

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Material

Untuk mengetahui pengaruh penggunaan agregat halus zeolit pada campuran aspal beton hangat maka dilakukan beberapa pengujian material. Pengujian material aspal beton pada penelitian ini terdiri dari pengujian karakteristik agregat, pengujian karakteristik aspal, dan pengujian *Marshall Standart*.

4.1.1 Pengujian Karakteristik Agregat

Agregat yang digunakan meliputi agregat kasar, agregat halus, dan *filler*. Pengujian karakteristik agregat melalui prosedur :

- a. Pengujian berat jenis dan penyerapan agregat halus dan agregat kasar sesuai SKSNI M-09-1989-F.
- b. Pengujian keausan agregat menggunakan alat abrasi Los Angeles sesuai SKSNI M-02-1990-F.
- c. Uji kekuatan Agregat terhadap tumbukan (BS 812: Part 3: 1975)

Hasil pengujian agregat dan *filler* dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut :

Tabel 4.1 Pengujian Agregat Kasar, Agregat Halus, dan Filler

No.	Uraian	Unit	Spesifikasi*		Hasil	Keterangan
			Min	Maks		
Agregat Kasar						
1	Berat Jenis Curah Batu Pecah	-	2.5	-	2.79	Memenuhi
2	Berat Jenis SSD Batu Pecah	-	-	-	2.82	Memenuhi
3	Berat Jenis Semu Batu Pecah	-	-	-	2.88	Memenuhi
4	Penyerapan Air Batu Pecah	%	-	3	1.075	Memenuhi
5	Pengujian Los Angels Zeolit	%	-	40	21.27	Memenuhi
6	Pengujian Los Angels	%	-	40	13.195	Memenuhi
7	Nilai Tumbukan Agregat Zeolit	%	-	30	12.84	Memenuhi
8	Nilai Tumbukan Batu Pecah	%	-	30	12.15	Memenuhi
Agregat Halus Batu Pecah						
1	Berat Jenis Curah	-	2.5	-	2.81	Memenuhi
2	Berat Jenis SSD	-	2.5	-	2.81	Memenuhi
3	Berat Jenis Semu	-	-	-	2.83	Memenuhi
4	Penyerapan Air	%	-	3	0.3	Memenuhi
Agregat Halus Zeolit						
1	Berat Jenis Curah	-	2.5	-	1.66	Tidak Memenuhi
2	Berat Jenis SSD	-	2.5	-	1.87	Tidak Memenuhi
3	Berat Jenis Semu	-	-	-	2.09	Memenuhi
4	Penyerapan Air	%	-	3	12.37	Tidak Memenuhi
Filler Semen						
1	Berat Jenis	-	-	-	3.1	

* Standar Bina Marga Untuk Agregat Pada Campuran Aspal Beton Hangat

Pada Tabel 4.1 memperlihatkan bahwa kualitas agregat yang digunakan dalam penelitian kali ini masih ada yang belum memenuhi syarat yang telah ditentukan oleh Bina Marga untuk agregat yang digunakan pada campuran aspal beton hangat, akan tetapi kami masih melanjutkan penelitian agar bias mengetahui apakah dengan ketidaklayakan ini masih bisa memenuhi benda uji yang sesuai standar Bina Marga.

4.1.2 Hasil Pengujian Karakteristik Aspal

Aspal yang digunakan pada penelitian kali ini adalah aspal padat (*cement asphalt*) dengan penetrasi 60/70 yang diproduksi Pertamina. Aspal tersebut harus dipanaskan terlebih dahulu sebelum digunakan sebagai bahan penelitian, maupun bahan pengikat. Hasil pengujian aspal tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.2 berikut :

Tabel 4.2 Pengujian Aspal

No.	Uraian	Unit	Spesifikasi*		Hasil	Keterangan
			Min.	Maks.		
1	Penetrasi	mm	60	79	62.067	Memenuhi
2	Titik Lembek	°C	48	58	51.5	Memenuhi
4	Daktalitas	cm	100	-	>1500	Memenuhi
5	Titik Nyala	°C	220	-	320	Memenuhi
6	Berat Jenis	-	-	1	1.1	Memenuhi

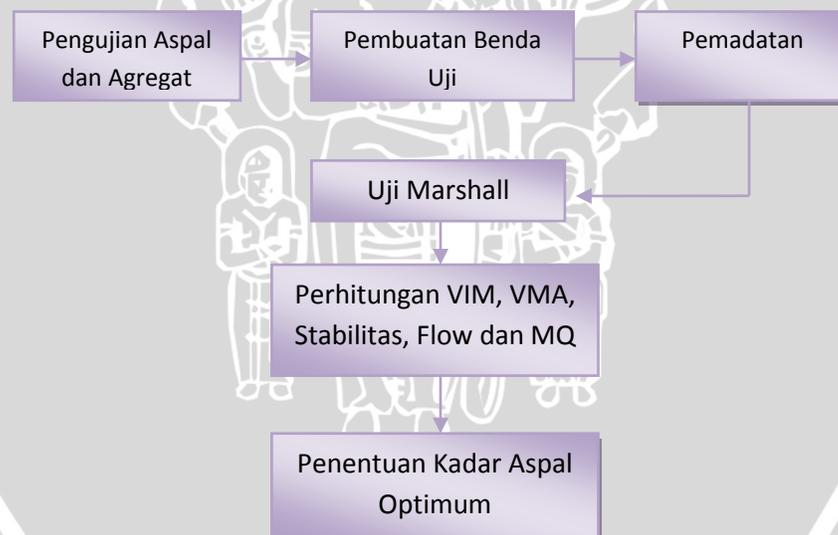
* Standar Bina Marga Untuk Aspal Pada Campuran Aspal Beton Hangat

4.2 Pembuatan Benda Uji untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum

Dalam menentukan kadar aspal optimum pada campuran aspal beton pada penelitian ini menggunakan metode pengujian *Marshall*. Alat yang digunakan adalah *Marshall Testing Machine*, dimana nilai stabilitas dan flow dapat langsung dilihat nilainya melalui pembacaan *proving ring*. Untuk mendapatkan nilai stabilitas yang sebenarnya, maka pembacaan pada *proving ring* harus dikalibrasi sebesar 25.04 (faktor kalibrasi alat), kemudian dikoreksi dengan tinggi benda uji atau volume benda uji (dapat dilihat pada lampiran 4). Hasil analisa *Marshall Standard* terhadap campuran dapat diamati pada :

- a. Nilai *Void In Mix* (VIM)
- b. Nilai *Void In Mineral Agregat* (VMA)
- c. Nilai Stabilitas
- d. Nilai Flow
- e. Nilai *Marshall Quotient* (MQ)

Sebelum membuat campuran aspal beton, terlebih dulu harus menentukan kadar aspal optimum pada campuran yang digunakan. Pada penelitian ini dicoba menggunakan variasi kadar aspal sebesar 5%, 6%, dan 7% untuk mencari tahu kadar aspal yang optimum bekerja pada campuran dengan variasi agregat halus zeolit (0%, 5%, 10%, 15%, 20%), pada suhu normal pemadatan 150 °C. Pada penelitian yang telah dilakukan didapatkan kadar aspal optimum pada campuran dengan variasi agregat halus zeolit 5%. Penentuan kadar aspal optimum melalui prosedur (SNI 06-2489):



Jumlah benda uji, variasi kadar aspal dan variasi kadar agregat halus dapat dilihat pada tabel 4.3 berikut:

Tabel 4.3 Jumlah benda uji dengan variasi kadar agregat halus dan variasi kadar aspal

Zeolit		Kadar Agregat Halus (Batu Pecah/Zeolit)				
		100%/0%	80%/20%	85%/15%	90%/10%	95%/5%
Kadar Aspal	5%	3 buah	3 buah	3 buah	3 buah	3 buah
	6%	3 buah	3 buah	3 buah	3 buah	3 buah
	7%	3 buah	3 buah	3 buah	3 buah	3 buah

Berikut ini ditampilkan hasil perhitungan penelitian *marshall standart* pada penelitian yang telah dilakukan.

