



INNOVATIVE: Journal Of Social Science Research

Volume 3 Nomor 3 Tahun 2023 Page 5001-5015

E-ISSN 2807-4238 and P-ISSN 2807-4246

Website: <https://j-innovative.org/index.php/Innovative>

Studi Experimental Campuran Stone Matrix Asphalt (SMA) Dengan Penambahan Zat Aditif Polyurethane Terhadap Ketahanan Deformasi Dan Modulus Elastis

Rahmad Alirusi^{1✉}, St. Maryam H², Asma Massara²

Teknik Sipil, Universitas Muslim Indonesia, Kota Makassar

Email : rahmadalirusi@gmail.com[✉]

Abstrak

Tujuan dari penelitian ini menganalisis pengaruh zat aditif polyurethane terhadap nilai Modulus Elastisitas dan ketahanan deformasi pada campuran Stone Matrix Asphalt (SMA). Metode analisis yang digunakan adalah Data dari hasil pengujian Marshall kemudian diproses dengan analisis regresi dan korelasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan zat aditif polyurethane pada campuran Stone Matrix Asphalt (SMA) meningkatkan stabilitas dinamis pada kadar penambahan Polyurethane 2% dan semakin menurun dengan penambahan kadar Polyurethane. Sedangkan pada Laju Deformasi dengan penambahan Polyurethane menurunkan kecepatan deformasi secara signifikan yang menunjukkan ketahanan campuran dalam menerima beban semakin baik. Sedangkan pada nilai Modulus Elastis pada penambahan polyurethane terkecil pada kadar 2% sebesar 694268,85 Kpa dan semakin meningkat dengan bertambahnya kadar Polyurethane.

Kata Kunci: *Deformasi, Modulus Elastisitas, Polyurethane, Stone Matrix Asphalt.*

Abstract

The purpose of this study was to analyze the effect of polyurethane additives on the value of the Elastic Modulus and deformation resistance in Stone Matrix Asphalt (SMA) mixtures. The analytical method used is data from the results of the Marshall test and then processed with regression and correlation analysis. The results showed that the addition of polyurethane additives to the Stone Matrix Asphalt (SMA) mixture increased dynamic stability at 2% Polyurethane addition levels and decreased with the addition of Polyurethane levels. Meanwhile, the Deformation Rate with the addition of Polyurethane reduced the deformation rate significantly which showed that the mixture's resistance to receiving loads was getting better. Meanwhile, the Elastic Modulus value for the smallest addition of polyurethane at 2% content was 694268.85 Kpa and increased with increasing Polyurethane content.

Keywords: *Deformation; Elasticity Modulus; Polyurethanes; Stone Matrix Asphalt.*

PENDAHULUAN

Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 38 Tahun 2004 disebutkan bahwa jalan adalah suatu prasarana transportasi yang meliputi segala bagian jalan termasuk bangunan pelengkap dan perlengkapannya yang diperuntukkan bagi lalu lintas, yang berada di atas permukaan tanah, di bawah permukaan tanah dan/atau air, serta di atas permukaan air, kecuali jalan kereta api, jalan lori dan jalan kabel. Jalan mempunyai peranan penting terutama yang menyangkut perwujudan perkembangan antar wilayah yang seimbang, pemerataan hasil pembangunan serta pemantapan pertahanan dan keamanan nasional dalam rangka mewujudkan pembangunan nasional. Kondisi jalan di Indonesia keadaannya sangat bervariasi, dari keadaan baik, sedang, rusak ringan, rusak berat dan tidak tembus atau tidak dapat dilalui. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (2021) panjang jalan menurut jenis permukaan di Indonesia pada tahun 2021 adalah 546.116 km, dibedakan menjadi dua jenis permukaan jalan yang di Aspal 366.301 km, dan yang bukan di aspal 179.815 km. (Badan Pusat Statistik). Beban lalu lintas yang tinggi menjadi masalah terhadap perkerasan jalan dan iklim tropis yang berakibat pada tingginya temperatur menyebabkan terjadinya proses penuaan dan sebagian struktur jalan relatif kurang memadai, sehingga dapat berpengaruh pada ketahanan deformasi dan modulus elastis perkerasan jalan dalam menahan beban lalu lintas. Oleh karena itu diperlukan campuran perkerasan yang bersifat fleksibel dengan stabilitas dan durabilitas tinggi, tidak peka terhadap cuaca panas, tahan oksidasi, tahan terhadap rembesan air hujan, dan aman bagi lingkungan. Ada beberapa cara untuk meningkatkan kinerja perkerasan jalan. Salah satu caranya adalah dengan meningkatkan kekakuan dan kekuatan pencampuran aspal dengan berbagai macam aditif atau disebut dengan modifikasi aspal (modified asphalt) yang menghasilkan material baru yang terkadang memiliki sifat mekanis yang sangat berbeda dari basis aspal aslinya. (Lu, 1997; Yildirim, 2007).

