

BAB III

PEMBAHASAN

3.1 Hasil dan Analisis Pengujian Material

Pengujian material memegang peran kunci dalam menjamin kelancaran, keamanan, dan kualitas tinggi dari setiap proyek konstruksi. Keuntungan-keuntungan yang diperoleh mencakup peningkatan kualitas konstruksi, pengurangan risiko kegagalan struktural, serta jaminan dan keamanan. Oleh karena itu, pengujian material dapat dianggap sebagai investasi vital untuk mencapai kesuksesan keseluruhan proyek dan mendukung perkembangan infrastruktur yang berkelanjutan.

3.1.1 Agregat Kasar

Agregat kasar adalah material granular yang digunakan dalam campuran beton. Umumnya terdiri dari batu pecah, kerikil, atau material alam lainnya dengan ukuran butir yang lebih besar. Agregat kasar berperan dalam memberikan kekuatan struktural pada beton dan memberikan kepadatan yang diperlukan. Ukuran agregat kasar bervariasi tergantung pada spesifikasi desain.

Tabel 3.1 Pengujian Agregat Kasar

No	Pengujian	Sampel	
		1	2
1	Berat jenis kering permukaan (A)	493	480
2	Berat benda uji kering oven (B)	500	500
3	Berat benda uji dalam air (C)	327	319

Untuk analisis agregat dilakukan Berat benda uji kering permukaan (A), berat benda uji kering oven (B) dan berat benda uji dalam air (C). Adapun perhitungan dapat dilihat sebagai berikut.

Sampel 1 :

$$\begin{aligned}
 B_j &= \frac{A}{(B-C)} \\
 &= \frac{493}{(500-327)} \\
 &= 2,849 \text{ gr/cc}
 \end{aligned}$$

Sampel 2 :

$$\begin{aligned}
 B_j &= \frac{A}{(B-C)} \\
 &= \frac{480}{(500-319)} \\
 &= 2,651 \text{ gr/cc}
 \end{aligned}$$

Dari kedua sampel diatas didapat rata – rata hasil perhitungan sebagai berikut. Sampel Rata-rata :

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\text{Sampel 1} + \text{Sampel 2}}{2} \\
 &= \frac{2,849 + 2,651}{2} \\
 &= 2,750 \text{ gr/cc}
 \end{aligned}$$

Dalam pengujian ini hanya menganalisis perhitungan berat jenis agregat kasar dan pengujian lainnya tidak dilakukan. Dalam pengujian ini diambil dari penelitian terdahulu yang dilakukan oleh (Handayani, 2023).

3.1.2 Agregat Halus

Agregat halus adalah material berbutir kecil yang digunakan dalam campuran beton. Biasanya terdiri dari pasir alam atau bahan buatan manusia seperti serbuk batu, dan ukurannya lebih kecil daripada agregat kasar. Agregat halus berperan dalam memberikan kehalusan permukaan beton, meningkatkan daya rekat antarbutir, serta membantu mencapai kekuatan dan konsistensi yang diinginkan dalam

campuran beton. Ukuran dan distribusi butir agregat halus juga memiliki pengaruh pada sifat-sifat fisik dan mekanik beton yang dihasilkan. Hasil analisis pengujian berat jenis agregat halus dapat dilihat pada **tabel 3.2** dibawah ini.

Tabel 3.2 Pengujian Agregat Halus

No	Pengujian	Sampel	
		1	2
1	Berat jenis kering permukaan (S)	493	480
2	Berat benda uji kering oven (A)	500	500
3	Berat piknometer + air (B)	327	319
4	Berat piknometer + benda uji + air (C)	969	980

Untuk analisis agregat dilakukan Berat benda uji kering permukaan (S), berat benda uji kering oven (A), berat piknometer + air (B) dan berat piknometer + benda uji + air (C). Adapun perhitungan dapat dilihat sebagai berikut.

Sampel 1 :

$$B_j = \frac{A}{(B+S-C)}$$

$$= \frac{500}{(327+493-969)}$$

$$= 2,600 \text{ gr/cc}$$

Sampel 2 :

$$B_j = \frac{A}{(B+S-C)}$$

$$= \frac{500}{(319+480-980)}$$

$$= 2,641 \text{ gr/cc}$$

Dari kedua sampel diatas didapat rata – rata hasil perhitungan sebagai berikut. Sampel Rata-rata :

$$= \frac{\text{Sampel 1} + \text{Sampel 2}}{2}$$

$$= \frac{2,600 + 2,641}{2}$$

$$= 2,6205 \text{ gr/cc}$$

3.1.3 Pengujian Aspal

Berat jenis aspal dalam perkerasan jalan menjadi faktor kunci dalam menentukan keberhasilan campuran aspal, mengingat kualitas dan jumlah aspal yang digunakan memiliki signifikansi yang besar. Salah satu metode pengujian yang esensial untuk menilai kualitas aspal adalah dengan mengukur berat jenisnya. Selain memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan untuk aspal, berat jenis juga memainkan peran penting dalam mengonversi antara berat dan volume aspal. Standar ini berfungsi sebagai panduan bagi para penanggung jawab dan teknisi laboratorium yang melakukan pengujian berat jenis aspal. Tujuannya adalah untuk memastikan bahwa pengujian berat jenis aspal dilaksanakan secara seragam, sehingga hasilnya dapat diperoleh dengan akurasi dan kebenaran yang tinggi. Pengujian kekerasan berat jenis aspal dapat dipengaruhi oleh sejumlah faktor, oleh karena itu, untuk menjaga konsistensi dalam pengujian, prosedur yang terinci diperlukan. Proses ini melibatkan pengambilan sampel uji, persiapan sampel uji, kalibrasi piknometer, metode pengujian, perhitungan hasil, pelaporan, dan aspek-aspek lain yang dianggap perlu. Hasil dari pengujian berat jenis aspal dapat ditemukan dalam **Tabel 3.3** di bawah ini.

Tabel 3.3 Pengujian Aspal

Jenis Pengujian	Percobaan		Rata - Rata
	1	2	
Berat piknometer (gr) (A)	120	120	120
Berat piknometer + Air (gr) (B)	270	270	270
Berat piknometer + Aspal Air (gr) (C)	195	190	192.5
Berat piknometer + Aspal + Air (gr) (D)	285	283	284
Berat jenis semu (<i>apparent specific gravity</i>) (C - A) (B - A) - (D - C)	1.250	1.228	1.239

Untuk analisis pengujian berat jenis aspal karet meliputi berat piknometer (A), berat piknometer + air (B), berat piknometer + aspal (C), dan berat piknometer + aspal + air (D). Adapun perhitungan berat jenis aspal dapat dilihat sebagai berikut.

Sampel 1 :

$$B_j = ((C-A))/((B-A)-(D-C))$$

$$= ((195-120))/((270-120)-(288-195))$$

$$= 1,250 \text{ gr}$$

Sampel 2 :

$$B_j = ((C-A))/((B-A)-(D-C))$$

$$= ((190-120))/((270-120)-(283-190))$$

$$= 1,228 \text{ gr}$$

Rata – rata sampel :

$$BJ = (\text{sampel 1} + \text{sampel 2})/2$$

$$= (1,250 + 1,228)/2$$

$$= 1,239 \text{ gr}$$

Data yang diperoleh dari eksperimen melibatkan pengukuran berat piknometer (A), berat piknometer dengan air (B) berat piknometer dengan campuran air dan aspal (C), yang diungkapkan dalam satuan gram. Hasil berat yang diperoleh dari eksperimen tersebut dapat diterapkan untuk mengestimasi berat aspal, berat air yang pertama kali disuling, dan berat air yang telah diambil keseluruhan. Berdasarkan data eksperimen dan perhitungan yang telah dilakukan, data tersebut digunakan untuk menghitung berat jenis, yang diukur dalam satuan gram per mililiter (gram/ml). Berdasarkan perhitungan tersebut, berat jenis yang dihasilkan adalah sekitar 1,239 gram/ml.

3.1.4 Pengujian *Filler Fly Ash*

Pengujian berat jenis *filler* aspal adalah langkah penting dalam pembuatan sampel aspal yang berkualitas. Saat menciptakan campuran aspal, agregat halus, *fly ash*, atau bahan pengisi lainnya digunakan untuk meningkatkan sifat mekanis dan kohesi aspal. Untuk memastikan bahwa campuran aspal memenuhi spesifikasi yang diperlukan, perlu dilakukan pengujian berat jenis *filler*. Adapun pengujian *filler* dapat dilihat pada **gambar 3.4** dibawah ini :

Tabel 3.4 Pengujian *filler fly ash*

No	Pengujian	Sampel	
		1	2
1	Berat piknometer (A)	68 gr	68 gr
2	Berat piknometer + air (B)	166 gr	165 gr
3	Berat piknometer + filler (C)	80 gr	74 gr
4	Berat piknometer + filler + air (D)	178 gr	182 gr

Sampel 1 :

$$\begin{aligned} &=(C-A)/(B-C)-(D-C) \\ &=(80-68)/(166-80)-(178-80) \\ &= 4,14 \text{ gr/cc} \end{aligned}$$

Sampel 2 :

$$\begin{aligned} &=((C-A))/((B-C)-(D-C)) \\ &=((74-68))/((165-74)-(182-74)) \\ &= 0,5 \text{ gr/cc} \end{aligned}$$

Sampel Rata-rata :

$$\begin{aligned} &=(\text{Sampel 1}-\text{Sampel 2})/2 \\ &=(4,14+0,5)/2 \\ &= 2,32 \text{ gr/cc} \end{aligned}$$

3.1.5 Pengujian Air Laut

Pengujian air laut adalah suatu proses penting dalam memahami dan menjaga keseimbangan ekosistem laut. Dengan mengukur berbagai parameter seperti suhu, kadar garam, pH, dan tingkat polutan, kita dapat mengidentifikasi perubahan yang mungkin terjadi di dalam lautan. Data pengujian air laut tidak hanya membantu dalam mendeteksi polusi, tetapi juga memberikan wawasan tentang perubahan iklim dan kondisi lingkungan laut yang lebih luas. Para ilmuwan dan peneliti bekerja keras untuk mengumpulkan dan menganalisis data ini, yang kemudian digunakan untuk merencanakan tindakan pelestarian dan pengelolaan sumber daya laut yang lebih baik. Dalam era perubahan iklim dan pertumbuhan populasi manusia, pengujian air laut menjadi semakin penting untuk menjaga keberlanjutan ekosistem laut dan menjaga air laut yang bersih dan sehat sebagai warisan berharga bagi generasi mendatang.