Tabel 4.4 Hasil Pengujian *Marshall* Stabilitas pada variasi kadar aspal dan variasi agregat halus

Kadar Aspal	STABILITAS (Zeolit - Batu Pecah)				
	20% - 80%	15% - 85%	10% - 90%	5% - 95%	0% - 100%
5%	800,391	721,689	653,036	563,107	597,874
	691,994	688,486	541,005	620,096	661,182
	700,981	644,949	516,191	574,823	775,908
6%	648,273	679,676	628,283	725,309	616,271
	603,871	624,715	730,699	597,652	583,396
	698,510	546,522	685,341	604,277	634,667
7%	519,169	577,762	636,606	663,301	615,476
	498,881	548,622	618,733	729,569	663,560
	687,138	660,937	567,253	667,205	743,993

Tabel 4.5 Hasil Pengujian *Marshall* Flow pada variasi kadar aspal dan variasi agregat halus

Kadar Aspal	FLOW				
	(Zeolit - Batu Pecah)				
	20% - 80%	15% - 85%	10% - 90%	5% - 95%	0% - 100%
5%	3,900	3,100	3,500	3,900	3,300
	3,800	3,100	4,700	3,800	3,500
	3,400	3,700	4,900	4,100	3,800
6%	3,300	3,400	3,600	3,200	3,100
	3,500	3,100	3,600	3,400	3,700
	3,800	4,200	3,500	3,600	4,700
7%	4,700	3,300	4,800	4,800	3,200
	4,500	3,800	4,300	4,600	4,300
	4,200	4,700	4,200	4,400	3,800

Tabel 4.6 Hasil Pengujian *Marshall* MQ pada variasi kadar aspal dan variasi agregat halus

Kadar Aspal	MQ				
	(Zeolit - Batu Pecah)				
	20% - 80%	15% - 85%	10% - 90%	5% - 95%	0% - 100%
5%	258,191	267,292	296,835	194,175	206,164
	177,434	254,995	225,419	163,183	236,136
	200,280	496,115	206,476	205,294	323,295
6%	209,120	261,414	196,338	290,124	267,944
	172,535	312,358	192,289	221,353	233,358
	225,326	287,643	171,335	177,728	226,667
7%	157,324	165,075	192,911	186,553	166,345
	146,730	148,276	162,824	364,784	189,588
	185,713	173,931	149,277	230,071	232,498

Tabel 4.7 Hasil Pengujian *Marshall* VIM pada variasi kadar aspal dan variasi agregat halus

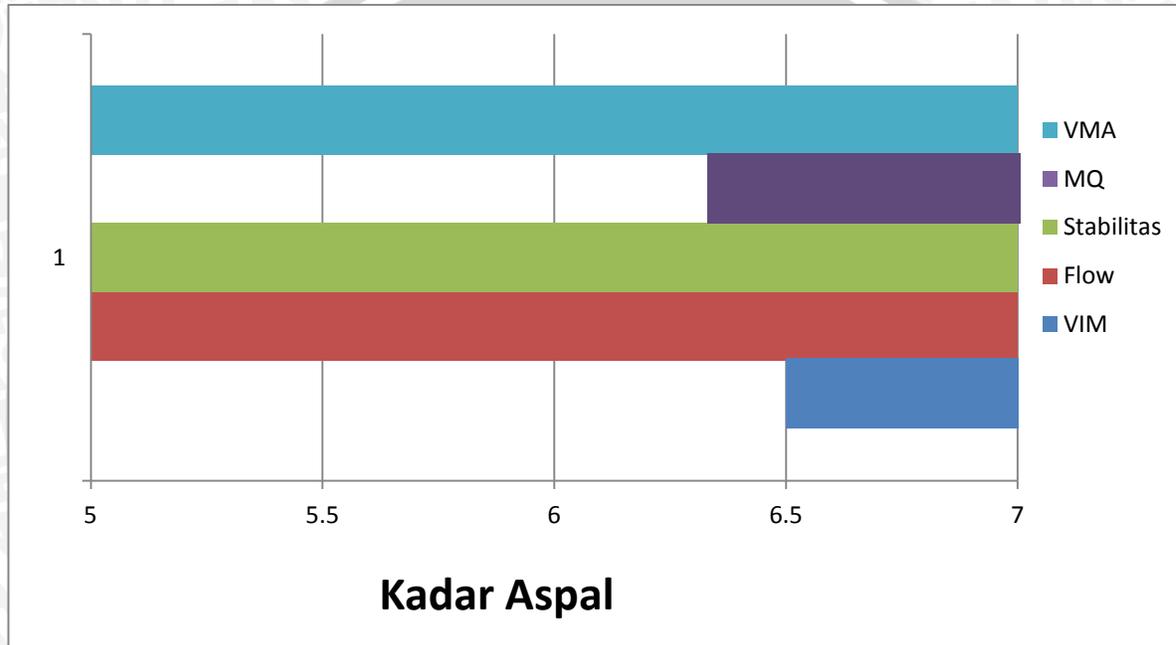
Kadar Aspal	VIM				
	(Zeolit - Batu Pecah)				
	20% - 80%	15% - 85%	10% - 90%	5% - 95%	0% - 100%
5%	8,981	10,613	11,162	8,705	10,546
	9,299	8,944	9,978	8,295	7,211
	6,748	8,007	10,092	11,261	5,804
6%	8,917	7,516	8,562	4,715	8,784
	9,232	6,866	7,183	6,187	6,264
	11,351	7,810	5,910	6,510	7,950
7%	6,158	6,450	6,538	3,559	6,435
	4,973	4,277	5,269	4,325	7,947
	3,593	4,994	7,881	5,324	5,103

Tabel 4.8 Hasil Pengujian *Marshall* VMA pada variasi kadar aspal dan variasi agregat halus

Kadar Aspal	VMA				
	(Zeolit - Batu Pecah)				
	20% - 80%	15% - 85%	10% - 90%	5% - 95%	0% - 100%
5%	21,837	23,506	24,287	22,052	20,575
	22,161	22,037	23,200	21,904	17,527
	19,469	21,279	23,432	24,553	16,425
6%	21,680	13,193	21,717	18,836	20,831
	21,987	20,126	20,626	19,964	18,579
	23,806	20,952	19,394	20,419	20,032
7%	19,185	19,734	19,966	17,825	20,855
	18,072	17,517	18,808	18,584	22,063
	16,940	18,296	21,161	19,352	19,950