Zat aditif yang digunakan untuk memodifikasi aspal dalam studi eksperimental penelitian ini adalah dua jenis aditif Polyurethane, yaitu Rethane Tipe A (Isocyanate) dan Rethane Tipe B (Polyol). Modifikasi tersebut bertujuan untuk meningkatkan ketahanan deformasi (rutting), dan meningkatkan modulus elastis pada campuran serta mengurangi kerusakan akibat kelelahan, meningkatkan daya rekat dan mengatasi masalah pengupasan pengikat dari agregat. Jenis beton aspal campuran panas banyak digunakan untuk jalan-jalan di Indonesia. Ada banyak jenis beton aspal campuran panas, salah satunya adalah Stone Matrix Asphalt (SMA), yaitu campuran bergradasi senjang yang terdiri dari rangka (skeleton) agregat kasar yang dapat mencapai 70% dan mortar bahan

pengikat aspal dengan proporsi tinggi. Secara fungsional campuran SMA memiliki beberapa keuntungan bagi pengguna jalan, yaitu umur pelayanan yang tinggi, mempunyai ketahanan gelincir (skidresistant), mengeliminasi kebisingan, dan memiliki ketahanan yang tinggi terhadap deformasi (rutting) sebagai akibat dari kandungan agregat kasar yang besar membentuk rangka agregat yang kuat dan rongga yang diisi mastic dengan kadar aspal tinggi. Berdasarkan uraian diatas, penelitian ini bertujuan untuk mencari cara alternatif dalam meningkatkan kinerja campuran beraspal panas untuk meningkatkan kinerja struktural bukan terhadap kinerja fungsional dan metode campuran yang digunakan Stone Matrix Asphalt (SMA) dengan penambahan zat aditif polyurethane terhadap ketahanan deformasi dan modulus elastis. menggunakan pengujian Marshall Test, Wheel Tracking Machine (WTM) dan Indirect Tensile Strength (ITS).

METODE PENELITIAN

Bahan dan Alat Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain :

- Aspal yang digunakan yaitu Aspal Minyak penetrasi 60/70 (AC 60/70) produksi Pertamina.
- Agregat yang digunakan yaitu Agregat kasar dan abu batu yang diambil dari proses pemecahan batu alam di daerah bili-bili, Kab. Gowa kemudian dilakukan pengujian sampel.
- Bahan tambah yang digunakan yaitu zat adiktif Polyurathane (PU)

Alat Penelitian

Penelitian ini menggunakan alat-alat seperti Indirect Tensile Strength (ITS), Marshall Test, dan Wheel Tracking Machine (WTM) di Laboratorium Bahan Perkerasan Jalan Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muslim Indonesia.

Tahapan Penelitian

1. Persiapan Penelitian

Bahan-bahan yang dibutuhkan untuk membuat campuran beton aspal dikumpulkan untuk dilakukan pemerniksaan di Laboratorium Bahan Perkerasan Jalan Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muslim Indonesia.

2. Pemeriksaan Karakteristik Bahan

Setelah proses persiapan sudah selesai, maka semua sampel yang digunakan dalam penelitian ini sebelumnya diuji laboratorium untuk mendapatkan bahan yang memenuhi syarat-syarat bahan pekerjaan jalan. Adapun pengujian yang akan dilakukan seperti :

- Pengujian Aspal :
 - a. Penetrasi Aspal keras (SNI 06-2456-1991)
 - b. Titik lembek (SNI 06-2456-1991)
 - c. Viscositas (SNI 06-2456-1991)
 - d. Titik nyala Titik bakar (SNI 06-2456-1991)
 - e. Daktilitas (SNI 06-2456-1991)
 - f. Berat Jenis (SNI 06-2456-1991)
- Pengujian Agregat :
 - a. Analisa Saringan (spesifikasi bina marga 2010)
 - b. Berat Isi (AASHTO T-19-71 dan ASTM C 27-71)
 - c. Berat jenis dan penyerapan (AASHTO T-85-74 dan ASTM G. 127-68)
 - d. Soundness Test (ASTM C. 88-60)
 - e. Kelekatatan Agregat terhadap Aspal (AASHTO – 182)

Perencanaan Campuran

Penentuan Komposisi Campuran dengan metode Trial and Error Prinsip penentuan proporsi agregat untuk mendapatkan gradasi gabungan yang memenuhi spesifikasi adalah sebagai berikut:

- a. Penentuan gradasi setiap fraksi yang digunakan berdasarkan persen berat lolos saringan.
- b. Dengan menggunakan metode Trial and Error dilakukan penggabungan agregat dan diperoleh persen proporsi masing-masing fraksi dari berat total agregat.
- c. Persen proporsi agregat masing-masing, dikalikan dengan persen lolos setiap saringan dari masing-masing fraksi dan jumlahkan untuk gradasi gabungan pada nomor saringan.

