

Variasi Suhu Pemadatan Campuran AC-Base Menggunakan Batu Sungai Seriti, Kabupaten Luwu

Sandhika Yuda Panggara ^{*1}, Alpius ^{*2}, Louise Elizabeth Radjawane ^{*3}

^{*1} Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Indonesia Paulus Makassar, Indonesia
yudhapanggara03@gmail.com

^{*2,3} Dosen Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Indonesia Paulus Makassar, Indonesia
alpiusnini@gmail.com ^{*2} dan eliz.louise@yahoo.com ^{*3}

Corresponding Author: yudhapanggara03@gmail.com

ABSTRAK

Banyak prasarana transportasi yaitu jalan raya yang mengalami kerusakan di Indonesia, salah satu penyebabnya adalah proses pemadatan aspal yang tidak sesuai dengan temperature saat dilapangan, sehingga diperlukan suatu pengujian pada variasi suhu tumbukan. Seriti mempunyai sumber material berupa batu sungai dan telah memenuhi Standar Bina Marga 2018 (Parerung,2020), sehingga material dari sungai Seriti sangat cocok digunakan Kembali dalam penelitian ini. Metodologi dalam penelitian ini adalah pengujian Marshall *Konvensional* untuk mendapatkan suhu optimum serta pengujian Marshall *Immersion* untuk memperoleh Stabilitas Marshall Sisa (SMS)/Durabilitas. Penelitian ini menggunakan campuran AC-Base dengan variasi suhu pemadatan 90°C, 100°C, 110°C, 120°C dan 130°C dan kadar aspal 4,5%. Berdasarkan hasil analisis dari variasi suhu pemadatan 90°C, 100°C, 110°C, 120°C dan 130°C diperoleh nilai stabilitas 2315,7 kg, Flow 4,20 mm, VIM 3,14%, VMA 13,95% dan FVB 75,57%. Berdasarkan hasil penelitan ini dapat disimpulkan bahwa suhu optimum yang di peroleh adalah 130°C memenuhi Spesifikasi Bina Marga 2018.

Kata kunci: Suhu pemadatan, Campuran AC-Base, Marshall Test.

ABSTRACT

Many transportation infrastructures, namely roads, have been damaged in Indonesia, one of the causes is the asphalt compaction process that is not in accordance with the temperature in the field, so a test is needed on variations in collision temperature. Seriti has a source of material in the form of river stone and has met the 2018 Bina Marga Standard (Parerung, 2020), so the material from the Seriti river is very suitable for reuse in this study. The methodology in this study is the Conventional Marshall test to obtain the optimum temperature and Marshall Immersion test to obtain Marshall Residual Stability (SMS)/Durability. This study used a mixture of AC-Base with variations in compaction temperature 90°C, 100°C, 110°C, 120°C and 130°C and asphalt content of 4.5%. Based on the results of the analysis of the variation of compaction temperature 90°C, 100°C, 110°C, 120°C and 130°C obtained stability value 2315,7 kg, Flow 4,20 mm, VIM 3,14%, VMA 13.95% and FVB 75, 57%. Based on the results of this research, it can be concluded that the optimum temperature obtained is 130°C which meets the 2018 Highways Specifications.

Keywords: Compaction Temperature, Mix AC-Base, Marshall Test.

PENDAHULUAN

Jalan merupakan prasarana transportasi dengan fungsi sebagai penghubung dalam pendistribusian barang dan jasa. Seiring berjalannya waktu perekonomian setiap daerah akan meningkat sehingga menyebabkan peningkatan penggunaan sarana angkutan barang dan jasa. Pada kenyataannya banyak prasarana transportasi

