

Pengaruh Penggunaan Serat Polypropylene Terhadap Ketahanan Deformasi pada Lapisan Aspal Concrete Wearing Course (AC-WC)

Farhan Khaliq*, M. Arfinanda Satria, Asma Massara

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muslim Indonesia

* khlfarhan@gmail.com

Diajukan: 15 Juli 2024, Revisi: 19 Juli 2024, Diterima: 31 Juli 2024

Abstract

Road pavement in Indonesia generally experiences damage before it reaches its design life, namely deformation of the Aspal Concrete Wearing Course layer. Deformation occurs due to repeated heavy traffic loads causing changes in the road surface. Efforts that can be made are by using Polypropylene Fiber. The melting point of Polypropylene fiber is 160°C. Meanwhile, the use of polypropylene fiber in the form of waste in mineral water glass plastic, which is used in road layer construction so that it can increase the strength of aspal concrete pavement. The aim of the research is to add Polypropylene fiber in order to increase the marshall characteristic value, and deformation. The research method used is an experimental method for the addition of Polypropylene fiber with a percentage of 0.3%, 0.6%, 0.9%, 1.2% in the Marshall test and deformation test. The research results show that the optimum value is the addition of 0.55% polypropylene fiber with an aspal content of 5.9% with a stability value of 1340.19 kg, flow 2.6 mm, VIM 4.20%, VMA 16.19%, VFA 74, 32%, MQ 510.53 kg/mm and Density 2.33 kg/mm³. Total deformation 3.32 mm. Dynamic Stability 913.04 passes/mm and deformation rate 0.046 mm/minute at 0.9% Variation.

Keywords: Deformation, Characteristics, Polypropylene, Fiber

Abstrak

Lapis Perkerasan jalan di Indonesia umumnya mengalami kerusakan sebelum mencapai umur rencana yaitu deformasi pada lapisan *Aspal Concrete Wearing Course*. Terjadinya deformasi b46yg diakibatkan pengulangan beban lalu lintas berat menyebabkan terjadi perubahan permukaan jalan, Upaya yang dapat dilakukan yaitu dengan menggunakan Serat *Polypropylene*. Titik leleh dari serat *Polypropylene* ialah 160°C Sedangkan pemakaian serat *polypropylene* yang berupa limbah pada plastik gelas air mineral, yang pada konstruksi lapisan jalan sehingga dapat menambah kekuatan pada perkerasan lapis aspal beton, Tujuan penelitian untuk melakukan penambahan serat *Polypropylene* agar dapat meningkatkan nilai karakteristik marshall dan deformasi. Metode penelitian yang digunakan ialah metode eksperimen terhadap penambahan serat *Polypropylene* dengan presentase 0,3%, 0,6%, 0,9%, 1,2% pada pengujian Marshall dan pengujian deformasi. Hasil penelitian nilai optimum terdapat pada penambahan 0,55% serat *polypropylene* dengan kadar Aspal 5,9% dengan nilai stabilitas sebesar 1340,19 kg, Flow 2,6 mm, VIM 4,20%, VMA 16,19%, VFA 74,32%, MQ 510,53 kg/mm dan *Density* 2,33 kg/mm³. Total deformasi 3,32 mm. Stabilitas Dinamis 913,04 lintasan/mm dan laju deformasi 0,046 mm/menit pada Variasi 0,9%.

Kata Kunci: Deformasi, Karakteristik, Polypropylene, Serat

1. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Pada umumnya perkerasan jalan khususnya Indonesia akan mengalami kerusakan sebelum mencapai umur rencana. (Andi Alifuddin, 2018) Adapun kerusakan yang terjadi pada perkerasan lentur yaitu deformasi permanen pada lapisan *Aspal Concrete Wearing Course* (AC-WC) (Ma, n.d.).