4.3 Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)

Dari hasil pengujian *Marshall* pada Tabel 4.3 di atas telah diketahui nilai VMA, VFB, VIM, Stabilitas, Flow, dan MQ dari campuran yang akan digunakan pada penelitian ini. Kadar Aspal Optimum didapat dari nilai VMA, VIM, Stabilitas, *Flow*, dan MQ yang memenuhi syarat standar untuk campuran aspal beton. Penentuan Kadar Aspal Optimum ditentukan dengan metode grafik pita pada Gambar 4.1 berikut ini



Gambar 4.1 Penentuan Kadar Aspal Optimum

Pada **Gambar 4.1** dapat dilihat nilai VMA, VIM, Stabilitas, Flow, dan MQ dari tiap kadar aspal yang memenuhi syarat standar untuk campuran aspal beton. Pada **Gambar 4.1** juga dapat dilihat bahwa nilai VMA, VIM, Stabilitas, Flow, dan MQ yang memenuhi syarat hanya pada rentang kadar aspal 6,5% sampai dengan 7% saja. Maka untuk menentukan nilai kadar aspal optimum pada campuran, dicari nilai tengah pada rentang kadar aspal yang memenuhi syarat. Dari **Gambar 4.1** di atas akhirnya didapatkan nilai tengah sekaligus kadar aspal optimum pada campuran sebesar 6,7%. Untuk perhitungan dan gambar grafik yang lebih detail dapat dilihat pada lampiran 3, lampiran 5 dan lampiran 7.

4.4 Analisa Pengaruh Kadar Aspal terhadap Variasi Agregat Halus

Berdasarkan data penelitian yang didapatkan, untuk mengetahui adanya pengaruh atau perbedaan dari variabel yang digunakan pada penelitian ini, maka dilakukan analisis statistic menggunakan *Two Way ANOVA*, dimana untuk perlakuan terdiri dari kadar aspal (5%, 6%, dan 7%), dibandingkan dengan agregat halus zeolit (20%, 15%, 10%, 5% dan 0%).

Two Way ANOVA digunakan untuk menguji apakah keenam level kadar aspal tersebut (5%, 6%, dan 7%) memberikan pengaruh yang berbeda nyata terhadap VIM, VMA, stabilitas, flow dan MQ, dari jenis kadar agregat halus zeolit (20%, 15%, 10%, 5% dan 0%). Hipotesis yang digunakan dalam uji ini adalah sebagai berikut :

H01: tidak ada perbedaan rata-rata nilai VIM, VMA, stabilitas, flow dan MQ, pada masing- masing jenis agregat halus.

H11: ada perbedaan rata-rata nilai VIM, VMA, stabilitas, flow dan MQ, pada masing-masing jenis agregat halus.

H02: tidak ada perbedaan rata-rata nilai VIM, VMA, stabilitas, flow dan MQ, pada masing- masing jenis kadar aspal

H12: ada perbedaan rata-rata nilai VIM, VMA, stabilitas, flow dan MQ, pada masing-masing jenis kadar aspal

H03: tidak ada perbedaan rata-rata nilai VIM, VMA, stabilitas, flow dan MQ, pada interaksi antara masing-masing jenis agregat halus dengan masing-masing jenis kadar aspal

H13: ada perbedaan rata-rata nilai VIM, VMA, stabilitas, flow dan MQ, pada interaksi antara masing-masing jenis agregat halus dengan masing-masing jenis kadar aspal

Kriteria pengambilan keputusan :

Jika nilai sig. $< \alpha$ (5%) maka tolak H0

Jika nilai sig. $> \alpha$ (5%) maka terima H0

Hasil pengujian analisis *Two Ways* ANOVA untuk nilai VIM pada agregat halus zeolit (20%, 15%, 10%, 5% dan 0%) pada jenis kadar aspal (5%, 6%, dan 7%) dapat dilihat sebagai berikut.

Univariate Analysis of Variance

Between-Subjects Factors			
		Value Label	N
KadarAspal	1,00	5%	15
	2,00	6%	15
	3,00	7%	15
Agregat	1,00	Z20	9
	2,00	Z15	9
	3,00	Z10	9
	4,00	Z5	9
	5,00	Z0	9

Tests of Between-Subjects Effects					
Dependent Variable: VIM					
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	142,161 ^a	14	10,154	5,788	,000
Intercept	2452,800	1	2452,800	1398,108	,000
KadarAspal	93,913	2	46,957	26,766	,000
Agregat	11,531	4	2,883	1,643	,189
KadarAspal * Agregat	36,716	8	4,590	2,616	,027
Error	52,631	30	1,754		
Total	2647,591	45			
Corrected Total	194,792	44			

a. R Squared = ,730 (Adjusted R Squared = ,604)

Keputusan:

Untuk hipotesis pertama didapatkan nilai signifikansi sebesar 0,189. Nilai ini lebih besar dari nilai α (5%) maka keputusan yang diambil adalah terima H_0 yang berarti tidak terdapat perbedaan rata-rata nilai VIM pada masing-masing agregat halus.

Untuk hipotesis kedua didapatkan nilai signifikansi sebesar 0,000. Nilai ini lebih kecil dari nilai α (5%) maka keputusan yang diambil adalah tolak H_0 yang berarti terdapat perbedaan rata-rata nilai VIM pada masing-masing jenis kadar aspal.

Untuk hipotesis ketiga didapatkan nilai signifikansi sebesar 0,027. Nilai ini lebih besar dari nilai α (5%) maka keputusan yang diambil adalah terima H_0 yang berarti terdapat perbedaan rata-rata interaksi antara masing-masing kadar aspal dengan masing-masing jenis agregat halus.

Uji lanjut yang digunakan untuk mengetahui perbedaan pada suhu pemadatan dapat dilakukan dengan uji *Duncan*. Hasilnya adalah sebagai berikut:

Post Hoc Tests

KadarAspal

Homogeneous Subsets

VIM				
Duncan ^{a,b}				
KadarAspal	N	Subset		
		1	2	3
7%	15	5,521699		
6%	15		7,583721	
5%	15			9,043166
Sig.		1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 1,754.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 15,000.

b. Alpha = ,05.

Dari uji Duncan diketahui bahwa antar kadar aspal memiliki perbedaan yang signifikan, di mana nilai rata-rata tertinggi adalah pada kadar aspal 5% dan rata-rata terendah ada pada kadar aspal 7%.

Agregat

Homogeneous Subsets

VIM

Duncan ^{a,b}			
Agregat	N	Subset	
		1	2
Z5	9	6,542209	
Z15	9	7,275373	7,275373
Z0	9	7,338222	7,338222
Z20	9	7,694615	7,694615
Z10	9		8,063893
Sig.		,101	,259

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 1,754.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 9,000.

b. Alpha = ,05.

Dari uji Duncan diketahui bahwa antar kadar agregat halus tidak memiliki perbedaan yang signifikan, di mana nilai rata-rata tertinggi adalah pada kadar agregat halus zeolit 10% dan rata-rata terendah ada pada kadar agregat halus zeolit 5%. Hasil pengujian *Two Ways* ANOVA untuk VMA, flow, stabilitas, dan MQ dapat dilihat lebih lanjut pada lampiran 8.

