

APLIKASI *RESPONSE SURFACE METHODOLOGY* (RSM) UNTUK MENINGKATKAN STABILITAS CAMPURAN AC-WC BERBASIS LIMBAH PLASTIK PET

Franky E. P. Lopian¹, M. Tumpu², Irianto¹, Mansyur³

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Yapis Papua, Jayapura, Indonesia

²Program Studi S2 Manajemen Bencana, Sekolah Pascasarjana, Universitas Hasanuddin, Makassar, Indonesia

³Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sembilanbelas November, Kolaka, Indonesia

*Email: lapianedwin@gmail.com

Abstrak

Penggunaan bahan tambah dalam campuran beton aspal menjadi suatu pilihan. Ada banyak hal ketika diputuskan menggunakan bahan tambah dalam campuran aspal, salah satunya untuk meningkatkan kinerja campuran terutama dalam hal kinerja campuran beraspal dan hal ketahanan beton aspal menahan pembebanan berulang di jalan. Adapun dalam penelitian ini menggunakan limbah plastik (polimer mutu rendah) sebagai bahan tambah. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan kondisi optimum proses campuran aspal dengan bahan tambah limbah plastik PET dalam sistem model, menggunakan RSM. Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu menggunakan Response Surface Methodology (RSM) yang mana dalam perhitungannya menggunakan desain Expert 8.0.6 (Stat-Ease, Inc., Minneapolis, MN, USA). Dengan menggunakan Box Behnken Design dan 3 level factorial dihasilkan run 17 percobaan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variabel independen (faktor X) yang diteliti, berturut-turut adalah X1: rasio antara PET terhadap Asbuton, X2: temperatur pencampuran, dan X3: waktu pencampuran. Sebagai respon (Y) adalah karakteristik Marshall.

Kata kunci: limbah plastik, response surface methodology (RSM), stabilitas

Abstract

The use of additives in asphalt concrete mixtures becomes an option. There are many factors to consider when deciding to use additives in asphalt mixtures, one of which is to enhance the performance of the mixture, especially in terms of asphalt mixture performance and the resistance of asphalt concrete to repeated loading on the road. In this study, low-grade plastic waste (PET polymer) is used as an additive. This study aims to determine the optimum conditions of the asphalt mixing process with PET plastic waste additives in a model system, using Response Surface Methodology (RSM). The method used in this study is Response Surface Methodology (RSM), with calculations using Expert 8.0.6 (Stat-Ease, Inc., Minneapolis, MN, USA) design. By using Box Behnken Design and a 3-level factorial, 17 experiments were conducted. The results of the study indicate that the independent variables (factor X) investigated are, respectively, X1: the ratio of PET to Asbuton, X2: mixing temperature, and X3: mixing time. The response (Y) is Marshall characteristics.

Keywords: plastic waste, response surface methodology (RSM), stability

1. PENDAHULUAN

Bertambahnya beban lalu lintas baik dari segi jumlah dan beban sumbu serta ditambah dengan pengaruh lingkungan dimana Indonesia beriklim tropis menjadi alasan banyak ditemukannya kerusakan dini dari perkerasan jalan. Berbagai macam modifikasi untuk meningkatkan mutu perkerasan jalan terus dilakukan untuk mengatasi permasalahan tersebut. Peningkatan mutu perkerasan beraspal dapat diperoleh dengan cara memodifikasi aspal sehingga menjadi lebih *superior* atau dengan cara menambahkan suatu bahan tambah pada campuran beraspal.

Salah satu bahan tambah yang umum digunakan adalah polimer. Plastik yang sering

kita gunakan sehari-hari mengandung polimer yang bersifat *plastomer* dan berpotensi untuk digunakan sebagai bahan tambah perkerasan jalan. Oleh sebab itu dalam penelitian ini dikaji kinerja campuran beraspal yang menggunakan bahan tambah limbah plastik berdasarkan percobaan di laboratorium. Berbagai penelitian telah dilakukan untuk mengevaluasi campuran beraspal yang menggunakan plastik sebagai bahan tambah.

