

PENGARUH KADAR *FILLER FLY ASH* DALAM CAMPURAN *AC-WC* DENGAN PASIR PANTAI TAKISUNG SEBAGAI AGREGAT HALUS DITINJAU DARI ASPEK KETIDAKRATAAN DAN *PROPERTIES MARSHALL*

EFFECT OF FLY ASH FILLER LEVELS IN THE *AC-WC* MIXTURE WITH TAKISUNG BEACH SAND AS FINE AGGREGATE IN TERMS OF UNEVENNESS AND MARSHALL PROPERTIES

Agus Riyanto¹⁾, and Ramdhani Deva Prasetya²⁾

¹⁾ Department of Civil Engineering, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Jl. A. Yani Pabelan Kartasura Tromol Pos I Surakarta Post Code 57102

e-mail : ariyanto_ums@yahoo.com

²⁾ Department of Civil Engineering, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Jl. A. Yani Pabelan Kartasura Tromol Pos I Surakarta Post Code 57102

e-mail : ramdhanioppo@gmail.com

ABSTRAK

Penggunaan *fly ash* sebagai *filler* dan pasir pantai sebagai agregat halus dinilai dapat mengurangi kerusakan perkerasan jalan *Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC)*. Kandungan silika pada *fly ash* memiliki daya ikat kuat, sehingga dapat memperbaiki *Properties Marshall* pada campuran. Gradasi pasir pantai yang seragam dapat memperbaiki nilai ketidakrataan. Berdasarkan ulasan di atas penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh kadar *filler Fly Ash* dengan pasir Pantai Takisung sebagai agregat halus dalam campuran terhadap aspek ketidakrataan dan *Properties Marshall*, sekaligus menganalisis kadar *filler* optimum ditinjau dari aspek *Properties Marshall*. Langkah awal penelitian yaitu pengumpulan data (primer dan sekunder). Berdasarkan data, ditentukan proporsi setiap fraksi dalam campuran sesuai dengan variasi kadar *filler*. Selanjutnya pencarian KAO dengan agregat halus menggunakan Pasir Pantai Takisung dan dilanjutkan dengan membuat campuran dengan variasi kadar *filler fly ash* 0%, 3%, 4%, dan 5%. Sebelum sample direndam dan diuji *Marshall* maupun Volumetrik, sample diuji nilai ketidakrataan dengan menggunakan metode *Sand Patch* dan pendekatan berat. Hasil penelitian menunjukkan penggunaan pasir pantai sebagai agregat halus dengan *filler fly ash* dapat memperbaiki nilai ketidakrataan pada permukaan. Penambahan *filler fly ash* dapat memperbaiki nilai *Properties Marshall* campuran pasir pantai terutama aspek stabilitas dan *MQ*. Nilai ketidakrataan yang didapat sebagai berikut; sample pasir sungai = 3,82 m/km, sample pasir pantai = 3,49 m/km, sample kadar *filler* 3% = 2,63 m/km, kadar *filler* 4% = 2,54 m/km, kadar *filler* 5% = 2,59 m/km. Kadar *filler* optimum yang didapat yaitu 3,3%. Pada kadar *filler* tersebut didapat nilai *Properties Marshall*; Stabilitas = 1197,62 kg, flow = 2,32 mm, *VFWA* = 66,74 %, *VMA* = 15,01 %, *VIM* = 4,99 %, dan *MQ* = 517,02 kg/mm, yang kesemuanya masuk spesifikasi yang telah ditentukan.

Kata Kunci : *Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC)*, *Fly Ash*, *Filler*, Nilai Ketidakrataan, *Properties Marshall*

ABSTRACT

The use of *fly ash* as a *filler* and beach sand as fine aggregate is considered to reduce pavement damage to the *Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC)*. The silica content in *fly ash* has a strong binding power, so it can improve the *Marshall Properties* of the mixture. Uniform beach sand gradation can improve the unevenness value. Based on the above review, this study aims to analyze the effect of *Fly Ash filler* content with Takisung Beach sand as fine aggregate in the mixture on the aspect of unevenness and *Marshall Properties*, as well as to analyze the optimum *filler* content in terms of the *Marshall Properties* aspect. The initial step of the research was data collection, both primary and secondary data. Based on the data, the proportion of each fraction in the mixture was determined according to the variation in *filler* content. Furthermore, to determine the optimum asphalt content with fine aggregates uses Takisung Beach Sand. Followed by making a mixture with variations in the levels of *fly ash filler* 0%, 3%, 4%, and 5%. Before the sample is immersed and tested by *Marshall* and Volumetric, the sample is tested for unevenness using the *Sand Patch* method and weight approach. The results showed the use of beach sand as fine aggregate with *fly ash filler* can improve the unevenness value on the surface. The addition of *fly ash filler* can improve the value of the *Marshall Properties* of a mixture of beach sand, especially the aspects of stability and *MQ*. The uneven values obtained are as follows; river sand sample = 3.82 m / km, sample beach sand = 3.49 m / km, sample *filler* content 3% = 2.63 m / km, *filler* content 4% = 2.54 m / km, *filler* content 5% = 2.59 m / km. The optimum *filler* content obtained was 3.3% with the following *Marshall Properties*; Stability = 1197.62 kg, flow = 2.32 mm, *VFWA* = 66.74%, *VMA* = 15.01%, *VIM* = 3.642%, and *MQ* = 517.02 kg / mm.

Keywords: *Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC)*, *Fly Ash*, *Filler*, *Unevenness Value*, *Marshall Properties*

PENDAHULUAN

Kegagalan atau kerusakan perkerasan jalan yang ada di Indonesia sebelum memasuki umur rencana masih banyak ditemukan terutama pada perkerasan lentur. Salah satu faktor yang mempengaruhi kegagalan yaitu material yang digunakan dalam campuran. Melakukan inovasi material yang digunakan merupakan salah satu cara untuk mengurangi kegagalan tersebut.

Kegagalan/kerusakan jalan dibedakan menjadi dua yaitu kegagalan fungsional dan struktural. Kegagalan fungsional terjadi apabila perkerasan menimbulkan ketidaknyamanan bagi pengguna jalan, hal ini disebabkan jalan tidak berfungsi sesuai yang direncanakan. Kegagalan struktural ditandai dengan adanya rusak pada struktur perkerasan yang disebabkan oleh beberapa faktor, seperti lapisan tanah dasar yang tidak stabil, beban lalu lintas, dan pengaruh kondisi

lingkungan sekitar (Purba, 2011). Lapisan aspal yang rentan terhadap kerusakan yaitu lapisan permukaan atau *wearing course*. Hal ini dikarenakan lapisan permukaan merupakan lapisan yang secara langsung kontak dengan roda kendaraan, air, dan faktor lain yang menyebabkan kerusakan jalan.

Nilai ketidakrataan dan sifat *Properties Marshall* merupakan indikator penilaian kualitas perkerasan jalan. *Properties Marshall* merupakan pemeriksaan yang bertujuan untuk menentukan ketahanan (stabilitas) terhadap kelelahan (*flow*) dari campuran aspal dan parameter Volumetrik pada campuran (Sabrina, 2019), sedangkan Nilai ketidakrataan / *IRI* merupakan parameter ketidakrataan yang dihitung dari jumlah kumulatif naik turunnya permukaan arah profil memanjang dibagi dengan jarak/panjang permukaan yang diukur (Tho'atin et al, 2016).

Ketidakrataan jalan merupakan salah satu dampak dari kerusakan jalan secara fungsional. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Ardilson Pembuaian pada tahun 2018 tingkat ketidakrataan jalan di 14 ruas jalan Yogyakarta masih di atas nilai batas baik yaitu (4000 mm/km), sehingga perlu dilakukan perbaikan untuk mengatasi masalah tersebut.

Kerusakan struktural pada jalan di Indonesia juga tidak bisa dianggap remeh. Kerusakan struktural erat kaitannya dengan sifat *Properties Marshall* pada campuran. Stabilitas merupakan salah satu *Properties Marshall* yang sangat penting pada campuran karena erat kaitannya dengan kekuatan campuran dalam menahan beban. Sifat *Properties Marshall* yang tidak kalah penting yaitu volumetrik campuran. Volumetrik campuran yang tidak sesuai dengan spesifikasi yang ditentukan bisa menyebabkan perkerasan rentan terhadap *bleeding*.