Faktor yang mempengaruhi terjadinya deformasi permanen diakibatkan oleh pengulangan beban lalu lintas (*over loading*) dan proses pemadatan campuran dilapangan yang dilakukan dengan temperatur yang tidak tepat (Linggo & Purnamasari, 2007), menyebabkan terjadinya perubahan bentuk jalan dari awalnya. (Bea et al., 2023)

Salah satu upaya yang dapat dilakukan guna meningkatkan karakteristik suatu campuran aspal yaitu menggunakan bahan tambah, (Hidayat et al., n.d.) serat yang diharapkan dapat meningkatkan elastisitas aspal. (Rahmawati et al., n.d.)

Penambahan serat *Polypropylene* dianggap untuk meningkatkan presentase kekuatan aspal meningkat sehingga penambahan bahan serat *Polypropylene* kedalam campuran aspal tersebut tentunya baik untuk meningkatkan sifat fisik dari campuran aspal (Nashir, n.d.), yang pada konstruksi lapisan jalan sehingga dapat menambah kekuatan pada perkerasan lapis aspal beton. (Nasution et al., 2017)

Sehingga perlu dilakukan analisa ketahanan deformasi untuk mengetahui sejauh mana pengaruh serat *Polypropylene* pada campuran AC-WC dalam meningkatkan ketahanan dan stabilitas pada campuran. (Ma, n.d.)

B. Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh serat *polypropylene* pada campuran *Aspal Concrete Wearing Course* (AC-WC) Terhadap karakteristik campuran?
2. Bagaimana pengaruh serat *polypropylene* pada campuran *Aspal Concrete Wearing Course* (AC-WC) terhadap ketahanan deformasi?

C. Tujuan Penelitian

1. Untuk menganalisis pengaruh serat *polypropylene* pada campuran *Aspal Concrete Wearing Course* (AC-WC) terhadap karakteristik campuran
2. Untuk menganalisis pengaruh serat *polypropylene* pada campuran *Aspal Concrete Wearing Course* (AC-WC) terhadap ketahanan deformasi

2. METODE PENELITIAN

A. Jenis Penelitian

Teknik pemeriksaan yang digunakan adalah strategi eksploratif untuk memutuskan dampak penambahan serat polipropilena pada kualitas campuran.

B. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Material Perkerasan Jalan Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muslim Indonesia.

C. Metode Pengujian

a) Perencanaan campuran

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

Rumus kadar aspal rencana :

$$H_i = 0,035 n + 0,045 d + Sv + F \quad (1)$$

Dimana :

- Hi = Pendekatan kadar aspal campuran
- n = Persentase agregat tertahan di ayakan No. 8
- d = Persentase agregat lewat saringan No. 8 tertahan di ayakan No. 200
- v = Persentase lewat ayakan No. 200
- S = - 0,15 untuk 11-15% lewat ayakan No. 200
 - 0,20 untuk $\leq 5\%$ lewat ayakan No. 200
 - 0,18 untuk 6-10% lewat ayakan No. 200
- T = - 0-2% dilihat pada absorbs agregat bila data tidak ditemukan diambil 0,7-1
 - 1 = AC dan LASTON
 - HRS = 2 (Sukirman, 2016)

b) Pengujian Marshall

Tujuan pengujian Marshall adalah untuk memastikan ketahanan campuran aspal terhadap pelelehan plastis. Kita dapat menilai parameter Marshall (Hairuddin et al., n.d.), stabilitas, flow, Marshall Quotient (MQ), Rongga dalam Agregat Mineral (VMA), Rongga Terisi Aspal (VFA), Rongga dalam Campuran (VIM), dan kepadatan dari pengukuran stabilitas dan flow.



