

HUBUNGAN MODULUS KEHALUSAN AGREGAT DENGAN KRITERIA MARSHALL PADA CAMPURAN ASPAL PANAS BERGRADASI SENJANG

Claufia Rafika Musadi

Mecky R. E. Manoppo, Steve Ch. N. Palenewen

Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Sam Ratulangi Manado

Email: claufiarafika@gmail.com

ABSTRAK

Dalam Spesifikasi Teknik Bina Marga perencanaan campuran beton aspal, parameter modulus kehalusan tidak digunakan, namun dalam penelitian ini akan dilakukan suatu percobaan perancangan beton aspal dengan penentuan perkiraan kadar aspal menggunakan Modulus Kehalusan. Material yang digunakan dalam penelitian ini diambil dari daerah Lansot, Kema, Minahasa Utara (PT. Marabunta Adi Perkasa). Penelitian dilakukan untuk menentukan perkiraan kadar aspal dengan menganalisis hubungan Modulus Kehalusan dengan besaran kriteria Marshall pada campuran aspal panas bergradasi senjang, dan untuk melihat pengaruh Modulus Kehalusan dengan kriteria Marshall pada campuran HRS-WC bergradasi senjang.

Langkah awal penelitian adalah membuat membuat benda uji dari tiga variasi gradasi campuran HRS-WC dan dihitung nilai Modulus Kehalusan. Kemudian, nilai Modulus Kehalusan akan dihubungkan dengan besaran kriteria Marshall yang telah diperoleh dari masing-masing variasi gradasi.

Hasil penelitian menunjukkan, semakin besar nilai modulus kehalusan, jumlah agregat kasar relatif lebih banyak dari agregat halus. Dari hasil perhitungan Modulus Kehalusan, nilai yang didapatkan adalah 4.829 untuk gradasi batas atas, 5.332 untuk gradasi batas tengah, dan 5.763 untuk gradasi batas bawah. Dari hasil uji Marshall didapatkan kadar aspal terbaik, yaitu 8.9% untuk gradasi batas atas, 7.6% untuk gradasi batas tengah, dan 7.7% untuk gradasi batas bawah. Hasil uji Marshall dari ketiga variasi gradasi dengan campuran HRS-WC (gradasi senjang) masuk dalam spesifikasi Teknik Bina Marga. Berdasarkan grafik hubungan Modulus Kehalusan dengan besaran kriteria Marshall, campuran HRS-WC bergradasi senjang dapat menentukan perkiraan kadar aspal, namun hasilnya tidak terlalu tepat. Hubungan Modulus Kehalusan dengan kriteria Marshall menggunakan campuran HRS-WC bergradasi senjang memperoleh hasil kadar aspal yang naik turun (tidak konsisten). Dari hasil yang diperoleh, nilai Modulus Kehalusan yang gradasi tengah adalah nilai Modulus Kehalusan yang paling baik untuk digunakan, karena nilai Modulus Kehalusan yang lebih besar atau lebih kecil dari ± 5.332 nilai kadar aspalnya akan semakin besar. Nilai kadar aspal yang gradasi tengah adalah nilai kadar aspal yang paling kecil, sehingga bisa menghemat penggunaan bahan pengikat (aspal).

Kata kunci: Modulus Kehalusan (*Fineness Modulus*), Marshall, HRS-WC

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Dalam Teknologi Bahan Konstruksi yang dikenal dengan istilah “beton” adalah komposisi dari bahan pengisi dan bahan pengikat. Umumnya bahan pengisi itu adalah agregat halus dan agregat kasar, jika bahan pengikat yang digunakan adalah semen, maka disebut beton semen, jika bahan pengikat yang digunakan adalah aspal, maka disebut beton aspal. Mutu dari beton, baik beton semen dan beton aspal selain tergantung dari mutu masing-masing bahan dan cara pelaksanaannya juga ditentukan oleh komposisi.

Proses perencanaan komposisi umumnya selalu dilakukan di laboratorium dalam skala

kecil, kemudian hasil dari pengujian tersebut akan menjadi patokan untuk pelaksanaan pencampuran yang sebenarnya di lapangan. Dalam perancangan campuran beton semen, salah satu parameter yang digunakan untuk memperkirakan kebutuhan semen adalah besaran Modulus Kehalusan (*Fineness Modulus*). Dalam Spesifikasi Teknik Bina Marga perencanaan campuran beton aspal, parameter modulus kehalusan tidak digunakan namun dalam penelitian ini akan dilakukan suatu percobaan perancangan beton aspal dengan penentuan perkiraan kadar aspal menggunakan Modulus Kehalusan.

Modulus Kehalusan (*Fineness Modulus*) adalah suatu indeks yang dipakai untuk menentukan ukuran kehalusan atau kekasaran

butir-butir agregat. Modulus Kehalusan (*FM*) didefinisikan sebagai jumlah persen kumulatif sisa saringan diatas ayakan dibagi 100. Nilai modulus kehalusan sendiri bisa didapatkan dari pengujian analisa saringan di laboratorium. Dalam penelitian ini akan dibuat tiga variasi gradasi, sehingga didapatkan berbagai variasi nilai Modulus Kehalusan dan berdasarkan komposisi campuran tersebut akan dicari hubungannya dengan besaran kriteria *Marshall*. Dalam Spesifikasi Teknik Bina Marga, dikenal jenis beton aspal yang dibedakan dari gradasi atau susunan ukuran butir agregat. Jika gradasi menerus disebut campuran *Asphalt Concrete (AC)* lapisan aspal beton (*LASTON*), jika gradasi senjang disebut *Hot Rolled Sheet (HRS)* lapis tipis aspal beton (*LATASTON*). Dalam penelitian ini campuran aspal yang akan digunakan adalah campuran aspal panas *HRS-WC* bergradasi senjang.

Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian di atas, permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana hubungan Modulus Kehalusan agregat dengan kriteria Marshall pada campuran *HRS-WC*?
2. Apakah penggunaan Modulus Kehalusan pada campuran *HRS-WC* dapat menentukan jumlah bahan pengikat?

Batasan Masalah

Untuk membatasi ruang lingkup penelitian ini, maka diperlukan batasan-batasan masalah sebagai berikut:

1. Penelitian hanya dilakukan melalui pengujian di laboratorium terhadap campuran aspal jenis *HRS-WC* dengan metode *Marshall* dan tidak dilanjutkan pengujian di lapangan.
2. Selain parameter modulus kehalusan, pengujian ini menggunakan batasan persyaratan yang terdapat dalam peraturan Teknik Bina Marga.

Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Untuk mengetahui pengaruh nilai Modulus Kehalusan dengan hasil uji *Marshall* dalam penentuan kadar aspal jenis *HRS-WC*.
2. Untuk mengetahui dan menganalisis apakah “Modulus Kehalusan” dapat mempengaruhi dalam penentuan perkiraan kadar aspal dengan menganalisis hubungan Modulus Kehalusan

dengan besaran kriteria *Marshall* pada campuran aspal jenis *HRS-WC*.

Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengkaji hubungan Modulus Kehalusan agregat dengan besaran *Marshall*.
2. Mengkaji kemungkinan penggunaan modulus kehalusan dalam perancangan pekerjaan aspal panas.

