

Pemanfaatan Limbah Gypsum Sebagai Substitusi Filler Dalam Campuran Aspal Panas Dengan Metode Perendaman Berulang

Muhammad Ilham Salam, Abd. Rahim Nurdin, Tamrin Mallawangeng

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Bosowa

E-mail : muh.ilhamsalam@gmail.com

Artikel info

Artikel history:

Diterima: 20-02-2023

Direvisi: 16-08-2023

Disetujui: 30-09-2023

Abstract. *This research was made using gypsum waste which is expected to improve the quality of asphalt concrete to the characteristics and meet the technical requirements to be used as road pavement materials. This study aims to analyze the characteristics of hot mix asphalt (AC-WC) using oil asphalt with variations of gypsum waste in repeated immersion. This study uses an experimental method, namely an experiment to get results, thus it will be seen the utilization of gypsum waste in asphalt concrete construction with variations in gypsum waste levels of 10%, 15%, and 20%. The results showed that the use of gypsum waste will affect the characteristics of the asphalt mixture.*

Abstrak. Penelitian menggunakan limbah gipsium yang diharapkan dapat meningkatkan kualitas aspal beton terhadap karakteristik dan memenuhi syarat teknis untuk digunakan sebagai bahan perkerasan jalan. Penelitian bertujuan untuk menganalisis karakteristik campuran aspal panas (AC-WC) dengan menggunakan aspal minyak dengan variasi limbah gipsium pada perendaman berulang. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen yaitu dengan suatu percobaan untuk mendapatkan hasil, dengan demikian akan terlihat pemanfaatan limbah gipsium pada konstruksi aspal beton dengan variasi kadar limbah gipsium 10%, 15%, dan 20%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan limbah gipsium akan mempengaruhi karakteristik campuran aspal.

Keywords:

*Gypsum Waste; Filler
Substitution; Hot Asphalt
Mix; Repeated Soaking*

Corresponden author:

Email: muh.ilhamsalam@gmail.com



artikel dengan akses terbuka dibawah lisensi CC BY -4.0

1. PENDAHULUAN

Jalan merupakan prasarana transportasi darat yang memiliki peranan yang sangat penting. Di Indonesia sendiri, transportasi merupakan sarana penunjang berbagai aspek kehidupan terutama dari segi perekonomian. Peningkatan jumlah penduduk tiap tahunnya menyebabkan bidang usaha seperti pertanian, industri, dan perdagangan mengalami peningkatan. Tuntutan masyarakat akan adanya layanan jalan yang baik, nyaman, dan tahan lama sudah tidak dapat dipungkiri. Oleh sebab itu, dibutuhkan konstruksi perkerasan jalan yang baik, sehingga dapat menunjang kegiatan perekonomian di suatu wilayah tersebut.

Pemanfaatan limbah gypsum dapat dilakukan dengan menggunakannya sebagai substitusi pada campuran aspal beton lapis aus (AC-WC). Gypsum telah digunakan sebagai alternatif material bangunan. Bahan yang satu ini sebenarnya telah dikenal luas sejak lama. Dalam industri konstruksi, gypsum rumah seringkali dimanfaatkan sebagai material konstruksi pembentuk dinding, penyekat, partisi, dan plafon. Hal ini diharapkan dapat meningkatkan kualitas aspal beton terhadap karakteristik dan memenuhi syarat teknis untuk digunakan sebagai bahan perkerasan jalan. Selain itu pemanfaatan limbah gypsum sebagai bahan tambah campuran aspal bisa mengurangi limbah gypsum dan mengurangi jumlah pemakaian filler. Pada penelitian ini yang ditinjau adalah Pengaruh Penggunaan Aspal Minyak Ditambahkan limbah gypsum Terhadap Karakteristik Laston (AC-WC) Pada Perendaman Berulang. Penelitian ini menggunakan campuran aspal beton lapis aus (AC-WC) spesifikasi Bina Marga 2018 yang di uji dengan metode Marshall dengan beberapa variasi perbandingan benda uji.

Di Indonesia di kenal dengan dua musim yaitu musim hujan dan musim kemarau, pada saat musim hujan mengakibatkan jalan terendam khususnya jalan beraspal apalagi keadaan cuaca yang sulit diprediksi kadang hujan yang berkali dengan durasi waktu yang tidak bisa di prediksi menyebabkan jalanan aspal terendam air pada batas waktu yang tidak bisa ditentukan. Maka dari itu penelitian ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana ketahanan aspal saat terendam air.

Pada penelitian ini pengujian Marshall akan dilakukan secara bertahap sesuai tujuan penelitian untuk melihat hasilnya apakah kadar aspal yang digunakan telah memenuhi persyaratan atau tidak. Langkah selanjutnya adalah mengetahui pengaruh serbuk gipsium dalam campuran perkerasan terhadap nilai karakteristik Marshall yaitu (Marshall Stability), (Void Filled With Asphalt/VFWA), (Void In The Mix/VIM), (Void In

Mineral Aggregate/VMA), (Flow), Dan Marshall Quotient (MQ) (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat; Direktorat Jenderal Bina Marga, 2010).

Penelitian bertujuan untuk menganalisis karakteristik campuran aspal panas (AC-WC) dengan menggunakan aspal minyak dengan variasi limbah gipsium pada perendaman berulang.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Bosowa Makassar. Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah agregat kasar (Batu Pecah 1-2 dan Batu Pecah 0,5-1) dan Agregat Halus (Abu Batu), bahan bakunya diperoleh dari Bili-bili, Kab. Gowa - Sulawesi Selatan dan Limbah gypsum diperoleh dari sisa – sisa bangunan konstruksi. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen yaitu dengan suatu percobaan untuk mendapatkan hasil, dengan demikian akan terlihat pemanfaatan limbah gipsium pada konstruksi aspal beton dengan variasi kadar limbah gipsium 10%, 15%, dan 20%. Proses Pada pemeriksaan ini penulis menggunakan metode persyaratan yang dikeluarkan oleh Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga, yaitu Manual Pemeriksaan Bahan Jalan (MPBJ).

a. Pemeriksaan Aspal

- 1) Pemeriksaan Berat Jenis Aspal
Pemeriksaan ini bertujuan untuk menentukan berat jenis aspal dengan menggunakan piknometer. Berat jenis aspal adalah perbandingan antara berat aspal dengan berat air suling dengan isi yang sama pada suhu tertentu.
- 2) Pemeriksaan dekililitas
Pemeriksaan ini bertujuan untuk mengukur jarak terpanjang yang dapat ditarik antara dua cetakan yang berisi aspal minyak sebelum putus pada suhu dan kecepatan tarik tertentu.
- 3) Pemeriksaan Penetrasi Aspal
Pemeriksaan ini bertujuan untuk menentukan penetrasi aspal keras atau lembek (Solid Atau Semi Solid) dengan memasukkan ukuran 100 gram, beban dan waktu tertentu dalam aspal pada suhu 25°C.
- 4) Pemeriksaan Viskositas
Pemeriksaan ini bertujuan untuk menentukan temperatur pencampuran dan temperatur pematangan
- 5) Pemeriksaan Titik Nyala dan Titik Bakar
Pemeriksaan ini bertujuan untuk menentukan titik nyala dan titik bakar dari semua jenis hasil aspal minyak bumi.
Titik nyala adalah suhu pada saat terlihat nyala singkat pada suhu titik diatas permukaan aspal.
Titik bakar adalah suhu pada saat terlihat nyala sekurang- kurangnya 5 detik permukaan aspal.
- 6) Pemeriksaan Titik Lembek Aspal
Pemeriksaan ini bertujuan untuk memeriksa temperatur pada saat dimana aspal menjadi lunak atau lembek.

Persamaan yang dipergunakan dalam pemeriksaan aspal sebagai berikut.

$$\text{Berat Jenis Aspal} = \frac{(C-A)^2}{(B-A)-(D-C)}$$

Keterangan :

- δ = berat jenis aspal
- A = berat piknometer (dengan penutup) (gram)
- B = berat pinometer berisi air (gram)
- C = berat piknometer berisi aspal (gram)
- D = berat pinometer berisi aspal dan air (gram)

- b. Pemeriksaan Limbah Gypsum
Pemeriksaan ini bertujuan untuk menghaluskan limbah gypsum.
- c. Penentuan Jumlah dan Persiapan Benda Uji
Setelah bahan yang akan digunakan telah lulus uji, tahap selanjutnya adalah penentuan jumlah benda uji dan rancangan agregat gabungan serta pembuatan benda uji untuk penentuan kadar aspal optimum.
- d. Penentuan Jumlah Benda Uji
Banyaknya benda uji yang dibuat untuk kebutuhan penelitian ini, dapat dilihat pada Tabel 1 dibawah ini.

