

Pengaruh Variasi Suhu Pemadatan Campuran HRS-WC Menggunakan Serbuk Arang Kayu sebagai Filler Terhadap Nilai Kuat Tarik Tidak Langsung

Nabila Adnan, Uswatun Hasanah Khaerunnisa, Abd Karim Hadi*

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muslim Indonesia, Kota Makassar

* abdkarim.hadi@umi.ac.id

Diajukan: 22 Maret 2025, Revisi: 30 Maret 2025, Diterima: 03 April 2025

Abstract

HRS-WC mixture used as surface layer or wear layer, because it has flexibility so it comfortable for vehicles to pass through. Seeing condition of wood charcoal which has compound similar to asphalt, it hoped that mixing wood charcoal as filler of 1%, 2% and 3% can improve the performance of the HRS-WC. Apart from that, pavement performance influenced by compaction temperature, the variations in compaction temperature used are 125°, 135°, 145°, and 155°C. The aim of the research was to analyze effect of variations in compaction temperature on characteristic values and indirect tensile strength using wood charcoal as filler in HRS-WC mixture. The research method used was experimental method on the HRS-WC mixture which had been varied and then tested with the Marshall test and indirect tensile strength. The results of the research with variations in the use of the best wood charcoal were found 2% with stability of 1648.84 Kg and best variations in compaction temperature with 2% wood charcoal at temperature of 145° with stability value of 1749.72 Kg and best variations indirect tensile strength test were found. At compaction temperature of 145° with variation of 2% wood charcoal, namely 75623.11 kPa.

Keywords: *Compaction Temperature, Filler, Wood Charcoal*

Abstrak

Campuran HRS-WC digunakan untuk lapis aus, karena mempunyai kelenturan yang nyaman untuk dilalui kendaraan. Melihat kondisi arang kayu yang memiliki senyawa mirip dengan aspal, diharapkan pencampuran arang kayu sebagai filler sebanyak 1%, 2% dan 3% dapat meningkatkan kinerja dari lapis HRS-WC. Selain itu kinerja perkerasan dipengaruhi oleh suhu pemadatan, dengan begitu pada suhu pemadatan variasi yang digunakan adalah 125°, 135°, 145°, dan 155°C. Tujuan penelitian untuk menganalisis pengaruh variasi suhu pemadatan terhadap nilai karakteristik dan kuat tarik tidak langsung dengan menggunakan arang kayu sebagai filler pada campuran HRS-WC. Metode penelitian yang dipakai yakni metode eksperimental kepada campuran HRS-WC yang telah divariasikan yang kemudian dilakukan pengujian *marshall test* dan *indirect tensile strenght*. Hasil penelitian dengan variasi penggunaan arang kayu terbaik terdapat pada variasi 2% dengan stabilitas 1648,84 Kg dan variasi suhu pemadatan terbaik dengan arang kayu 2% terdapat pada suhu 145° dengan nilai stabilitas 1749,72 Kg serta variasi terbaik pada pengujian indirect tensile strenght terdapat pada suhu pemadatan 145° dengan variasi arang kayu 2% yaitu 75623,11 kPa.

Kata Kunci: Arang Kayu, Filler, Suhu Pemadatan

1. PENDAHULUAN

Jalan di Indonesia pada umumnya mengalami kerusakan sebelum mencapai usia rencana. Pengaruh beban lalu lintas kendaraan yang berlebihan (*over loading*) yang disebabkan oleh pemadatan yang kurang optimal merupakan salah satu faktor yang dapat mempengaruhi kerusakan jalan lebih awal (*early damage*). (Alifuddin et al., 2018)

Kinerja lapis perkerasan aspal dipengaruhi oleh kepadatan dimana kepadatan itu sendiri ada kaitannya dengan suhu pemadatan yang juga memiliki peranan penting. Jika suhu terlalu rendah dan mengakibatkan nilai viscositasnya menjadi tinggi maka akan menyulitkan dalam melaksanakan pemadatan aspal. (Irwanto, 2019) Sebaliknya, kekuatan bitumen sebagai bahan pengikat akan menurun dan akan membutuhkan waktu yang lama untuk menunggu hingga mencapai suhu pemadatan yang diinginkan dalam campuran HRS-WC apabila suhu terlalu tinggi dan mengakibatkan nilai viskositas terlalu rendah. (Nahyo et al., 2019)