Ahmadinia E. *et al.*, 2011 melakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh penggabungan limbah botol plastik (*Polyethylene Terephthalate* (PET)) pada sifat rekayasa batu pecah di dalam campuran aspal (SMA). Hasilnya menunjukkan bahwa dengan penambahan PET

memiliki efek positif. Deshmukh R. S. *et al.*, 2015 menyelidiki penggunaan limbah plastik dan ban bekas pada campuran serta mengurangi masalah lingkungan dari bahan yang tidak dapat terurai sendiri. Dengan penambahan limbah plastik dan ban bekas dapat meningkatkan kinerja dan kualitas dari campuran beton aspal. Penambahan ban bekas pada campuran dapat mengurangi polusi suara pada jalan dengan lalu lintas berat.

Mohammed E. M. *et al.*, 2014 mengevaluasi penambahan beberapa jenis polimer pada beton aspal. Penambahan persentase dalam keadaan optimum meningkatkan viskositas kinematik, stabilitas, *indirect tensile strength*, dan mengurangi penetrasi. Kumar D. O. D., 2014 menyelidiki pengaruh perkerasan lentur menggunakan limbah plastik. Hasil penelitiannya bahwa dengan penggunaan limbah plastik ke dalam perkerasan lentur dapat memperkuat perkerasan, mengurangi terjadinya kerusakan seperti lubang dan alur, dapat menahan pembebanan berat, mengurangi konsumsi aspal dalam campuran sehingga biaya konstruksi berkurang, menambah umur jalan.

Dalam penelitian-penelitian yang berkaitan dengan optimasi dewasa ini telah dikembangkan penggunaan suatu metode yang disebut *response surface methodology (RSM)*, yaitu suatu kumpulan teknik penyelesaian

masalah dengan menggunakan matematika dan statistik dalam bentuk model matematika atau fungsi dan menganalisis masalah tersebut, respons yang ingin dicapai dipengaruhi oleh beberapa peubah sehingga respons tersebut berada pada titik optimumnya (Montgomery, 1991). Metode statistik ini dapat memperhitungkan kontribusi dua atau lebih faktor dalam sebuah eksperimen. Metode ini juga bisa memperkirakan interaksi antara faktor-faktor yang diamati. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan kondisi optimum proses campuran aspal dengan bahan tambah limbah plastik PET dalam sistem model, menggunakan RSM.

2. MATERIAL DAN METODE

2.1. Karakteristik Fisik Agregat

Tabel 1 sampai dengan Tabel 3 masing-masing memperlihatkan karakteristik agregat halus (abu batu), karakteristik agregat kasar dan karakteristik *filler* dari abu batu yang telah dilakukan. Berdasarkan dari hasil pengujian karakteristik agregat kasar (batu pecah), abu batu, serta *filler* abu batu yang ditampilkan terlihat bahwa agregat yang digunakan memenuhi Spesifikasi Umum Tahun 2010 Bina Marga untuk bahan jalan yang disyaratkan.

Tabel 1
Hasil pemeriksaan karakteristik abu batu

No.	Pemeriksaan	Hasil uji	Spesifikasi		Satuan
			Min	Max	
1	Penyerapan Air	2,79	-	3,0	%
	Berat Jenis Bulk	2,45	2,5	-	-
2	Berat Jenis SSD	2,52	2,5	-	-
	Berat Jenis Semu	2,63	2,5	-	-
3	Sand Equivalent	89,66	50	-	%

Tabel 2
Karakteristik sifat fisik agregat kasar

No.	Pemeriksaan	Hasil uji	Spesifikasi		Satuan
			Min	Max	
Penyerapan air					
1	Batu pecah 5 – 10 mm	2,07	-	3,0	%
	Batu pecah 1 - 2 cm	2,08	-	3,0	%
Berat Jenis					
2	Batu pecah 0,5 - 1 cm				
	Berat Jenis Bulk	2,62	2,5	-	-
	Berat Jenis SSD	2,67	2,5	-	-
	Berat Jenis Semu	2,77	2,5	-	-
	Batu Pecah 1 - 2 cm				

Tabel 2 Lanjutan

No.	Pemeriksaan	Hasil uji	Spesifikasi		Satuan
			Min	Max	
2	Berat Jenis Bulk	2,62	2,5	-	-
	Berat Jenis SSD	2,68	2,5	-	-
	Berat Jenis Semu	2,77	2,5	-	-
Indeks Kepipihan					
3	Batu Pecah 0,5 - 1 cm	20,10	-	25	%
	Batu pecah 1 - 2 cm	9,38	-	25	%
Keausan Agregat					
4	Batu Pecah 0,5 - 1 cm	25,72	-	40	%
	Batu Pecah 1 - 2 cm	24,36	-	40	%

