

BAB IV

ANALISA DAN HASIL PEMBAHASAN

4.1 Pemeriksaan Mutu Bahan

Penelitian ini memanfaatkan agregat kasar, agregat halus, serta aspal produksi Pertamina sebagai bahan utama. Secara spesifik, digunakan aspal Pertamina dengan tingkat penetrasi 60/70 yang bersumber dari Laboratorium Bahan Konstruksi ITN Malang. Sementara itu, untuk substitusi agregat, peneliti menggunakan material lokal berupa batu pecah yang diperoleh langsung dari wilayah Kecamatan Alak, Kota Kupang.

4.2 Pengujian Agregat

4.2.1 Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus dan Kasar Untuk Material Agregat Batu Karang (SNI ASTM C136 : 2021)

Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan pembagian butir (gradasi) agregat halus dan agregat kasar dengan menggunakan saringan.



Gambar 4. 1 Analisa saringan

Sumber : Dokumentasi Penelitian

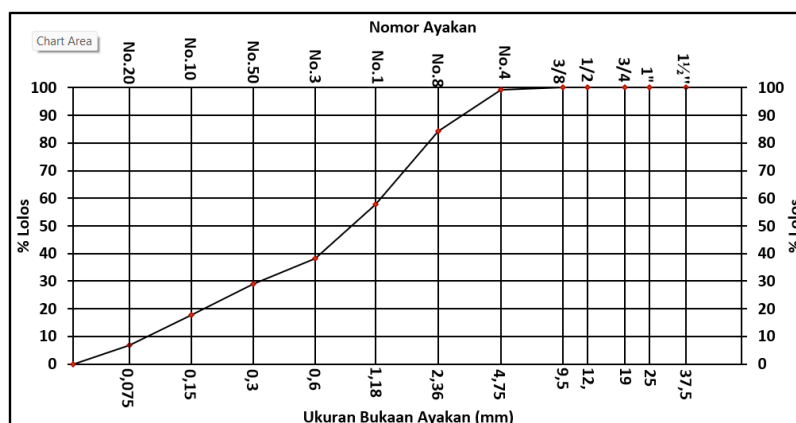
Pemeriksaan Analisa Saringan dimulai dengan pengambilan sampel agregat, sampel dikeringkan dalam oven dengan suhu $\pm 110^{\circ}\text{C}$ selama beberapa jam hingga mencapai berat konstan. Selanjutnya sampel ditimbang sesuai kebutuhan, dan berat awal dicatat sebagai acuan. Setelah itu, satu set saringan bertingkat (ukuran 0,075 mm-12,5 mm) disiapkan dan disusun sesuai urutan standar. Kemudian sampel agregat dituangkan ke dalam saringan paling atas, dan seluruh

set saringan digoyang secara manual selama kurang lebih 10 menit agar material tersaring secara optimal. Setelah penyaringan selesai, material yang tertahan pada masing-masing saringan dikumpulkan dan ditimbang dan dicatat sebagai berat fraksi tertahan pada tiap ukuran saringan. Penjumlahan seluruh berat fraksi harus mendekati berat awal sampel, sebagai bentuk pengecekan keakuratan. Langkah berikutnya yaitu menghitung persentase tertahan dan persentase lolos kumulatif berdasarkan data berat masing-masing fraksi. Hasil pengujian analisa saringan yaitu agregat kasar, sedang dan halus dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 4. 1 Analisa Saringan Agregat 0 – 5

Ukuran saringan	Berat tertahan (gram)	Kumulatif (gram)	Prosentase	
			tertahan	Lolos
19 mm (3/4")	0,0	0,00	0,00	100,00
12,5 mm (1/2")	0,0	0,00	0,00	100,00
9,5 mm (3/8")	0,0	0,00	0,00	100,00
4,75 mm (No. 4)	17,4	17,40	0,93	99,072
2,36 mm (No. 8)	306,3	323,70	17,27	82,73
1,18 mm (No. 16)	561,5	885,20	47,22	52,777
0,6 mm (No. 30)	330,0	1215,20	64,83	35,17
0,28 mm (No. 50)	158,9	1374,10	73,30	26,695
0,15 mm (No. 100)	212,4	1586,50	84,64	15,364
0,075 mm (No. 200)	222,3	1808,80	96,50	3,50
p a n	65,7	1874,50	100,00	0,00
Total berat	8174,50			

Sumber: Hasil Penelitian



Gambar 4. 2 Grafik Analisa Saringan Agregat 0 – 5

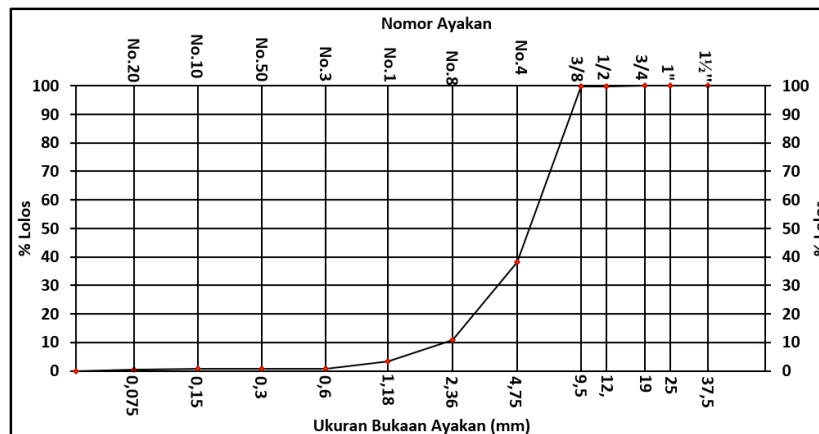
Sumber: Hasil Penelitian

Berdasarkan tabel dan grafik di atas dapat dilihat bahwa Analisa saringan agregat 0-5 memenuhi spesifikasi yang disyaratkan Kementerian Pekerjaan Umum Bina Marga 2018 dimana ukuran ayakan maksimum pada lolos saringan No. 200 10%.