TINJAUAN PUSTAKA

Gradasi Campuran Aspal Panas (*Hot Mix Asphalt*)

Gradasi agregat adalah distribusi dari ukuran partikel agregat dan dinyatakan dalam persentase terhadap total beratnya. Gradasi agregat ditentukan oleh analisa saringan, dimana contoh agregat ditimbang, dan dipersentasekan agregat yang lolos atau tertahan pada masing-masing saringan terhadap berat total. Gradasi agregat mempengaruhi besarnya rongga dalam campuran dan menentukan apakah gradasi agregat memenuhi spesifikasi atau tidak.

Gradasi agregat dapat dibedakan atas:

1. Gradasi Seragam (*uniform graded*)
2. Gradasi Menerus (*dense graded*).
3. Gradasi senjang (*gap graded*).

Gradasi senjang (*gap graded*) merupakan campuran yang tidak memenuhi dua kategori di atas. Agregat bergradasi buruk yang umum digunakan untuk lapisan perkerasan lentur merupakan campuran dengan satu fraksi hilang atau satu fraksi sedikit. Gradasi seperti ini juga disebut gradasi senjang. Gradasi senjang akan menghasilkan lapis perkerasan yang mutunya terletak antara kedua jenis di atas.

Tabel 1. Batas-Batas Gradasi Campuran Beton Aspal

Nomor Ayakan (inch)	Ukuran Ayakan (mm)	% Berat Yang Lolos terhadap Total Agregat dalam Campuran										
		Lataisir (SS)		Lataston (HRS)				Laston (AC)				
		Kelas A	Kelas B	WC	Base	WC	Base	WC	BC	Base		
1 1/2"	37.5										100	100
1"	25										100	90-100
3/4"	19	100	100	100	100	100	100	100	100	100	90-100	76-90
1/2"	12.5			90-100	90-100	87-100	90-100	90-100	90-100	75-90	66-82	60-78
3/8"	9.5	90-100		75-85	65-90	55-88	55-70	77-90	66-82	52-71	46-64	35-54
4"	4.75							53-69	46-64	35-54		
8"	2.36		75-100	50-72	35-55	50-62	32-44	33-55	30-49	23-41		
16"	1.18							21-40	18-38	13-30		
30"	0.600			35-60	15-35	20-45	15-35	14-30	12-28	10-22		
50"	0.300					15-35	5-35	9-22	7-20	6-15		
100"	0.150							6-15	5-13	4-10		
200"	0.075	10-15	8-13	6-10	2-9	6-10	4-8	4-9	4-8	3-7		

Sumber: Spesifikasi Teknik 2010 Revisi 3

Catatan :

1. Untuk *HRS-WC* dan *HRS-Base*, harus dijaga kesenjangan di bagian paling sedikit 80% dari

butiran yang lolos saringan No.8 harus juga lolos saringan No.30 (0,600 mm).

2. Untuk AC, digunakan titik control gradasi agregat, berfungsi sebagai batas-batas rentan utama yang harus ditempati oleh gradasi-gradasi tersebut. Batas-batas gradasi ditentukan pada saringan ukuran nominal maksimum, saringan menengah (2,36 mm) dan saringan terkecil (0,075mm).

Hot Rolled Sheet (HRS)

Campuran HRS (Hot Rolled Sheet) atau Laston merupakan lapisan permukaan non struktural yang memiliki agregat gradasi senjang, filler dan aspal keras dengan perbandingan tertentu yang dicampur dan dipadatkan dalam keadaan panas. HRS digunakan pada jalan dengan beban lalu lintas yang sedang. HRS terdiri dari 2 jenis campuran yaitu HRS Pondasi (HRS-Base) dan HRS Lapis Aus (HRS-WC).

HRS-Lapis Aus (HRS-WC) memiliki 2 jenis campuran HRS-WC yaitu HRS-WC gradasi senjang dan HRS-WC gradasi semi senjang. Kedua gradasi agregat dalam campuran HRS-WC ini, hampir sama yaitu gradasi agregat dimana ukuran agregat yang ada tidak lengkap atau ada fraksi agregat yang tidak ada atau jumlahnya sedikit sekali.

Data persyaratan campuran yang dipakai yaitu persyaratan untuk campuran panas Laston jenis HRS-WC. Ketentuan campuran beraspal panas dengan HRS-WC dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Sifat-sifat Campuran HRS

Sifat Campuran		Lastos (HRS)			
		Lapis Aus (WC)		Lapis Pondasi (Base)	
		Senjang	Semi Senjang	Senjang	Semi Senjang
Kadar Aspal Efektif (%)	Min.	5,9	5,9	5,5	5,5
Penyerapan Aspal (%)	Maks.			1,7	
Jumlah Tumbukan Perbidang	-			75	
Rongga Dalam Campuran (%)	Min.			4,0	
	Maks.			6,0	
Rongga Dalam Agregat (%)	Min.	18		17	
Rongga Terisi Aspal (%)	Min.			68	
Stabilitas Marshall (kg)	Min.			800	
Pelelehan	Min.			3	
Marshall Quotient (kg/mm)	Min.			250	
Stabilitas Marshall sisa setelah perendaman selama 24 jam, 60°C	Min.			90	
Rongga Dalam Campuran (%) pada Kepadatan Mambal (refusal)	Min.			3	

Sumber: Dirjen Bina Marga, 2005

Modulus Kehalusan (Fineness Modulus)

Pada tahun 1925, Duff Abrams memperkenalkan konsep Modulus Kehalusan untuk memperkirakan proporsi agregat halus dan tentu saja dalam campuran beton. Sebelum menghitung modulus kehalusan, kita harus melakukan analisis saringan di laboratorium untuk menentukan distribusi ukuran partikel dari sampel agregat. ASTM C 33 membutuhkan Modulus kehalusan agregat halus antara 2,3 dan 3,1. Semakin tinggi modulus kehalusan, semakin

kasar agregatnya. Agregat halus mempengaruhi banyak properti beton, termasuk kemampuan kerja dan kemampuan penyelesaian. Biasanya, modulus kehalusan yang lebih rendah menghasilkan lebih banyak bahan pengikat, membuat beton lebih mudah untuk diselesaikan. Untuk kandungan semen tinggi yang digunakan dalam produksi beton berkekuatan tinggi, pasir kasar dengan modulus kehalusan sekitar 3,0 menghasilkan beton dengan daya kerja terbaik dan kekuatan tekan tertinggi.

Penjelasan di atas menjelaskan tentang pengaruh modulus kehalusan terhadap beton semen, sedangkan dalam penelitian ini, yang akan diteliti adalah pengaruh modulus kehalusan terhadap campuran aspal panas (beton aspal).

Modulus kehalusan (*Fineness Modulus*) adalah suatu indeks yang dipakai untuk menentukan ukuran kehalusan atau kekasaran butir-butir agregat. Modulus kehalusan didefinisikan sebagai jumlah persen kumulatif sisa saringan diatas ayakan dibagi 100. Makin besar nilai modulus kehalusan menunjukkan bahwa makin besar butir-butir agregat. Nilai modulus kehalusan sendiri bisa didapatkan dari pengujian analisa saringan di laboratorium.

