

PENGARUH PENGGUNAAN ZEOLIT ALAM TERHADAP KARAKTERISTIK CAMPURAN WARM MIXED ASPHALT

Puri Nurani

Dosen Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Malang

Jl Soekarno-Hatta No 9 (65141) Telp: (0431) - 404424 - 404425 - Fax (0341) 404420

bundapuri@gmail.com

Abstract

Land transportation infrastructure in Indonesia, one of the infrastructure requires careful planning, in addition to road and pavement geometric, natural zeolite from Malang south as a mixture of Warm Mixed Asphalt (WMA) by adding 5%, 10%, 15%, 20% Zeolite nature, of the value of Optimum Asphalt Content (KAO) is expected to increase the value of stability, melting dibandingkan value without zeolite. Terms of aggregates and asphalt to follow the standards of Highways, taken Siwo aggregate asphalt Subang area of Cilacap with pen - 60/70 method used in this research is the method of Marshall, to seek KAO and chemical activation method for activating Zeolite which, Zeolite filtered No. 200, then is added HCl (153 ml of HCl for 25 kg), at the boil for 2 hours, then cooled, using dicentrifuge, plus distilled water and then Cetrifuge (rotated), the capacity of the rinse water, check with added AgNO₃ (silver nitrate), if after plus (AgNO₃), no deposits, then Zeolite should be rinsed again with distilled water until no more precipitate, Zeolite, diangin - aired, check the moisture content, the range (18-24)%. Characteristics The mixture consisted of stability, melting (flow), cavity filled with bitumen (VFB), cavities in the mix (VIM), cavity between the aggregate (VMA), density and Marshall Qoutient. Optimum Asphalt levels (KAO) gained 6.07%, (the largest is taken as seen from the mixture) The result is stability cenderung ride, from without zeolite (0%) than in the zeolite (5%) the increase was 7.88%, while with the addition of (10%), an increase of 9.43%, the addition of natural zeolite (15%), stability down (1.94%), whereas in penambahan zeolite (20%) Stabilitis values began to drop in comparison without zeolite, at (3, 96%) Technical requirements zeolite min (800kg) without zeolite in research Stability worth 990.0. Melting or flow to all without adding zeolite or zeolite still meet the requirements of the (3 - 4,5) mm conclusion that the natural zeolite can be used for mixed warm mix asphalt (WMA), for persevering temperature, only 10% of natural zeolite from KAO (Levels Optimum bitumen).

Keywords: Natural zeolite, WMA mixture, mix Characteristics

Abstrak

Prasarana transportasi darat di Indonesia, salah satu prasarana yang memerlukan perencanaan yang matang, disamping geometrik jalan dan perkerasan jalan, zeolit alam dari Malang selatan sebagai campuran Warm Mixed Asphalt (WMA) dengan cara menambahkan 5%, 10%, 15%, 20% Zeolit alam, dari nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) di harapkan dapat meningkatkan nilai Stabilitas, nilai Kelelahan dibandingkan tanpa zeolit. Persyaratan agregat dan aspal mengikuti standar Bina Marga, agregat diambil Siwo daerah Subang aspal dari Cilacap dengan pen - 60/70 Metode yang dipakai dalam Penelitian ini adalah metode Marshall, untuk mencari KAO dan Metode Aktivasi kimia untuk mengaktifasi Zeolit Alam dimana, Zeolit Alam disaring No 200, kemudian ditam bahkan HCl (153 ml HCl untuk 25 kg), di didihkan selama 2 jam, lalu dinginkan, menggunakan dicentrifuge, ditambah Aquades lalu Cetrifuge (diputar), tampung air bilasan, cek dengan ditambahkan AgNO₃ (perak nitrat), jika setelah ditambah (AgNO₃), ada endapan, maka Zeolit Alam harus dibilas kembali dengan aquades sampai tidak ada endapan lagi, Zeolit Alam, diangin - anginkan, dicek kadar airnya, berkisar (18-24)%. Karakteristik Campuran terdiri dari Stabilitas, Pelelahan (flow), Rongga terisi aspal (VFB), Rongga dalam campuran (VIM), Rongga diantara agregat (VMA), Kepadatan dan Marshall Qoutient. Kadar Aspal Optimum (KAO) diperoleh 6,07%, (diambil yang terbesar karena dilihat dari campurannya) Hasilnya adalah Stabilitas cenderung naik, dari tanpa zeolit (0%) dari pada

dengan zeolit (5%) naiknya adalah 7,88%, sedang dengan penambahan (10%),meningkat 9,43%, penambahan zeolit alam (15%), stabilitas turun (1,94%), sedangkan pada penamban zeolit (20%) nilai Stabilitis mulai turun dibandingkan tanpa zeolit, sebesar (3,96%) Persyaratan teknis zeolit min (800kg) tanpa zeolit dalam penelitian Stabilitas nilainya 990,0. Pelelehan atau flow untuk semua penambahan zeolit maupun tanpa zeolit masih memenuhi persyaratan antara (3 – 4,5) mm Kesimpulan bahwa zeolit alam bisa digunakan untuk campuran warm mixed asphalt (WMA), untuk mempertahankan suhu, hanya 10% Zeolit alam dari KAO (Kadar Aspal Optimum).

Kata kunci : Zeolit alam, campuran WMA, Karakteristik campuran

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Prasarana transportasi darat di Indonesia, salah satu prasarana yang memerlukan perencanaan yang matang, disamping geometrik jalan dan perkerasan jalan. Selain itu, perlu dipikirkan kenyamanan dan ramah lingkungan. Transportasi darat dalam hal ini jalan raya, mendominasi sekitar 80-90% dari seluruh jalan di Jawa dan Sumatera, sementara kereta api hanya memiliki pangsa pasar sekitar 10,5% di Jawa, Dit.Jen. Perhubungan (2005), Data di Kementerian Pekerjaan Umum, menyebutkan, saat ini secara keseluruhan kondisi jalan nasional yang rusak 3800 km, hal ini diperkirakan \pm 10% dari total jalan nasional yang ada di Indonesia. saat ini mempunyai panjang total \pm 380.000 km. Kerusakan ini diperkirakan akan naik sampai \pm 17%, apabila curah hujan tinggi mengakibatkan banjir dimana-mana. termasuk menggenangi jalan raya (Bina Marga, 2012)

Warm Mixed Aspal (WMA) adalah Campuran Aspal Hangat, yaitu campuran yang pematatannya bersuhu rendah. Kadar air pemakaian Zeolit Alam diharapkan mampu diaktivasi secara kimia mempertahankan suhu rendah tersebut. Untuk mendapat kadar (18-24)% Zeolit Alam harus

dulu sebelum digunakan, agar dapat mempertahankan suhu.