Campuran HRS-WC (*Hot Rolled Sheet-Wearing Course*) sendiri sering digunakan di Indonesia sebagai lapis permukaan atau lapis aus, karena mempunyai kelenturan sehingga nyaman untuk dilalui kendaraan serta daya tahan yang relatif tinggi. (Intari et al., 2018)

Bahan pengisi atau filler sendiri umumnya terdiri dari abu batu, kapur dan sement portland, atau bahan non plastis lainnya. Saat ini semen sudah banyak digunakan sebagai filler dan harga semen cukup mahal sehingga mencoba mencari alternatif lain dengan harga yang lebih terjangkau dan mudah didapatkan yaitu dengan menggunakan limbah dari arang kayu. (Putra & Firdausi, 2020)

Arang kayu (*Wood Charcoal*) adalah residu yang mengandung karbon yang dihasilkan dengan cara dibakar dengan pemanas pada suhu tinggi dengan bahan dasar kayu. Arang berwarna hitam, berbobot ringan, 80% komposisinya berupa karbon. (Rohman et al., 2021) Arang terdiri dari 85% sampai 98% karbon dan sisanya adalah abu atau benda kimia lainnya. Melihat kondisi arang kayu yang memiliki senyawa mirip dengan aspal seperti mengandung karbon aktif dan hidrogen tersebut, diharapkan pencampuran arang kayu kedalam aspal dapat meningkatkan kinerja dari perkerasan HRS-WC seperti nilai daktilitas, menahan penguapan ketika dipanaskan (menaikkan titik nyala) dan sifat-sifat dasar aspal lainnya. (Hawinuti et al., 2020)

Tujuan penelitian ini untuk menganalisis pengaruh variasi suhu pemadatan terhadap karakteristik HRS-WC dengan menggunakan filler arang kayu, serta pengaruh variasi suhu pemadatan terhadap nilai kuat tarik tidak langsung dengan menggunakan arang kayu sebagai filler.

2. METODE PENELITIAN

A. Jenis Penelitian

Strategi pengujian yang diterapkan adalah teknik uji coba kombinasi HRS-WC yang telah dibedakan dan selanjutnya dilakukan pengujian *marshall* dan *Indirect Tensile Strength*.

B. Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan pada Fakultas Teknik Universitas Muslim Indonesia Laboratorium Bahan Perkerasan Jalan.

C. Metode Pengujian

a) Perencanaan campuran

Dalam perencanaan campuran dilakukan penggabungan agregat yang menghasilkan kadar aspal rencana dan komposisi agregat.

Rumus kadar rencana aspal :

$$Pb = 0,035 a + 0,045 b + Kc + F \quad (1)$$

Dimana :

Pb = Pendekat campuran kadar aspal

a = Ayakan No.8 persentase tertahan agregat

b = Lolos Ayakan No. 8 tertahan ayakan No. 200

c = Ayakan No. 200 persentase lolos

K = - Lolos ayakan No. 200 sebanyak 11-15% maka 0,15

- ≤ 5% lolos ayakan No. 200 maka 0,20

- Lolos ayakan No. 200 sebanyak 6-10% maka 0,18

F = - 0-2% berpatok ke absorbs agregat bila data tidak tersedia 0,7-1

- 1 untuk LASTON dan AC

- HRS = 2. (Sukirman, 2016)

b) Pengujian *marshall*

Pengujian *marshall* dimaksud untuk melihat kekuatan untuk penurunan (*flow*) terhadap benda uji. Dari nilai stabilitas dan *flow* mendapatkan hasil untuk mengukur parameter *marshall* yaitu stabilitas, kelelahan, kekuatan (MQ), rongga antar agregat (VMA), rongga agregat yang terisi oleh aspal (VFA), rongga dalam campuran (VIM) serta kekakuan atau *density*. (Abidin et al., 2021)

c) Pengujian *indirect Tensile Strength*

Indirect Tensile Strength menciptakan bisa tidaknya struktur *pavement* bakal menopang berat seperti gaya yang berlaku pada horizontal. (B Bulgis, Massara Asma, 2021) ITS dengan memakai sampel berupa tabung bakal merasakan pembebanan tekan dengan dua plat penekan bakal menghasilkan gaya tarik yang tegak lurus sepanjang diameter benda uji sehingga membuat hancurnya benda uji tersebut. Sedangkan modulus elastisitas diartikan sebagai rasio antara *stress* dan *strain*, *stress* adalah besaran reaksi yang bekerja dibagi dengan luas permukaan. Sedangkan *strain* yakni perubahan bentuk akibat tegangan (Badaron et al., 2019). Rumus ITS (*Indirect Tensile Strength*) yang digunakan dalam campuran:

$$\sigma = \frac{2F}{\pi DL} \quad (2)$$

Dimana :