Indonesia merupakan negara maritim, sehingga memiliki kualitas pasir pantai yang sangat beragam. Pasir merupakan salah bahan agregat halus yang biasa dipergunakan sebagai bahan jalan, tetapi selama ini kecenderungan secara umum banyak yang memanfaatkan pasir sungai dengan berbagai pertimbangan teknis, bagaimana jika pemanfaatan pasir memanfaatkan pasir pantai yang secara kuantitas jumlahnya sangat berlimpah dan tidak menutup kemungkinan memanfaatkan pasir pantai untuk dipergunakan sebagai agregat halus dalam campuran panas, secara umum dari segi kualitas masih pantai masih perlu beberapa perlakuan khusus sebelum digunakan (Mangerongkonda, 2007). Menurut pernyataan tersebut pasir pantai bisa digunakan sebagai alternatif pengganti pasir biasa dalam campuran panas.

Karakteristik tekstur dan gradasinya yang seragam pasir pantai diharapkan bisa memperbaiki nilai ketidakrataan pada perkerasan, namun dari segi kualitas pasir pantai masih perlu diteliti. Penggunaan *Fly Ash* sebagai *filler* diharapkan bisa menutupi kekurangan pasir pantai sebagai agregat halus untuk mengurangi kerusakan struktural pada perkerasan jalan terutama pada lapis permukaan.

Pemilihan *Fly Ash* sebagai *filler* merupakan salah satu cara alternatif untuk mengurangi limbah pembakaran batu bara pada PLTU (Pembangkit Listrik Tenaga Uap) yang jumlahnya 8 juta ton/tahun dan *Fly Ash* merupakan salah satu jenis limbah B3 (Berbahaya Beracun Berimbas). Selain mengurangi limbah yang ada *Fly Ash* juga memiliki kandungan silika sekitar 46,7%. Silika merupakan suatu zat yang memiliki daya ikat yang kuat, sehingga penggunaan mineral *filler* (*Fly Ash*) dalam campuran aspal beton selain untuk mengisi rongga dalam campuran, *Fly Ash* juga meningkatkan daya ikat aspal beton yang akan berpengaruh pada peningkatan stabilitas dari campuran. Penggunaan *Fly Ash* diharapkan bisa mengurangi kerusakan struktural pada jalan. Kemampuan *filler* yang mengisi rongga dalam campuran juga diharapkan dapat mengurangi nilai ketidakrataan jalan, sehingga selain mengurangi kerusakan struktural *Fly Ash* juga dapat mengurangi kerusakan fungsional.

Pada penelitian ini penulis menggunakan variasi kadar *Filler Fly Ash* 3%, 4%, dan 5%. Penggunaan kadar *filler* yang bervariasi diharapkan mendapatkan kadar *filler* yang meningkatkan nilai *Properties Marshall* secara optimum.

Berdasarkan ulasan diatas penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh kadar *filler Fly Ash* dengan pasir Pantai Takisung sebagai agregat halus dalam campuran terhadap aspek ketidakrataan dan *Properties Marshall*, sekaligus menganalisis kadar *filler* optimum ditinjau dari aspek *Properties Marshall*

Fly ash merupakan limbah hasil pembakaran batu bara, yang dialirkan dari ruang pembakaran melalui ketel berupa semburan asap. Secara teknik, *fly ash* merupakan hasil pembakaran batu bara pada pembangkit listrik tenaga uap yang berbentuk halus (Poernomo, 2009). Ukuran partikel abu terbang hasil pembakaran batubara lebih kecil dari 0,075 mm. Menurut *ACI Momette 226 fly ash* merupakan butiran halus lolos ayakan No. 325 (45 mili micron) 5-27%, dengan *specific gravity* antara 2,15-2,8. *Fly ash* memiliki kerapatan antara 2100 kg/m³ - 3000 kg/m³ dan memiliki luas area antara 170 m²/kg - 1000 m²/kg. Memiliki warna abu-abu keputihan merupakan salah satu sifat fisik *fly ash* (Haryanti, 2014). Bentuknya yang kecil membuat *fly ash* dijadikan sebagai bahan pengisi atau *filler* untuk meningkatkan nilai stabilitas campuran serta memperbaiki nilai ketidakrataan. *Fly ash* tersusun atas SiO₂ (silika), Al₂O₃ (alumina), Fe₂O₃ (besi oksida), karbon, kalsium, magnesium dan belerang. Jenis batubara yang dibakar, teknik penyimpanan, penanganannya memengaruhi sifat kimia pada *fly ash* (Nurhayati et al, 2013).

Pasir pantai merupakan pasir yang terdapat di pantai akibat adanya suplay dari sungai dan gelombang arus. Proses pelapukan batuan di gunung akibat gaya gaya luar yang bekerja terutama air dan suhu membuat batuan tersebut terurai menjadi bagian yang halus yang kemudian disuplay ke laut oleh aliran sungai. Selanjutnya fragmen tersebut terbawa oleh arus air laut sehingga menumpuk di tepian pantai. Pasir pantai juga didapat dari hasil gerusan ombak terhadap karang, selain mengakibatkan kerusakan pada karang ombak juga membawa sedimen yang ada di perairan dalam menuju ke tepi pantai. Pada saat terbawa oleh gelombang arus material pasir akan mengalami pengikisan sehingga umumnya berbentuk bulat dan seragam.

Salah satu kelemahan yang dimiliki pasir pantai adalah kandungan garam yang tinggi. Sehingga perlu perlakuan khusus terhadap pasir pantai untuk mengurangi kandungan garamnya. Salah satu perlakuan khusus yang bisa diterapkan yaitu dengan mencucinya terlebih dahulu.

Ketidakrataan jalan merupakan salah satu kegagalan fungsional jalan. Kegagalan fungsional terjadi apabila perkerasan menimbulkan ketidaknyamanan bagi pengguna jalan, hal ini disebabkan jalan tidak berfungsi sesuai yang direncanakan. Ketidakrataan jalan erat kaitannya dengan penggunaan komposisi pada campuran yang dibuat. Salah satu komposisi yang digunakan dalam menyusun campuran yaitu agregat halus. Agregat halus memiliki proporsi yang tidak sedikit dalam campuran Laston. Semakin jalan memiliki rongga udara yang besar maka nilai ketidakrataan jalan juga semakin besar. Salah satu fungsi dari agregat halus yang secara fisik lebih kecil dari agregat kasar terutama *filler* yaitu untuk menutup rongga udara dalam campuran.

Agregat halus dibedakan menjadi dua macam yaitu *FA* dan *filler*. *FA* adalah agregat No.4. atau 4,75 mm dan tertahan saringan No.200 atau 0,075 mm. *Filler* adalah agregat yang lolos saringan No.200. atau 0,075 mm. *Fly ash* sebagai *filler* selain memiliki ukuran kecil dan memiliki kandungan silika yang cukup tinggi. Karena memiliki kandungan silika yang tinggi *fly ash* selain mengisi rongga udara *fly ash* juga mampu mengikat agregat sehingga rongga udara semakin kecil dan tingkat ketidakrataanpun semakin sedikit. Selain *filler* pasir pantai yang memiliki ukuran kecil dan bentuknya yang bulat

maka kemungkinan rongga udara antar agregat kasar yang terisi pasir semakin besar. Sehingga rongga udara antar campuran juga semakin sedikit dan nilai ketidakratahanpun juga semakin berkurang. Untuk metode penghitungan ketidakratahan di lapangan bisa menggunakan *NASSRA roughness meter* tetapi untuk skala laboratorium penghitungan nilai ketidakratahan penulis akan menggunakan *Sand Patch Method*.

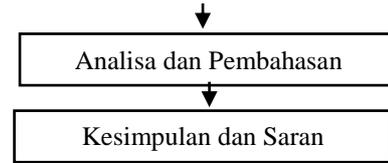
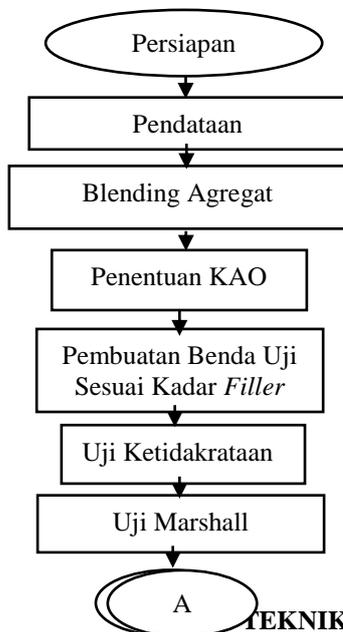
Agregat halus merupakan salah satu bahan penyusun campuran aspal, sehingga sangat berpengaruh terhadap nilai *Properties Marshall*. Agregat halus dibedakan menjadi dua macam yaitu *FA* dan *Filler*. *FA* adalah agregat No.4. atau 4,75 mm dan tertahan saringan No.200 atau 0,075 mm. *Filler* adalah agregat yang lolos saringan No.200. atau 0,075 mm. Selain sebagai salah satu pengisi volume agregat halus juga berfungsi sebagai pengunci agregat kasar pada campuran, sehingga selain berpengaruh terhadap Volumetrik campuran agregat halus juga berpengaruh terhadap stabilitas campuran.

