilitas (kg)    | > 1000                | 2101.08                       | 1835.12 | 1999.13 | 1600.19 | 1972.54 | 1715.44 | 1804.10 |
| IRS (%)            | 90                    | 100.00                        | 87.34   | 95.15   | 76.16   | 93.88   | 81.65   | 85.86   |
| IDP (r, %)         |                       | 0.00                          | 1.05    | 0.40    | 1.99    | 0.51    | 1.53    | 1.18    |
| IDK (a, %)         |                       | 0.00                          | 6.33    | 0.47    | 16.30   | 0.79    | 11.80   | 7.94    |
| RMS (Sa, %)        |                       | 100.00                        | 93.67   | 99.53   | 83.70   | 99.21   | 88.20   | 92.06   |

**Tabel 9. Pengaruh lama rendaman terhadap durabilitas campuran substitusi limbah EVA 4,5 %**

| Indeks Durabilitas | Spek. Dept. PU (2014) | Variasi Lama Perendaman (Jam) |         |         |         |         |         |         |
|--------------------|-----------------------|-------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                    |                       | 0.5                           | 12      | 24      | 36      | 48      | 60      | 72      |
| Stabilitas (kg)    | > 1000                | 2074.49                       | 2285.51 | 2464.56 | 2109.95 | 2092.22 | 1945.94 | 1852.85 |
| IRS (%)            | 90                    | 100.00                        | 110.17  | 118.80  | 101.71  | 100.85  | 93.80   | 89.32   |
| IDP (r, %)         |                       | 0.00                          | -0.85   | -1.57   | -0.14   | -0.07   | 0.52    | 0.89    |
| IDK (a, %)         |                       | 0.00                          | -5.09   | -11.56  | 2.69    | 3.43    | 9.78    | 13.89   |
| RMS (Sa, %)        |                       | 100.00                        | 105.09  | 111.56  | 97.31   | 96.57   | 90.22   | 86.11   |

**Tabel 10. Pengaruh lama rendaman terhadap durabilitas campuran substitusi limbah EVA 5,5 %**

| Indeks Durabilitas | Spek. Dept. PU (2014) | Variasi Lama Perendaman (Jam) |         |         |         |         |         |         |
|--------------------|-----------------------|-------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                    |                       | 0.5                           | 12      | 24      | 36      | 48      | 60      | 72      |
| Stabilitas (kg)    | > 1000                | 2442.40                       | 2371.80 | 1947.65 | 2103.24 | 2313.85 | 1942.04 | 2274.85 |
| IRS (%)            | 90                    | 100.00                        | 97.11   | 79.74   | 86.11   | 94.74   | 79.51   | 93.14   |
| IDP (r, %)         |                       | 0.00                          | 0.24    | 1.69    | 1.16    | 0.44    | 1.71    | 0.57    |
| IDK (a, %)         |                       | 0.00                          | 1.45    | 14.47   | 9.16    | 1.62    | 15.32   | 2.83    |
| RMS (Sa, %)        |                       | 100.00                        | 98.55   | 85.53   | 90.84   | 98.38   | 84.68   | 97.17   |

**Tabel 11. Pengaruh lama rendaman terhadap durabilitas campuran substitusi limbah EVA 6,5 %**

| Indeks Durabilitas | Spek. Dept. PU (2014) | Variasi Lama Perendaman (Jam) |         |         |         |         |         |         |
|--------------------|-----------------------|-------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                    |                       | 0.5                           | 12      | 24      | 36      | 48      | 60      | 72      |
| Stabilitas (kg)    | > 1000                | 2143.09                       | 1954.81 | 1802.92 | 2025.73 | 1861.72 | 1796.45 | 2251.79 |
| IRS (%)            | 90                    | 100.00                        | 91.21   | 84.13   | 94.52   | 86.87   | 83.83   | 105.07  |
| IDP (r, %)         |                       | 0.00                          | 0.73    | 1.32    | 0.46    | 1.09    | 1.35    | -0.42   |
| IDK (a, %)         |                       | 0.00                          | 4.39    | 9.71    | 1.04    | 7.74    | 10.48   | -8.99   |
| RMS (Sa, %)        |                       | 100.00                        | 95.61   | 90.29   | 98.96   | 92.26   | 89.52   | 108.99  |