1. Pengujian kadar garam

Pengujian kadar garam dalam air laut melibatkan pengukuran jumlah garam atau mineral yang terlarut dalamnya. Penggunaan hidrometer adalah metode yang umum digunakan untuk mengukur kadar garam dalam air laut. Sebagai contoh, dalam pengujian kadar garam air laut, didapatkan hasil sebesar 020 menggunakan alat hidrometer. Ini berarti air laut memiliki rata-rata konsentrasi garam sekitar 3,5% atau setara dengan 35 gram garam dalam setiap per-liter (1000 mL) air laut. Adapun pengujian kadar garam dapat dilihat pada **gambar 3.1** dibawah ini :



Gambar 3.1 Pengujian kadar garam

2. Pengujian kadar pH

Pengujian kadar pH air laut dilakukan dengan menggunakan kertas lakmus, dan hasilnya menunjukkan pH sebesar 6. Air laut memiliki kandungan garam rata-rata sekitar 3,5%. Biasanya, pH air laut berada di atas 7, menunjukkan sifat dasar, meskipun dalam situasi tertentu, pH dapat menjadi lebih rendah dari 7, menandakan sifat asam. Sebagian besar organisme akuatik sangat peka terhadap fluktuasi pH, dan nilai pH yang optimal untuk kehidupan berkisar antara 7 hingga 8,5 (Susana, 2009). Adapaun pengujian kadar pH dapat dilihat pada **gambar 3.2** dibawah ini :



Gambar 3.2 Pengujian kadar pH

3.2 Perhitungan *Mix Design*

Mix Design adalah suatu rencana campuran yang digunakan sebagai pedoman dalam pembuatan campuran. Rencana tersebut harus memenuhi persyaratan yang ditentukan. Berikut adalah perhitungan *mix design* perkerasan Laston AC-WC (*Asphalt Concrete – Wearing Course*) dapat dilihat pada **Tabel 3.5** di bawah ini :

Tabel 3.5 Perhitungan *mix design*

Saringan No. (Inch)	Bukaan (mm)	Spesifikasi Agregat Lolos Saringan %			% Agregat Lolos dan Tertahan		Berat Agregat Tertahan (gram)	
		Min	Max	Lolos	Tertahan Total	Tertahan Tiap Saringan	Tertahan	Jumlah
3/4"	19	100	100	100.00	0.00	0.00	0.00	0
1/2"	12.5	90	100	95.00	5.00	5.00	57.30	57
3/8"	9.5	77	90	83.50	16.50	11.50	131.79	189
No.4"	4.75	53	69	61.00	39.00	22.50	257.85	447
No.8"	2.36	33	53	43.00	57.00	18.00	206.28	653
No.16"	1.18	21	40	30.50	69.50	12.50	143.25	796
No.30"	0.600	14	30	22.00	78.00	8.50	97.41	894
No.50"	0.300	9	22	15.50	84.50	6.50	74.49	968
No.100"	0.150	6	15	10.50	89.50	5.00	57.30	1026
No.200"	0.075	4	4	4.00	96.00	6.50	74.49	1100
PAN	0	0	0	0.00	100.00	4.00	45.84	1146

1146

a. Rumus Perhitungan

Perhitungan saringan lolos = $(\min + \max)/2$

$$(100 + 100)/2 = 100.00$$

$$(90 + 100)/2 = 95.00$$

$$\begin{aligned} (77 + 90)/2 &= 83.50 \\ (53 + 69)/2 &= 61.00 \\ (33 + 53)/2 &= 43.00 \\ (21 + 40)/2 &= 30.50 \\ (14 + 30)/2 &= 22.00 \\ (9 + 22)/2 &= 15.50 \\ (4 + 15)/2 &= 10.50 \\ (4 + 4)/2 &= 6.00 \\ (0 + 0)/2 &= 0.00 \end{aligned}$$

b. Perhitungan saringan tertahan = 100 – (Saringan lolos)

$$\begin{aligned} 100.00 - 100.00 &= 0.00 \\ 100.00 - 95.00 &= 5.00 \\ 100.00 - 83.50 &= 16.50 \\ 100.00 - 61.00 &= 39.00 \\ 100.00 - 43.00 &= 57.00 \\ 100.00 - 30.50 &= 69.50 \\ 100.00 - 22.00 &= 78.00 \\ 100.00 - 15.50 &= 84.50 \\ 100.00 - 10.50 &= 89.50 \\ 100.00 - 6.00 &= 94.00 \\ 100.00 - 0.00 &= 100.00 \end{aligned}$$

3.2.1 Kadar Aspal

A. Nilai Konstanta 0,5

$$\begin{aligned} CA &= 57 \text{ (agregat tertahan di saringan No. 8)} \\ FA &= 39 \text{ (agregat tertahan saringan No. 8 – saringan No. 200)} \\ Filler &= 4 \text{ (agregat lolos saringan No. 200)} \\ Konstanta &= 0,05 \\ Pb &= 0.035 (\%CA) + 0.045(\%FA) + 0.18 (\%Filler) + 0.05 \\ &= 0.035 (57) + 0.045 (39) + 0.18 (4) + 0.05 \\ &= 4.520 \% \\ Pb dibulatkan &= 4,5 \% \end{aligned}$$

Keterangan :

$$\begin{aligned} CA &= \textit{Coarse Aggregate} \\ FA &= \textit{Fine Aggregate} \\ Filler &= \textit{Filler} \\ Konstanta &= 0,05 - 1 \\ Pb &= \text{Kadar Aspal Rencana} \end{aligned}$$

B. Perhitungan Kadar Berat Aspal

$$\begin{aligned} \text{Berat benda uji (gr)} &= 1200 \\ \text{Berat Aspal} &= \text{kadar aspal (\%)} \times \text{Berat benda uji} \\ &= 4,5 \% \times 1200 = 54 \text{ gram} \end{aligned}$$

C. Perhitungan berat kadar aspal

$$\begin{aligned} \text{Kadar Aspal} &= 4,5\% \\ \text{Berat Benda Uji (gr)} &= 1200 \text{ gr} \\ \text{Berat Aspal} &= 54 \text{ gr} \end{aligned}$$

Berdasarkan berat aspal yang telah diperoleh yaitu 60 gr, maka berat total agregat dapat dilihat pada

Tabel 3.6 di bawah ini.

Tabel 3. 6 Kadar Aspal

Kadar Aspal (%)	4,5 %
Berat Benda Uji (gr)	1200 gr
Berat Aspal (gr)	54 gr
Berat Total Agregat (gr)	1146 gr

3.2.2 Perhitungan Spesifikasi Agregat Lolos Saringan (%)

Perhitungan spesifikasi agregat yang lolos saringan merupakan proses dalam labotarium. Langkah ini bertujuan untuk memastikan bahwa agregat yang digunakan dalam campuran aspal memenuhi standar kualitas yang ditetapkan. Perhitungan ini melibatkan analisis ukuran partikel, distribusi berat jenis, kelembutan, dan karakteristik fisik lainnya dari agregat. Dengan memperhatikan aspek-aspek ini, insinyur konstruksi dapat menentukan proporsi yang tepat dalam campuran, sehingga menciptakan material konstruksi yang kokoh dan tahan lama. Selain itu, perhitungan spesifikasi agregat yang cermat juga berperan penting dalam mengoptimalkan kinerja struktural dan estetika proyek konstruksi secara keseluruhan. Berikut adalah perhitungan mix design perkerasan Laston AC-WC (*Asphalt Concrete – Wearing Course*) dapat dilihat pada **Tabel 3.7** di bawah ini.