Rumus Modulus Kehalusan:

$$\frac{\text{Jumlah \% berat kumulatif yang tertinggal di setiap ayakan}}{100 \%}$$

Untuk menentukan modulus kehalusan, kita membutuhkan saringan standar, pengayak saringan mekanis (opsional), oven dan timbangan. Persiapan sampel:

Ambil sampel agregat halus dalam panci dan taruh dalam oven kering pada suhu 100-110°C. Setelah kering ambil sampel dan catat beratnya.

Prosedur Uji - Modulus Kehalusan Pasir

- Ambil saringan dan susun dalam urutan menurun dengan saringan terbesar di atasnya. Jika menggunakan pengocok mekanis, letakkan saringan yang telah dipasang pada posisinya dan tuangkan sampel ke dalam saringan atas dan kemudian tutup dengan sieve plate. Kemudian nyalakan mesin dan gemetar saringan harus dilakukan selama 5 menit.
- Setelah pengayakan, catat berat sampel yang tertahan pada masing-masing ayakan. Kemudian cari berat kumulatif yang tertahan. Setelah itu tentukan persentase kumulatif yang tertahan pada masing-masing ayakan.

Pemeriksaan dengan Alat Marshall

Kinerja campuran aspal beton dapat diperiksa dengan menggunakan alat pemeriksaan Marshall yang telah teruji kebenarannya dan

terkalibrasi. Pemeriksaan dimaksudkan untuk menentukan *stability* terhadap kelelahan plastis (*flow*) dari campuran aspal dan agregat. Kelelahan plastis adalah keadaan perubahan bentuk suatu campuran yang terjadi akibat suatu beban sampai batas runtuh yang dinyatakan dalam mm atau 0,01”.

Alat *Marshall* yang merupakan alat tekan yang dilengkapi dengan *proving ring* (cincin pengujian) yang berkapasitas 2500 kg. *Proving ring* dilengkapi dengan arloji pengukur yang berguna untuk mengukur stabilitas campuran. Disamping itu terdapat arloji kelelahan (*flow meter*) untuk mengukur kelelahan plastis. Benda uji berbentuk silinder dengan diameter 10 cm dan tinggi 7,5 cm dipersiapkan di laboratorium, dalam cetakan benda uji dengan menggunakan hammer (penumbuk) dengan berat 10 pon (4,536 kg) dan tinggi jatuh 18 inchi (45,7 cm), dibebani dengan kecepatan tetap 50 mm/menit.

Pengujian Volumetrik

Disamping oleh kekuatan (*stability* dan kelelahan), kinerja campuran beraspal sangat ditentukan oleh volumetric campuran dalam keadaan padat yang terdiri atas *VMA*, *VIM*, *VFB*.

1. Rongga udara dalam campuran (*VIM*)

VIM adalah volume pori yang masih tersisa setelah campuran beton aspal didapatkan. Nilai *VIM* yang terlalu besar akan mengakibatkan beton aspal berkurang kedepan airnya, sehingga berakibat meningkatnya proses oksidasi aspal yang dapat mempercepat penuaan aspal. Sedangkan jika nilai *VIM* terlalu kecil akan mengakibatkan perkerasan mengalami bleeding jika temperature meningkat.

2. Rongga antar mineral agregat (*VMA*)

Rongga antar mineral agregat adalah rongga udara yang ada di dalam partikel agregat dalam campuran yang sudah didapatkan, termasuk ruang yang diisi oleh aspal dan dinyatakan sebagai persen dari volume total. Agregat yang bergradasi rapat memberikan harga *VMA* yang kecil dibandingkan dengan agregat yang bergradasi senjang. *VMA* yang lebih besar dalam agregat menyebabkan lebih besar ruang yang tersedia untuk selimut aspal. Sebaliknya bila agregat nilai *VMA* yang kecil, mengakibatkan aspal yang dapat menyelimuti agregat tersebut terbatas dan mengakibatkan selimut aspal yang tipis.

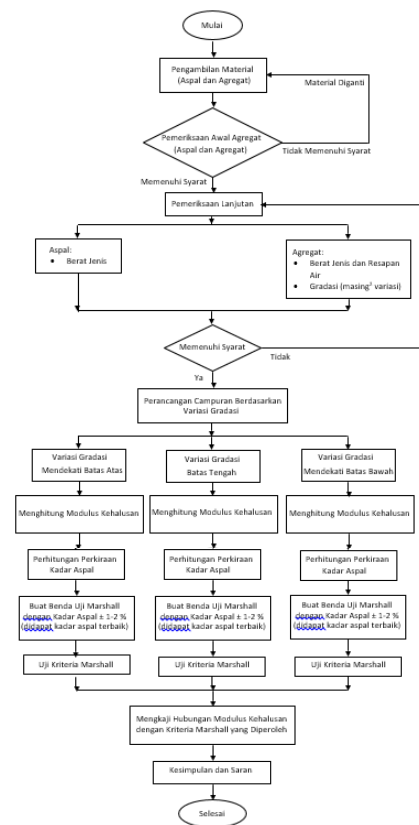
3. Volume pori antar butir agregat terisi aspal (*VFB*)

VFB adalah bagian dari *VMA* yang terisi oleh aspal, tidak termasuk didalamnya aspal yang terabsorpsi oleh masing-masing butir agregat. Dengan demikian aspal yang mengisi *VFB* adalah aspal yang berfungsi untuk menyelimuti butir-butir agregat didalam beton aspal padat, dengan kata lain *VFB* inilah yang merupakan presentase beton aspal padat yang menjadi selimut aspal.

METODOLOGI PENELITIAN

Diagram Alir Penelitian

Berikut ini adalah urutan pelaksanaan penelitian dalam bentuk diagram alir.



Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui apakah “Modulus Kehalusan” bisa digunakan dalam penentuan perkiraan kadar aspal dengan mengkaji hubungan modulus kehalusan dengan besaran kriteria marshall pada campuran aspal panas bergradasi senjang.

Dalam membuat campuran beraspal panas dimulai dengan merencanakan komposisi berdasarkan gradasi agregat. Berdasarkan gradasi agregat tersebut dihitung modulus kehalusan. Jadi akan dibuat beberapa campuran dengan variasi gradasi yang berbeda dengan sendirinya modulus kehalusan juga akan berbeda. Setelah itu akan

dihitung perkiraan kadar aspal menggunakan aspal HRS-WC. Benda uji marshall akan dibuat dengan variasi kadar aspal ± 1-2 % dan akan didapat kadar aspal terbaik. Kemudian evaluasi kriteria Marshall dari masing-masing variasi gradasi. Hasilnya akan dibandingkan dengan nilai modulus kehalusan yang telah didapatkan sebelumnya. Buat kurva hubungan modulus kehalusan dengan kriteria Marshall yang telah di dapatkan.