Tabel 3

Hasil pemeriksaan karakteristik *filler* (abu batu)

No.	Pemeriksaan	Hasil uji	Spesifikasi		Satuan
			Min	Max	
1	Penyerapan Air	2,28	-	3,0	%
2	Berat Jenis Bulk	2,60	2,5	-	-
	Berat Jenis SSD	2,65	2,5	-	-
	Berat Jenis Semu	2,76	2,5	-	-
3	Sand Equivalent	69,57	50	-	%

2.2. Karakteristik Asbuton Modifikasi

Tabel 4

Hasil pemeriksaan karakteristik Asbuton modifikasi

No	Pengujian	Hasil	Spesifikasi	
			Min	Max
1	Penetrasi sebelum kehilangan berat (mm)	78,6	60	79
2	Titik Lembek (°C)	52	48	58
3	Daktalitas pada 25°C, 5cm/menit (cm)	114	100	-
4	Titik nyala (°C)	280	200	-
5	Berat jenis	1,12	1	-
6	Penurunan berat (%)	0,3	-	0,8
7	Penetrasi setelah kehilangan berat (mm)	86	54	-

Tabel 4 memperlihatkan hasil pengujian Asbuton modifikasi yang telah dilakukan. Hasil pemeriksaan karakteristik Asbuton modifikasi yang ditampilkan pada Tabel 4 menunjukkan bahwa aspal yang digunakan pada penelitian ini telah memenuhi spesifikasi yang telah disyaratkan oleh Spesifikasi Umum 2010 Revisi 3, seksi 6 tentang perkerasan beraspal.

2.3. Mix Design Campuran AC-WC

Agregat yang digunakan yaitu agregat kasar berupa batu pecah yang berukuran 1-2 cm dan batu pecah yang berukuran 0,5-1 cm, serta menggunakan agregat halus yang tertahan saringan nomor 200 atau abu batu dan lolos saringan nomor 200 yaitu *filler*. Mix design yang dihasilkan digunakan untuk membuat benda uji Marshall. Gradasi laston lapis Aus berdasarkan ketentuan spesifikasi 2010 revisi 3 diperlihatkan pada Tabel 5.

Tabel 5
Gradasi agregat gabungan laston (Spesifikasi 2010, rev. 3)

Ukuran Ayakan (mm)	% Berat Yang Lolos terhadap Total Agregat dalam Campuran								
	Latasir (SS)		Lataston (HRS)				Laston (AC)		
	Gradasi Senjang3			Gradasi Semi Senjang 2					
	Kelas A	Kelas B	WC	Base	WC	Base	WC	BC	Base
37,5									100
25								100	90 - 100
19	100	100	100	100	100	100	100	90 - 100	76 - 90
12,5			90 - 100	90 - 100	87 - 100	90 - 100	90 - 100	75 - 90	60 - 78
9,5	90 - 100		75 - 85	65 - 90	55 - 88	55 - 70	77 - 90	66 - 82	52 - 71
4,75							53 - 69	46 - 64	35 - 54
2,36		75 - 100	50 - 723	35 - 553	50 - 62	32 - 44	33 - 53	30 - 49	23 - 41
1,18							21 - 40	18 - 38	13 - 30
0,600			35 - 60	15 - 35	20 - 45	15 - 35	14 - 30	12 - 28	10 - 22
0,300					15 - 35	5 - 35	9 - 22	7 - 20	6 - 15
0,150							6 - 15	5 - 13	4 - 10
0,075	10 - 15	8 - 13	6 - 10	2 - 9	6 - 10	4 - 8	4 - 9	4 - 8	3 - 7

Catatan:

1. Untuk HRS-WC dan HRS-Base yang benar-benar senjang, paling sedikit 80% agregat lolos ayakan No.8 (2,36 mm) harus lolos ayakan No.30 (0,600 mm). Lihat Tabel 6.3.2.4 sebagai contoh batas-batas “Bahan Bergradasi Senjang” di mana bahan yang lolos No. 8 (2,36 mm) dan tertahan pada ayakan No.30 (0,600 mm).
2. Untuk semua jenis campuran, rujuk Tabel 1. (b) untuk ukuran agregat nominal maksimum pada tumpukan bahan pemasok dingin.