σ = Kuat tarik sampel (kPa) 1KN = 101,97 Kg

F = Gaya maksimum ditahan oleh sampel (KN) 1Kg = $9,8 \times 10^{-3}$ kPa

Serta rumus modulus elastisitas yang digunakan dalam campuran :

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (3)$$

Dimana :

E = Modulus elastisitas (kPa)

σ = Stress (kPa)

ε = Strain



Gambar 1 *Alat indirect tensile strength*

D. Metode Analisis Data

Dalam penentuan kadar aspal dan kadar filler optimum digunakan metode regresi polynomial Equation adalah metode yang digunakan untuk menentukan bentuk hubungan antara variabel, dimana regresi ini bertujuan untuk meramalkan atau menduga nilai satu variabel lain yang diketahui melalui persamaan regresi. (Yunus et al., 2021)

Bentuk dari persamaan regresi polynomial orde 2 adalah sebagai berikut :

$$y = ax^2 \pm bx \pm c \quad (4)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil dan Pemeriksaan Aspal dan Agregat

Hasil penelitian terdiri dari hasil pemeriksaan agregat meliputi pengujian agregat halus dan agregat kasar serta pemeriksaan aspal. Data didapatkan dari pemeriksaan agregat yang telah masuk spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi II. Hasil penelitian akan dipaparkan berupa tabel dan grafik mengenai hubungan kadar aspal terhadap karakteristik campuran dengan bubuk kapur terhadap pengujian *marshall*. (Abidin et al., 2021)

Tabel 1 Hasil Pemeriksaan Aspal, Agregat Halus dan Agregat Kasar

No.	Jenis Pemeriksaan	Agregat Kasar		Agregat Halus	Aspal	Spesifikasi
		1 – 2	0,5–1			
1	Berat Jenis Agregat Bulk	2.61	2.49	2.58		2.4 – 2.9
	SSD	2.59	2.56	2.70		2.4 – 2.9
	Apparent	2.77	2.68	2.51		2.4 – 2.9
	Penyerapan	2.20	2.65	2.89		≤ 3 %
2	Berat Isi			1.520		
	Gembur (gr/cm3)	1.430	1.416	1.682		1,4 – 1,9
	Padat (gr/cm3)	1.452	1.434			1,4 – 1,9
3	Kesetaraan Pasir	-	-	81,41		≥ 60 %
4	Ketahanan Agregat (%)	0,88	2,09	0,73		≤ 12 %
5	Kelekatan Agregat Terhadap Aspal (%)	96	95		96	≥ 95 %
6	Penetrasi				61	60 – 79
7	Berat Jenis Aspal				1.030	1.0 – 1.16
8	Titik Lembek (°C)				52	≥ 48
9	Daktalitas				140	≥ 100
10	Titik Nyala (°C)				270	> 232
11	Titik Bakar (°C)				275	> 232

Sumber : Spesifikasi Umum Binamarga 2018 Devisi 6.

B. Penentuan Kadar Aspal Optimum Pada Campuran HRS-WC Dari Hasil Pengujian Marshall

Sebelum melakukan analisa hasil dari pemeriksaan *marshall test*, kami akan melihat karakteristik campuran aspal yaitu mencakup stabilitas, *flow*, (VIM) rongga dalam campuran, (VMA) rongga antar agregat, (VFA) rongga antar agregat yang terisi oleh aspal, kerapatan dan kekuatan dengan memakai metode pemeriksaan *marshall* didapatkan hasil perhitungan karakteristik *marshall* dengan 6,0%, 6,5%, 7,0%, 7,5%, dan 8,0%. (B Bulgis, Massara Asma, 2021)

Tabel 2 Rekapitulasi Pemeriksaan Karakteristik *Marshall* Campuran HRS-WC Untuk Kadar Aspal Optimum