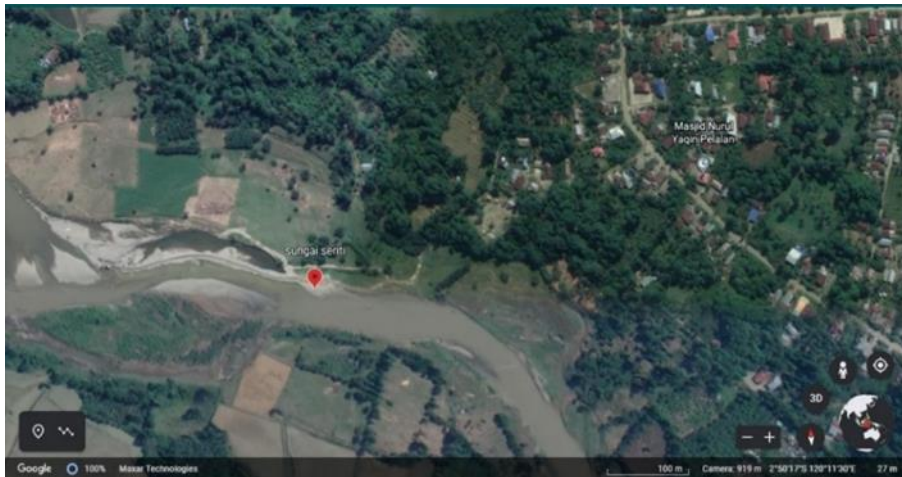
yang mengalami kerusakan, salah satu penyebabnya adalah proses pemadatan aspal yang tidak sesuai dengan temperatur saat dilapangan. Salah satu faktor yang mempengaruhi penurunan suhu yang sangat cepat yang biasa terjadi di daerah dingin atau pada musim hujan, penurunan suhu tentunya menyebabkan campuran beraspal tidak dapat dihamparkan karena suhu aspal yang tidak memenuhi standar untuk dihamparkan atau dipadatkan. Sehingga dari permasalahan tersebut diperlukan suatu pengujian pada variasi suhu tumbukan pada lapis aspal beton, yaitu *Asphalt Concrete-Base (AC-Base)* dengan variasi suhu pemadatan 90°C, 100°C, 110°C, 120°C dan 130°C, dan menggunakan aspal penetrasi 60/70. Sebelumnya telah banyak dilakukan penelitian sejenis seperti Pengujian Karakteristik Campuran *AC-Base* Menggunakan Agregat Sungai Seriti dengan hasil pengujian SMS campuran *AC-Base* mempunyai ketahanan yang baik terhadap cuaca serta perendaman terhadap air selama 24 jam [1], Penggunaan Batu Sungai Seriti pada Campuran AC-BC didapatkan hasil penelitian karakteristik agregat yang memenuhi spesifikasi sebagai bahan AC-BC dan diperoleh proporsi agregat kasar 42,82%, agregat halus 45,73%, dan *filler* 5,45% dengan kadar aspal optimum 6,00 % [2], Pengujian Campuran *Stone Matrix Asphalt* Kasar dengan Bahan Tambah Ban Bekas diperoleh hasil pengujian dimana Stabilitas, *Flow*, *VIM*, dan *VMA* memenuhi spesifikasi dengan batasan minimum 90% [3], Efek Variasi Suhu Pemadatan Campuran *AC-Base* dengan Penambahan Plastik diperoleh hasil nilai kepadatan, *VFA*, Stabilitas, dan *MQ*, semakin meningkat seiring dengan peningkatan suhu pemadatan baik pada *AC-Base* tanpa atau dengan penambahan plastik *PET* [4], Pengaruh Temperatur Terhadap Campuran *AC-BC* menggunakan Batu Sungai Seriti didapatkan nilai campuran pada variasi suhu 120°C - 160°C dengan kesimpulan bahwa suhu pada suatu campuran sangat mempengaruhi nilai parameter *Marshall* [5]. Penggunaan Batu