Peran *filler* sebagai pengisi pada campuran juga sangat berpengaruh terhadap stabilitas maupun volumetrik aspal. semakin besar *filler* yang digunakan maka *VIM* semakin kecil dan stabilitas juga semakin tinggi. Abu batu bara / *fly ash* dijadikan *filler* karena ukuran partikelnya yang sangat halus yang lolos saringan bila disaring dengan menggunakan No. 200 (75 micron) dan mengandung unsur *pozzolan*, sehingga dapat berfungsi sebagai bahan pengisi rongga dan pengikat pada aspal beton (Zulfahzli et all, 2016). Kandungan yang terdapat dalam *pozzolan* adalah alumina dan silika, sehingga kandungan silika yang cukup tinggi pada *fly ash* dapat meningkatkan nilai stabilitas pada campuran

. Sebagai pengganti agregat halus dari segi kualitas pasir pantai diperlukan penelitian terlebih dahulu. Walaupun dari segi kualitas pasir pantai masih perlu diteliti, penggunaan *fly ash* sebagai *filler* diharapkan bisa menutupi kekurangan pasir pantai sebagai agregat halus untuk mengurangi kerusakan struktural pada perkerasan jalan terutama pada lapis permukaan. Untuk mengetahui nilai *Properties Marshall* maupun volumetrik campuran kita menggunakan alat uji *Marshall Tes*.

METODE PENELITIAN

Basis dari penelitian ini adalah eksperimen. Untuk mencapai tujuan yang dirumuskan, dilakukan tahapan pelaksanaan sebagai berikut; persiapan, pengumpulan data, penentuan kadar aspal optimum, penentuan kadar *filler* optimum, analisa data yang dilanjutkan pembahasan, dan yang terakhir pengambilan kesimpulan serta saran. Untuk lebih jelasnya tahapan penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

Pada penelitian ini pengukuran nilai ketidakratahan menggunakan metode lingkaran pasir atau *Sand Patch Method*. *Sand Patch Method* merupakan metode yang digunakan untuk mengukur kedalaman rata-rata suatu permukaan dengan menggunakan pasir yang memiliki gradasi seragam. Hasil pengukuran dengan *Sand Patch Method* ini dinamakan *MTD* (*Mean Texture Depth*) dengan satuan mm. Rumus *Mean Texture Depth* sebagai berikut

$$MTD = \frac{4 \times V \times 1000}{\pi \times D^2} \quad (1)$$

dengan:

- MTD* = *Mean Texture Depth* (mm)
- V* = Volume pasir (cm³)
- D* = Diameter *sand patch*

Untuk ekivalen ke nilai *IRI*, hasil *MTD* dikali dengan 1 km dibagi dengan diameter *sand patch*. Indikator kualitas perkerasan jalan berdasarkan *IRI* dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Indikator Kualitas Perkerasan Jalan

No	Nilai <i>IRI</i> (m/km)	Kualitas Perkerasan
1	<4	Baik
2	4 – 8	Sedang
3	8 – 12	Rusak Ringan
4	>12	Rusak Berat

Berdasarkan Tabel 1 dapat dilihat hubungan antara kualitas perkerasan dengan nilai *IRI*. Perkerasan kondisi baik apabila memiliki nilai *IRI* < 4 m/km. Perkerasan kondisi rusak berat apabila memiliki *IRI* > 12 m/km dengan kondisi jalan rusak berat.

ANALISA DAN PEMBAHASAN

Hasil Pemeriksaan Material

Pemeriksaan material ini bertujuan untuk mengetahui kualitas dari material yang akan digunakan. Pengujian aspal, agregat kasar, agregat medium, dan *Filler* menggunakan data sekunder sedangkan pengujian agregat halus menggunakan data primer. Hasil setiap pengujian memenuhi persyaratan yang ditentukan Spesifikasi Umum Bina Marga Divisi 6 tahun 2019, sehingga material bisa digunakan sebagai penyusun campuran panas. Apabila material tidak memenuhi spesifikasi, disarankan untuk mengganti material lain. Setelah didapatkan hasil pemeriksaan maka dilakukan *bleending*. Perencanaan penggabungan gradasi agregat agar sesuai dengan spesifikasi bina marga yang ditentukan penulis mengkombinasikan 4 fraksi yaitu fraksi *CA*, *MA*, *FA*, serta *Filler*. Kombinasi beberapa fraksi tersebut menggunakan cara trial and error.

Penggabungan antara fraksi *CA*, *MA*, serta *FA* digunakan untuk menentukan Kadar Aspal Optimum yang akan digunakan. Penggabungan fraksi *CA*, *MA*, *FA*, serta *Filler* digunakan untuk mengetahui pengaruh *filler* dalam campuran. Untuk data hasil *bleending* agregat setiap variasi *filler* dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Rekeyasa *Bleending*

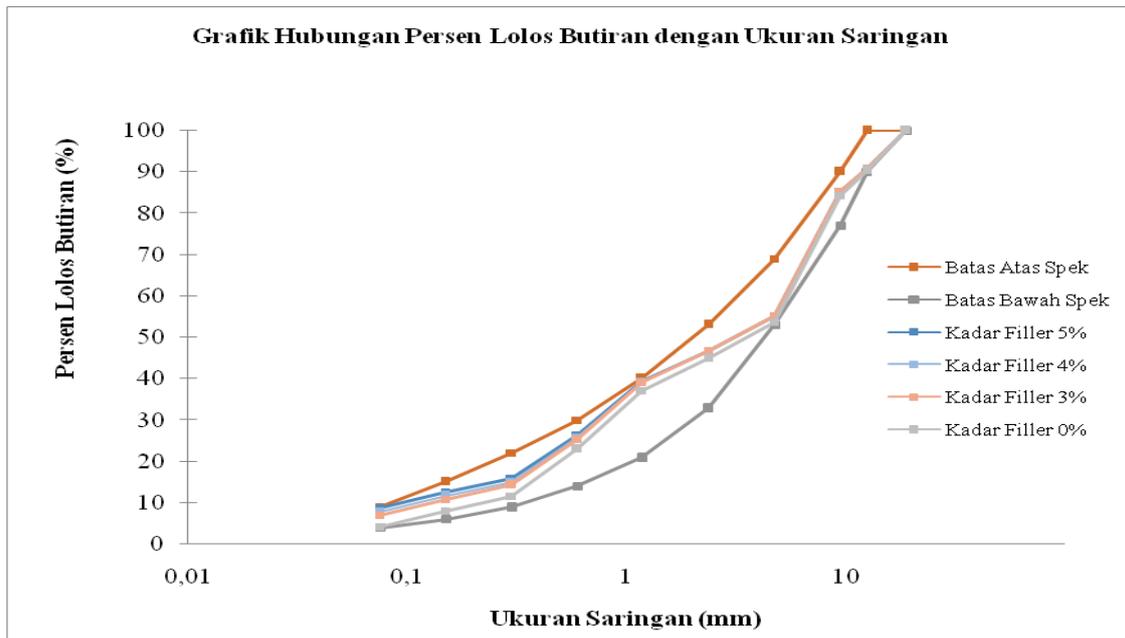
Ukuran Saringan	Persen Lolos Butiran Setiap Kadar <i>Filler</i>				Spesifikasi
	0%	3%	4%	5%	
mm	%				
19.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100-100
12.50	90.28	90.85	90.85	90.85	90-100
9.50	84.37	85.29	85.29	85.29	77-90
4.75	53.68	55.28	55.28	55.28	53-69
2.36	44.89	46.73	46.74	46.75	33-53
1.18	37.09	39.12	39.30	39.47	21-40
0.60	22.95	25.36	25.90	26.44	14-30
0.30	11.56	14.26	15.09	15.92	9-22
0.15	8.00	10.80	11.68	12.57	6-15
0.08	4.08	6.97	7.90	8.83	4-9
pan	0	0	0	0	0

Sumber: Hasil Penelitian

Untuk proporsi fraksi setiap variasi kadar *filler* sebagai berikut
 Kadar Filler 0% = CA (17%), MA (45%), FA (38%)
 Kadar Filler 3% = CA (16%), MA (44%), FA (37%),
Filler (3%)
 Kadar Filler 4% = CA (16%), MA (44%), FA (36%),
Filler (4%)

Kadar Filler 5% = CA (16%), MA (44%), FA (35%),
Filler (5%)

Penentuan proporsi fraksi menggunakan metode trial and error. Grafik yang dibentuk antara ukuran saringan dengan persen lolos butiran harus masuk amplop gradasi yang telah ditentukan oleh spesifikasi binamarga divisi 6 revisi 3 tahun 2018. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik Hubungan Persen Lolos Butiran dengan Ukuran Saringan

Berdasarkan Gambar 2 kombinasi fraksi setiap kadar filler terletak diantara batas bawah dan atas gradasi yang telah ditentukan, sehingga prosentase jumlah penggunaan fraksi dapat digunakan. Pada axis sumbu x menggunakan skala logaritma, sehingga untuk axis minimum tidak 0. Hal ini disebabkan $^{10}\log 0$ mempunyai hasil tidak terdefinisi.

