

ANALISA BIAYA PERKERASAN ASPAL DENGAN SUBSTITUSI PLASTIK

Embun Sari Ayu¹⁾, Yulcherlina²⁾

^{1,2)}Program Studi Teknik Sipil, Universitas Bung Hatta, Padang.

Email korespondensi : embunsari@bunghatta.ac.id
yul_cherlina@yahoo.com

ABSTRAK

Cina dan Indonesia adalah sumber utama botol plastik, tas dan sampah lain yang menyumbat jalur laut global (McCarthy, 2018). Untuk itu perlu dilakukan upaya guna mengurangi permasalahan tersebut, salah satu upaya yang dapat dilakukan adalah dengan mengolah kembali limbah tersebut menjadi sesuatu yang berguna, salah satunya sebagai bahan pengganti agregat penyusun perkerasan jalan sehingga dalam perencanaan biaya perkerasan jalan akan berkurang. Hal inilah yang melatarbelakangi penelitian ini dimana penggunaan limbah plastik akan digunakan sebagai bahan pengganti campuran pada aspal. Limbah plastik yang digunakan dalam penelitian ini adalah jenis low density polyethylene (LDPE), jenis limbah plastik yang banyak dihasilkan namun kurang dimanfaatkan karena dinilai kurang menarik dan memiliki harga jual yang rendah. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh penggunaan LDPE sebagai pengganti agregat campuran AC-WC yang ditinjau dari karakteristik Marshall pada Kadar Aspal Optimum (KAO) yang kemudian dilakukan penggantian sebagian dari total agregat. Variasi kadar LDPE yang digunakan adalah 0%, 2%, 4%, 6% dan 8%. Setiap variasi dibuat sebanyak tiga buah sampel. Dari hasil pengujian didapatkan bahwa dengan penggantian LDPE dalam range 0.1% - 4% cenderung meningkatkan Nilai Stabilitas, VIM, VMA dan Marshall Quotient (MQ), dan nilai Flow dan VFB cenderung menurun. Dengan sebuah perencanaan perkerasan jalan dengan lebar 7 m, tebal 6 cm dan panjang 1 km setelah melakukan substitusi terhadap berat total agregat campuran dapat menghemat biaya perencanaan sebesar Rp. 78.720.030 dan mengurangi jumlah plastik sebanyak 12.933,99 kg.

Kata kunci: Aspal plastik, Jambeck, Kadar Aspal Optimum (KAO), karakteristik Marshall, low density polyethylene.

ABSTRACT

China and Indonesia are the top sources of plastic bottles, bags and other rubbish clogging up global sea lanes (Jambeck et.al., 2015). Therefore, any efforts to reduce plastic waste need to be done including to recycle or re-use plastic waste and turn it into something useful. The objective of this study is to re-use plastic waste as a mixture in plastic asphalt and to examine its resistance to rain. Plastic waste used in this study was a low-density polyethylene (LDPE) type considering that the LDPE waste is abundant. However, the re-use of LDPE waste was very limited due to its low economic value. This study was conducted to examine the effect of the LDPE waste as an aggregate substitute for AC-WC mixture based on the Marshall Characteristic on the optimum bitumen content, which then partial replacement of some aggregates were made out of the total aggregates. Few variation levels of LDPE of 0%, 2%, 4%, 6% and 8% were used. Three samples were made to represent each variation. Based on the test result, it was found that the LDPE replacement from 0.1% to 4% tend to increase the value of stability, VIM, VMA and Marshall Quotient (MQ), and the Flow and FVB values tend to decrease. With a pavement plan with a width of 7 m, a thickness of 6 cm and a length of 1 km after substituting the total weight of the mixed aggregate, it can save planning costs of Rp. 78,720,030 and reduced the amount of plastic by 12,933.99 kg.

Keyword: Global Ocean, low density polyethylene, Marshall Characteristic, Optimum bitumen content, plastic asphalt.

1. LATAR BELAKANG

Sebuah tim peneliti di Amerika Serikat dan Australia yang dipimpin oleh Jenna Jambeck, seorang insinyur lingkungan di Universitas Georgia pada tahun 2015, menganalisis tingkat limbah plastik di lautan dunia. Mereka menemukan bahwa Cina dan Indonesia adalah sumber utama botol plastik, tas dan sampah lain yang menyumbat jalur laut global. Bersama-sama, kedua negara ini menyumbang lebih dari sepertiga detritus plastik di perairan global, menurut sebuah laporan di *The Wall Street Journal*. Kemudian diperbarui untuk menunjukkan jumlah total sampah plastik yang salah kelola dan jumlah total sampah laut plastik (McCarthy, 2018).

Di Indonesia sendiri telah banyak kegiatan daur ulang plastik terutama untuk jenis plastik Polyethylene Terephthalate (PETE/PET), sementara untuk plastik jenis Low-Density Polyethylene (LDPE) belum terlalu dimanfaatkan sehingga menjadi limbah dan menumpuk karena penggunaan masyarakat secara terus menerus.

Bahan penyusun perkerasan aspal diantaranya adalah agregat kasar dengan ukuran maksimum 19.1 mm dan 12.5 mm, agregat halus atau pasir, dan filler serta di ikat oleh campuran aspal. Dalam suatu perencanaan aspal sangat dipengaruhi oleh tingkat efisiensi dan ekonomis suatu perkerasan tersebut tanpa mengurangi kekuatan dari perkerasan itu sendiri.

Seiring dengan perkembangan populasi masyarakat berbanding lurus dengan kebutuhan transportasi yang layak dan nyaman, terutama transportasi darat, sehingga penggunaan perkerasan aspal akan semakin meningkat pula. Semakin meningkatnya kebutuhan perkerasan aspal juga mengakibatkan ketersediaan bahan penyusun perkerasan aspal menjadi semakin berkurang sehingga dengan ditambahkan plastik pada campuran perkerasan jalan diharapkan akan mengurangi penggunaan agregat sebagai banyak utama penyusun perkerasan aspal itu sendiri dan juga mengurangi biaya pembuatan perkerasan aspal.

1.1 Rumusan masalah

Permasalahan yang diteliti pada penelitian ini adalah:

- a. Bagaimana pengaruh substitusi plastik terhadap kinerja campuran beraspal.
- b. Membandingkan kinerja campuran beraspal dengan menggunakan substitusi plastik dengan campuran beraspal tanpa menggunakan substitusi plastik.
- c. Menganalisa estimasi biaya yang berkurang setelah dilakukan substitusi plastik terhadap berat total agregat perkerasan beraspal.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah:

- a. Untuk meneliti kinerja campuran beraspal dengan substitusi plastik dan tanpa substitusi plastik.
- b. Untuk mengetahui nilai dari kekuatan campuran beraspal dengan substitusi plastik dan campuran beraspal tanpa substitusi plastik.
- c. Untuk mengetahui penghematan biaya yang dihasilkan dengan melakukan substitusi plastik terhadap berat total agregat campuran beraspal.