Dari hasil analisa saringan, dilakukan penggabungan agregat dengan menggunakan metode Trial and Error, prinsip kerja Trial and Error adalah :

- a. Memahami batasan gradasi yang disyaratkan .
- b. Memasukkan data spesifikasi gradasi pada kolom spesifikasi.
- c. Memasukkan persentase lolos saringan, masing-masing jenis batuan kedalam persentase passing.
- d. Masukkan spesifikasi ideal yaitu nilai salah satu dari spesifikasi ideal yang disyaratkan.
- e. Mengambil salah satu dari spesifikasi ideal dengan jenis yang ada, dalam hal agregat kasar, halus dan filler. Kemudian campuran ketiganya dengan jumlah 100 % dan nilai penggabungannya mendekati nilai spesifikasi ideal yang telah kita ambil.
- f. Jika sudah mendekati salah satu nilai spesifikasi ideal dari ketiga agregat tadi, yang

lain dihitung dengan persentase yang sama.

Penentuan Kadar Aspal Rencana

Untuk mendapatkan kadar aspal yang optimum, terlebih dahulu diketahui proporsi agregat, dimana kita lakukan sebelumnya. Dari hasil tersebut dapat diketahui komposisi agregat dan kadar aspal yang digunakan. Penentuan kadar aspal optimum akan dilakukan dengan melakukan pembuatan dan pengujian benda uji (briket).

Penentuan Berat Agregat dan Berat Aspal

Setelah diperoleh komposisi agregat campuran, maka ditentukan masing-masing berat agregat dan berat aspal. Pembuatan campuran untuk benda uji marshall dilakukan dengan temperatur pada viskositas 170 ± 20 cst, temperatur pemadatan 100-120 cst. Untuk mendapatkan permukaan agregat yang kering sebaiknya dioven terlebih dahulu sampai beratnya tetap. Agregat kemudian dicampur dengan aspal sesuai dengan berat aspal yang dibutuhkan untuk masing-masing briket. Setelah tercampur rata agregat tersebut dituang kedalam mold yang telah dipersiapkan. Kemudian dilakukan pemadatan dari tiap sisi briket. Dalam penelitian ini dilakukan 50 kali tumbukan untuk Stone Matrix Asphalt (untuk lalu lintas berat) pada tiap sisinya. Selanjutnya sampel yang telah dipadatkan tersebut dikeluarkan dari dalam mould.

Rencana Pembuatan Benda uji

Pembuatan benda uji dilakukan setelah bahan-bahan penyusun aspal beton telah melalui pemeriksaan dan memenuhi syarat sesuai dengan ketentuan.

Metode Analisis Data

Data dari hasil pengujian Marshall kemudian diproses dengan analisis regresi dan korelasi yang mana persamaan regresi ini dapat menggambarkan perilaku dari hasil pengujian. Regresi merupakan suatu garis yang membentuk suatu fungsi yang menghubungkan antara titik-titik dengan kedekatan semaksimal mungkin. Korelasi merupakan ukuran kecocokan suatu model regresi yang digunakan sebagai data. Besarnya korelasi dilambangkan dengan huruf R, yang mana jika $R=0$ berarti tidak ada hubungan sama sekali antara dua variabel data yang dianalisis. Sebaliknya jika $R= \pm 1$ maka kedua variabel data yang dianalisis terdapat hubungan yang kuat. Persamaan garis regresi mempunyai berbagai bentuk baik linear maupun non linear.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Uji Marshall

Pengujian Marshall ini dibuat dengan jumlah bahan uji campuran SMA (sedang) sebanyak 15 buah, dengan menguji variasi kadar aspal 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, 7%. Pengujian ini untuk mendapatkan kadar aspal optimum (KAO) dengan melihat hubungan antara variasi kadar aspal yang di uji terhadap nilai karakteristik dari hasil uji Marshall. Berikut karakteristik campuran SMA (sedang) dalam Spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu nilai Stabilitas, Flow, Vim (Void In Mixture), VFA (Void Filled With Asphalt), VMA, (Void In Mineral Aggregates), Marshall Quotient dan Density.

Hubungan Kadar Aspal dan Stabilitas

Stabilitas merupakan kemampuan lapis perkerasan jalan untuk menahan beban lalu lintas yang bekerja di atasnya tanpa mengalami deformasi. Nilai stabilitas dipengaruhi oleh bentuk, kualitas tekstur permukaan, Gesekan antar butir, penguncian antar agregat, daya lekat, proses pemadatan dan kadar dalam campuran.

Hubungan Kadar Aspal dan Kelelehan (Flow)

Ketahanan terhadap kelelehan merupakan kemampuan aspal beton melendut hingga terjadi deformasi sementara akibat beban lalu lintas tanpa terjadinya kelelehan atau berupa alur retak pada jalan. Kelelehan merupakan indikator fleksibilitas campuran dimana kelelehan sangat dipengaruhi oleh kadar aspal, gradasi agregat dan temperatur pemadatan.

Hubungan Kadar Aspal dan Vim (Void In Mixture)

Void In Mixture (VIM) adalah parameter yang menunjukkan volume rongga yang berisi udara dalam campuran aspal yang terdiri atas ruang udara diantara partikel agregat yang terselimuti aspal dan dapat dinyatakan dalam persentase volume. Nilai VIM berhubungan tingkat keawetan campuran. Nilai VIM yang tinggi menandakan tingkat kepadatan (density) campuran sangat rendah sehingga campuran akan mudah rusak/rapuh.