Tabel 4. 2 Analisa Saringan Agregat 5 - 10

Ukuran saringan	Berat tertahan (gram)	Kumulatif (gram)	Prosentase	
			tertahan	Lolos
19 mm (3/4")	0,0	0,00	0,00	100,00
12,5 mm (1/2")	13,6	13,60	0,33	99,67
9,5 mm (3/8")	12,2	25,80	0,63	99,37
4,75 mm (No. 4)	1911,6	1937,40	47,55	52,45
2,36 mm (No. 8)	1303,4	3240,80	79,55	20,45
1,18 mm (No. 16)	566,1	3806,90	93,44	6,56
0,6 mm (No. 30)	213,8	4020,70	98,69	1,31
0,28 mm (No. 50)	5,5	4026,20	98,82	1,18
0,15 mm (No. 100)	7,0	4033,20	99,00	1,00
0,075 mm (No. 200)	7,8	4041,00	99,19	0,81
p a n	33,1	4074,10	100,00	0,00
Total berat	4074,10			

Sumber: Hasil Penelitian



Gambar 4. 3 Grafik Analisa Saringan Agregat 5 – 10

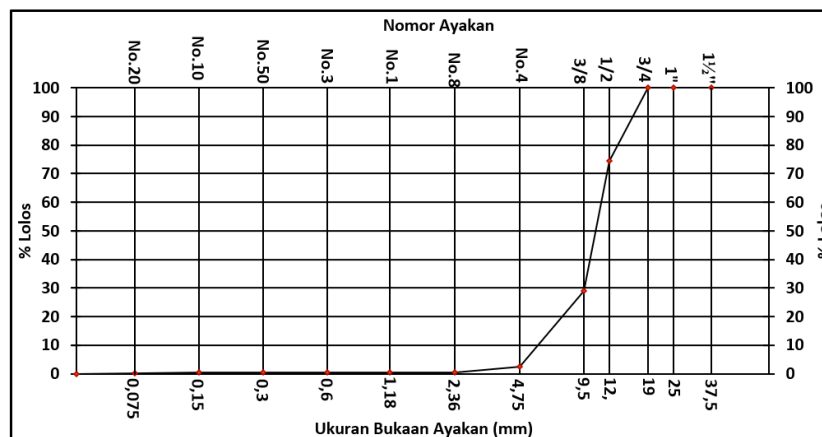
Sumber: Hasil Penelitian

Berdasarkan tabel dan grafik di atas dapat dilihat bahwa Analisa saringan agregat 5-10 memenuhi spesifikasi yang disyaratkan Kementerian Pekerjaan Umum Bina Marga 2018 dimana ukuran ayakan maksimum pada lolos saringan No. 200 1%.

Tabel 4. 3 Analisa Saringan Agregat 10 - 10

Ukuran saringan	Berat tertahan (gram)	Kumulatif (gram)	Prosentase	
			tertahan	Lolos
19 mm (3/4")	0,0	0,00	0,00	100,00
12,5 mm (1/2")	987,4	987,40	32,25	67,75
9,5 mm (3/8")	710,7	1698,10	55,47	44,53
4,75 mm (No. 4)	1213,9	2912,00	95,12	4,883
2,36 mm (No. 8)	123,4	3035,40	99,15	0,85
1,18 mm (No. 16)	1,7	3037,10	99,20	0,797
0,6 mm (No. 30)	0,5	3037,60	99,22	0,78
0,28 mm (No. 50)	0,7	3038,30	99,24	0,758
0,15 mm (No. 100)	2,0	3040,30	99,31	0,692
0,075 mm (No. 200)	8,2	3048,50	99,58	0,42
p a n	13,0	3061,50	100,00	0,00
Total berat	3061,50			

Sumber: Hasil Penelitian



Gambar 4. 4 Grafik Analisa Saringan Agregat 10 – 10

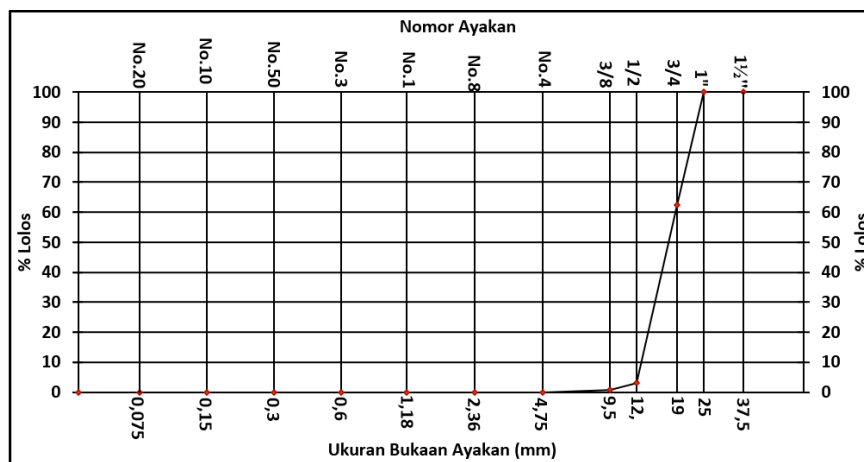
Sumber: Hasil Penelitian

Berdasarkan tabel dan grafik di atas dapat dilihat bahwa Analisa saringan agregat 10-10 memenuhi spesifikasi yang disyaratkan Kementerian Pekerjaan Umum Bina Marga 2018 dimana ukuran ayakan maksimum pada lolos saringan No. 200 1%.

Tabel 4. 4 Analisa Saringan Agregat 10 - 20

Ukuran saringan	Berat tertahan (gram)	Kumulatif (gram)	Prosentase	
			tertahan	Lolos
25 mm (1")	0,0	0,00	0,00	100,000
19 mm (3/4")	12784,5	12784,50	64,33	35,667
12,5 mm (1/2")	5948,0	18732,50	94,26	5,737
9,5 mm (3/8")	1056,0	19788,50	99,58	0,423
4,75 mm (No. 4)	54,0	19842,50	99,85	0,151
2,36 mm (No. 8)	9,5	19852,00	99,90	0,103
1,18 mm (No. 16)	5,5	19857,50	99,92	0,075
0,6 mm (No. 30)	3,5	19861,00	99,94	0,058
0,28 mm (No. 50)	2,5	19863,50	99,95	0,045
0,15 mm (No. 100)	4,0	19867,50	99,97	0,025
0,075 mm (No. 200)	2,5	19870,00	99,99	0,013
p a n	2,5	19872,50	100,00	0,000
Total berat	19872,50			

Sumber: Hasil Penelitian



Gambar 4. 5 Grafik Analisa Saringan Agregat 10 – 20

Sumber: Hasil Penelitian

Berdasarkan tabel dan grafik di atas dapat dilihat bahwa Analisa saringan agregat 10-20 memenuhi spesifikasi yang disyaratkan Kementerian Pekerjaan Umum Bina Marga 2018 dimana ukuran ayakan maksimum pada lolos saringan No. 200 1%.