TINJAUAN LITERATUR

Tingginya tingkat kerusakan pada perkerasan lentur atau *flexible pavement*, jalan di Indonesia, dapat dikaitkan dengan peningkatan yang signifikan lalu lintas atau kendaraan yang melintasi jalan raya, terutama kendaraan berat. Di Indonesia Jalan nasional, terutama jalan dengan perkerasan lentur, sering terjadi kerusakan diantaranya retak-retak atau *rutting* dan *Fatigue*. Dan sudah berbagai cara untuk mengatasi hal tersebut, namun hasil tetap tidak berumur panjang. Saat ini kondisi jalan nasional yang mantap mencapai 89 %, dan di akhir tahun 2012 ditargetkan 90,5% mantap, untuk mencapai secara bertahap pada tahun 2014 kondisi jalan mantap mencapai 94% dari keseluruhan 38.500 km jalan nasional Bina Marga (2012), sedangkan jalan kabupaten hingga akhir tahun 2010 sepanjang 359.010 km Renstra Bina Marga, 2 tahun terakhir (2013 - 2014) .Data kerusakan jalan nasional yang terbagi menjadi 3 wilayah. Wilayah satu meliputi pulau Sumatra mengalami kerusakan 11,84%, wilayah dua yang meliputi pulau Jawa, Bali, dan Kalimantan mengalami kerusakan 7,97%, dan wilayah tiga yang meliputi wilayah timur, Sulawesi, Maluku, Papua mengalami kerusakan 17,72% dari keseluruhan total. Perbaikan jalan yang dilakukan diharapkan dapat membantu percepatan pertumbuhan ekonomi, atau memberikan kontribusi terhadap program pemerintah, yang memang saat ini merupakan program prioritas Dirjen Bina Marga Bina Marga (2012) Meluasnya kerusakan-kerusakan tersebut, disebabkan bererapa faktor, diantaranya, beban kendaraan berat, akibat banjir, kinerja perkerasan jalan, kualitas bahan perkerasan dan pelaksanaan perkerasan itu sendiri. Untuk mengatasi kerusakan-kerusakan yang berupa *rutting*, penelitian ini mencari solusi dengan menawarkan teknologi

mencampuran hangat (Warm Mix Asphalt) untuk digunakan di Indonesia yang beriklim tropis. *Warm Mix Asphalt (WMA)*, merupakan teknologi pencampuran bahan perkerasan aspal untuk menurunkan suhu dan mempertahankan suhu tetap rendah, dengan penambahan additive, dimaksudkan penambahan additive kedalam campuran *WMA* untuk menstabilkan suhu tetap rendah, serta viscositas aspal tetap terjaga keencerannya meskipun dalam keadaan suhu rendah, sehingga tetap berfungsi mengisi pori-pori agregat dengan baik. Di Negara-negara lain yang beiklim dingin, teknologi *WMA* ini sudah banyak digunakan, karena musim dingin yang panjang, di Indonesia jarang menggunakan teknologi *WMA*, lebih kepada penggunaan *HMA* karena di Indonesia beriklim Tropis, penggunaan teknologi *WMA* di Indonesia, masih perlu pembuktian-pembuktian yang akurat melalui penelitian-penelitian, untuk meyakinkan penggunaannya, baik secara struktural, maupun pelaksanaan dilapangan untuk digunakan di Indonesia. Campuran *WMA* diperkirakan akan mengurangi suhu berkisar antara 50°F sampai 100°F ($\pm 10^{\circ}\text{C} - 37,8^{\circ}\text{C}$). dibandingkan campuran *HMA*. Pengurangan yang drastis seperti ini memiliki manfaat mengurangi penggunaan bahan bakar dan pengurangan biaya, serta manfaat bagi lingkungan, yaitu polusi udara Jones (2004) Studi awal telah dilakukan di Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang dengan menggunakan material zeolit alam dan agregat batuan piropilit . Penambahan *additive* zeolit alam, asal Malang selatan tidak memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kinerja campuran, *additive* zeolit alam hanya berpengaruh pada nilai flow dan *VMA*. Namun penelitian perlu dilanjutkan, karena hasil campuran beraspal hangat, kenyatatnya masih diatas 100°C, padahal permasalahannya campuran beraspal hangat diharapkan bersuhu $\pm 80^{\circ}\text{C}$ atau $<100^{\circ}\text{C}$. Penelitian yang dilakukan oleh Furqon Affandi (2011), Pengaruh Metode Aktivasi zeolit alam sebagai bahan penurun temperature campuran beraspal hangat, dengan metode beberapa aktivasi, hasil percobaan menyatakan bahwa metode aktivasi zeolit alam secara kimia tanpa pemanasan, telah menghasilkan cara yang paling baik, yang ditunjukkan dengan pererapan kadar air pada zeolit alam bisa mencapai 13,77 % atau dua kali lebih besar dari penyerapan air maksimum dengan metode lain. Oleh karena itu penelitian ini, akan meneliti kinerja campuran *WMA*, penelitian diharapkan dapat direkomendasikan, bahwa teknologi *WMA* bisa di gunakan di Indonesia, dengan segala kelebihan dan kekurangan seperti teknologi campuran *HMA*. Alasan lain mengapa penelitian di Indonesia, adalah bahwa, *Asphalt Mixed Plant*, tempat pencampuran material perkerasan beraspal, yang biasanya untuk perkerasan beraspal *Hot mix asphalt*, dan posisi lokasinya tidak selalu dekat dengan proyek-proyek jalan atau tempat penghamparan, sehingga beberapa pengiriman campuran perkerasan beraspal ke lapangan seringkali memakan waktu lama lebih dari waktu yang direncanakan, sehingga sampai ditempat penghamparan suhu campuran turun terlalu banyak, akibatnya campuran sulit dipadatkan dengan tandem, karena sifat fisik aspal mudah mencair kalau terkena panas, dan akan mengental apabila suhu aspal turun dengan cepat, akhirnya akan mengeras kembali, pada kondisi ini fungsi aspal sebagai perekat akan hilang, sehingga proses pemadatan tidak sempurna, mengakibatkan struktur lapisan perkerasan tidak sempurna menerima beban, karena antara agregat yang diikat dengan aspal menjadi lemah, campuran mudah mengelupas, berakibat pada kerusakan perkerasan permukaan jalan. Dengan memanfaatkan zeolit alam, diharapkan dapat menurunkan suhu lebih rendah 90°C untuk campuran beraspal hangat (*WMA*), sehingga hemat energi, ramah lingkungan, bebas polusi, serta meningkatkan kinerja campuran beraspal hangat.

METODE PENELITIAN

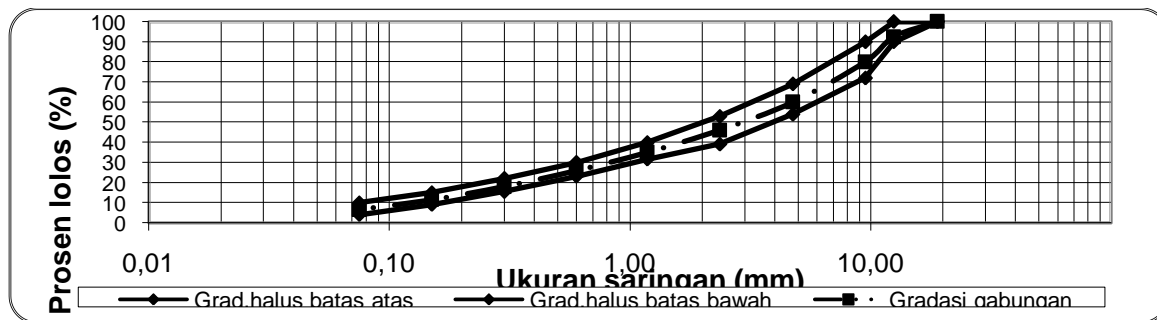
Metode yang dipakai dalam penelitian ini adalah metode Marshall, untuk mencari KAO dan Metode Aktivasi kimia untuk mengaktivasi Zeolit Alam dimana, Zeolit Alam disaring No 200, kemudian ditambahkan HCl (153 ml HCl untuk 25 kg), di didihkan selama 2 jam, lalu dinginkan,