Penentuan Kadar Aspal Optimum

Kadar Aspal Optimum digunakan untuk menentukan kadar aspal yang akan digunakan dalam pembuatan benda uji dengan tambahan *filler*. Penambahan *filler* dimaksudkan untuk memperbaiki kualitas *Properties Marshall* dalam campuran.

Proporsi agregat yang digunakan yaitu proporsi agregat berdasarkan kombinasi fraksi tanpa *filler*. Presentase penggunaan fraksi sebagai berikut:

CA 17% = 204 gram
 MA 48% = 576 gram
 FA 35% = 420 gram.

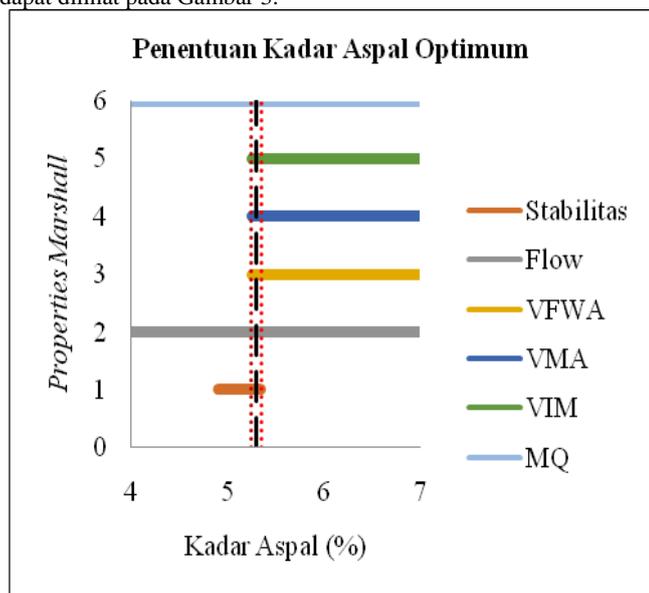
Untuk variasi kadar aspal yang digunakan yaitu 4%, 5%, 6%, dan 7% dari total campuran, yaitu 1200 gram. *Properties Marshall* merupakan aspek untuk menentukan Kadar Aspal Optimum pada campuran. Setelah ditentukan proporsi fraksi dalam campuran maka dilakukan pembuatan benda uji kemudian dilakukan pengujian *Marshall* dan Volumetrik. Setelah didapatkan data dan dianalisis didapatkan hasil pada Tabel 3.

Tabel 3. *Properties Marshall* Penentuan Kadar Aspal Optimum

Kadar Aspal	Kode Uji	<i>Properties Marshall</i>					
		VIM	VMA	VFWA	Stabilitas	Flow	MQ
%	-	%	%	%	kg	mm	kg/mm
4	1	6.18	13.81	55.29	736.15	2.40	306.73
	2	6.88	14.46	52.42	695.69	2.10	331.28
	Rerata	6.53	14.13	53.85	715.92	2.25	331.28
5	1	5.34	14.77	63.89	832.02	2.10	396.20
	2	5.41	14.84	63.54	831.43	1.90	437.60
	Rerata	5.37	14.81	63.71	831.73	2.00	416.90
6	1	3.94	15.21	74.08	629.19	2.10	299.61
	2	4.32	15.54	72.20	844.63	2.30	367.23
	Rerata	4.13	15.38	73.14	736.91	2.20	333.42
7	1	3.72	16.64	77.67	600.53	2.50	240.21
	2	3.58	16.52	78.33	600.21	2.40	250.09
	Rerata	3.65	16.58	78.00	600.37	2.45	245.15

Sumber: Hasil Penelitian

Berdasarkan Tabel 3 nilai stabilitas pada campuran relatif rendah. Kadar aspal optimum ditentukan dengan memperhatikan data hasil uji yang kemudian disesuaikan dengan spesifikasi bina marga yang telah ditentukan. Setelah dilakukan analisis dan didapatkan nilai *Properties Marshall* maka dapat ditentukan nilai Kadar Aspal Optimum dalam campuran. Penentuan nilai Kadar Aspal Optimum dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Penentuan Kadar Aspal Optimum

Berdasarkan dari Gambar 3 didapatkan kadar aspal minimum masuk spesifikasi yaitu 5,25 % dan kadar aspal maksimum masuk spesifikasi yaitu 5,35%, sehingga didapatkan KAO sebagai berikut

$$\begin{aligned}
 \text{KAO} &= (\text{Kadar Aspal Minimum} + \text{Kadar Aspal Maksimum}) / 2 \\
 &= (5,25 + 5,35) / 2 \\
 &= 5,3\%
 \end{aligned}$$

Rentang kadar aspal yang memasuki spesifikasi sangat riskan jika di terapkan dalam lapangan karena sering meleset. Untuk mengatasi hal tersebut maka dilakukan pencarian kadar aspal optimum. Kadar aspal optimum merupakan nilai tengah dari kadar aspal minimum dan maksimum masuk spesifikasi, sehingga kemungkinan meleset di lapangan dapat diminimalisir.

Berdasarkan Tabel 3 nilai stabilitas dan *MQ* pada campuran relatif lebih rendah, selain aspek tersebut didapatkan hasil uji yang relatif bagus. Perbaikan sifat *Properties Marshall* terutama nilai stabilitas perlu dilakukan. Penambahan *filler* pada campuran merupakan salah satu cara yang digunakan untuk memperbaiki stabilitas pada campuran tersebut.

Penulis berusaha memperbaiki nilai stabilitas tersebut dengan menambahkan *filler fly ash* dalam campuran. Selain mengisi rongga udara kandungan silika yang memiliki daya ikat tinggi, besar kemungkinan memperbaiki nilai stabilitas pada campuran. Penambahan *filler* juga harus dikontrol, hal ini dikarenakan jumlah *filler* yang terlalu tinggi bisa menyebabkan campuran rentan *bleeding*.

Analisis Nilai Ketidakrataan

Pembuatan benda uji dilakukan berdasarkan variasi *filler* yang telah direncanakan. Variasi *filler* yang digunakan yaitu 0%, 3%, 4%, dan 5%. Sebelum sample direndam dan diuji *Marshall* maupun Volumetrik, sample diuji nilai ketidakrataan terlebih dahulu. Nilai ketidakrataan dihitung dengan menggunakan metode *Sand Patch Methode* / metode lingkaran pasir. Selain menggunakan metode *Sand Patch Methode* pengujian nilai ketidakrataan juga menggunakan metode pengukuran volume dengan menggunakan berat. Pengukuran menggunakan 2 metode ini dimaksudkan untuk mendapatkan hasil yang lebih valid, sehingga bisa meningkatkan tingkat kepercayaan pada data yang didapat. Pengujian juga dilakukan pada kedua sisi sample. Setelah dilakukan percobaan dan dilakukan analisis didapatkan hasil seperti pada tabel 4

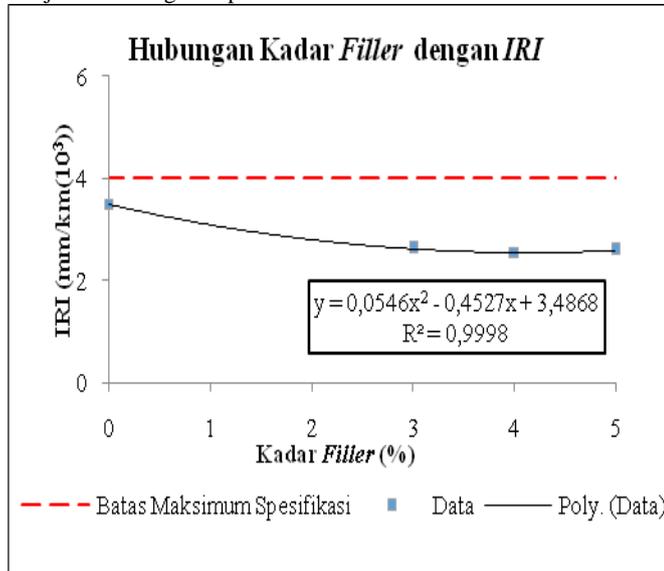
Tabel 4. Tabel Hasil Uji Nilai Ketidakrataan

Kadar <i>Filler</i>	Nilai Ketidakrataan (<i>IRI</i>)		
	<i>Sand Patch Methode</i>	Pendekatan Volume	Rerata
%	m/km	m/km	m/km
Sample pasir sungai	3.70	3.93	3.81
0	3.40	3.57	3.49
3	2.60	2.65	2.63
4	2.40	2.68	2.54
5	2.40	2.79	2.59

Sumber: Hasil Penelitian

Berdasarkan Tabel 4 dapat dilihat, dari hasil uji kedua metode pendekatan menunjukkan penggunaan pasir pantai sebagai agregat halus dan penambahan *fly ash* dalam campuran dapat memperbaiki nilai ketidakrataan. Kadar *filler* yang semakin tinggi berdampak pada penurunan nilai ketidakrataan pada campuran. Semakin tinggi penambahan *filler* nilai ketidakrataan juga semakin turun, namun penurunan yang terjadi tidak signifikan.