Tabel 1. Perhitungan Benda Uji

Uraian kegiatan pengujian				
1.	Penentuan Kadar Aspal Optimum		Jumlah	
	Variasi Kadar Aspal (%)		Jumlah Benda Uji	
	AC-WC		AC-WC	
	5	3	3	3
	5.5	3	3	3
	6	3	3	3
	6.5	3	3	3
	7	3	3	3

2. Pengujian stabilitas (60 ⁰)					
Kadar Aspal (%)		Waktu (Menit/jam)		AC-WC	Jumlah
Optimum		30 Menit		3	3
Optimum		24 Jam		3	3
3. Variasi Penambahan Gypsum					
Kadar Aspal (%)	Kadar Gypsum(%)	Siklus (hari)		AC-WC Gypsum	Jumlah
Optimum	10	3	7	14	3
Optimum	15	3	7	14	3
Optimum	20	3	7	14	3
Total Benda Uji					39

- e. Perancangan Agregat Gabungan
Perancangan agregat gabungan adalah penentuan proporsi masing-masing gradasi agregat kemudian digabung dalam satu campuran. Merancang proporsi campuran dapat dilakukan dengan metode grafis diagonal.
- f. Pengetesan Benda Uji Dengan Alat Marshall
Bertujuan untuk menentukan Stabilitas, *Flow*, *Air Void*, *Void Filleddan Marshall Quotient* campuran aspal beton. Prosedur pengetesan adalah benda uji yang telah dipadatkan dan didinginkan kemudian ditimbang untuk mendapatkan berat benda uji diudara, kemudian rendam dalam air selama 24 jam pada suhu ruang, kemudian timbang dalam air untuk mendapatkan berat benda uji dalam air, lalu benda uji diangkat dan dilap kemudian ditimbang untuk mendapatkan berat kering permukaan jenuh (SSD).
Sebelum diadakan pengetesan dengan alat marshall benda uji terlebih dahulu direndam dalam air dengan suhu 60°C selama 30 menit. Setelah 30 menit dikeluarkan benda uji lalu kemudian tes dengan alat marshall. Dari pengetesan benda uji akan diperoleh data stabilitas dan Flow sebagai dasar untuk menentukan sifat-sifat campuran. Rancangan campuran yang digunakan dalam penelitian ini yaitu AC-WC.
Kadar aspal optimum ditentukan dari hasil parameter Marshall, nilai-nilai karakteristik Marshall yang memenuhi spesifikasi diplot ke grafik dalam bentuk chart yang menunjukkan hubungan karakteristik Marshall terhadap kadar aspal campuran dimana semua karakteristik campuran memenuhi spesifikasi/persyaratan ditetapkan sebagai kadar aspal optimum
Bahan agregat yang digunakan pada penelitian ini, terdiri dari agregat kasar dan agregat halus diperoleh dari bili-bili dan filler yang digunakan diperoleh dari PT.Semen Bosowa. Jenis Aspal yang digunakan Studi ini adalah Aspal Minyak Produksi Pertamina 60/70, dan limbah gypsum yang diperoleh dari sisa pekerjaan konstruksi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pemeriksaan Karakteristik Agregat

Hasil pemeriksaan karakteristik agregat sesuai dengan metode pengujian yang dipakai dan spesifikasi yang disyaratkan dan disajikan dalam Tabel 2. Sampai dengan Tabel 6. dan hasil pemeriksaan analisa saringan agregat kasar dan halus disajikan sebagai berikut :

Tabel 2. Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat (AASHTO T.11/27)

Ukuran Saringan		% Lolos Saringan			
Inchi	mm	Gradasi Batu Pecah 1-2	Gradasi Batu Pecah 0,5-1	Abu Batu	Semen
3/4"	19	100,00	100,00	100,00	100
1/2"	12,5	56,62	100,00	100,00	100
3/8"	9,5	29,53	89,96	100,00	100
No.4	4,75	4,47	50,58	99,68	100
No. 8	2,36	0,99	21,12	90,50	100
No. 16	1,18	0,86	6,85	72,96	100
No. 30	0,6	0,84	2,73	58,48	100
N0. 50	0,3	0,77	2,52	39,22	100
No.100	0,14	0,73	1,92	21,43	100
No.200	0,075	0,47	1,79	6,86	95,16

Sumber : Hasil Penelitian Laboratorium Teknik Sipil Universitas Bosowa, 2021

Tabel 3. Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar (Batu Pecah 1-2, - dan Batu Pecah 0,5 1)

Jenis Pemeriksaan	Metode pengujian	Hasil	Spesifikasi	Satuan
Gradasi	AASHTO T27- 82			%
Berat jenis dan penyerapan (batu pecah 1-2)				
1. Bulk		2.63	-	-
2. SSD		2.68	-	-
3. Semu	SNI 1969:2016	2.77	Min 2,5	-
4. Penyerapan		2.00	Max 3	-

Jenis Pemeriksaan	Metode pengujian	Hasil	Spesifikasi	Satuan
Berat jenis dan penyerapan (batu pecah 0,5-1)				
1. Bulk		2.66	-	-
2. SSD		2.72	-	-
3. Semu	SNI 1969:2016	2.84	Min 2,5	-
4. Penyerapan		2.33	Max 3	-

Sumber : Hasil Pengujian dan Spesifikasi Bina Marga Kementerian PUPR, 2018

Tabel 4. Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Abu Batu

Jenis Pemeriksaan	Metode	Hasil	Spesifikasi	Satuan
Gradasi				
	AASHTO T27-82		-	%
Berat jenis dan penyerapan				
1. Bulk		2.86	-	Gram
2. SSD		2.95	-	Gram
3. Semu	SNI 03-6819-2002	3,12	Min 2,5	Gram
4. Penyerapan		2.90	Max 3	Gram

Sumber : Hasil Pengujian dan Spesifikasi Bina Marga Kementerian PUPR, 2018

Tabel 5. Hasil Pemeriksaan Aspal Penetrasi 60/70

No.	Pemeriksaan	Prosedur Pemeriksaan	Spesifikasi		Hasil	Satuan
			Min.	Max.		
1	Penetrasi (25° C, 5 dtk)	SNI-06-2456-1991	60	79	64,9	1 mm
2	Titik Lembek (ring dan Ball)	SNI-06-2434-1991	48	58	51	0C
3	Berat jenis (25° C)	SNI-06-2441-1991	1,0	-	1,005	Gr/ml
4	Daktalitas (25° C, 5 cm/menit)	SNI-06-2432-1991	100	-	120	mm
5	Titik Nyala dan Titik Bakar	SNI -06-2433-1991	200	-	272,5	%
6	Viskositas Pencampuran	AASHTO-72-97	130	165	162	0C
7	Viskositas Pemadatan	AASHTO-72-97	120	140	131	0C

Sumber : Hasil Pengujian dan Spesifikasi Bina Marga Kementerian PUPR, 2018

Tabel 6. Rancangan Campuran AC-WC

No Saringan	Gradasi Agregat				Gradasi Penggabungan Agregat AC-WC	Spesifikasi 2018
	Batu Pecah 1-2	Batu Pecah 0,5-1	Abu Batu	Filter		
3/4"	100,0	100,0	100,0	100	100,00	100
1/2"	56,62	100,0	100,0	100	91,32	90-100
3/8"	29,53	89,96	100,0	100	81,39	77-90
#4	4,47	50,58	99,68	100	58,55	53-69
#8	0,99	21,12	90,50	100	41,47	33-53
#16	0,86	6,85	72,96	100	29,06	21-40
#30	0,84	2,73	58,48	100	22,28	14-30
#50	0,77	2,52	39,22	100	15,62	9-22
#100	0,73	1,92	21,43	100	9,30	6-15
#200	0,47	1,79	6,86	95,16	4,18	4-9
Komposisi Penggabungan Agregat (%)						
	a.	Batu pecah 1 - 2			20	
	b.	Batu pecah 0,5 - 1			45	
	c.	Abu batu			34	
	d.	Filler			1	
	Total Luas Permukaan Agregat (M ² /Kg)				5,17	

Sumber : Hasil Pengujian dan Spesifikasi Bina Marga Kementerian PUPR, 2018

Hasil Pemeriksaan Karakteristik Agregat

a. Perkiraan Kadar Aspal Optimum Rencana (Pb)

Kadar aspal yang didapatkan adalah 6 %, dengan mengambil dua kadar aspal dibawah dan dua kadar aspal diatas menggunakan interval 6% maka nilai tersebut adalah 5,0 % ; 5,5 % ; 6 % ; 6,5 % ; 7%.

b. Penentuan Berat Agregat dan Aspal dalam Campuran

Setelah mendapatkan persentase masing-masing fraksi agregat dan aspal, maka ditentukan berat material untuk rancangan campuran dengan kapasitas mold yang ada. Perhitungan untuk campuran aspal dengan menggunakan aspal penetrasi 60/70 dapat dilihat pada lampiran. Selanjutnya untuk berat aspal dan berat agregat pada masing-masing kadar aspal dapat dilihat sebagai berikut.