Apung sebagai Bahan Pengisi pada Campuran Laston *HRS-Base* didapatkan hasil pengujian *Marshall* Immertion bergradasi senjang dan semi senjang menggunakan kadar *filler* optimum pada IKS atau Durabilitas sebesar 90,86% dan 91,49% sehingga campuran tahan terhadap perendaman dalam air [6], Pemanfaatan Batu Sungai Karawa sebagai Agregat Campuran Laston Lapis Antara menunjukkan hasil kadar aspal optimum pada kadar 6% dengan penggunaan kadar aspal 5%, 5,5%, 6%, 6,5% dan 7% dan nilai Stabilitas *Marshall* yang tersisa sebesar 97,47% [7], Karakteristik Campuran *AC-Base* menggunakan Batu Gunung Pura Lau dengan kadar aspal optimum 5,5% menunjukkan nilai *MQ* sebesar 906,88 kg/mm dan Indeks Perendaman 96,06% dan telah memenuhi persyaratan sehingga dapat dijadikan rekomendasi kepada pemerintah wilayah serta warga sekitar [8], Pengaruh Perendaman terhadap Durabilitas *AC-Base* Menggunakan Batu Sungai Batupapan dengan durasi perendaman 30 menit – 48 jam diperoleh nilai Stabilitas dan *Flow* memenuhi standar sedangkan untuk nilai Durabilitas durasi 30 menit – 48 jam berada dibawah nilai maksimal atau dibawah 90% sedangkan pada perendaman 48 jam tidak memenuhi syarat [9], Pengujian Variasi Suhu *AC-WC* Menggunakan Batu Sungai Balusu dengan variasi suhu pencampuran adalah 90°C, 100°C, 110°C, 120°C, dan 130°C dengan kadar aspal 6% menunjukkan hasil pada pengujian *Marshall* Konvensional dan perendaman dengan durasi 24 jam, campuran *AC-WC* tahan terhadap pengaruh air, suhu, dan cuaca [10], Variasi Suhu Pencampuran dan Pemadatan Agregat Batu Pecah Madura pada Aspal Panas *AC – WC* Terhadap Karakteristik *Marshall* dengan variasi suhu 160/146°C, 170/156°C, 180/166°C, 190/176°C, dan 200/186°C. Penelitian ini menggunakan kadar aspal 5,2%, 5,7%, dan 6,2% dengan metode *Marshall*. Berdasarkan hasil pengujian ditemukan adanya peningkatan nilai karakteristik *Marshall* sehingga disimpulkan bahwa penggunaan suhu pencampuran dan pemadatan optimum pada variasi suhu 170/156°C [11].