menggunakan dicetrifuge, ditambah Aquades lalu Cetrifuge (diputar), tampung air bilasan, cek dengan ditambahkan $AgNO_3$ (perak nitrat), jika setelah ditambah ($AgNO_3$), ada endapan, maka Zeolit Alam harus dibilas kembali dengan aquades sampai tidak ada endapan lagi, setelah endapan tidak ada lagi, Zeolit Alam, diangin – anginkan, supaya, dicek sampai kadar air perlu (18-24)%. Prosedur Aktivasi zeolit alam yang telah dilakukan oleh Furqon Affandi (2011) yang tulis dalam artikelnya pada jurnal Jalan - Jembatan volume 28 No 1 April 2011 hal 1-8

PEMBAHASAN DAN HASIL

Tabel 1. Gradasi material yang dipakai

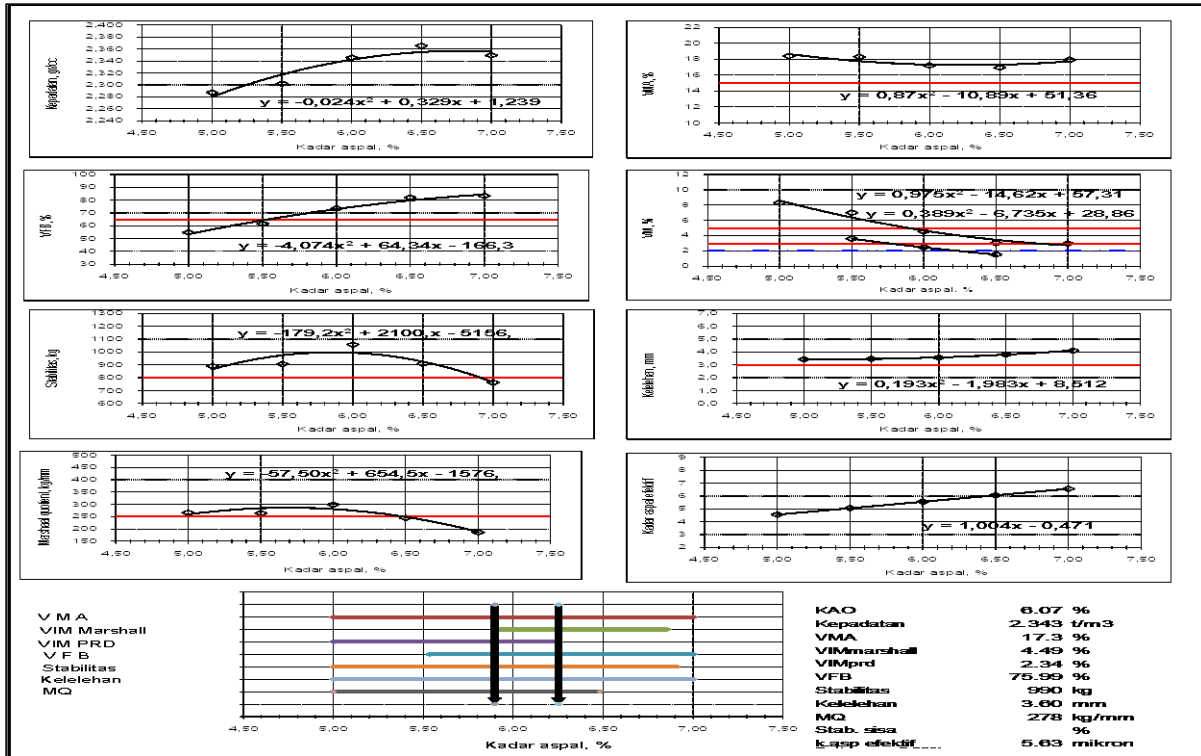
URAIAN	Ukuran Saringan									
	3/4" 19.0	1/2" 12.5	3/8" 9.5	#4 4.75	#8 2.36	#16 1.18	#30 0.600	#50 0.300	#100 0.150	#200 0.075
Gradasi gabungan	100.0	92.5	80.0	60.0	46.0	35.0	26.0	18.0	11.5	6.5
Gradasi Laston AC WC Halus'										
Maks.	100.0	100.0	90.0	69.0	53.0	40.0	30.0	22.0	15.0	10.0
Min.	100.0	90.0	72.0	54.0	39.1	31.6	23.1	15.5	9.0	4.0