Dari pengujian statistik di atas dapat dilihat bahwa tidak ada perbedaan yang signifikan pada variasi agregat halus zeolit (20%,15%, 10%, 5%, 0%). Oleh sebab itu pada penelitian ini hanya menggunakan variasi agregat halus zeolit yang paling ekstrim yaitu dengan agregat halus zeolit 20% dan agregat halus zeolit 0% yang dibandingkan dengan variasi suhu (140^oC, 130^oC, 120^oC, 110^oC , 100^oC dan 90^oC).

4.5 Pembuatan Benda Uji dengan Variasi Suhu

Sebagaimana dijelaskan pada bab III, tujuan dari penelitian ini adalah untuk menguji perbedaan campuran laston yang menggunakan agregat halus zeolite dan agregat halus batu pecah. Proses Pembuatan benda uji dengan variasi suhu mempunyai prosedur sebagai berikut:

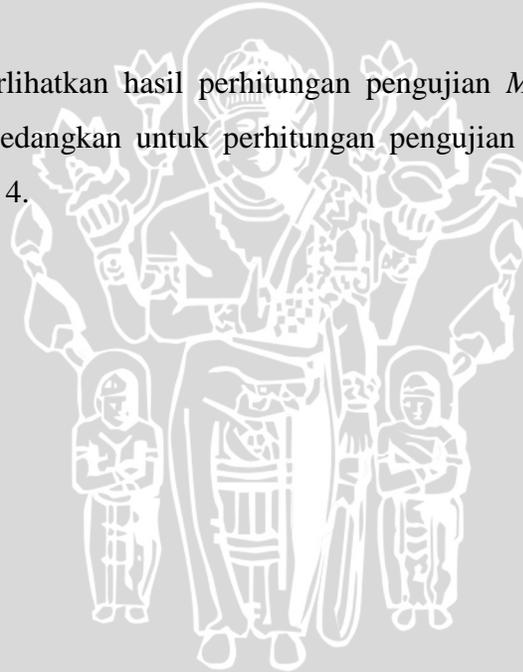


Proses perencanaan dimulai dengan pengujian Aspal (mendapat KAO) dan pengujian agregat. Dari pengujian ini diperoleh keterangan mengenai agregat dan kadar aspal yang digunakan. Proses selanjutnya adalah pembuatan benda uji campuran yang diikuti pemadatan dengan 5 variasi suhu, 2 variasi kadar agregat halus dan setiap benda uji dibuat 3 benda uji. Pemadatan menggunakan metode Marshall. Setelah Uji Marshall dilaksanakan, dilakukan perhitungan VIM, VMA, Stabilitas, Flow, dan MQ. Hasil dari Uji Marshall dilakukan analisa data. Jumlah benda uji, variasi suhu dan variasi kadar agregat halus dapat dilihat pada tabel 4.9 berikut:

Tabel 4.9 Jumlah benda uji dengan variasi suhu dan variasi kadar agregat halus (agregat halus Zeolit 0% dan 20%)

Zeolit		Kadar Agregat Halus (Batu/Zeolit)	
		100%/0%	80%/20%
Variasi Suhu	140° C	3 buah	3 buah
	130° C	3 buah	3 buah
	120° C	3 buah	3 buah
	110° C	3 buah	3 buah
	100° C	3 buah	3 buah
	90° C	3 buah	3 buah

Berikut ini akan diperlihatkan hasil perhitungan pengujian *Marshall Standard Test* pada penelitian kali ini. Sedangkan untuk perhitungan pengujian manual *Standard Test* dapat dilihat pada lampiran 4.



Tabel 4.10 Hasil Perhitungan *Marshall Standart Test* Pada Agregat Halus Zeolit

Suhu	VMA	VIM	Stabilitas	flow	MQ
140	18,835	5,783	931,347	3,1	241,944
140	17,877	4,668	817,768	3,3	204,442
140	18,555	5,314	840,484	3,8	181,423
130	19,647	6,287	817,768	2,6	256,221
130	20,062	6,918	1022,21	2,4	353,674
130	19,076	5,828	829,126	2,1	329,701
120	19,623	6,387	885,916	3,7	196,278
120	18,114	4,541	817,768	3,2	212,971
120	19,720	6,571	817,768	3,1	218,852
110	20,409	7,229	840,484	3,9	182,711
110	20,876	7,781	749,621	2,8	222,962
110	19,455	6,054	522,463	3,3	131,615
100	22,433	9,467	670,116	3,5	154,617
100	21,696	8,760	624,684	3	168,665
100	23,911	11,274	613,326	3,1	152,021
90	18,349	5,008	545,179	3,8	117,608
90	21,152	8,239	681,474	3,9	137,540
90	24,029	11,521	545,179	3,8	109,394

Tabel 4.11 Hasil Perhitungan *Marshall Standart Test* Pada Agregat Batu Pecah

Suhu	VMA	VIM	Stabilitas	flow	MQ
140	19.019	4.888	637.051	3.15	202.239
140	18.106	4.388	584.674	3.9	149.916
140	18.662	4.749	599.087	3.9	153.612
130	20.558	6.412	695.374	2.9	239.784
130	21.351	7.316	615.848	2.4	256.603
130	21.276	7.168	672.807	3.2	210.252
120	23.954	10.403	427.008	3	142.336
120	21.299	7.409	577.366	3.9	148.043
120	21.691	7.720	545.727	2.8	194.902
110	24.506	11.099	410.166	3.5	117.190
110	21.526	7.594	522.382	3.1	168.510
110	22.815	9.171	499.188	3.2	155.996
100	27.059	13.976	365.623	3.9	93.750
100	24.885	11.395	365.036	3.6	101.399
100	25.974	12.701	356.767	3.8	93.886
90	26.484	13.368	330.810	3.5	94.517
90	28.469	15.558	358.725	3.8	94.401
90	29.321	16.761	235.289	3.9	60.330



4.6 Analisa Pengaruh Variasi Suhu terhadap Jenis Agregat Halus

Two Way ANOVA digunakan untuk menguji apakah keenam level suhu tersebut (140°C , 130°C , 120°C , 110°C , 100°C dan 90°C) memberikan pengaruh yang berbeda nyata terhadap VIM, VMA, stabilitas, flow dan MQ, dari jenis agregat halus (zeolit 20% dan zeolit 0%). Hipotesis yang digunakan dalam uji ini adalah sebagai berikut :

H01 : tidak ada perbedaan rata-rata nilai VIM, VMA, stabilitas, flow dan MQ pada masing-masing jenis suhu.

H11 : ada perbedaan rata-rata nilai VIM, VMA, stabilitas, flow dan MQ pada masing-masing jenis suhu.

H02 : tidak ada perbedaan rata-rata nilai VIM, VMA, stabilitas, flow dan MQ pada masing-masing jenis agregat halus.

H12 : ada perbedaan rata-rata nilai VIM, VMA, stabilitas, flow dan MQ pada masing-masing jenis agregat halus.