1.3 Batasan Penelitian

Demi tercapainya penelitian diperlukan suatu batasan dalam penelitian agar pembahasannya tidak meluas sehingga tujuan dari penulisan dapat tercapai dan dipahami.

Adapun ruang lingkup penulisan yang dijadikan batasan dalam penelitian ini adalah:

- a. Penelitian dilakukan pada skala laboratorium.
- b. Sumber campuran perkerasan aspal yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari:
 - 1) Coarse Agregat/Agregat Kasar (agregat yang tertahan pada saringan no. 4 (4,74mm))
 - 2) Fine Agregat/Agregat Halus (Agregat yang lolos pada saringan no. 4 (4,74mm))

- 3) Asphalt penetrasi 60/70
- 4) Low-Density Polyethylene (Plastik cacah)
- c. Mengidentifikasi nilai stabilitas setelah dilakukan substitusi terhadap campuran beraspal.
- d. Analisa estimasi biaya tidak menyeluruh terhadap rencana anggaran biaya suatu perencanaan perkerasan beraspal melainkan hanya pengurangan biaya akibat dari substitusi plastik terhadap kebutuhan agregat perkerasan beraspal.
- e. Tidak menyelidiki komposisi kimia dari plastik terhadap substitusi campuran beraspal.

2. LANDASAN TEORI

2.1 Aspal

Aspal adalah kumpulan bahan-bahan tersisa dari proses destilasi minyak bumi (atmospheric, vacuum, debotlenecking, dan sebagainya) di pabrik kilang minyak, bahan sisa yang dianggap sudah tidak bisa lagi diproses secara ekonomis (dengan kemajuan teknologi dan kondisi mesin yang ada) untuk dapat menghasilkan produk-produk yang dapat dijual seperti misalnya sejenis bahan bakar, bahan pelumas dan lainnya. (Soehartono, 2015)

Aspal yang digunakan sebagai material perkerasan jalan berfungsi sebagai:

- a. Bahan pengikat, memberikan ikatan yang kuat antara aspal dan agregat dan antara sesama aspal.
- b. Bahan pengisi, mengisi rongga antara butir agregat dan pori-pori yang ada di dalam butir agregat itu sendiri.

2.2 Agregat

Agregat (batuan) didefinisikan secara umum sebagai formasi kulit bumi yang keras dan solid (Tenriajeng, 1999). Dalam bukunya juga mengatakan berdasarkan ASTM (1974) mendefinisikan agregat/batuan sebagai suatu bahan yang terdiri dari mineral padat, berupa massa berukuran besar ataupun berupa fragmen-fragmen.

Agregat/ batuan merupakan komponen utama dari perkerasan jalan yang mengandung 90-95 % agregat berdasarkan persentase berat atau 75-85 % agregat berdasarkan persentase volume. Dengan demikian daya dukung, keawetan dan mutu perkerasan jalan ditentukan juga dari sifat agregat dan hasil campuran agregat dengan material lain.

Agregat sebagai salah satu faktor penentu kemampuan perkerasan jalan memikul lalu lintas daya tahan terhadap cuaca. Pemakaian agregat sebagai bahan perkerasan jalan yang perlu diperhatikan mengenai gradasi, kebersihan, kekerasan dan ketahanan agregat, bentuk butir tekstur permukaan, porositas, absorpsi berat jenis dan daya kelekatan aspal.

2.3 Plastik

Plastik merupakan salah satu polimer yang mudah dibentuk dari satu bentuk ke bentuk yang lain. Nama plastik didasarkan pada sifat dan bahan yang dalam salah satu tahap pengolahannya bahan itu berada dalam keadaan plastik atau kenyal. Sedangkan bioplastik merupakan plastik yang dibuat dari bahan polimer alami. Plastik merupakan polimer yang memiliki struktur dan sifat-sifat yang rumit. Hal ini disebabkan oleh jumlah atom pembentuk yang jauh lebih besar dibandingkan dengan senyawa yang berat atomnya lebih rendah. Umumnya suatu polimer dibangun oleh satuan struktur yang tersusun secara berulang dan diikat oleh gaya tarik menarik yang kuat yang disebut ikatan kovalen. Gaya tarik menarik antar atom dalam polimer berupa ikatan hidrogen dan gaya Van der Waals, kadang-kadang terdapat ikatan ion, ikatan koordinat dan ikatan hidrofobik (Steven, 2001).

Plastik yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah plastik *Low-Density Polyethylene (LDPE)*. Plastik jenis ini banyak dimanfaatkan untuk berbagai keperluan masyarakat, mulai dari keperluan rumah tangga hingga industri. Penggunaan plastik sebagai pengemas pangan terutama karena keunggulannya dalam hal bentuknya yang fleksibel sehingga mudah mengikuti bentuk pangan yang dikemas, berbobot ringan, tidak mudah pecah, bersifat

transparan/tembus pandang, mudah diberi label dan dibuat dalam aneka warna, dapat diproduksi secara masal, harga relatif murah dan terdapat berbagai jenis pilihan bahan dasar plastik.

2.4 Estimasi Biaya

Estimasi biaya proyek konstruksi merupakan proses analisis perhitungan berdasarkan pada metode konstruksi, volume pekerjaan, dan ketersediaan berbagai sumber daya, dimana keseluruhannya membentuk operasi pelaksanaan optimal yang membutuhkan pembiayaan. Estimasi dibuat jauh hari sebelum konstruksi dimulai atau paling tidak selama pelaksanaannya, maka jumlah biaya yang didapat berdasarkan analisis lebih merupakan taksiran biaya daripada biaya yang sebenarnya atau actual cost (Dipohusodo, 1996 dalam Herizal, 2004). Estimasi dalam arti luas pada hakikatnya adalah upaya untuk menilai atau memperkirakan suatu nilai melalui analisis perhitungan dan berdasarkan pada pengalaman. Dalam proses konstruksi, estimasi meliputi banyak hal yang mencakup bermacam maksud dan kepentingan bagi berbagai strata manajemen dalam organisasi. Apabila ditujukan untuk memperkirakan pembiayaan konstruksi, estimasi pada hakikatnya merupakan upaya penerapan konsep rekayasa berlandaskan pada dokumen pelepasan, kondisi lapangan, dan sumber daya kontraktor. Keterkaitan ketiga unsur tersebut membentuk kerangka konsep metode konstruksi yang harus diterapkan dalam pelaksanaan pekerjaan.