Tabel 7. Komposisi Campuran AC-WC (gram)

Kadar Aspal	5	%	100	%	-	5 (%)	=	95		
Hasil Combine										
BP 1- 2	20	%	x 95	%	=	0.19	x	1200	=	228,00
BP 0,5 - 1	45	%	x 95	%	=	0.43	x	1200	=	513,00
Abu Batu	34	%	x 95	%	=	0.32	x	1200	=	387,60
Filler	1	%	x 95	%	=	0.01	x	1200	=	11.40
Aspal	5	%		X				1200	=	60,00
									1200	

Tabel 8. Berat Aspal dan Agregat pada Campuran Aspal AC-WC Standar (gram)

Kadar Aspal	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0
Batu Pecah 1 – 2	228,00	226,80	225,60	224,40	223,20
Batu Pecah 0,5 – 1	513,00	510,30	507,60	504,90	502,20
Abu Batu	387,60	385,56	383,52	381,48	379,44
Semen	11,40	11,34	11,28	11,22	11,16
Berat Aspal Terhadap Campuran	60,00	66,00	72,00	78,00	84,00
Jumlah	1200	1200	1200	1200	1200

c. Perhitungan Berat Jenis dan Penyerapan Campuran

Berdasarkan hasil pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat serta berat jenis aspal diperoleh data sebagai berikut

Tabel 9. Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Dan Penyerapan Agregat

Material	Berat jenis bulk	Berat Jenis Semu	Berat Jenis Efektif
	a	b	$c = \frac{(a + b)}{2}$
Batu Pecah 1 - 2	2,63	2,77	2,70
Batu Pecah 0,5 - 1	2,66	2,84	2,75
Abu batu	2,86	3,12	2,99
Filler		3,14	
Aspal	1,005		

Sumber : Hasil Pengujian dan Spesifikasi Bina Marga Kementerian PUPR, 2018

Data Uji Marshall untuk Penentuan Kadar Aspal Optimum

Pada pengujian benda uji dengan alat marshall, diperoleh dua data hasil pengujian yaitu pembacaan stabilitas dan flow benda uji.

Tabel 10. Hasil Marshall Tes KAO Aspal Minyak

Kadar Aspal %	Hasil Pengujian						
	Kepadatan	Stabilitas (Kg)	Flow (mm)	MQ (Kg/mm)	VIM (%)	VMA(%)	VFB (%)
5	2.35	1709.78	2.57	677.4	9.29	18.58	47.04
5,5	2.38	1760.06	3.00	589.8	7.69	18.26	44.82
6	2.39	1624.29	2.53	648.1	6.40	18.23	65.23
6,5	2.37	1795.26	3.07	591.9	4.86	19.48	74.78
7	2.40	1382.91	3.17	443.6	4.46	18.76	75.01

Pembuatan Benda Uji dengan Menggunakan Limbah Gypsum

Untuk campuran AC-WC didapat berat aspal dan agregat terhadap kadar aspal optimum sebagai berikut.

a. Perhitungan Berat Agregat Dan Berat Aspal Menggunakan Kadar Aspal Optimum

Setelah diperoleh Karakteristik Marshall dengan Kadar Aspal Optimum yang telah ditentukan maka dilanjutkan untuk komposisi campuran. Untuk campuran AC - WC dengan variasi gipsum 10%, 15%, dan 20% pada perendaman berulang, 3 hari, 7 hari dan 14 hari didapat kadar Aspal dan Agregat terhadap kadar Aspal optimum sebagai berikut

Tabel 11. Komposisi Campuran Menggunakan Variasi Limbah Gypsum (Gram)

Kadar Aspal	7 %	100 %	-	7	%	93			
Hasil Combine									
Batu Pecah 1-2 cm	20 %	x	93 %	=	0.186	x	1200	=	223.2
Batu Pecah 0.5-1 cm	45 %	x	93 %	=	0.419	x	1200	=	502.2
Abu Batu	34 %	x	93 %	=	0.316	x	1200	=	379.4
Filler	1 %	x	93 %	=	0.009	x	1200	=	11.16
Gypsum			10 %	=	11.16	x	<u>10</u>		
									100

Kadar Aspal	7 %	100 %	-	7 %	93
Semen	90 %	= 1.116	= 11.16	-	1.116
Aspal	7 %	x	= 10.04	1200	= 84
					1200

b. Data Hasil Uji Dengan Alat Marshall Yang Diperoleh Dengan Menggunakan Kadar Aspal Optimum

Tujuan dari uji Marshall ini ialah untuk mengetahui karakteristik campuran aspal panas dan campuran aspal dingin dengan kadar aspal optimum dengan waktu 24 jam. Maksud dari pengujian ini untuk mengetahui ketahanan (Stabilitas) terhadap kelelahan plastis (Flow) dari campuran aspal tersebut.

Tabel 12. Hasil Uji Marshall KAO Aspal Minyak dengan Perendaman Selama 30 menit dan 24 jam pada Suhu 60°C

No	Pemeriksaan	KAO 7%		Spesifikasi 2018
		Perendaman KAO		
		30 menit	24 jam	
1	Kepadatan	2.40	2.39	-
2	Stabilitas (Kg)	1614,17	1539,67	Min 800
3	Flow (mm)	2,97	3.03	2-4
4	MQ (Kg/mm)	548,93	510,23	Min 250
5	VIM (%)	4,53	4,86	3-5
6	VMA (%)	18,82	19,09	Min 15
7	VFB (%)	75,99	74,58	Min 65

Sumber : Hasil Pengujian dan Spesifikasi Bina Marga Kementerian PUPR, 2018

c. Data Hasil Uji Dengan Alat Marshall Yang Diperoleh Dengan Menggunakan Kadar Aspal Optimum

Dari hasil uji marshall dapat diketahui campuran aspal panas dan campuran aspal dingin AC-WC dengan perendaman berulang kedalam campuran aspal AC-WC menggunakan Variasi gipsum 10%, 15% dan 20% dengan perendaman selama 3, 7, dan 14 hari kemudian direndam 30 menit pada suhu 60°C. Dapat kita amati pengaruh campuran aspal terhadap nilai Stabilitas, Flow, VIM, Marshall Quotient, VMA, dan VFB.

Tabel 13. Hasil Uji Marshall KAO Aspal Minyak dengan Perendaman Berulang Selama 3 hari Kemudian di Rendam Selama 24 jam pada Suhu 60°C

No	Pemeriksaan	KAO 7%				Spesifikasi 2018
		Perendaman 3 Hari				
		Kadar Limbah Gypsum				
		KAO 7%	10%	15%	20%	
1	Kepadatan	2.39	2.39	2.34	2.33	-
2	Stabilitas (Kg)	1539.67	1588.34	1229.10	1199.45	Min 800
3	Flow (mm)	3.03	3.40	3.65	4.00	2-4
4	VIM (%)	4.86	4.84	4.54	4.02	3-5
5	VFB (%)	74.58	74.79	74.59	75.34	Min 65
6	VMA (%)	19.09	19.20	19.25	19.45	Min 15
7	MQ (Kg/mm)	510.23	469.58	324.57	299.23	Min 250

Sumber : Hasil Pengujian dan Spesifikasi Bina Marga Kementerian PUPR, 2018

Tabel 14. Hasil Uji Marshall KAO Aspal Minyak dengan Perendaman Berulang Selama 7 hari. Kemudian di Rendam Selama 24 jam pada Suhu 60°C

No	Pemeriksaan	KAO 7%				Spesifikasi 2018
		Perendaman 7 Hari				
		Kadar Limbah Gypsum				
		KAO 7%	10%	15%	20%	
1	Kepadatan	2.39	2.38	2.34	2.34	-
2	Stabilitas (Kg)	1539.67	1518.61	1214.35	1206.90	Min 800
3	Flow (mm)	3.03	3.55	3.85	3.73	2-4
4	VIM (%)	4.86	5.07	4.90	6.16	3-5
5	VFB (%)	74.58	73.87	68.55	75.78	Min 65
6	VMA (%)	19.09	19.39	20.60	19.14	Min 15
7	MQ (Kg/mm)	510.23	429.29	307.09	312.22	Min 250

Sumber : Hasil Pengujian dan Spesifikasi Bina Marga Kementerian PUPR, 2018

Tabel 15. Hasil Uji Marshall KAO Aspal Minyak Dengan Perendaman Berulang Selama 14 hari. Kemudian di Rendam Selama 24 jam Pada Suhu 60°C

No	Pemeriksaan	KAO 7%				Spesifikasi 2018
		Perendaman 14 Hari				
		Kadar Limbah Gypsum				
		10%	15%	20%		
1	Kepadatan	2.39	2.37	2.35	2.33	-
2	Stabilitas (Kg)	1539.67	1306.90	1213.70	1199.45	Min 800
3	Flow (mm)	3.03	3.70	3.60	4.00	2-4
4	VIM (%)	4.86	5.44	4.02	6.64	3-5
5	VFB (%)	74.58	72.41	78.55	75.34	Min 65
6	VMA (%)	19.09	19.70	17.72	19.45	Min 15
7	MQ (Kg/mm)	510.23	352.66	334.47	299.23	Min 250