Gambar 1 Alat marshall test

c) Pengujian Well Tracking Machine

Weel Tratching Machine merupakan alat Uji deformasi atau perubahan bentuk campuran dari profil aslinya, (Massara et al., 2021a) yang di akibatkan oleh pengulangan beban lalu lintas dengan kapasitas tertentu yang dilengkapi dengan pembebanan berupa roda pelindas yang di berikan pembebanan di atasnya, (Massara dkk., 2021), Parameter yang di hasilkan dari pengujian WTM yakni total deformasi (D0),laju deformasi (RD) dan stabilitas dinamis (DS) campuran, Rumus yang di gunakan dalam campuran:

$$D0 = \text{Rata- Rata Deformasi} \quad (2)$$

$$RD = \frac{(D2 - D1)}{(t1 - t2)} \quad (3)$$

$$Ds = \text{Jumlah Siklus} \times \frac{(t2-t1)}{(D2-D1)} \quad (4)$$

Dimana:

$t1$ = waktu pengujian awal (menit)

$t2$ = waktu pengujian akhir (menit)

$D1$ = Deformasi saat pengujian pada menit 45 (mm)

$D2$ = Deformasi saat pengujian pada menit 60 (mm)

$D0$ = Total Deformasi (mm)

RD = Laju Deformasi (mm/d)

Ds = Stabilitas Dinamis (d/mm)



Gambar 2 Alat Whell Tracking Machine

D. Metode Analisis Data

Dalam penentuan kadar aspal dan kadar serat optimum digunakan metode Regresi Polynomial Equation adalah metode yang digunakan untuk menentukan bentuk hubungan antar variabel, (Ismail Syafar et al., n.d.)dimana rumus penurunan ini bertujuan untuk meramalkan atau menduga nilai satu variabel dalam hubungannya dengan variabel lain yang diketahui melalui persamaan regresi.

Bentuk dari persamaan regresi polynomial orde 2 adalah sebagai berikut :

$$y = ax^2 \pm bx \pm c \quad (5)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil dan Pemeriksaan Agregat dan Aspal

Hasil penelitian terdiri dari hasil Pemeriksaan agregat meliputi pengujian agregat kasar dan agregat halus. Serta pemeriksaan aspal Data yang diperoleh dari pemeriksaan karakteristik agregat telah memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi II. Hasil penelitian akan akan di paparkan berupa tabel dan diagram mengenai hubungan kadar aspal terhadap karakteristik campuran dengan Serat *Polypropylene* terhadap pengujian deformasi

Tabel 1 Hasil Pemeriksaan Agregat Kasar, Agregat Halus dan Aspal

No	Jenis Pemeriksaa	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	2.67	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 Gembur (gr/cm3)	1.430	1.416	1.520		1,4 – 1,9
	Padat (gr/cm3)	1.452	1.434	1.682		1,4 – 1,9
3	Sand Equipalent	-	-	79,74		≥ 60 %
4	Soundness Test (%)	-	-	-		≤ 12 %
5	Kelekatan Agregat Terhadap Aspal (%)	96	95		96	≥ 95 %
6	Penetrasion 25oC;100 gr; 5 detik; 0,1 mm				61	60 – 79
7	Specific gravity				1.030	1.0 – 1.16
8	Soft Point Asphalt (°C)				52	≥ 48
9	Daktalitas, 25 oC; cm				146	≥ 100
10	Flash Point (°C)				270	> 232
11	Burn Point (°C)				275	> 232

Sumber : Spesifikasi Umum Binamarga 2018 Devisi 6.

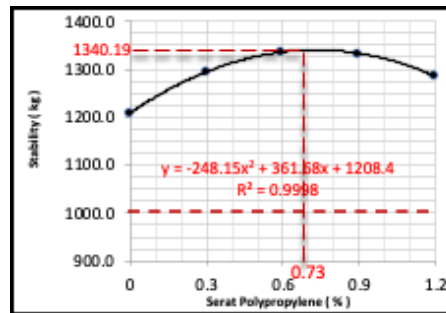
B. Hasil Pengujian Marshall Pada Lapisan AC-WC Dengan Penambahan Serat Polypropylene

Tabel 2 Rekapitulasi Pemeriksaan Karakteristik Marshall Campuran AC -WC Dengan Penambahan Serat Polyprpopylene