Tabel 3. 7 Perhitungan Spesifikasi Agregat Lolos Saringan

Saringan No. (Inch)	Bukaan (mm)	Spesifikasi Agregat Lolos Saringan %		% Agregat Lolos dan Tertahan	
		Min	Max	Lolos	Tertahan Total
3/4"	19	100	100	100.000	0.000
1/2"	12.5	90	100	95.000	5.000
3/8"	9.5	77	90	83.500	16.500
No.4"	4.75	53	69	61.000	39.000
No.8"	2.36	33	53	43.000	57.000
No.16"	1.18	21	40	30.500	69.500
No.30"	0.600	14	30	22.000	78.000
No.50"	0.300	9	22	15.500	84.500
No.100"	0.150	6	15	10.500	89.500
No.200"	0.075	4	8	6.000	94.000
PAN	0	0	0	0.000	100.000

- Perhitungan Saringan Lolos Saringan = $(\text{Min} - \text{Max})/2$
Saringan = $(\text{Min} + \text{Max})/2$
Saringan No 1/2" = $(90+100)/2 = 95$ gr
Saringan No 3/8" = $(77+90)/2 = 83,5$ gr
- Perhitungan Saringan Tertahan Total (dapat dilihat dari tabel 3.7)
Perhitungan saringan tertahan total = 100 – saringan lolos
Tertahan total = 100 – lolos
= 100 – 95 = 5 gr
= 100 – 83,5 = 16,5 gr
- Perhitungan Berat Agregat Tertahan (dapat dilihat dari tabel 3.7)
Perhitungan saringan 1/2"
Berat agregat tertahan = % agregat tertahan + berat total agregat
= $\frac{5}{100} \times 1146$
= 57,3 gr
Perhitungan saringan 3/8" (dapat dilihat dari tabel 3.7)

$$\begin{aligned} \text{Berat agregat tertahan} &= \% \text{ agregat tertahan} + \text{berat total agregat} \\ &= \frac{16,5}{100} \times 1146 = 189,01 \text{ gr} \end{aligned}$$

4. Perhitungan Jumlah Berat Agregat Tertahan (dapat dilihat dari tabel 3.7)

Perhitungan jumlah saringan tertahan ½”

Jumlah berat tertahan agregat saringan ½” = 0 + 57,3 = 57,3 gr

Jumlah berat agregat saringan 3/8” = 57,3 + 189,01

= 246,31 gr

3.3 Analisis Pengujian Marshall

Hasil pengujian didapat dari pengujian *marshall*, pengujian Marshall dilakukan untuk mengetahui nilai stabilitas, kelelahan (*flow*), *Marshall Quotient (MQ)*, *Void In The Mix (VITM)*, *Void Filled With Asphalt (VFWA)*, *Void Mineral Aggregate (VMA)*. Dalam analisis hasil pengujian *Marshall* yang telah dilakukan, dapat dilihat pada **Tabel 3.8** dan **Tabel 3.9** untuk *filler* normal dibawah angka koreksi merupakan langkah awal dalam perhitungan yang dilakukan

Tabel 3. 8 Angka Koreksi *Filler Fly Ash*

FILLER FLY ASH									
waktu digenangin (jam)	sampel	Berat kering (gr)	Berat dalam air (gr)	Berat SSD (gr)	Tinggi 3 sisi			Rata-rata (cm)	Angka koreksi
					1	2	3		
UJI BELAH									
5 jam	2	1188	690	1190	6.44	6.48	6.46	6.46	0.94
	3	1187	691	1190	6.37	6.37	6.39	6.38	0.98
	1	1196	712	1203	6.35	6.33	6.34	6.34	1.01
10 jam	2	UJI BELAH							
	3	1198	717	1201	6.05	6.08	6.08	6.07	1.08

Tabel 3. 9 Angka Koreksi *Filler Normal*

FILLER NORMAL									
waktu digenangin (jam)	sampel	Berat kering (gr)	Berat dalam air (gr)	Berat SSD (gr)	Tinggi 3 sisi			Rata-rata (cm)	Angka koreksi
					1	2	3		
UJI BELAH									
5 jam	2	1197	707	1200	6.37	6.38	6.37	6.37	0.98
	3	1192	718	1196	5.61	5.62	5.62	5.62	1.23
	1	1187	712	1188	6.01	6.09	6.06	6.05	1.08
10 jam	2	1193	704	1199	6.09	6.11	6.10	6.10	1.07
	3	UJI BELAH							

3.3.1 Hasil Pengujian *Marshall Filler Fly Ash*

Setelah melakukan pengujian *Marshall filler Fly Ash* maka didapatkan hasil data yang akan di analisis dengan tujuan untuk mendapatkan nilai karakteristik *marshall* pada *Stabilitas*, *Kelelahan (Flow)*, *Marshall Quotient (MQ)*, rongga dalam agregat (*VMA*), rongga dalam campuran (*VIM*), dan rongga dalam aspal (*VFA*). Maka data yang sudah didapatkan tersebut dapat dilihat pada tabel 3.10.

Tabel 3. 10 Data perhitungan Filler Fly Ash

FILLER FLY ASH									
Lama Genangan	Sampel	Kadar Aspal (%)	Stabilitas (Kg)	Flo w (mm)	MQ (Kg/mm)	VIT M (%)	VFW A (%)	VM A (%)	Density (Kg/m ³)
5 Jam	1								
	2	4.520	1825.99	3.30	553.33	6.13	62.12	16.1	2.38
	3		1850.24	5.19	356.50	6.02	62.57	16.0	2.38
	Rata-rata		1838.11	4.25	454.92	6.07	62.34	16.1	2.38
									14.0
10 Jam	1		1995.37	5.70	350.07	3.76	73.24	7	2.436
	2	4.520							
	3		2132.95	3.90	546.91	2.21	82.58	12.6	2.48
	Rata-rata		2064.16	4.80	448.49	2.99	77.91	13.3	2.46
		Spesifikasi	>800	>3	>250	>3.5-5	>65	>15	>2

Analisis hasil pengujian *marshall* dijelaskan bahwa perhitungan dengan lama genangan 5 jam digunakan sebagai contoh untuk perhitungan lain.

1. Stabilitas

Stabilitas = P x Koreksi tebal benda uji (angka koreksi) pada tabel 3.8

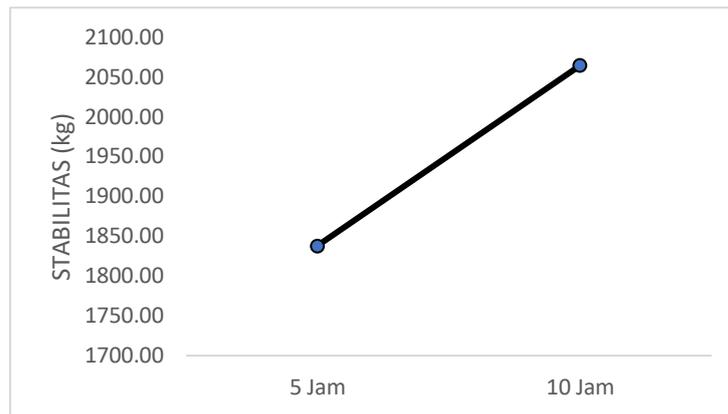
Sampel 1 = uji penetrasi (uji belah)

Sampel 2 = 1935,05 x 0,94
= 1825,99 Kg

Sampel 3 = 1890,57 x 0,98
= 1850,24 Kg

Rata – rata = $\frac{1825,99+1850,24}{2}$
= 1838,11 Kg

Berdasarkan hasil perhitungan stabilitas di atas dapat dilihat pengaruh lama genangan air laut selama 5 jam. Berikut adalah **Gambar 3.3** grafik stabilitas dengan lama genangan 5 jam, dan 10 jam.



Gambar 3.3 Grafik Stabilitas

Berdasarkan hasil perhitungan stabilitas pada Tabel 3.11 di atas nilai stabilitas dengan lama genangan 5 jam sampel 1 diuji penetrasi (Uji belah), sampel 2 nilai stabilitas 1825,99 kg, sampel 3 dengan nilai 1850,24 kg, dan untuk nilai rata-rata dari ketiga sampel tersebut adalah 1838,11 kg sudah sesuai dengan ketentuan Bina Marga 2018 revisi 2 dengan nilai stabilitas > 800 Kg. Untuk nilai stabilitas pada sampel ke-dua sampel dengan lama genangan 5 jam sudah sesuai dengan ketentuan karena > 800 kg, dimana dengan nilai stabilitas > 800 kg maka kedua sampel tersebut semakin kuat menahan beban sedangkan jika < 800 maka perkerasan jalan tidak kuat menahan beban. Pada Gambar 3.10 grafik stabilitas di atas, untuk nilai rata – rata lama genangan 5 jam didapatkan nilai 1838,11 kg, lama genangan 10 jam dengan nilai 2064,16 Kg. Sampel dengan lama genangan 10 jam mengalami kenaikan yang disebabkan oleh genangan terlalu lama pada sampel tersebut.

2. Flow (Kelelehan)

Flow = Nilai yang di dapatkan pada pengujian *marshall* (mm) (dapat dilihat pada **Tabel 3.10** hasil pengujian marshall)

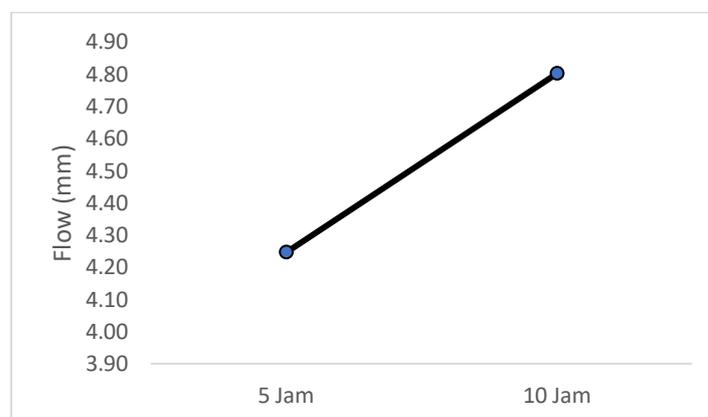
Sampel 1 = Uji penetrasi (uji belah)

Sampel 2 = 3,30 mm

Sampel 3 = 5,19 mm

$$\text{Rata – rata} = \frac{3,30+5,19}{2} = 4,25 \text{ mm}$$

Berdasarkan hasil perhitungan stabilitas di atas dapat dilihat pengaruh lama genangan air laut selama 5 jam. Berikut adalah Gambar 3.4 grafik flow dengan lama genangan 5 jam, dan 10 jam.



Gambar 3.4 Grafik Flow

Pada hasil pengujian diatas didapat hasil nilai *flow* dari genangan 5 jam yaitu sampel 1 diuji penterasi (Uji belah), sampel 2 didapat 3,30 mm, dan sampel 3 didapat 5,19 mm dan nilai rata – rata didapat yaitu 4,25 mm. sesuai dengan ketentuan Bina Marga 2018 Revisi 2 yaitu >3 Dapat dilihat untuk genangan 5 jam mengalami kenaikan nilai *flow* nya, yang dimana apabila semakin naik nilai *flow* nya maka akan semakin elastis dan kurang efisien. Untuk ketiga sampel semuanya telah memenuhi syarat ketentuan untuk nilai flow yaitu >3.