Hubungan Kadar Aspal dan VFA (Void Filled With Asphalt)

Void Filled With Asphalt (VFA) adalah rongga Terisi aspal bagian volume rongga dalam agregat yang terisi aspal yang dinyatakan dalam persen (%). Rongga yang terisi aspal (VFA) dipengaruhi langsung oleh kadar aspal, gradasi agregat, energi pemadatan, dan pemanasan aspal.

Hubungan Kadar Aspal dan VMA (Void In Mineral Aggregates)

Void In Mineral Aggregates (VMA) adalah volume rongga yang terdapat diantara butir-butir agregat dari suatu campuran beraspal yang telah dipadatkan, termasuk

didalamnya rongga udara dan rongga yang berisi aspal efektif (tidak termasuk volume aspal yang diserap agregat), dinyatakan dalam persen (%) volume. Nilai VMA sangat dipengaruhi oleh kadar aspal, gradasi agregat, energi pemadatan, dan pemanasan aspal. Hubungan Kadar Aspal dan density (Kepadatan)

Density (kepadatan) adalah perbandingan antara berat benda uji kering terhadap volume benda uji. Density sangat dipengaruhi oleh gradasi agregat, kadar aspal, suhu, komposisi antar agregat dan aspal, serta pemadatan. Semakin tinggi nilai kepadatan, maka stabilitas suatu campuran semakin tinggi tetapi berpotensi membuat campuran menjadi lebih kaku dan mudah retak.

Hubungan Kadar Aspal dan Marshall Quotient

Marshall Quotient adalah nilai perbandingan yang menunjukkan nilai kekakuan suatu campuran beraspal dalam menerima beban. Nilai Marshall Quotient diperoleh dari hasil bagi antara nilai stabilitas dan flow (kelelehan plastis) yang terjadi pada campuran setelah diuji. Nilai Marshall Quotient sangat dipengaruhi oleh gradasi agregat, kadar aspal, pemadatan (compacting), suhu pencampuran, dan suhu pemadatan. Nilai Marshall Quotient menunjukkan tingkat fleksibilitas campuran.

Penentuan Kadar Aspal Optimum

Dari hasil uji Marshall, didapatkan nilai sifat-sifat campuran yang memenuhi ketentuan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 pada setiap variasi komposisi. Kadar aspal optimum (KAO) kemudian ditentukan dengan melihat komposisi kadar aspal yang ideal pada campuran. Kadar aspal optimum (KAO) merupakan kadar aspal pada campuran yang memenuhi seluruh ketentuan sifat-sifat campuran Stone Matriks Asphalt (SMA) sesuai Spesifikasi Umum 2018. Dalam hal ini, campuran SMA yang telah ditinjau memiliki parameter-parameter yang didapatkan dari hasil uji Marshall, yaitu nilai Stabilitas, Flow (Kelelehan Plastis), VIM (Void In Mixture), VFA (Void Filled with Asphalt), VMA (Void In Mineral Aggregates), Marshall Quotient, dan Density (Kepadatan).

Hasil Uji Marshall Test Campuran Kadar Aspal Optimum dengan Variasi Bahan Tambah Polyurethane.

Pengujian Marshall ini dibuat kembali dengan jumlah bahan uji campuran Stone Matriks Asphalt (SMA) sebanyak 30 buah, dengan menguji campuran dengan kadar aspal optimum (6,5%), dengan variasi bahan tambah Polyurethane 0% , 1%, 2% 3% dan 4%. Pengujian aspal ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh campuran dengan penambahan Polyurethane terhadap nilai-nilai karakteristik campuran yang memenuhi syarat dalam spesifikasi campuran Stone Matriks Asphalt (SMA).

Hasil Uji Wheel Tracking Machine (WTM) Campuran Kadar Aspal Optimum dengan Bahan Tambah Polyurethane.

Pengujian dengan Wheel Tracking Machine (WTM) digunakan untuk mendapatkan hasil pengujian terhadap deformasi yang dipandang bisa mensimulasikan kondisi lapangan yang terjadi pada perkerasan akibat lintasan kendaraan. Untuk melihat kinerja ketahanan deformasi campuran dilakukan tinjauan terhadap tiga parameter yaitu Kedalaman Alur (deformasi), Laju deformasi (RD), dan stabilitas dinamis (DS).