Kemudian dengan berpijak pada pengalamannya, kombinasi metode konstruksi dengan rincian volume pekerjaan yang dihadapi dan keadaan pasar pada umumnya akan memberikan biaya konstruksi yang diperlukan. Kualitas suatu perkiraan biaya yang berkaitan dengan akurasi dan kelengkapan unsur-unsurnya tergantung pada hal-hal berikut (Soeharto, 1995)

- a. Tersedianya data dan informasi,
- b. Teknik atau metode yang digunakan,
- c. Kecakapan dan pengalaman estimastor,
- d. Tujuan pemakaian perkiraan biaya.
- e. Harga satuan pekerjaan

Untuk merencanakan suatu proyek, perkiraan biaya harus didasarkan atas kebutuhan yang diperlukan proyek tersebut. Menurut Soeharto, pembagian pembiayaan proyek, terbagi untuk memenuhi beberapa kebutuhan yang terdapat di proyek tersebut.

Beberapa metode estimasi biaya menurut Soeharto (1997) adalah sebagai berikut:

- a. Metode Parameter, ialah metode yang mengaitkan biaya dengan karakteristik fisik tertentu dari obyek, misalnya: luas, panjang, berat, volume dan sebagainya.
- b. Memakai daftar indeks harga dan informasi proyek terdahulu, yaitu dengan mencari angka perbandingan antara harga pada suatu waktu (tahun tertentu) terhadap harga pada waktu (tahun) yang digunakan sebagai dasar. Juga pemakaian data dari manual, hand book, katalog, dan penerbitan berkala, amat membantu dalam memperkirakan biaya proyek.
- c. Metode menganalisis unsur-unsurnya (Elemental Cost Analysis), yaitu dengan cara menguraikan lingkup proyek menjadi unsur- unsur menurut fungsinya.
- d. Metode faktor, yaitu dengan memakai asumsi bahwa terdapat angka korelasi diantara harga peralatan utama dengan komponen-komponen yang terkait.
- e. Quantity take-off, yaitu dengan membuat perkiraan biaya dengan mengukur kuantitas komponen-komponen proyek dari gambar, spesifikasi, dan perencanaan.
- f. Metode harga satuan, yaitu dengan memperkirakan biaya berdasarkan harga satuan, dilakukan bilamana angka yang menunjukkan volume total pekerjaan belum dapat ditentukan dengan pasti, tetapi biaya per unitnya (per meter persegi, per meter kubik) telah dapat dihitung.
- g. Memakai data dan informasi proyek yang bersangkutan, yaitu metode yang memakai masukan dari proyek yang sedang ditangani, sehingga angka-angka yang diperoleh mencerminkan keadaan yang sesungguhnya.

3. METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan di laboratorium dengan menggunakan aspal penetrasi 60/70, plastik Low-Density Polyethylene (LDPE) atau plastik mutu rendah dimana digunakan substitusi plastik terhadap total agregat campuran sebanyak 2%, 4%, 6% dan 8% dengan cara kering dimana plastik tersebut dicacah dengan lebar ± 4 mm dan panjang 40 mm lalu dimasukkan pada agregat panas pada suhu campuran dan diaduk selama 30-40 detik. Selanjutnya dilakukan pengujian campuran beraspal sehingga menghasilkan nilai VMA, VIM, VFB, Stabilitas, Flow dan MQ.

Setelah mendapatkan sampel yang sesuai dengan karakteristik yang diizinkan dalam spesifikasi Bina Marga kemudian dilakukan analisa estimasi biaya pada parameter tertentu yang mana parameter yang dipilih dalam penelitian ini adalah agregat penyusun perkerasan beraspal. Pengurangan penggunaan agregat tersebut akan di hitung secara perhitungan matematis yang kemudian dikalikan dengan harga satuan tiap-tiap jenis agregat.

3.1 Teknik Pengambilan Data

Bahan-bahan yang digunakan adalah aspal penetrasi 60/70 yang berasal dari PT. Multi Trading Pratama dimana perusahaan tersebut merupakan penyalur aspal yang nantinya akan digunakan dalam perencanaan jalan di wilayah Sumatera Barat., plastik Low-Density Polyethylene (LDPE) diambil dari sisa penggunaan sehari-hari yang telah dibersihkan dengan cara merendam dan dikeringkan dengan cara dijemur kemudian plastik tersebut dicacah menjadi ukuran yang lebih kecil, agregat yang digunakan dalam penelitian ini adalah agregat yang digunakan oleh PT. HKI dalam melaksanakan proyek jalan Tol Padang-Sicincin, , agregat tersebut haruslah lolos dari syarat spesifikasi yang mana syarat tersebut diatur dalam Spesifikasi Umum Perkerasan Aspal Divisi 6 tahun 2010 (Revisi 3).

Urutan pelaksanaannya adalah sebagai berikut

- a. Aspal dan agregat dilakukan pengujian karakteristik sesuai dengan Standar Nasional Indonesia yang dikeluarkan oleh Bina Marga.
- b. Gradasi agregat yang digunakan adalah AC-WC.
- c. Membuat sampel benda uji lalu melakukan pengujian untuk mendapatkan Kadar Aspal Optimum yang akan digunakan.
- d. Aspal dengan Kadar Aspal Optimum kemudian dilakukan substitusi plastik terhadap total berat agregat campuran dengan cara kering pada suhu pencampuran dan di aduk selama 30-40 detik lalu dilakukan pencampuran aspal dan dilakukan pengujian sampel.

Setelah didapatkan hasil yang sesuai dengan spesifikasi maka kemudian dilakukan analisa estimasi biaya yang mana cara perhitungan estimasi biaya tersebut dihitung berdasarkan total agregat campuran yang berkurang setelah dilakukan substitusi plastik LDPE.

Hal tersebut diharapkan dapat mengurangi biaya pembuatan jalan dan mengurangi jumlah limbah plastik yang tidak digunakan secara maksimal.

4. ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Mutu Bahan Campuran

Komposisi agregat yang digunakan dalam penelitian ini adalah gradasi SHRP yaitu gradasi yang tidak memotong daerah Fuller.