3. (MQ) Marshall Quotient

$$\text{Marshall Quotient} = \frac{\text{stabilitas}}{\text{flow}}$$

Sampel 1 = diuji penterasi (Uji belah)

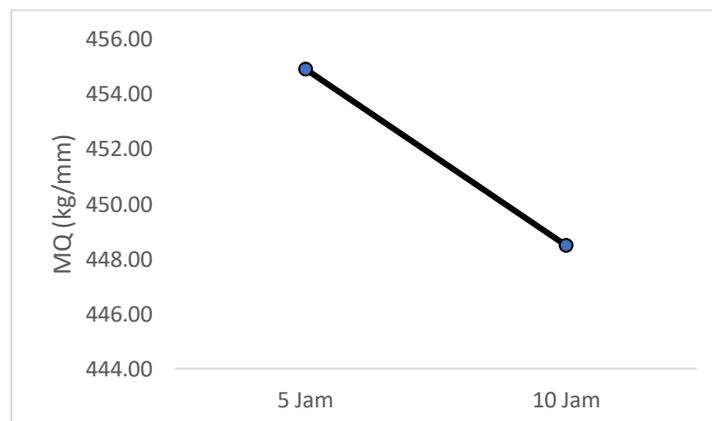
$$\text{Sampel 2} = \frac{1825,99}{3,30} = 553,33 \text{ Kg/mm}$$

$$\text{Sampel 3} = \frac{1850,24}{5,19} = 356,50 \text{ Kg/mm}$$

Dari kedua sampel diatas didapat nilai rata – rata yaitu :

$$\text{Rata – rata} = \frac{553,33 + 356,50}{2} = 454,92 \text{ Kg/mm}$$

Pada hasil perhitungan MQ (*Marshall Quotient*) diatas bisa dilihat pengaruh lama genangan air laut selama 5 jam, dan 10 jam. Dapat dilihat grafik seperti pada **Gambar 3.5** dibawah ini.



Gambar 3. 5 Grafik MQ (Marshall Quotient)

Berdasarkan hasil pengujian marshall quotient dapat dilihat pada Tabel 3.3 hasil pengujian didapat nilai dari sampe 1 diuji penetrasi (Uji belah), sampel 2 senilai 553,33 kg/mm, dan sampel 3 senilai 356,50 kg/mm dan nilai rata – rata nya adalah 454,92 kg/mm. sesuai dengan ketentuan Bina Marga 2018 Revisi II yaitu >250 kg/mm jika nilai MQ terlalu rendah maka menunjukkan campuran terlalu fleksibel yang mengakibatkan perkerasan mudah berubah bentuk bila menahan beban lalu lintas. Untuk ketiga sampel diatas semuanya telah memenuhi syarat ketentuan nilai MQ yaitu >250.

4. VITM (*Void In The Mix*)

$$\text{VITM} = 100 - \left(100 \times \frac{g}{h}\right)$$

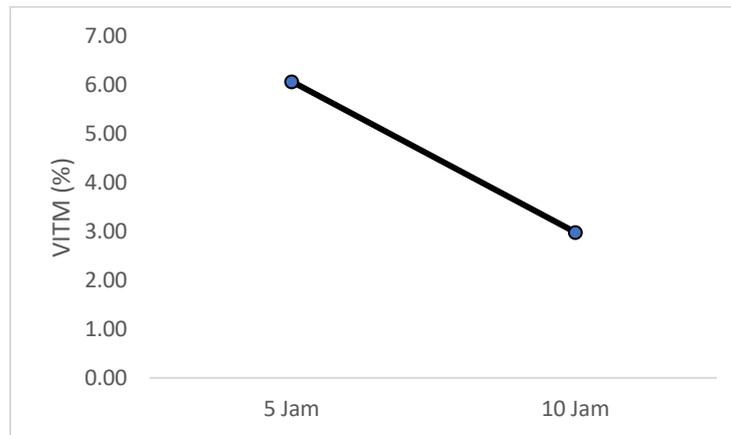
Sampel 1 = Uji penetrasi (uji belah)

$$\text{Sampel 2} = 100 - \left(100 \times \frac{2,376}{2,531}\right) = 6,13 \%$$

$$\text{Sampel 3} = 100 - \left(100 \times \frac{2,379}{2,531}\right) = 6,02 \%$$

$$\text{Rata - rata} = \frac{6,13+6,02}{2} = 6,07 \%$$

Pada hasil perhitungan VITM (*Void In The Mix*) di atas bisa dilihat pengaruh lama genangan air laut selama 5 jam, dan 10 jam. Dapat dilihat grafik seperti pada **Gambar 3.6** di bawah



Gambar 3.6 Grafik *Void In The Mix* (VITM)

Berdasarkan hasil pengujian nilai *void in the mix* pada **Tabel 3.10** di atas dengan lama genangan 5 jam sampel 1 Uji penetrasi (uji belah), sampel 2 dengan nilai 6,13 %, dan sampel 3 dengan nilai 6,02 %, dan untuk nilai rata-rata dari kedua sampel tersebut adalah 6,07 %. Tidak Sesuai dengan ketentuan Bina Marga 2018 revisi 2 dengan nilai 3.5 - 5 %. Untuk nilai *void in the mix* kedua sampel tidak sesuai dengan ketentuan Bina Marga 2018 revisi 2 karena 3.5 – 5 dikarenakan indikator kekurangan kualitas suatu campuran aspal. Jika nilai VITM berada di luar batas yang ditentukan, hal ini bisa mengakibatkan performa aspal yang tidak optimal dalam menahan beban lalu lintas dan menghadapi kondisi cuaca ekstrem. Kondisi ini dapat menyebabkan kerusakan cepat pada struktur jalan atau mengurangi daya tahan campuran aspal AC-WC. Pada Gambar 3.13 *void in the mix* (VITM) di atas untuk rata-rata dari kedua sampel lama genangan, dengan lama genangan 5 jam dengan nilai 6,07% dan 10 jam mengalami penurunan dengan nilai sebesar 2,99 % tidak memenuhi ketentuan yang telah ditetapkan oleh Bina Marga 2018 revisi 2 sebesar 3.5 - 5 %. Jika nilai VITM semakin tinggi akan menyebabkan kelelahan yang semakin cepat (mudah retak dan muncul alur pada perkerasan laston AC – WC).

5. VFWA (*Void Filled With Asphalt*)

$$\text{VFWA} = 100 \times \frac{i}{l}$$

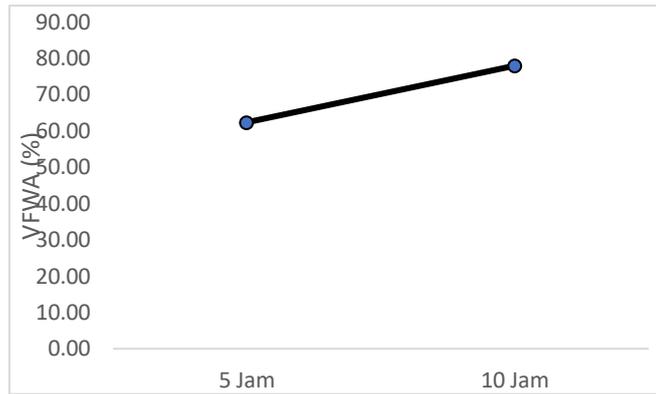
Sampel 1 = Uji penetrasi (uji belah)

$$\text{Sampel 2} = 100 \times \frac{10,05}{16,18} = 62,12 \%$$

$$\text{Sampel 3} = 100 \times \frac{10,06}{16,08} = 62,57 \%$$

$$\text{Rata - rata} = \frac{62,12+62,57}{2} = 62,34 \%$$

Berdasarkan hasil perhitungan *void filled with asphalt* (VFWA) di atas dapat dilihat pengaruh lama genangan 5 jam. Berikut adalah **Gambar 3.7** grafik *void filled with asphalt* (VFWA) dengan lama genangan 5 jam, dan 10 jam.



Gambar 3.7 Grafik *Void Filled With Asphalt %* (VFWA)

Berdasarkan hasil pengujian nilai void filled with asphalt pada **Tabel 3.10** di atas dengan lama genangan 5 jam sampel 1 diuji penetrasi (Uji belah) %, sampel 2 dengan nilai 62,12 %, sampel 3 dengan nilai 62,57 %, dan untuk nilai rata-rata dari kedua sampel tersebut adalah 62,34 % tidak sesuai dengan ketentuan Bina Marga 2018 revisi 2 dengan nilai >65 % dikarenakan Hal ini dapat disebabkan oleh sejumlah faktor yang mempengaruhi akurasi pengujian. Perbedaan dalam komposisi campuran, variasi dalam kondisi pengujian, atau ketidaksesuaian peralatan dan metode pengujian dapat memberikan hasil yang tidak konsisten. Untuk nilai VFWA kedua sampel tidak sesuai dengan ketentuan Bina Marga 2018 revisi 2 karena > 65 % dimana persentasi ruang kosong yang terisi oleh aspal dalam campuran agregat dan aspal yang telah dipadatkan diantara rongga-rongga antara agregat harus > 65 %. Pada grafik 3.14 *void filled with asphalt* di atas untuk rata-rata dari ketiga lama rendaman, untuk lama genangan 5 jam dengan nilai 62,34 % dan 10 jam mengalami kenaikan dengan nilai 77,91 %, yang memenuhi dalam ketentuan Bina Marga 2018 revisi 2 yang telah ditetapkan sebesar >65 %. Maka sampel 5 jam tidak memenuhi syarat, dan sampel 10 sudah memenuhi syarat.