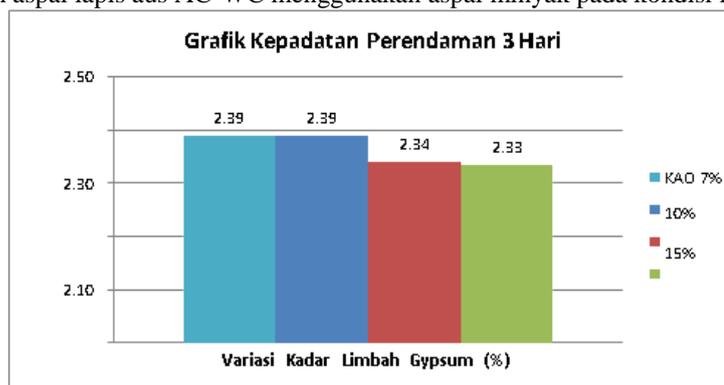
Sumber : Hasil Pengujian dan Spesifikasi Bina Marga Kementerian PUPR, 2018

d. Analisis Hasil Pengujian Aspal Minyak dengan variasi gipsum pada perendaman berulang selama 3 hari

Hasil pengujian campuran Aspal Minyak menggunakan alat uji marshall akan diperoleh hasil-hasil parameter marshall sebagai berikut

1) Kepadatan

Nilai density (kepadatan) menunjukkan besarnya kerapatan suatu campuran yang sudah dipadatkan. Campuran dengan density tinggi dalam batas tertentu akan lebih mampu menahan beban yang lebih berat dibandingkan dengan campuran yang mempunyai density yang rendah. Nilai density suatu campuran dipengaruhi oleh kualitas dan komposisi bahan susun serta cara pemadatan, suatu campuran akan memiliki density yang tinggi apabila mempunyai bentuk butir yang tidak seragam dan porositas butiran rendah. Nilai kepadatan campuran beton aspal lapis aus AC-WC dengan perendman berulang, dapat dilihat pada Gambar 1. untuk campuran beton aspal lapis aus AC-WC menggunakan aspal minyak pada kondisi kadar aspal optimum.

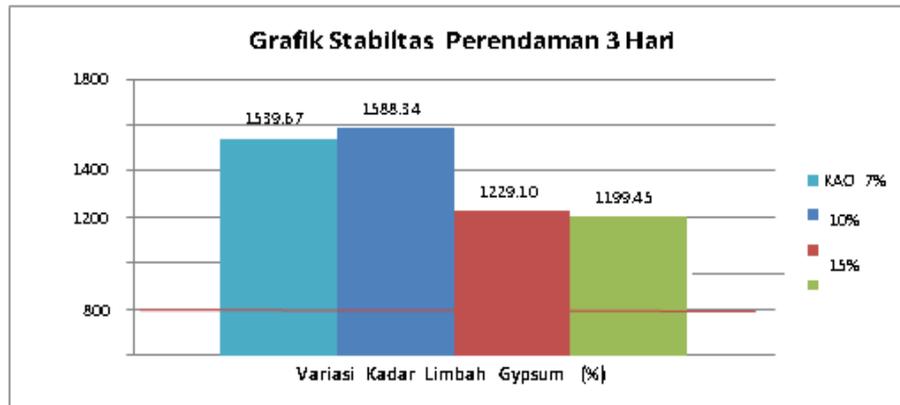


Gambar 1. Diagram Hubungan Variasi Gipsum Dengan Perendaman Berulang Selama 3 hari Terhadap Kepadatan pada Kondisi Kadar Aspal Optimum dengan Waktu Perendaman 24 jam dengan Suhu 60°C

Gambar 1. dapat dilihat bahwa semakin lama perendaman yang dilakukan secara berulang tidak terlalu mempengaruhi nilai Kepadatan (density), pada KAO 7% adalah 2,39, pada kadar 10% adalah 2,39, pada kadar 15% adalah 2,34 dan pada kadar 20% adalah 2,33 bisa dikatakan nilainya hampir sama. Hal ini disebabkan karena belum dilakukan pemebebanan, dan Gypsum yang mempertahankan daya rekat aspal.

2) Stabilitas Minimum 800Kg

Nilai stabilitas menunjukkan besarnya kemampuan perkerasan menahan beban tanpa mengalami perubahan bentuk (deformasi) tetap, dinyatakan dalam satuan beban lalu lintas, perkerasan yang memiliki nilai stabilitas yang tinggi akan mampu menahan beban lalu lintas besar, akan tetapi stabilitas yang terlalu rendah akan mengakibatkan perkerasan akan mudah mengalami alur (rutting) oleh beban lalu lintas. Hasil pengujian stabilitas dengan perendaman berulang pada kadar aspal optimum menggunakan aspal minyak diperlihatkan pada Gambar 2 dibawah ini.

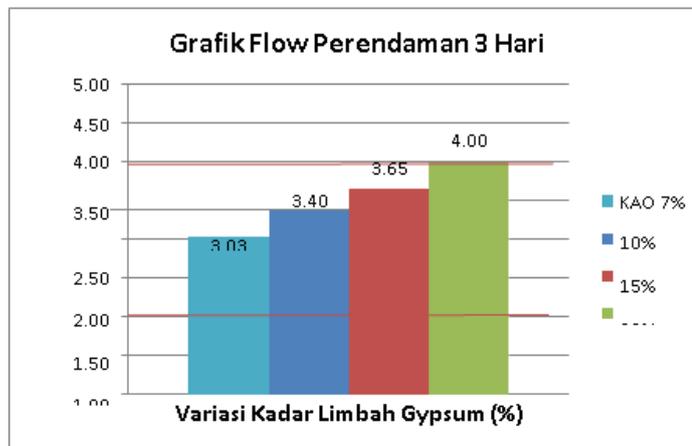


Gambar 2. Diagram Hubungan Variasi Gypsum dengan Perendaman Berulang Selama 3 hari Terhadap Stabilitas Pada Kondisi Kadar Aspal Optimum dengan Waktu Perendaman 24 jam dengan Suhu 60°C.

Stabilitas campuran yang dilakukan perendaman berulang nilai stabilitas mengalami penurunan. Pada nilai KAO 7% adalah 1539,67 Kg, pada kaadar 10% adalah 1588,34 Kg, pada kadar 15% adalah 1229,10 Kg dan nilai pada kadar 20% adalah 1199,45 Kg. Ketika campuran aspal direndam dalam waktu yang lama, air akan berusaha untuk mengisi rongga-rongga dalam campuran dan berinteraksi dengan material penyusun yaitu agregat dan aspal. Air yang berinteraksi dengan agregat akan terserap kedalamnya dan menyelimuti permukaan agregat pada bagian yang tidak terselimuti sempurna oleh aspal. Dengan demikian ternyata semakin lama campuran terendam, maka adhesi campuran akan berkurang dan peluang terjadinya kehilangan durabilitas atau keawetan campuran juga semakin besar.

3) Pelelehan (Flow) Minimum 2 - 4 (mm)

Nilai Flow menyatakan besarnya deformasi yang terjadi pada suatu lapis perkerasan akibat beban lalu lintas. Suatu campuran dengan nilai Flow tinggi akan cenderung lembek sehingga akan menyebabkan deformasi permanen apabila menerima beban. Sebaliknya jika nilai Flow rendah maka campuran menjadi kaku dan mudah retak jika menerima beban yang mengalami daya dukungnya. Grafik nilai Flow campuran ACWC untuk perendaman berulang dengan menggunakan air pada kadar aspal optimum dapat dilihat pada Gambar 3 dibawah ini.



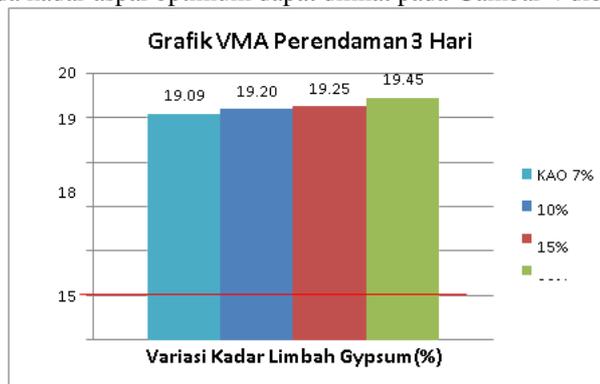
Gambar 3. Diagram Hubungan Variasi Gypsum dengan Perendaman Berulang Selama 3 hari Terhadap Flow pada Kondisi Kadar Aspal Optimum dengan Waktu Perendaman 24 jam dengan Suhu 60°C.

Variasi jumlah tumbukan yang direndam secara berulang menyebabkan nilai *Flow* pada KAO 7% adalah 3.03 mm, pada 10% adalah 3.40 mm, pada 20% adalah 3.65 mm, sedangkan pada perendaman 20% adalah 4.00 mm dengan syarat flow 2,0 – 4,0 (mm) maka perendaman 3 hari memenuhi spesifikasi. Semakin lama perendaman, air akan berusaha mengisi rongga-rongga dalam campuran dan berinteraksi dengan material penyusun baik agregat maupun aspal. Air yang berinteraksi dengan agregat akan terserap kedalam dan menyelimuti permukaan agregat pada bagian yang tidak terselimuti sempurna oleh aspal. Hal ini mengurangi daya rekat aspal. Sehingga semakin lama perendaman maka daya rekat aspal semakin berkurang.

