



Dampak Substitusi Limbah Plastik LDPE (Low Density Polyethylene) Terhadap Aspal Pada Campuran AC-WC

Aditya L. Nio^{#a}, Steve Ch. N. Palenewen^{#b}, Lucia G. J. Lalamentik^{#c}

[#]Program Studi Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia
^aadityalebangnio31@gmail.com, ^bspalenewen@unsrat.ac.id, ^clucia.lalamentik@unsrat.ac.id

Abstrak

Tumpukan limbah plastik yang tidak terpakai dapat menimbulkan masalah lingkungan, karena sebagian besar tidak bisa didaur ulang. Oleh sebab itu, dalam penelitian ini digunakan limbah plastik jenis LDPE (*Low Density Polyethylene*) yang banyak dipakai oleh masyarakat, sebagai bahan substitusi sebagian aspal. Lapisan aspal yang digunakan merupakan Laston Lapis Aus AC-WC, yang menggunakan material dari kakaskasen dan menggunakan aspla pertemina penetrasi 60/70. Digunakan variasi kadar limbah plastik yaitu 2%, 4%, 6%, dan 8% dari total berat aspal rencana. Kemudian digunakan 2 cara untuk melakukan perbandingan yaitu analisa saringan dan fuller, serta pencampuran yang dilakukan adalah cara basah (*Wet Process*) sebagai metode pencampuran limbah plastik terhadap aspal. Hasil dari pengujian karakteristik *marshall* setelah disubstitusi limbah plastik dengan cara Analisa Saringan didapatkan nilai tertinggi dan masuk dalam spesifikasi yaitu, Stabilitas pada kadar 4% 1546,00 Kg, Flow pada kadar 8% 3,58 mm, VMA pada kadar 8% 17,731%, VIM pada kadar 4% 4,941%, VFB pada kadar 4% 69,878%, Kepadatan pada kadar 4% 2,134 gr/cc, MQ 444,68. Sedangkan pada cara Fuller didapatkan nilai Stabilitas pada kadar 8% 1838,98 Kg, Flow pada kadar 2% 3,70 mm, VMA pada kadar 14,167% namun tidak masuk dalam spesifikasi, VIM pada kadar 2% 4,768%, VFB pada kadar 68,539%, Kepadatan 8% 2,126 gr/cc, MQ 547,15. Pada 2 cara ini, dapat disimpulkan bahwa substitusi limbah plastik LDPE ini mempengaruhi setiap nilai parameter yang ada. Terlihat pada Stabilitas, Flow, Marshall Quotient yang mengalami peningkatan dan penurunan yang tidak stabil, begitu pula dengan VMA, VIM dan VFB. Cara analisa saringan pada penelitian ini lebih memiliki nilai karakteristik *marshall* yang baik dibandingkan dengan cara fuller, dan diidentifikasi campuran yang baik pada kadar plastik 4% - 4,4.

Kata kunci: *Low Density Polyethylene (LDPE), cara basah (Wet Process), AC-WC*

1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Lingkungan pada saat ini seringkali mendapat perhatian baik secara nasional maupun global. Lingkungan dari tahun ke tahun mulai terancam yang diakibatkan oleh aktivitas manusia, salah satunya yang sulit dihadapi adalah masalah limbah plastik. produk plastik menjadi barang yang tidak bisa dihilangkan dari kehidupan sehari-hari, indonesia kini menjadi negara ke-5 di dunia dalam penghasil sampah plastik. kurangnya hasil minyak bumi pada saat ini juga menjadi salah satu faktor, kenapa harus mencari cara alternatif untuk kurangnya penggunaan aspal pada campuran perkerasan jalan.

Adapun jenis limbah plastik yang digunakan yaitu jenis plastik LDPE (*Low Density Polyethylene*), jenis plastik ini masuk dalam jenis kantong kresek yang hampir setiap hari digunakan dan dibuang. Pencampuran dilakukan dengan aspal pen 60/70 untuk perkerasan struktur AC-WC (*Asphalt Concrete-Wearing Course*).

Dalam upaya untuk menentukan kualitas campuran aspal, digunakan dua pendekatan umum dalam menentukan gradasi agregat, yaitu dengan mengikuti cara analisa saringan dan cara

fuller. Kedua cara tersebut digunakan untuk membandingkan distribusi agregat aktual dengan distribusi teoritis, sehingga dapat diperoleh gradasi campuran yang optimal dalam mendukung kinerja lapisan AC-WC.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan penelitian sebelumnya yang memerlukan penelitian untuk menggunakan agregat dan jenis plastik yang berbeda, maka ditetapkan rumusan masalah yaitu, bagaimana pengaruh substitusi limbah plastik LDPE (*Low Density Polyethylene*) terhadap karakteristik mekanik dan kinerja campuran AC-WC dengan penetrasi aspal 60/70?

1.3. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang ada penelitian ini bertujuan sebagai berikut :

1. Menganalisis pengaruh dan manfaat substitusi limbah plastik LDPE, dengan cara analisa saringan dan fuller terhadap karakteristik fisik campuran aspal pen 60/70 untuk perkerasan AC-WC.
2. Mengidentifikasi batas optimal penambahan limbah plastik LDPE terhadap karakteristik fisik campuran aspal pen 60/70 untuk perkerasan AC-WC.

1.4. Manfaat Penelitian

Dengan adanya kajian ini, diharapkan mampu memberikan manfaat bagi dunia konstruksi, khususnya konstruksi jalan raya, karena alternatifnya suatu bahan aditif yang murah, mudah didapatkan dan ramah lingkungan. Adanya penambahan ini juga dapat mengurangi peningkatan jumlah limbah plastik yang ada di Indonesia, dan dapat mengurangi penggunaan dari minyak bumi. Serta dapat menambah wawasan mengenai limbah plastik LDPE sebagai bahan substitusi untuk perkerasan AC-WC.

1.5. Batasan Masalah

Agar penelitian ini dapat dilakukan secara maksimal maka ruang lingkup pembahasan perlu dibatasi. Adapun dimana detail pembahasannya sebagai berikut :

1. Perencanaan campuran menggunakan campuran perkerasan untuk lapis AC-WC
2. Penelitian dilakukan di laboratorium perkerasan jalan fakultas teknik universitas sam ratulangi manado
3. Aspal yang digunakan adalah aspal Pertamina penetrasi 60/70
4. Penelitian ini menggunakan material atau agregat yang berasal dari kakaskasen
5. Jenis limbah plastik yang digunakan adalah jenis plastik LDPE (*Low Density Polyethylene*)
6. Variasi yang digunakan untuk mensubstitusikan kadar limbah plastik adalah 2%, 4%, 6%, dan 8% menggunakan metode substitusi parsial
7. Digunakan 2 cara analisis yaitu analisa saringan dan fuller
8. Metode pengujian yang digunakan adalah Marshall test
9. Menggunakan acuan spesifikasi Bina Marga 2018 (revisi 2).