Gambar 1. Gradasi yang dipakai

Tabel 2. Perhitungan Marshall Tanpa zeolit

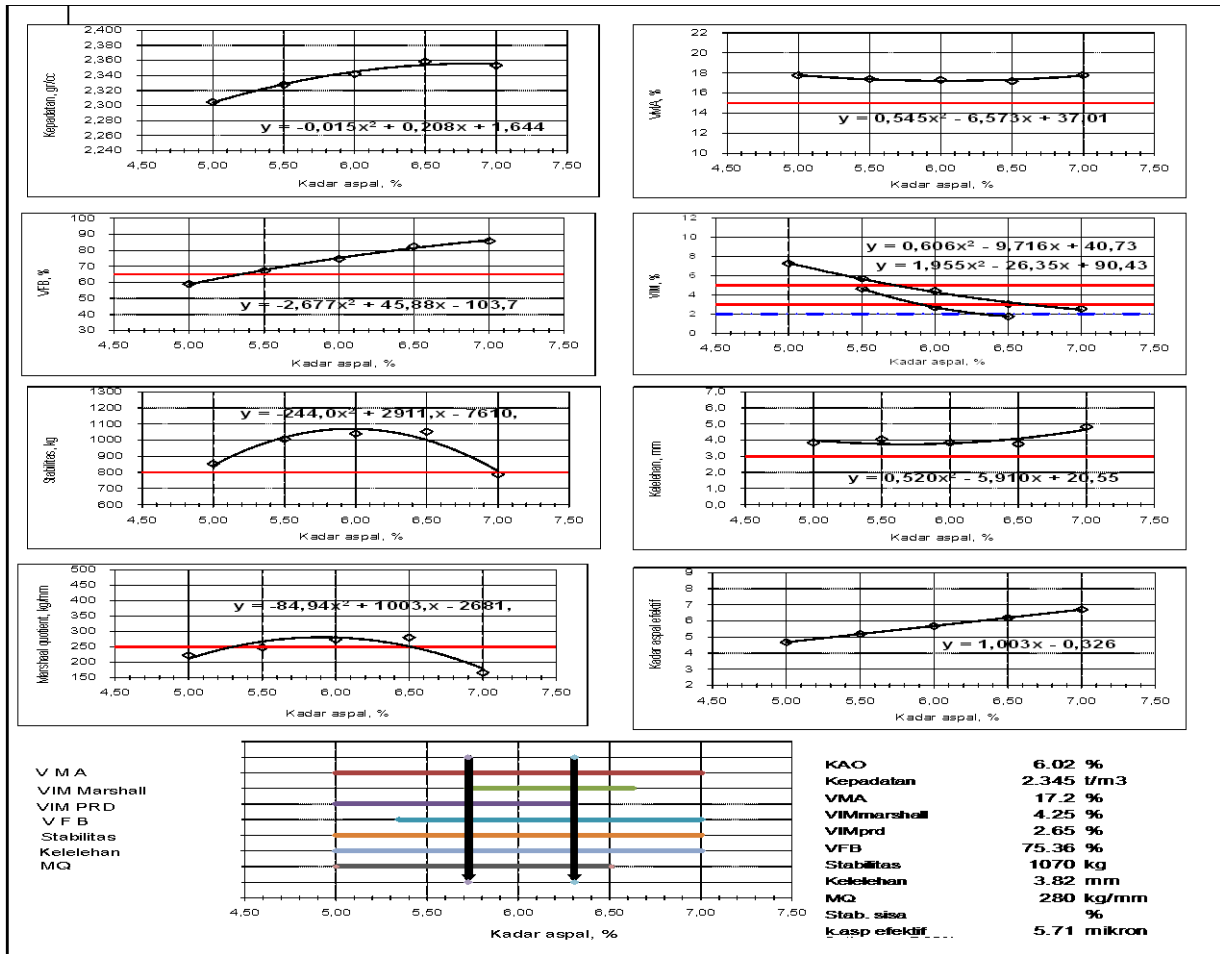
Kode Briket	Kadar Aspal		Berat Benda Uji			Isi Benda Uji	Kepadatan	Berat Jenis Campuran Maksimum (teoritis)	Rongga Dalam Agregat (VMA)	Rongga Terhadap Campuran (VIM)	Rongga Terisi Aspal (VFB)	Stabilitas			Pelelehan	Hasil Bagi Marshall	Kadar Aspal Efektif	Tebal Film Aspal
	thd Berat Agregat	thd Berat Campuran	Kering	SSD	Dalam Air							Bacaan Pada Alat	Kalibrasi Proving Ring	Setelah Dikoreksi				
a	b	$c = 100 / (100 + b) * b$	d	e	f	g = e - f	h = d/g	$i = 100 / ((100 - c) / w + c/w)$	$j = 100 - (h * (100 - c) / u)$	$k = 100 - (100 * (h/f))$	$l = 100 * (j - k) / j$	m	n	o	p	q = o/p	$r = c - ((x/100) * (100 - c))$	s
1	145	6,07	1186,0	1188,2	685,9	502,3	2,361	2,455	16,70	3,83	77,08	62	946,1	984,0	4,32	227,9	5,63	8,25
2	145	6,07	1191,5	1193,3	686,5	506,8	2,351	2,455	17,06	4,24	75,14	63	961,4	961,4	4,45	216,3	5,63	8,25
3	145	6,07	1183,6	1185,7	682,4	503,3	2,352	2,455	17,04	4,21	75,27	66	1007,2	1007,2	3,94	255,8	5,63	8,25
		6,07						2,355	16,93	4,09	75,83			984,2	4,23	233,3	5,63	8,25
1	120	6,07	1190,4	1195,1	675,1	520,0	2,289	2,455	19,24	6,76	64,88	44	671,4	671,4	3,81	176,2	5,63	8,25
2	120	6,07	1191,4	1196,3	678,6	517,7	2,301	2,455	18,81	6,26	66,70	46	702,0	702,0	4,57	153,5	5,63	8,25
3	120	6,07	1192,3	1197,1	678,3	518,8	2,298	2,455	18,92	6,39	66,22	48	732,5	732,5	4,19	174,8	5,63	8,25
		6,07						2,296	18,99	6,47	65,93			702,0	4,19	168,2	5,63	8,25
1	80	6,07	1183,3	1190,7	664,4	526,3	2,248	2,455	20,68	8,42	59,27	39	595,1	571,3	3,05	187,4	5,63	8,25
2	80	6,07	1192,9	1199,3	668,8	530,5	2,249	2,455	20,67	8,41	59,31	38	579,9	556,7	3,56	156,5	5,63	8,25
3	80	6,07	1184,7	1191,3	660,1	531,2	2,230	2,455	21,32	9,16	57,04	39	595,1	571,3	4,32	132,3	5,63	8,25
		6,07						2,242	20,89	8,66	58,54			566,5	3,64	158,8	5,63	8,25



Gambar 2. Grafik Hasil Perhitungan Marshall (tanpa Zeolit)

Tabel 3. Perhitungan Marshall ditambah zeolit alam (5%)