6. **Void Mineral Aggregate (VMA)**

$$\text{VMA} = 100 - j$$

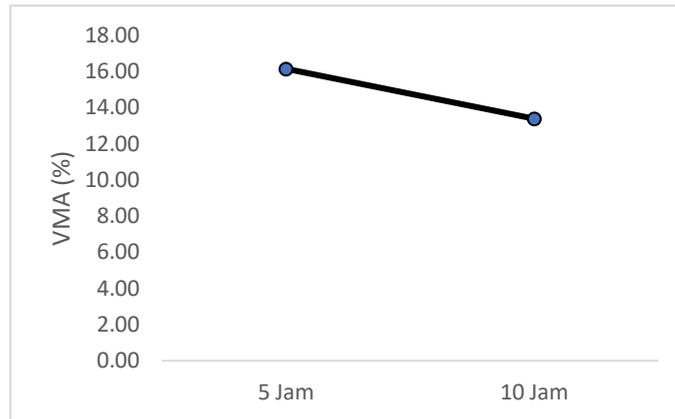
$$\text{Sampel 1} = \text{Uji penetrasi (uji belah)}$$

$$\text{Sampel 2} = 100 - 83,52 = 16,18 \%$$

$$\text{Sampel 3} = 100 - 83,92 = 16,08 \%$$

$$\text{Rata - rata} = \frac{16,18 + 16,08}{2} = 16,13 \%$$

Dalam hasil perhitungan Void Mineral Aggregate (VMA) di atas, tergambar pengaruh durasi rendaman air laut di selama 5 jam, dan 10 jam. Grafik yang mencerminkan hal ini dapat ditemukan pada Gambar 3.8 di bawah.



Gambar 3.8 Grafik Void Mineral Aggregate (VMA)

Berdasarkan data hasil pengujian *VMA* yang terdapat dalam **Tabel 3.10** dengan durasi genangan air laut selama 5 jam, dapat dilihat bahwa nilai *void mineral aggregate* pada sampel 1 diuji penetrasi (Uji belah), sampel 2 dengan nilai 16,18 %, dan sampel 3 dengan nilai sekitar 16,08 %. Rata-rata dari ketiga sampel tersebut adalah 16,13 %, berarti sudah sesuai dengan standar Bina Marga 2018 revisi 2 yang mengharuskan nilai void lebih dari 16%. Dalam Gambar 3.15, terlihat bahwa rata-rata *void mineral aggregate* untuk durasi genangan 5 jam adalah 16,13 % sudah memenuhi persyaratan Bina Marga 2018 revisi 2 (>16%), sedangkan pada durasi 10 jam mengalami penurunan menjadi 13,371% tidak memenuhi persyaratan Bina Marga 2018 revisi 2 (>16%). Dikarenakan Beberapa faktor yang mungkin menyebabkan ketidaksesuaian ini melibatkan komposisi campuran, variasi kondisi pengujian, atau mungkin perubahan dalam standar Bina Marga yang diperbarui.

7. **Density**

$$\begin{aligned} \text{Density} &= \frac{c}{f} \\ &= \frac{\text{Berat Kering (gr)}}{\text{Volume isi (gr)}} \end{aligned}$$

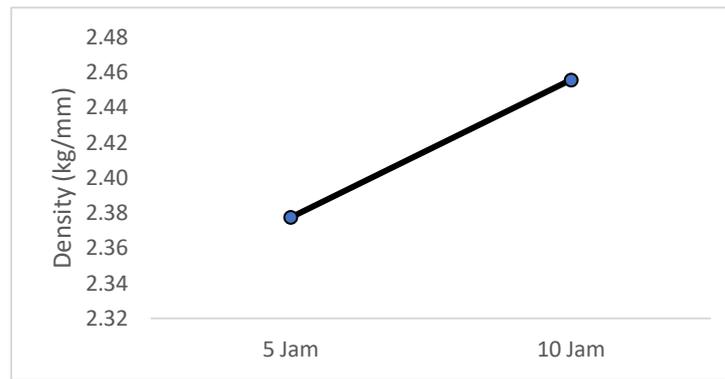
Sampel 1 Uji penetrasi (uji belah)

$$\text{Sampel 2} = \frac{1188}{500} = 2,38 \text{ kg/mm}$$

$$\text{Sampel 3} = \frac{1187}{499} = 2,38 \text{ kg/mm}$$

$$\text{Rata - rata} = \frac{2,38+2,38}{2} = 2,38 \text{ kg/mm}$$

Berdasarkan hasil perhitungan density di atas dapat dilihat pengaruh lama genangan air laut selama 5 jam. Berikut adalah **Gambar 3.9** grafik density dengan lama rendaman 5 jam, dan 10 jam.



Gambar 3.9 Grafik *Density*

Berdasarkan data yang terdapat dalam **Tabel 3.10** dan **Gambar Grafik 3.9**, hasil pengujian *density* menunjukkan nilai untuk sampel 1 diuji penetrasi (Uji belah), sampel 2 dengan durasi genangan selama 5 jam dengan nilai 2,38 Kg/mm, dan sampel 3 memiliki nilai 2,38 kg/mm. Rata-rata nilai *density* dari kedua sampel tersebut adalah 2,38 kg/mm, sesuai dengan standar Bina Marga 2018 Revisi 2 yang mensyaratkan nilai >2 gr. Pada Grafik 3.16 terlihat bahwa nilai *density* kedua sampel mengalami perubahan; pada durasi genangan 5 jam, terjadi peningkatan, sementara pada durasi genangan 10 jam, terjadi penurunan. *Density* yang tinggi menunjukkan kemampuan lebih baik dalam menahan beban yang berat, berbeda dengan nilai densitas yang rendah, seperti yang terlihat pada sampel dengan durasi genangan 10 jam dalam Grafik 3.16. Penting untuk dicatat bahwa keduanya memenuhi persyaratan ketentuan nilai densitas, yaitu >2 gr.

3.3.2 Hasil Pengujian Marshall Filler Normal

Pengujian Marshall pada campuran aspal dengan menggunakan filler normal adalah suatu proses penting dalam menilai karakteristik mekanik dan stabilitas campuran aspal. Filler normal, yang dapat berupa pasir, abu batu, atau bahan filler lainnya, digunakan sebagai salah satu komponen dalam menciptakan campuran aspal yang memenuhi standar kualitas. Hasil pengujian Marshall mencakup parameter-parameter seperti Stabilitas, Kelelahan (*Flow*), *Marshall Quotient* (MQ), rongga dalam agregat (VMA), rongga dalam campuran (VIM), dan rongga dalam aspal (VFA). Maka data yang sudah didapatkan tersebut dapat dilihat pada **tabel 3.11**.

Tabel 3. 1 Data Hasil Perhitungan *Filler* Normal

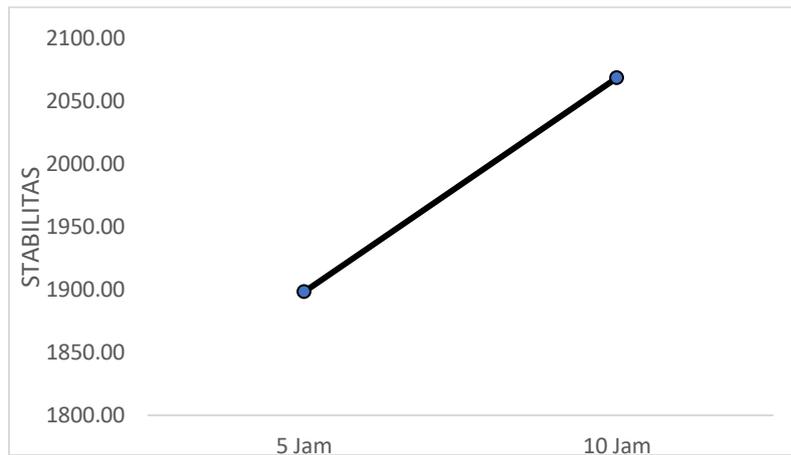
		FILLER NORMAL							
Lama Genangan	Sampel	Kadar Aspal	Stabilitas	Flow	MQ	VIM	VFB	VMA	Density
		(%)	(Kg)	(mm)	(Kg/mm)	(%)	(%)	(%)	(Kg/mm)
5 Jam	1	6.465							
	2		1527.88	5.00	305.575	4.074	71.596	14.34	2.428
	3		2268.38	5.25	432.072	1.477	87.717	12.02	2.494
	Rata-rata		1898.13	5.13	368.82	2.78	79.66	13.18	2.46
10 Jam	1	6.465	1998.77	4.80	416.41	1.478	87.709	12.02	2.494
	2		2138.15	3.90	548.24	4.781	68.073	14.97	2.410
	3								
	Rata-rata		2068.46	4.35	482.33	3.13	77.89	13.50	2.45
Spesifikasi			>800	>3	>250	>3.5-5	>65	>15	>2

Analisis hasil pengujian *marshall* dijelaskan bahwa perhitungan dengan lama genangan 5 jam digunakan sebagai contoh untuk perhitungan lain.

1. Stabilitas

Stabilitas	= P x Koreksi tebal benda uji (angka koreksi) pada tabel 3.9
Sampel 1	= uji penetrasi (uji belah)
Sampel 2	= 1556,94 x 0,98 = 1527,88 Kg
Sampel 3	= 1846,09 x 1,23 = 2268,38 Kg
Rata – rata	= $\frac{1527,88+2068,38}{2}$ = 1898,13 Kg

Berdasarkan hasil perhitungan stabilitas di atas dapat dilihat pengaruh lama genangan air laut selama 5 jam. Berikut adalah **Gambar 3.10** grafik stabilitas dengan lama genangan 5 jam, dan 10 jam.