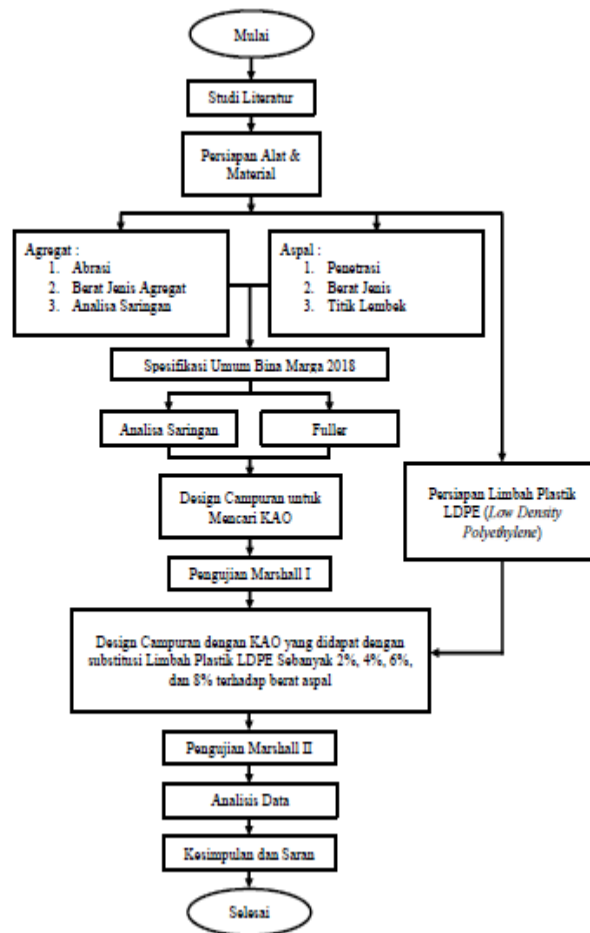
2. Metode Penelitian

Penelitian ini mengikuti tahapan pada diagram alir dibawah ini yang ditunjukkan pada Gambar 1.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Aspal

Aspal yang digunakan dalam penelitian ini, adalah aspal Pertamina dengan penetrasi 60/70 yang telah tersedia di laboratorium perkerasan jalan fakultas teknik universitas Sam Ratulangi Manado. Hasil pemeriksaan karakteristik aspal sesuai dengan metode pengujian yang dipakai dan sesuai spesifikasi yang ada tersaji dalam Tabel 1.



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

Tabel 1. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Aspal

Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Hasil	Spesifikasi	Satuan
Penetrasi pada 25°C	SNI 2456:2011	67,28	60-70	0,1mm
Titik Lembek	SNI 2434:2011	48,5	46-54	°C
Berat Jenis	SNI 2441:2011	1,0453	≥1,0	-

3.2. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Agregat

Agregat yang digunakan dalam penelitian ini berupa agregat kasar, agregat sedang dan agregat halus, yang diambil dari desa kakaskasen. Hasil pemeriksaan karakteristik agregat sesuai dengan metode pengujian yang dipakai dan sesuai spesifikasi yang ada tersaji dalam Tabel 2.

3.3. Hasil Pemeriksaan Analisa Saringan

Hasil analisa saringan ditampilkan pada Tabel 3.

3.4. Hasil Kombinasi Gradasi Agregat

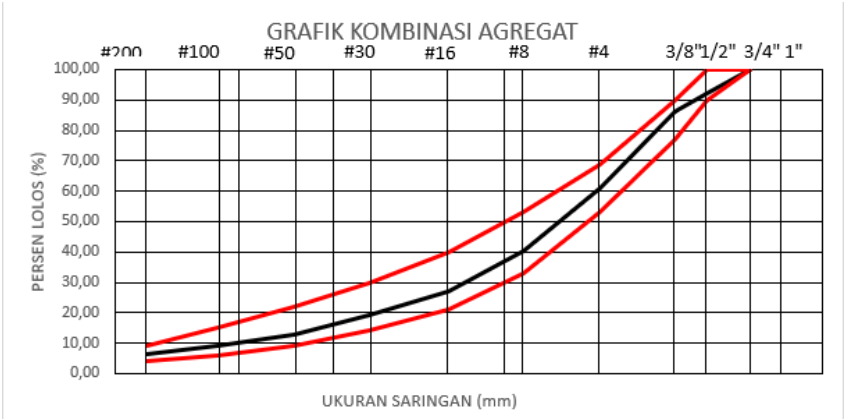
Hasil kombinasi gradasi agregat dengan cara analisa saringan dan fuller ditunjukkan pada Gambar 2 dan Gambar 3.

Tabel 2. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Agregat

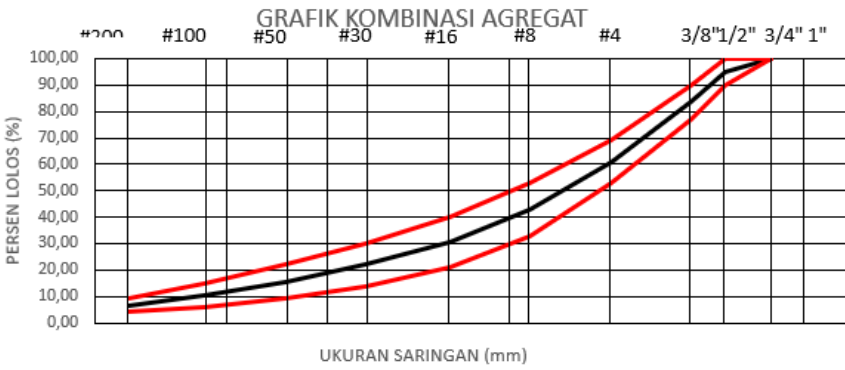
Jenis Pengujian	Metode Penelitian	Hasil	Spesifikasi	Satuan
1. Pemeriksaan keausan (Abrasi)	SNI 03 – 2417 – 2008	35,45	≤ 40	%
2. Agregat Kasar				
Berat Jenis Bulk	SNI 03-1969-2016	2,17	≥ 2,5	gr/cc
Berat Jenis SSD	SNI 03-1969-2016	2,27	≥ 2,5	gr/cc
Berat Jenis Semu	SNI 03-1969-2016	2,41	≥ 2,5	gr/cc
Penyerapan Air	SNI 03-1969-2016	4,52	≤ 3,0	%
3. Agregat Sedang				
Berat Jenis Bulk	SNI 03-1969-2016	2,20	≥ 2,5	gr/cc
Berat Jenis SSD	SNI 03-1969-2016	2,35	≥ 2,5	gr/cc
Berat Jenis Semu	SNI 03-1969-2016	2,59	≥ 2,5	gr/cc
Penyerapan Air	SNI 03-1969-2016	6,71	≤ 3,0	%
4. Agregat Halus				
Berat Jenis Bulk	SNI 03-1970-2016	2,59	≥ 2,5	gr/cc
Berat Jenis SSD	SNI 03-1970-2016	2,62	≥ 2,5	gr/cc
Berat Jenis Semu	SNI 03-1970-2016	2,67	≥ 2,5	gr/cc
Penyerapan Air	SNI 03-1970-2016	1,13	≤ 3,0	%