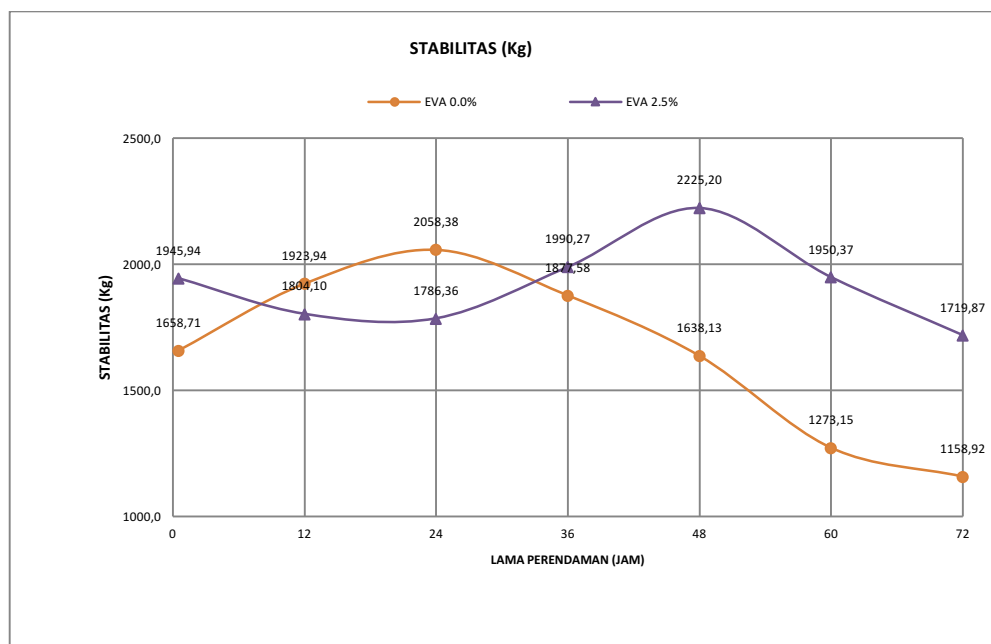
## PEMBAHASAN

Berdasarkan perhitungan indeks durabilitas campuran dengan lama waktu rendaman air laut secara menerus, terlihat pada Tabel 5 s.d Tabel 11, bahwa semua campuran setelah terendam air laut dengan waktu yang lama, mengalami penurunan terhadap nilai Stabilitas, IRS, IDP, IDK dan RMS (Sa). Campuran tanpa substitusi limbah EVA (EVA 0,0) mengalami peningkatan nilai indeks durabilitas pada lama waktu rendaman 12 jam sampai dengan 24 jam, sedangkan pada periode waktu rendaman selanjutnya cenderung menurun.