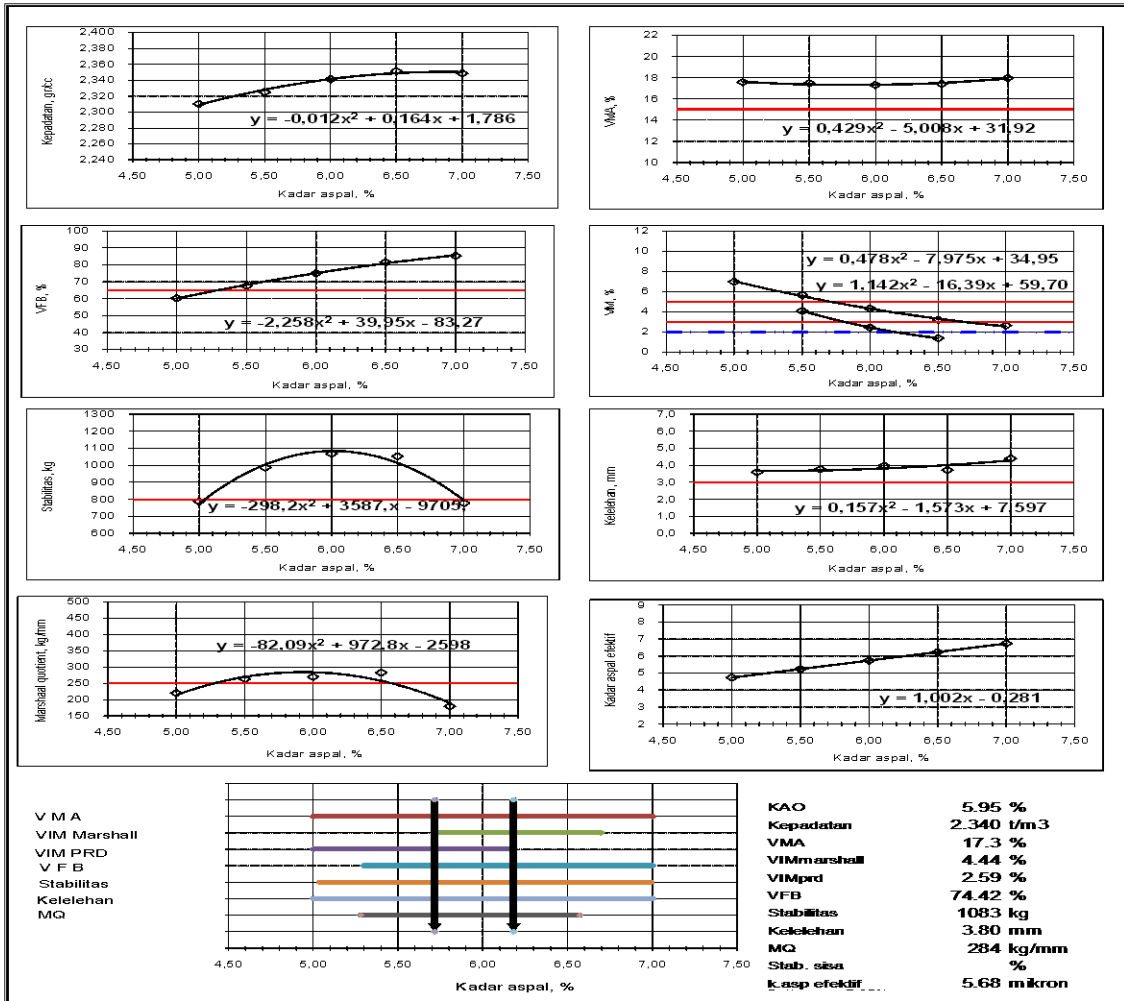
Kode Briket	Kadar Aspal		Berat Benda Uji			Isi Benda Uji		Kepadatan	Berat Jenis Campuran	Rongga Dalam	Rongga Terhadap	Rongga Tensi	Stabilitas			Pelelehan	Hasil Bagi	Kadar Aspal	Tebal Film
	thd Berat Agregat	thd Berat Campuran	Kering	SSD	Dalam Air	Bacaan Pada Alat	Kalibrasi Proving Ring						Setelah Dikoreksi						
a	b	c=100/(100+b)*b	d	e	f	g=e-f	h=d/g	i=100((100-c)/i)+c/w	j=100-h*(100-c)/u	k=100-(100*(h/i))	l=100*(j-k)/j	m	n	o=m*n	p	q=o/p	r=c-((x/100)*((100-c))	s	
1	5.0	1187.7	1191.7	673.4	518.3	2.292	2.494	18.24	8.13	55.42	58	885.1	885.1	4.19	211.2	4.55	6.60		
2	5.0	1189.3	1192.3	672.7	519.6	2.289	2.494	18.33	8.24	55.07	59	900.3	900.3	3.18	283.6	4.55	6.60		
3	5.0	1188.4	1191.3	670.3	521.0	2.281	2.494	18.61	8.55	54.05	58	885.1	885.1	2.92	303.0	4.55	6.60		
1	5.5	1189.6	1190.9	675.3	515.6	2.307	2.476	18.11	6.81	62.39	60	915.6	915.6	3.56	257.5	5.05	7.36		
2	5.5	1187.2	1189.5	672.7	516.8	2.297	2.476	18.47	7.22	60.93	57	869.8	869.8	3.81	228.3	5.05	7.36		
3	5.5	1186.4	1188.5	673.1	515.4	2.302	2.476	18.30	7.03	61.61	61	930.9	930.9	3.05	305.4	5.05	7.36		
1	6.0	1190.6	1191.8	684.3	507.5	2.346	2.458	17.17	4.54	73.55	69	1052.9	1052.9	3.81	287.4	5.56	8.14		
2	6.0	1186.5	1187.7	681.7	506.0	2.345	2.458	17.22	4.59	73.34	70	1068.2	1110.9	3.30	336.4	5.56	8.14		
3	6.0	1186.7	1187.1	681.2	505.9	2.346	2.458	17.19	4.55	73.50	61	930.9	968.1	3.56	272.2	5.56	8.14		
1	6.5	1188.8	1189.3	686.2	503.1	2.363	2.440	17.02	3.15	81.51	57	869.8	904.6	3.05	296.8	6.06	8.92		
2	6.5	1185.0	1185.5	685.2	500.3	2.369	2.440	16.82	2.92	82.66	56	854.6	888.7	4.45	199.9	6.06	8.92		
3	6.5	1183.6	1184.9	684.3	500.6	2.364	2.440	16.97	3.09	81.80	59	900.3	936.4	3.94	237.8	6.06	8.92		
1	7.0	1184.0	1185.8	682.1	503.7	2.351	2.422	17.90	2.95	83.51	48	732.5	761.8	4.45	171.4	6.56	9.71		
2	7.0	1190.1	1191.7	686.3	505.4	2.355	2.422	17.75	2.78	84.35	50	763.0	793.5	3.81	208.3	6.56	9.71		
3	7.0	1191.2	1192.6	684.2	508.4	2.343	2.422	18.16	3.26	82.03	46	702.0	730.0	4.06	179.6	6.56	9.71		
	7.0					2.349	2.422	17.94	3.00	83.30			761.8	4.106	186.4	6.56	9.71		



Gambar 3. Grafik Hasil Perhitungan Marshall + 5%Zeolit)