H03 : tidak ada perbedaan rata-rata nilai VIM, VMA, stabilitas, flow dan MQ pada interaksi antara masing-masing jenis filler dengan masing-masing jenis kadar aspal

H13 : ada perbedaan rata-rata nilai VIM, VMA, stabilitas, flow dan MQ pada interaksi antara masing-masing jenis filler dengan masing-masing jenis kadar aspal

$$\alpha = 0,05$$

Kaidah Pengambilan keputusan :

- Jika *p-value* atau signifikansi $> \alpha = 0,05$, maka H_0 diterima.
- Jika *p-value* atau signifikansi $< \alpha = 0,05$, maka H_0 ditolak.

Hasil pengujian analisis *Two Ways* ANOVA untuk nilai VIM pada keenam variasi suhu (140°C , 130°C , 120°C , 110°C , 100°C dan 90°C) pada jenis agregat halus (zeolit 20% dan zeolit 0%) dapat dilihat sebagai berikut.

Between-Subjects Factors

		Value Label	N
KadarAspal	1,00	5%	15
	2,00	6%	15
	3,00	7%	15
Agregat	1,00	Z20	9
	2,00	Z15	9
	3,00	Z10	9
	4,00	Z5	9
	5,00	Z0	9

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: VIM

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	142,161 ^a	14	10,154	5,788	,000
Intercept	2452,800	1	2452,800	1398,108	,000
KadarAspal	93,913	2	46,957	26,766	,000
Agregat	11,531	4	2,883	1,643	,189
KadarAspal * Agregat	36,716	8	4,590	2,616	,027
Error	52,631	30	1,754		
Total	2647,591	45			
Corrected Total	194,792	44			

a. R Squared = ,730 (Adjusted R Squared = ,604)

Keputusan:

Untuk hipotesis pertama didapatkan nilai signifikansi sebesar 0,000. Nilai ini lebih kecil dari nilai α (5%) maka keputusan yang diambil adalah tolak H_0 yang berarti terdapat perbedaan rata-rata nilai VIM pada masing-masing suhu.

Untuk hipotesis kedua didapatkan nilai signifikansi sebesar 0,006. Nilai ini lebih kecil dari nilai α (5%) maka keputusan yang diambil adalah tolak H_0 yang berarti terdapat perbedaan rata-rata nilai VIM pada agregat halus.

Untuk hipotesis ketiga didapatkan nilai signifikansi sebesar 0,022. Nilai ini lebih kecil dari nilai α (5%) maka keputusan yang diambil adalah tolak H_0 yang berarti terdapat perbedaan rata-rata interaksi antara masing-masing suhu dengan agregat halus.

Uji lanjut yang digunakan untuk mengetahui perbedaan pada suhu pemadatan dapat dilakukan dengan uji *Duncan*. Hasilnya adalah sebagai berikut:

Post Hoc Tests

KadarAspal

Homogeneous Subsets

VIM				
Duncan ^{a,b}				
KadarAspal	N	Subset		
		1	2	3
7%	15	5,521699		
6%	15		7,583721	
5%	15			9,043166
Sig.		1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 1,754.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 15,000.

b. Alpha = ,05.

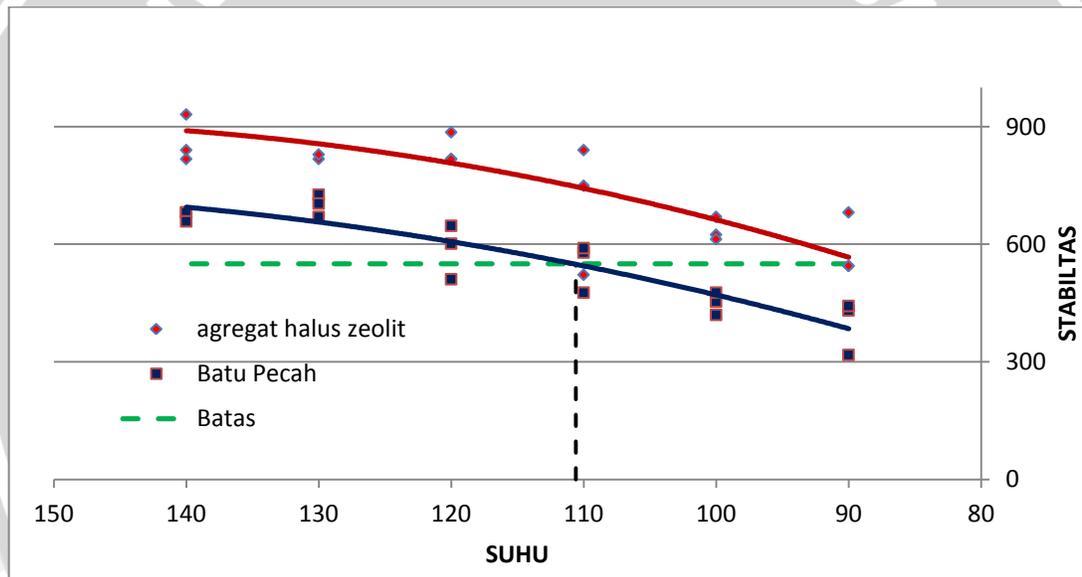
Dari uji *Duncan* diketahui bahwa antar suhu memiliki perbedaan yang signifikan, di mana nilai rata-rata tertinggi adalah pada suhu 90°C dan rata-rata terendah ada pada suhu 140°C. Untuk analisa *Anova* dua arah VMA, Stabilitas, *Flow* dan MQ dapat dilihat pada lampiran 9.

4.7 Hasil Analisa Marshall Standart Variasi Suhu terhadap Jenis Agregat Halus

Berikut adalah detail data hasil Analisa Marshall dari pembuatan benda uji dengan variasi suhu 90° C – 140° C, meliputi analisa perbandingan benda uji dengan agregat halus zeolit dan benda uji dengan agregat halus batu pecah pada VIM, VMA, Stabilitas, Flow dan MQ.

4.7.1 Stabilitas

Untuk mengetahui regresi dari nilai stabilitas yang terjadi, dapat dilihat pada Gambar 4.5 mengenai pengaruh variasi suhu dengan nilai stabilitas antara benda uji yang menggunakan agregat halus zeolit dengan benda uji tanpa menggunakan agregat halus zeolit sebagai berikut :