Untuk lebih jelasnya hasil percobaan dengan dua metode akan disajikan dalam grafik pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik Hubungan Kadar *Filler* dengan Nilai Ketidakrataan

Berdasarkan Gambar 4 hubungan antara kadar *filler* dengan nilai ketidakrataan membentuk parabola terbuka dengan titik minimum di kadar *filler* 4,2 %. Pada kadar *filler* 4,2 % didapatkan nilai ketidakrataan 2,55 m/km. Perpotongan garis *trendline* dengan batas spesifikasi terjadi pada kadar *filler* -1,2 % dan 9,3 %, sehingga jika garis persamaan tersebut diteruskan maka didapatkan nilai kadar *filler* maksimum masuk spesifikasi yaitu 9,3 %. Berdasarkan persamaan juga didapatkan nilai koefisien korelasi sebesar 0,9999 yang menandakan bahwa kadar *filler* mempunyai pengaruh yang kuat terhadap nilai ketidakrataan pada sampel.

Berdasarkan tabel 4 dapat dilihat juga nilai ketidakrataan campuran pasir sungai, pasir pantai, maupun pasir pantai dengan *filler fly ash* memasuki spesifikasi yang telah ditentukan yaitu dibawah 4 m/km. Secara sekilas berdasarkan garis *trendline* dapat dilihat penambahan *filler* dapat memperbaiki nilai ketidakrataan. Terjadi penurunan nilai yang drastis saat campuran ditambahkan *filler* 3%. Namun setelah penambahan *filler* 4% dan 5% penurunan nilai ketidakrataan tidak signifikan bahkan dapat dikatakan cenderung konstan.

Analisis Nilai *Properties Marshall*

Sample yang telah diuji ketidakrataan dan direndam 24 jam maka dilakukan uji volumetric dan *Properties Marshall*. *Properties Marshall* merupakan salah satu faktor yang penting dalam suatu campuran aspal untuk menentukan kinerja campuran tersebut. Faktor-faktor tersebut antara lain Stabilitas, *Flow*, *VIM*, *VFWA*, *VMA* dan *Marshall Quotient*. Pengujian *Marshall* dilakukan pada campuran dengan kadar *filler* dengan menggunakan KAO yang telah ditentukan pada proses sebelumnya. Setelah didapatkan data dan dianalisis didapatkan hasil pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Uji *Properties Marshall* dengan Penambahan *Filler*

Kadar <i>Filler</i>	Kode Uji	<i>Properties Marshall</i>					
		<i>VIM</i>	<i>VMA</i>	<i>VFWA</i>	Stabilitas	<i>Flow</i>	<i>MQ</i>
%	-	%	%	%	Kg	mm	kg/mm
	1	4.85	15.20	68.10	1853.18	2.30	805.73
Sampel Pasir Sungai	2	4.84	15.20	68.14	1780.05	2.15	827.93
	3	4.83	15.19	68.19	1648.14	2.10	784.83
	Rerata	4.84	15.20	68.14	1760.46	2.18	806.16

Lanjutan Tabel 5. Hasil Uji *Properties Marshall* dengan Penambahan *Filler*

Kadar <i>Filler</i>	Kode Uji	<i>Properties Marshall</i>					
		VIM	VMA	VFWA	Stabilitas	Flow	MQ
0	1	4.05	14.13	71.32	738,084	2.20	335.49
	2	5.74	15.65	63.29	922.68	2.30	401.16
	3	4.89	14.88	67.16	833.36	2.10	396.84
	Rerata	4.89	14.89	67.26	831.37	2.20	377.83
3	1	4.93	14.95	67.01	1146.36	2.30	498.42
	2	5.39	15.36	64.93	1135.47	2.60	436.72
	3	4.62	14.68	68.51	1439.76	2.50	575.90
	Rerata	4.98	15.00	66.82	1240.53	2.47	503.68
4	1	4.79	14.83	67.69	1273.07	2.10	606.22
	2	5.25	15.24	65.56	1060.02	2.00	530.01
	3	5.00	15.02	66.70	1017.83	2.00	508.92
	Rerata	5.01	15.03	66.65	1116.97	2.03	548.38
5	1	4.42	14.50	69.55	1090.44	2.20	495.65
	2	4.61	14.67	68.59	1322.23	1.90	695.91
	3	6.00	15.92	62.30	1058.85	1.80	588.25
	Rerata	5.01	15.03	66.81	1157.17	1.97	593.27

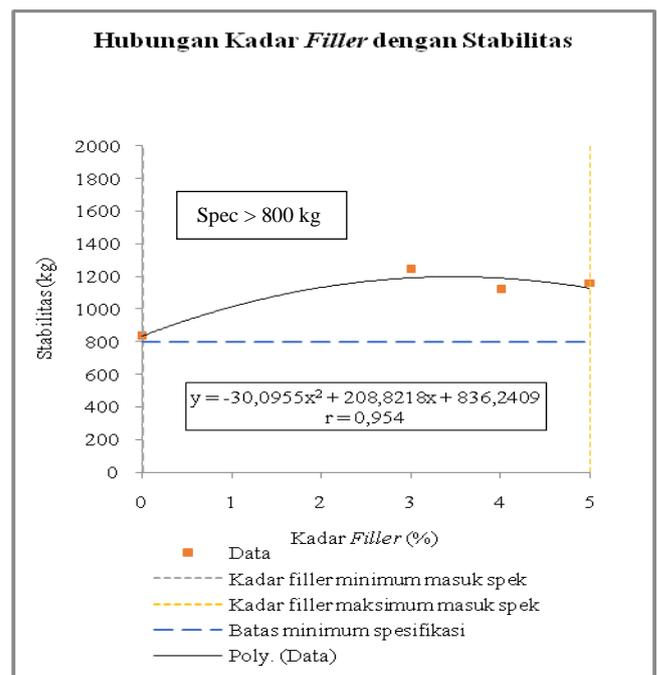
Sumber: Hasil Penelitian

Berdasarkan Tabel 5 dapat dilihat nilai stabilitas dan *MQ* pada sample pasir sungai lebih baik dibandingkan campuran modifikasi (agregat halus pasir dengan penambahan *filler fly ash*). Dilihat dari aspek stabilitas dan *MQ* terdapat perbedaan nilai yang cukup jauh antara campuran modifikasi (pasir Pantai sebagai agregat halus dengan *filler fly ash*) dengan campuran pasir sungai. Namun jika dilihat dari aspek *VIM*, *VFWA*, dan *VMA* tidak terdapat perbedaan nilai yang jauh. Penambahan *filler fly ash* dapat memperbaiki nilai stabilitas dan *MQ* pada campuran dengan pasir pantai sebagai agregat halus.

Pada kadar *filler* 0 % yang notabene sudah menggunakan KAO didapatkan nilai *VMA* yang tidak memasuki spesifikasi. Perbedaan nilai yang didapat dengan spesifikasi tidak signifikan. Hal ini mungkin disebabkan dalam pembuatan maupun pengujian sample terdapat beberapa faktor yang sulit untuk dikontrol, seperti suhu, kehilangan berat agregat saat pembuatan sample, kurang teliti dalam melakukan penimbangan, sehingga jika terjadi kesalahan prosedur yang kecil bisa mempengaruhi hasil pengujian.

Pengaruh penambahan *filler* pada *Properties Marshall* dapat dilihat pada grafik yang akan ditampilkan di bawah. Penentuan persamaan garis yang akan digunakan untuk penggambaran grafik, ditentukan dengan menggunakan metode *least square error*. Berdasarkan analisa yang dilakukan semua penggambaran hubungan kadar *filler* dengan aspek *Properties Marshall* menggunakan persamaan kuadrat/*trendline* polynomial.

Hubungan antara kadar *filler* dengan Stabilitas dapat dilihat pada Gambar 5.