Tabel 4. Perhitungan Marshall ditambah 10% zeolit

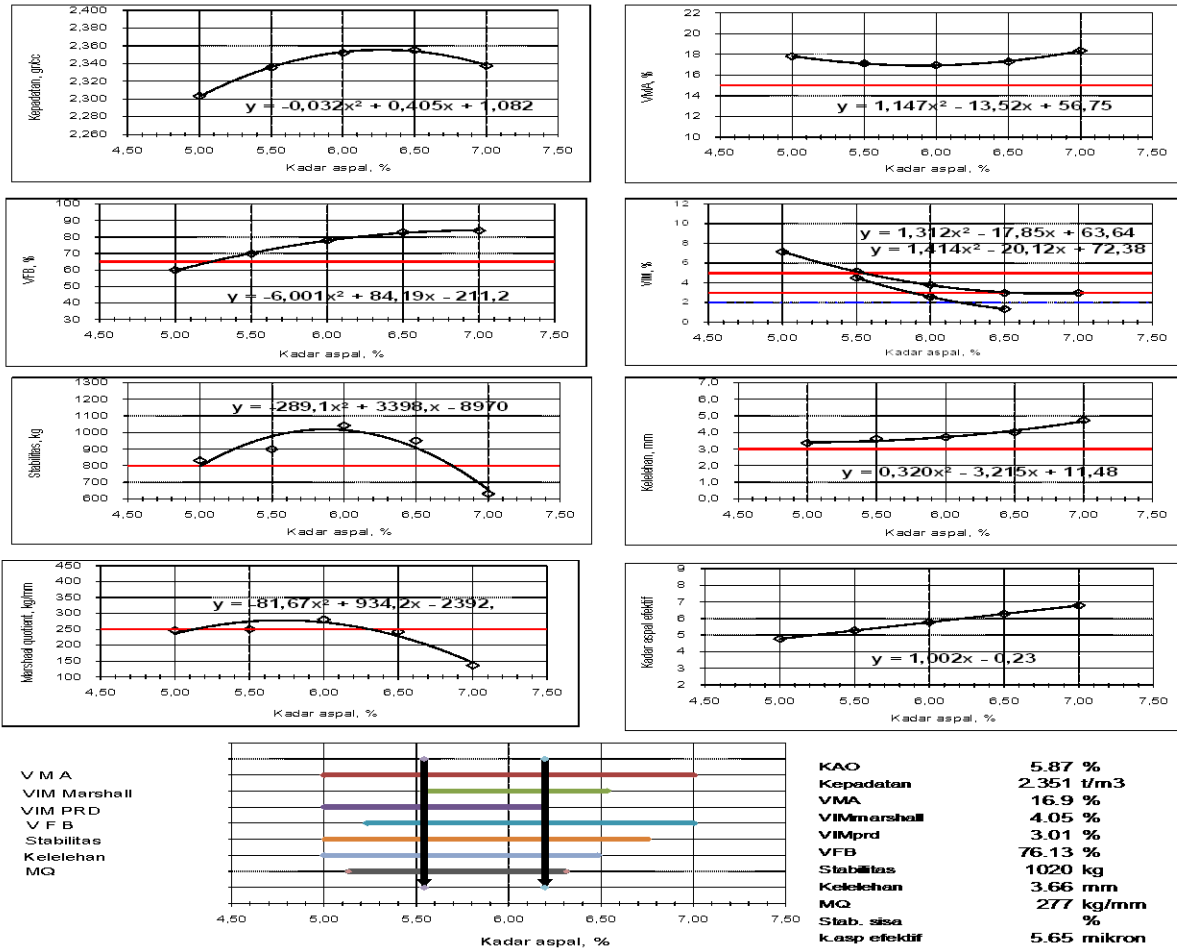
Kode Briket	Kadar Aspal		Berat Benda Uji				Kepadatan	Berat Jenis Campuran Maksimum (teoritis)	Rongga Dalam Agregat (VMA)	Rongga Terhadap Campuran (VIM)	Rongga Terisi Aspal (VFB)	Stabilitas			Pelelehan	Hasil Bagi Marshall	Kadar Aspal Efektif	Tebal Film Aspal
	thd Berat Agregat	thd Berat Campuran	Kering	SSD	Dalam Air	Isi Benda Uji						Bacaan Pada Alat	Kalibrasi Proving Ring	Setelah Dikoreksi				
a	b	c=100/(100+b) ²	d	e	f	g=e-f	h=d/g	i=100((100-c)/A+cW)	j=100*(h ³ /(100-c)/u)	k=100-(100*(hi))	l=100*(j-k)/j	m	n	o=m*n	p	q=o/p	r=c*((x/100) ² /(100-c))	s
1	5.0	1194.8	1198.8	679.1	519.7	2.299	2.483	17.97	7.43	58.67	53	808.8	808.8	3.56	227.4	4.73	6.87	
2	5.0	1189.0	1192.5	678.7	513.8	2.314	2.483	17.43	6.82	60.88	50	763.0	763.0	3.81	200.3	4.73	6.87	
3	5.0	1188.9	1191.2	678.2	513.0	2.318	2.483	17.31	6.68	61.40	52	793.5	793.5	3.43	231.4	4.73	6.87	
1	5.5	1195.3	1198.4	683.8	514.6	2.323	2.465	17.56	5.78	67.09	63	961.4	961.4	3.68	261.0	5.23	7.64	
2	5.5	1189.9	1192.2	679.7	512.5	2.322	2.465	17.60	5.82	66.92	63	961.4	961.4	4.06	236.6	5.23	7.64	
3	5.5	1192.3	1194.6	683.1	511.5	2.331	2.465	17.27	5.45	68.46	68	1037.7	1037.7	3.56	291.8	5.23	7.64	
1	6.0	1197.7	1199.9	686.2	513.7	2.332	2.447	17.69	4.73	73.26	66	1007.2	1007.2	4.19	240.3	5.74	8.42	
2	6.0	1193.9	1196.3	687.9	508.4	2.348	2.447	17.09	4.04	76.36	71	1083.5	1083.5	4.06	266.6	5.74	8.42	
3	6.0	1189.4	1191.5	684.2	507.3	2.345	2.447	17.23	4.20	75.64	73	1114.0	1114.0	3.68	302.5	5.74	8.42	
1	6.5	1193.7	1194.5	687.4	507.1	2.354	2.430	17.34	3.11	82.06	65	991.9	1031.6	3.56	290.1	6.24	9.20	
2	6.5	1194.3	1195.4	684.9	510.5	2.339	2.430	17.85	3.71	79.23	60	915.6	952.2	3.81	249.9	6.24	9.20	
3	6.5	1191.2	1193.4	688.9	504.5	2.361	2.430	17.08	2.81	83.53	74	1129.2	1174.4	3.81	308.2	6.24	9.20	
1	7.0	1193.7	1194.5	685.6	508.9	2.352	2.430	17.42	3.21	81.60	53	808.8	841.1	4.06	207.0	6.74	10.00	
2	7.0	1195.2	1196.7	687.7	509.0	2.348	2.412	17.98	2.65	85.26	46	702.0	730.0	5.08	143.7	6.74	10.00	
3	7.0	1192.3	1193.8	686.9	506.9	2.352	2.412	17.84	2.48	86.08	48	732.5	761.8	4.06	187.4	6.74	10.00	
	7.0					2.349	2.412	17.96	2.63	85.37			777.6	4.403	179.4	6.74	10.00	