Analisis hasil yang telah diperoleh dari penelitian dan dilihat apakah modulus kehalusan memiliki pengaruh terhadap penentuan kadar aspal, atau tidak. Dengan demikian kita dapat menarik kesimpulan mengenai hubungan modulus kehalusan dengan kriteria Marshall.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pemeriksaan Terhadap Material

Setelah dilakukannya pengujian dan pemeriksaan terhadap bahan material agregat di laboratorium Transportasi Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Sam Ratulangi Manado, hasil yang didapat bisa dilihat berdasarkan data berupa tabel dan grafik yang sudah melalui tahap analisis data sebelumnya. Berikut ini adalah hasil pemeriksaan material:

Tabel 3. Hasil Pemeriksaan Awal

No.	JENIS PENGUJIAN	STANDART	SYARAT	HASIL
AGREGAT				
1	Keausan Agregat / Abrasi	SNI 03-2417-1991	Maks 40%	16.35%
2	Impact Value	SNI 03-4426-1997	Maks 30%	7.275%
ASPAL				
3	Penetrasi	AASHTO T 53-81; SNI 06-2456-1991	60-70	67.9
4	Titik Lembek	AASHTO T 53-81; SNI 06-2434-1991	46°c – 54°c	53.75°c
5	Titik Nyala dan Titik Bakar	AASHTO T 53-81; SNI 06-2433-1991	79°c - 400°c	280°c
6	Daktilitas	SNI 06-2432-1991	>100cm	103cm

Tabel 4. Hasil Pemeriksaan Lanjutan

NO.	JENIS PENGUJIAN	STANDART	SYARAT	HASIL	
AGREGAT					
1	Berat Jenis Kasar	AASHTO T.85-88/SNI 03-1969-1990	Bulk	-	2.639
			SSD	-	2.677
			Semu	-	2.742
			Penyerapan	Maks 3%	1.42%
2	Berat Jenis Sedang	AASHTO T.85-88/SNI 03-1969-1990	Bulk	-	2.611
			SSD	-	2.667
			Semu	-	2.772
			Penyerapan	Maks 3%	2.13%
3	Berat Jenis Halus	AASHTO T.85-88/SNI 03-1969-1990	Bulk	-	2.584
			SSD	-	2.660
			Semu	-	2.798
			Penyerapan	Maks 3%	2.96%
4	Berat Jenis Pasir	AASHTO T.85-88/SNI 03-1969-1990	Bulk	-	2.447
			SSD	-	2.519
			Semu	-	2.639
			Penyerapan	Maks 3%	2.98
ASPAL					
5	Berat Jenis	AASHTO T 228-78; SNI 06-2441-1991	>1gr/cm³	1.0324 gr/cm³	

Dari hasil pemeriksaan awal seperti yang tertera pada tabel 3 terlihat bahwa sifat-sifat material/bahan dapat memenuhi persyaratan yang ada, oleh karena itu dilakukan pemeriksaan lanjutan yang dapat dilihat di tabel 4.

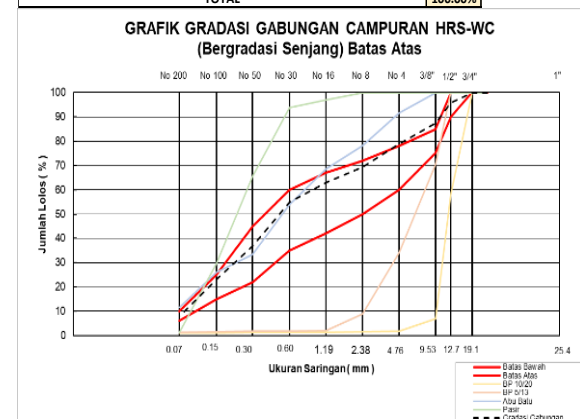
Hasil pemeriksaan lanjutan (berat jenis) terhadap material/bahan seperti yang ada diatas menunjukkan bahwa semua persyaratan dalam spesifikasi telah terpenuhi, oleh karena itu material/bahan tersebut layak digunakan untuk penelitian selanjutnya, yaitu sebagai bahan pembentuk dalam campuran beraspal panas (hotmix).

Presentase Agregat pada Campuran HRS-WC

Dalam pembuatan benda uji campuran, dibuat 3 Variasi Gradasi yang bertujuan untuk mengetahui fluktuasi dari masing-masing gradasi yang direncanakan dan juga hubungan dari modulus kehalusan dengan kriteria Marshall dari masing-masing gradasi. Gradasi gabungan yang ditentukan didapatkan dari hasil Analisa Saringan yang diperoleh sebagai berikut :

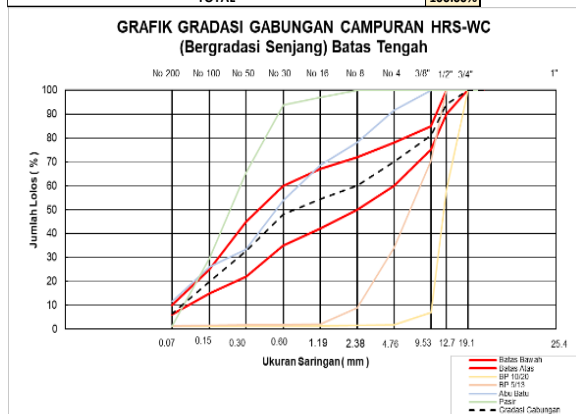
Tabel 5. Gradasi Gabungan Campuran HRS-WC Bergradasi Senjang (gradasi batas atas)

No (Inch)	METRIK	BP 10/20 "	BP 5/13 "	Abu Batu	Pasir	PC	Gradasi	SPESIFIKASI		
								BAWAH	ATAS	
1"	25.400	100	100	100	100	100	100	100	100	
3/4"	19.050	100	100	100	100	100	100	100	100	
1/2"	12.700	57.95	100	100	100	100	95.79	90	100	
3/8"	9.525	6.83	70.49	100	100	100	87.44	75	85	
#4	4.760	1.86	34.19	91.67	100	100	78.83	60	78	
#8	2.380	1.57	8.94	78.15	100	100	69.35	50	72.0	
#16	1.190	1.37	2.11	68.73	97.11	100	63.11	42	67.0	
#30	0.595	1.27	1.90	53.99	93.86	100	54.89	35	60.0	
#50	0.297	1.20	1.75	33.32	65.41	100	36.69	22	45	
#100	0.149	1.09	1.65	26.13	29.80	100	23.14	15	25	
#200	0.074	0.99	1.38	11.49	1.32	96	7.83	6	10	
							BP 10/20 "	100.00%		
							BP 5/13 "	110.00%		
							Abu Batu	49.40%		
							Pasir	28.00%		
							PC	1.60%		
							TOTAL	100.00%		



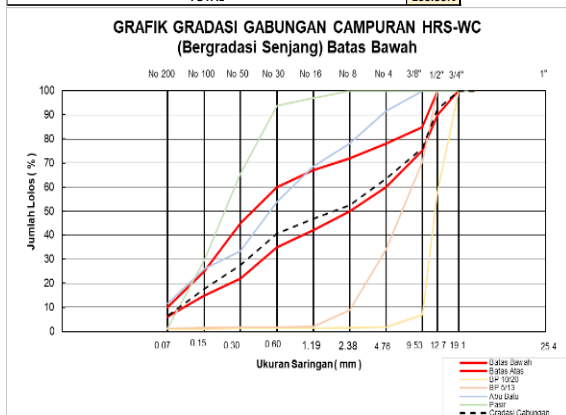
Tabel 6. Gradasi Gabungan Campuran HRS-WC Bergradasi Senjang (gradasi batas tengah)