Tabel 3. Hasil Pemeriksaan Analisia Saringan Agregat

Nomor Saringan	Ukuran (mm)	% Lolos Saringan		
		Agregat Kasar	Agregat Sedang	Agregat Halus
1"	25,40	100,00	100,00	100,00
¾"	19,10	100,00	100,00	100,00
½"	12,70	48,80	100,00	100,00
3/8"	9,52	20,02	95,31	100,00
#4	4,75	7,61	48,86	89,86
#8	2,36	7,03	27,12	62,69
#16	1,18	6,91	16,90	42,32
#30	0,60	6,72	13,65	28,82
#50	0,30	6,56	11,00	16,96
#100	0,15	6,43	9,14	9,88
#200	0,075	6,31	8,76	4,03
Pan		6,16	8,47	3,70



Gambar 2. Grafik Kombinasi Agregat cara Analisa Saringan



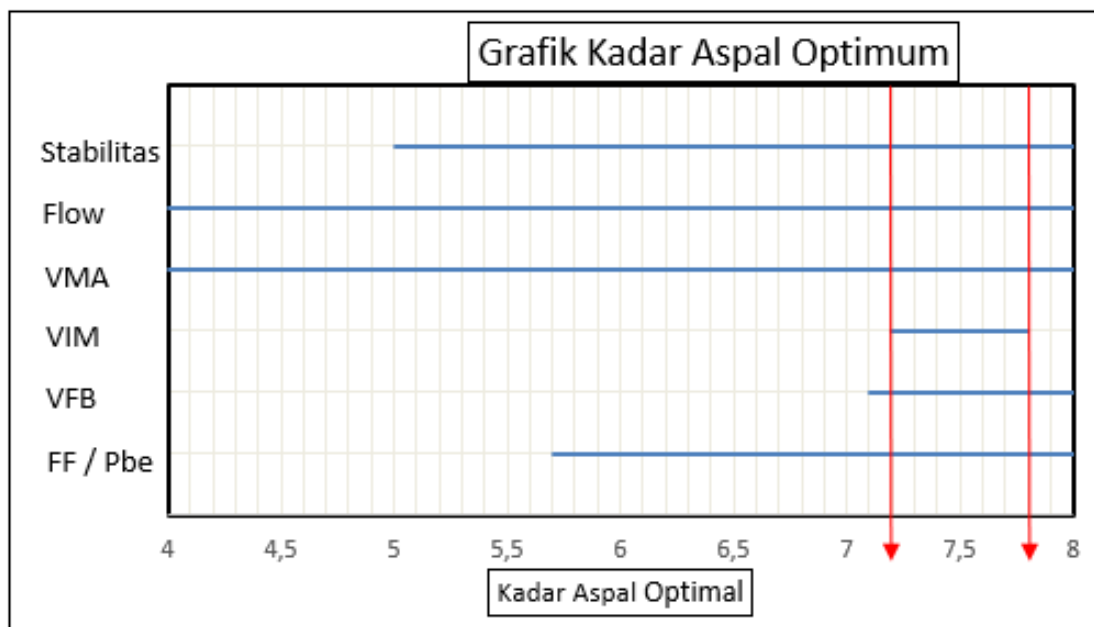
Gambar 3. Grafik Kombinasi Agregat cara Fuller

3.5. Hasil Pengujian Marshall Untuk Penentuan Kadar Aspal Optimum

Hasil pengujian Marshall untuk penentuan kadar aspal optimum dengan cara Analisa Saringan dan Fuller

Tabel 4. Hasil Pengujian Marshall Untuk Penentuan Kadar Aspal Optimum cara Analisa Saringan

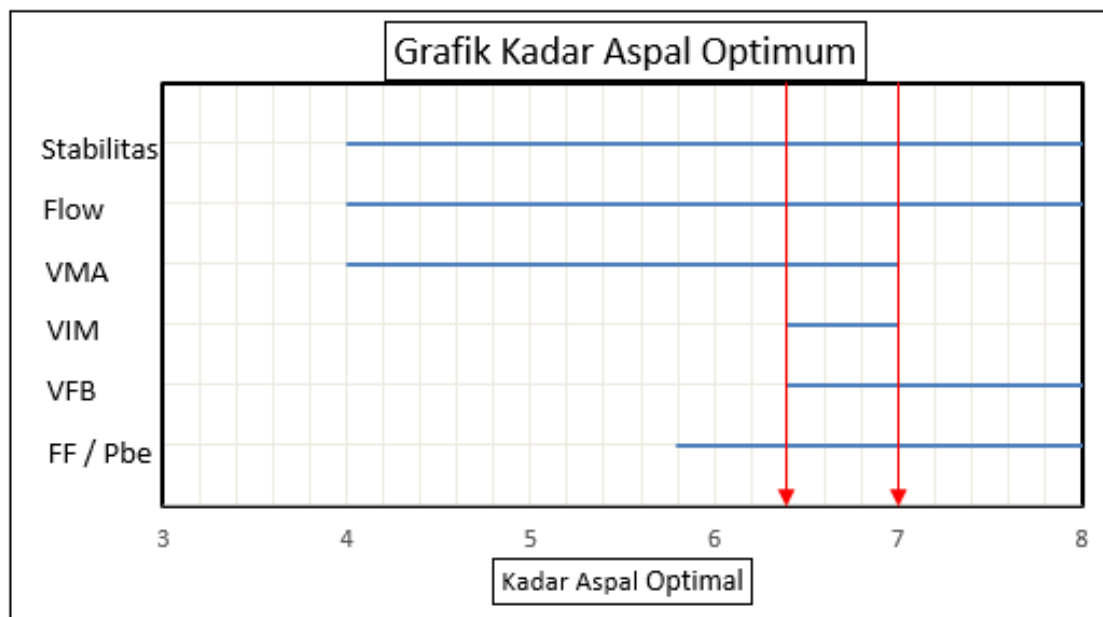
Karakteristik Marshall	Spesifikasi	Kadar Aspal (%)				
		4%	5%	6%	7%	8%
Stabilitas (kg)	Min 800	636,51	808,93	887,66	1052,10	1085,98
Flow (mm)	2,0 – 4,0	2,81	3,16	3,08	3,40	3,44
VMA(%)	Min .15	17,585	17,276	16,927	16,325	14,873
VIM(%)	3,0 – 5,0	13,718	11,319	8,818	5,967	2,059
VFB(%)	Min. 65	22,006	34,527	47,955	63,460	86,257
Kadar Aspal Efektif (%)	0,6 – 1,6	3,052	1,989	1,467	1,157	0,952
Kepadatan	-	2,028	2,057	2,087	2,125	2,185



Gambar 4. Grafik Kadar Aspal Optimum cara Analisa Saringan

Tabel 5. Hasil Pengujian Marshall Untuk Penentuan Kadar Aspal Optimum cara Fuller

Karakteristik Marshall	Spesifikasi	Kadar Aspal (%)				
		4%	5%	6%	7%	8%
Stabilitas (kg)	Min 800	978,23	1159,30	1022,00	1265,25	1355,84
Flow (mm)	2,0 – 4,0	3,45	3,28	3,34	3,38	3,91
VMA(%)	Min .15	15,399	15,357	15,175	15,133	13,476
VIM(%)	3,0 – 5,0	11,816	9,705	7,395	5,187	1,083
VFB(%)	Min. 65	23,325	36,803	51,299	65,821	91,978
Kadar Aspal Efektif (%)	0,6 – 1,6	3,294	2,089	1,521	1,190	0,974
Kepadatan	-	2,027	2,049	2,076	2,099	2,163



Gambar 5. Grafik Kadar Aspal Optimum cara Fuller

3.6. Hasil Pengujian Marshall Dengan Subtitusi Limbah Plastik LDPE

Hasil pengujian Marshall dengan substitusi limbah plastik LDPE ditunjukkan pada Tabel 6 dan Tabel 7.