Berdasarkan hasil pengujian, karakteristik agregat kasar dan halus telah sesuai dengan standar spesifikasi Bina Marga 2018. Parameter ambang batas material yang lolos saringan No. 200 ditentukan maksimal 1% untuk agregat kasar dan 10% untuk agregat halus. Data uji menunjukkan bahwa persentase lolos saringan No. 200 untuk agregat kasar adalah 0%, sementara agregat halus mencapai 5,52%, sehingga keduanya dinyatakan memenuhi syarat.

Penggunaan agregat dengan kadar material lolos saringan No. 200 yang berlebihan dapat menurunkan mutu campuran aspal beton. Menurut Sukirman (2016), kondisi ini terjadi karena partikel halus menyelimuti permukaan agregat kasar, yang kemudian memperlemah adhesi antara agregat dan aspal sehingga ikatan antar keduanya mudah terlepas. Data dari hasil analisis saringan terhadap agregat kasar, sedang, dan halus ini selanjutnya akan diolah dalam *Mix Design* untuk menentukan formulasi campuran yang optimal.

4.2.2 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat

Dalam pemeriksaan ini untuk melakukan Pengujian berat jenis (Bluk Specific Gravity), berat jenis kering permukaan jenuh (SSD – Saturated Surface Dry), berat jenis semu (Apparent Density) dan penyerapan (Absorpsi) dari agregat kasar.

- a. Berat jenis bulk atau (Bulk Specific Gravity) adalah perbandingan berat jenis suatu material dengan berat jenis air pada kondisi tertentu. Dalam konteks agregat atau material padat lainnya, (Bulk Specific Gravity) mengacu pada berat jenis material tersebut dibandingkan dengan berat jenis air pada kondisi tertentu.
- b. Berat jenis (SSD - Saturated Surface Dry) adalah berat jenis agregat pada kondisi di mana permukaannya telah jenuh dengan air, tetapi tidak ada air yang menempel secara bebas pada permukaan agregat. Kondisi ini adalah saat agregat telah menyerap air sebanyak mungkin tanpa adanya air yang menggantung atau mengalir di atasnya.
- c. Berat jenis semu (Apparent Density) adalah ukuran dari berat jenis agregat yang dihitung berdasarkan volume total agregat, termasuk ruang pori atau rongga di antara partikel agregat. Istilah "semu" digunakan karena pengukuran ini tidak

memperhitungkan ruang pori atau rongga dalam agregat, sehingga menunjukkan berat jenis agregat secara keseluruhan tanpa memisahkan rongga di antara partikel.

- d. Penyerapan (absorpsi) dari agregat kasar adalah kemampuan agregat untuk menyerap air. Ini merupakan perbedaan antara berat agregat dalam keadaan kering dan berat agregat saat terendam dalam air atau setelah proses perendaman tertentu.



Gambar 4. 6 Proses Pemeriksaan Berat Jenis Agregat

Sumber : Dokumentasi Penelitian

Pemeriksaan berat jenis agregat dimulai dengan menyiapkan sampel agregat yang telah dicuci dan dikeringkan sebagian (permukaan jenuh atau SSD). Untuk agregat halus, biasanya menggunakan keranjang kawat dan bejana ukur (pycnometer). Sampel pasir ditimbang dalam kondisi SSD, kemudian dimasukkan ke dalam piknometer yang telah berisi air, dan dilakukan penimbangan kembali. Setelah itu, agregat dikeringkan sepenuhnya dalam oven hingga mencapai berat kering mutlak, dan ditimbang ulang. Data ini digunakan untuk menghitung berat jenis kering (oven dry), berat jenis SSD, dan berat jenis semu (apparent specific gravity). Sedangkan untuk agregat kasar, sampel direndam air selama 24 jam, ditiriskan sampai permukaan kering lalu ditimbang dalam keadaan SSD, kemudian ditimbang juga dalam air, dan dikeringkan dalam oven untuk mendapatkan berat kering. Untuk pengujian kadar air, langkahnya dimulai dengan mengambil sampel agregat dan ditimbang dalam kondisi lembab atau alami dari lapangan (berat

basah). Sampel kemudian dikeringkan dalam oven bersuhu $\pm 110\text{ }^{\circ}\text{C}$ selama 24 jam hingga beratnya konstan. Kemudian ditimbang kembali untuk memperoleh berat kering. Hasil pengujian berat jenis dan serapan agregat kasar dapat dijelaskan pada tabel berikut:

Tabel 4. 5 Berat Jenis Agregat 0 – 5 AASTHO T – 84 – 81

URAIAN		I	II	Rata-rata
Berat contoh kering oven	Bk	489,68	487,38	488,53
Berat contoh kering permukaan jenuh	Bj	500,06	500,09	500,08
Berat piknometer diisi air pada 25oC	B	667,04	647,21	657,13
Berat piknometer + contoh + air (25oC)	Bt	978,74	958,55	968,65
Berat Jenis (bulk)	$\frac{Bk}{(B + B_j - B_t)}$	2,60	2,58	2,59
Berat jenis kering permukaan jenuh	$\frac{B_j}{(B + B_j - B_t)}$	2,65	2,65	2,65
Berat jenis semu (apparent)	$\frac{Bk}{(B + B_k - B_t)}$	2,75	2,77	2,76
Penyerapan (absorpsi)	$\frac{B_j - B_k}{B_k} \times 100\%$	2,12%	2,61%	2,36%

Sumber: Hasil Pengujian

Berdasarkan tabel di atas Berat Jenis Agregat 0 – 5 AASTHO T – 84 – 81 yang dapat dilihat pada lampiran, maka untuk berat jenis dan penyerapan Agregat 0 – 5 diperoleh rata – rata kedua sample untuk berat jenis sebesar 2,59 dan penyerapan sebesar 2,36 %. Maka dari pengujian tersebut memenuhi syarat untuk berat jenis $> 2,5$ dan penyerapan < 3 . Berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018, (Revisi 2) 6 – 36, SNI 1969:2016, SNI 1970:2016.