2.4. Pengujian Model Eksperimen dengan RSM

Pengujian model eksperimen dilakukan dengan menggunakan metode *Response Surface Methodology* (RSM) dengan didasarkan pada Box-Behnken Design (BBD). Model kuadratik dan masing-masing variabel bervariasi pada tiga tingkatan. Desain Expert 8.0.6 (Stat-Ease, Inc., Minneapolis, MN, USA) digunakan untuk analisis regresi data eksperimental dan untuk

memplot permukaan respons. Persamaan polinomial kuadrat orde kedua digunakan untuk mengevaluasi efek utama dan interaksi masing-masing variabel independen terhadap respons seperti yang diberikan oleh persamaan 1.

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^n \beta_i X_i + \sum_{i < j}^n \beta_{ij} X_i X_j + \sum_{j=1}^n \beta_{jj} X_j^2 \quad (1)$$

Di mana Y mewakili respon eksperimen, i dan j masing-masing adalah koefisien linear dan kuadrat, β adalah koefisien regresi, n adalah jumlah variabel yang dipelajari dalam percobaan, dan X_i adalah faktor (variabel independen). Dalam eksperimen ini, variable independent (faktor X) yang diteliti, berturut-turut adalah X1: rasio antara PET terhadap Asbuton, X2: temperatur pencampuran, dan X3: waktu pencampuran. Sebagai respon (Y) adalah karakteristik Marshall. Tabel BBD yang akan dibuat direncanakan diperlihatkan pada Tabel 6.

Tabel 6
Desain eksperimental BBD

Run	Variabel independen ^a			Respons:						
	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3	Karakteristik Marshall						
	A: rasio PET terhadap Asbuton	B: temperatur pencampuran (°C)	C: waktu pencampuran	1	2	3	4	5	6	7
1	-1	0	+1							
2	0	0	-1							
3	0	0	+1							
4	0	-1	-1							
5	0	0	0							
6	0	-1	0							
7	0	0	0							
8	-1	0	0							
9	+1	0	0							
10	+1	+1	0							
11	0	0	+1							
12	0	-1	+1							
13	0	0	0							
14	+1	0	-1							
15	0	-1	0							
16	-1	0	0							
17	-1	+1	0							

Keterangan:

^a -1, 0, dan +1 menunjukkan Variasi tingkat variabel independen, yang menunjukkan tiga tingkatan: rendah (-1), sedang (0), tinggi (+1). Pengisian angka-angka untuk variabel -1, 0, dan +1, akan disesuaikan dengan hasil-hasil dari eksperimen pendahuluan.

^b Karakteristik Marshall yang akan diamati berupa tujuh komponen, yaitu (1) stabilitas, (2) flow, (3) Marshall Quotient, (4) VIM, (5) VMA, (6) VFB, dan (7) kepadatan.