4) Rongga Dalam Agregat (VMA) Min 15%

VMA adalah presentase rongga antar butir agregat, termasuk didalamnya adalah rongga yang terisi udara dan rongga terisi aspal efektif. Nilai VMA yang terlalu kecil dapat menyebabkan lapisan aspal yang dapat menyelimuti agregat menjadi tipis dan mudah teroksidasi, akan tetapi bila kadar aspalnya terlalu banyak akan menyebabkan bleeding. Nilai minimum rongga dalam mineral agregat adalah untuk menghindari banyaknya

rongga udara yang menyebabkan material menjadi berpori. Rongga pori dalam agregat tergantung pada ukuran butir, susunan, bentuk, dan metode pemadatan. Grafik nilai VMA campuran AC-WC untuk perendaman berulang dengan air laut pada kadar aspal optimum dapat dilihat pada Gambar 4 dibawah ini.

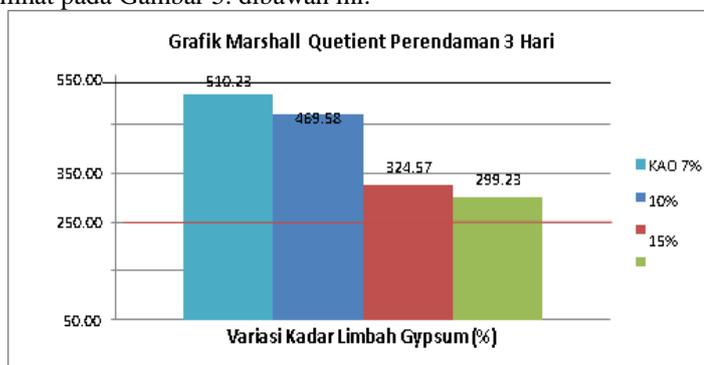


Gambar 4. Diagram Hubungan Variasi Gypsum dengan Perendaman Berulang Selama 3 hari Terhadap Vma pada Kondisi Kadar Aspal Optimum dengan Waktu Perendaman 24 jam dengan Suhu 60°C

Variasi jumlah tumbukan yang di rendam secara berulang menyebabkan nilai Flow pada KAO7% adalah 19,09 mm, pada kadar 10% adalah 19,20 mm, pada kadar 15% adalah 20,30 mm, sedangkan pada kadar 20% adalah 19.45 mm dengan syarat flow 2,0 – 4,0 (mm) maka pada kadar 10%, 15%, dan 20% memenuhi spesifikasi. Semakin lama perendaman, air akan berusaha mengisi rongga-rongga dalam campuran dan berinteraksi dengan material penyusun baik agregat maupun aspal. Air yang berinteraksi dengan agregat akan terserap kedalam dan menyelimuti permukaan agregat pada bagian yang tidak terselimuti sempurna oleh aspal. Hal ini mengurangi daya rekat aspal. Sehingga semakin lama perendaman air maka daya rekat aspal semakin berkurang.

5) Marshall Quesient

Hasil bagi Marshall atau Marshall Quesient adalah perbandingan antara stabilitas dan kelelahan yang juga merupakan indikator terhadap kekuatan campuran secara empiris. Semakin tinggi nilai MQ maka kemungkinan akan semakin tinggi kekakuan suatu campuran dan semakin rentan terhadap keretakan. Nilai MQ pada kadar aspal optimum dapat dilihat pada Gambar 5. dibawah ini.

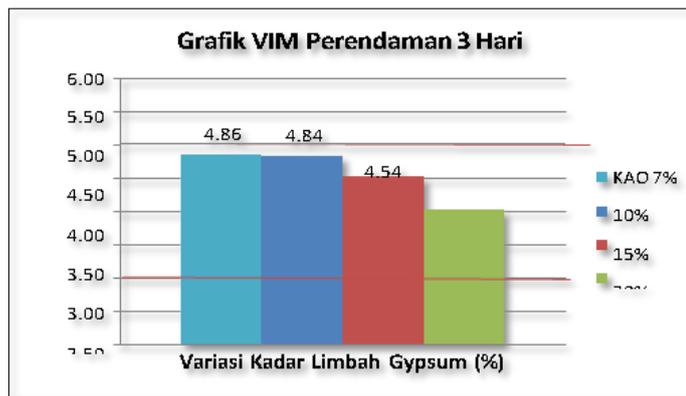


Gambar 5. Diagram Hubungan Variasi Gypsum dengan Perendaman Berulang Selama 3 hari Terhadap Nilai MQ pada Kondisi Kadar Aspal Optimum dengan Waktu Perendaman 24 jam dengan Suhu 60°

Marshall Quetient pada KAO 7% adalah 510,23 Kg/mm, pada kadar 10% adalah 469,58 Kg/mm, pada peredaman kadar 15% adalah 324,57 kg/mm, dan pada kadar 20% adalah 299,23 Kg/mm. Dilihat dari grafik diatas bahwa perendaman berulang akan mengakibatkan penurunan namun tetap memenuhi batas spesifikasi MQ. Hal ini disebabkan karena kohesi atau daya lekat dalam aspal menurun akibat oksidasi selama direndam.

6) Rongga Dalam Campuran (VIM) Minimum 3,0 % – 5,0 %

VIM (void in mixture) merupakan presentase rongga udara dalam campuran antara agregat dan aspal setelah dilakukan pemadatan. VIM atau rongga dalam campuran adalah parameter yang biasanya berkaitan dengan durabilitas dan kekuatan dari campuran. Semakin kecil nilai VIM, maka akan bersifat kedap air. Namun nilai VIM yang terlalu kecil dapat mengakibatkan keluarnya aspal ke permukaan. Grafik nilai VIM campuran AC-WC untuk perendaman berulang pada kadar aspal optimum dapat dilihat pada Gambar 6 dibawah ini.

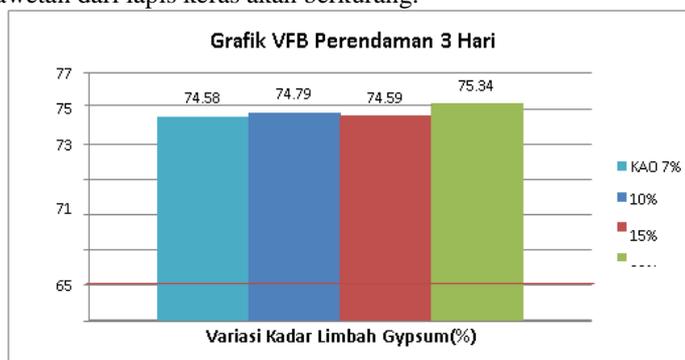


Gambar 6. Diagram Hubungan Variasi Gypsum dengan Perendaman Berulang Selama 3 hari Terhadap VIM pada Kondisi Kadar Aspal Optimum dengan Waktu Perendaman 24 jam dengan Suhu 60°C.

Gambar 6. menunjukkan bahwa variasi jumlah tumbukan yang direndam secara berulang dalam campuran aspal dapat berpengaruh nilai *VIM*. pada nilai KAO adalah 4,86 % , pada kadar 10% adalah 4,84 % , pada kadar 15% adalah 4,54 % , sedangkan pada kadar 20% adalah 4,54% dengan syarat *VIM* 3,0 – 5,0 % Semakin menurunnya nilai *VIM* pada campuran aspal ini disebabkan karena pada saat campuran aspal direndam, maka air akan terinfiltrasi kedalam rongga-rongga yang tersisa dalam campuran, kemudian mendesak aspal baik yang menyelimuti agregat maupun mengisi rongga akibat gaya tekan air ke segala arah sehingga menyebabkan rongga dalam campuran meningkat. Rongga yang meningkat dan terisi air inilah yang mengurangi durabilitas atau keawetan campuran.

7) Rongga Terisi Aspal (VFB) Minimum 65 (%)

VFB (*Void Filled Bitumen*), menyatakan prosentase rongga udara yang terisi aspal pada campuran yang telah mengalami pemadatan, Nilai VFB ini merupakan pada sifat kededapan air dan udara, maupun sifat elastis campuran. Nilai VFB yang semakin besar berarti semakin banyaknya rongga udara yang terisi aspal sehingga kededapan campuran terhadap air dan udara akan semakin tinggi. Nilai VFB yang terlalu tinggi akan menyebabkan lapis perkerasan mudah mengalami bleeding atau naiknya aspal kepermukaan. Nilai VFB (*Void Filled Bitumen*) yang terlalu kecil akan menyebabkan kededapan terhadap air berkurang karena sedikit rongga yang terisi aspal. Dengan banyaknya rongga yang kosong, air dan udara akan mudah masuk kedalam lapis keras sehingga keawetan dari lapis keras akan berkurang.