Tabel 4. 6 Berat Jenis Agregat 5 – 10 AASTHO T – 85 – 81

URAIAN		I	II	Rata-rata
Berat contoh kering oven	Bk	2794,4	2552	2673,2
Berat contoh kering permukaan jenuh	Bj	2864,4	2613	2738,7
Berat contoh di dalam air	Ba	1803,5	1648,1	1725,8
Berat Jenis (bulk)	$\frac{Bk}{Bj - Ba}$	2,63	2,64	2,64
Berat jenis kering permukaan jenuh	$\frac{Bj}{Bj - Ba}$	2,70	2,71	2,70
Berat jenis semu (apparent)	$\frac{Bk}{Bk - Ba}$	2,82	2,82	2,82
Penyerapan (absorpsi)	$\frac{Bj - Bk}{Bk} \times 100 \%$	2,51%	2,39%	2,45%

Sumber: Hasil Pengujian

Berdasarkan tabel di atas Berat Jenis Agregat 5 – 10 AASTHO T – 85 – 81 yang dapat dilihat pada lampiran, untuk berat jenis dan serapan Agregat 5– 10 rata-rata kedua sampel untuk berat jenis 2,64 dan serapan 2,45%. Jadi pengujian ini memenuhi syarat berat jenis > 2,5 dan serapan < 3. Berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018, (Revisi 2) 6 – 36, SNI 1969:2016, SNI 1970:2016.

Tabel 4. 7 Berat Jenis Agregat 10 – 10 AASTHO T – 85 – 81

URAIAN		I	II	Rata-rata
Berat contoh kering oven	Bk	3321,5	3235	3278,25
Berat contoh kering permukaan jenuh	Bj	3381,1	3292	1668,275
Berat contoh di dalam air	Ba	2134,7	2080,3	2107,5
Berat Jenis (bulk)	$\frac{Bk}{Bj - Ba}$	2,66	2,67	2,67
Berat jenis kering permukaan jenuh	$\frac{Bj}{Bj - Ba}$	2,71	2,72	2,71
Berat jenis semu (apparent)	$\frac{Bk}{Bk - Ba}$	2,80	2,80	2,80
Penyerapan (absorpsi)	$\frac{Bj - Bk}{Bk} \times 100 \%$	1,79%	1,76%	1,78%

Sumber: Hasil Pengujian

Berdasarkan tabel di atas Berat Jenis Agregat 10 – 10 AASTHO T – 85 – 81 yang dapat dilihat pada lampiran, untuk berat jenis dan serapan Agregat 10 – 10 rata-rata kedua sampel untuk berat jenis 2,67 dan serapan 1,78%. Jadi pengujian ini memenuhi syarat berat jenis > 2,5 dan serapan < 3. Berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018, (Revisi 2) 6 – 36, SNI 1969:2016, SNI 1970:2016.

Tabel 4. 8 Berat Jenis Agregat 10 – 20 AASTHO T – 85 – 81

URAIAN		I	II	Rata-rata
Berat contoh kering oven	B _k	4931,5	4928,8	4930,15
Berat contoh kering permukaan jenuh	B _j	5001,4	5000,3	5000,85
Berat contoh di dalam air	B _a	3108	3111,8	3109,90
Berat Jenis (bulk)	$\frac{B_k}{B_j - B_a}$	2,60	2,61	2,61
Berat jenis kering permukaan jenuh	$\frac{B_j}{B_j - B_a}$	2,64	2,65	2,64
Berat jenis semu (apparent)	$\frac{B_k}{B_k - B_a}$	2,70	2,71	2,71
Penyerapan (absorpsi)	$\frac{B_j - B_k}{B_k} \times 100 \%$	1,42%	1,45%	1,43%

Sumber: Hasil Pengujian

Berdasarkan tabel di atas Berat Jenis Agregat 10 – 20 AASTHO T – 85 – 81 yang dapat dilihat pada lampiran, untuk berat jenis dan serapan Agregat 10 – 20 rata-rata kedua sampel untuk berat jenis 2,61 dan serapan 1,43%. Jadi pengujian ini memenuhi syarat berat jenis > 2,5 dan serapan < 3. Berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018, (Revisi 2) 6 – 36, SNI 1969:2016, SNI 1970:2016.

4.2.3 Pengujian Keausan Agregat dengan Menggunakan Alat Abrasi Los Angeles (SNI 2417-2008)



Gambar 4. 7 Proses Pemeriksaan Keausan Agregat

Sumber : Dokumentasi Penelitian

Pengujian abrasi dilakukan untuk menentukan ketahanan suatu material terhadap keausan permukaan akibat gesekan atau penggesekan. Prosedur umumnya melibatkan penggunaan alat uji seperti mesin Los Angeles (LA) untuk agregat kasar, atau mesin abrasi Böhme/Taber untuk material lain, di mana sampel material yang telah disiapkan dan ditimbang akan dikenai aksi penggesekan standar oleh media abrasi (misalnya bola baja atau roda berputar) selama jumlah putaran atau waktu yang telah ditentukan. Setelah pengujian selesai, sampel dibersihkan dan ditimbang kembali. Persentase abrasi atau kehilangan massa dihitung berdasarkan perbedaan berat sebelum dan sesudah pengujian, yang kemudian digunakan untuk menilai kualitas dan kesesuaian material tersebut, terutama dalam aplikasi konstruksi jalan atau lantai industri.