Gambar 5. Grafik Hasil Perhitungan Marshall + 10% Zeolit

Tabel 5. Perhitungan Marshall ditambah 15% zeolit

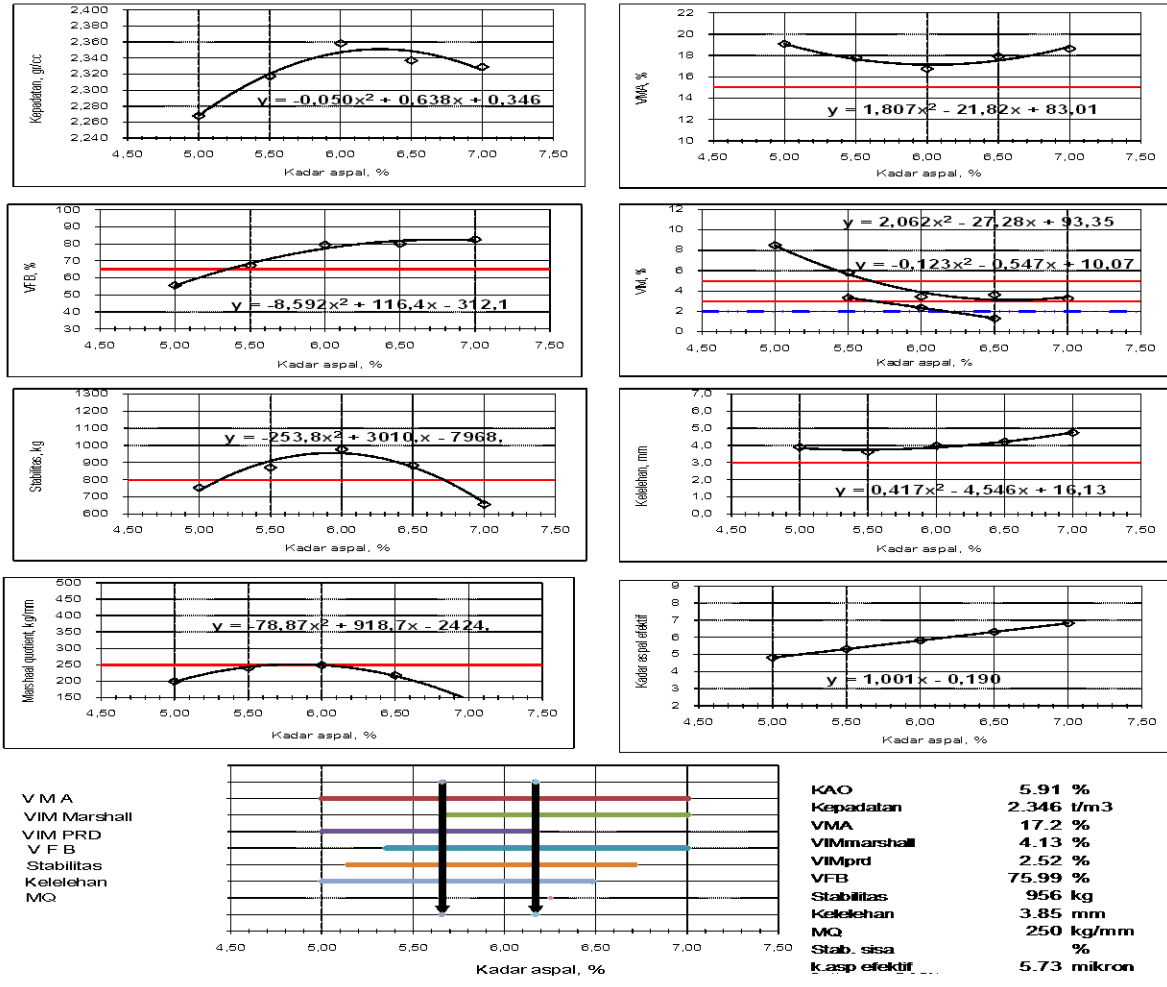
Kode Briket	Kadar Aspal		Berat Benda Uji			Isi Benda Uji	Kepadatan	Berat Jenis Campuran Maksimum (teoritis)	Rongga Dalam Agregat (VMA)	Rongga Terhadap Campuran (VIM)	Rongga Terisi Aspal (VFB)	Satabilitas			Pelelehan	Hasil Bagi Marshall	Kadar Aspal Efektif	Tebal Film Aspal
	thd Berat Agregat	thd Berat Campuran	Kering	SSD	Dalam Air							Bacaan Pada Alat	Kalibrasi Proving Ring	Setelah Dikoreksi				
a	b	c=100/(100+b)*b	d	e	f	g=e-f	h=d/g	i=100/((100-c)/N+c/w)	j=100*(h ³ /(100-c)/u)	k=100-(100*(h/i))	l=100*(j-k)/j	m	n	o=m*n	p	q=o/p	r=c-(x/100)*(100-c)	s
1		5.0	1197.5	1201.4	669.9	531.5	2.253	2.481	19.61	9.17	53.23	45	686.7	686.7	4.32	159.0	4.78	6.95
2		5.0	1195.6	1200.2	679.7	520.5	2.297	2.481	18.04	7.40	58.99	54	824.0	824.0	3.43	240.3	4.78	6.95
3		5.0	1193.4	1196.7	679.9	516.8	2.309	2.481	17.61	6.91	60.77	55	839.3	839.3	3.30	254.2	4.78	6.95
		5.0					2.303	2.481	17.824	7.153	59.878			831.670	3.366	247.247	4.781	6.948
1		5.5	1194.8	1197.1	685.6	511.5	2.336	2.462	17.09	5.14	69.95	57	869.8	869.8	3.81	228.3	5.28	7.72
2		5.5	1195.9	1199.8	682.7	517.1	2.313	2.462	17.92	6.08	66.08	49	747.7	747.7	4.06	184.0	5.28	7.72
3		5.5	1194.5	1197.8	686.2	511.6	2.335	2.462	17.13	5.18	69.77	61	930.9	930.9	3.43	271.5	5.28	7.72
		5.5					2.335	2.462	17.113	5.158	69.857			900.340	3.620	249.883	5.283	7.717
1		6.0	1196.4	1198.4	687.6	510.8	2.342	2.444	17.31	4.18	75.84	67	1022.4	1022.4	3.94	259.7	5.78	8.49
2		6.0	1195.9	1197.5	688.2	509.3	2.348	2.444	17.10	3.94	76.96	67	1022.4	1022.4	3.68	277.6	5.78	8.49
3		6.0	1189.8	1191.2	688.3	502.9	2.366	2.444	16.47	3.21	80.49	71	1083.5	1083.5	3.56	304.7	5.78	8.49
		6.0					2.352	2.444	16.96	3.78	77.76			1042.8	3.73	280.7	5.78	8.49
1		6.5	1200.4	1201.8	689.8	512.0	2.345	2.427	17.67	3.39	80.82	59	900.3	900.3	4.83	186.6	6.28	9.28
2		6.5	1196.2	1197.7	689.6	508.1	2.354	2.427	17.33	2.99	82.75	61	930.9	968.1	3.56	272.2	6.28	9.28
3		6.5	1194.7	1196.8	691.9	504.9	2.366	2.427	16.91	2.50	85.24	62	946.1	984.0	3.68	267.2	6.28	9.28
		6.5					2.355	2.427	17.30	2.96	82.94			950.8	4.02	242.0	6.28	9.28
1		7.0	1196.1	1201.3	691.6	509.7	2.347	2.409	18.03	2.60	85.57	40	610.4	610.4	4.00	#DIV/0!	6.79	10.07
2		7.0	1196.6	1200.6	687.5	513.1	2.332	2.409	18.54	3.21	82.70	39	595.1	595.1	#VALUE!	####	6.79	10.07
3		7.0	1196.6	1197.9	685.2	512.7	2.334	2.409	18.48	3.13	83.05	45	686.7	686.7	#VALUE!	####	6.79	10.07
		7.0					2.338	2.409	18.35	2.98	83.78			630.7	4.00	#DIV/0!	6.79	10.07