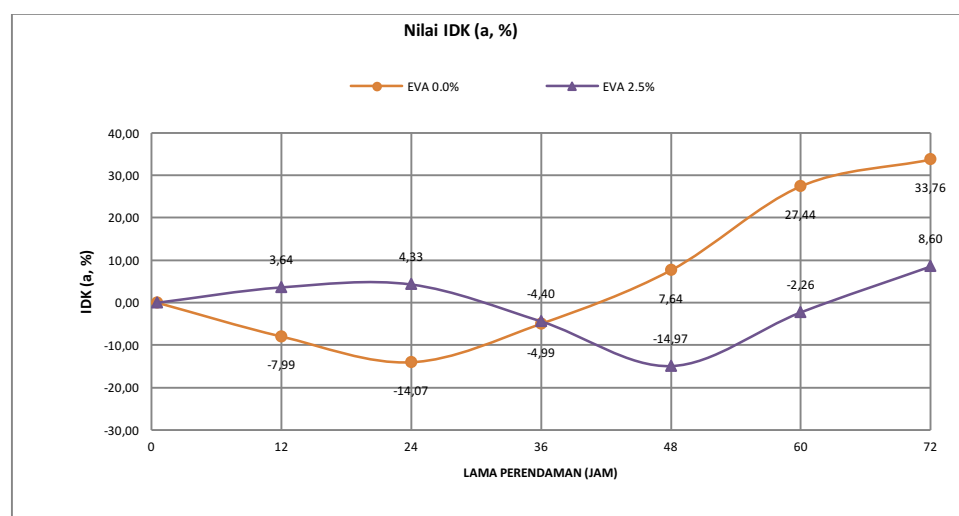
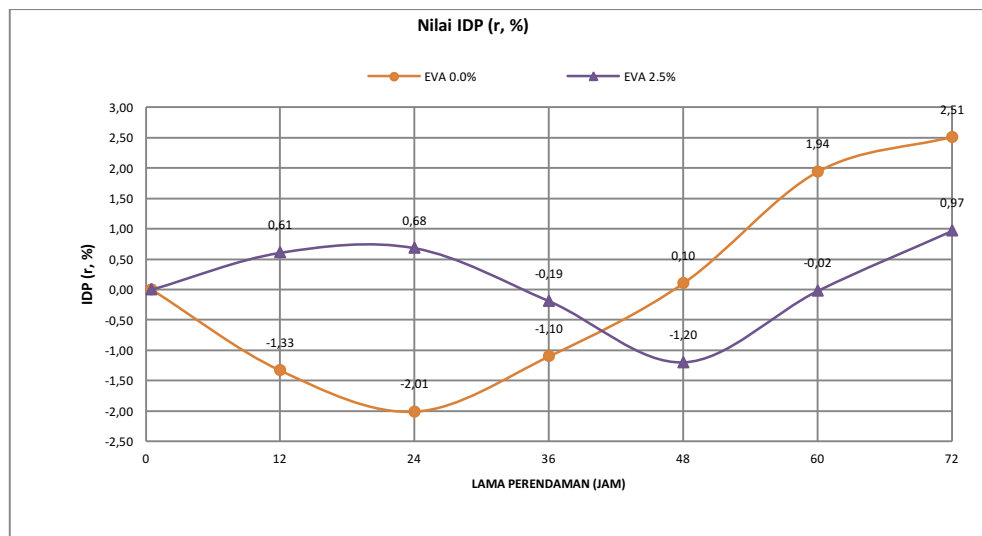
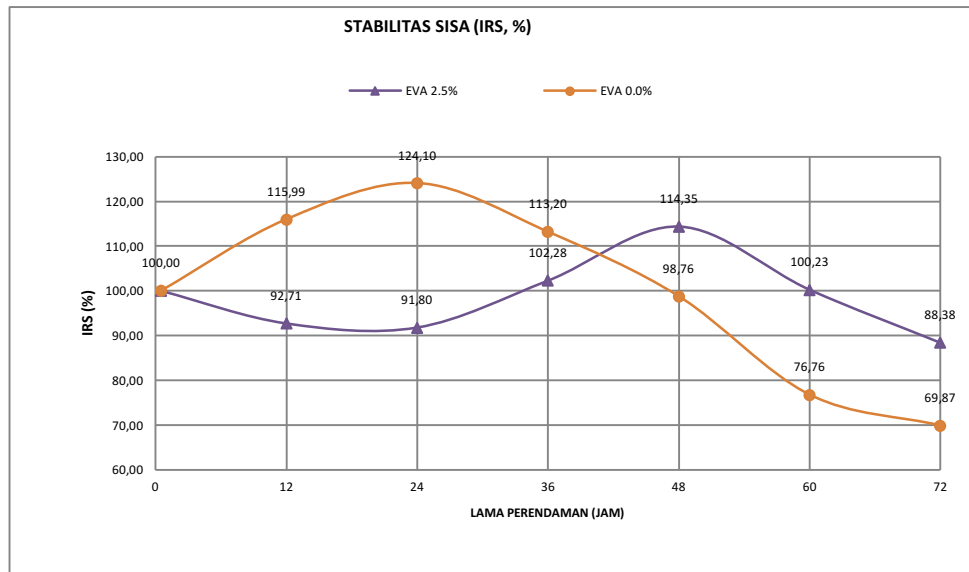
Pada campuran yang disubstitusi limbah EVA 2,5% terjadi penurunan nilai indeks

durabilitas pada waktu rendaman 12 jam, sedangkan pada periode waktu rendaman selanjutnya cenderung meningkat sampai 48 jam, kemudian cenderung menurun kembali.