Sifat – Sifat Campuran Kadar Aspal (%)	Hasil Pemeriksaan					Spesifikasi
	6	6,5	7	7,5	8	
Stabilitas; kg	108,40	1145,86	1176,79	1141,72	1118,08	Min. 600 kg
Flow; mm	3,17	2,80	2,70	2,67	2,77	2 – 4 mm
VIM (%)	6,64	4,86	3,91	3,45	3,24	3 – 5 %
VMA (%)	18,40	17,82	17,52	17,65	17,98	≥ 17%
VFA (%)	64,12	72,82	77,70	80,47	82,01	≥ 68%
Density	2,22	2,25	2,23	2,25	2,24	≥ 2.2 kg/mm ³
MQ; kg/mm	344,68	413,43	439,53	429,94	406,98	Min. 250 kg/mm

Sumber : Spesifikasi Umum Binamarga 2018 Devisi 6.

Dari hasil analisis penjelasan diatas menunjukkan bahwa dengan komposisi campuran HRS-WC dengan aspal pertamina penetrasi 60/70 didapatkan nilai KAO sebesar 7,25%. Kadar aspal optimum pada campuran HRS-WC memenuhi karakteristik *marshall* seperti nilai stabilitas, *flow*, VIM, VMA, VFA, *density* dan MQ. Dimana stabilitas naik dengan seiring bertambahnya kadar aspal hingga batas tertentu dan kembali menurun karena kadar aspal yang berlebih, VIM menurun dengan meningkatnya kadar aspal, MQ meningkat dengan seiring meningkatnya kadar aspal sampai batas tertentu dan kembali menurun.

C. Hasil Pengujian *Marshall* Pada Campuran HRS-WC Subtitusi Serbuk Arang Kayu

Sebelum melakukan analisis dari hasil *Marshall Test*, terlebih dahulu menghitung karakteristik campuran aspal yang terdiri dari nilai Stabilitas, *Flow*, VIM, VMA, VFA, *Density* dan MQ. Dengan menggunakan 3 variasi yaitu variasi 1%, 2%, dan 3%. Dengan masing masing-masing tumbukan 2 x 50 pada setiap variasi. (Anugerah et al., 2023)

Tabel 3 Rekapitulasi Pengujian Karakteristik *Marshall* Campuran HRS-WC Dengan Subtitusi Serbuk Arang Kayu

Sifat – Sifat Campuran Bubuk Kapur (%)	Hasil Pemeriksaan			Spesifikasi
	1	2	3	
Stabilitas; kg	1495,56	1648,84	1516,25	Min. 600 kg
Flow; mm	3,37	3,00	3,30	2 – 4 mm
VIM (%)	4,63	3,83	3,59	3 – 5 %
VMA (%)	18,96	18,27	18,07	≥ 17%
VFA (%)	75,61	79,11	80,38	≥ 68%
Density	2,23	2,25	2,26	≥ 2.2 kg/mm ³
MQ; kg/mm	444,25	562,92	464,62	Min. 250 kg/mm

Sumber : Spesifikasi Umum Binamarga 2018 Devisi 6.

D. Hasil Pengujian *Marshall Test* dengan Variasi Suhu Pemadatan Menggunakan Serbuk Arang Kayu 2%

Sebelum melangkah pada *Marshall*, pertama-tama pastikan kualitas kombinasi aspal yang terdiri dari ketahanan, *flow*, VIM, VMA, VFA, kepadatan dan kekakuan dengan memanfaatkan uji *Marshall*. Dengan menggunakan 4 variasi yaitu 125°C, 136°C, 145°C, dan 155°C. Dengan masing-masing 2 x 50 tumbukan pada setiap variasi.

Tabel 4 Rekapitulasi Pengujian Karakteristik *Marshall* Campuran HRS-WC untuk Variasi Suhu Pemadatan

Sifat – Sifat Campuran Kadar Aspal (%)	Hasil Pemeriksaan				Spesifikasi
	125°C	135°C	145°C	155°C	
Stabilitas; kg	1486,11	1677,21	1749,72	1482,17	Min. 600 kg
Flow; mm	4,60	3,73	3,70	4,53	2 – 4 mm
VIM (%)	4,63	3,77	3,33	3,59	3 – 5 %
VMA (%)	18,96	18,22	17,85	18,07	≥ 17%
VFA (%)	75,61	79,37	81,75	80,38	≥ 68%
Density	2,23	2,26	2,27	2,26	≥ 2.2 kg/mm ³
MQ; kg/mm	328,32	456,20	472,88	328,24	Min. 250 kg/mm

Sumber : Spesifikasi Umum Binamarga 2018 Devisi 6.