No (Inch)	METRIK	BP 10/20 "	BP 5/13 "	Abu Batu	Pasir	PC	Gradasi	SPESIFIKASI	
								BAWAH	ATAS
1"	25.400	100	100	100	100	100	100	100	100
3/4"	19.050	100	100	100	100	100	100	100	100
1/2"	12.700	57.95	100	100	100	100	96	90	100
3/8"	9.525	6.83	70.49	100	100	100	87	75	85
#4	4.760	1.86	34.19	91.67	100	100	79	60	78
#8	2.380	1.57	8.94	78.15	100	100	69	50	72.0
#16	1.190	1.37	2.11	68.73	97.11	100	63	42	67.0
#30	0.595	1.27	1.90	53.99	93.86	100	55	35	60.0
#50	0.297	1.20	1.75	33.32	65.41	100	37	22	45
#100	0.149	1.09	1.65	26.13	29.80	100	23	15	25
#200	0.074	0.99	1.38	11.49	1.32	96	8	6	10
BP 10/20 "							10.00%		
BP 5/13 "							11.00%		
Abu Batu							49.40%		
Pasir							28.00%		
PC							1.60%		
TOTAL							100.00%		



Tabel 7. Gradasi Gabungan Campuran HRS-WC Bergradasi Senjang (gradasi batas bawah)

No (Inch)	METRIK	BP 10/20 "	BP 5/13 "	Abu Batu	Pasir	PC	Gradasi	SPESIFIKASI	
								BAWAH	ATAS
1"	25.400	100	100	100	100	100	100	100	100
3/4"	19.050	100	100	100	100	100	100	100	100
1/2"	12.700	57.95	100	100	100	100	92.43	90	100
3/8"	9.525	6.83	70.49	100	100	100	76.15	75	85
#4	4.760	1.86	34.19	91.67	100	100	63.51	60	78
#8	2.380	1.57	8.94	78.15	100	100	52.48	50	72.0
#16	1.190	1.37	2.11	68.73	97.11	100	46.79	42	67.0
#30	0.595	1.27	1.90	53.99	93.86	100	40.71	35	60.0
#50	0.297	1.20	1.75	33.32	65.41	100	27.45	22	45
#100	0.149	1.09	1.65	26.13	29.80	100	17.66	15	25
#200	0.074	0.99	1.38	11.49	1.32	96	6.49	6	10
BP 10/20 "							18.00%		
BP 5/13 "							24.00%		
Abu Batu							36.40%		
Pasir							20.00%		
PC							1.60%		
TOTAL							100.00%		



Hasil Perhitungan Modulus Kehalusan

Pada tabel dan grafik diatas menunjukkan komposisi agregat yang memenuhi spesifikasi

untuk campuran Lastaton (*HRS-WC*) bergradasi senjang. Berdasarkan presentasi agregat gabungan yang telah didapat maka nilai modulus kehalusannya dapat dihitung berdasarkan hasil dari perencanaan masing-masing gradasi.

Perhitungan modulus kehalusan sebagai berikut :

Tabel 8. Perhitungan Nilai Modulus Kehalusan Gradasi Batas Atas

No Saringan (Inch)	Gradasi	Persen Tertahan	Persen Kumulatif Tertahan
1"	100.00	0.00	0.00
3/4"	100.00	0.00	0.00
1/2"	95.79	4.21	4.21
3/8"	87.44	8.36	12.56
#4	78.83	8.60	21.17
#8	69.35	9.49	30.65
#16	63.11	6.23	36.89
#30	54.89	8.23	45.11
#50	36.69	18.20	63.31
#100	23.14	13.54	76.86
#200	7.83	15.31	92.17
Pan	0.00	7.83	100.00
Total		100.00	482.92

$$\text{Modulus Kehalusan} = \frac{\text{Persen Kumulatif Tertahan}}{100} = 4.829222054$$

Tabel 9. Perhitungan Nilai Modulus Kehalusan Gradasi Batas Tengah

No Saringan (Inch)	Gradasi	Persen Tertahan	Persen Kumulatif Tertahan
1"	100.00	0.00	0
3/4"	100.00	0.00	0
1/2"	94.11	5.89	5.89
3/8"	81.05	13.06	18.95
#4	70.07	10.99	29.93
#8	60.06	10.01	39.94
#16	54.42	5.63	45.58
#30	48.09	6.33	51.91
#50	32.56	15.53	67.44
#100	19.94	12.62	80.06
#200	6.50	13.44	93.50
Pan	0.00	6.50	100.00
Total		100.00	533.19

$$\text{Modulus Kehalusan} = \frac{\text{Persen Kumulatif Tertahan}}{100} = 5.33192764$$

Tabel 10. Perhitungan Nilai Modulus Kehalusan Gradasi Batas Bawah

No Saringan (Inch)	Gradasi	Persen Tertahan	Persen Kumulatif Tertahan
1"	100.00	0.00	0.00
3/4"	100.00	0.00	0.00
1/2"	92.43	7.57	7.57
3/8"	76.15	16.28	23.85
#4	63.51	12.64	36.49
#8	52.48	11.03	47.52
#16	46.79	5.68	53.21
#30	40.71	6.09	59.29
#50	27.45	13.26	72.55
#100	17.66	9.78	82.34
#200	6.49	11.17	93.51
Pan	0.00	6.49	100.00
Total		100.00	576.33

$$\text{Modulus Kehalusan} = \frac{\text{Persen Kumulatif Tertahan}}{100} = 5.763316206$$

Hasil Perhitungan Marshall

Berikut adalah hasil dari pemeriksaan *Marshall Test* setelah *Hot Mix* dari masing-masing variasi gradasi.

Tabel 11. Hasil *Marshall Test* Gradasi Atas

No.	Karakteristik	Syarat	Kadar Aspal (%)				
			5.3	6.3	7.3	8.3	9.3
1	Stabilitas (kg)	Min 800	823	1144	1335	1379	1253
2	Flow (mm)	Min 3	2.750	3.267	3.717	4.200	4.700
3	VIM (%)	4 - 6	13.64	10.87	8.35	6.59	5.53
4	VMA (%)	min 18	20.7	20.2	20.0	20.4	21.5
5	VFB (%)	min 68	34.2	46.2	58.2	67.8	74.3
6	Density (gr/cc)	-	2.134	2.170	2.200	2.211	2.205
7	BC	1 - 1,4	2.169	1.655	1.332	1.111	0.950
8	MQ	250	299.6	350.9	359.3	328.5	270.6

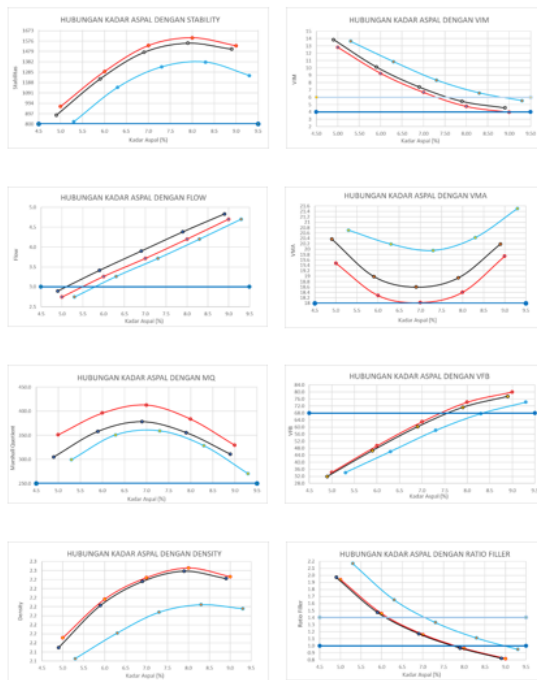
Tabel 12. Hasil *Marshall Test* Gradasi Tengah