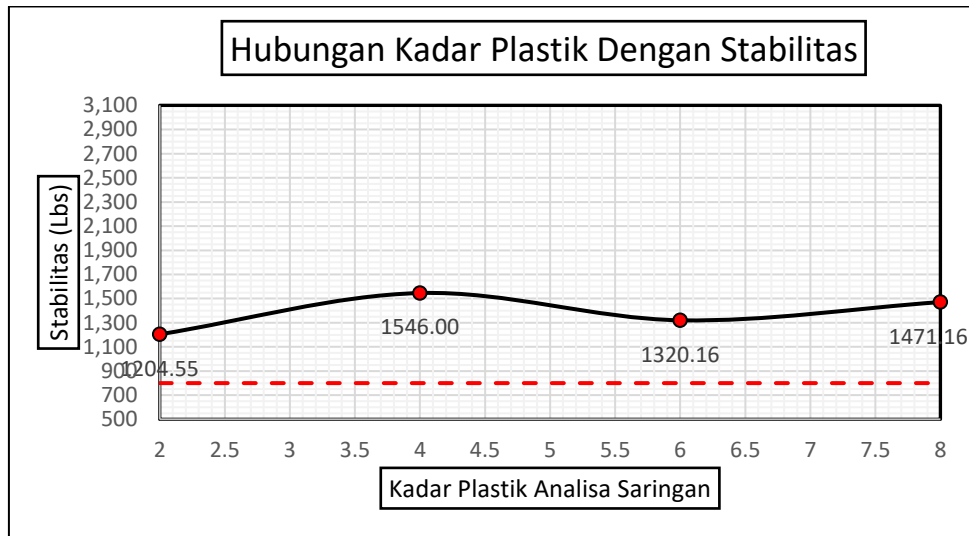
Tabel 6. Hasil Pengujian Marshall Dengan Subtitusi limbah plastik LDPE dengan cara Analisa Saringan

Karakteristik Marshall	Spesifikasi	Kadar Aspal (%)			
		2%	4%	6%	8%
Stabilitas (kg)	Min 800	1204,55	1546,00	1320,16	1471,16
Flow (mm)	2,0 – 4,0	3,46	3,47	3,55	3,58
VMA(%)	Min .15	17,142	16,401	17,600	17,731
VIM(%)	3,0 – 5,0	5,784	4,941	6,304	6,453
VFB(%)	Min. 65	66,260	69,878	64,183	63,605
MQ (%)	Min. 200				
Kadar Aspal Efektif (%)	0,6 – 1,6	5,544	5,544	5,544	5,544
Kepadatan	-	2,116	2,134	2,104	2,101

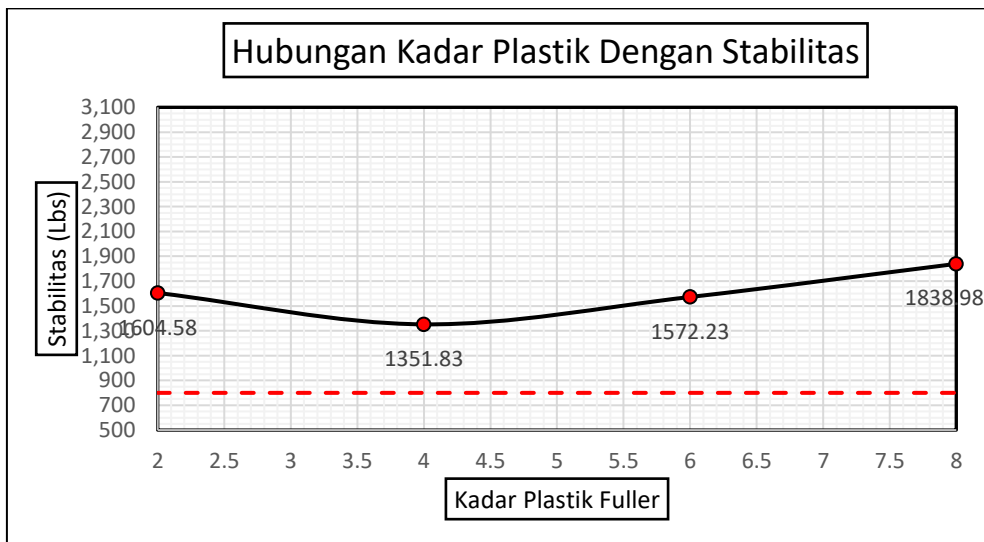
Tabel 7. Hasil Pengujian Marshall Dengan Subtitusi limbah plastik LDPE dengan cara Fuller

Karakteristik Marshall	Spesifikasi	Kadar Aspal (%)			
		2%	4%	6%	8%
Stabilitas (kg)	Min 800	1604,58	1351,83	1572,23	1838,98
Flow (mm)	2,0 – 4,0	3,70	3,56	3,60	3,36
VMA(%)	Min .15	14,167	14,142	14,066	13,776
VIM(%)	3,0 – 5,0	4,768	4,740	4,657	4,335
VFB(%)	Min. 65	66,343	66,484	66,897	68,539
MQ (%)	Min. 200				
Kadar Aspal Efektif (%)	0,6 – 1,6	4,586	4,586	4,586	4,586
Kepadatan	-	2,116	2,117	2,117	2,126

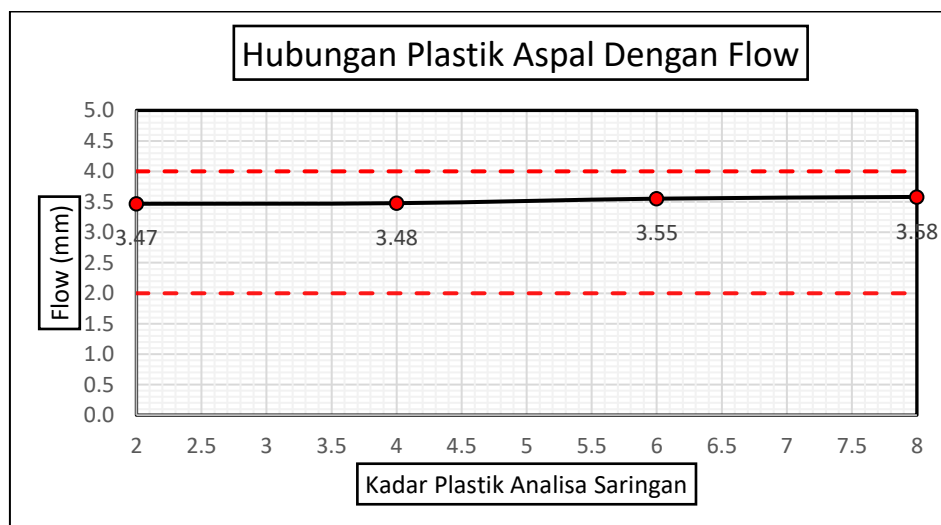
3.7. Perbedaan Pengaruh Substitusi limbah plastik LDPE dengan cara analisa saringan dan cara Fuller Campuran AC-WC