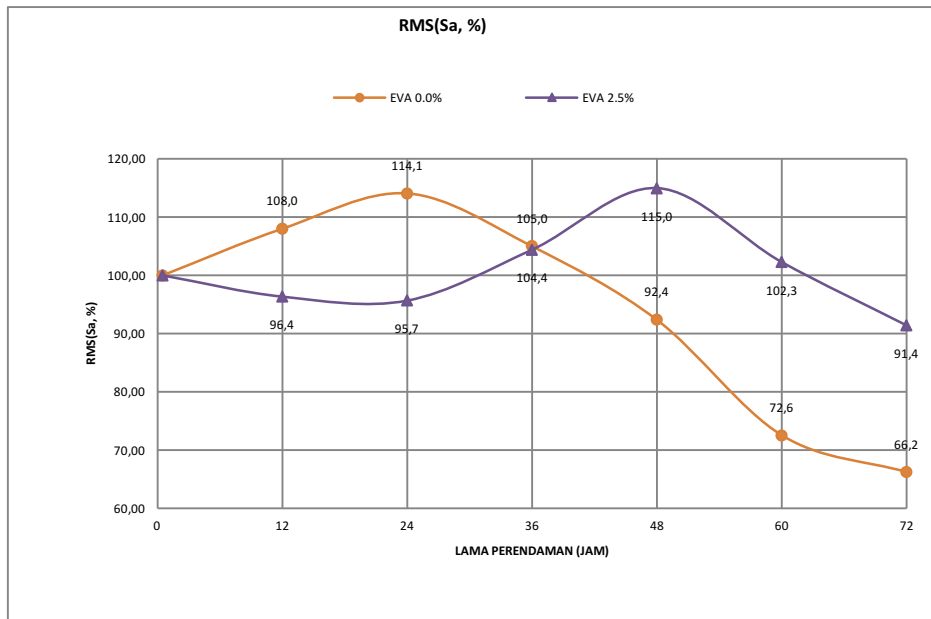
Penurunan nilai indeks durabilitas campuran tersebut disebabkan oleh penurunan daya lekat aspal terhadap agregat yang dipengaruhi oleh tingkat keasaman air laut (ph 6). Nahyo (2011) dan Prabowo (2003) menyatakan bahwa semakin lama campuran aspal beton terendam air laut dapat membuat kerapatan campuran berkurang, baik dari sisi adhesi maupun kohesi, hal ini disebabkan oleh pengaruh gaya tekan air (*water preasure*) dalam campuran.



**Gambar 1. Hubungan nilai IRS, IDP, IDK dan RMS (Sa) seiring lama perendaman dengan air laut**



**Gambar 1. Hubungan nilai IRS, IDP, IDK dan RMS (Sa) seiring lama perendaman dengan air laut (lanjutan)**



**Gambar 1. Hubungan nilai IRS, IDP, IDK dan RMS (Sa) seiring lama perendaman dengan air laut (lanjutan)**

Dari Gambar 2 menunjukkan campuran dengan substitusi limbah EVA 2,5% mengalami penurunan stabilitas dan indeks durabilitas yang kecil seiring lama waktu rendaman, serta memiliki potensi keawetan setelah terendam dengan air laut, dibandingkan dengan campuran tanpa disubstitusi limbah EVA. Suherman (2009) menyatakan campuran yang tidak menggunakan aspal modifikasi polimer EVA akan menghasilkan laju deformasi yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan campuran yang menggunakan aspal modifikasi polimer EVA dan memberikan kinerja yang baik khususnya dalam mengatasi deformasi.

Lama waktu perendaman mengakibatkan meningkatnya persentase kehilangan kekuatan campuran pada indeks durabilitas pertama (IDP) dan indeks durabilitas kedua (IDK), kehilangan kekuatan campuran mula-mula dapat terjadi pada IDP, kemudian akan terjadi kehilangan kekuatan kembali pada IDK, pada

campuran tanpa substitusi terjadi peningkatan kekuatan pada waktu rendaman 24 jam dan pada waktu rendaman 72 jam terjadi penurunan kekuatan sebesar 33,76%.

Pada campuran dengan substitusi limbah EVA 2,5%, terjadi peningkatan kekuatan sebesar 14,97% pada periode waktu rendaman 48 jam, namun seiring lama waktu rendaman 72 jam terjadi penurunan kekuatan kembali sebesar 8,60%, hal ini mengidentifikasikan bahwa campuran dengan substitusi limbah EVA 2,5% memiliki potensi keawetan campuran pada waktu rendaman yang lebih lama dan relevan seperti yang dijelaskan oleh Craus (1981), bahwa campuran harus menunjukkan potensi keawetan untuk suatu rentang yang fleksibel dari masa perendaman.

Kriteria Indeks Keawetan seperti yang dijelaskan oleh Craus (1981), campuran dapat dikatakan memiliki indeks keawetan, jika campuran tersebut menggambarkan kekuatan menahan dan nilainya absolut setelah

perendaman yang lebih lama. Campuran dengan substitusi limbah EVA 2,5% masih memiliki kekuatan menahan absolut lebih besar dari yang disyaratkan pada waktu rendaman yang lebih lama, dengan nilai absolut ekivalen kuat tahan tersisa ( $S_a$ ,%) atau RMS pada waktu rendaman 72 jam sebesar 91,4% lebih besar dari persyaratan spesifikasi keawetan campuran yang ditentukan oleh Bina Marga 2010 yaitu 90%.