Dari hasil analisis penjelasan diatas menunjukkan bahwa dengan komposisi campuran HRS-WC dengan aspal pertamina penetrasi 60/70 didapatkan nilai suhu pemadatan optimum sebesar 140°C.

E. Hasil Analisis *Indirect Tensile Strength* (ITS) Terhadap Subtitusi Arang Kayu dengan Variasi Suhu pemadatan

Kandungan aspal dan filler optimal yang ditentukan pada karakteristik campuran HRS-WC menjadi dasar variasi yang digunakan untuk menguji pengaruh kuat tarik. Hasil uji *marshall* menunjukkan bahwa variasi serbuk arang kayu 2% mempunyai angka stabilitas yang ideal. Pengujian *Indirect Tensile Strength* dengan melibatkan berbagai suhu pemadatan yaitu 125°C, 135°C, 145°C, dan 155°C dengan penambahan serbuk arang kayu 2%. (Panjaitan & Ing, 2019)

Tegangan maksimum sebelum putus merupakan ukuran kuat tarik tidak langsung (ITS) suatu material, yaitu kapasitasnya untuk menahan beban berupa gaya tarik tanpa putus. (Salim et al., 2019)

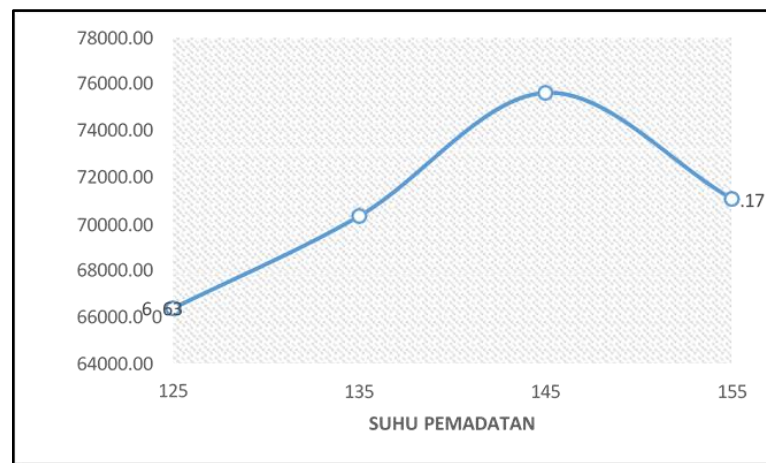
Tabel 5 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Nilai Tegangan dan Regangan dengan Serbuk Arang Kayu 2% terhadap Variasi Suhu Pemadatan

Variasi Suhu Pemadatan	Diameter mm	Serbuk Arang Kayu (2%)				
		ITS kPa	Poisson Ratio	Deformasi Vertikal mm	Deformasi Horisontal mm	Regangan (ε)
			μ			
125°	10.33	66397,72	0,141	1,11	0,16	0,01517
135°	10.33	70351,45	0,292	0,74	0,22	0,02097
145°	10.33	75623,11	0,496	0,69	0,34	0,03324
155°	10.33	71073,17	0,309	0,73	0,23	0,02194
Rata-rata						0,02283

Sumber : Spesifikasi Umum Binamarga 2018 Devisi 6.

Tabel 6 Rekapitulasi Nilai ITS terhadap Variasi Suhu Pemadatan

Substitusi Serbuk Arang Kayu	Variasi Suhu Pemadatan	Nilai Tegangan (Kpa)
2%	125°	66397,72
	135°	70351,45
	145°	75623,11
	155°	71073,17

a) Hubungan ITS terhadap variasi suhu pemadatan**Gambar 2 Grafik hubungan ITS terhadap variasi suhu pemadatan**

Berdasarkan **Gambar 2** menunjukkan bahwa nilai tertinggi kuat tarik variasi suhu pemadatan berada pada suhu 145°C. Setiap penambahan suhu, kuat tarik mengalami peningkatan dari 125°C hingga suhu 145°C. Lalu nilai kuat tarik mengalami penurunan pada suhu 155°C. Kuat tarik akan mengalami peningkatan dengan campuran yang disubstitusi serbuk arang kayu 2% tetapi akan diambil yang pada suhu optimum karena apabila suhu yang kurang atau berlebih, maka campuran menjadi kaku.