Pengujian	Kadar Aspal Optimum (%)	Kadar Serat <i>Polypropylene</i> (%)					Spesifikasi
		0	0,3	0,6	0,9	1,2	
Stabilitas	5,9	1207,92	1295,59	1335,98	1332,04	1285,54	800-1800 kg
Flow	5,9	3,30	2,80	2,60	2,80	3,40	≥ 2-4 mm
MQ	5,9	371,43	463,14	520,43	518,85	405,75	≥ 250 kg/mm
VIM	5,9	4,59	4,12	4,16	3,73	3,25	3-5%
VMA	5,9	15,05	15,64	16,23	16,41	16,54	> 15%
VFA	5,9	69,94	74,44	74,47	77,52	81,10	> 65%
Density	5,9	2,325	2,326	2,327	2,319	2,314	> 2,2 kg/mm ³

Sumber : Spesifikasi Umum Binamarga 2018 Devisi 6.

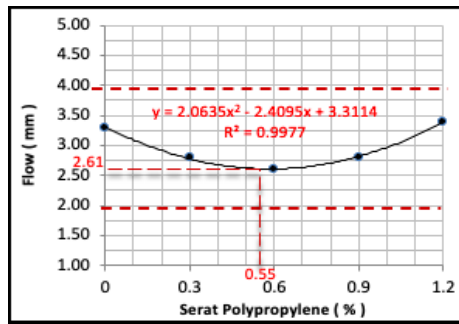
a) Hubungan stabilitas terhadap kadar serat polypropylene



Gambar 3 Grafik hubungan Serat polypropylene terhadap nilai stabilitas

Dari hasil penjabaran **Gambar 3** menunjukkan bahwa dengan penambahan Serat *Polypropylene* dalam campuran mampu meningkatkan nilai stabilitas campuran hingga kadar aspal 0,6% dan stabilitas mengalami penurunan yang diakibatkan ketidak seimbangan kadar aspal dengan presentase Serat. Dari gambar tersebut juga menjelaskan nilai stabilitas terbaik terdapat pada 0,7% dengan kadar aspal 5,9% Dengan nilai 1340,19kg.

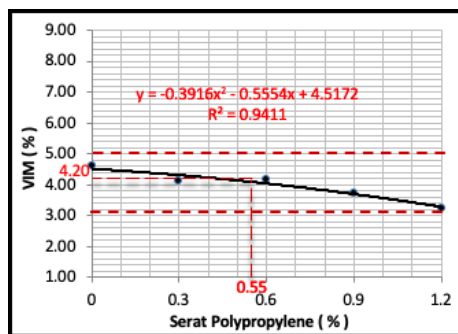
b) Hubungan flow terhadap serat polypropylene



Gambar 4 Grafik hubungan serat polypropylene terhadap nilai flow

Dari hasil penjabarab **Gambar 4** menunjukkan bahwa nilai flow mengalami penurunan seiring pertambahan Serat *Polypropylene* hingga kadar aspal 0,6% dan mengalami kenaikan Kembali hal ini, Nilai flow yang tinggi dibawa 0,6% di akibatkan kurangnya kadar aspal dan tingginya kadar Serat sedangkan peningkatan flow di atas kadar 0,6% di akibatkan kelebihan kadar aspal hal ini menjelaskan bahwa ketidak seimbangan Serat dan aspal yang menyebabkan nilai flow yang tinggi dalam campuran. dan nilai flow terendah terdapat pada kadar Serat 0,5%, aspal 5,9 dengan nilai Flow 2,6mm.