Nilai RMS yang diperoleh sedikit berbeda dengan penelitian Suparma (2015) menggunakan 3% EVA pada masa rendaman 24 jam dengan air laboratorium, diperoleh nilai RMS sebesar 99,27%, hal ini menunjukkan bahwa campuran dengan substitusi limbah EVA masih memiliki kekuatan sampai pada periode waktu rendaman 72 jam dengan air laut, dibanding-kan campuran tanpa substitusi limbah EVA.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Tingkat keasaman air laut sangat berpengaruh terhadap penurunan nilai stabilitas dan indeks durabilitas (keawetan) campuran laston baik itu dengan substitusi limbah EVA, maupun tanpa substitusi.

Semakin besar kadar aspal campuran dapat mengurangi durabilitas campuran seiring lama perendaman dengan air laut. Campuran dengan substitusi limbah EVA 2,5% masih memiliki nilai RMS lebih besar dari yang disyaratkan.

Semakin besar persentase substitusi limbah EVA dalam campuran menjadikan

campuran tersebut lebih kaku.

### Saran

Untuk penelitian selanjutnya, agar dicari rekayasa campuran aspal modifikasi lainnya yang memiliki daya tahan terbesar pada periode waktu rendaman yang singkat dan lama dengan air laut, sehingga dapat mereduksi pengaruh penurunan adhesi dan kohesi campuran akibat rendaman air laut.

## DAFTAR PUSTAKA

- BNPB, 2011, Indeks Rawan Bencana Indonesia.
- Bukhari, dkk, 2007, Rekayasa Bahan dan Tebal Perkerasan, Fakultas Teknik, Universitas Syia Kuala.
- Fang, C, et.al, 2009, 'Optimization of the modification technologies of asphalt by using waste EVA from packaging', Journal of Vinyl And Additive Technology, vol. 15, no. 3, pp 199 – 203, ISSN 1548-0585.
- Craus, J, Ishai, I, and Sides, A, 1981, 'Durability of bituminous paving mixtures as related to filler type and properties', Proceedings Associations of Asphalt Paving Technologist, San Diego, California, vol. 50, pp. 291-316.
- Costa et.al., 2013, Incorporation of Waste Plastic in Asphalt Binders to Improve their Performance in the Pavement, International. Journal of Pavement Research and Technology, vol. 6, no.4, PP. 457-464.
- Direktorat Jendral Bina Marga 2014,

- Spesifikasi Umum Direktorat Jenderal Bina Marga Edisi 2010 Revisi 3 Divisi 6. Kementrian Pekerjaan Umum Indonesia.
- Isaccson, U, and Xiaohu. Lu, 1999, 'Characterization of bitumens modified with SEBS, EVA and EBA polymers', Journal of Materials Science, Division of Highway Engineering, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, vol.34.
- Kerb, RD and Walker, RD, 1971, Highway Materials, McGraw Hill Book Company, Virginia Polytechnic Institute and State University, USA.
- Nahyo, 2014, 'Durabilitas campuran HRS-WC akibat rendaman menerus dan berkalan air rob', Jurnal Ilmu Hayati dan Fisik, vol. 16, no. 3, hal. 163-171, ISSN 1411-0903, UNDIP.
- Nurhajati, DW, 2005, 'Pemanfaatan Limbah Kopolimer Ethylene Vinyl Acetate Untuk Komposit Karet', Majalah Kulit, Karet, dan Plastik, vol. 24, no. 1.
- Prabowo, AH, 2003, 'Pengaruh rendaman air laut pasang (rob) terhadap kinerja Lataston (HRS-WC) berdasarkan uji marshall dan uji durabilitas modifikasi', Jurnal PILAR, vol.12, no.2, pp. 89-98.
- Suparma, B.L, et.al, 2015, Pengaruh Penggunaan Aspal Modifikasi EVA (EVA-MA) Pada Perancangan Campuran Beton Aspal, The 18th FSTPT International Symposium, Unila, Bandar Lampung, 28 Agustus 2015.
- Sukirman, S, 2003, Beton Aspal Campuran Panas, Penerbit Granit, Bandung..
- Transportation Association Of Canada, 2013, Pavement And Salt Management, Syntheses Of Best Practices Road Salt Management, vol. 5, april 2013, Canada.
- Whiteoak, D, 1991, The Shell Bitumen Handbook, Surrey, UK. Shell Bitumen