Komposisi agregat:

- a. Agregat Kasar 19.1 mm = 11%
- b. Agregat Kasar 12.5 mm = 43%
- c. Agregat Halus = 35%
- d. Filler = 10%

4.2 Penentuan Kadar Aspal Rencana

Dalam menentukan kadar aspal rencana yang akan digunakan, dilakukan perencanaan berdasarkan campuran beraspal dengan kepadatan mutlak. Formula campuran rencana dapat dilakukan dengan perhitungan sebagai berikut:

$$P_b = 0.035(\%C) + 0.045(\%F) + 0.15(\%F) + K$$

Setelah mendapatkan perkiraan nilai P_b , bulatkan perkiraan nilai P_b sampai dengan 0.5% terdekat. Jika hasil perhitungan diperoleh 6.3% maka bulatkan menjadi 6.5%. Sehingga hasil P_b yang didapat pada perhitungan di atas adalah 5.765% dibulatkan menjadi 6%.

Berdasarkan pedoman perencanaan campuran beraspal dengan pendekatan kepadatan mutlak, dari persentase pada aspal optimum tersebut di ambil 3 kadar aspal di atas nilai P_b dan 2 kadar aspal di bawah nilai P_b , sehingga didapatkan interval persentase kadar aspal rencana ($\pm 0.5\%$ dan $\pm 1.0\%$ dari 6% yaitu, 5.0%; 5.5%; 6.0%; 6.5%; dan 7%). Dari persentase kadar aspal tersebut digunakan untuk membuat sampel.

4.3 Mix Desain Campuran Beraspal

Setelah mendapatkan persentase kadar aspal kemudian dilakukan pembuatan sampel dengan mix design campuran beraspal sebagai berikut:

- Kadar aspal = 5%
- Kapasitas mold = 1200 gr
- Berat aspal = $5\% \times 1200$
= 60 gr
- Berat total agregat = $(100-5) \% \times 100$
= 1140 gr
- Agregat 19.1 mm = $9\% \times 1140$ gr
= 102.6 gr
- Agregat 12.5 mm = $45\% \times 1140$ gr
= 513 gr
- Pasir = $36\% \times 1140$ gr
= 410.4 gr
- Filler = $10\% \times 1140$ gr
= 114 gr

Selanjutnya untuk berat aspal dan berat agregat pada masing-masing kadar aspal yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada tabel 1 berikut:

Tabel 1. Mix Design Campuran

Kadar aspal	Kadar aspal ter. Camp.	VMA	VIM	VFB	Stabilitas	Flow	MQ
%	%	%	%	%	kg	mm	kg/mm
5.0	4.8	15.75	7.33	53.95	1271.4	2.9	441.17
5.5	5.2	15.48	5.96	61.55	1187.8	3.3	364.75
6.0	5.7	15.19	4.47	70.60	1121.8	3.8	293.85
6.5	6.1	15.60	3.77	75.84	1056.5	4.2	249.08
7.0	6.5	15.72	2.74	82.60	1008.8	4.3	238.79
Spesifikasi Aspal Berdasarkan Spesifikasi Umum 2010 (Revisi 3)							
Laston	Min	15	3	65	800	2	250
Aus (WC)	Maks	-	5	-	-	4	-

Sumber : hasil analisis

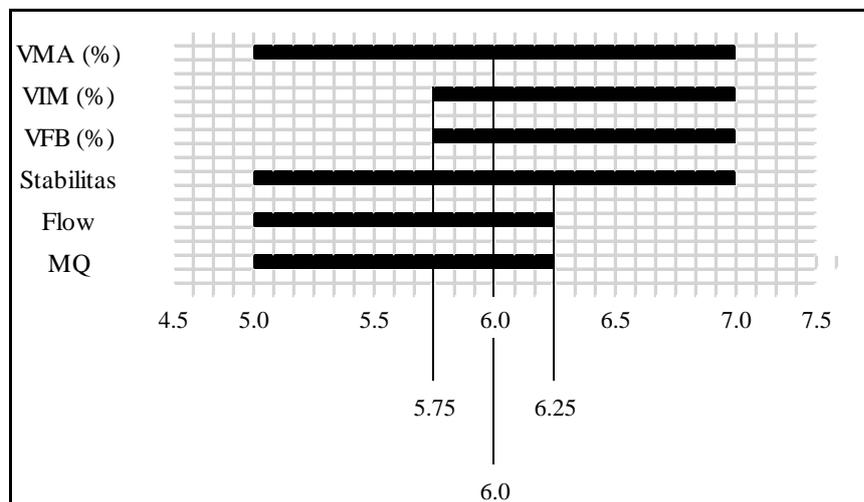
Setelah mendapatkan mix desain campuran, kemudian dilakukan pengujian Marshall. Hasil

Berikut tabel 2 resume pengujian Marshall dan diagram batang penentuan kadar aspal optimum:

Tabel 2. Resume Hasil Tes Marshall

Kadar Aspal	Berat Aspal terhadap Campuran	Agregat 19.1	Agregat 12.5	Pasir 36%	Filler 10%	Gabungan Agregat	Total Agregat Campuran
		10%	45%				
%	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)
5	60	102.6	513	410.4	114	1140	1200
5.5	66	102.06	510.3	408.24	113.4	1134	1200
6	72	101.52	507.6	406.08	112.8	1128	1200
6.5	78	100.98	504.9	403.92	112.2	1122	1200
7	84	100.44	502.2	401.76	111.6	1116	1200

Sumber : hasil perhitungan



Gambar 1. Diagram Pemilihan Kadar Aspal Optimum

4.4 Mix Desain Campuran Beraspal Plastik

Perhitungan mix desain campuran menggunakan perhitungan yang sama dengan mix desain sebelumnya, namun ada penambahan aspal terhadap total berat agregat. Berikut perhitungan mix desainnya:

Kadar aspal	= 6%
Kapasitas mold	= 1200 gr
Berat aspal	= $6\% \times 1200$
	= 72 gr
Berat agregat aspal 6%	= $(100-6) \% \times 1200$
	= 1128 gr
Kadar plastik	= 2%
Berat plastik	= $2\% \times 1128$
	= 22.56 gr
Berat total agregat	= $(100-2) \% \times 1128$
	= 1105.44
Agregat 19.1 mm	= $10\% \times 1105.44$ gr
	= 99.48 gr
Agregat 12.5 mm	= $45\% \times 1105.44$ gr
	= 497.44 gr
Pasir	= $36\% \times 1105.44$ gr
	= 397.95 gr
Filler	= $10\% \times 1105.44$ gr
	= 110.54 gr

Selanjutnya untuk berat aspal dan berat agregat pada masing-masing kadar aspal yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada tabel 3 berikut ini:

Tabel 2. Persentase Agregat Campuran AC/WC Dengan Penambahan Plastik

Kadar Plastik	Berat Plastik Terhadap Campuran	Aspal	Agregat 19.1	Agregat 12.5	Pasir	Filler	Gabungan Agregat	Total Agregat Campuran
		6%	10%	45%	36%	10%		
%	(Gr)	(Gr)	(Gr)	(Gr)	(Gr)	(Gr)	(Gr)	(Gr)
2	22.56	72	99.48	497.44	397.95	110.54	1105.44	1200
4	45.12	72	97.45	487.29	389.83	108.28	1082.88	1200
6	67.68	72	95.42	477.14	381.71	106.03	1060.32	1200
8	90.24	72	93.39	466.99	373.59	103.77	1037.76	1200

Sumber : hasil perhitungan

Variasi persen plastik yang digunakan di ambil dari total agregat yang digunakan untuk pembuatan campuran dengan kadar aspal optimum yang telah didapatkan dalam pengujian sebelumnya tanpa mengurangi persentase aspal yang akan digunakan, hal tersebut diharapkan dapat menghasilkan stabilitas aspal yang lebih baik dan mengurangi penggunaan agregat dalam pembuatan campuran aspal ke depannya serta memberikan salah satu solusi dalam mengolah limbah plastik ke arah yang lebih baik dan aman untuk lingkungan.

Setelah dilakukan pembuatan benda uji dengan persentase berat di atas pada variasi substitusi plastik yang berbeda, kemudian setiap sampel dilakukan pengujian Marshall.

Tabel resume pengujian Marshall terhadap sampel

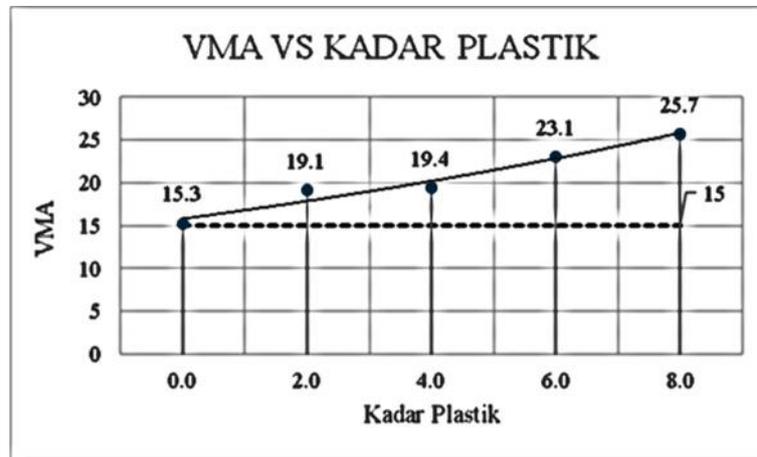
Tabel 3. Resume Tes Uji Marshall Dengan Substitusi Variasi Plastik

Kadar aspal	Kadar Plastik	VMA	VIM	VFB	Stabilitas	Flow	MQ
%	gr/cc	%	%	%	kg	mm	kg/mm
6.0	0.0	15.30	4.60	70.01	1112.6	3.8	291.44
6.0	2.0	19.11	8.89	53.53	1123.0	2.9	457.5
6.0	4.0	19.40	12.60	35.08	1597.3	2.4	678.4
6.0	6.0	23.09	14.87	35.65	1759.6	1.3	1407.3
6.0	8.0	25.71	16.02	37.73	1639.5	1.5	1131.3
Spesifikasi Aspal Berdasarkan Spesifikasi Umum 2010 (Revisi 3)							
Laston	Min	15	3	65	800	2	250
Aus (WC)	Maks	-	5	-	-	4	-

Sumber : hasil analisis

4.5 Grafik Hasil Pengujian Marshall Pada Campuran Perkerasan Dengan Substitusi Plastik

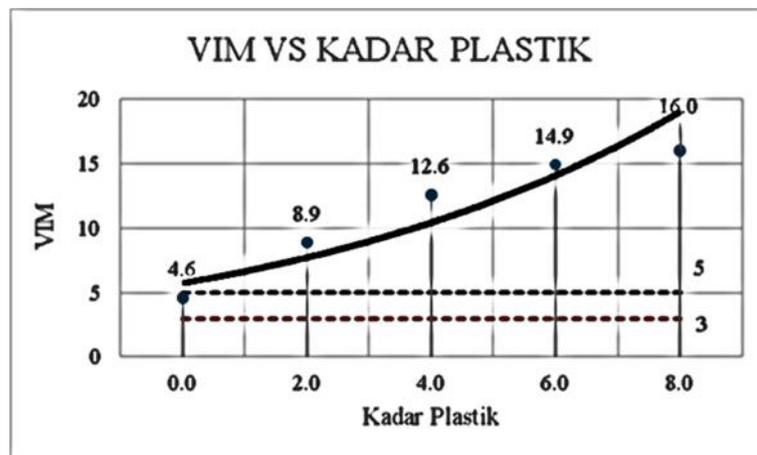
4.5.1 Analisa VMA terhadap campuran dengan variasi plastic



Gambar 2. Grafik VMA terhadap campuran dengan Variasi Plastik

Berdasarkan gambar 2, menunjukkan nilai VMA campuran beraspal dengan penambahan plastik semakin naik sesuai dengan bertambahnya persentase plastik yang ditambahkan pada campuran aspal dengan kadar aspal optimum.

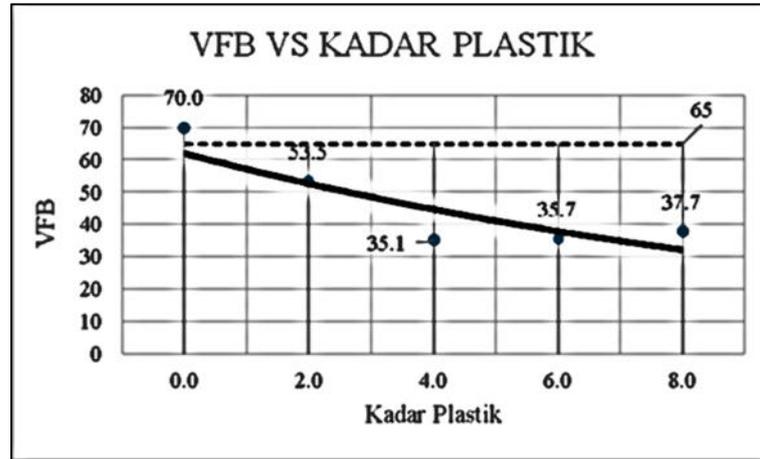
4.5.2 Analisa VIM terhadap campuran dengan variasi plastik



Gambar 3. Grafik VIM terhadap campuran dengan Variasi Plastik

Pada gambar 3, terlihat bahwa nilai VIM dari campuran perkerasan yang telah ditambahkan dengan plastik semakin meningkat dan menjauhi nilai batas spesifikasi yang diizinkan oleh bina marga.