Gambar 7. Diagram Hubungan Variasi Gypsum dengan Perendaman Berulang Selama 3 hari Terhadap VFB pada Kondisi Kadar Aspal Optimum dengan Waktu Perendaman 24 jam dengan Suhu 60°C.

VFB pada KAO 7% adalah 74,58 % , pada kadar 10% adalah 74,79 % , pada kadar 15% adalah 74,59% , dan pada kadar 20% adalah 75,34 % . Ketentuan sifat – sifat campuran laston nilai VFB adalah 65 % maka nilai VFB memenuhi spesifikasi. Dilihat dari grafik diatas bahwa perendaman berulang mengalami penurunan. Hal ini disebabkan karena semakin lama perendaman akan membuat lekatan semakin berkurang sehingga hal itu dapat mehyebabkan melemahnya ikatan antara aspal dengan agregat sehingga agregat yang terselimuti menjadi sedikit

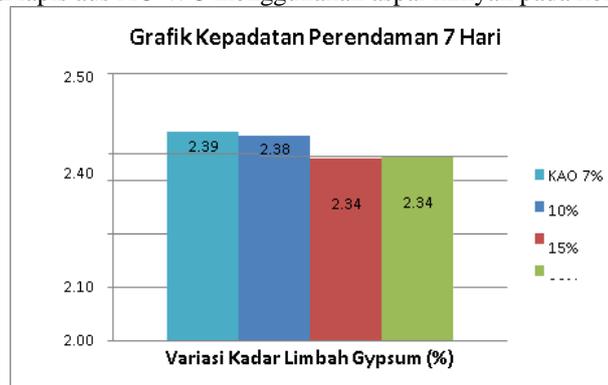
e. Analisis Hasil Pengujian Aspal Minyak dengan variasi gypsum pada perendaman berulang selama 7 hari

Hasil pengujian campuran Aspal Minyak menggunakan alat uji marshall akan diperoleh hasil-hasil parameter marshall sebagai berikut

1) Kepadatan

Nilai density (kepadatan) menunjukkan besarnya kerapatan suatu campuran yang sudah dipadatkan. Campuran dengan density tinggi dalam batas tertentu akan lebih mampu menahan beban yang lebih berat

dibandingkan dengan campuran yang mempunyai density yang rendah. Nilai density suatu campuran dipengaruhi oleh kualitas dan komposisi bahan susun serta cara pemadatan, suatu campuran akan memiliki density yang tinggi apabila mempunyai bentuk butir yang tidak seragam dan porositas butiran rendah. Nilai kepadatan campuran beton aspal lapis aus AC-WC dengan perendaman berulang, dapat dilihat pada gambar 4.13 untuk campuran beton aspal lapis aus AC-WC menggunakan aspal minyak pada kondisi kadar aspal optimum.

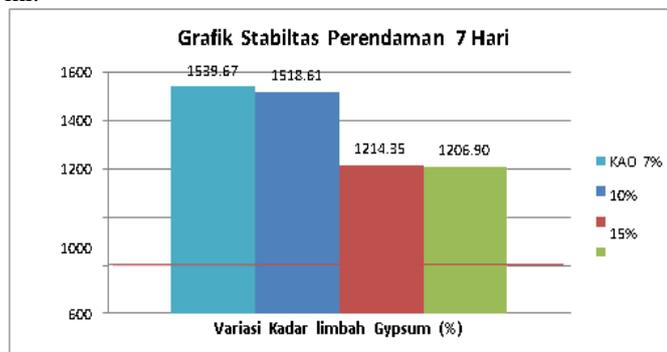


Gambar 8 Diagram Hubungan Variasi Gypsum dengan Perendaman Berulang Selama 7 hari Terhadap Kepadatan pada Kondisi Kadar Aspal Optimum dengan Waktu Perendaman 24 jam dengan Suhu 60°C.

Semakin lama Perendaman yang dilakukan secara berulang tidak terlalu mempengaruhi nilai Kepadatan (density), pada KAO 7% adalah 2,39, pada kadar 10% adalah 2,38 pada kadar 15% adalah 2,34 dan pada kadar 20% adalah 2,34 bisa dikatakan nilainya hampir sama. Hal ini disebabkan karena belum dilakukan pembebanan.

2) Stabilitas Minimum 800 (Kg)

Nilai stabilitas menunjukkan besarnya kemampuan perkerasan menahan beban tanpa mengalami perubahan bentuk (deformasi) tetap, dinyatakan dalam satuan beban lalu lintas, perkerasan yang memiliki nilai stabilitas yang tinggi akan mampu menahan beban lalu lintas besar, akan tetapi stabilitas yang terlalu rendah akan mengakibatkan perkerasan akan mudah mengalami alur (rutting) oleh beban lalu lintas. Hasil pengujian stabilitas dengan perendaman berulang pada kadar aspal optimum menggunakan aspal minyak diperlihatkan pada Gambar 9 dibawah ini.

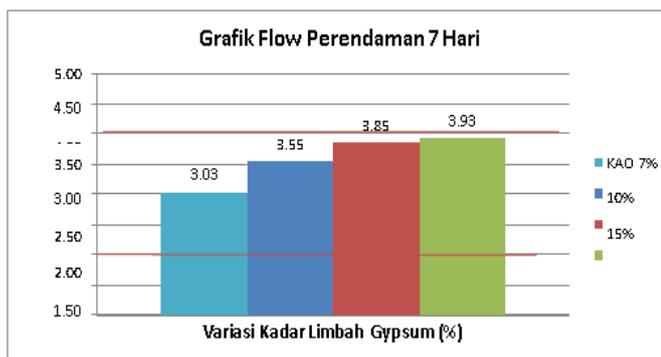


Gambar 9. Diagram Hubungan Variasi Gypsum dengan Perendaman Berulang Selama 7 hari Terhadap Stabilitas pada Kondisi Kadar Aspal Optimum dengan Waktu Perendaman 24 jam dengan Suhu 60°C.

Stabilitas campuran yang dilakukan perendaman berulang nilai stabilitas mengalami penurunan pada nilai KAO 7% adalah 1539,67 Kg, pada kadar 10% adalah 1518,61 Kg, pada kadar 15% adalah 1214,35 Kg dan nilai pada kadar 20% adalah 1206,90 Kg. Ketika campuran aspal direndam dalam waktu yang lama, air akan berusaha untuk mengisi rongga-rongga dalam campuran dan berinteraksi dengan material penyusun yaitu agregat dan aspal. Air yang berinteraksi dengan agregat akan terserap kedalamnya dan menyelimuti permukaan agregat pada bagian yang tidak terselimuti sempurna oleh aspal. Dengan demikian ternyata semakin lama campuran terendam, maka adhesi campuran akan berkurang dan peluang terjadinya kehilangan durabilitas atau keawetan campuran juga semakin besar.

3) Pelelehan (Flow) Minimum 2 - 4 (mm)

Nilai Flow menyatakan besarnya deformasi yang terjadi pada suatu lapis perkerasan akibat beban lalu lintas. Suatu campuran dengan nilai Flow tinggi akan cenderung lembek sehingga akan menyebabkan deformasi permanen apabila menerima beban. Sebaliknya jika nilai Flow rendah maka campuran menjadi kaku dan mudah retak jika menerima beban yang mengalami daya dukungnya. Grafik nilai Flow campuran AC-WC untuk perendaman berulang dengan menggunakan air pada kadar aspal optimum dapat dilihat pada Gambar10 dibawah ini.

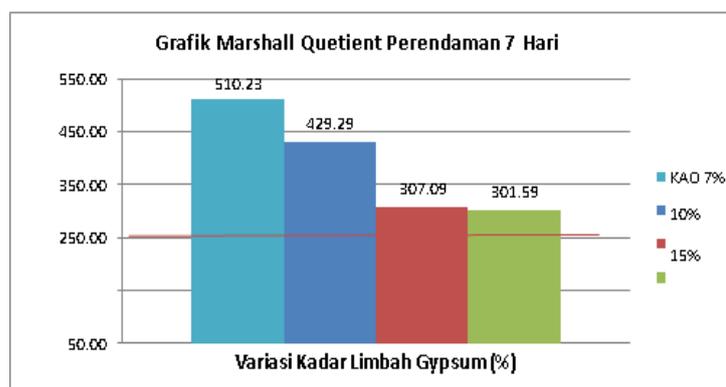


Gambar 10. Diagram Hubungan Variasi Gypsum dengan Perendaman Berulang Selama 7 hari Terhadap Flow pada Kondisi Kadar Aspal Optimum dengan Waktu Perendaman 24 jam dengan Suhu 60°C.