METODOLOGI PENELITIAN

1. Persiapan Material

a. Agregat

Lokasi pengambilan agregat batu sungai seriti terletak di kecamatan Lamasi Timur. Metode pengambilan material dilakukan di Sungai Seriti Kabupaten Luwu dan material yang telah diambil selanjutnya dipecahkan dan diteliti. Lokasi pengambilan material dapat dilihat pada Gambar 1 dan gambar 2:



Gambar 1. Lokasi Pengambilan Material Sungai Seriti



Gambar 2. Pengambilan Material Sungai Seriti

b. Aspal

Penggunaan aspal pada pengujian ini diperoleh dari DPU Badokka Makassar yakni aspal pen. 60/70.

c. Bahan Pengisi

Pada pengujian ini digunakan *filler* (bahan pengisi) berupa semen Portland

2. Pemeriksaan Karakteristik Agregat, Aspal dan *Filler* (Data Sekunder)

a. Karakteristik Agregat

Dari hasil pengujian karakteristik agregat sebelumnya Untuk nilai keausan agregat diperoleh hasil pada Fraksi A (13), Fraksi B (11,72), Fraksi C (8,04), dan Fraksi D (15,72). Nilai ini telah mencapai standar SNI 2471:2008 dengan nilai maksimal yaitu 40%. Untuk berat jenis dan penyerapan agregat kasar diperoleh hasil yaitu *Bulk* (2,66), *SSD* (2,70), *Apparent* (2,75) dan Penyerapan (1,26). Untuk agregat halus diperoleh hasil *Bulk* (2,69), *SSD* (2,72), *Apparent* (2,78) dan Penyerapan (1,11). Kedua hasil tersebut telah mencapai standar SNI 1969:2008 untuk agregat kasar dan untuk agregat halus yaitu SNI 1970:2008. Untuk agregat halus dengan minimal 2,5% untuk *Bulk*, *SSD*, *Apparent* sedangkan penyerapan maksimalnya adalah 3%. Perolehan uji pada agregat didapatkan hasil tiap saringan dimulai pada analisa saringan (agregat kasar) yaitu No. 1, 3/4, 1/2, 3/8, 4. Serta pada analisa saringan agregat halusnya dimulai dari saringan Nomor8, Nomor 16, Nomor 30, Nomor 50, Nomor 100, Nomor 200, serta PAN (*filler*) sudah mencapai standar SNI *ASTMC* 136:2012. Pada perolehan uji agregat lolos ayakan Nomor. 200 didapatkan perolehan 8% maka sudah mencapai standar SNI *ASTMC* 117:2012 yakni maksimalnya 10%. Dari perolehan uji ini didapatkan hasil rata-ratanya pada nilai *Sand Equivalent* (SE) ialah 97,56% serta kadar lumpurnya 2,44%. Keduanya telah mencapai standar SNI 03-4428-1997 yakni minimum 50% pada *Sand Equivalent* serta maksimalnya 5% pada kadar lumpur. Dari perolehan uji partikel pipih serta lonjong agregat kasar didapatkan partikel pipihnya yakni 9,01%, 8,75%, 6,58%, serta 0,00%. Serta partikel lonjong yakni 9,02%, 9,40%, 5,06% serta 0,00%. nilai itu sudah mencapai standar ASTM D-4791-10 yakni maksimal 10%. Dari perolehan uji Kelekatan Agregat pada Aspal didapatkan nilai sebesar 98,00% dimana sudah mencapai standar SNI 2439-2011 yakni minimum 95%.

b. Karakteristik aspal

Pengujian Karakteristik Aspal yang dilakukan telah mencapai standar yang ada seperti pada Pengujian Penetrasi pada 25°C didapatkan hasil data nilai penetrasi ialah 66,7 mm sesuai SNI 2456-2011. Hasil Pengujian Daktilitas 25°C diperoleh uji daktilitas yaitu nilai rata-ratanya 150 cm. Perolehan ini masuk didalam persyaratan yang di tentukan pada SNI 2432-2011. Hasil uji Titik Lembek Aspal didapatkan nilai rata-ratanya 52,0°C. Perolehan ini masuk didalam persyaratan yang di tentukan didalam SNI 2434-2011. Hasil Pengujian Titik Nyala didapat nilai rata-ratanya 290°C. Hasilnya tersebut masuk didalam persyaratan yang ditunjukkan didalam SNI 2433-2011. Hasil uji Berat Jenis dihasilkan nilai rata-ratanya 1,105gr/cc. Pendapatan ini masuk didalam persyaratan yang ditetapkan didalam dalam SNI 2441-2011. Hasil uji Berat yang Hilang hasil adalah nilai rata-rata 0,434%. Perolehan tersebut masuk didalam persyaratan yang ditetapkan dalam dalam SNI 06-2441-1991. Hasil Pengujian Penetrasi pada 25°C TFOT diperoleh hasil berat aspal didapat nilai rata-ratanya 84,7%. Perolehan tersebut masuk didalam persyaratan yang ditetapkan didalam SNI 06-2456-1991.

c. Karakteristik *Filler*

Menurut penelitian yang telah dilakukan diperoleh hasil untuk Berat Jenis *Filler* yaitu 3,09% dan nilai ini telah mencapai standar SNI 03-1969-1990.

3. Rancangan Campuran Laston AC-BASE

Sesudah perolehan perhitungan yang didapat, sehingga rancangan yang dipakai dalam campuran Laston AC-BASE adalah berikut ini.