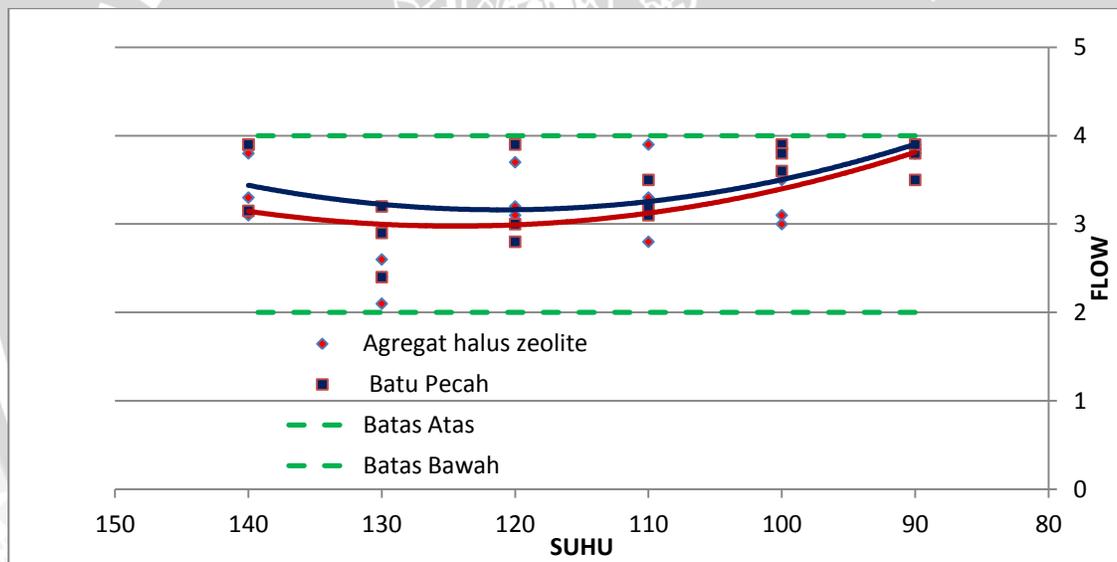
Gambar 4.5 Pengaruh Variasi Suhu Terhadap Nilai Stabilitas

Gambar 4.5 menunjukkan bahwa pada suhu yang semakin rendah, nilai stabilitas juga akan semakin rendah. Hal ini terjadi karena pada suhu yang semakin rendah, aspal akan mengeras dan semakin sulit untuk bercampur dengan agregat dan filler. Sebaliknya jika suhu semakin tinggi maka aspal akan dengan mudah bercampur dengan agregat dan filler dan mengikatnya dengan baik sehingga campuran menjadi lebih padat dan stabilitas menjadi tinggi.

Gambar 4.5 menunjukkan perbandingan bahwa pada suhu yang semakin rendah, nilai stabilitas dari benda uji yang menggunakan agregat halus zeolit masih lebih tinggi dibandingkan dengan benda uji yang tidak menggunakan agregat halus zeolit (full batu pecah). Dari Gambar 4.5 dapat dilihat bahwa nilai stabilitas dari campuran dengan agregat halus zeolit memenuhi standar campuran aspal beton, sedangkan campuran full batu pecah memenuhi standar campuran aspal beton disaat suhu berda lebih dari 110,6-140°C.

4.7.2 Flow

Untuk mengetahui regresi dari nilai flow yang terjadi, dapat dilihat pada Gambar 4.6 mengenai hubungan variasi suhu dengan nilai flow antara benda uji yang menggunakan agregat halus zeolit dengan benda uji full batu pecah sebagai berikut :



Gambar 4.6 Pengaruh Variasi Suhu Terhadap Nilai Flow

Gambar 4.6 menunjukkan bahwa pada variasi suhu yang berbeda nilai flow pada saat suhu diturunkan menjadi sedikit naik. Hal ini menunjukkan bahwa variasi suhu berpengaruh pada nilai flow suatu campuran.

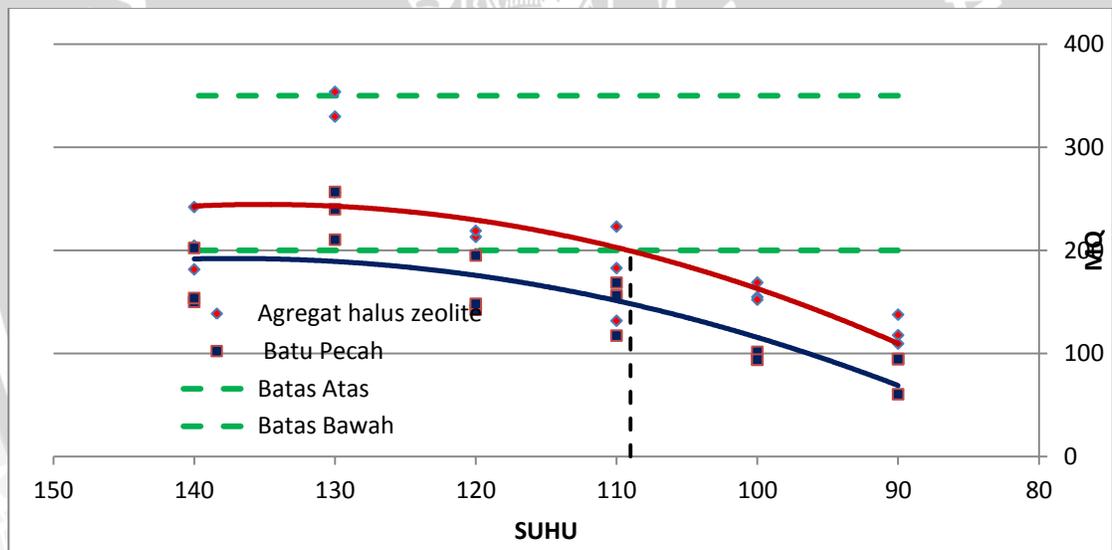
Gambar 4.6 juga menunjukkan bahwa nilai flow dari benda uji yang menggunakan agregat halus zeolit cenderung sama dengan nilai flow dari benda uji full batu pecah pada saat suhu diturunkan. Hal ini terjadi karena penggunaan kadar aspal yang sama

sehingga nilai flow juga memiliki nilai yang hampir sama. Sedangkan sebelum suhu diturunkan nilai flow dari benda uji yang menggunakan agregat halus zeolit sedikit lebih rendah dibandingkan nilai flow dari benda uji yang full batu pecah.

Dari Gambar 4.6 dapat dilihat bahwa nilai flow dari campuran dengan filler zeolit dan campuran tanpa filler zeolit, keduanya memenuhi standart untuk nilai flow pada campuran aspal beton yaitu antara 2 - 4 mm.

4.7.3 Marshall Quotient (MQ)

Untuk mengetahui regresi dari nilai MQ yang terjadi, dapat dilihat pada Gambar 4.7 mengenai pengaruh variasi suhu dengan nilai MQ antara benda uji yang menggunakan filler zeolit dengan benda uji tanpa menggunakan filler zeolit sebagai berikut :