Tabel 4.11 Hasil Uji Wheel Tracking Machine

| Waktu Menit | Jumlah Lintasan | Deformasi (mm) | | | | | Satuan |
|-------------------------|--------------------|----------------|--------|--------|--------|--------|-------------|
| | | 0% | 1% | 2% | 3% | 4% | |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | mm |
| 1 | 21 | 0.62 | 0.59 | 0.41 | 0.45 | 0.94 | mm |
| 5 | 105 | 1.43 | 0.98 | 0.73 | 1.24 | 1.81 | mm |
| 10 | 210 | 2.32 | 1.58 | 1.21 | 1.98 | 2.72 | mm |
| 15 | 315 | 3.25 | 2.52 | 2.18 | 2.89 | 3.64 | mm |
| 30 | 630 | 4.86 | 4.22 | 3.89 | 4.52 | 5.29 | mm |
| 45 | 945 | 6.87 | 6.18 | 5.71 | 6.56 | 7.12 | mm |
| 60 | 1260 | 7.89 | 7.02 | 6.49 | 7.51 | 8.22 | mm |
| Total Deformasi (D0) | | 3.889 | 3.299 | 2,946 | 3.593 | 4,253 | mm |
| Stabilitas Dinamis (DS) | | 607.77 | 750.00 | 807.69 | 663.16 | 572.73 | Lintasan/mm |
| Laju Deformasi (RD) | | 0.069 | 0.056 | 0.052 | 0.063 | 0.0733 | mm/menit |

Hasil Uji Wheel Tracking Machine (WTM) Campuran Kadar Aspal Optimum dengan Bahan Tambah Polyurethane.

Pengujian dengan Wheel Tracking Machine (WTM) digunakan untuk mendapatkan hasil pengujian terhadap deformasi yang dipandang bisa mensimulasikan kondisi lapangan yang terjadi pada perkerasan akibat lintasan kendaraan. Untuk melihat kinerja ketahanan deformasi campuran dilakukan tinjauan terhadap tiga parameter yaitu Kedalaman Alur (deformasi), Laju deformasi (RD), dan stabilitas dinamis (DS)

Tabel 4.11 Hasil Uji Wheel Tracking Mechine

| Waktu Menit | Jumlah Lintasan | Deformasi (mm) | | | | | Satuan |
|-------------------------|--------------------|----------------|--------|--------|--------|--------|-------------|
| | | 0% | 1% | 2% | 3% | 4% | |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | mm |
| 1 | 21 | 0.62 | 0.59 | 0.41 | 0.45 | 0.94 | mm |
| 5 | 105 | 1.43 | 0.98 | 0.73 | 1.24 | 1.81 | mm |
| 10 | 210 | 2.32 | 1.58 | 1.21 | 1.98 | 2.72 | mm |
| 15 | 315 | 3.25 | 2.52 | 2.18 | 2.89 | 3.64 | mm |
| 30 | 630 | 4.86 | 4.22 | 3.89 | 4.52 | 5.29 | mm |
| 45 | 945 | 6.87 | 6.18 | 5.71 | 6.56 | 7.12 | mm |
| 60 | 1260 | 7.89 | 7.02 | 6.49 | 7.51 | 8.22 | mm |
| Total Deformasi (D0) | | 3.889 | 3.299 | 2,946 | 3.593 | 4,253 | mm |
| Stabilitas Dinamis (DS) | | 607.77 | 750.00 | 807.69 | 663.16 | 572.73 | Lintasan/mm |
| Laju Deformasi (RD) | | 0.069 | 0.056 | 0.052 | 0.063 | 0.0733 | mm/menit |

Dari hasil pengujian Wheel Tracking Mechine, didapatkan hasil jumlah lintasan berulang dan lamanya waktu pembebanan yang dilakukan akan meningkatkan nilai deformasi campuran Stone Matriks Asphalt (SMA). Nilai deformasi tertinggi hingga terendah secara berurutan yaitu pada campuran SMA dengan kadar bahan tambah Polyutrethane 0%, 1% 3% 4% dan yang tertinggi pada kadar 2% dengan masing-masing nilai total deformasi 2,946 lin/mm, nilai stabilitas dinamis 807,69 lin/mm dan nilai Laju deformasi 0,052 mm/menit sehingga kemampuan mencegah terjadinya deformasi semakin besar, serta penambahan zat aditif polyutrethane menurunkan kadar rongga berdasarkan nilai VIM dan VMA semakin kecil serta nilai VFA dan density semakin besar pula. Namun, semakin tinggi kadar polyutrethane menyebabkan kekakuan bahan ikat campuran semakin berkurang, sehingga mengakibatkan stabilitas campuran juga akan menurun dalam menahan beban dan berdeformasi lebih besar.

Hasil Uji Inderect Tensile Strength (ITS)

Indirect tensile strength merupakan metode untuk mengetahui besar gaya tarik yang mampu ditahan oleh campuran beraspal. Beberapa parameter dapat diketahui secara langsung dari uji Indirect Tensile Strength (ITS), yaitu besar deformasi vertikal, deformasi horizontal, regangan, kuat tarik tidak langsung, poisson ratio (μ), dan modulus elastisitas (E). Nilai ITS menandakan batasan maksimum suatu campuran mampu menahan beban lalu lintas sebelum akhirnya mengalami retak (failure) akibat kegagalan tarik. Adapun hasil pengujian ITS dengan penambahan zat aditif polyutrethane dapat

dilihat pada tersebut.