Tabel 3. Rancangan Campuran AC-Base

Kadar aspal (4,5%)	Variasi Suhu				
	90°C	100°C	110°C	120°C	130°C
Berat agregat (gram)	1146	1146	1146	1146	1146
Berat aspal (gram)	54	54	54	54	54
Berat campuran (gram)	1200	1200	1200	1200	1200

4. Pembuatan Benda Uji

Pengujian menggunakan variasi suhu pencampuran yaitu: 90°C - 130°C. Benda uji yang digunakan dalam pengujian *Marshall* Konvensional sebanyak 15 sampel dan *Marshall Immersion* sebanyak 3 sampel. Komposisi campuran dan bahan yang digunakan dalam campuran laston AC-BASE telah berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018.

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

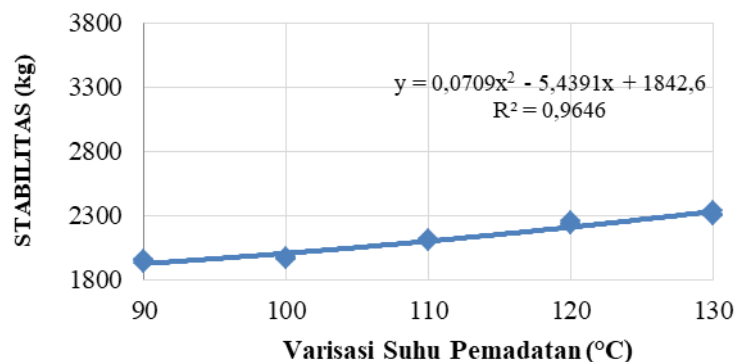
Setelah dilakukan rancangan campuran kemudian dilakukan pengujian campuran Laston AC-Base dengan 5 variasi suhu yaitu 90°C sampai dengan 130°C dengan rentang perbedaan suhu 10°C menggunakan kadar aspal 4,5%. Dibawah ini adalah hasil pengujian *Marshall* dengan foto sampel hasil pengujian yang dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Benda Uji pada Suhu 90°C,100°C, 110°C dan 120°C

1. Analisis Terhadap Stabilitas

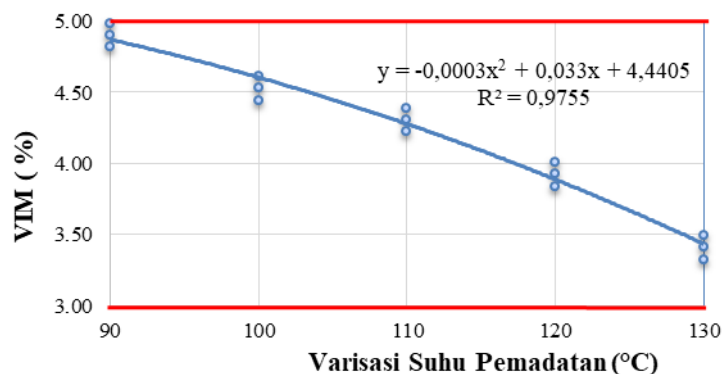
Berdasarkan Gambar 4 grafik hubungan variasi suhu pemadatan dengan stabilitas terlihat bahwa stabilitas terus meningkat disetiap penambahan suhu. Suhu pemadatan yang tinggi akan menyebabkan aspal cair sehingga dapat menyelimuti seluruh permukaan agregat secara menyeluruh dan terjadi ikatan yang semakin kuat. Jika suhu pemadatan yang digunakan rendah maka dapat mengakibatkan mengerasnya aspal yang mengakibatkan sulitnya mengikat agregat. Nilai stabilitas yang diperoleh setiap variasi suhu pemadatan memenuhi spesifikasi Direktorat Bina Marga 2018.