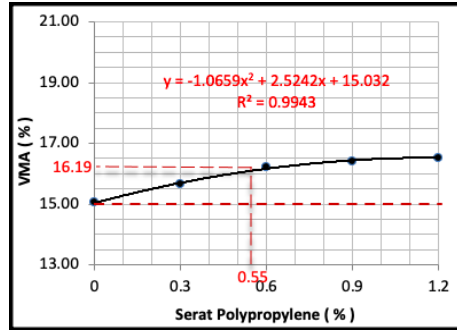
c) Hubungan rongga pada campuran (VIM) terhadap serat polypropylene



Gambar 5 Grafik hubungan serat polypropylene terhadap nilai VIM

Dari hasil penjabaran **Gambar 5** menunjukkan bahwa nilai VIM pada campuran mengalami penurunan seiring penambahana Serat *Polypropylene* dan kadar aspal. Hal ini sebabkan semakin banyak kadar aspal dan semakin tinggi penggunaan Serat dapat memeperkecil rongga udara dalam campuran tetapi rendahnya kadar aspal dan Serat maka rongga dalam campuran yang di hasilkan tinggi. Nilai terbaik vim terdapat pada kadar filler 0,5% aspal 5,9% dengan nilai VIM yakni 4,20.

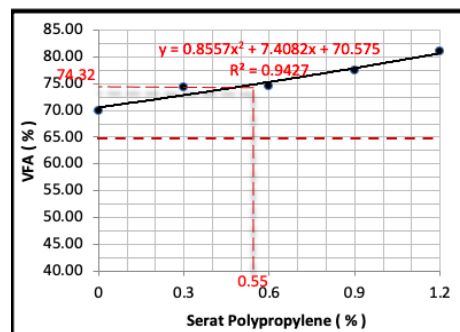
d) Hubungan rongga antar agregat (VMA) terhadap serat polypropylene



Gambar 6 Grafik hubungan serat polypropylene terhadap nilai VMA

Dari hasil penjabaran **Gambar 6** menunjukkan bahwa, seiring penambahan Serat *Polypropylene* menunjukkan penurunan nilai rongga antara agregat tetapi berdasarkan penambahan kadar aspal nilai VMA mengalami peningkatan hal ini menjelaskan bahwa tingginya penggunaan Serat pada campuran menyebabkan kadar rongga antara agregat menjadi kecil tetapi kadar aspal menyebabkan peningkatan terhadap nilai VMA. Dari grafik juga menjelaskan nilai VMA terbaik terdapat pada kadar 0,55%, aspal 5,9%.

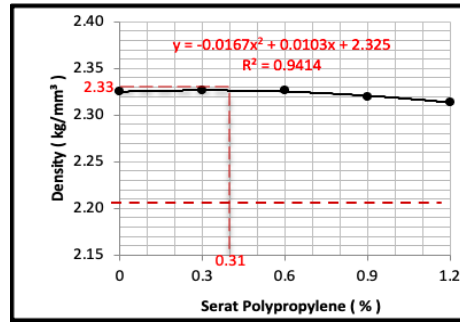
e) Hubungan rongga antar agregat yang terisi oleh aspal (VFA) terhadap serat polypropylene



Gambar 7 Grafik hubungan serat polypropylene terhadap nilai VFA

Dari hasil penjabaran **Gambar 7** menunjukkan bahwa semakin besar penambahan kadar aspal dengan peningkatan penggunaan presentase Serat dalam campuran menghasilkan nilai VFA yang semakin meningkat dari kadar 0% hingga kadar 1,2%. Dimana grafik tersebut menjelaskan semakin tinggi penggunaan Serat dan aspal semakin banyak rongga yang akan di isi oleh aspal semakin besar. Dari grafik juga menunjukkan nilai FVA terbaik terdapat pada kadar Serat 0,55% dengan aspal 5,9%

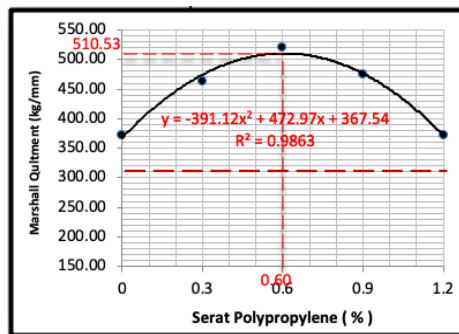
f) Hubungan berat volume (Density) terhadap serat polypropylene