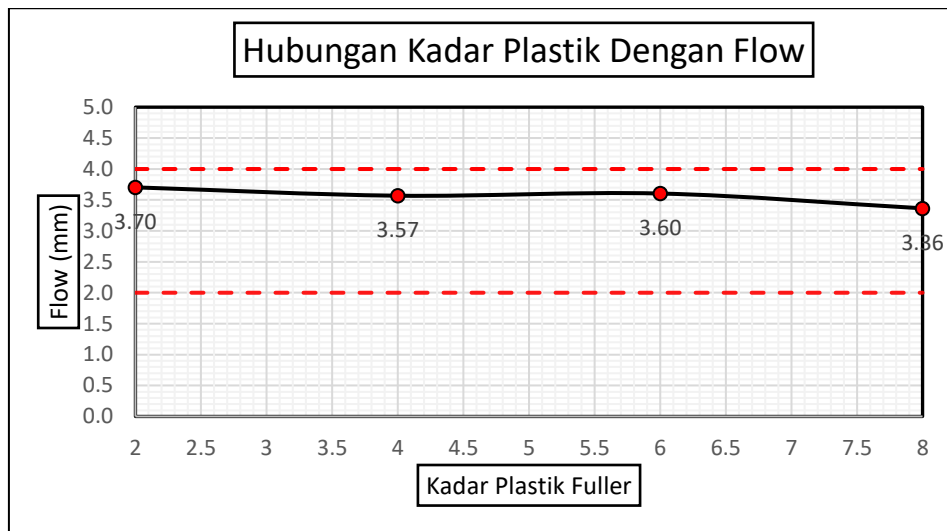
Gambar 6. Grafik Hubungan Kadar Plastik Dengan Stabilitas cara Analisa Saringan



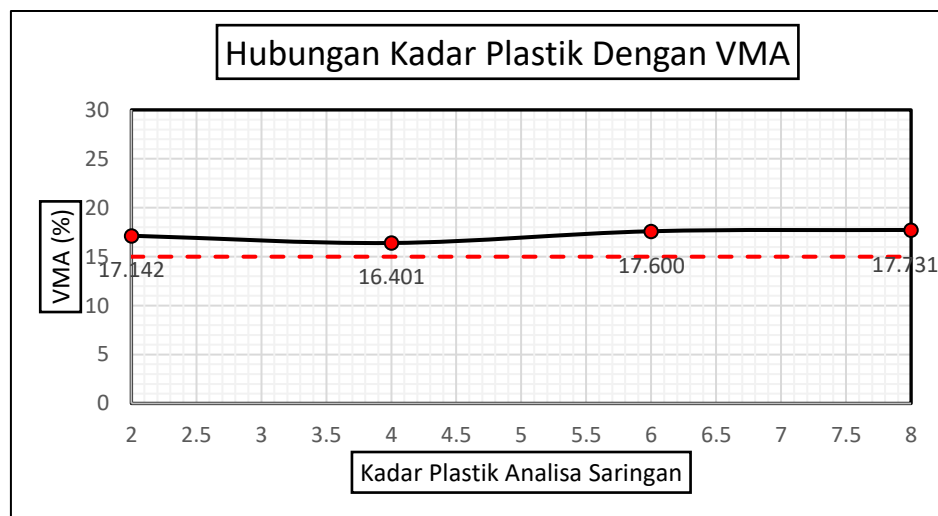
Gambar 7. Grafik Hubungan Kadar Plastik Dengan Stabilitas cara Fuller



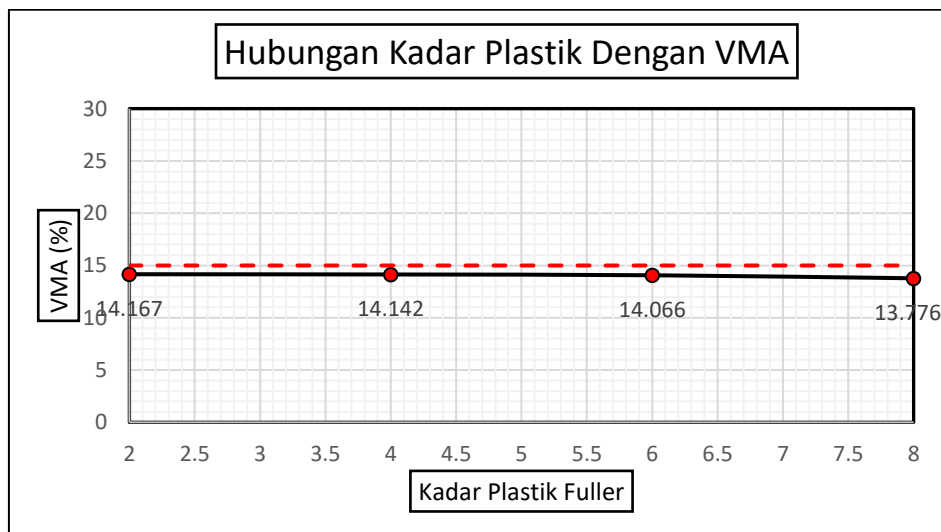
Gambar 8. Grafik Hubungan Kadar Plastik Dengan Flow cara Analisa Saringan



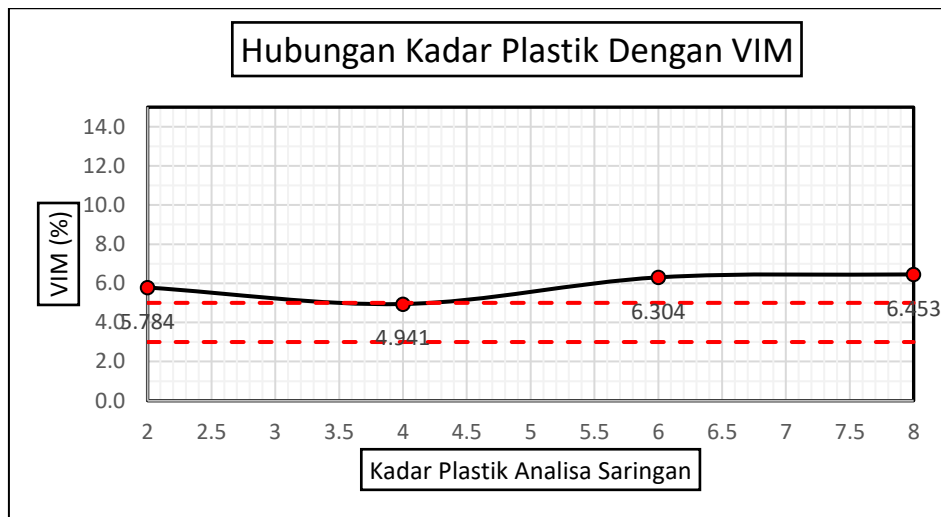
Gambar 9. Grafik Hubungan Kadar Plastik Dengan Flow cara Fuller