Pengujian ini untuk menentukan ketahanan agregat kasar yang lebih kecil dari 37,5 mm (1 1/2") terhadap keausan menggunakan alat Los Angeles. Hitungan persentase kehilangan berat alat Los Angeles dengan rumus:

$$\text{Nilai Keausan Los Angeles} = \frac{a-b}{a} \times 100 \%$$

Keterangan:

A = berat uji awal (gram)

B = berat benda uji tertahan di saringan No. 12 dan No. 4 (gram)

Hasil dari pengujian Keausan Agregat dengan Menggunakan Alat Abrasi Los Angeles 100 Putaran dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4. 9 Pengujian agregat menggunakan alat Los Angeles 100 Putaran

Gradasi pemeriksaan		B (fraksi 10 - 10 mm)			
Saringan		I		II	
Lolos	tertahan	Berat sebelum	Berat sesudah	Berat sebelum	Berat sesudah
76,20 mm (3")	63,50 mm (2,5")				
63,50 mm (2,5")	50,80 mm (2")				
50,80 mm (2")	37,50 mm (1,5")				
37,50 mm (1,5")	25,40 mm (1")				
25,40 mm (1")	19,00 mm (3/4")				
19,00 mm (3/4")	12,50 mm (1/2")	2500,5		2500,5	
12,50 mm (1/2")	9,50 mm (3/8")	2500,5		2500,5	
9,50 mm (3/8")	6,30 mm (1/4")	2500,5		2500,5	
6,30 mm (1/4")	4,75 mm (No. 4)				
4,75 mm (No. 4)	2,38 mm (No. 8)				
Jumlah berat		5001		5001	
Berat tertahan saringan no 12		-	4634,5	-	4634,5
No. sampel		I		II	
A	Berat benda uji semula	5001,0 gr		5001,0 gr	
B	Berat tertahan saringan No.12	4634,5 gr		4634,5 gr	
C	Keausan : $\frac{a-b}{a} \times 100 \%$	7,33		7,33	
Rata - rata keausan		7,33			
Catatan					
:					
Keausan = 7,33% ≤ 8 %					

Sumber: Hasil Pengujian

Nilai Keausan Alat Los Angeles = $(5006,7 - 4668,5 / 5006,7) \times 100 \% = 7,33 \%$ Hasil dari pengujian keausan alat los angeles didapat nilai sebesar 7,33 % Dengan demikian hasil dari pengujian keausan alat Los Angeles telah memenuhi syarat ketahanan agregat kasar terhadap keausan karena kurang dari 8%. Hal ini menunjukkan bahwa agregat yang di periksa masih cukup untuk menahan gaya gesek yang di berikan agregat tersebut.

Hasil dari pengujian Keausan Agregat dengan Menggunakan Alat Abrasi Los Angeles 400 Putaran dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4. 10 Pengujian angregat menggunakan alat Los Angeles 400 Putaran

Gradasi pemeriksaan		B (fraksi 10 - 10 mm)			
Saringan		I		II	
Lolos	tertahan	Berat sebelum	Berat sesudah	Berat sebelum	Berat sesudah
76,20 mm (3")	63,50 mm (2,5")				
63,50 mm (2,5")	50,80 mm (2")				
50,80 mm (2")	37,50 mm (1,5")				
37,50 mm (1,5")	25,40 mm (1")				
25,40 mm (1")	19,00 mm (3/4")				
19,00 mm (3/4")	12,50 mm (1/2")	2500,5		2500,5	
12,50 mm (1/2")	9,50 mm (3/8")	2500,5		2500,5	
9,50 mm (3/8")	6,30 mm (1/4")				
6,30 mm (1/4")	4,75 mm (No. 4)				
4,75 mm (No. 4)	2,38 mm (No. 8)				
Jumlah berat		5001		5001	
Berat tertahan saringan no 12		-	3336,7	-	3336,7
No. sampel		I		II	
A	Berat benda uji semula	5001,0 gr		5001,0 gr	
B	Berat tertahan saringan No.12	3336,7 gr		3336,7 gr	
C	Keausan : $\frac{a-b}{a} \times 100 \%$	33,28		33,28	
Rata - rata keausan		33,28			
Catatan:					
Keausan = 33,28% ≤ 40 %					

Sumber: Hasil Pengujian

Nilai keausan alat Los Angeles = $(5006,7 - 3307,8 / 5006,7) \times 100\% = 33,28\%$
Hasil dari pengujian keausan alat los angeles didapat nilai sebesar 33,28% Dengan demikian hasil dari pengujian keausan alat Los Angeles telah memenuhi syarat ketahanan agregat kasar terhadap keausan karena kurang dari 40%. Hal ini menunjukkan bahwa agregat yang di periksa masih cukup untuk menahan gaya gesek yang di berikan agregat tersebut.

4.2.4 Hasil Pengujian Material Lolos Ayakan No.200 (SNI ASTM C117 : 2012)

Pengujian ini bertujuan untuk mengukur kadar material dalam agregat mineral yang melewati saringan No. 200 melalui metode pencucian. Proses pencucian ini memisahkan partikel lempung, butiran halus lainnya, serta zat terlarut dengan membandingkan bobot sampel sebelum dan sesudah pengujian. Seluruh rangkaian pengujian ini dilaksanakan di Laboratorium Institut Teknologi Nasional Malang.



Gambar 4. 8 Proses Pemeriksaan Material Lolos Ayakan No.200

Sumber : Dokumentasi Penelitian

Pengujian kadar bahan yang lolos saringan No. 200 (0,075 mm) pada agregat aspal, yang berfungsi sebagai penentu kebersihan, dilakukan dengan metode pencucian basah untuk memisahkan partikel halus secara efisien. Prosedur ini dimulai dengan mengeringkan dan menimbang sampel agregat (W1) hingga berat tetap, lalu dicuci dalam wadah besar dengan air bersih, diaduk atau diguncang kuat, kemudian air cucian yang mengandung partikel halus dituang melalui saringan No. 200 yang diletakkan di atas saringan No. 16. Proses pencucian diulang

sampai air yang lolos saringan No. 200 menjadi jernih. Selanjutnya, agregat yang tertinggal di saringan (agregat bersih) dikeringkan kembali dalam oven hingga berat tetap, dan persentase bahan lolos saringan No. 200 dihitung dari selisih berat awal dan berat akhir setelah pencucian, guna memastikan agregat memenuhi spesifikasi kadar debu/lumpur yang dipersyaratkan. Hasil pengujian Material Lolos Ayakan No.200 dapat dilihat pada tabel sebagai berikut :

Tabel 4. 11 Bahan lolos saringan No. 200 agregat halus (0 - 5)