Gambar 6. Grafik Hasil Perhitungan Marshall + 15% Zeolit

Tabel 6. Perhitungan Marshall ditambah 20% zeolit

Kode Briket	Kadar Aspal		Berat Benda Uji				Isi Benda Uji	Kepadatan	Berat Jenis Campuran Maksimum (teoritis)	Rongga Dalam Agregat (VMA)	Rongga Terhadap Campuran (VIM)	Rongga Terisi Aspal (VFB)	Stabilitas			Pelelehan	Hasil Bagi Marshall	Kadar Aspal Efektif	Tebal Film Aspal
	thd Berat Agregat	thd Berat Campuran	Kering	SSD	Dalam Air	Bacaan Pada Alat							Kalibrasi Proving Ring	Setelah Dikoreksi	mm				
a	b	c=100/(100+b)*b	d	e	f	g=e-f	h=d/g	i=100/((100-c)/v+cw)	j=100*(h*(100-c)/u)	k=100-(100*(hi))	l=100*(j-k)/j	m	n	o=m*n	p	q=o/p	r=c*((x/100)*(100-c))	s	
1	5.0	1197.6	1200.8	671.4	529.4	2.262	2.478	19.28	8.72	54.78	48	732.5	732.5	3.43	213.6	4.82	7.01		
2	5.0	1200.1	1203.5	673.2	530.3	2.263	2.478	19.25	8.69	54.89	49	747.7	747.7	4.83	154.9	4.82	7.01		
3	5.0	1199.2	1202.3	675.8	526.5	2.278	2.478	18.73	8.10	56.78	51	778.3	778.3	3.43	227.0	4.82	7.01		
1	5.5	1200.7	1203.8	675.6	528.2	2.273	2.478	19.09	8.50	55.48	51	778.3	778.3	3.89	198.5	4.82	7.01		
2	5.5	1198.9	1201.3	682.6	518.7	2.311	2.460	17.96	6.05	66.33	56	854.6	854.6	3.68	232.0	5.32	7.78		
3	5.5	1197.6	1199.8	684.3	515.5	2.323	2.460	17.54	5.57	68.26	58	885.1	885.1	3.56	248.9	5.32	7.78		
1	6.0	1201.1	1202.3	693.1	509.2	2.359	2.442	16.72	3.42	79.56	64	976.6	976.6	3.56	274.6	5.82	8.55		
2	6.0	1199.7	1202.1	692.2	509.9	2.353	2.442	16.93	3.66	78.37	62	946.1	946.1	4.57	206.9	5.82	8.55		
3	6.0	1196.5	1198.7	692.4	506.3	2.363	2.442	16.57	3.24	80.46	66	1007.2	1007.2	3.81	264.3	5.82	8.55		
1	6.5	1203.0	1204.2	686.9	517.3	2.326	2.425	18.33	4.09	77.70	54	824.0	824.0	3.81	216.3	6.32	9.34		
2	6.5	1201.0	1204.2	689.3	514.9	2.332	2.425	18.09	3.80	78.99	50	763.0	763.0	5.21	146.5	6.32	9.34		
3	6.5	1193.4	1195.1	687.9	507.2	2.353	2.425	17.37	2.96	82.97	67	1022.4	1063.3	3.68	288.7	6.32	9.34		
1	7.0	1195.8	1203.9	688.6	515.3	2.321	2.407	18.94	3.60	80.99	39	595.1	595.1	5.08	117.2	6.82	10.13		
2	7.0	1199.1	1203.4	689.0	514.4	2.331	2.407	18.58	3.17	82.96	43	656.2	656.2	5.08	129.2	6.82	10.13		
3	7.0	1195.6	1196.4	684.3	512.1	2.335	2.407	18.45	3.02	83.66	47	717.2	717.2	4.06	176.5	6.82	10.13		
						2.329	2.407	18.66	3.26	82.54			656.2	4.74	140.9	6.82	10.13		



Gambar 7. Grafik Hasil Perhitungan Marshall + 20% Zeolit

Tabel 7. Resume Hasil Perhitungan Marshall

No.	Karakteristik campuran	Jenis campuran AC Wearing					Satuan
		0% Ziolit	5% Ziolit	10% Ziolit	15% Ziolit	20% Ziolit	
1	Kadar Aspal Optimum	6.07	6.02	5.95	5.87	5.91	%
2	Kepadatan	2.343	2.345	2.340	2.351	2.346	Gr/cm ³
3	Rongga Diantara Agregat (VMA)	17.28	17.22	17.33	16.92	17.16	%
4	Rongga Dalam Campuran (VIM) Marshall	4.49	4.25	4.44	4.05	4.13	%
5	Rongga Dalam Campuran (VIM) PRD	2.34	2.65	2.59	3.01	2.52	%
6	Rongga Terisi Aspal (VFB)	75.99	75.36	74.42	76.13	75.99	%
7	Stabilitas	990.0	1070.3	1083.0	1020.0	956.0	Kg
8	Kelelehan	3.60	3.82	3.80	3.66	3.85	mm
9	Hasil bagi marshall (MQ)	277.8	280.0	284.4	276.7	250.4	Kg/mm
10	k.asp efektif	5.63	5.71	5.68	5.65	5.73	%

Tabel 8. Resume Untuk KAO =6,07%(terbesar)

No.	Karakteristik campuran	Jenis campuran AC Wearing					Satuan
		0% Zeolit	5% Zeolit	10% Zeolit	15% Zeolit	20% Zeolit	
1	Kadar Aspal Optimum	6.07	6.07	6.07	6.07	6.07	%
2	Kepadatan	2.343	2.347	2.342	2.355	2.350	Gr/cm ³
3	Rongga Diantara Agregat (VMA)	17.28	17.22	17.35	16.96	17.13	%
4	Rongga Dalam Campuran (VIM) Marshal	4.49	4.11	4.16	3.60	3.72	%
5	Rongga Dalam Campuran (VIM) PRD	2.34	2.50	2.26	2.34	2.20	%
6	Rongga Terisi Aspal (VFB)	75.99	76.14	76.02	78.70	78.13	%
7	Stabilitas	990.0	1068.1	1083.4	1009.2	950.8	Kg
8	Kelelehan	3.60	3.84	3.84	3.78	3.92	mm
9	Hasil bagi marshall (MQ)	277.8	278.6	282.7	268.3	246.2	Kg/mm
10	k. asp efektif	5.63	5.77	5.81	5.86	5.89	%

Dengan Kadar Aspal Optimum (KAO) = 6,07% (lihat tabel 8), nilai Stabilitas pada campuran WMA, cenderung meningkat, 990,0 kg (tanpa zeolit), 1068,1kg pada penambahan (+5% zeolit), naik 8,11% dari tanpa zeolit, 1083,4 kg pada penambahan (+10% zeolit), naik 9,39% dari tanpa zeolit sedang penambahan (+15% zeolit), nilainya jadi 1009,2 kg, ada penurunan sebesar 1,94% dari tanpa zeolit, sedangkan penambahan (+20% zeolit), adalah 950,8kg ada penurunan sekitar 3,43% dari tanpa zeolit. Nilai Pelelehan/flow, baik tanpa zeolit maupun penambahan Zeolit masih dalam batas memenuhi persyaratan **3 – 4,5 mm**, Nilai Stabilitas minimum adalah **800 kg**.

KESIMPULAN

1. Zeolit alam bisa digunakan untuk *campuran warm mixed asphalt* (WMA).
2. Penggunaan zeolit alam cukup 10% dari nilai Kadar Aspal Optimum (KAO)
3. Dengan ditambahkan Zeolit Alam 10% dari nilai Kadar Aspal Optimum (KAO), Nilai Stabilitas akan meningkat 990,0kg menjadi 1083,4kg

DAFTAR PUSTAKA

Bina Marga,2012). <http://www.pu.go.id/content/show/55>

Bina Marga (1992),, Revisi SNI 03-2844-1992 <http://www.pu.go.id/layananinformasi/service/50/850>, Diakses sabtu tanggal 18 Mei 2013

Dit.Jen. Perhubungan Darat, (2005), <http://hubdat.web.id> diakses maret 2015

Eugene, OR – February 24, 2009, *WARM MIX ASPHALT THE TEXAS EXPERIENCE* Asphalt Pavement Association Of Oregon

Furqon Affandi¹⁾, Hadisi²⁾(2011), Pengaruh Metode Aktivasi Zeolit Alam Sebagai Bahan Penurun Temperatur Campuran Beraspal Hangat, Jurnal Jalan Jembatan, Pusat Litbang Jalan dan Jembatan, Bandung Spesifikasi Umum 2010 (revisi-2)