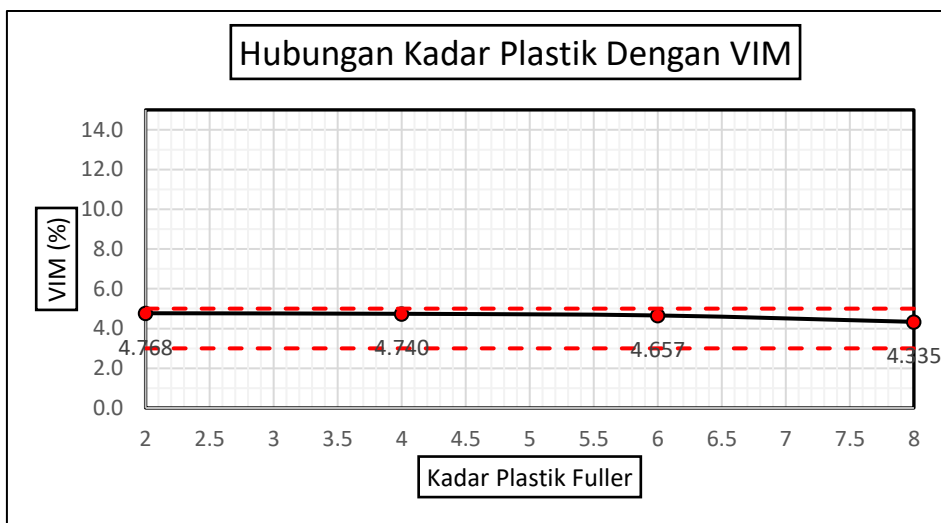
Gambar 10. Grafik Hubungan Kadar Plastik Dengan VMA cara Analisa Saringan



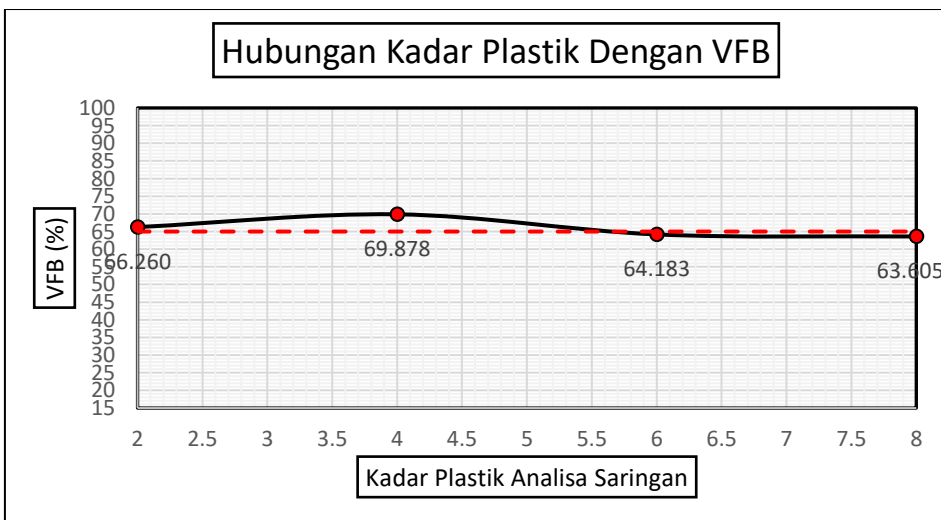
Gambar 11. Grafik Hubungan Kadar Plastik Dengan VMA cara Fuller



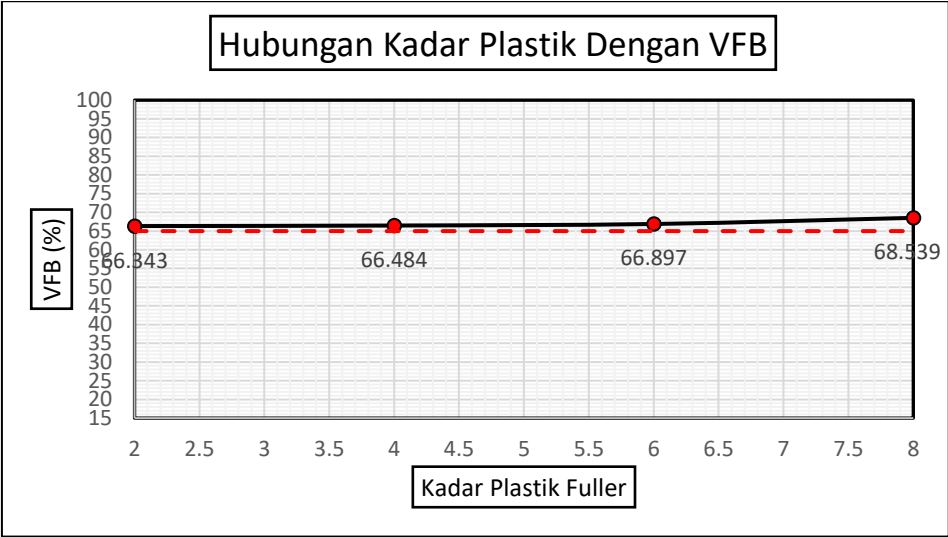
Gambar 12. Grafik Hubungan Kadar Plastik Dengan VIM cara Analisa Saringan



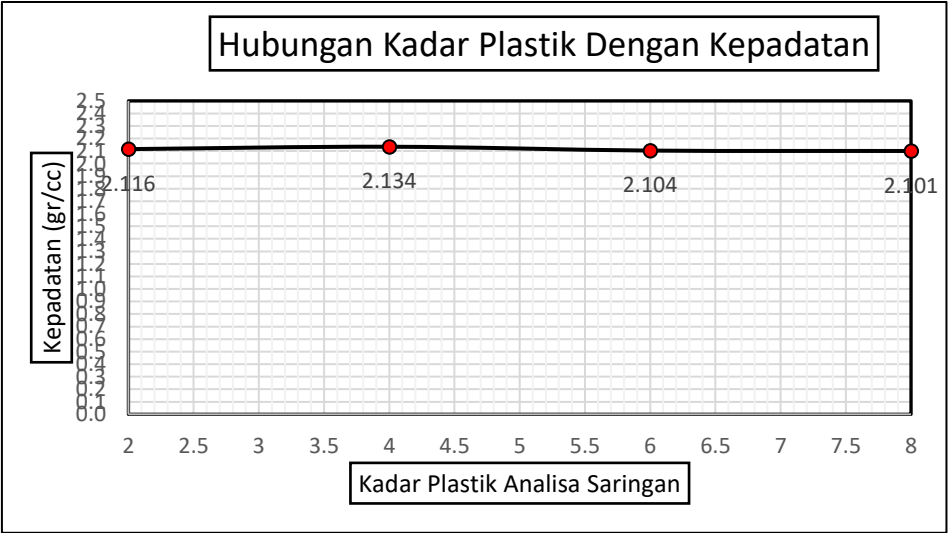
Gambar 13. Grafik Hubungan Kadar Plastik Dengan VIM cara Fuller