Variasi jumlah tumbukan yang direndam secara berulang menyebabkan nilai Flow pada KAO 7% adalah 3,03 mm, pada 10% adalah 3,55 mm, pada 15% adalah 3,85 mm, sedangkan pada 20% adalah 3.93 mm dengan syarat flow 2,0 – 4,0 (mm) maka perendaman 7 hari memenuhi spesifikasi. Semakin lama perendaman, air akan berusaha mengisi rongga-rongga dalam campuran dan berinteraksi dengan material penyusun baik agregat maupun aspal. Air yang berinteraksi dengan agregat akan terserap kedalam dan menyelimuti permukaan agregat pada bagian yang tidak terselimuti sempurna oleh aspal. Hal ini mengurangi daya rekat aspal. Sehingga semakin lama perendaman maka daya rekat aspal semakin berkurang.

4) Marshall Quesient

Hasil bagi Marshall atau Marshall Quesient adalah perbandingan antara stabilitas dan kelelahan yang juga merupakan indikator terhadap kekuatan campuran secara empiris. Semakin tinggi nilai MQ maka kemungkinan akan semakin tinggi kekakuan suatu campuran dan semakin rentan terhadap keretakan. Nilai MQ pada kadar aspal optimum dapat dilihat pada Gambar11 dibawah ini.

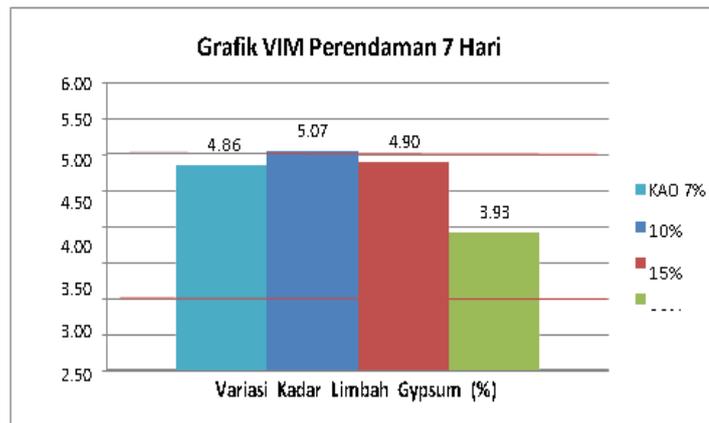


Gambar 11. Diagram Hubungan Variasi Gypsum dengan Perendaman Berulang Selama 7 hari Terhadap Nnilai MQ pada Kondisi Kadar Aspal Optimum dengan Waktu Perendaman 24 jam dengan Suhu 60°C

Nilai Marshall Quetient pada KAO 7% adalah 510,23 Kg/mm, pada kadar 10% adalah 429,29 Kg/mm, pada kadar 15% adalah 307.09 Kg/mm, pada kadar 20% adalah 301,59 Kg/mm. Dilihat dari grafik diatas bahwa perendaman berulang akan mengakibatkan penurunan namun tetap memenuhi batas spesifikasi MQ. Hal ini disebabkan karena kohesi atau daya lekat dalam aspal menurun akibat oksidasi selama direndam.

5) Rongga Dalam Campuran (VIM) Minimum 3,0 % – 5,0 %

VIM (*void in mixture*) merupakan presentase rongga udara dalam campuran antara agregat dan aspal setelah dilakukan pemadatan. VIM atau rongga dalam campuran adalah parameter yang biasanya berkaitan dengan durabilitas dan kekuatan dari campuran. Semakin kecil nilai VIM, maka akan bersifat kedap air. Namun nilai VIM yang terlalu kecil dapat mengakibatkan keluarnya aspal ke permukaan. Grafik nilai VIM campuran AC-WC untuk perendaman berulang pada kadar aspal optimum dapat dilihat pada Gambar12 dibawah ini.

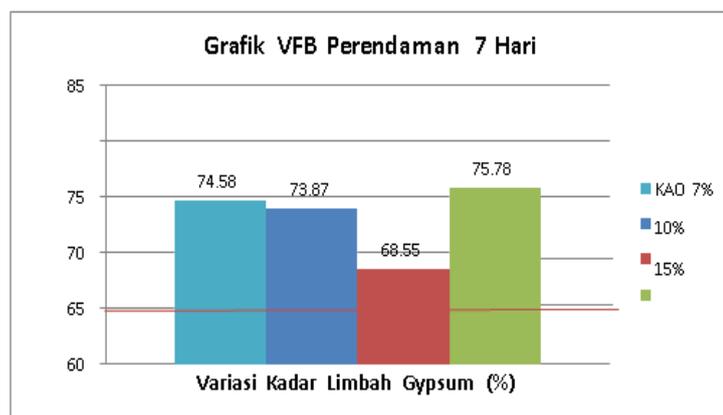


Gambar 12. Diagram Hubungan Variasi Gypsum dengan Perendaman Berulang Selama 7 hari Terhadap VIM pada Kondisi Kadar Aspal Optimum dengan Waktu Perendaman 24 jam dengan Suhu 60°C.

Variasi Gypsum yang direndam secara berulang dalam campuran aspal dapat berpengaruh nilai *VIM*. pada nilai KAO 7% adalah 4,86 % , pada kadar adalah 5,07 % , pada kadar 15% adalah 4,90 % , sedangkan pada kadar 20% adalah 3,93 % dengan syarat *VIM* 3,0 – 5,0 % maka perendaman berulang 7 hari memenuhi spesifikasi. Semakin naiknya nilai *VIM* pada campuran aspal ini disebabkan karena pada saat campuran aspal direndam, maka air akan terinfiltrasi kedalam rongga-rongga yang tersisa dalam campuran, kemudian mendesak aspal baik yang menyelimuti agregat maupun mengisi rongga akibat gaya tekan air ke segala arah sehingga menyebabkan rongga dalam campuran meningkat. Rongga yang meningkat dan terisi air inilah yang mengurangi durabilitas atau keawetan campuran.

6) Rongga Terisi Aspal (VFB) Minimum 65 (%)

VFB (Void Filled Bitumen), menyatakan prosentase rongga udara yang terisi aspal pada campuran yang telah mengalami pemadatan, Nilai VFB ini merupakan pada sifat kedekatan air dan udara, maupun sifat elastis campuran. Nilai VFB yang semakin besar berarti semakin banyaknya rongga udara yang terisi aspal sehingga kedekatan campuran terhadap air dan udara akan semakin tinggi. Nilai VFB yang terlalu tinggi akan menyebabkan lapis perkerasan mudah mengalami bleeding atau naiknya aspal kepermukaan. Nilai VFB (Void Filled Bitumen) yang terlalu kecil akan menyebabkan kedekatan campuran terhadap air berkurang karena sedikit rongga yang terisi aspal. Dengan banyaknya rongga yang kosong, air dan udara akan mudah masuk kedalam lapis keras sehingga keawetan dari lapis keras akan berkurang, dimana nilai selengkapnya dapat dilihat pada Gambar13 dibawah ini.



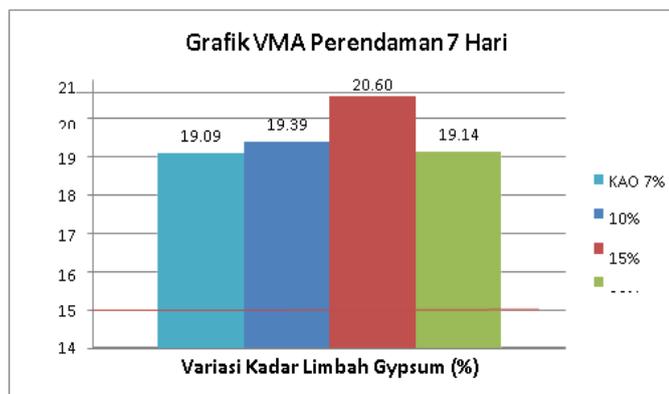
Gambar 13. Diagram Hubungan Variasi Gypsum dengan Perendaman Berulang Selama 7 hari Terhadap VFB pada Kondisi Kadar Aspal Optimum dengan Waktu Perendaman 24 jam dengan Suhu 60°C.

Nilai VFB pada KAO 7% adalah 74,58 % , pada perendaman 3 hari adalah 75,91 % , pada peredaman ke 7 hari adalah 74,53 % , dan pada perendaman yang ke 14 hari adalah 73,16%. Ketentuan sifat – sifat campuran laston nilai VFB adalah 65 % maka nilai VFB memenuhi spesifikasi. Dilihat dari grafik diatas bahwa variasi jumlah tumbukan yang direndam secara berulang mengalami penurunan. Hal ini disebabkan karena semakin lama perendaman akan membuat lekatan semakin berkurang sehingga hal itu dapat menyebabkan melemahnya ikatan antara aspal dengan agregat sehingga agregat yang terselimuti menjadi sedikit.