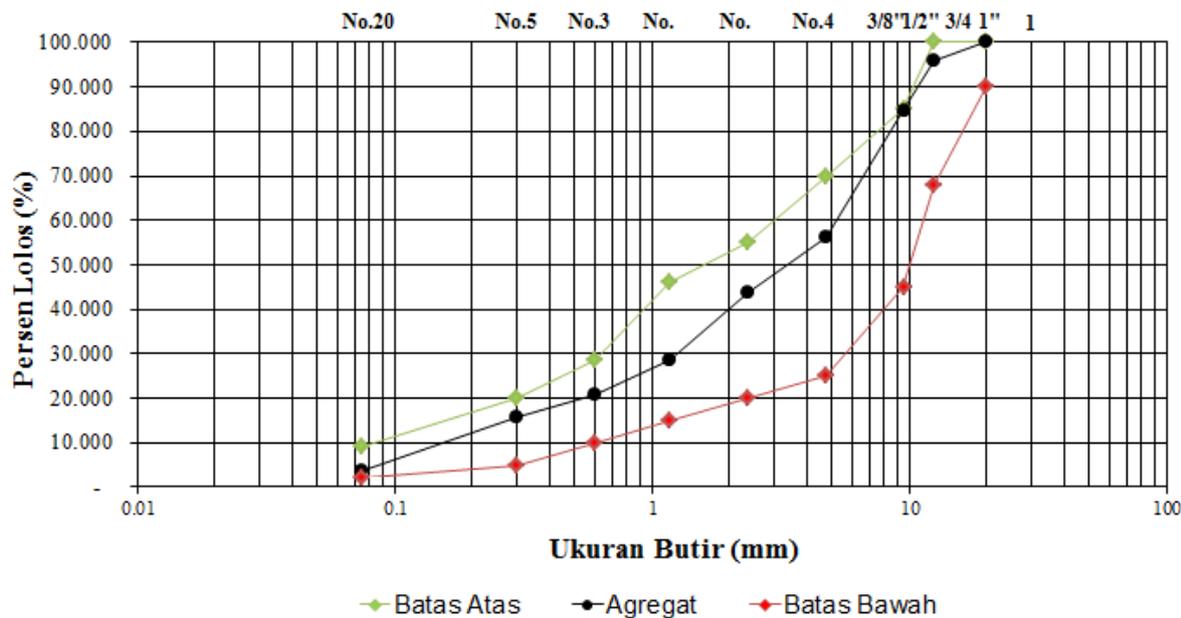
Hasil yang didapatkan dalam pemodelan RSM adalah variabel-variabel yang dapat mempengaruhi karakteristik Marshall campuran AC-WC dengan menggunakan limbah plastik

sebagai bahan tambah dan Asbuton modifikasi sebagai bahan pengikat.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Gradasi Agregat Gabungan Campuran AC-WC

Gambar 1 terlihat bahwa rancangan agregat gabungan atau gradasi agregat gabungan yang dibuat telah berada dalam interval spesifikasi standar sesuai dengan Spesifikasi Umum Pekerjaan Jalan oleh Bina Marga Tahun 2010 dan telah memenuhi persyaratan untuk lapis permukaan sehingga dapat diperoleh rancangan campuran atau *mix design* yang optimal.



Gambar 1. Gradasi agregat gabungan

3.2. Hasil Pemodelan Menggunakan RSM (*Response Surface Methodology*)

Tahap penentuan titik-titik optimum secara simultan dengan RSM dilakukan dengan 2 cara, yaitu dengan eksperimen manual terhadap 17 kombinasi dari ketiga parameter dan dengan perhitungan menggunakan program RSM. Langkah pertama yang harus dilakukan adalah menentukan parameter mana yang dinyatakan sebagai X1, X2 dan X3. Biasanya dalam RSM waktu dan suhu dipilih sebagai X1 dan X2 sedangkan parameter lain dinyatakan sebagai X3 (Montgomery, 1991). Karena itu dalam sistem ini pun dinyatakan sebagai X1 adalah rasio PET terhadap Asbuton, temperatur pencampuran adalah X2 dan X3 adalah waktu pencampuran.

Dari masing-masing peubah X, ditentukan titik minimum sebagai titik tengah dan diberikan kode kemudian ditentukan titik bawah tak kode dan titik atas tak kode berupa titik-titik di bawah dan di atas titik tengah dengan interval 5. Untuk mempermudah penulisan dibuat dibuat suatu kode, yaitu -1 untuk titik bawah, 0 untuk titik tengah atau optimum, dan 1 untuk titik atas. Dari kode-kode diatas dibuat 17 macam kombinasi seperti pada Tabel 7. Bila dilihat dengan cermat sebenarnya hanya 14 kombinasi yang dibutuhkan namun untuk titik optimumnya, yaitu kombinasi ke-14, dibuat sebanyak 3 kali ulangan sehingga seluruhnya menjadi 17 macam kombinasi. Tabel 7 memperlihatkan hasil *box-behnken design experiment* berdasarkan RSM untuk pengujian benda uji.