Gambar 4. Grafik Hubungan Variasi Suhu dengan Stabilitas

2. Analisa terhadap VIM (Void in Mixture)

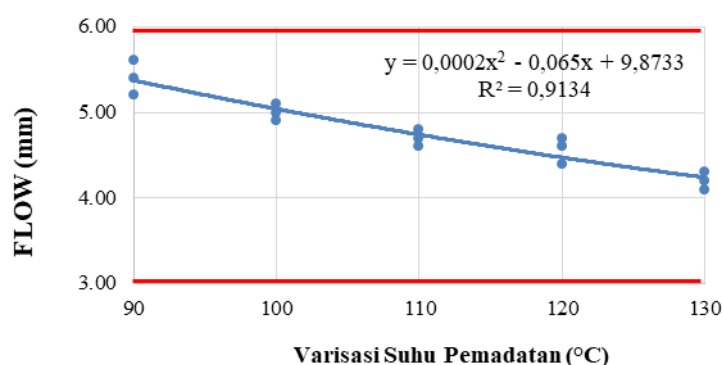
Berdasarkan gambar 5 grafik hubungan variasi suhu pemadatan dengan VIM terlihat bahwa VIM terus mengalami penurunan disetiap penambahan suhu pemadatan. Penurunan nilai VIM ini diakibatkan tingginya suhu pemadatan sehingga aspal mudah mencair dan mengisi rongga diantara agregat campuran, sedangkan pada suhu yang rendah aspal sulit untuk mengisi rongga karena mulai mengeras. Nilai VIM yang diperoleh setiap variasi suhu pemadatan memenuhi spesifikasi Direktorat Bina Marga 2018.



Gambar 5. Grafik Hubungan Variasi Suhu Pencampuran Dengan VIM

3. Analisa Terhadap Flow

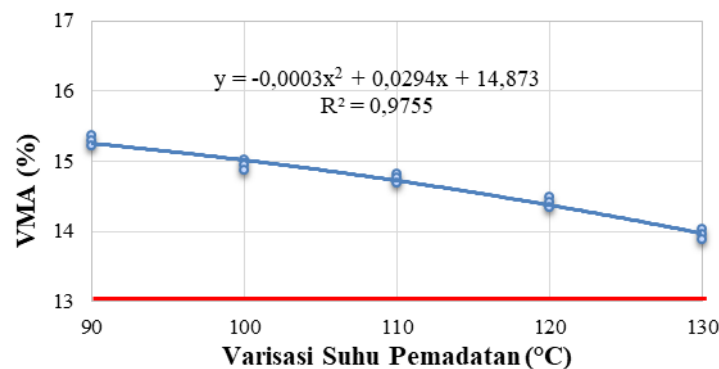
Berdasarkan gambar 6. Grafik hubungan variasi suhu pencampuran dengan Flow terlihat bahwa nilai flow terus mengalami penurunan disetiap penambahan suhu. Suhu pemadatan yang tinggi mengakibatkan aspal mencair dengan cepat menyebabkan kelenturan campuran menurun sehingga makin padat. Sebaliknya, suhu pemadatan yang rendah mengakibatkan kelenturan tinggi karena aspal tidak dapat menyelimuti keseluruhan agregat secara sempurna. Hasil uji flow ini telah memenuhi ketentuan yang disyaratkan Bina Marga 2018.



Gambar 6. Grafik Hubungan Variasi Suhu Pemadatan dengan Flow

4. Analisa Terhadap VMA (Void in Mineral Aggregate)

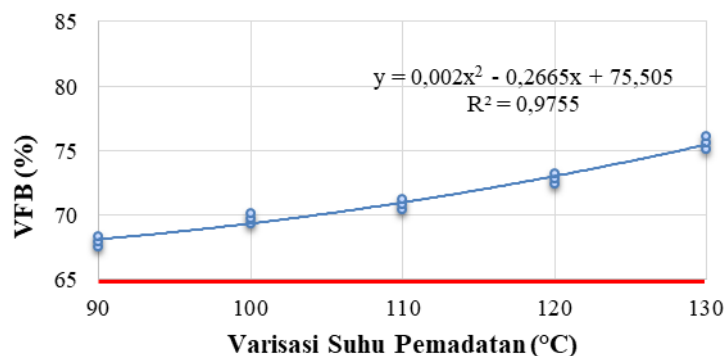
Berdasarkan gambar 7 grafik hubungan variasi suhu pemadatan dengan VMA terlihat bahwa terjadi penurunan nilai VMA disetiap penambahan suhu pemadatan. Penyebab menurunnya VMA dikarenakan aspal mudah mencair pada suhu tinggi sehingga mengisi rongga agregat keseluruhan dengan mudah. Pada suhu pemadatan tinggi aspal akan sulit untuk cair yang menyebabkan aspal megeras sehingga sulitnya mengisi rongga. Hasil uji VMA ini telah lolos sesuai ketentuan persyaratan Bina Marga 2018.