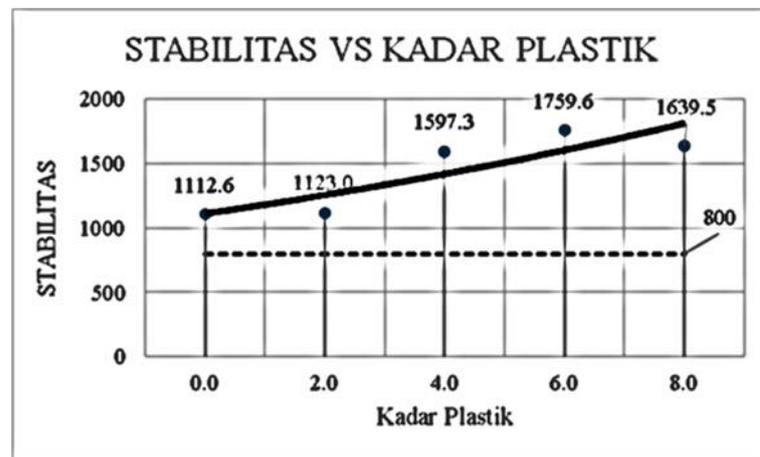
4.5.3 Analisa VFB terhadap campuran dengan variasi plastik



Gambar 4. Grafik VFB terhadap campuran dengan Variasi Plastik

Dari gambar 4, dapat dikatakan dengan penambahan plastik pada campuran beraspal, mengakibatkan semakin menurunnya nilai VFB. Menurunnya nilai VFB dalam penelitian ini diakibatkan rongga dalam campuran (VIM) yang merupakan bagian pembagi dalam menentukan nilai VFB.

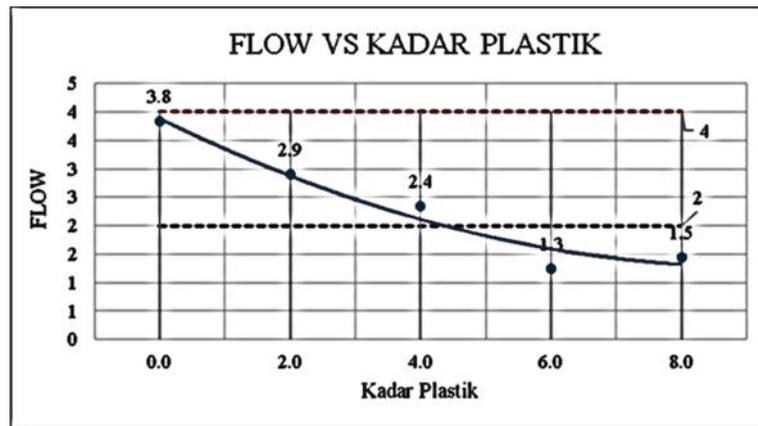
4.5.4 Analisa stabilitas terhadap campuran dengan variasi plastic



Gambar 5. Grafik stabilitas terhadap campuran dengan Variasi Plastik

Hasil dari stabilitas didapatkan setelah nilai yang tertera pada alat Marshall dikalikan dengan kalibrasi proofing ring yang terdapat pada alat, lalu kemudian dikalikan lagi dengan angka koreksi yang didapatkan setelah mengukur volume benda uji. Dari hasil percobaan menunjukkan bahwa nilai stabilitas campuran beraspal meningkat seiring penambahan variasi plastik pada campuran.

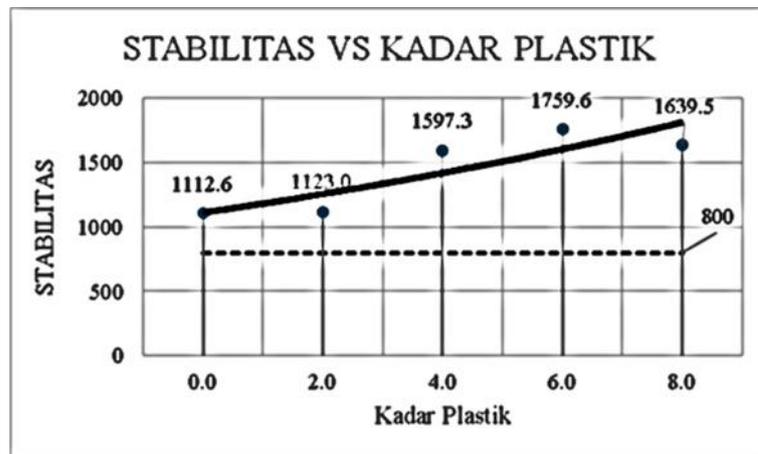
4.5.5 Analisa flow terhadap campuran dengan variasi plastic



Gambar 6. Grafik VFB terhadap campuran dengan Variasi Plastik

Dari hasil percobaan menunjukkan bahwa nilai kelelehan campuran beraspal dengan penambahan plastik menjadi lebih rendah daripada kelelehan campuran beraspal tanpa di tambah plastik. Pada penambahan plastik dengan variasi 2% dan 4% nilai kelelehan campuran masih dalam range spesifikasi standar Bina Marga tahun 2010, namun dengan penambahan seterusnya pada kadar plastik 6% dan 8% nilai kelelehan menurun. Hal ini mengakibatkan campuran menjadi lebih kaku dan getas, sehingga campuran mempunyai sifat mudah retak apabila terkena beban lalu lintas yang tinggi dan berat.

4.5.6 Pengaruh penambahan Variasi Plastik terhadap Marshall Quotient



Gambar 7. Grafik stabilitas terhadap campuran dengan Variasi Plastik

Hasil bagi Marshall atau Marshall Quotient (MQ) adalah perbandingan antara stabilitas dan kelelehan yang juga merupakan indikator terhadap kekakuan campuran. Semakin tinggi nilai MQ, maka kemungkinan semakin tinggi kekakuan suatu campuran dan semakin rentan campuran terhadap keretakan.

4.6 Analisis Kinerja Campuran Beraspal Dengan Substitusi Plastik

Berdasarkan parameter Marshall dari penelitian campuran beraspal dengan substitusi plastik disarankan dalam penambahan dilakukan dalam range 0.1% sampai dengan 4%, hal ini didasarkan oleh beberapa alasan antara lain:

- a. Dari total 6 parameter Marshall, 4 dari parameter tersebut masih dalam spesifikasi yang diizinkan yaitu pada parameter VMA, Stabilitas, Flow dan Marshall Quotient. Sementara pada parameter VIM dan VFB tidak terpenuhi.