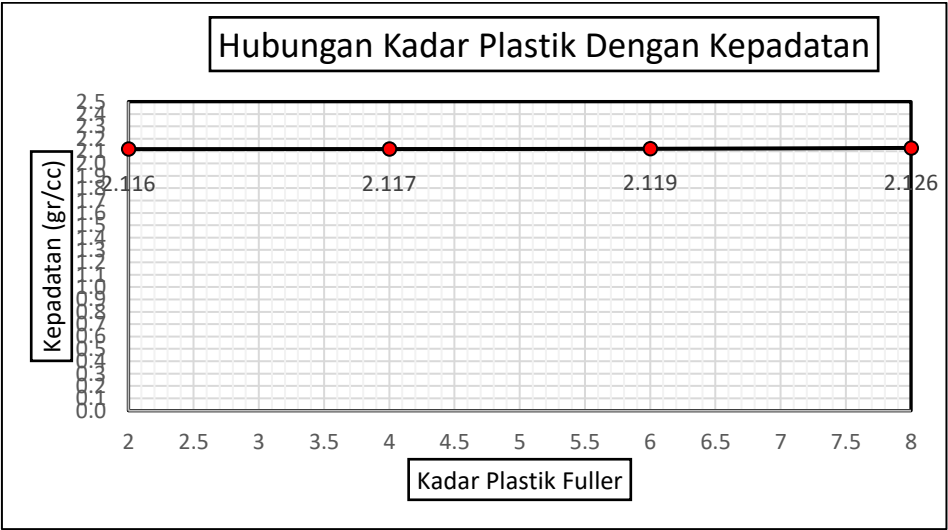
Gambar 14. Grafik Hubungan Kadar Plastik Dengan VFB cara Analisa Saringan



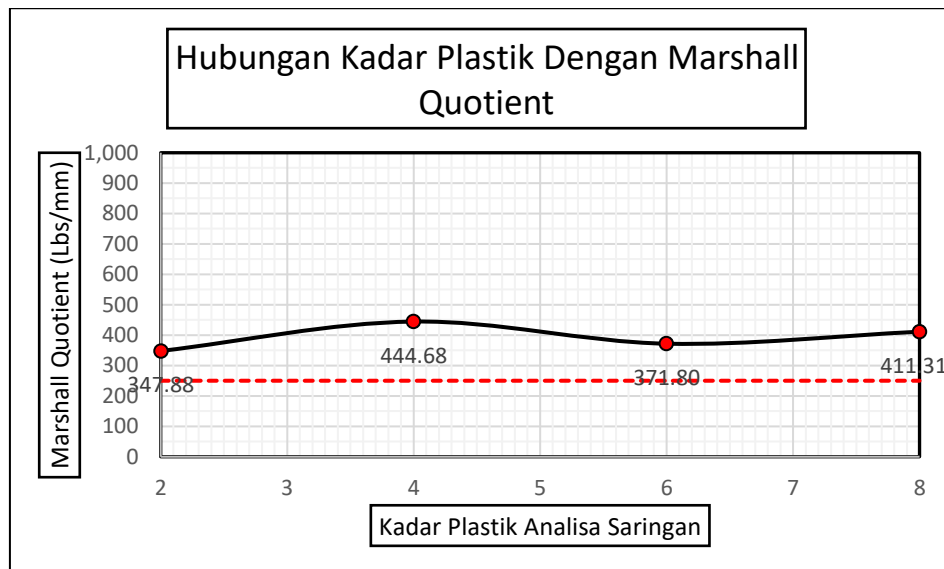
Gambar 15. Grafik Hubungan Kadar Plastik Dengan VFB cara Fuller



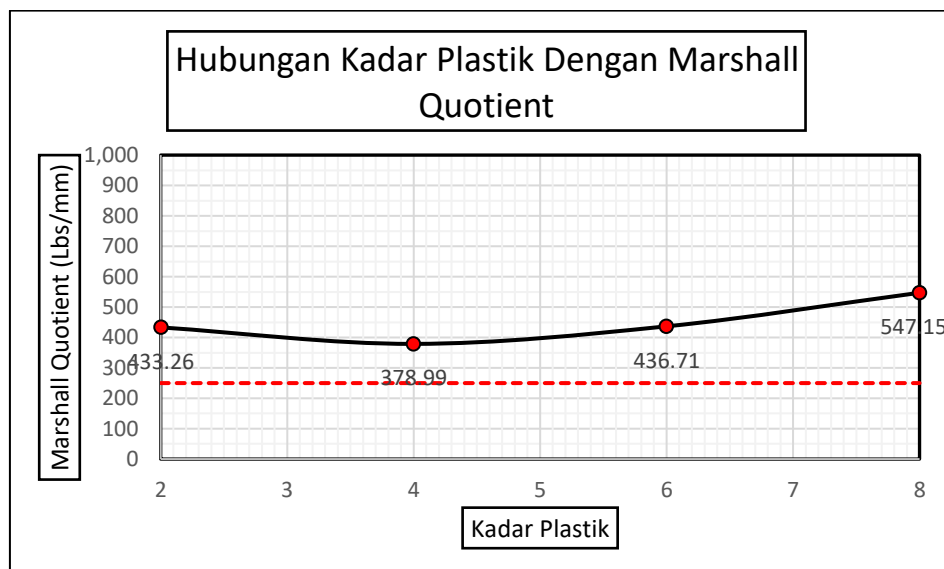
Gambar 16. Grafik Hubungan Kadar Plastik Dengan Kepadatan cara Analisa Saringan



Gambar 17. Grafik Hubungan Kadar Plastik Dengan Kepadatan cara Fuller



Gambar 18. Grafik Hubungan Kadar Plastik Dengan MQ cara Analisa Saringan



Gambar 19. Grafik Hubungan Kadar Plastik Dengan MQ cara Fuller

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan analisa penelitian di laboratorium Perkerasan Jalan, Fakultas Teknik, Universitas Sam Ratulangi Manado. Pemanfaatan limbah plastik LDPE (Low Density Polyethylene) sebagai bahan substitusi pada aspal pen 60/70 dalam campuran aspal AC-WC, dan diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Setelah disubstitusikan limbah plastik pada campuran aspal dan dilakukan uji *marshall*, diidentifikasi bahwa campuran yang baik terdapat pada kadar plastik 4% - 4,4%.
2. Pengaruh dan perbandingan cara analisa saringan dan fuller setelah disubstitusi plastik LDPE, terhadap karakteristik *Marshall*:

a. Stabilitas

Nilai stabilitas setelah disubstitusi plastik LDPE berdasarkan cara analisa saringan dan fuller memenuhi syarat Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 pada setiap kadar. Berdasarkan cara analisa saringan, nilai tertinggi pada kadar 4% yaitu 1546,00 Kg, berbanding terbalik dengan cara fuller yang pada kadar 4% memiliki nilai terendah yaitu 1351,83 Kg.

b. Flow

Setelah disubstitusi plastik LDPE, nilai flow pada cara analisa saringan terlihat mengalami kenaikan secara perlahan dari kadar 2% dengan nilai 3,47 mm pada angka terendah hingga

pada kadar 8% dengan nilai tertinggi 3,58 mm. Berbanding terbalik dengan cara fuller yang mengalami penurunan secara perlahan dari kadar 2% dengan nilai tertinggi 3,70 mm hingga pada kadar 8% dengan nilai terendah 3,36 mm.

c. VMA

Setelah disubstitusi plastik LDPE, nilai VMA berdasarkan cara analisa saringan pada setiap kadar memenuhi syarat Spesifikasi Umum Bina Marga 2018, mulai dari kadar 2% dengan nilai 17,142% kemudian turun pada kadar 4% dengan nilai 16,401%, dan terus naik pada kadar 6% hingga 8% dengan nilai tertinggi 17,731%. Berbanding terbalik dengan cara fuller yang setiap kadar plastiknya tidak memenuhi syarat Spesifikasi Umum Bina Marga 2018. Pada kadar 2% dengan nilai 14,167% mengalami penurunan secara perlahan hingga kadar 8% dengan nilai terendah 13,776%.