Tabel 7 Rekapitulasi Nilai Regangan terhadap Variasi Suhu Pemadatan

Substitusi Serbuk Arang Kayu	Variasi Suhu Pemadatan	Nilai Regangan (ϵ)
2%	125°	0,01517
	135°	0,02097
	145°	0,03324
	155°	0,02194

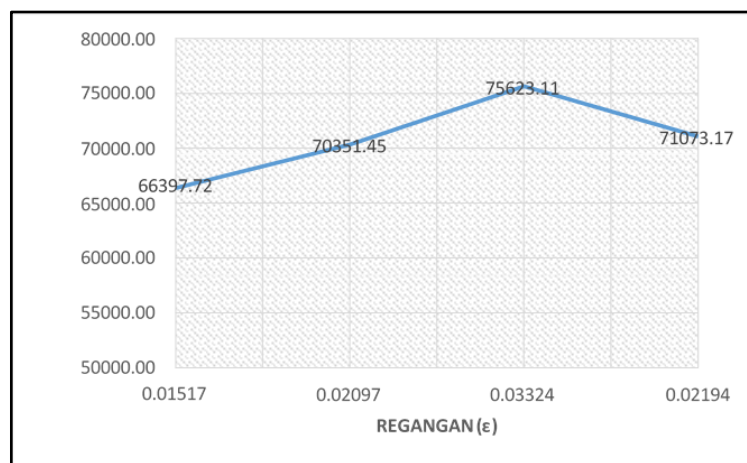
b) Hubungan regangan terhadap variasi suhu pemadatan



Gambar 3 Grafik hubungan regangan terhadap variasi suhu pemadatan

Berdasarkan **Gambar 3** menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu pemadatan, maka nilai regangan akan semakin rendah, namun pada suhu 155°C nilai regangan akan meningkat. Sedangkan jika campuran tersebut terkena suhu yang terlalu tinggi, maka *fleksibilitasnya* akan meningkat.

c) Hubungan tegangan dengan regangan



Gambar 4 Grafik hubungan tegangan dengan regangan

Berdasarkan **Gambar 4** menunjukkan bahwa seiring bertambahnya nilai tegangan maka nilai regangan juga akan semakin bertambah.

4. PENUTUP

A. Kesimpulan

1. Pengaruh variasi suhu pemadatan dengan penambahan filler serbuk arang kayu terhadap karakteristik *marshall* campuran HRS-WC didapatkan filler optimum sebesar 2% dan suhu pemadatan terbaik pada 145°C. Dengan hasil nilai stabilitas

sebesar 1749,72 kg, nilai *flow* sebesar 3,70 mm, nilai VIM sebesar 3,33%, nilai VMA sebesar 17,85%, nilai VFA sebesar 81,75%, nilai *density* sebesar 2,27 kg/mm³, dan nilai *marshall quotient* sebesar 472,88 kg/mm dapat diketahui bahwa karakteristik campuran HRS-WC ini dapat meningkatkan kinerja campuran sehingga dengan karakteristik tersebut maka kita dapat memperlambat terjadinya deformasi ataupun *rutting* dibandingkan tanpa menggunakan serbuk arang kayu.

2. Pengaruh variasi suhu pemadatan dengan penambahan serbuk arang kayu 2% pada campuran terhadap pengujian *Indirect Tensile Strength* (ITS) didapatkan suhu pemadatan terbaik yaitu 145°C yang menghasilkan nilai kuat tarik sebesar 78692,48 KPa dan nilai regangan yang rendah yaitu 0,01517 KPa.