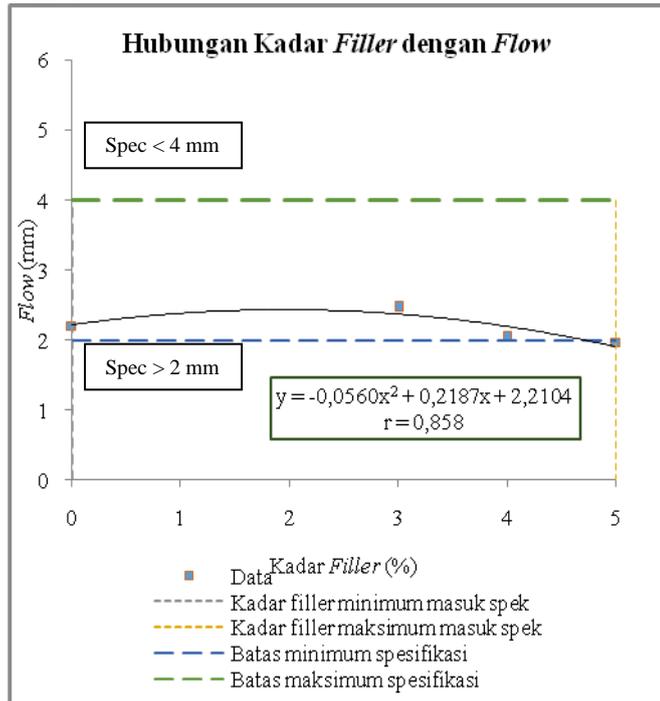
Gambar 5. Grafik Hubungan Kadar *Filler* dengan Stabilitas

Berdasarkan Gambar 5 hubungan antara kadar *filler* dengan stabilitas membentuk parabola tertutup dengan titik maksimum pada kadar *filler* 3,47 %. Pada kadar *filler* 3,47 % didapatkan nilai stabilitas 1198,48 kg. Perpotongan garis *trendline* dengan batas spesifikasi 800 kg terjadi pada kadar *filler* -0,17 % dan 7,11 %, sehingga jika garis persamaan tersebut diteruskan maka didapatkan nilai kadar *filler* maksimum masuk spesifikasi yaitu 7,11 %. Berdasarkan persamaan juga didapatkan nilai koefisien korelasi sebesar 0,954 yang menandakan bahwa kadar *filler* mempunyai pengaruh yang kuat terhadap stabilitas pada campuran.

Berdasarkan Gambar 5 juga didapatkan semua variasi kadar *filler* memenuhi persyaratan stabilitas yang telah ditentukan yaitu lebih dari 800 kg. Pada kadar *filler* 0% didapatkan nilai 831,37 kg dan pada kadar *filler* 5% didapatkan nilai 1157,17 kg sedangkan

pada sample biasa didapatkan nilai 1760,46 kg. Nilai stabilitas maksimum berdasarkan data yang dicapai sebesar 1240,53 kg, kemudian pada kadar *filler* 4% turun sebesar 1116,98 kg, dan setelah itu mengalami kenaikan sebesar 1157,17 kg.

Hubungan antara kadar *filler* dengan *flow* dapat dilihat pada Gambar 6

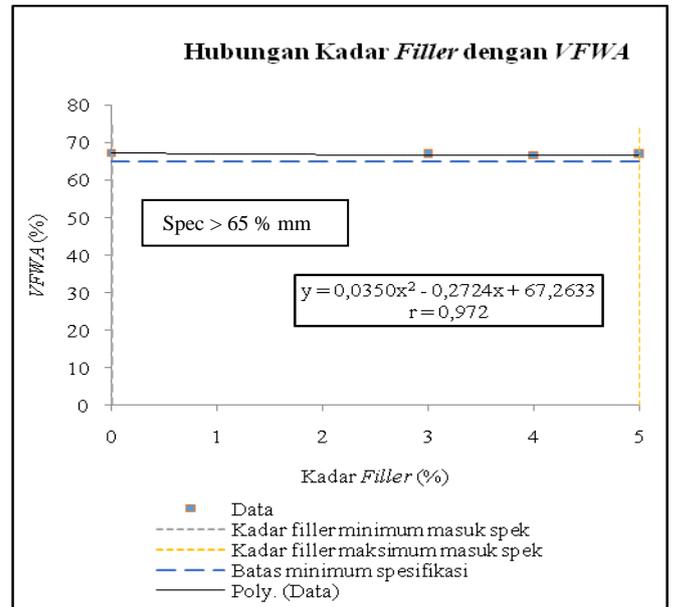


Gambar 6. Grafik Hubungan Kadar Filler dengan Flow

Berdasarkan Gambar 6 hubungan antara kadar *filler* dan *flow* membentuk parabola tertutup dengan titik maksimum pada kadar *filler* 1,953 %. Pada kadar *filler* 1,953 % didapatkan nilai *flow* 2,42 mm. Perpotongan garis *trendline* dengan batas spesifikasi 2 mm terjadi pada kadar *filler* -0,8 % dan 4,7 %, sehingga batas maksimum kadar *filler* masuk spesifikasi yaitu kadar *filler* 4,7 %. Sedangkan pada batas spesifikasi 4 mm tidak terjadi perpotongan garis *trendline*. Hal ini dikarenakan dari hasil analisis didapatkan akar persamaan imajiner. Berdasarkan persamaan juga didapatkan nilai koefisien korelasi sebesar 0,858 yang menandakan bahwa kadar *filler* mempunyai pengaruh yang kuat terhadap *flow* pada campuran.

Berdasarkan Gambar 3.5 juga didapatkan tidak semua variasi kadar *filler* memenuhi persyaratan *flow* yang telah ditentukan yaitu antara 2 – 4. Pada kadar *filler* lebih dari 1,953 % berdasarkan garis *trendline* mengalami penurunan. Penurunan nilai *flow* disebabkan semakin getasnya campuran seiring meningkatnya kadar *filler*.

Hubungan antara *filler* dengan *VFWA* dapat dilihat pada Gambar 7.

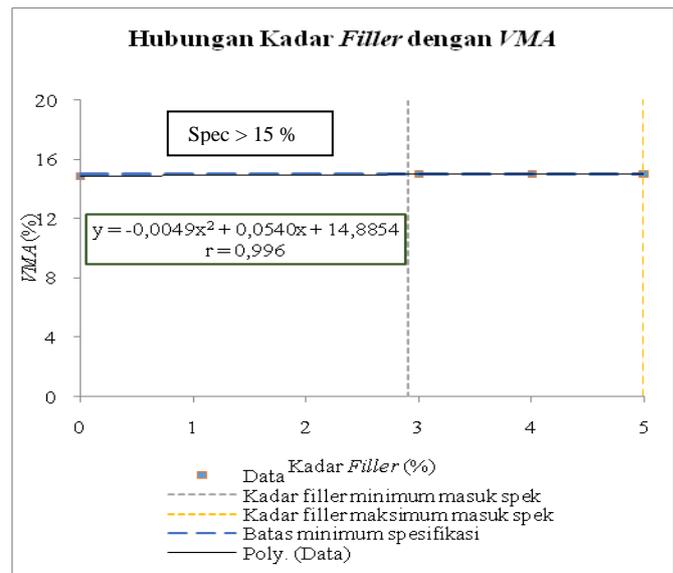


Gambar 7. Grafik Hubungan Kadar Filler dengan VFWA

Berdasarkan Gambar 7 hubungan antara kadar *filler* dan nilai *VFWA* membentuk parabola terbuka dengan titik minimum pada kadar *filler* 3,89 %. Pada kadar *filler* 3,89 % didapatkan nilai *VFWA* sebesar 66,73 %. Tidak terjadi perpotongan garis *trendline* dengan batas spesifikasi. Hal ini dikarenakan dari hasil analisis didapatkan akar persamaan imajiner. Berdasarkan persamaan juga didapatkan nilai koefisien korelasi sebesar 0,972 yang menandakan bahwa kadar *filler* mempunyai pengaruh yang kuat terhadap nilai *VFWA* pada campuran.

Berdasarkan Gambar 7 dapat dilihat juga semua variasi kadar *filler* memenuhi persyaratan *VFWA* yang telah ditentukan yaitu di atas 65%. Pada kadar *filler* 0% didapatkan nilai *VFWA* 67,26% dan pada kadar *filler* 5% didapatkan nilai 66,81%, sedangkan pada sample biasa didapatkan nilai 69,05%. Secara sekilas berdasarkan garis *trendline* dapat dilihat semakin besar kadar *filler* diikuti dengan penurunan nilai *VFWA* yang tidak signifikan, sehingga dapat disimpulkan penambahan *filler* fly ash dapat memperbaiki nilai *VFWA* dalam campuran.