Gambar 3. 10 Grafik Stabilitas

Berdasarkan hasil perhitungan stabilitas pada **Tabel 3.11** di atas nilai stabilitas dengan lama genangan 5 jam sampel 1 diuji penetrasi (Uji belah), sampel 2 nilai stabilitas 1527,88 kg, sampel 3 dengan nilai 2268,38 kg, dan untuk nilai rata-rata dari ketiga sampel tersebut adalah 1898,13 kg sudah sesuai dengan ketentuan Bina Marga 2018 revisi 2 dengan nilai stabilitas > 800 Kg. Untuk nilai stabilitas pada sampel ke-dua sampel dengan lama genangan 5 jam sudah sesuai dengan ketentuan karena > 800 kg, dimana dengan nilai stabilitas > 800 kg maka kedua sampel tersebut semakin kuat menahan beban sedangkan jika < 800 maka perkerasan jalan tidak kuat menahan beban. Pada Gambar 3.10 grafik stabilitas di atas, untuk nilai rata – rata lama genangan 5 jam didapatkan nilai 2268,38 kg, lama genangan 10 jam dengan nilai 2068,46 Kg. Sampel dengan lama genangan 10 jam mengalami penurunan yang disebabkan oleh genangan terlalu lama pada sampel tersebut.

2. Flow (Kelelehan)

Flow = Nilai yang di dapatkan pada pengujian *marshall* (mm) (dapat dilihat pada Tabel 3.11 hasil pengujian marshall)

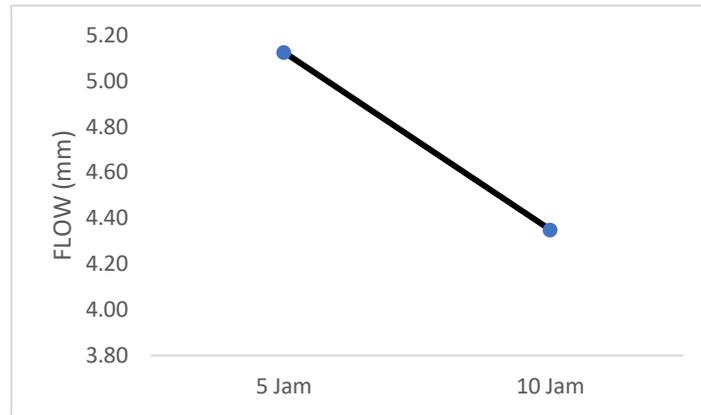
Sampel 1 = Uji penetrasi (uji belah)

Sampel 2 = 5,00 mm

Sampel 3 = 5,25 mm

Rata – rata = $\frac{5,00+5,25}{2}$
= 5,13 mm

Berdasarkan hasil perhitungan stabilitas di atas dapat dilihat pengaruh lama genangan air laut selama 5 jam. Berikut adalah **Gambar 3.11** grafik flow dengan lama genangan 5 jam, dan 10 jam.



Gambar 3. 11 Grafik Flow

Pada hasil pengujian diatas didapat hasil nilai *flow* dari genangan 5 jam yaitu sampel 1 diuji penterasi (Uji belah), sampel 2 didapat 5,00 mm, dan sampel 3 didapat 5,25 mm dan nilai rata – rata didapat yaitu 5,13 mm. sesuai dengan ketentuan Bina Marga 2018 Revisi 2 yaitu >3 Dapat dilihat untuk genangan 5 jam mengalami kenaikan nilai *flow* nya, yang dimana apabila semakin naik nilai *flow* nya maka akan semakin elastis dan kurang efisien. Untuk ketiga sampel semuanya telah memenuhi syarat ketentuan untuk nilai flow yaitu >3.

3. (MQ) Marshall Quotient

$$\text{Marshall Quotient} = \frac{\text{stabilitas}}{\text{flow}}$$

Sampel 1 = diuji penterasi (Uji belah)

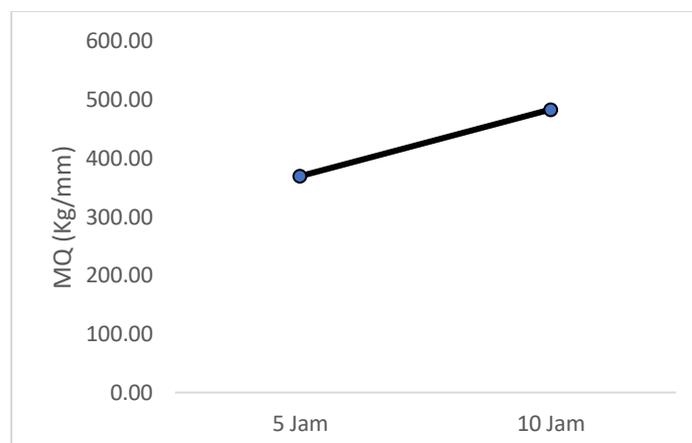
$$\text{Sampel 2} = \frac{1527,88}{5,00} = 305,88 \text{ Kg/mm}$$

$$\text{Sampel 3} = \frac{2268,38}{5,25} = 432,07 \text{ Kg/mm}$$

Dari kedua sampel diatas didapat nilai rata – rata yaitu :

$$\text{Rata – rata} = \frac{305,88+432,07}{2} = 368,82 \text{ Kg/mm}$$

Pada hasil perhitungan MQ (*Marshall Quotient*) diatas bisa dilihat pengaruh lama genangan air laut selama 5 jam, dan 10 jam. Dapat dilihat grafik seperti pada **Gambar 3.12** dibawah ini.



Gambar 3. 12 Grafik MQ (Marshall Quotient)

Berdasarkan hasil pengujian marshall quotient dapat dilihat pada **Tabel 3.11** hasil pengujian didapat nilai dari sampe 1 diuji penetrasi (Uji belah), sampel 2 senilai 305,88 kg/mm, dan sampel 3 senilai 432,07 kg/mm dan nilai rata – rata nya adalah 368,82 kg/mm. sesuai dengan ketentuan Bina Marga 2018 Revisi II yaitu >250 kg/mm jika nilai MQ terlalu rendah maka menunjukkan campuran terlalu fleksibel yang mengakibatkan perkerasan mudah berubah bentuk bila menahan beban lalu lintas. Untuk ketiga sampel diatas semuanya telah memenuhi syarat ketentuan nilai MQ yaitu >250.

4. VITM (*Void In The Mix*)

$$\text{VITM} = 100 - \left(100 \times \frac{g}{h}\right)$$

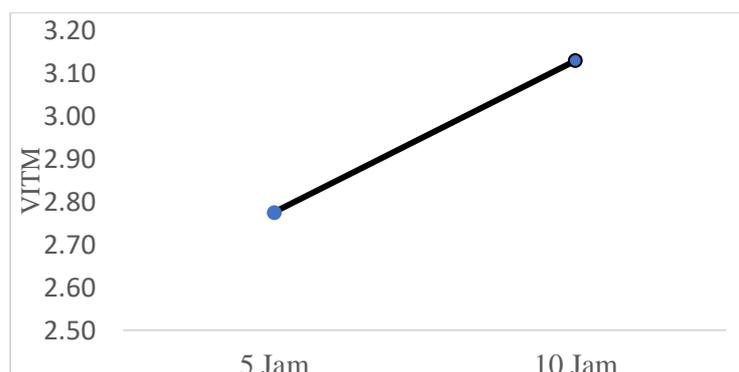
Sampel 1 = Uji penetrasi (uji belah)

$$\begin{aligned} \text{Sampel 2} &= 100 - \left(100 \times \frac{2,428}{2,531}\right) \\ &= 4,07 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Sampel 3} &= 100 - \left(100 \times \frac{2,494}{2,531}\right) \\ &= 1,48 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Rata – rata} &= \frac{4,07 + 1,48}{2} \\ &= 2,78 \% \end{aligned}$$

Pada hasil perhitungan VITM (*Void In The Mix*) di atas bisa dilihat pengaruh lama genangan air laut selama 5 jam, dan 10 jam. Dapat dilihat grafik seperti pada **Gambar 3.13** di bawah



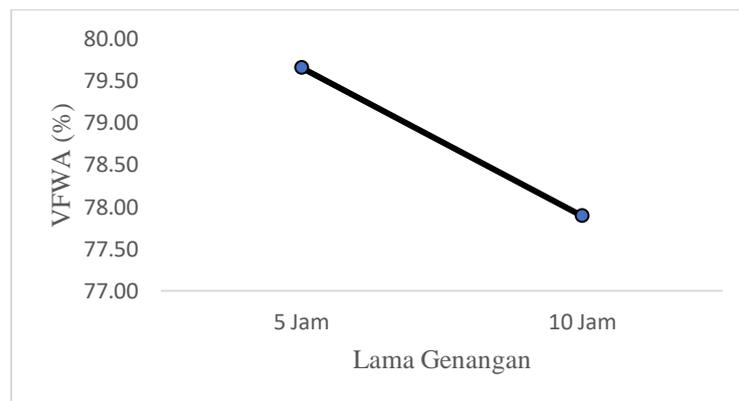
Gambar 3. 13 Grafik *Void In The Mix* (VITM)

Berdasarkan hasil pengujian nilai *void in the mix* pada **Tabel 3.11** di atas dengan lama genangan 5 jam sampel 1 Uji penetrasi (uji belah), sampel 2 dengan nilai 4,07%, dan sampel 3 dengan nilai 1,48 %, dan untuk nilai rata-rata dari ketiga sampel tersebut adalah 2,78 %. Sesuai dengan ketentuan Bina Marga 2018 revisi 2 dengan nilai 3.5 - 5 %. Untuk nilai *void in the mix* kedua sampel 2 dan 3 tidak sesuai dengan ketentuan Bina Marga 2018 revisi 2 karena 3.5 – 5 dikarenakan indikator kekurangan kualitas suatu campuran aspal. Jika nilai VITM berada di luar batas yang ditentukan, hal ini bisa mengakibatkan performa aspal yang tidak optimal dalam menahan beban lalu lintas dan menghadapi kondisi cuaca ekstrem. Kondisi ini dapat menyebabkan kerusakan cepat pada struktur jalan atau mengurangi daya tahan campuran aspal AC-WC. Pada **Gambar 3.13** *void in the mix* (VITM) di atas untuk rata-rata dari kedua sampel lama genangan, dengan lama genangan 5 jam dengan nilai 2,78% % dan 10 jam mengalami kenaikan dengan nilai sebesar 3,13 % tidak juga memenuhi ketentuan yang telah ditetapkan oleh Bina Marga 2018 revisi 2 sebesar 3.5 - 5 %. Jika nilai VITM semakin tinggi akan menyebabkan kelelahan yang semakin cepat (mudah retak dan muncul alur pada perkerasan laston AC – WC).