Nomor test			I	II
Berat tempat	(W ₁)	(gram)	139,4	150,5
Berat tempat + contoh awal	(W ₂)	(gram)	894,8	908,6
Berat contoh awal	W ₃ = W ₁ - W ₂	(gram)	755,4	758,1
Data contoh setelah pencucian dengan air, kemudian dikeringkan dengan oven				
Berat tempat + contoh oven stlh cuci	(W ₄)	(gram)	831,6	845,8
Berat contoh oven	W ₅ = W ₄ - W ₁	(gram)	692,2	695,4
Jumlah bahan lewat saringan no. 200 $W_6 = \frac{W_3 - W_5}{W_3} \times 100\%$			8,37	8,28
Jumlah bahan lewat saringan no. 200 rata - rata %			8,32	

Sumber Hasil Pengujian

$$\text{Lolos No. 200 (A)} = \frac{B-A}{B} \times 100$$

Keterangan:

B = Massa contoh awal massa kering sebelum di cuci (gr)

C = Massa contoh akhir massa kering tertahan saringan No.200 setelah di cuci (gr)

Perhitungan bahan lolos ayakan No.200 agregat halus (0-5)

Sampel 1

$$\text{Lolos No.200 (A)} = \frac{755,4-692,2}{755,4} \times 100$$

$$\text{Lolos No.200 (A)} = 8,37\%$$

Sampel 2

$$\text{Lolos No.200 (A)} = \frac{758,1-695,4}{758,1} \times 100$$

$$\text{Lolos No.200 (A)} = 8,28\%$$

Hasil dari kedua sampel pengujian bahan material saringan No. 200 maka didapatkan nilai rata-ratanya adalah 8,32 % sehingga dari hasil tersebut telah memenuhi syarat yaitu untuk agregat halus < 10. Berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 (Revisi 2), SNI ASTM C117 : 2012.

Tabel 4. 12 Bahan lolos saringan No. 200 agregat halus (5 – 10)

Nomor test			I	II
Berat tempat	(W ₁)	(gram)	338,4	336,8
Berat tempat + contoh awal	(W ₂)	(gram)	1674,8	1680,5
Berat contoh awal	$W_3 = W_1 - W_2$	(gram)	1336,4	1343,7
Data contoh setelah pencucian dengan air, kemudian dikeringkan dengan oven				
Berat tempat + contoh oven stlh cuci	(W ₄)	(gram)	1661,7	1668,3
Berat contoh oven	$W_5 = W_4 - W_1$	(gram)	1323,3	1331,5
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;"> $W_6 = \frac{W_3 - W_5}{W_3} \times 100\%$ </div>			0,98	0,91
Jumlah bahan lewat saringan no. 200				
Jumlah bahan lewat saringan no. 200 rata - rata %			0,94	

Sumber: Hasil Pengujian

Perhitungan bahan lolos ayakan No.200 agregat halus (5-10)

Sampel 1

$$\text{Lolos No.200 (A)} = \frac{1336,4-1323,3}{1336,4} \times 100$$

$$\text{Lolos No.200 (A)} = 0,98\%$$

Sampel 2

$$\text{Lolos No.200 (A)} = \frac{1343,7-1331,5}{1343,7} \times 100$$

$$\text{Lolos No.200 (A)} = 0,91\%$$

Hasil dari kedua sampel pengujian bahan material saringan No. 200 maka didapatkan nilai rata-ratanya adalah 0,94 % sehingga dari hasil tersebut telah memenuhi syarat yaitu untuk agregat halus < 1. Berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 (Revisi 2), SNI ASTM C117: 2012.

Tabel 4. 13 Bahan lolos saringan No. 200 agregat halus (10 - 10)

Nomor test			I	II
Berat tempat	(W ₁)	(gram)	362,8	346,9
Berat tempat + contoh awal	(W ₂)	(gram)	2796,1	2924,0
Berat contoh awal	$W_3 = W_1 - W_2$	(gram)	2433,3	2577,1
Data contoh setelah pencucian dengan air, kemudian dikeringkan dengan oven				
Berat tempat + contoh oven stlh cuci	(W ₄)	(gram)	2781,9	2913,2
Berat contoh oven	$W_5 = W_4 - W_1$	(gram)	2419,1	2556,3
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;"> $W_6 = \frac{W_3 - W_5}{W_3} \times 100\%$ </div>			0,58	0,42
Jumlah bahan lewat saringan no. 200 rata - rata %			0,50	

Sumber: Hasil Pengujian

Perhitungan bahan lolos ayakan No.200 agregat halus (10-10)

Sampel 1

$$\text{Lolos No.200 (A)} = \frac{2433,3 - 2419,1}{2433,3} \times 100$$

$$\text{Lolos No.200 (A)} = 0,58\%$$

Sampel 2

$$\text{Lolos No.200 (A)} = \frac{2577,1 - 2556,3}{2577,1} \times 100$$

$$\text{Lolos No.200 (A)} = 0,42\%$$

Hasil dari kedua sampel pengujian bahan material saringan No. 200 maka didapatkan nilai rata-ratanya adalah 0,50 % sehingga dari hasil tersebut telah memenuhi syarat yaitu untuk agregat halus < 1. Berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 (Revisi 2), SNI ASTM C117 : 2012.

Tabel 4. 14 Bahan lolos saringan No. 200 agregat halus (10 - 20)

Nomor test			I	II
Berat tempat	(W ₁)	(gram)	338,4	336,9
Berat tempat + contoh awal	(W ₂)	(gram)	3005,5	3008,1
Berat contoh awal	$W_3 = W_1 - W_2$	(gram)	2667,1	2671,2
Data contoh setelah pencucian dengan air, kemudian dikeringkan dengan oven				
Berat tempat + contoh oven stlh cuci	(W ₄)	(gram)	2995,3	2999,7
Berat contoh oven	$W_5 = W_4 - W_1$	(gram)	2656,9	2662,8
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;"> Jumlah bahan lewat saringan no. 200 $W_6 = \frac{W_3 - W_5}{W_3} \times 100\%$ </div>			0,38	0,31
Jumlah bahan lewat saringan no. 200 rata - rata %			0,35	

Sumber: Hasil Pengujian

Perhitungan bahan lolos ayakan No.200 agregat halus (10-10)

Sampel 1

$$\text{Lolos No.200 (A)} = \frac{2667,1 - 2656,9}{2667,1} \times 100$$

$$\text{Lolos No.200 (A)} = 0,38\%$$

Sampel 2

$$\text{Lolos No.200 (A)} = \frac{2671,2 - 2662,8}{2671,2} \times 100$$

$$\text{Lolos No.200 (A)} = 0,31\%$$

Hasil dari kedua sampel pengujian bahan material saringan No. 200 maka didapatkan nilai rata-ratanya adalah 0,35 % sehingga dari hasil tersebut telah memenuhi syarat yaitu untuk agregat halus < 1. Berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 (Revisi 2), SNI ASTM C117 : 2012