Hubungan antara kadar *filler* dengan *VMA* dapat dilihat pada grafik pada Gambar 8.

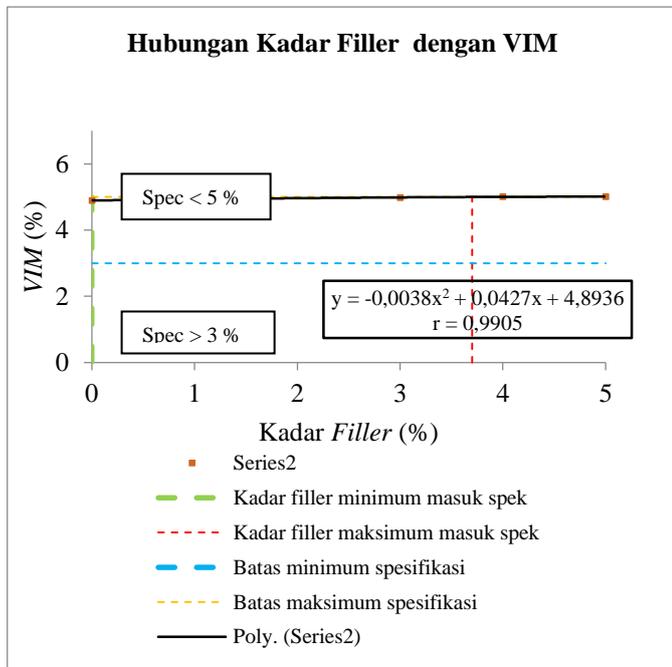


Gambar 8. Grafik Hubungan Kadar Filler dengan VMA

Berdasarkan Gambar 8 hubungan antara kadar *filler* dengan nilai *VMA* membentuk parabola tertutup dengan titik maksimum pada kadar *filler* 5,5 %. Pada kadar *filler* 5,5 % didapatkan nilai *VMA* sebesar 15,034 %. Perpotongan garis *trendline* dengan batas spesifikasi 15% terjadi pada kadar *filler* 2,9 % dan 8,6 %, sehingga batas minimum kadar *filler* masuk spesifikasi yaitu kadar *filler* 3,7

%. Jika garis persamaan tersebut diteruskan maka didapatkan nilai kadar *filler* maksimum masuk spesifikasi yaitu 8,6 %. Berdasarkan persamaan juga didapatkan nilai koefisien korelasi sebesar 0,996 yang menandakan bahwa kadar *filler* mempunyai pengaruh yang kuat terhadap nilai *VMA* pada campuran.

Berdasarkan Gambar 8 juga didapatkan tidak semua variasi kadar *filler* memenuhi persyaratan *VMA* yang telah ditentukan yaitu di atas 15%. Secara sekilas berdasarkan garis *trendline* dapat dilihat semakin bertambahnya kadar *filler* diikuti dengan kenaikan nilai *VMA* dalam campuran namun tidak signifikan. Hubungan antara kadar *filler* dengan *VIM* dapat dilihat pada Gambar 9.

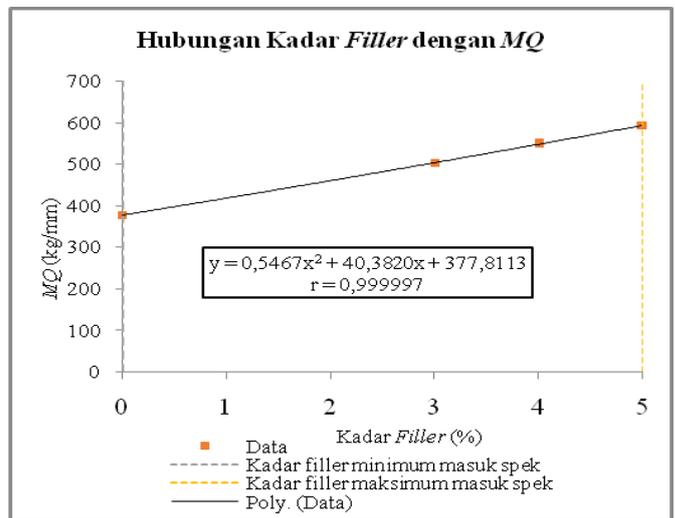


Gambar 9. Grafik Hubungan Kadar *Filler* dengan *VIM*

Berdasarkan Gambar 9 hubungan antara kadar *filler* dan nilai *VIM* membentuk parabola tertutup dengan titik maksimum pada kadar *filler* 5,65 %. Pada kadar *filler* 5,65 % didapatkan nilai *VIM* sebesar 5,014 %. Perpotongan garis *trendline* dengan batas spesifikasi 5% terjadi pada kadar *filler* 3,7 % dan 7,6 %, sehingga batas maksimum kadar *filler* masuk spesifikasi yaitu kadar *filler* 3,7 %. Sedangkan perpotongan garis *trendline* dengan batas spesifikasi 3% terjadi pada kadar *filler* -17,43 % dan 28,74 %. Berdasarkan persamaan juga didapatkan nilai koefisien korelasi sebesar 0,991 yang menandakan bahwa kadar *filler* mempunyai pengaruh yang kuat terhadap nilai *VIM* pada campuran.

Berdasarkan grafik 9 juga didapatkan tidak semua variasi kadar *filler* memenuhi persyaratan *VIM* yang telah ditentukan yaitu antara 3% – 5%. Pada kadar *filler* 0% didapatkan nilai *VIM* 4,89 % dan pada kadar *filler* 5% didapatkan nilai 5,01%, sedangkan pada sample biasa didapatkan nilai 4,84%. Secara sekilas berdasarkan garis *trendline* dapat dilihat semakin besar kadar *filler* maka semakin besar nilai *VIM* dalam campuran, sehingga dari hasil uji yang didapatkan dapat disimpulkan penambahan *filler* dalam kadar tertentu dalam campuran dapat memperbaiki nilai *VIM* pada campuran.

Hubungan antara kadar *filler* dengan *Marshall Quotient* dapat dilihat pada Gambar 10.



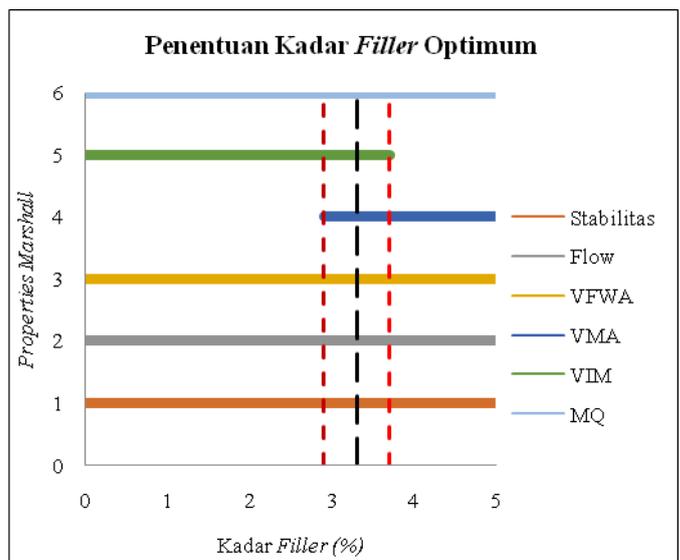
Gambar 10. Grafik Hubungan Kadar *Filler* dengan *Marshall Quotient*

Berdasarkan Gambar 10 hubungan antara kadar *filler* dengan *Marshall Quotient* membentuk parabola terbuka, hal ini ditandai dengan nilai negatif pada konstanta x^2 . Berdasarkan persamaan juga didapatkan nilai koefisien korelasi sebesar 0,999997 yang menandakan bahwa kadar *filler* mempunyai pengaruh yang kuat terhadap nilai *MQ* pada campuran. Secara sekilas berdasarkan gambar 10 dapat dilihat dari garis *trendline* setiap kenaikan kadar *filler* diikuti dengan kenaikan nilai *Marshall Quotient* pada campuran yang signifikan.

Pada grafik dapat dilihat nilai minimum *Marshall Quotient* terdapat pada kadar *filler* 0% sebesar 377,81 kg/mm dan nilai maksimum terdapat pada kadar *filler* 5% sebesar 593,27 kg/mm. Terdapat perbedaan nilai *MQ* yang cukup jauh antara campuran modifikasi (agregat halus pasir dengan penambahan *filler fly ash*) dengan campuran pasir pantai.

Setelah melakukan analisis pada semua aspek *Properties Marshall* maka bisa didapatkan kadar *filler* optimum pada campuran. Dari analisis yang telah dilakukan tidak semua kadar *filler* masuk pada setiap aspek *Properties Marshall*. Pada aspek *VMA*, *VIM*, dan *flow* terdapat rentang kadar *filler* tertentu yang masuk spesifikasi yang telah ditentukan. Berbeda dengan aspek tersebut, untuk stabilitas dan *VFWA* semua kadar *filler* masuk spesifikasi yang telah ditentukan.