Tabel 7 Hasil box-behnken design experiment berdasarkan RSM untuk pengujian benda uji

Run	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3	Response 1	Response 2	Response 3
	A:Rasio PET:Asbuton	B:Rasio PET:Agregat	C:Waktu Pencampuran	MQ (kN/mm)	VIM (%)	Densitas (g/cm ³)
1	0.24 (0)	0.016 (0)	20	700	2	2200
2	0.34 (+1)	0.016 (0)	25	600	3	2300
3	0.24 (0)	0.02 (+1)	25	650	4	2250
4	0.24 (0)	0.016 (0)	20	550	3	2200
5	0.24 (0)	0.009 (-1)	25	650	3.5	2230
6	0.24 (0)	0.016 (0)	20	540	3.5	2400
7	0.24 (0)	0.02 (+1)	15	580	4.5	2100
8	0.34 (+1)	0.02 (+1)	20	600	3	2300
9	0.14 (-1)	0.016 (0)	25	650	4	2250
10	0.34 (+1)	0.016 (0)	15	550	3	2200
11	0.14 (-1)	0.016 (0)	15	650	3.5	2230

Tabel 7 lanjutan

Run	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3	Response 1	Response 2	Response 3
	A:Rasio	B:Rasio	C:Waktu	MQ	VIM	Densitas
	PET:Asbuton	PET:Agregat	Pencampuran	(kN/mm)	(%)	(g/cm ³)
12	0.34 (+1)	0.009 (-1)	20	540	3.5	2400
13	0.24 (0)	0.016 (0)	20	580	4.5	2100
14	0.24 (0)	0.016 (0)	20	650	3.5	2230
15	0.14 (-1)	0.009 (-1)	20	540	3.5	2400
16	0.14 (-1)	0.02 (+1)	20	580	4.5	2100
17	0.24 (0)	0.009 (-1)	15	600	3	2300

Metode ini menggabungkan teknik matematika dengan teknik statistika yang digunakan untuk membuat dan menganalisa suatu respon Y yang dipengaruhi oleh beberapa variabel bebas atau faktor X guna mengoptimalkan respon tersebut. Tabel 8 memperlihatkan *fit summary analysis of variance* untuk variabel bebas terhadap response (variabel

tak bebas). Hubungan antara Y dan Xi dapat dicari menggunakan orde pertama dan orde kedua, dimana model orde pertama digunakan untuk mencari daerah optimal dan model orde kedua digunakan untuk mencari titik optimal. Tabel 9 memperlihatkan *regression coefficients of response variables*.

Tabel 8

Fit summary analysis of variance untuk variabel bebas terhadap response (variabel tak bebas)

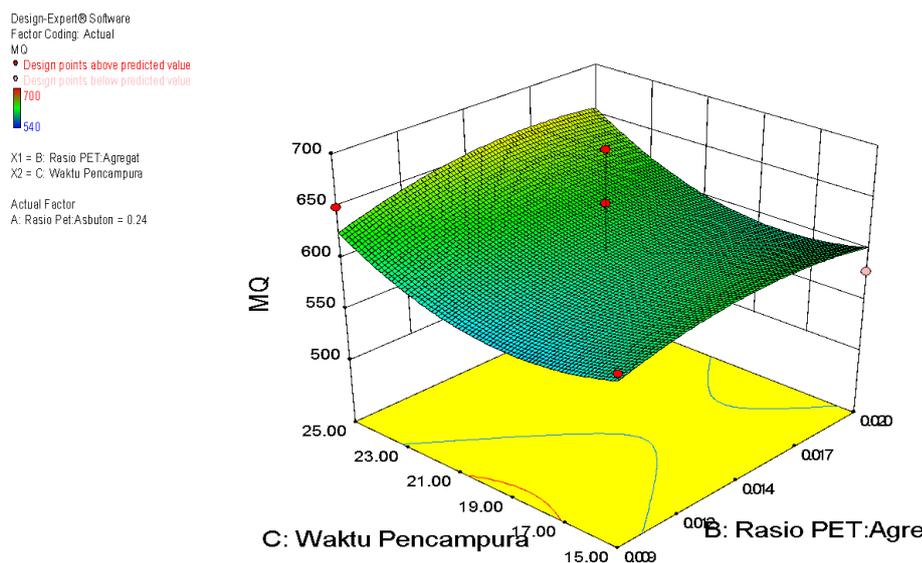
	P-value	Predicted R-Squared	Adjusted R-Squared	Selection
Linear	0.0112	0.1710	0.4605	
2FI	0.5286	-0.4542	0.4325	
Quadratic	0.0114	-0.2516	0.8177	Suggested
Cubic	0.0008		0.9933	Aliased

Tabel 9

Regression coefficients of response variables

Sumber	Response	
	Coefficients	P-value
Intercept	604.00	0.0043
A	16.25	0.0033*
B	10.00	0.5728
C	21.25	0.0236*
AB	5.00	0.3326
AC	12.50	0.0517
BC	5.00	0.4080
A ²	-23.25	0.0030*
B ²	-5.75	0.4626
C ²	31.75	0.1112

Gambar 2 memperlihatkan model grafik dari pengaruh interaksi 3 variabel terhadap nilai MQ.