Gambar 7. Grafik Hubungan Variasi Suhu Pematatan Dengan VMA

5. Analisa Terhadap VFB (Void Filled with Bitumen)

Berdasarkan gambar 8 grafik hubungan variasi suhu pematatan dengan VFB dapat dilihat bahwa nilai VFB terus mengalami peningkatan secara signifikan disetiap penambahan suhu pematatan. Peningkatan nilai ini disebabkan oleh pengaruh suhu pematatan yang tinggi. Pada suhu tinggi aspal akan mudah mencair sehingga rongga terisi dengan mudah dan aspal efektif akan semakin banyak menyelimuti rongga campuran. Sedangkan pada suhu pematatan yang rendah, aspal akan mengeras sehingga sulit untuk cair dan tidak mengisi rongga dengan baik secara keseluruhan menyebabkan rendahnya nilai VFB karena rongga tidak terisi semakin banyak.



Gambar 8. Grafik Hubungan Variasi Suhu Pematatan dengan VFB

6. Penentuan Suhu Optimum

Suhu optimum adalah nilai terbaik dari rentang suhu yang memenuhi semua spesifikasi campuran. Penelitian ini mengambil variasi suhu dari 90°C sampai 130°C dengan interval 10°C. Berdasarkan hasil analisis campurann dengan menggunakan kadar aspal 4,5% untuk campuran AC-Base menggunakan variasi suhu 90°C, 100°C, 110°C, 120°C, dan 130°C. Suhu aspal optimum yang akan digunakan terhadap lapisan AC-Base dengan kadar 4,5% yaitu 130°C dimana pada suhu 130°C mempunyai nilai stabilitas yang lebih baik. Memenuhi Spesifikasi Bina Marga 2018.

KESIMPULAN

1. Pengaruh variasi suhu pemadatan diperoleh suhu optimum 130 °C memenuhi Spesifikasi Bina Marga 2018 dengan nilai parameter *Marshall* yang diperoleh memiliki nilai Stabilitas 2315,7 kg, *Flow* 4,20, *VIM* 3,41 %, *VMA* 13,95 %, dan *VFB* 75,57 %
2. Nilai Stabilitas sisa dari hasil pengujian Marshall Immersion sebesar 96,9 %. Dengan kadar aspal 4,5% pada suhu optimum 130 °C memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 yaitu $\geq 90\%$.
3. Hasil pengujian diperoleh suhu optimum 130 °C dan telah memenuhi standar sehingga dapat digunakan untuk pembangunan prasarana jalan di Seriti yang memiliki cuaca panas sehingga pada saat penghamparan dan pemadatan bisa maksimal karena penurunan temperatur aspal yang lambat akibat cuaca panas