Dalam penentuan kadar *filler* optimum dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Penentuan Kadar *Filler* Optimum

Berdasarkan dari grafik pada Gambar 11 didapatkan kadar *filler* minimum masuk setiap aspek *Properties Marshall* yaitu 2,9 % dan kadar *filler* maksimum yang masuk yaitu 3,7 %, sehingga didapatkan KFO sebagai berikut

$$KFO = (\text{Kadar Filler Minimum} + \text{Kadar Filler Maksimum}) / 2$$

$$= (2,9 + 3,7) / 2$$

$$= 3,3 \%$$

Berdasarkan analisis dengan menggunakan persamaan garis *trendline* setiap aspek, didapatkan nilai *Properties Marshall* untuk kadar *filler* 3,3 % pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Uji *Properties Marshall* Kadar *Filler* 3,3 %

Aspek	Persamaan	Hasil
Stabilitas	$y = -30.095x^2 + 208.822x + 836.241$	1197.62 kg
Flow	$y = -0.056x^2 + 0.2187x + 2.2104$	2.32 mm
VFWA	$y = 0.035x^2 - 0.2724x + 67.263$	66.74 (%)
VMA	$y = -0.0049x^2 + 0.054x + 14.885$	15.01 (%)
VIM	$y = -0.0038x^2 + 0.0427x + 4.8936$	4.99 (%)
MQ	$y = 0.546x^2 + 40.382x + 377.811$	517.02 kg/mm

Sumber: Hasil Penelitian

Persamaan pada Tabel 6 didapatkan dari persamaan yang menggambarkan hubungan antara kadar *filler* dengan setiap aspek *Properties Marshall*. Seperti yang dijelaskan sebelumnya, penentuan persamaan yang digunakan berdasarkan metode kuadrat terkecil. Penjelasan lebih jelas mengenai persamaan tersebut sudah dijelaskan pada setiap hubungan antara kadar *filler* dengan setiap *Properties Marshall* poin sebelumnya.

Berdasarkan Tabel 6 Setelah dilakukan penambahan *filler* dalam campuran terjadi perbaikan *Properties Marshall* pada campuran terutama pada aspek stabilitas dan *Marshall Quotient*. Jika dibandingkan dengan sample biasa, dari segi aspek stabilitas dan *Marshall Quotient* masih terjadi perbedaan nilai yang cukup jauh. Berbeda dengan aspek stabilitas dan *MQ*, nilai *VIM*, *VFWA*, dan *VMA* dalam campuran pasir sungai maupun campuran pasir pantai dengan *filler fly ash* tidak terdapat perbedaan yang signifikan.

PENUTUP

Kesimpulan

1. Penambahan *filler fly ash* dalam campuran dapat menurunkan nilai ketidakrataaan. Semakin tinggi kadar *filler* dalam campuran diikuti dengan penurunan nilai ketidakrataaan. Nilai ketidakrataaan campuran pasir pantai lebih baik dibandingkan dengan campuran pasir sungai.
2. Aspek *Properties Marshall* selain stabilitas dan *MQ* pada campuran pasir sungai maupun campuran pasir pantai dengan *filler fly ash* memiliki perbedaan yang tidak signifikan. Penambahan *filler fly ash* dalam campuran pasir pantai dapat meningkatkan stabilitas dan *MQ* campuran tersebut.
3. Hasil penelitian mendapatkan kadar *filler* optimum 3,3%. Dari persamaan garis *trendline* didapatkan nilai *Properties Marshall* sebagai berikut, Stabilitas 1196,99 kg, flow 2,32 mm, *VFWA* 66,74 %, *VMA* 15,01 %, *VIM* 4,99 %, dan *MQ* 516,74 kg/mm.

Saran

1. Agregat halus dalam campuran sebaiknya kombinasi antara pasir pantai dengan pasir sungai, hal ini dikarenakan penggunaan pasir pantai menyebabkan penurunan nilai stabilitas dan *Marshall Quotient* yang terlalu signifikan.
2. Penambahan kadar *filler* dalam campuran harus diperhatikan karena terlalu banyak menambah kadar *filler* dalam campuran bisa membuat campuran menjadi getas.

DAFTAR PUSTAKA

Agustyan, P.E. 2019. *Alternatif Penggunaan Pasir Laut Paciran Sebagai Bahan Susun Aspal Panas AC-WC*. Jurnal Teknik Sipil Teuku Umar. 5(2): 92-99

Arifiardi, I., Hadi, W., dan Adhi, P. 2016. *Pengaruh Penggunaan Pasir Pantai Carita sebagai Campuran Agregat Halus pada Lapis Permukaan Aspal Beton terhadap*

Persyaratan Parameter Aspal. Jurnal Teknik Sipil Menara. 11(1):1-16

Bina Marga. 2018. *Spesifikasi Umum 2018*. Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional. Yogyakarta: Direktorat Jendral Bina Marga.

Debashish, Kar., Panda, M., dan Giri, P.G. 2014. *Influence of Fly-Ash as A Filler In Bituminous Mixes*. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 9(6): 1-6

Hasmiati. 2014. *Mix Design Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC) dengan Menggunakan Fly Ash Batu Bara sebagai Pengganti Filler*. Jurnal Ilmiah Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Halu Oleo Kendari. 2(1):133-144

Mangerongkonda, D. 2007. *Pengaruh Penggunaan Pasir Laut Bangka Terhadap Karakteristik Kualitas Beton*. Skripsi. Depok: Fakultas, Teknik Universitas Gunadarma.

Martha K, A. 2012. *Analisis Kinerja Campuran Aspal Panas dengan Menggunakan Variansi Komposisi BGA (Buton Granular Asphalt) dan Penambahan Aditif Jenis Polimer*. Skripsi. Depok: Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

Najihan, H.F. 2019. *Pengaruh Penggunaan Pasir Pantai sebagai Bahan Pengganti Agregat Halus dengan Penambahan Filler Abu Tebu pada Campuran Aspal terhadap Karakteristik Marshall*. Skripsi. Yogyakarta: Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta Yogyakarta

Nastiti, A., Mulyono, T., dan Purnomo, A. 2016. *Kajian Laboratorium Parameter Marshall dengan Pasir Pantai Carita sebagai Agregat Halus dalam HRS-WC*. Jurnal Menara Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Jakarta. 11(1):64-78

Nurmaidah. 2016. *Pengaruh Penggunaan Abu Vulkanik sebagai Bahan Pengisi (Filler) Campuran AC-WC terhadap Karakteristik Marshall*. Jurnal Pendidikan Teknik Bangunan dan Sipil. 2(2):1-9

Pembuain, A., Priyanto, dan Parna, L.B. 2018. *Evaluasi Kemantapan Permukaan Jalan berdasarkan International Roughness Index*. Jurnal Ilmiah Bidang Ilmu Kerekayasaan. 39(2): 126-131

Poermomo, H. (2009). *Karakteristik Fisik Partikel Nano Abu Layang sebagai Bahan Urug pada Penyimpanan Limbah Radioaktif*. Indonesian Journal of Chemistry. 9(1):28-36

Purba, O.S.M. 2011. *Hubungan Beban Lalu Lintas dan Structural Number terhadap Prediksi Mulainya Retak dan Perkembangannya*. Skripsi. Medan: Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara.

Shabrina, A. 20019. *Analisis Pemanfaatan Pasir Pantai Kemala sebagai Bahan tambah Campuran Asphalt Concrete – Wearing Course (AC-WC) terhadap Nilai Marshall*

- Properties dan Nilai Struktural*. Skripsi. Surakarta: Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Somayaji, Shan. 2001. *Civil Engineering Materials*. New Jersey : Prentice-Hall.
- Sukirman, Silvia. 1999. *Perkerasan Lentur Jalan Raya*. Bandung: Nova
- Sukirman, Silvia. 2003. *Beton Aspal Campuran Panas*. Bandung: Nova
- Thoa'tin, U., Styawan, A., dan Suprpto, M. (2016). *Penggunaan Metode Internasional Roughness Index (IRI), Surface Distress Index (SDI), dan Pavement Condition Index (PCI) untuk Penilaian Kondisi Jalan di Kabupaten Wonogiri*. Makalah disajikan dalam seminar Seminar Nasional Sains dan Teknologi 2016 ,di Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jakarta.
- Velegrakis, A.F., Ballay, A., Poulos, S., Radzevicius, R., Belle, V., & Manso, F. (2007). *European Marine Aggregates Resources: Origin, Usage, Prospecting Dredging Techniques*. *Jornal Of Coastel Research*. 1(51): 1-14