5. VFWA (*Void Filled With Asphalt*)

$$\begin{aligned} \text{VFWA} &= 100 \times \frac{i}{l} \\ \text{Sampel 1} &= \text{Uji penetrasi (uji belah)} \\ \text{Sampel 2} &= 100 \times \frac{10,27}{14,34} = 71,60 \% \\ \text{Sampel 3} &= 100 \times \frac{10,55}{12,02} = 87,72 \% \\ \text{Rata - rata} &= \frac{77,22+64,09}{2} = 79,66 \% \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan *void filled with asphalt* (VFWA) di atas dapat dilihat pengaruh lama genangan 5 jam. Berikut adalah **Gambar 3.14** grafik *void filled with asphalt* (VFWA) dengan lama genangan 5 jam, dan 10 jam.



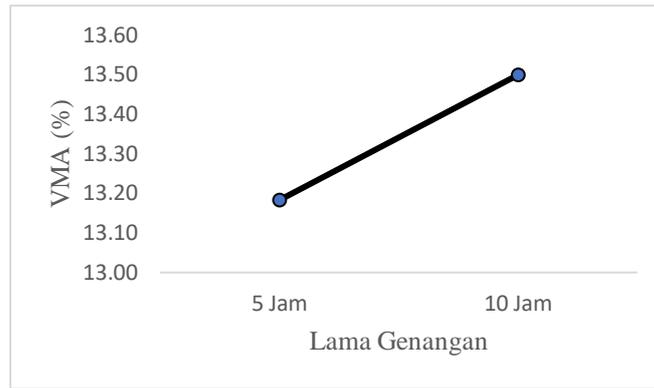
Gambar 3. 14 Grafik *Void Filled With Asphalt* % (VFWA)

Berdasarkan hasil pengujian nilai *void filled with asphalt* pada **Tabel 3.11** di atas dengan lama genangan 5 jam sampel 1 diuji penetrasi (Uji belah) %, sampel 2 dengan nilai 71,60 %, sampel 3 dengan nilai 87,72 %, dan untuk nilai rata-rata dari kedua sampel tersebut adalah 79,66 % sesuai dengan ketentuan Bina Marga 2018 revisi 2 dengan nilai >65 %. Untuk nilai VFWA kedua sampel sudah sesuai dengan ketentuan Bina Marga 2018 revisi 2 karena > 65 % dimana persentasi ruang kosong yang terisi oleh aspal dalam campuran agregat dan aspal yang telah dipadatkan diantara rongga-rongga antara agregat harus > 65 %. Pada grafik 3.14 *void filled with asphalt* di atas untuk rata-rata dari ketiga lama rendaman, untuk lama genangan 5 jam dengan nilai 79,66 % dan 10 jam mengalami penurunan dengan nilai 77,89 %, yang memenuhi dalam ketentuan Bina Marga 2018 revisi 2 yang telah ditetapkan sebesar >65 %. Maka sampel 5 jam, dan sampel 10 sudah memenuhi syarat.

6. *Void Mineral Aggregate* (VMA)

$$\begin{aligned} \text{VMA} &= 100 - j \\ \text{Sampel 1} &= \text{Uji penetrasi (uji belah)} \\ \text{Sampel 2} &= 100 - 85,66 \\ &= 14,34 \% \\ \text{Sampel 3} &= 100 - 87,98 \\ &= 12,02 \% \\ \text{Rata - rata} &= \frac{13,34+12,02}{2} \\ &= 13,18 \% \end{aligned}$$

Dalam hasil perhitungan *Void Mineral Aggregate* (VMA) di atas, tergambar pengaruh durasi rendaman air laut di selama 5 jam, dan 10 jam. Grafik yang mencerminkan hal ini dapat ditemukan pada **Gambar 3.15** di bawah.



Gambar 3. 15 Grafik Void Mineral Aggregate (VMA)

Berdasarkan data hasil pengujian *VMA* yang terdapat dalam **Tabel 3.11** dengan durasi genangan air laut selama 5 jam, dapat dilihat bahwa nilai *void mineral aggregate* pada sampel 1 diuji penetrasi (Uji belah), sampel 2 dengan nilai 14,34%, dan sampel 3 dengan nilai sekitar 12,02 %. Rata-rata dari ketiga sampel tersebut adalah 13,18%, berarti tidak sesuai dengan standar Bina Marga 2018 revisi 2 yang mengharuskan nilai void lebih dari 16%. Dikarenakan terdapat rongga pada sampel 1 dan sampel 3 tidak memenuhi standar karena nilai *j* (lihat lampiran 1) lebih besar, mengakibatkan nilai *VMA* pada keduanya kurang dari 16%. Dalam Gambar 3.15, terlihat bahwa rata-rata *void mineral aggregate* untuk durasi genangan 5 jam adalah 14,60 % tidak memenuhi persyaratan Bina Marga 2018 revisi 2 (>16%), sedangkan pada durasi 10 jam mengalami peningkatan menjadi 13,50 % tetap tidak juga memenuhi persyaratan Bina Marga 2018 revisi 2 (>16%).

7. **Density**

$$\begin{aligned}
 \text{Density} &= \frac{c}{f} \\
 &= \frac{\text{Berat Kering (gr)}}{\text{Volume isi (gr)}}
 \end{aligned}$$

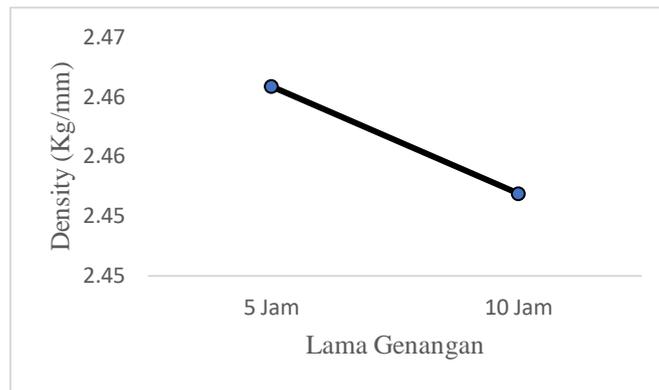
Sampel 1 Uji penetrasi (uji belah)

$$\text{Sampel 2} = \frac{1197}{493} = 2,43 \text{ kg/mm}$$

$$\text{Sampel 3} = \frac{1192}{478} = 2,49 \text{ kg/mm}$$

$$\text{Rata - rata} = \frac{2,43+2,49}{2} = 2,46 \text{ kg/mm}$$

Berdasarkan hasil perhitungan density di atas dapat dilihat pengaruh lama genangan air laut selama 5 jam. Berikut adalah **Gambar 3.16** grafik density dengan lama rendaman 5 jam, dan 10 jam.



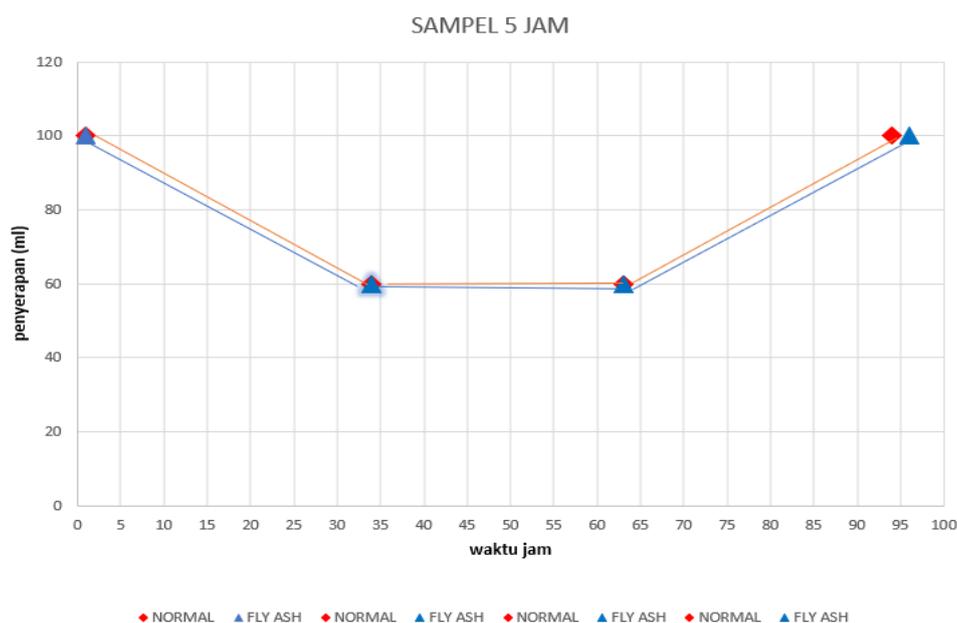
Gambar 3. 16 Grafik *Density*

Berdasarkan data yang terdapat dalam **Tabel 3.11** dan **Gambar 3.16**, hasil pengujian *density* menunjukkan nilai untuk sampel 1 diuji penetrasi (Uji belah), sampel 2 dengan durasi genangan selama 5 jam dengan nilai 2,43 Kg/mm, dan sampel 3 memiliki nilai 2,46 kg/mm. Rata-rata nilai *density* dari kedua sampel tersebut adalah 2,46 kg/mm, sesuai dengan standar Bina Marga 2018 Revisi 2 yang mensyaratkan nilai >2 gr. Pada Grafik 3.16 terlihat bahwa nilai *density* kedua sampel mengalami perubahan; pada durasi genangan 5 jam, terjadi peningkatan, sementara pada durasi genangan 10 jam, terjadi penurunan. *Density* yang tinggi menunjukkan kemampuan lebih baik dalam menahan beban yang berat, berbeda dengan nilai densitas yang rendah, seperti yang terlihat pada sampel dengan durasi genangan 10 jam dalam Grafik 3.16. Penting untuk dicatat bahwa keduanya memenuhi persyaratan ketentuan nilai densitas, yaitu >2 gr.