DAFTAR PUSTAKA

- [1] F. S. Parerung, R. Mangontan and Alpius, "Karakteristik Campuran AC-Base yang Menggunakan Agregat Sungai Seriti Kabupaten Luwu," Paulus Civil Engineering Journal, vol. 4, no. 3, pp. 525-534, 2022. <https://doi.org/10.52722/pcej.v4i3>
- [2] V. Mangetan, R. Mangontan and Alpius, "Penggunaan Batu Sungai Seriti Kabupaten Luwu pada Campuran AC-BC," Paulus Civil Engineering Journal, vol. 3, no. 1, pp. 76-84, 2021. <https://doi.org/10.52722/pcej.v3i1>
- [3] D. Bangngalino, R. Rachman and Alpius, "Karakteristik Campuran Stone Matrix Asphalt Kasar dengan Bahan Tambah Ban Bekas," Civil Engineering Journal, vol. 4, no. 3, pp. 452-460, 2022. <https://doi.org/10.52722/pcej.v4i3>
- [4] A. F. Mawardi, M. Machsus, M. Khoiri and H. Gunawan, "Efek Variasi Suhu Pemadatan Campuran Laston Lapis Pondasi (AC-Base) dengan Penambahan Limbah Plastik," Jurnal Aplikasi Teknik Sipil, vol. 18, no. 1, pp. 139-144, 2020. <http://dx.doi.org/10.12962/j2579-891X.v18i1.6423>
- [5] N. Pasambo, Alpius and L. E. Radjawane, "Pengaruh Temperatur Pencampuran Terhadap Campuran AC-BC dengan Menggunakan Batu Sungai Seriti," Paulus Civil Engineering Journal, vol. 4, no. 3, pp. 461-471, 2022. <https://doi.org/10.52722/pcej.v4i3>
- [6] M. M. T. A., M. S., C. Kamba and Alpius, "Pengujian Batu Apung sebagai Filler pada Campuran Laston HRS-Base," Paulus Civil Engineering Journal, vol. 1, no. 1, pp. 42-54, 2019. <https://doi.org/10.52722/pcej.v1i1>
- [7] E. Buli, Alpius and L. E. Radjawane, "Pemanfaatan Batu Sungai Karawa Kabupaten Pinrang sebagai Agregat Campuran Laston Lapis Antara," Paulus Civil Engineering Journal, vol. 4, no. 2, pp. 346-358, 2022. <https://doi.org/10.52722/pcej.v4i2>
- [8] D. N. Senolinggi, Alpius and C. Kamba, "Studi Karakteristik Campuran AC-Base Menggunakan Batu Gunung Pura Lau Kecamatan Tikala," Paulus Civil Engineering Journal, vol. 3, no. 2, pp. 244-252, 2021. <https://doi.org/10.52722/pcej.v3i2>
- [9] A. Liling, Alpius and I. Apriyani, "Pengaruh Perendaman Terhadap Durabilitas Campuran AC-Base Menggunakan Batu Sungai Batupapan Kecamatan Telluwanua," Paulus Civil Engineering Journal, vol. 4, no. 2, pp. 266-271, 2022. <https://doi.org/10.52722/pcej.v4i2>
- [10] A. R. Seppo, R. Rachman and N. Ali, "Variasi Suhu Pemadatan Campuran AC-WC Menggunakan Batu Sungai Balusu Kabupaten Toraja Utara," Jurnal Matriks Teknik Sipil, vol. 9, no. 1, pp. 23-31, 2021. <https://doi.org/10.20961/mateksi.v9i1.49248>
- [11] T. J. Irwanto, "Pengaruh Variasi Suhu Pencampuran dan Pemadatan Agregat Batu Pecah Madura (Desa Asem Jaran Kecamatan Banyuates Kabupaten Sampang) pada Campuran Aspal Panas (Hotmix) Asphalt Concrete Wearing Course (ACWC), terhadap Karakteristik Marshall," Jurnal Ilmiah Ilmu - Ilmu Teknik, vol. 4, no. 1, pp. 6-14, 2019. <https://doi.org/10.33319/piltek.v4i1.22>
- [12] S. B. Mallua', R. Rachman, dan Alpius, "Pemanfaatan Agregat Sungai Masanda dalam Campuran AC – WC dengan Bahan Pengisi Abu Buah Aren," Paulus Civ. Eng. J., vol. 4, no. 3, hlm. 401–410, 2022, <https://doi.org/10.52722/pcej.v4i3.504>

- [13] D. Bangngalino, R. Rachman, dan Alpius, "Karakteristik Campuran Stone Matrix Asphalt Kasar dengan Bahan Tambah Kadar Ban Bekas," Paulus Civ. Eng. J., vol. 4, no. 3, hlm. 452–460, 2022, <https://doi.org/10.52722/pcej.v4i3.521>