4.2.5 Pengujian Gumpalan Lempung dan Butir-Butir Mudah Pecah dalam Agregat (SNI 03-4141-1996)

Pengujian ini dimaksudkan untuk mengukur kadar gumpalan serta butiran yang mudah hancur di dalam agregat. Proses pengujian berlangsung di Laboratorium Institut Teknologi Nasional Malang, dengan rincian data hasil pengujian yang disajikan dalam tabel berikut:

Tabel 4. 15 Hasil dari pengujian agregat (10 – 10)

Nomor test			I	II
Berat tempat + contoh awal	(W ₁)	(gram)	126,5	128,5
Berat tempat	(W ₂)	(gram)	731,8	730,5
Berat contoh awal	$W_3 = W_2 - W_1$	(gram)	605,3	602,0
Data contoh setelah pencucian dengan air, kemudian dikeringkan dengan oven				
Berat tempat + contoh oven stlh cuci	(W ₄)	(gram)	726,6	727,8
Berat contoh oven	$W_5 = W_4 - W_2$	(gram)	600,1	599,3
Jumlah bahan lewat saringan no. 200	$W = \frac{W_3 - W_5}{W_3} \times 100\%$		0,86	0,44
Jumlah bahan lewat saringan no. 200 rata - rata %			0,65	

Sumber: Hasil Pengujian

Rumus yang digunakan dalam perhitungan pengujian agregat adalah sebagai berikut:

$$P = \frac{W-R}{W} \times 100$$

Keterangan:

P = gumpalan lempung butiran – butiran mudah pecah dalam agregat

W = berat benda uji (gram)

R = berat kering oven yang telah tertahan pada setiap masing – masing ukuran saringan setelah dilakukan penyaringan basah (gram)

Perhitungan gumpalan lempung dan butiran mudah pecah dalam agregat (0-5):

Sampel I

$$P = \frac{W-R}{W} \times 100$$

$$P = \frac{603,1-597,9}{603,7} \times 100$$

$$P = 0,86\%$$

Sampel II

$$P = \frac{W-R}{W} \times 100$$

$$P = \frac{602,5-597,1}{602,5} \times 100$$

$$P = 0,44\%$$

Hasil dari pengujian kedua sampel gumpalan lempung dan butiran – butiran mudah pecah dalam agregat didapatkan nilai rata – rata 0,86 % dan 0,44 %, sehingga diperoleh nilai rata – rata 0,65 % Maka dari hasil pengujian tersebut telah memenuhi syarat yaitu ≤ 1 . Berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 (Revisi 2), SNI 03 - 4141 – 1996.

4.2.7 Hasil Pengujian Agregat

Berdasarkan serangkaian pengujian di Laboratorium Bahan Konstruksi, FTSP ITN Malang, agregat yang berasal dari Kabupaten Kota Kupang dinyatakan layak sebagai material campuran aspal AC-BC. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa material tersebut telah sesuai dengan standar Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018, dengan rincian data pengujian yang tersaji dalam tabel berikut :

Tabel 4. 16 Hasil Dari Pengujian Material Agregat

No.	Pengujian	Metode Pengujian	Syarat	Hasil	Satuan	Keterangan
1	Berat Jenis Agregat 0-5	SNI 1970 : 2008	$\geq 2,50$	2,59	-	Memenuhi
2	Penyerapan Agregat 0-5		≤ 3	2,36	%	Memenuhi
3	Gum. Lempung & Butir Mudah Pecah	SNI 03 - 4141 - 1996	≤ 1	0,65	%	Memenuhi
4	Material lolos ayakan No. 200 (0 - 5)	SNI ASTM C117 : 2012	≤ 10	8,32	%	Memenuhi
5	Berat Jenis Agregat 5-10		$\geq 2,50$	2,64	-	Memenuhi
6	Berat Jenis Agregat 10-10			2,67	-	Memenuhi
7	Berat Jenis Agregat 10-20			2,61	-	Memenuhi

8	Penyerapan Agregat 5-10	SNI 1969 : 2008	≤ 3	2,45	%	Memenuhi
9	Penyerapan Agregat 10-10			1,78	%	Memenuhi
10	Penyerapan Agregat 10-20			1,43	%	Memenuhi
11	Material lolos ayakan No. 200 (5 - 10)	ASTM C117 : 2012	≤ 1	0,94	%	Memenuhi
12	Material lolos ayakan No. 200 (10 - 10)			0,50	%	Memenuhi
13	Material lolos ayakan No. 200 (10 - 20)			0,35	%	Memenuhi
14	Abrasi 100 Putaran	SNI 2417 : 2008	≤ 8	7,33	%	Memenuhi
15	Abrasi 500 Putaran		≤ 40	33,28	%	Memenuhi

Sumber: Hasil Pengujian

Data pengujian material agregat menunjukkan performa yang prima dan telah memenuhi regulasi standar yang berlaku. Melalui serangkaian uji laboratorium, dipastikan bahwa seluruh karakteristik agregat mampu mendukung terciptanya campuran aspal dengan durabilitas tinggi. Evaluasi mendalam terhadap aspek kekuatan, distribusi ukuran partikel, serta stabilitas material mengonfirmasi ketahanan agregat dalam menghadapi beban struktur maupun fluktuasi kondisi lingkungan.

4.3 Pengujian Aspal

4.3.1 Pengujian Penetrasi Aspal

Pengujian ini bertujuan untuk mengukur nilai penetrasi aspal keras (padat atau semi-padat) dengan cara mengamati kedalaman masuknya jarum standar ke dalam sampel pada kondisi beban, durasi, dan temperatur yang telah ditentukan. Sampel yang diuji merupakan aspal produksi Pertamina dengan grade penetrasi 60/70, bertempat di Laboratorium Institut Teknologi Nasional Malang.