No.	Karakteristik	Syarat	Kadar Aspal (%)				
			5	6	7	8	9
1	Stabilitas (kg)	Min 800	964	1291	1534	1606	1532
2	Flow (mm)	Min 3	2.750	3.267	3.717	4.2	4.7
3	VIM (%)	4 - 6	12.81	9.27	6.67	4.76	3.96
4	VMA (%)	min 18	19.5	18.3	18	18.4	19.7
5	VFB (%)	min 68	34.2	49.3	63.0	74.1	79.9
6	Density (gr/cc)	-	2.163	2.219	2.250	2.264	2.251
7	BC	1 - 1,4	1.941	1.457	1.161	0.961	0.818
8	MQ	250	351.1	395.9	412.8	383.5	329.6

Tabel 13. Hasil *Marshall Test* Gradasi Bawah

No.	Karakteristik	Syarat	Kadar Aspal (%)				
			4.9	5.9	6.9	7.9	8.9
1	Stabilitas (kg)	Min 800	883	1223	1472	1557	1501
2	Flow (mm)	Min 3	2.900	3.417	3.9	4.383	4.833
3	VIM (%)	4 - 6	13.87	10.12	7.39	5.44	4.55
4	VMA (%)	min 18	20.4	19	18.6	18.9	20.2
5	VFB (%)	min 68	32.00	46.7	60.3	71.3	77.5
6	Density (gr/cc)	-	2.149	2.210	2.244	2.259	2.249
7	BC	1 - 1,4	1.973	1.475	1.172	0.969	0.823
8	MQ	250	305.3	358.1	378.2	355.5	310.8

Kurva Marshall Gabungan



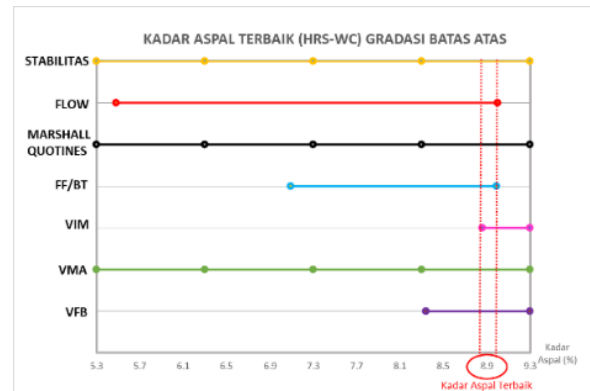
Gambar 1. Grafik Kurva Marshall Gabungan

Kadar Aspal Terbaik

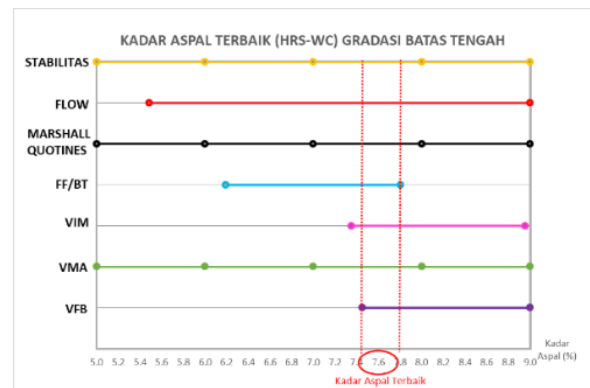
Tabel 11 sampai dengan Tabel 13 diatas menunjukkan hasil *Marshall Test* dari setiap

gradasi yang dibuat. Hasil tersebut didapat dari perhitungan.

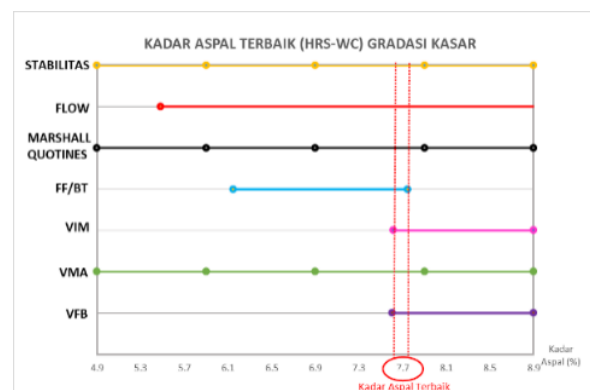
Dari rekapitulasi data hasil pengujian Parameter *Marshall* yang disajikan dalam tabel-tabel tersebut, maka dapat digambarkan parameter-parameter tersebut dalam bentuk grafik dibawah ini untuk mendapatkan rentang kadar aspal terbaik dari campuran *HRS-WC* di masing-masing gradasi.



Gambar 2. Grafik Rentang Kadar Aspal Terbaik untuk Campuran *HRS-WC* (gradasi batas atas)



Gambar 3. Grafik Rentang Kadar Aspal Terbaik untuk Campuran *HRS-WC* (gradasi tengah)



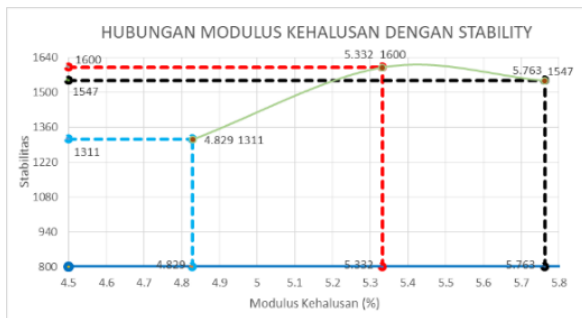
Gambar 4. Grafik Rentang Kadar Aspal Terbaik untuk Campuran *HRS-WC* (gradasi batas bawah)

Dalam Grafik-grafik diatas dapat kita lihat campuran *HRS-WC* batas atas mempunyai nilai

kadar aspal terbaik yaitu 8.9%, batas tengah mempunyai nilai kadar aspal terbaik yaitu 7.6%, batas bawah mempunyai nilai kadar aspal terbaik yaitu 7.7%, karena pada titik-titik ini semua parameter *Marshall* yang dihasilkan memenuhi Spesifikasi Teknik Bina Marga.

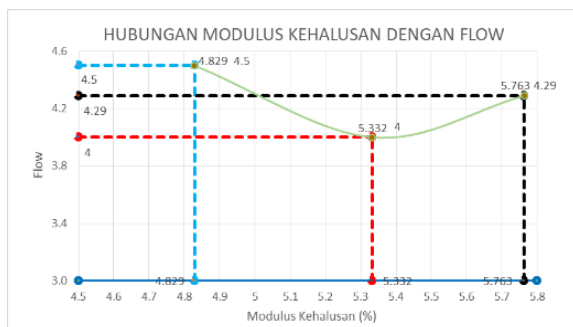
Membuat Hubungan Modulus Kehalusan dengan Kriteria *Marshall*

Setelah mendapatkan kadar aspal terbaik dilanjutkan dengan pembuatan kurva hubungan *FM* dengan kriteria *Marshall* dari gabungan variasi gradasi.