3.3.3 Hasil Pengujian Penetrasi (Uji Belah)

Pengujian penetrasi air laut, atau uji belah terhadap sampel aspal tipe AC-WC, merupakan aspek penting dalam mengevaluasi respons material terhadap lingkungan yang agresif. Melalui pengujian ini, sampel aspal diuji terhadap penetrasi air laut untuk menilai sejauh mana kemampuannya untuk melindungi perkerasan jalan dari dampak korosif lingkungan laut. Hasil uji belah ini memberikan wawasan tentang tingkat ketahanan aspal terhadap penetrasi air laut, yang dapat memberikan indikasi tentang performa jangka panjang perkerasan di daerah yang terpapar oleh lingkungan pesisir. Maka data yang sudah didapatkan tersebut dapat dilihat pada **Gambar 3.17**.

1. Pengujian penterasi air laut (Uji belah) pada sampel 5 jam



Gambar 3. 17 Grafik Pengujian Penetrasi Air Laut

Berikut adalah penjelasan penyerapan air laut pada sampel durasi waktu 5 jam di bawah ini :

- Pada hari pertama sampel normal mengalami penyerapan air sebesar 100 ml, sampel fly ash mengalami penyerapan sebesar 100 ml.
- Pada hari kedua sampel normal mengalami penyerapan air sebesar 70 ml, sampel fly ash mengalami penyerapan sebesar 70 ml.
- Pada hari ketiga sampel normal mengalami penyerapan air sebesar 60 ml, sampel fly ash mengalami penyerapan sebesar 60 ml.
- Pada hari keempat sampel normal mengalami penyerapan air sebesar 100 ml, sampel fly ash mengalami penyerapan sebesar 100 ml.



Gambar 3. 18 Pengujian Penetrasi Air Laut (Uji Belah) Filler Fly Ash

Ini adalah sampel dengan filler abu batu yang di uji belah untuk melihat seberapa banyak air asin mempengaruhi kondisi didalam sampel aspal jika digenangi selama 5 jam.



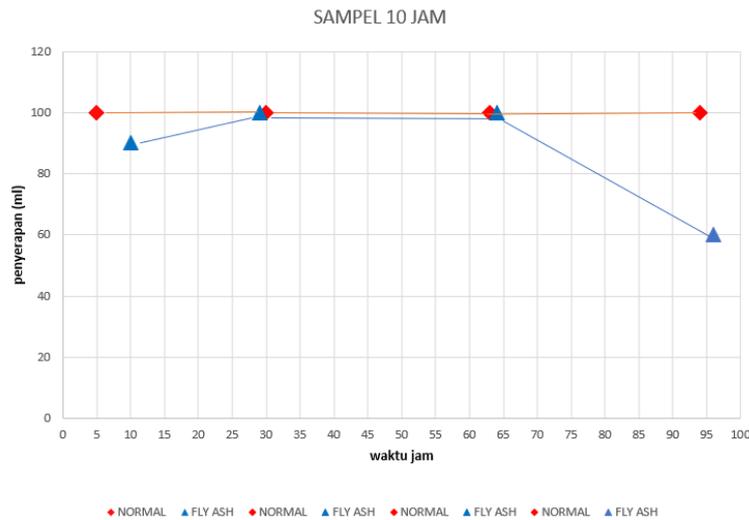
Gambar 3. 19 Pengujian Penetrasi Air Laut (Uji Belah) Filler Normal/Abu Batu

Ini adalah contoh sampel dengan filler fly ash yang di uji belah untuk melihat seberapa banyak air asin mempengaruhi kondisi didalam sampel aspal jika digenangi selama 5 jam.

Berdasarkan analisis data yang terdapat dalam Gambar Grafik 3.17, hasil pengujian penetrasi air laut filler fly ash. Dihari pertama penyerapan air pada sampel waktu genangan 5 jam yaitu 100 ml. di hari kedua sampel filler fly ash mengalami penurunan penyerapan air sebesar 60 ml jadi ada proses pengeringan pada sampel tersebut, di hari ketiga sampel filler fly ash penyerapan masih sama seperti hari kedua penyerapan sebesar 60 ml, di hari ke empat sampel filler fly ash mengalami kenaikan yang sangat signifikan sebesar 100 jadi terdapat penyerapan keberlanjutan pada sampel.

Berdasarkan analisis data yang terdapat dalam Gambar Grafik 3.17, hasil pengujian penetrasi air laut filler normal/abu batu. Dihari pertama penyerapan air pada sampel waktu genangan 5 jam yaitu 100 ml berarti penyerapan full pada sampel, di hari kedua sampel filler normal/abu batu mengalami penurunan penyerapan air sebesar 60 ml jadi ada proses pengeringan pada sampel tersebut, di hari ketiga sampel filler normal/abu batu mengalami penyerapan tetap sebesar 60 ml, di hari ke empat sampel filler normal/abu batu mengalami kenaikan sebesar 100 ml berarti ada proses penyerapan pada sampel tersebut.

2. Pengujian penterasi air laut (Uji belah) pada sampel 10 jam



Gambar 3. 20 Grafik Pengujian Penetrasi Air Laut

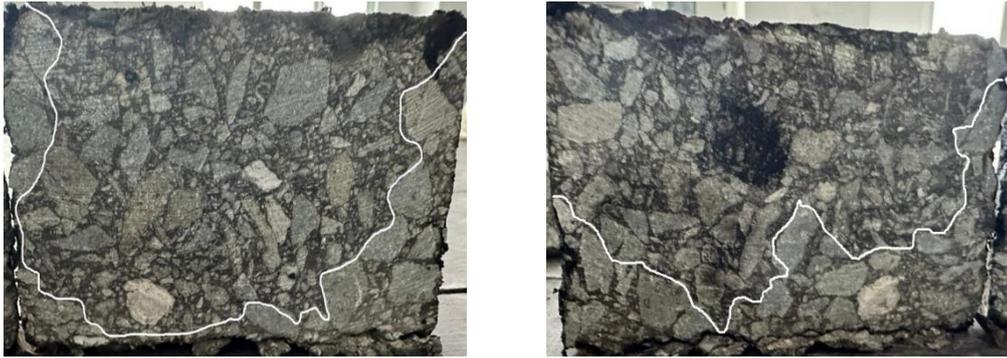
Berikut adalah penjelasan penyerapan air laut pada sampel durasi waktu 10 jam di bawah ini:

- Pada hari pertama sampel normal mengalami penyerapan air sebesar 100 ml, sampel fly ash mengalami penyerapan sebesar 90 ml.
- Pada hari kedua sampel normal mengalami penyerapan air sebesar 100 ml, sampel fly ash mengalami penyerapan sebesar 100 ml.
- Pada hari kedua sampel normal mengalami penyerapan air sebesar 100 ml, sampel fly ash mengalami penyerapan sebesar 100 ml.
- Pada hari kedua sampel normal mengalami penyerapan air sebesar 100 ml, sampel fly ash mengalami penyerapan sebesar 60 ml.



Gambar 3. 21 Grafik Pengujian Penetrasi Air Laut (Uji belah) *Filler Fly Ash*

Ini adalah sampel dengan filler normal/abu batu yang di uji belah untuk melihat seberapa banyak air asin mempengaruhi kondisi didalam sampel aspal jika digenangi selama 10 jam.



Gambar 3.22 Grafik Pengujian Penetrasi Air Laut (Uji belah) *Filler normal*

Berdasarkan analisis data yang terdapat dalam Gambar Grafik 3.20, hasil pengujian penetrasi air laut filler fly ash. Dihari pertama penyerapan air pada sampel waktu genangan 10 jam yaitu 90 ml. di hari kedua sampel filler Fly Ash mengalami kenaikan penyerapan air sebesar 100 ml jadi ada proses penyerapan full pada sampel, di hari ketiga sampel filler Fly Ash mengalami hal yang sama penyerapan dengan nilai sebesar 100 ml jadi tidak ada penyerapan lebih di hari ke ketiga, di hari ke empat sampel filler Fly Ash mengalami penurunan penyerapan dengan nilai sebesar 60 ml berarti terdapat pengeringan pada sampel tersebut,

Berdasarkan analisis data yang terdapat dalam Gambar Grafik 3.20, hasil pengujian penetrasi air laut filler normal/abu batu. Dihari pertama penyerapan air pada sampel waktu genangan 10 jam yaitu 100 ml berarti penyerapan full pada sampel, di hari kedua sampel filler normal/abu batu mengalami penyerapan air sebesar 100 ml, di hari ketiga sampel filler normal/abu batu mengalami penyerapan tetap sebesar 100 ml, di hari ke empat sampel filler normal/abu batu mengalami penyerapan tetap sebesar 100 ml berarti tidak ada proses pengeringan pada sampel dari hari pertama sampai hari ke empat.