Tabel 4.12 Hasil Uji Inderect Tensile Strength (ITS)

| Polyutrethane | | | | | | | |
|----------------------|-------------|----------|---------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------|
| Kadar Polyutr ethane | Diameter mm | ITS Kpa | Poisson Ratio μ | Deformasi Vertikal mm | Deformasi Horisontal mm | Regangan (ϵ) | Modulus Elastis E Kpa |
| 0% | 10.33 | 11934.00 | 0.052 | 3.48 | 0.18 | 0.01742 | 684878.72 |
| 1% | 10.33 | 13479.85 | 0.051 | 3.42 | 0.17 | 0.01678 | 803347.18 |
| 2% | 10.33 | 14561.95 | 0.048 | 3.42 | 0.16 | 0.01581 | 920968.88 |
| 3% | 10.33 | 14160.03 | 0.055 | 3.45 | 0.19 | 0.01839 | 769858.22 |
| 4% | 10.33 | 13387.10 | 0.057 | 3.47 | 0.20 | 0.01904 | 703163.01 |
| Rata-rata | | | | | | 0.01749 | 776443.20 |

Pembahasan

Berdasarkan Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan, berikut diuraikan beberapa poin-poin penting yang menjawab tujuan penelitian.

1. Berdasarkan hasil pengujian Marshall terhadap penambahan kadar polyutrethane terhadap campuran stone matriks asphalt (SMA), dapat dilihat pengaruh terhadap sifat-sifat marshall campuran dijelaskan sebagai berikut.

a. Pengaruh Penambahan Polyuthane Terhadap Stabilitas

Dengan penambahan kadar polyutrethane, nilai stabilitas meningkat sampai maksimum pada kadar polyutrethane yaitu sebesar 737,63 kg dan kemudian turun secara signifikan seiring bertambahnya kadar Polyutrethane. Secara keseluruhan campuran kadar Polyutrethane memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 pada campuran SMA yaitu 600-1800 Kg. Stabilitas campuran meningkat secara konsisten dari 0% hingga 2% dan kemudian pada campuran kadar Polyutrethane 3% hingga 4% stabilitas menurun, hal ini disebabkan karena kurangnya adhesi pada campuran aspal yang ditambahkan polyutrethane semakin banyak penambahan Polyutrethane, maka akan mengalami tingkat kekauan pada aspal, dapat dilihat dari nilai penetrasi

yang semakin menurun nilainya.

b. Pengaruh Penambahan Polyurethane terhadap kelelahan (flow)

Dengan penambahan polyurethane, flow menurun pada campuran kadar 1% hingga 2% dan meningkat setelah ada penambahan Polyurethane dari 2% hingga mencapai titik maksimum pada 4%. Hal ini karena campuran memiliki kemampuan untuk menahan terjadinya deformasi akibat beban lalu lintas jika penambahan polyurethane masih sedikit, tapi jika kadar penambahan polyurethane terlalu banyak dapat mengalami campuran menjadi kaku dan mudah retak jika menerima beban yang lebih. Nilai flow campuran harus di batasi untuk mendapatkan nilai campuran ideal. Nilai flow yang besar menunjukkan campuran bersifat plastis sehingga mudah berubah bentuk (deformasi) akibat beban lalu lintas yang tinggi. Hal ini ditunjukkan dengan semakin tinggi kelelahan plastis yang terjadi pada campuran dengan penambahan polyurethane maka semakin rendah nilai stabilitas pada campuran.

c. Pengaruh penambahan Polyurethane Terhadap Void In Mix (VIM)

Dengan penambahan Polyurethane kedalam campuran menyebabkan nilai VIM semakin menurun, itu terjadi pada penambahan kadar polyurethane dari 1% hingga ke 4%, nilai ideal yang didapatkan pada kadar polyurethane 2% dengan nilai sebesar 4,3176, semakin menurun nilai VIM menandakan campuran terselimuti aspal dengan baik, sehingga pada campuran dengan penambahan polyurethane bisa menurunkan rongga udara dalam campuran. Pada kondisi kadar aspal konstan (kadar aspal optimum).

d. Pengaruh penambahan Polyurethane terhadap Void Filled With Asphalt (VFA).

Dengan penambahan polyurethane, rongga terisi aspal (VFA) pada campuran meningkat 0%, dengan nilai 59,766 kg/mm³, 1% dengan nilai 65,976, 2% dengan nilai 70,976, 3% dengan nilai 75,496 dan 4% 79,161. Menunjukkan perubahan yang signifikan. Nilai VFA yang tinggi menunjukkan bahwa rongga pada campuran lebih terisi oleh aspal. Hal ini disebabkan karena penambahan polyurethane bisa menurunkan sifat viskositas aspal, sehingga menyebabkan semakin besar penambahan aditif maka agregat akan semakin mudah terlapis oleh aspal dan membuat selimut aspal semakin tebal yang berarti semakin kedap air dan udara.

e. Pengaruh penambahan Polyurethane Terhadap Void In Minerall Aggregate (VMA)

Dengan penambahan polyurethane nilai VMA menunjukkan perubahan yang tidak signifikan. Penurunan nilai VMA diakibatkan karena semakin banyak kadar Polyurethane yang digunakan akan mengakibatkan bahan ikat semakin Lembek dan

memudahkan untuk mengisi pori antara agregat dalam campuran dan menjadikan rongga antara agregat semakin kecil.