d. VIM

Setelah disubstitusi dengan plastik LDPE, nilai VIM berdasarkan cara analisa saringan hanya pada kadar 4% yang memenuhi syarat spesifikasi dengan nilai 4,941%. Sedangkan ketiga kadar lainnya, yaitu 2%, 6% dan 8% melewati batas maksimal nilai VIM. Sedangkan nilai VIM pada cara fuller memenuhi syarat spesifikasi dengan nilai tertinggi pada kadar 2% yaitu 4,768%, kemudian mengalami penurunan secara perlahan hingga kadar 8% dengan nilai terendah 4,335%.

e. VFB

Nilai VFB setelah disubstitusi plastik LDPE, berdasarkan cara analisa saringan pada kadar 2% dengan nilai 66,260%, naik pada kadar 4% dengan nilai tertinggi 69,878%. kemudian kembali turun pada kadar 6% dan 8% dengan nilai 64,183% dan 63,605%. Berdasarkan cara fuller, pada setiap kadar memenuhi syarat Spesifikasi Umum Bina Marga 2018, dengan nilai pada kadar 2% yaitu 66,343% mengalami kenaikan secara perlahan hingga kadar 8% dengan nilai tertinggi 68,539%.

f. Kepadatan

Nilai kepadatan setelah disubstitusi plastik LDPE memiliki nilai yang baik. Namun berdasarkan cara analisa saringan mengalami penurunan yang tidak terlalu jauh berbeda, mulai dari kadar 2% turun hingga kadar 8%. Berbanding terbalik dengan cara fuller yang mengalami kenaikan secara perlahan, mulai dari kadar 2% naik secara perlahan hingga 8%.

Pada 2 metode ini, memperlihatkan limbah plastik yang dicampurkan mempengaruhi setiap nilai karakteristik parameter *marshall*, dari nilai Stabilitas, Flow, VIM, VMA, dan VFB dengan mengalami peningkatan dan penurunan yang tidak stabil. Tetapi untuk daya ikat agregat menurun dikarenakan aspal yang kurang. Pada penelitian ini juga, dengan memakai cara analisa saringan, nilai-nilai karakteristik *marshall* lebih banyak memenuhi syarat Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 serta memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan memakai cara fuller.

3. Manfaat pada substitusi limbah plastik ini banyak mempengaruhi nilai-nilai karakteristik marshall, mulai dari nilai stabilitas dan flow yang mengalami kenaikan dan penurunan yang tidak stabil, dan pada kadar tertentu (kadar plastik terbaik) dapat membuat campuran kuat dan fleksibel untuk menahan beban berat serta tidak mudah retak. Begitu juga pada nilai VIM, VMA dan VFB sangat mempengaruhi campuran, namun pada kadar plastik tertinggi campuran kekurangan aspal yang mengikat agregat sehingga dapat mengakibatkan kurangnya kedap terhadap air dan udara karena campuran yang kurang rapat.

Referensi

- Bina Marga, D. J. (2018). *Spesifikasi Umum 2018 Untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan (Revisi 2)*. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Damopolii, A. V. (Desember 2022). Pemanfaatan Limbah Plastik PET (Polyethylene Terephthalate) Sebagai Bahan Tambah Pada Aspal Pen 60/70. *TEKNO*, 937-945.
- Enandini, R. (2024, Maret 18). *Indonesia Urutan ke Lima Dunia Penghasil Sampah Plastik*. Diambil kembali dari RRI.co.id: <https://rri.co.id/daerah/597027/indonesia-urutan-ke-lima-dunia-penghasil-sampah-plastik>
- Fitri, S., M.Saleh, S., & Isya, M. (2018). PENGARUH PENAMBAHAN LIMBAH PLASTIK KRESEK SEBAGAI SUBSTITUSI ASPAL PEN 60/70 TERHADAP KARAKTERISTIK CAMPURAN LASTON AC – BC. *Jurnal Teknik Sipil Universitas Syiah Kuala*.

- Habibi, M. F. (2018). *PENGGUNAAN LIMBAH BOTOL PLASTIK TERHADAP KARAKTERISTIK LAPISAN ASPAL BETON (LASTON)*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Noverber.
- Indonesia, Z. W. (November 2016). *7 Simbol dan Jenis Plastik yang Perlu Kamu Ketahui*. Interactive, P. (t.thn.). *Gradation test*. Diambil kembali dari Pavement Interactive: <https://pavementinteractive.org/reference-desk/testing/aggregate-tests/gradation-test/>
- Lulu'ah, Irwansyah, & Ardhyhan, M. Z. (2023). Pengaruh Penambahan Limbah Plastik LDPE Pada Lapisan Perkerasan Aspal AC-WC. *PORTAL: Jurnal Teknik Sipil, Volume 15*, 20-26.
- Pertamina. (2023, September 1). *Pengertian Aspal*. Diambil kembali dari Pertamina: https://onesolution.pertamina.com/Insight/Page/Pengertian_Aspal
- Pribadi, G., Indriasari, & Rahman, R. L. (2023). Analisis Substitusi Limbah Plastik (LDPE) terhadap Karakteristik Marshall Pada Campuran Laston AC-WC. *JURNAL KRIDATAMA SAINS DAN TEKNOLOGI*, 334-347.
- Razak, B. A., & Erdiansa, A. (April 2016,). Karakteristik Campuran AC-WC dengan Penambahan Limbah. *Journal INTEK*, 8-14.
- S.Purwantoro, A., Ramadhan, M. A., & Widodo, S. (2023). Karakteristik Marshall AC-WC Dengan Penambahan. *JURNAL SLUMP TeS*, 1-7.
- Sariani, N. (2022). PENGARUH PENGGUNAAN LIMBAH BOTOL PLASTIK TERHADAP KARAKTERISTIK MARSHALL CAMPURAN LAPIS ASPAL BETON (LASTON). *DINAMIKA TEKNIK SIPIL*, 77-84.
- Sukirman, S. (2003). *Beton Aspal Campuran Panas*. Bandung: Institut Teknologi Nasional, Bandung.
- Sukirman, S. (2010). *Perencanaan Tebal Struktur Perkerasan Lentur*. Bandung: Nova.
- Suroso, T. W. (2008). Pengaruh Penambahan Plastik LDPE (Low Density Poly Ethilen) Cara Basah dan Cara Kering terhadap Kinerja Campuran Beraspal. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 208-222.
- Susilowati, A., Wiyono, E., & Pratikto. (2021). PEMANFAATAN LIMBAH PLASTIK SEBAGAI BAHAN TAMBAH PADA BETON ASPAL CAMPURAN PANAS. *Bangun Rekaprima*.
- UMKM, I. (2022, Juli 16). *Kenali Kemasan Plastik untuk Produk Pangan Olahan*. Diambil kembali dari Istana UMKM: <https://istanaumkm.pom.go.id/pangan/kenali-kemasan-plastik-untuk-produk-pangan-olahan>