- b. Apabila kadar substitusi plastik semakin ditambahkan di atas dari 4% dikhawatirkan dapat menyebabkan perkerasan beraspal menjadi tidak awet, memiliki kekakuan yang tinggi dan memiliki kemungkinan terjadinya pelepasan partikel.
- c. Untuk meningkatkan nilai stabilitas biasanya dilakukan dengan penambahan agregat kasar atau agregat halus atau mengurangi kadar aspal dalam campuran karena pengaruh penyerapan agregat terhadap aspal. Namun, dengan dilakukannya substitusi plastik pada perkerasan beraspal menyebabkan meningkatnya nilai stabilitas sehingga hal ini dapat dijadikan solusi lain dalam hal peningkatan nilai stabilitas.
- d. Nilai flow pada substitusi plastik terhadap perkerasan beraspal semakin menurun, hal ini mengindikasikan bahwa campuran menjadi lebih tahan terhadap deformasi plastis dan memiliki kekakuan yang baik.
- e. Akibat dari substitusi plastik mengakibatkan nilai VIM semakin naik melewati batas spesifikasi yang diizinkan menunjukkan bahwa rongga diantara agregat menjadi lebih banyak sehingga campuran menjadi lebih rapuh dan rentan terhadap kehancuran, hal ini mempengaruhi metode kerja di lapangan yakni dengan dilakukannya pemadatan lebih banyak daripada campuran aspal biasa sehingga diharapkan rongga diantara agregat menjadi semakin berkurang dan campuran menjadi lebih tahan terhadap kehancuran.

4.7 Estimasi Biaya Perencanaan Aspal

Dalam suatu perencanaan perkerasan beraspal lapisan AC-WC, tebal perkerasan yang digunakan pada umumnya ± 5 cm. Berdasarkan perencanaan perkerasan aspal dengan pendekatan kepadatan mutlak yang dikeluarkan oleh Departemen Pekerjaan Umum, maka estimasi biaya perencanaan tersebut dapat kita hitung secara matematis. Dalam penelitian ini direncanakan jalan dengan lebar jalan 7 m dengan ketebalan lapisan perkerasan beraspal 6 cm.

- a. Langkah perhitungan matematis yang dilakukan pertama kali adalah mengetahui kebutuhan bahan penyusun agregat pada volume 1 m^3 :
 - 1) Volume sampel = 199.89 cm^3
 - 2) Volume jalan 1 m^3 dengan tebal 6 cm = 60.000 cm^3
 - 3) Sehingga untuk jalan tersebut membutuhkan sampel sebanyak 300.165 buah.
- b. Setelah mendapatkan volume kebutuhan sampel dalam 1 m^3 , agregat per sampel terdiri dari bahan-bahan berikut:
 - 1) Agregat 19.1 mm = 2,03 gr
 - 2) Agregat 12.5 mm = 20,30 gr
 - 3) Pasir = 16,24 gr
 - 4) Filler = 4,51 gr
- c. Sehingga per 1-meter jalan dengan tebal 6 cm agregat yang berkurang menjadi:
 - 1) Agregat 19.1 mm = 609,46 gr
 - 2) Agregat 12.5 mm = 6094,55 gr
 - 3) Pasir = 4875,64 gr
 - 4) Filler = 1354,34 gr
- d. Dari harga satuan diketahui bahwa harga material adalah sebagai berikut:
 - 1) Agregat 19.1 mm = Rp. 328.300 (M^3)
 - 2) Agregat 12.5 mm = Rp. 343.400 (M^3)
 - 3) Pasir = Rp. 176.700 (M^3)
 - 4) Filler = Rp. 2.000 (kg)

- e. Sehingga untuk mendapatkan harga per material adalah dengan cara matematis sebagai berikut:
- 1) Agregat 19.1 mm (BJ = 2.8)
 - Harga 1 M³ = Rp. 328.300
 - $1 \times 2,8 = 2,8 \text{ t}$
 - $2,8 \text{ t} = 0,0028 \text{ k} = 0,0000028 \text{ g}$
 - Harga 1-gram agregat = $0,0000028 \times R . 328.300 = R . 0,91924$
 - Untuk agregat sebanyak 609,45 gram = $609,45 \times R . 0,91924 = R . 560.23$
 - 2) Agregat 12.5 mm (BJ = 2,7)
 - Harga 1 M³ = Rp. 343.400
 - $1 \times 2,7 = 2,7 \text{ t}$
 - $2,7 \text{ t} = 0,0027 \text{ k} = 0,0000027 \text{ g}$
 - Harga 1-gram agregat = $0,0000027 \times R . 343.400 = R . 0,92718$
 - Untuk agregat sebanyak 6094,55 gram = $6094,55 \times R . 0,92718 = R . 5.650,74$
 - 3) Agregat pasir (BJ = 2,7)
 - Harga 1 M³ = Rp. 176.700
 - $1 \times 2,7 = 2,7 \text{ t}$
 - $2,7 \text{ t} = 0,0027 \text{ k} = 0,0000027 \text{ g}$
 - Harga 1-gram agregat = $0,0000027 \times R . 176.700 = R . 0,47709$
 - Untuk agregat sebanyak 4875,64 gram = $4875,64 \times R . 0,47709 = R . 2.326,12$
 - 4) Filler
 - Harga 1 kg = Rp. 2.000
 - $1 \text{ k} = 0.001 \text{ g}$
 - Harga 1-gram agregat = $0.001 \times R . 2.000 = R . 2$
 - Untuk agregat sebanyak 1354,34 gram = $1354,34 \times R . 2 = R . 2.700,68$

Sehingga untuk perencanaan perkerasan jalan beraspal dengan lebar 7 m dan panjang 1 km adalah

- a. Agregat 19.1 mm = $R . 560.23 \times (7 \times 1000) = R . 3.921.610$
- b. Agregat 12.5 mm = $R . 5.650,74 \times (7 \times 1000) = R . 39.555.180$
- c. Pasir = $R . 2.326,12 \times (7 \times 1000) = R . 16.282.840$
- d. Filler = $R . 2.700,68 \times (7 \times 1000) = R . 18.960.760$

Dapat ditarik kesimpulan bahwa untuk jalan dengan lebar 7 m sepanjang 1 km total biaya yang akan berkurang adalah Rp. 78.720.030