f. Pengaruh Penambahan Polyurethane terhadap Density

Dengan penambahan polyurethane nilai density mengalami peningkatan seiring bertambahnya kadar polyurethane yang ditambahkan pada campuran, akan mengakibatkan campuran semakin padat. Hal ini dapat terjadi karena fungsi bahan tambah polyurethane yang membuat pelapisan pengikat aspal yang efisien pada permukaan agregat sifat ini memungkinkan pengikat untuk dengan mudah melapisi agregat dan campuran menjadi lebih padat pada suhu campuran yang lebih rendah berbanding lurus dengan nilai VIM yang didapat semakin rendah, menunjukkan bahwa campuran semakin padat seiring dengan bertambahnya zat aditif Polyurethane. Nilai density yang tidak signifikan.

g. Pengaruh penambahan polyurethane Terhadap Marshall Quotient (MQ).

Dengan penambahan Polyurethane diketahui bahwa nilai MQ mengalami peningkatan hingga pada campuran aspal penambahan kadar Polyurethane pada 2% yaitu sebesar 326,242 kg/mm. kemudian akan mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya kadar polyurethane. Hal ini disebabkan karena penambahan polyurethane 2% karena memberikan kekuan pada campuran. sehingga kemampuan aspal mengikat agregat dalam mempertahankan pada posisinya semakin bertambah dan campuran tidak mudah berdeformasi ketika menerima beban. Nilai MQ yang rendah menunjukkan bahwa campuran memiliki nilai stabilitas rendah dengan nilai kelelahan yang tinggi, sehingga mengakibatkan campuran fleksibel dan mudah mengalami perubahan deformasi dan sebaliknya.

2. Berdasarkan hasil pengujian Wheel Tracking Machine dengan pemanfaatan Zat Aditif Polyurethane digunakan untuk mendapatkan hasil pengujian terhadap deformasi permanen yang dipandang bisa mensimulasikan kondisi lapangan yang terjadi pada perkerasan akibat lintasan kendaraan. meningkatkan nilai stabilitas dinamis dan menurunkan kecepatan deformasi campuran penambahan kadar polyurethane. Peningkatan yang tertinggi ditunjukkan pada penambahan kadar polyurethane 2% dengan nilai stabilitas dinamis 807,69 mm/menit. Dan laju deformasi semakin kecil 0,052 mm/menit, sedangkan kadar aspal optimum campuran SMA 0% mempunyai nilai stabilitas 607,77 lintasan/mm dan kelajuan deformasi 0,069 mm/menit. Hal ini dikarenakan aspal dengan penambahan polyurethane 2% mempunyai nilai kekakuan sehingga kemampuan mencegah terjadinya deformasi semakin besar dan ketahanan

terhadap temperatur meningkat.

3. Berdasarkan hasil pengujian Inderct Tensile Strength (ITS) dengan pemanfaatan zat aditif polyurethane. Didapatkan nilai kuat tarik dan modulus elastis pada campuran kadar aspal dengan penambahan polyurethane nilai ketahanan tarik mengalami peningkatan dan perubahan yang signifikan pada kadar Polyurethane 2% dengan nilai ITS sebesar 14561.95 kPa, sedangkan nilai ITS untuk kadar Polyurethane 0%, 3% dan 4% yaitu 11934 kPa, 13479,85 kPa 14460,03 kPa dan 13387.10 kPa sedangkan nilai modulus elastis pada campuran KAO SMA pada kadar polyurethane mengalami penurunan pada kadar polyurethane 2%. Dengan nilai modulus elastis sebesar 694268,85, sedangkan nilai kadar polyurethane 0%, 2%, 3% dan 4% sebesar 880558,36, 803347,18, 769858,22 dan 829732,35, dapat dilihat bahwa nilai modulus elastis yang tidak signifikan. Hal ini disebabkan campuran SMA dengan kadar penambahan polyurethane 2% meningkatkan kekakuan aspal sehingga menyebabkan kemampuan aspal mengikat agregat dalam mempertahankan posisinya semakin bertambah dan mempunyai sifat yang saling mengunci (interlock) yang baik. Namun, semakin tinggi kadar polyurethane kekakuan aspal semakin menurun mengakibatkan campuran akan semakin fleksibel kemudian bahan ikat menjadi cepat kehilangan kekuatan dalam mempertahankan ikatannya.