B. Saran

1. Disarankan dikembangkan lebih lanjut untuk menguji pengaruh campuran terhadap variasi perendaman dan variasi tumbukan, agar paham mengenai karakteristik *marshall*.
2. Disarankan untuk penelitian selanjutnya tidak menggunakan suhu pemadatan yang melampaui batas optimum karena bisa menyebabkan campuran lebih mudah rusak.
3. Peneliti selanjutnya diharapkan bisa menggunakan limbah-limbah lain untuk mengetahui perbandingan karakteristiknya.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Alifuddin, A., Armayanti, A., & Nurlaela, B. (2018). Analisis Perilaku Serat Ijuk Pada Campuran Aspal Beton Dengan Menggunakan Scanning Electron Microscope (SEM). *Jurnal Teknik Sipil MACCA*, 1(3), 16–17.
- Abidin, Z., Bunyamin, B., & Kurniasarir, F. D. (2021). Uji Marshall Pada Campuran AC-WC Dengan Substitusi Filler. *Jurnal Serambi Engineering*, 6(1). <https://doi.org/10.32672/jse.v6i1.2653>
- Anugerah, A. D., Fauziah, W., & H, S. M. (2023). *Studi Penggunaan Pasir Putih Masamba sebagai Alternatif Bahan Penyusun Campuran Aspal Beton dan AC-WC*. 5, 34–43.
- B Bulgis, Massara Asma, S. (2021). PENGARUH PENGABUNGAN BATU BULAT DENGAN BATU PECAH TERHADAP MODULUS ELASTISITAS PADA CAMPURAN ASPAL BETON (AC-WC). *STABILITA, Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 9, 97–104.
- Badaron, S. F., Gecong, A., Anies, M. K., Achmad, W. M., & Setiani, E. P. (2019). Studi Perbandingan Kuat Tarik Tidak Langsung terhadap Campuran Aspal Beton dengan menggunakan Limbah Marmer dan Abu Sekam Padi sebagai Filler. *PENA TEKNIK: Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Teknik*, 4(2), 145. https://doi.org/10.51557/pt_jiit.v4i2.593
- Hawinuti, R., Gazalie, R., & Suwaji, S. (2020). Karakteristik Campuran Aspal Karet pada Lataston Lapis Aus (HRS-WC). *Jurnal Gradasi Teknik Sipil*, 4(1), 46–60. <https://doi.org/10.31961/gradasi.v4i1.845>
- Intari, D. E., Fathonah, W., & Kirana, F. W. (2018). ANALISIS KARAKTERISTIK CAMPURAN LATASTON (HRS-WC) AKIBAT RENDAMAN AIR LAUT PASANG (ROB) DENGAN ASPAL MODIFIKASI POLIMER STARBIT E-55. *JURNAL FONDASI*, 7(2). <https://doi.org/10.36055/jft.v7i2.4075>
- Irwanto, T. J. (2019). 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* (AC-WC), Terhadap Karakteristik Marshall. *JURNAL PILAR TEKNOLOGI : Jurnal Ilmiah Ilmu Ilmu Teknik*, 4(1). <https://doi.org/10.33319/piltek.v4i1.19>
- Nahyo, N., Sudarno, S., & Setiadji, B. H. (2019). Durabilitas Campuran Hot Rolled Sheet-Wearing Course (HRS-WC) Akibat Rendaman Menerus dan Berkala Air ROB. *Jurnal Teknik Sipil Unaya*, 1(2), 141–154. <https://doi.org/10.30601/jtsu.v1i2.14>
- Panjaitan, K. D., & Ing, T. L. (2019). Penggunaan Genteng Keramik sebagai Pengganti Agregat Kasar dan Abu Terbang sebagai Pengisi pada Laston AC-BC. *Jurnal Teknik Sipil*, 13(2), 95–113. <https://doi.org/10.28932/jts.v13i2.1439>
- Putra, K. H., & Firdausi, M. (2020). Studi Eksperimental Penambahan Serbuk Arang Kayu Dengan Kadar 10 persen Terhadap Filler Semen Pada Campuran Perkerasan AC – WC. *Rekayasa: Jurnal Teknik Sipil*, 4(2), 7. <https://doi.org/10.53712/rjrs.v4i2.782>
- Rohman, M. F., Hasanuddin, A., & Wicaksono, L. A. (2021). Penggunaan Filler Arang Kayu Pada Aspal Lataston dan Aspal Laston. *JURNAL SIMETRIK*, 10(2), 368–371. <https://doi.org/10.31959/js.v10i2.535>
- Salim, Ismayati, & Nisrawati, D. (2019). Studi Karakteristik Campuran Aspal Beton Akibat Penuaan dengan Pengujian Kuat Tarik Tidak Langsung. *Jurnal Teknik Sipil MACCA*, 4(1), 71–80. <https://doi.org/10.33096/jtسم.v4i1.363>
- Sukirman, S. (Ed.). (2016). *Beton Aspal Campuran Panas* (2003rd ed.).
- Yunus, I., Hafam, S. M., & Alifuddin, A. (2021). Analisis Campuran (AC-WC Asb) Menggunakan Plastik Tipe LDPE Sebagai Bahan Tambah. *Jurnal Teknik Sipil MACCA*, 6(2), 108–117. <https://doi.org/10.33096/jtسم.v6i2.335>