Gambar 8 Grafik hubungan bubuk kapur terhadap berat volume (Density)

Dari hasil penjabaran **Gambar 8** menunjukkan bahwa semakin besar kadar aspal dan semakin tinggi penggunaan Serat dalam campuran menunjukkan bahwa kepadatan campuran yang dihasilkan semakin tinggi, dari grafik menunjukkan peningkatan nilai density dari kadar Serat 0% hingga 0,3% dan mengalami penurunan density yang diakibatkan kadar Serat yang berlebih dalam campuran. Nilai density terbaik terdapat pada kadar Serat 0,31% dan aspal 5,9%.

g) Hubungan kekakuan (Marshall Quotient) terhadap serat polypropylene



Gambar 9 Grafik hubungan serat polypropylene terhadap kekakuan (Marshall Quotient)

Dari hasil penjabaran **Gambar 9** menunjukkan perbandingan antara nilai stabilitas dan kelelahan campuran dimana nilai stabilitas yang tinggi dengan kadar flow yang rendah menunjukkan nilai kekakuan campuran yang tinggi begitupun sebaliknya. Dari grafik menunjukkan seiring meningkatkan kadar aspal dan presentase Serat dalam campuran akan menghasilkan nilai kekakuan yang tinggi hingga titik stabilitas optimum campuran mengalami ke plastisan hal ini disebabkan kadar aspal yang tinggi dalam campuran. Grafik di atas juga menunjukkan nilai MQ terdapat pada presentase Serat 0,6% dengan aspal 5,9% dimana nilai MQ yang di hasilkan sebesar 510,53.

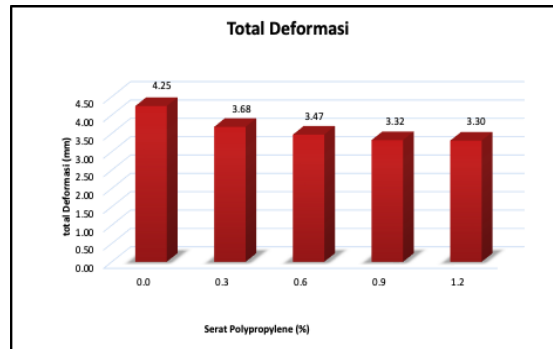
C. Hasil Pengujian Whell Tracking Machine Pada Campuran AC-WC Menggunakan Bahan Tambah Serat Polypropylene.

Tabel 3 Rekapitulasi Pengujian Whell Tracking Machine Campuran AC-WC Menggunakan Bahan Tambah Serat Polypropylene

Menit	Lintasan	Deformasi				
		0,0%	0,3%	0,6%	0,9%	1,2%
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	42	1,08	0,90	0,85	0,53	0,75
5	210	2,15	1,80	1,70	1,95	1,60
10	420	3,23	2,70	2,55	2,19	2,18
15	630	4,30	3,60	3,40	3,60	3,20
30	1260	5,38	4,50	4,25	3,63	4,00
45	1890	6,40	6,74	5,40	5,32	5,40
60	2520	7,20	6,50	6,12	6,01	6,00
Totol deformasi (D0) (mm)		4,25	3,68	3,47	3,32	3,30
Stabilitas Dinamis (DS) (lintasan/mm)		787,50	828,95	875,00	913,04	1050,00
Laju Deformasi (RD) (mm/menit)		0,053	0,053	0,048	0,046	0,040

Sumber : Spesifikasi Umum Binamarga 2018 Devisi 6.