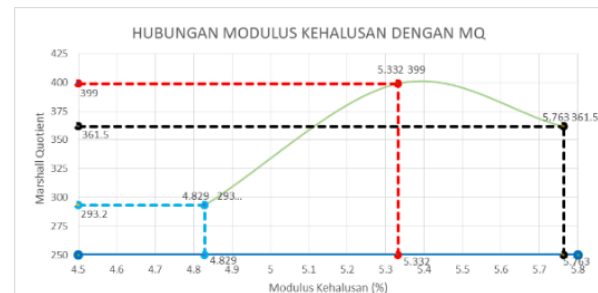
Gambar 5. Grafik Hubungan Modulus Kehalusan dengan Stabilitas

Nilai Stabilitas yang paling tinggi berada pada nilai modulus kehalusan di gradasi tengah yang merupakan gradasi ideal dari perancangan komposisi yang dibuat. Nilai stabilitas terlihat naik dari gradasi atas ke gradasi tengah, dan ketika digradasi bawah nilai stabilitas terlihat turun tetapi tidak lebih kecil dari nilai stabilitas di gradasi atas. Nilai modulus kehalusan yang didapatkan yakni semakin kasar gradasi maka semakin besar nilai modulus kehalusan. Berdasarkan nilai modulus kehalusan yang didapatkan menunjukkan kalau nilai modulus kehalusan yang ada di gradasi tengah memiliki kadar aspal yang paling kecil.



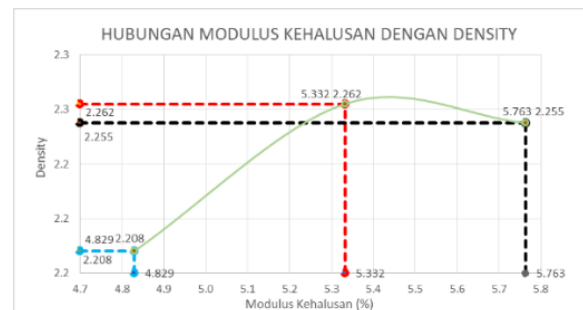
Gambar 6. Grafik Hubungan Modulus Kehalusan dengan *flow*

Nilai *flow* yang paling rendah berada pada nilai modulus kehalusan di gradasi tengah yang merupakan gradasi ideal dari perancangan komposisi yang dibuat. Nilai *flow* terlihat turun dari gradasi atas ke gradasi tengah, dan ketika digradasi bawah nilai *flow* terlihat naik tetapi tidak lebih besar dari nilai *flow* digradasi atas. Nilai modulus kehalusan yang didapatkan yakni semakin kasar gradasi maka semakin besar nilai modulus kehalusan. Berdasarkan nilai modulus kehalusan yang didapatkan menunjukkan kalau nilai modulus kehalusan yang ada di gradasi tengah memiliki kadar aspal yang paling kecil.



Gambar 7. Grafik Hubungan Modulus Kehalusan dengan *Marshall Quotient*

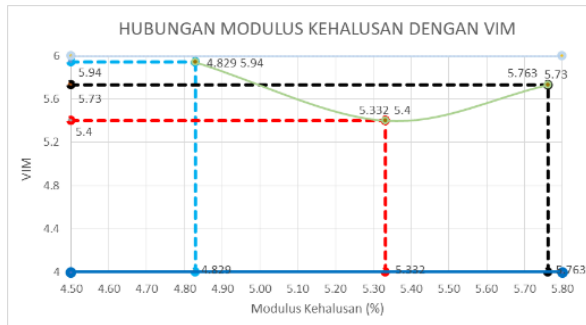
Nilai *MQ* yang paling tinggi berada pada nilai modulus kehalusan di gradasi tengah yang merupakan gradasi ideal dari perancangan komposisi yang dibuat. Nilai *MQ* terlihat naik dari gradasi atas ke gradasi tengah, dan ketika digradasi bawah nilai *MQ* terlihat turun tetapi tidak lebih kecil nilai *MQ* dari gradasi atas. Nilai modulus kehalusan yang didapatkan yakni semakin kasar gradasi maka semakin besar nilai modulus kehalusan. Berdasarkan nilai modulus kehalusan yang didapatkan menunjukkan kalau nilai modulus kehalusan yang ada di gradasi tengah memiliki kadar aspal yang paling kecil.



Gambar 8. Grafik Hubungan Modulus Kehalusan dengan *Density*

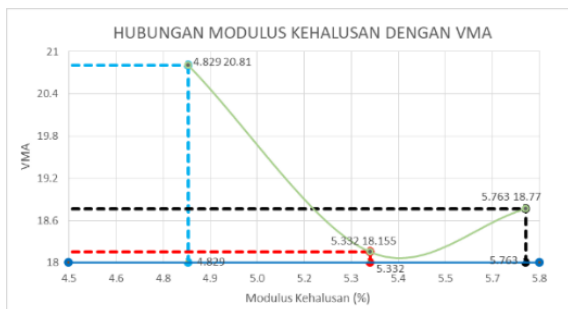
Nilai *Density* yang paling tinggi berada pada nilai modulus kehalusan di gradasi tengah yang merupakan gradasi ideal dari perancangan

komposisi yang dibuat. Nilai *Density* terlihat naik dari gradasi atas ke gradasi tengah, dan ketika digradasi bawah nilai *Density* terlihat turun tetapi tidak lebih kecil nilai *Density* dari gradasi atas. Nilai modulus kehalusan yang didapatkan yakni semakin kasar gradasi maka semakin besar nilai modulus kehalusan. Berdasarkan nilai modulus kehalusan yang didapatkan menunjukkan kalau nilai modulus kehalusan yang ada di gradasi tengah memiliki kadar aspal yang paling kecil.



Gambar 9. Grafik Hubungan Modulus Kehalusan dengan VIM

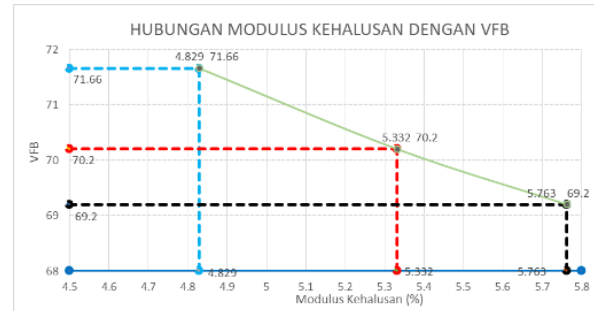
Nilai VIM yang paling rendah berada pada nilai modulus kehalusan di gradasi tengah yang merupakan gradasi ideal dari perancangan komposisi yang dibuat. Nilai *VIM* terlihat turun dari gradasi atas ke gradasi tengah, dan ketika digradasi bawah nilai *VIM* terlihat naik tetapi tidak lebih besar dari nilai *VIM* digradasi atas. Nilai modulus kehalusan yang didapatkan yakni semakin kasar gradasi maka semakin besar nilai modulus kehalusan. Berdasarkan nilai modulus kehalusan yang didapatkan menunjukkan kalau nilai modulus kehalusan yang ada di gradasi tengah memiliki kadar aspal yang paling kecil.