Gambar 2. Model grafik dari pengaruh interaksi 3 variabel terhadap nilai MQ

Model persamaan kuadratik polinomial untuk nilai optimum MQ diperlihatkan pada persamaan 2.

$$MQ = 604.00 + 16.25A + 10.00B + 21.25C + 5.00AB + 12.50AC + 5.00BC - 23.25A^2 - 5.75B^2 + 31.75C^2 \quad (2)$$

di mana

A adalah Rasio PET : Asbuton

B adalah Rasio PET : Agregat

C adalah Waktu Pencampuran (menit)

KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini adalah variabel independen (faktor X) yang diteliti, berturut-turut adalah X1: rasio antara PET terhadap Asbuton, X2: temperatur pencampuran, dan X3: waktu pencampuran. Sebagai respon (Y) adalah karakteristik Marshall.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmadinia E. *et al.* 2011. Using Waste Plastic Bottles as Additive for Stone Mastic Asphalt. *Materials and Design* 32 (2011): 4844 – 4849.
- ASTM D6931 – 12, Standard Test Method for Indirect Tensile (IDT) Strength of Bituminous Mixtures.
- Birgisson, B., A. Montepara, E. Romeo, R., Roncella, J. A. L., Napier, G., Tebaldi., 2008. Determination and prediction of crack patterns in hot mix asphalt (HMA) mixtures. *Science Direct, Construction and Building Materials*, hal. 664 -673.
- Departemen Pekerjaan Umum, Direktorat Jenderal Bina Marga, 2000. Buku 1. Pemanfaatan Asbuton. Umum No : 001-01/BM/2006. Pekerjaan Umum, Direktorat Jenderal Bina Marga, 2006.
- Deshmukh R. S. *et al.* 2015. Use of Non – Biodegradable Material in Bituminous Pavements. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE)*.
- Erliza & Sutedja. 1987. Pengantar Pengemasan. Laboratorium Pengemasan, Jurusan TIP. IPB. Bogor.
- Jambeck R. J. 2015. Plastic waste inputs from land into the ocean. www.sciencemag.org.
- Mohammed E. M. *et al.* 2014. Performance Evaluation of Polymer Modified Asphalt Mixtures. *International Journal of ICT-aided Architecture and Civil Engineering*.
- Mote VD, Y Purushotham, BN Dole, “Williamson-Hall analysis in estimation of lattice strain in nanometer-sized ZnO particles” in *Journal of Theoretical and Applied Physics* 2012,6:6.
- SNI 06-2489-1991, Metode Pengujian Campuran Aspal Dengan Alat Marshall, Badan Standar Nasional Jakarta.
- Spesifikasi Umum Bina marga Divisi 6. (2010). Perkerasan Aspal. Direktorat Jendral Bina marga.
- Suryana A., Inventory on Solid Bitumen Sediment Using ‘Outcrop Drilling’ in Southern Buton Region, Buton Regency, Province Southeast Sulawesi, Colloquium on Result Activities of Mineral Resources Inventory. - DIM, the TA. 2003, Directorate Mineral (Bandung, in Indonesian).
- Tayfur S., Ozen H., Aksoy A., 2005. Investigation of rutting performance of

- asphalt mixtures containing polymer modifiers. ScienceDirect, Construction and Building Materials, hal. 328 -337.
- Tjaronge, M.W. and Rita Irmawaty. 2012. Influence of Water Immersion on Physical Properties of Porous Asphalt Containing Liquid Asbuton as Bituminous Asphalt Binder.
- Wikipedia. 2016 a. *Plastik*, (*Online*), (<https://id.wikipedia.org/wiki/Plastik> diakses pada 18 Agustus 2016).