Gambar 4.7 Pengaruh Variasi Suhu Terhadap Nilai MQ

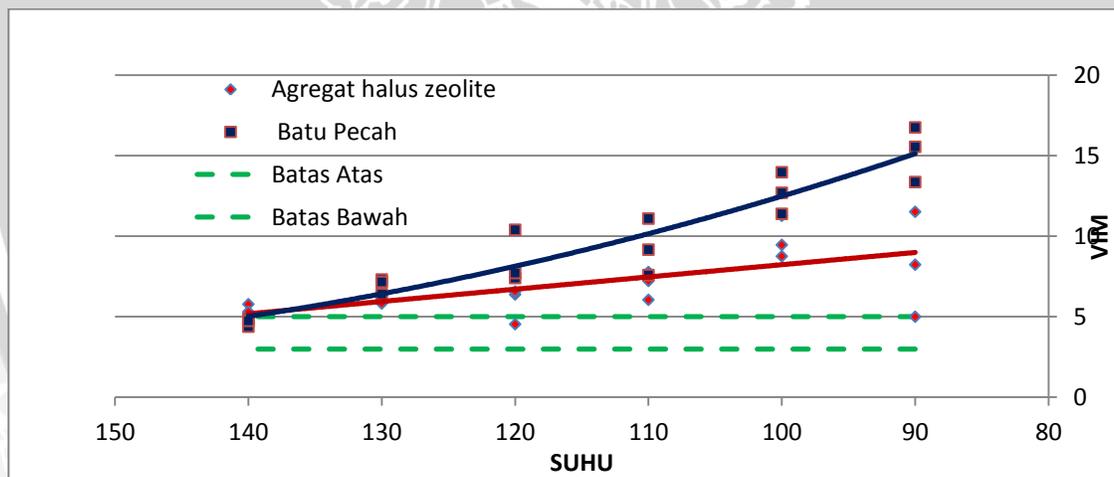
Gambar 4.7 menunjukkan bahwa pada suhu yang semakin rendah, nilai MQ juga akan semakin rendah. Hal ini terjadi karena MQ merupakan rasio dari stabilitas dengan flow, menunjukkan pada suhu yang semakin rendah, aspal akan mengeras dan semakin sulit untuk bercampur dengan agregat dan *filler*. Sebaliknya jika suhu semakin tinggi maka aspal akan dengan mudah bercampur dengan agregat dan *filler*

dan mengikatnya dengan baik sehingga campuran menjadi lebih padat dan stabilitas menjadi tinggi.

Gambar 4.7 juga menunjukkan perbandingan bahwa nilai MQ dari benda uji yang menggunakan agregat halus zeolit lebih tinggi dibandingkan dengan benda uji full batu pecah. Dari Gambar 4.4 dapat dilihat bahwa nilai MQ dari campuran dengan *filler* zeolit yang memenuhi batas standart untuk campuran aspal beton adalah pada rentang suhu 109 -140 °C. Sedangkan nilai MQ dari campuran full batu pecah tidak ada yang memenuhi standar campuran aspal beton yaitu antara 200-350 kg/mm.

4.7.4 Void In Mix (VIM)

Untuk mengetahui regresi dari nilai VIM yang terjadi, dapat dilihat pada Gambar 4.8 mengenai pengaruh variasi suhu dengan nilai VIM antara benda uji yang menggunakan filler zeolit dengan benda uji tanpa menggunakan filler zeolit sebagai berikut :



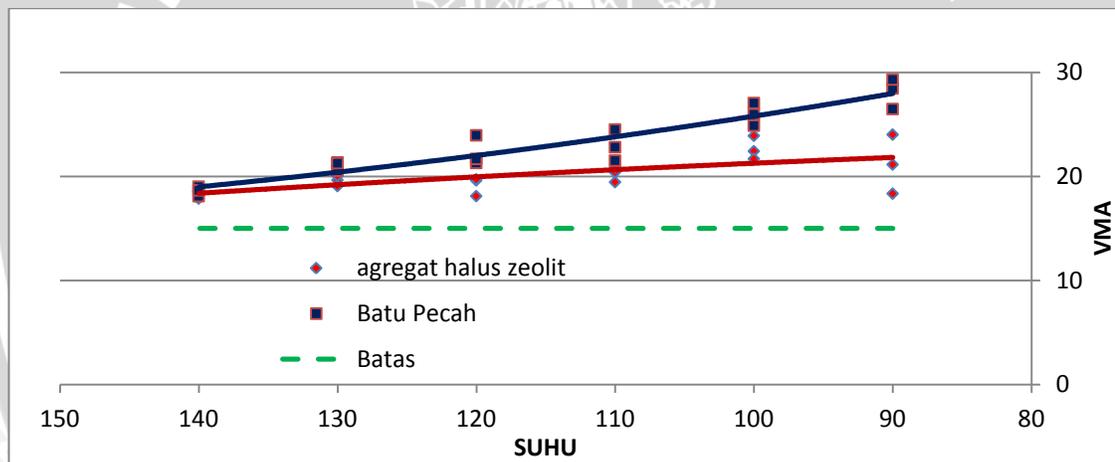
Gambar 4.8 Pengaruh Variasi Suhu Terhadap Nilai VIM

Gambar 4.8 menunjukkan bahwa pada suhu yang semakin rendah maka, nilai VIM akan semakin tinggi. Hal ini terjadi karena pada suhu yang semakin rendah, aspal akan mengeras dan semakin sulit untuk bercampur dengan agregat dan filler sehingga banyak pori yang berada dalam campuran aspal beton padat. Hal ini mengakibatkan nilai VIM pada campuran akan semakin Tinggi

Gambar 4.8 menunjukkan perbandingan bahwa pada suhu yang semakin rendah nilai VIM dari benda uji yang menggunakan agregat halus zeolit masih lebih baik atau lebih kecil dibandingkan dengan benda uji yang tidak menggunakan agregat batu pecah (filler semen). Dari Gambar 4.8 dapat dilihat bahwa nilai VIM dari campuran dengan agregat halus zeolit dan agregat batu pecah melebihi batas atas dan tidak memenuhi standart untuk campuran aspal beton antara 3-5%.

4.7.5 Void In Mineral Agregat (VMA)

Untuk mengetahui regresi dari nilai VMA yang terjadi, dapat dilihat pada Gambar 4.9 dan Gambar 4.9 mengenai pengaruh variasi suhu dengan nilai VMA antara benda uji yang menggunakan filler zeolit dengan benda uji tanpa menggunakan filler zeolit sebagai berikut :



Gambar 4.9 Pengaruh Variasi Suhu Terhadap Nilai VMA

Gambar 4.9 menunjukkan bahwa pada suhu yang semakin rendah, nilai VMA akan semakin tinggi. Hal ini terjadi karena pada suhu yang semakin rendah, aspal akan mengeras dan semakin sulit untuk bercampur dengan agregat dan filler yang padat sehingga banyak pori di antara butir-butir agregat.

Gambar 4.9 menunjukkan perbandingan bahwa pada suhu yang semakin rendah nilai VMA dari benda uji yang menggunakan agregat halus zeolit lebih kecil dibandingkan dengan benda uji yang tidak menggunakan memakai agregat full batu pecah. Dari Gambar 4.9 dapat dilihat bahwa nilai VMA dari campuran dengan agregat

zeolit dan campuran tanpa zeolit, keduanya memenuhi batas standart untuk nilai VMA campuran aspal beton yaitu minimal nilai VMA sebesar 15%.

4.8. Pembahasan Hasil Penelitian

Pada penelitian tentang pengaruh penggunaan batuan zeolit sebagai agregat halus pada campuran aspal beton hangat, menghasilkan data yang dibahas lebih lanjut mengenai sifat fisik dan karakteristik batuan zeolit. Selain itu juga dibahas pengaruh variasi suhu dan agregat halus zeolit terhadap karakteristik campuran aspal beton hangat.