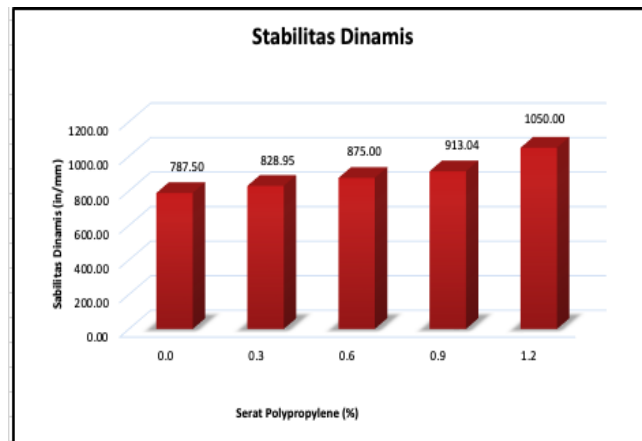
a) Hubungan serat polypropylene terhadap total deformasi



Gambar 10 Grafik hubungan serat polypropylene terhadap Nilai total deformasi menggunakan variasi serat polypropylene

Berdasarkan **Gambar 10** dapat dijelaskan bahwa penambahan Serat menggunakan Serat *Polypropylene* Semakin Menurun Yang artinya senakin banyak penambahan Serat *polypropylene* total deformasi akan menurun yang artinya seiring penambahan serat campuran akan semakin meningkat.

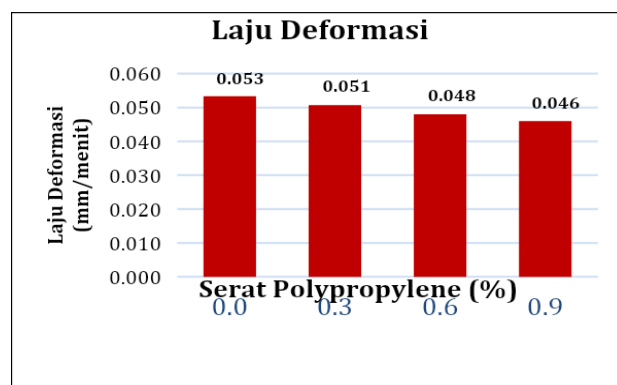
b) Hubungan serat polypropylene terhadap stabilitas dinamis



Gambar 11 Grafik hubungan serat polypropylene terhadap stabilitas dinamis menggunakan variasi serat polypropylene

Berdasarkan **Gambar 11** dijelaskan bahwa pada campuran bahwa dengan penambahan Serat *Polypropylene* mengakibatkan semakin banyak penambahan serat *polypropylene* akan mempengaruhi stabilitas dinamis sehingga stabilitas dinamis akan meningkat seiring penambahan serat *polypropylene*.

c) Hubungan serat polypropylene terhadap laju deformasi



Gambar 12 Grafik hubungan serat polypropylene terhadap laju deformasi menggunakan variasi serat polypropylene

Berdasarkan **Gambar 12** dapat dijelaskan bahwa semakin banyak penambahan serat *polypropylene* laju deformasi akan mengalami penurunan dapat dilihat pada gambar 10 bahwa penambahan serat *polypropylene* mempengaruhi laju deformasi dan berbanding lurus dengan total deformasi

4. PENUTUP

A. Kesimpulan

1. Pengaruh penggunaan Bubuk Kapur terhadap karakteristik marshall campuran HRS-WC dengan penggunaan serat *polypropylene* yang paling optimum pada persentase

0.6% menghasilkan nilai stabilitas 1340,19 kg dan nilai flow sebesar 2,61mm maka dinyatakan Bubuk Kapur 0.6% dapat menghasilkan kinerja campuran yang baik.