Gambar 10. Grafik Hubungan Modulus Kehalusan dengan VMA

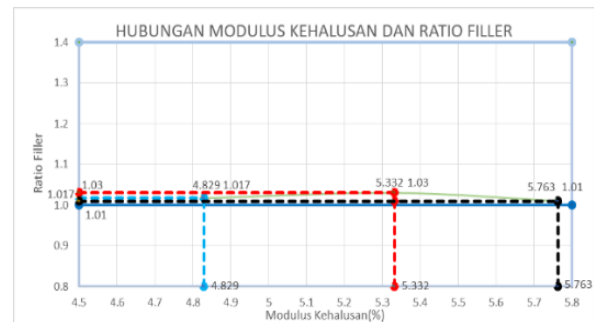
Nilai *VMA* yang paling rendah berada pada nilai modulus kehalusan di gradasi tengah yang merupakan gradasi ideal dari perancangan komposisi yang dibuat. Nilai *VMA* terlihat turun dari gradasi atas ke gradasi tengah, dan ketika

digradasi bawah nilai *VMA* terlihat naik tetapi tidak lebih besar dari nilai *VMA* digradasi atas. Nilai modulus kehalusan yang didapatkan yakni semakin kasar gradasi maka semakin besar nilai modulus kehalusan. Berdasarkan nilai modulus kehalusan yang didapatkan menunjukkan kalau nilai modulus kehalusan yang ada di gradasi tengah memiliki kadar aspal yang paling kecil.



Gambar 11. Grafik Hubungan Modulus Kehalusan dengan VFB

Semakin besar nilai modulus kehalusan maka semakin kecil nilai VFB yang didapatkan. Nilai modulus kehalusan yang didapatkan yakni semakin kasar gradasi maka semakin besar nilai modulus kehalusan. Berdasarkan nilai modulus kehalusan yang didapatkan menunjukkan kalau nilai modulus kehalusan yang ada di gradasi tengah memiliki kadar aspal yang paling kecil.



Gambar 12. Grafik Hubungan Modulus Kehalusan dengan Ratio Filler

Nilai *Ratio Filler* yang paling tinggi berada pada nilai modulus kehalusan di gradasi atas yang merupakan gradasi ideal dari perancangan komposisi yang dibuat. Nilai *Ratio Filler* terlihat naik dari gradasi atas ke gradasi tengah, dan ketika digradasi bawah nilai *Ratio Filler* terlihat turun. Nilai modulus kehalusan yang didapatkan yakni semakin kasar gradasi maka semakin besar nilai modulus kehalusan. Berdasarkan nilai modulus kehalusan yang didapatkan menunjukkan kalau nilai modulus kehalusan yang ada di gradasi tengah memiliki kadar aspal yang paling kecil.

PENUTUP

Kesimpulan

Setelah dilakukannya penelitian di Laboratorium serta mengevaluasi data hasil pengujian kriteria *Marshall*, diperoleh hasil hubungan *Fineness Modulus* dengan besaran kriteria *Marshall* dari 3 variasi gradasi (gradasi senjang) yang dibuat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin besar nilai modulus kehalusan, jumlah agregat kasar relatif lebih banyak dari agregat halus. Dari hasil perhitungan Modulus Kehalusan, nilai yang didapatkan adalah 4.829 untuk gradasi batas atas, 5.332 untuk gradasi batas tengah, dan 5.763 untuk gradasi batas bawah. Dan dari hasil uji *Marshall* didapatkan kadar aspal terbaik, yaitu 8.9% untuk gradasi batas atas, 7.6% untuk gradasi batas tengah, dan 7.7% untuk gradasi batas bawah. Hasil uji *Marshall* dari ketiga variasi gradasi dengan campuran *HRS-WC* (gradasi senjang) masuk dalam spesifikasi Teknik Bina Marga.

Berdasarkan grafik hubungan Modulus Kehalusan dengan besaran kriteria *Marshall*, campuran *HRS-WC* bergradasi senjang dapat ditentukan perkiraan kadar aspal, namun hasilnya tidak terlalu tepat. Hubungan Modulus Kehalusan dengan kriteria *Marshall* menggunakan campuran *HRS-WC* bergradasi senjang menunjukkan hasil

kadar aspal yang naik turun (tidak konsisten). Dari hasil yang diperoleh, nilai Modulus Kehalusan gradasi tengah adalah nilai Modulus Kehalusan yang paling baik untuk digunakan, karena nilai Modulus Kehalusan yang lebih besar atau lebih kecil dari ± 5.332 nilai kadar aspalnya akan semakin besar. Nilai kadar aspal yang gradasi tengah adalah nilai kadar aspal yang paling kecil, sehingga bisa menghemat penggunaan bahan pengikat (aspal) dalam pekerjaan Perkerasan Jalan Raya. Hasil hubungan *Fineness Modulus* dengan besaran kriteria *Marshall* dari 3 variasi gradasi (gradasi senjang) yang dibuat, menunjukkan nilai Modulus Kehalusan gradasi tengah adalah gradasi yang paling ideal.

Saran

Hubungan Modulus Kehalusan dengan kriteria *Marshall* dalam penentuan kadar aspal menggunakan campuran *HRS-WC* bergradasi senjang, sebaiknya dilakukan penelitian lanjutan. Penggunaan Modulus Kehalusan dalam pekerjaan perkerasan jalan pada campuran *HRS-WC* bergradasi senjang, sebaiknya menggunakan gradasi tengah karena gradasi tengah adalah gradasi yang paling ideal. Nilai Modulus Kehalusan yang gradasi tengah, kadar aspalnya adalah yang paling minimum

DAFTAR PUSTAKA

- _____. 2010. Spesifikasi Umum 2010 Divisi 6 *Perkerasan Beraspal*. Kementerian Pekerjaan Umum Jakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga., 1999. *Pedoman Perencanaan Campuran Aspal dengan Pendekatan Kepadatan Mutlak.*, Nomor 76/KPTS/DB/1999.
- Rondonuwu, Fernando., Oscar H. Kaseke, Mecky R. E. Manoppo, 2013. *Pengaruh Sifat Fisik Agregat terhadap Rongga dalam Campuran Beraspal Panas*. Jurnal Sipil Statik, Vol.1, No.3, ISSN: 2337-6732, Universitas Sam Ratulangi, Manado
- Rumagit, Stevan., Oscar H. Kaseke, Steve Ch. N. Palenewen, 2017. *Pengaruh Energi Pematatan Benda Uji terhadap Besaran Marshall Campuran Beraspal Panas Bergradasi Senjang*". Jurnal Sipil Statik, Vol. 5, No. 8. Pp. 533-540 ISSN : 2337-6732, Universitas Sam Ratulangi, Manado
- Sukirman, Silvia., 2003. *Beton Aspal Campuran Panas, Granit*, Bandung.