4.8.1. Sifat Fisik dan Karakteristik Batuan Zeolit Pada Campuran Aspal Beton Hangat

Campuran aspal beton yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari agregat kasar dan agregat halus dari batu pecah, serta filler berupa serbuk semen. Pada pengujian agregat zeolit dapat dilihat nilai uji *Los Angels* yaitu 20,215% di bawah batas maksimum 40%, dan nilai *Impact Test* didapatkan sebesar 12,84% di bawah batas maksimum 30%. Hal ini menunjukkan bahwa kekerasan dari batuan zeolit yang digunakan pada penelitian kali ini sangat tinggi dan tidak mudah hancur. Selain itu karakteristik dari batuan zeolit yang dapat menyerap air dapat dilihat pada besarnya nilai penyerapan air sebesar 9,685% (maksimum 3%) memungkinkan penggunaan material batuan zeolit pada campuran aspal beton hangat.

Tingginya tingkat penyerapan air oleh batuan zeolit menunjukkan bahwa agregat zeolit mempunyai pori yang banyak sehingga kurang memenuhi jika dijadikan agregat kasar maupun agregat halus pada campuran aspal beton. Namun demikian hal ini justru memberikan kelebihan saat dilakukan variasi penurunan suhu.

Penggunaan agregat halus zeolit memberikan sumbangan pengaruh pada nilai stabilitas campuran aspal beton hangat. Tingginya tingkat penyerapan air akibat berat jenis yang cukup kecil, sehingga mampu mengisi rongga yang ada serta kekerasan batuan zeolit pada penelitian kali ini dapat menjaga nilai stabilitas

campuran aspal beton lebih baik dibandingkan hanya dengan campuran batu pecah saja.

4.8.2. Pengaruh Variasi Suhu dan Agregat Halus Zeolit Terhadap Karakteristik Campuran Aspal Beton Hangat

Penggunaan variasi suhu dan agregat halus bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan agregat halus zeolit pada campuran aspal beton hangat. Pada tahap pengujian *Marshall* didapatkan nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) sebesar 6,7. Pada penelitian ini menggunakan campuran dengan agregat halus zeolit (dengan kadar 20%) dan campuran dengan agregat halus full batu pecah dengan variasi penurunan suhu pemadatan untuk mengetahui pengaruh penggunaan agregat halus zeolit pada campuran aspal beton hangat. Secara ringkas pengaruh variasi suhu dan agregat halus zeolit terhadap karakteristik campuran aspal beton hangat adalah sebagai berikut :

- Untuk nilai VIM, semakin rendah penurunan suhu semakin tinggi nilai VIM. Pada suhu yang semakin rendah, aspal akan mengeras dan semakin sulit untuk bercampur dengan agregat dan *filler* sehingga banyak rongga pori yang berada dalam campuran aspal beton padat. Hal ini mengakibatkan nilai VIM pada campuran akan semakin tinggi. Pada suhu yang semakin rendah nilai VIM dari benda uji yang menggunakan agregat halus zeolit masih lebih baik atau lebih kecil dibandingkan dengan benda uji yang tidak menggunakan agregat halus zeolit (full batu pecah). Nilai VIM dari campuran dengan agregat halus zeolit dan campuran tanpa agregat halus zeolit melebihi batas atas dan tidak memenuhi standar untuk campuran aspal beton antara 3-5%.
- Untuk nilai VMA, semakin rendah penurunan suhu semakin tinggi nilai VMA. Pada suhu yang semakin rendah, aspal akan mengeras dan semakin sulit untuk bercampur dengan agregat dan *filler* yang padat sehingga banyak rongga dan pori di antara butir-butir agregat. Hal ini mengakibatkan Nilai VMA akan semakin tinggi. Pada suhu yang semakin rendah nilai VMA dari benda uji yang menggunakan agregat halus zeolit lebih kecil dibandingkan dengan benda uji

yang tidak menggunakan agregat halus zeolit (full batu pecah). Nilai VMA dari campuran dengan agregat halus zeolit dan campuran tanpa agregat halus zeolit, keduanya memenuhi batas standart untuk nilai VMA campuran aspal beton yaitu minimal nilai VMA sebesar 15%.

- Untuk nilai stabilitas, semakin rendah penurunan suhu semakin rendah pula nilai stabilitas. Hal ini terjadi karena pada suhu yang semakin rendah, aspal akan mengeras dan semakin sulit untuk bercampur dengan agregat dan *filler*. Sebaliknya jika suhu semakin tinggi maka aspal akan dengan mudah bercampur dengan agregat dan *filler* dan mengikatnya dengan baik sehingga campuran menjadi lebih padat dan stabilitas menjadi tinggi. Pada suhu yang semakin rendah, nilai stabilitas dari benda uji yang menggunakan agregat halus zeolit masih lebih tinggi dibandingkan dengan benda uji yang tidak menggunakan agregat halus zeolit (full batu pecah). Nilai stabilitas dari campuran dengan agregat halus zeolit yang memenuhi standar campuran aspal beton (min 550kg). Sedangkan nilai stabilitas dari campuran tanpa agregat halus zeolit yang memenuhi standar campuran aspal beton, yaitu pada rentang suhu 110,6-140 °C.
- Untuk nilai flow, semakin rendah penurunan suhu semakin tinggi nilai flow. Pada campuran tanpa agregat halus zeolit (full batu pecah) rentang penurunan suhu mulai dari 140°C – 126°C mengalami penurunan nilai flow. Pada saat suhu sudah dibawah 126°C nilai flow campuran mengalami kenaikan sama seperti campuran dengan agregat halus zeolit. Hal ini menunjukkan bahwa variasi suhu berpengaruh pada nilai *flow* suatu campuran. Nilai *flow* dari benda uji yang menggunakan agregat halus zeolit hampir sama dengan nilai *flow* dari benda uji yang tidak menggunakan agregat halus zeolit (full batu pecah) pada saat suhu diturunkan. Hal ini terjadi karena penggunaan kadar aspal yang sama sehingga nilai *flow* juga memiliki nilai yang hampir sama. Sedangkan sebelum suhu diturunkan nilai *flow* dari benda uji yang menggunakan agregat halus zeolit sedikit lebih rendah dibandingkan nilai flow dari benda uji yang tidak menggunakan agregat halus zeolit (full batu pecah). Nilai *flow* dari campuran

dengan agregat halus zeolit dan campuran tanpa agregat zeolit, keduanya memenuhi standart untuk nilai *flow* pada campuran aspal beton yaitu antara 2 - 4 mm.

- Untuk nilai *Marshall Quotient* (MQ), semakin rendah penurunan suhu semakin rendah pula nilai MQ. Hal ini terjadi karena MQ merupakan rasio dari stabilitas dengan *flow*, menunjukkan pada suhu yang semakin rendah, aspal akan mengeras dan semakin sulit untuk bercampur dengan agregat dan *filler*. Sebaliknya jika suhu semakin tinggi maka aspal akan dengan mudah bercampur dengan agregat dan *filler* dan mengikatnya dengan baik sehingga campuran menjadi lebih padat dan stabilitas menjadi tinggi. Nilai MQ dari benda uji yang menggunakan agregat halus zeolit lebih tinggi dibandingkan dengan benda uji yang tidak menggunakan agregat halus zeolit (full batu pecah). Nilai MQ dari campuran dengan agregat halus zeolit yang memenuhi batas standart untuk campuran aspal beton adalah pada rentang suhu 109 -140 °C. Sedangkan nilai MQ dari campuran tanpa *filler* zeolit tidak ada yang memenuhi standar campuran aspal beton yaitu antara 200-350 kg/mm.