SIMPULAN

Hasil penelitian dan analisis perhitungan dari karakteristik telah dijelaskan, maka dapat disimpulkan bahwa; 1) Pengaruh penambahan zat aditif Polyurethane terhadap ketahanan deformasi pada campuran Stone Matriks Asphalt (SMA). Peningkatan nilai stabilitas tertinggi diperoleh sebesar 737,63% kg, yaitu pada kadar penambahan zat aditif Polyurethane 2. Nilai stabilitas dan MQ menunjukkan yang signifikan, sedangkan nilai Flow, VIM, VMA dan density tidak berubah secara signifikan, 2). Berdasarkan hasil pengujian Wheel Tracking Machine (WTM) dengan penambahan zat aditif polyurethane meningkatkan stabilitas dinamis secara signifikan dengan nilai sebesar 807,69 pada kadar penambahan Polyurethane 2% dan menunjukkan trend, semakin menurun dengan penambahan kadar Polyurethane. Sedangkan pada Laju Deformasi dengan penambahan Polyurethane menurunkan kecepatan deformasi secara signifikan yang menunjukkan ketahanan campuran dalam menerima beban semakin baik, dan nilai kecepatan deformasi yang terkecil yaitu pada kadar Polyurethane 2% sebesar 0,052 mm/menit. Dan semakin meningkat dengan bertambahnya kadar Polyurethane.3). Campuran Stone Matriks Asphalt (SMA) dengan penambahan kadar Polyurethane, 2% menunjukkan

perubahan nilai ITS yang signifikan sebesar 14561,95 Kpa dan akan semakin menurun dan semakin menurun dengan bertambahnya kadar polyurethane. Sedangkan pada nilai Modulus Elastis pada penambahan polyurethane terkecil pada kadar 2% sebesar 694268,85 dan semakin meningkat dengan bertambahnya kadar Polyurethane.

DAFTAR PUSTAKA

- Gunaran, D., & Makmur, A. (2016). Pengaruh Penambahan Polyurethane Terhadap Stabilitas Campuran Beraspal Berpori. *Jurnal HPJI (Himpunan Pengembangan Jalan Indonesia)*, 2(2).
<https://journal.unpar.ac.id/index.php/HPJI/article/view/2313/2087>
- Ma, Y., Chen, X., Geng, Y., & Zhang, X. (2020). Effect of clogging on the permeability of porous asphalt pavement. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2020, 1–9. <https://www.hindawi.com/journals/amse/2020/4851291/>
- Tahir, A. (2011). Kinerja campuran Split Mastic Asphalt (SMA) yang menggunakan serat selulosa alami dedak padi. *Jurnal Rekayasa Dan Manajemen Transportasi*, 1(1).
<https://core.ac.uk/download/pdf/292007557.pdf>
- Lin, C., Tongjing, W., Le, T., Junjie, Y., & Jiachen, S. (2018). Laboratory Evaluation on Performance of Porous Polyurethane Mixtures and OGFC. *Journal Construction and Building Materials*, Vol. 169, 436–442.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061808002547>
- Lu, X. dan Yildirim. (2007). Rheological characterization of styrene-butadiene styrene copolymer modified bitumens. *Construction and Building Materials*, Vol.11. 1997. P.23-32.50.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061896000335>
- Ibrahim, Z., Said, L. B., & Alifuddin, A. (2021). Analisis Poisson Ratio dan Ketahanan Deformasi Campuran AC-WC Substitusi Pasir Silika. *Jurnal Teknik Sipil MACCA*, 6(1), 36–47. <https://jurnal.ft.umi.ac.id/index.php/jtsm/article/view/277/170>
- Khairudin ddk 2019 Physicochemical and Thermal Analyses Of Polyurethane Modified Bitumen Incorporated with Cecabase and Rediset Optimization Using Response Surface Methodology.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016236119310142>
- Massara, A., Arifin, W., Alifuddin, A., Ramadhan, M. F., & Taufiq, M., Vol 6 No. 2, 61-67 (2021). PENA TEKNIK: Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Teknik. Analisa Deformasi pada Campuran Aspal Beton Menggunakan Derbo dan Wetfix.
<https://media.neliti.com/media/publications/518935-none-17a7d352.pdf>

- Syafar, M., I., Maryam, S. Alifuddin, A., Vol 1 No. 9, 32-42 (2022) Jurnal Konstruksi: Teknik, Infrastruktur dan Sains. Analisa Kinerja Campuran Split Mastic Asphalt (SMA) dan Bahan Tambah Serat Selulosa terhadap Nilai Modulus Elastisitas dan Angka Poison dengan Variasi Suhu Pengujian. <http://pasca-umi.ac.id/index.php/kons/article/view/1169>
- Salim, A., K., Darmawan, M., A., Wibowo, H., Vol 5 No 1 (2020) Jurnal Teknik Sipil MACCA, Perbandingan biaya, perkerasan kaku dan perkerasan lentur. <https://jurnal.ft.umi.ac.id/index.php/jtism/article/view/13>
- Sitorus, O. B. (n.d.). Pengaruh Penggunaan Dedak Kasar Sebagai Bahan Tambah Aspal Terhadap Karakteristik Laston. <https://repository.unej.ac.id/handle/123456789/10544>
- Anies, M., K., Siraman, J., Mandaya, A., A., Vol 4 No 2 (2019) JILMATEKS; Jurnal Teknik Sipil, Studi Perencanaan Lapisan Permukaan Jalan Jenis Beton Aspal AC-WC Dengan Pemanfaatan Limbah Plastik Pet Sebagai Bahan Tambah <https://jurnal.ft.umi.ac.id/index.php/jtism/article/view/371>