2. Dari hasil analisis, pengaruh penggunaan serat *Polypropylene* Optimal pada campuran AC-WC terhadap ketahanan deformasi bahwa penambahan serat *polypropylene* mengakibatkan deformasi yang di hasilkan semakin menurun akibat penambahan serat yang terlalu banyak

B. Saran

1. Disarankan untuk penelitian selanjutnya dapat menggunakan lapisan yang berbeda dan variasi Panjang dan tebal.
2. Penelitian ini dapat dikembangkan lebih lanjut kedepannya dengan dengan menggunakan bahan tambah serat *Polypropylene* pada suatu campuran dengan pengujian lain seperti pengujian ITS, Durabilitas. Dan lain-lain

5. DAFTAR PUSTAKA

- Alifuddin, A., (2018) Pengaruh Penggunaan Serat Ijuk Pada Campuran Beton Aspal Dengan Metode Kepadatan Mutlak Terhadap Peningkatan Tegangan Tarik. Doctor thesis, Universitas Brawijaya.
- Bea, L., Basri, L., & Alifuddin, A. (2023). Kajian Karakteristik dan Deformasi Campuran AC-WC dengan Penggunaan Substitusi Limbah Marmer sebagai Fraksi Agregat Kasar. *Journal of Scientech Research and Development*, 5(2), 606–617.
- Hairuddin, A., Felayati, I. A., Fauziah Badaron, S., Syarkawi, T., & Alifuddin, A. (2019). Pengaruh Panjang Serat Ijuk dan Temperatur Pada Campuran Beton Aspal Terhadap Deformasi Permanen. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik Sipil JILMATEKS*, 1(2), 199-205.
- Hidayat, M., Kadir, M. A., Arifin, W., Alifuddin, A., & Gecong, A. (2019). Studi Penggunaan Abu Ampas Tebu dan Abu Jute Terhadap Nilai Indirect Tensile Strength dan Modulus Resilien pada Campuran Beton Aspal. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik Sipil JILMATEKS*, 1(4), 480-491.
- Ismail Syafar, M., Maryam, S. H., & Alifuddin, A. (2022). Analisa Kinerja Campuran Split Mastic Asphalt (SMA) dan Bahan Tambah Serat Selulosa terhadap Nilai Modulus. *Jurnal Konstruksi : Teknik, Infrastruktur dan Sains*, 1(9), 32-42
- Linggo, J. S., & Purnamasari, P. E. (2007). Pengaruh Serat Serabut Kelapa sebagai Bahan Tambah dengan Filler Serbuk Bentonit pada HRS-Base dan HRS-WC. *Jurnal Teknik Sipil*, 7(3), 236-251.
- Ma'arif, F. dan Pramudiyanto (2014), Uji Kinerja Marshall Agregat Bantak Merapi dengan Menggunakan Serat Polypropylene. *INERSIA Informasi dan Ekspose Hasil Riset Teknik Sipil dan Arsitektur*, 10(1). <https://doi.org/10.21831/inersia.v10i1.4424>.
- Massara, A., Arifin, W., Alifuddin, A., Ramadhan, M. F., & Taufiq, M. (2021b). Analisa Deformasi pada Campuran Aspal Beton Menggunakan Derbo dan Wetfix. *PENA TEKNIK: Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Teknik*, 6(2), 61-67.

- Nashir, M. (2013). *Seminar Nasional III Teknik Sipil 2013 Universitas Muhammadiyah Surakarta Studi Eksperimental Campuran Aspal Berpori Menggunakan Aspal Polimer Modifikasi (Polymer Modified Binder) dengan Stabilisasi Serat Polypropylene*.
- Nasution, A. B., Hamsi, A., Pintoro, A., & Husein Siregar, A. (2017). Studi Pengaruh Campuran 4 %, 4,5 %, dan 5 % Polypropylene pada Aspal Penetrasi 60/70 Terhadap Kekuatan Tekan (Compressive Strenght) dan Uji Penyerapan Air. *Jurnal Dinamis*, 5(4), 216–7492.
- Rahmawati, A., Lingkar, J., & Alamat, Y. I. (2017). *Comparison Of Utilization Polypropilene (PP) And High Density Polyethylene (HDPE) On Laston_WC Mixture*. <http://ejournal.umm.ac.id/index.php/jmts/article/view/4414>
- Sukirman, S. (Ed.). (2016). *Beton Aspal Campuran Panas* (2003rd ed.).