5. KESIMPULAN

Setelah melakukan analisa campuran perkerasan dengan substitusi plastik dengan metode pencampuran aspal panas, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- a. Dalam penentuan kadar aspal rencana didapatkan kadar aspal optimum sebanyak 6% yang kemudian dilakukan substitusi terhadap total agregat campuran perkerasan beraspal.
- b. Pengaruh substitusi plastik pada perkerasan beraspal dengan kadar aspal optimum 6% terhadap berat total agregat pada karakteristik Marshall adalah:
 - 1) Nilai VMA dengan spesifikasi minimal 15% telah tercapai atau terpenuhi untuk setiap kenaikan kadar plastik yang diberikan. Nilai VMA yang dihasilkan semakin meningkat seiring penggantian sebagian volume campuran agregat terhadap variasi kadar plastik Nilai VMA yang terlalu besar dapat menyebabkan aspal yang menyelimuti agregat menjadi tipis sehingga agregat dalam campuran mudah lepas dan campuran menjadi tidak kedap air sehingga mudah teroksidasi dan campuran menjadi tidak awet.
 - 2) Nilai VIM setelah dilakukan penggantian sebagian volume campuran agregat terhadap variasi plastik menjadi semakin meningkat menjauhi nilai batas spesifikasi yang diizinkan oleh Bina Marga yakni maksimal 5%. Nilai VIM yang terlalu tinggi akan

- menyebabkan campuran cenderung rapuh, mempunyai kecenderungan retak dini dan kemungkinan akan terjadi pengelupasan partikel.
- 3) Nilai VFB menjadi menurun seiring digantinya sebagian volume campuran agregat terhadap variasi kadar plastik pada rentang 0% sampai 6% dan mulai meningkat setelah penggantian selanjutnya sampai dengan 8%. Nilai VFB yang didapatkan tersebut secara keseluruhan melewati batas spesifikasi yang diizinkan yakni minimal 65%. Nilai VFB yang terlalu kecil akan berdampak kepada keawetan dan kelenturan dari campuran aspal itu sendiri.
 - 4) Nilai stabilitas yang didapatkan menjadi semakin meningkat seiring penggantian sebagian volume campuran agregat terhadap kadar plastik pada rentang 0% sampai dengan 6% dan menurun pada penggantian selanjutnya sampai rentang 8%. Semakin meningkatnya nilai stabilitas yang terlalu tinggi dapat mengakibatkan campuran menjadi lebih kaku dan dapat menyebabkan campuran menjadi mudah mengalami cracking atau retak.
 - 5) Nilai kelelahan atau flow yang dihasilkan akibat penggantian sebagian volume campuran agregat terhadap variasi plastik menjadi semakin menurun pada rentang 0% sampai 4% namun masih dalam batas spesifikasi kelelahan yang diizinkan dan tetap menurun seiring penggantian sebagian volume campuran agregat dengan variasi plastik sampai dengan 6% lalu meningkat pada penggantian variasi plastik sebanyak 8%. Nilai kelelahan yang semakin menurun mengakibatkan campuran kehilangan kelenturan atau perubahan bentuk plastis campuran beraspal terhadap beban sehingga campuran menjadi lebih kaku dan getas.
 - 6) Nilai Marshall Quotient akibat penggantian sebagian volume campuran agregat terhadap variasi plastik menjadi semakin meningkat pada rentang 0% sampai 6% dan menurun pada penggantian variasi plastik selanjutnya yang mana nilai Marshall Quotient tersebut masih masuk dalam spesifikasi yakni minimal 200 kg/mm. Nilai Marshall Quotient yang terlalu tinggi dapat memungkinkan semakin meningkatnya kekakuan suatu campuran dan semakin rentannya campuran terhadap keretakan.
- c. Substitusi plastik pada perkerasan beraspal yang masih dapat digunakan pada variasi 0.1% – 4% terhadap total berat agregat. Hal ini dikarenakan pada variasi tersebut tidak terlalu menjauhi spesifikasi yang diizinkan oleh Departemen Bina Marga.
 - d. Berdasarkan karakteristik Marshall yang diperoleh setelah dilakukan substitusi pada campuran beraspal dengan kadar aspal optimum 6% terhadap berat total campuran mengakibatkan campuran menjadi lebih kaku dan getas, rentan terhadap kehancuran, pelepasan partikel agregat dan mengurangi keawetan dan kelenturan campuran.
 - e. Berdasarkan parameter stabilitas dan flow pada campuran dengan substitusi plastik didapatkan campuran lebih tahan terhadap deformasi plastis, kerusakan pada permukaan, dan kuat dalam menahan beban lalu lintas.
 - f. Jenis perkerasan beraspal dengan substitusi plastik dapat digunakan untuk jalan yang membutuhkan perlakuan khusus atau yang membutuhkan kekuatan yang tinggi, atau pada perkerasan yang sering mengalami kerusakan alur seperti jalan pada persimpangan atau daerah jalan pada persimpangan kereta api dengan diberikan karet pengunci pada tepian antara aspal dan rel kereta api yang berfungsi sebagai peredam getaran dan pengunci campuran perkerasan aspal. Perkerasan dengan substitusi plastik juga dapat digunakan pada lapisan atas dari perkerasan kaku atau semen sehingga kekurangan dari perkerasan kaku berupa kurangnya kenyamanan diakibatkan permukaan yang tidak rata menjadi semakin berkurang diakibatkan oleh penghamparan campuran pada lapisan atas.
 - g. Untuk lebar jalan minimum dengan ukuran 7 m dengan tebal perkerasan beraspal 6 cm, dengan jarak 1 km dapat mengurangi jumlah biaya perkerasan seb (Dipohusodo, 2004)anyak Rp. 78.720.030 dan mengurangi jumlah limbah plastik sebanyak 12.933,99 kg.
 - h. Dapat mengurangi penggunaan agregat dalam perkerasan beraspal dan mengurangi penumpukan limbah plastik karena limbah plastik tidak perlu diolah dengan biaya yang besar sehingga pencemaran lingkungan menjadi semakin berkurang.

REFERENSI

- Dipohusodo, I., 2004, Manajemen Proyek dan Kontruksi – Jilid I. KANISIUS, Yogyakarta
- Dirjen Bina Marga, (1999), PEDOMAN PERENCANAAN CAMPURAN BERASPAL DENGAN KEPADATAN MUTLAK. Jakarta: PT. Mediatama Septakarya.
- Dirjen Bina Marga, (2010), Spesifikasi Umum 2010 (Revisi 3). Jakarta: Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- McCarthy, N., (2020), The Countries Polluting The Oceans The Most. [Online] Available at: <https://www.statista.com/chart/12211/the-countries-polluting-the-oceans-the-most/> [Diakses 20 Juli 2020].
- Soehartono, I., (2015), Teknologi Aspal dan Penggunaannya. Yogyakarta: Penerbit ANDI.
- Steven, M., (2001), Kimia Polimer. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Tenriajeng, A. T., (1999), Rekayasa Jalan Raya - 2. Jakarta: Universitas Gunadarma.