7) Rongga Dalam Agregat (VMA) Min 15%

VMA adalah prosentase rongga antar butir agregat, termasuk didalamnya adalah rongga yang terisi udara dan rongga terisi aspal efektif. Nilai VMA yang terlalu kecil dapat menyebabkan lapisan aspal yang dapat

menyelimuti agregat menjadi tipis dan mudah teroksidasi, akan tetapi bila kadar aspalnya terlalu banyak akan menyebabkan bleeding. Nilai minimum rongga dalam mineral agregat adalah untuk menghindari banyaknya rongga udara yang menyebabkan material menjadi berpori. Rongga pori dalam agregat tergantung pada ukuran butir, susunan, bentuk, dan metode pemadatan. Grafik nilai VMA campuran AC-WC untuk perendaman berulang dengan air laut pada kadar aspal optimum dapat dilihat pada Gambar 14 dibawah ini.



Gambar 14. Diagram Hubungan Variasi Gypsum Dengan Perendaman Berulang Selama 7 hari Terhadap VMA pada Kondisi Kadar Aspal Optimum dengan Waktu Perendaman 24 jam dengan Suhu 60°C.

Penambahan variasi gypsum yang direndam secara berulang dapat mempengaruhi nilai VMA. Nilai KAO 7% adalah 19,09 %, pada kadar 10% adalah 19,39%, pada kadar 15% adalah 20,60 %, dan pada kadar 20% adalah 15,11 %. Hal ini di sebabkan karena semakin lama campuran terendam maka kondisinya akan semakin jenuh. Peningkatan VMA pada campuran disebabkan karena daya tekan air ke segala arah yang mendesak aspal sehingga memungkinkan terjadinya perubahan susunan agregat yang menyebabkan rongga dalam mineral agregat meningkat.

f. Data Hasil Uji Dengan Alat Marshall Yang Diperoleh Dengan Menggunakan Kadar Aspal Optimum

Tujuan dari uji Marshall ini ialah untuk mengetahui karakteristik campuran aspal panas dengan kadar aspal optimum dengan waktu 30 menit. Maksud dari pengujian ini untuk mengetahui ketahanan (Stabilitas) terhadap kelelahan plastis (Flow) dari campuran aspal tersebut. Dari hasil uji marshall dapat diketahui campuran aspal panas ACWC dengan variasi menggunakan penambahan limbah Gypsum, 10%, 15%, dan 20% kedalam campuran aspal panas AC-WC dengan perendaman selama 3, 7, dan 14 hari kemudian direndam 30 menit pada suhu 60°C. Dapat kita amati pengaruh campuran aspal terhadap nilai Stabilitas, Flow, VIM, Marshall Quotient, VMA, dan VFB.

Tabel 16. Hasil Uji Marshall KAO Menggunakan Bahan Limbah Gypsum 10% dengan Perendaman Berulang kemudian di Rendam Selama 30 menit pada Suhu 60°C

No	Pemeriksaan	Penamabahan Limbah Gypsum				Spesifikasi 2018
		KAO 7%				
		Kadar limbah Gypsum 10 %				
	KAO 7%	3 Hari	7 Hari	14 Hari		
1	Kepadatan	2.39	2.39	2.38	2.37	-
2	Stabilitas (Kg)	1539.67	1588.34	1518.61	1306.90	Min 800
3	Flow (mm)	3.03	3.40	3.55	3.70	2-4
4	VIM (%)	4.86	4.84	5.07	5.44	3-5
5	VFB (%)	74.58	74.79	73.87	72.41	Min 65
6	VMA (%)	19.09	19.20	19.39	19.70	Min 15
7	MQ (Kg/mm)	510.23	469.58	429.29	352.66	Min 250

Tabel 17. Hasil Uji Marshall KAO Menggunakan Bahan Limbah Gypsum 15% dengan Perendaman Berulang kemudian di Rendam Selama 30 menit pada Suhu 60°C

No	Pemeriksaan	Penamabahan Limbah Gypsum				Spesifikasi 2018
		KAO 7%				
		Kadar limbah Gypsum 10 %				
	KAO 7%	3 Hari	7 Hari	14 Hari		
1	Kepadatan	2.39	2.37	2.34	2.31	-
2	Stabilitas (Kg)	1539.67	1229.10	1214.35	1171.95	Min 800
3	Flow (mm)	3.03	3.55	3.65	3.85	2-4
4	VIM (%)	4.86	4.54	4.90	6.49	3-5
5	VFB (%)	74.58	83.50	74.59	68.55	Min 65

No	Pemeriksaan	Penamabahan Limbah Gypsum				Spesifikasi 2018
		KAO 7%				
		Kadar limbah Gypsum 10 %				
		KAO 7%	3 Hari	7 Hari	14 Hari	
6	VMA (%)	19.09	17.62	19.25	20.60	Min 15
7	MQ (Kg/mm)	510.23	350.28	324.57	307.09	Min 250

Tabel 18. Hasil Uji Marshall KAO Menggunakan Bahan Limbah Gypsum 20% dengan Perendaman Berulang kemudian di Rendam Selama 30 menit pada Suhu 60°C

No	Pemeriksaan	Penamabahan Limbah Gypsum				Spesifikasi 2018
		KAO 7%				
		Kadar limbah Gypsum 10 %				
		KAO 7%	3 Hari	7 Hari	14 Hari	
1	Kepadatan	2.39	2.35	2.34	2.33	-
2	Stabilitas (Kg)	1539.67	1213.70	1206.90	1199.45	Min 800
3	Flow (mm)	3.03	3.60	3.93	4.00	2-4
4	VIM (%)	4.86	4.02	6.16	6.64	3-5
5	VFB (%)	74.58	78.55	75.78	75.34	Min 65
6	VMA (%)	19.09	17.72	19.14	19.45	Min 15
7	MQ (Kg/mm)	510.23	334.47	301.59	299.23	Min 250

Hubungan KAO Dengan Persentase Nilai IKS

Marshall sisa dilakukan setelah direndam selama 24 jam pada suhu 60° pada kondisi kadar aspal optimum. Selanjutnya dibuat benda uji rendaman 30 menit pada kondisi kao tersebut. Kemudian dilakukan uji marshall sisa. Nilai marshall sisa diperoleh dari hasil stabilitas rendaman 24 jam dibagi dengan hasil stabilitas rendaman 30 menit kemudian dikalikan 100%. Hubungan antara kadar aspal optimum dengan persentase nilai indeks kekuatan sisa Tabel 19 dibawah ini.

Tabel 19. Hubungan KAO Aspal Minyak Dengan Persentase Nilai IKS Aspal Beton AC– WC

KAO	Waktu Perendaman Suhu 60°C		IKS	Spek. %
	30 Menit	24 Jam		
	1614,2	1539,7		

Sumber : Hasil penelitian, 2021

Tabel 19. tersebut menunjukkan bahwa nilai stabilitas untuk campuran AC-WC pada kadar aspal optimum terhadap perendaman.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa pengaruh penggunaan Limbah Gypsum sebagai filler dengan perendaman berulang dapat mempengaruhi nilai stabilitas dimana semakin bertambahnya kadar variasi limbah gypsum dan semakin lama perendaman maka nilai stabilitas semakin menurun, untuk variasi 10% = 1588.34 kg, 15% = 1229.10 kg, 20% = 1199.45, kemudian pada nilai flow 10% = 3.40 mm, 15% = 3.65 mm, 20% = 4.00 mm. flow mengalami peningkatan seiring bertambahnya limbah gypsum. Hasil pengujian marshall test menggunakan variasi bahan limbah gypsum, nilai terbaik untuk stabilitas = 1588.34 kg dan flow = 3.03 mm, yaitu pada limbah gypsum 10% dengan perendaman 3 hari, semakin banyak limbah gypsum yang digunakan maka akan mempengaruhi kinerja campuran lapis perkerasan sehingga menyebabkan lapis perkerasan mengalami penurunan kekuatan.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 2010. Bahan Kuliah Rekayasa Tanah dan Perkerasan Jalan. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas “45” Makassar.
- Anonim, 2014. Penuntun Praktikum Laboratorium Jalan dan Aspal. Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas “45” Makassar.
- Dinas Lalu Lintas dan Angkutan Jalan. Undang-Undang Republik Indonesia No.38 Tahun 2004 tentang Jalan.
- Direktorat Jendral Bina Marga. 2018. Spesifikasi Umum 2018 Untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat : Jakarta.
- SNI 03-1737-1989, Tata cara pelaksanaan lapis tipis beton aspal untuk jalan raya
- SNI 06-2489-199, Metode Pengujian Campuran Aspal Dengan Alat Marshall

- Sukirman, Silvia, 1999. Perkerasan Lentur Jalan Raya. Bandung, Nova. Sukirman, Silvia. 1994. Dasar Dasar Perencanaan Geometrik Jalan. Bandung, Nova.
- Sukirman, S. 1992. Perkerasan Lentur Jalan Raya. Bandung, Nova. Sukirman, S. 2007. Beton Aspal Campuran Panas.: Yayasan obor indonesia, jakarta.
- Sugeng dwi hartoyo, 2021 Pengaruh Penambahan limbah serbuk gipsum sebagai bahan Pengganti Gypsum dalam Bahan Campuran Aspal
- Rahmat Riadi, Eva Rita, 2017 Pengaruh substitusi serbuk gipsum sebagai filler pada campuran AC-WC