Gambar 4. 9 Proses Pengujian Penetrasi Aspal

Sumber : Dokumentasi Penelitian

Pengujian ini diawali dengan memanaskan aspal hingga cair (tidak lebih dari 90 °C di atas titik lelehnya) dan menuangkannya ke dalam cawan uji, kemudian didinginkan di udara ruang, dan direndam dalam bak air dengan suhu yang diatur secara ketat, umumnya 25 °C ± 0,1 °C, selama 1 hingga 1,5 jam. Setelah itu, sampel diletakkan di bawah alat penetrometer. Jarum standar dengan beban total 100 gram diturunkan hingga ujungnya menyentuh permukaan aspal. Lalu, jarum dilepaskan secara vertikal ke dalam aspal selama waktu yang ditentukan, yaitu 5 detik. Nilai penetrasi dibaca pada alat ukur dalam satuan 0,1 milimeter (dmm), dan pengujian diulang minimal tiga kali pada titik yang terpisah untuk mendapatkan nilai rata-rata yang merepresentasikan kekerasan aspal. Hasil dari pengujian Aspal dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 4. 17 Pengujian Penetrasi Bahan – Bahan Bitumen Sebelum Kehilangan Minyak

Persiapan contoh	Contoh dipanaskan	Pembacaan suhu aspal
	Mulai jam : 08.50 WIB	140 °C
	Selesai jam : 09.50 WIB	
Mencapai suhu pemeriksaan	Direndam pada suhu 25°C	Pembacaan suhu water bath
	Mulai jam : 11.00 WIB	

	Selesai jam : 12.30 WIB		25 °C		
Pemeriksaan	Penetrasi pada suhu 25°C		Pembacaan suhu termometer		
	Mulai jam : 12.30 WIB		25 °C		
	Selesai jam : 13.30 WIB				
Penetrasi pada 25°C dengan beban 100 gr, jangka waktu 5 detik :					
Pengamatan	1	2	3	4	5
Benda uji I	68	68	70	67	70
Benda uji II	69	68	69	70	66
Rata-rata	68,50				
Catatan :					
Rata-rata penetrasi = 68,50 (10 ⁻¹ mm)					

Sumber: Hasil Pengujian

Tabel 4. 18 Pengujian Penetrasi Bahan – Bahan Bitumen Sebelum Kehilangan Minyak

Mencapai suhu pemeriksaan	Direndam pada suhu 25°C		Pembacaan suhu water bath		
	Mulai jam : 17.00 WIB		25 °C		
	Selesai jam : 18.30 WIB				
Pemeriksaan	Penetrasi pada suhu 25°C		Pembacaan suhu termometer		
	Mulai jam : 18.30 WIB		25 °C		
	Selesai jam : 19.30 WIB				
Penetrasi pada 25°C dengan beban 100 gr, jangka waktu 5 detik :					
Pengamatan	1	2	3	4	5
Benda uji I	60	60	62	61	63
Benda uji II	62	61	60	63	61
Rata-rata	61,30				
Catatan :					
Rata-rata penetrasi setelah kehilangan berat = 61,30 (10 ⁻¹ mm)					
Penetrasi sebelum kehilangan berat (% semula) = 89,5%					

Sumber: Hasil Pengujian

1. Hasil dari pengujian penetrasi aspal sebelum kehilangan berat minyak dan aspal di dapatkan nilai rata – rata sebesar 68,50.
2. Hasil dari pengujian penetrasi aspal sebelum kehilangan berat minyak dan aspal di dapatkan nilai rata – rata sebesar 61,30.
3. Dari hasil dari kedua pengujian tersebut kehilangan berat minyak dan aspal didapatkan $\frac{68,50}{61,30} \times 100$ Maka diperoleh hasil sebesar 89,5%.

4.3.2 Pengujian Titik Nyala dan Titik Bakar Aspal dengan Cleveland Open Cup (AASHTO T -48-81)

Pengujian ini bertujuan untuk mengidentifikasi nilai titik nyala serta titik bakar pada berbagai produk minyak bumi, selain minyak bakar dan zat lain dengan titik nyala *open cup* di bawah 75°C. Titik nyala didefinisikan sebagai temperatur terendah di mana uap di atas permukaan aspal tersambar api dalam durasi singkat. Seluruh rangkaian pengujian ini dilaksanakan di Laboratorium Institut Teknologi Nasional Malang.



Gambar 4. 10 Proses Pengujian Titik Nyala dan Titik Bakar Aspal

Sumber : Dokumentasi Penelitian

Pengujian ini dimulai dengan memanaskan sampel aspal hingga cukup cair untuk dituang ke dalam cawan Cleveland, kemudian mengisi cawan tersebut tepat hingga tanda batas dan memastikan tidak ada gelembung udara di permukaan. Cawan diletakkan di atas pelat pemanas, termometer dipasang pada posisi tegak lurus di tengah cawan tanpa menyentuh dasar, lalu pemanasan dilakukan dengan kecepatan kenaikan suhu yang diatur secara ketat (sekitar 14 hingga 17°C per menit

pada awal, dan diperlambat menjadi 5 hingga 6°C per menit saat mendekati titik nyala). Setiap kenaikan 2°C, nyala api pengujian dilewatkan di atas permukaan cawan secara merata hingga muncul percikan api sesaat di seluruh permukaan aspal yang menandakan tercapainya titik nyala (flash point). Setelah titik nyala tercatat, pemanasan dilanjutkan dengan prosedur yang sama sampai sampel menyala dan terbakar terus-menerus selama minimal lima detik, yang didefinisikan sebagai titik bakar (fire point), kemudian seluruh suhu dicatat dan dilakukan koreksi terhadap tekanan barometer jika diperlukan. Hasil dari pengujian Titik Nyala dan Titik Bakar Aspal dengan Cleveland Open Cup dapat dilihat pada di bawah ini:

Tabel 4. 19 Hasil Pengujian Titik Nyala dan Titik Bakar

Persiapan contoh	Contoh dipanaskan		Pembacaan suhu aspal		
	Mulai jam : 08.50 WIB		140 °C		
Menuang contoh	Penuangan contoh		Pembacaan suhu menuang		
	Mulai jam : 09.50 WIB		140 °C		
	Selesai jam : 10.00 WIB				
Kenaikan suhu contoh	Sampai 56°C di bawah titik nyala				
	Mulai jam : 12.16 WIB		15°C per menit		
	Selesai jam : 12.26 WIB				
	antara 56 s/d 28°C di bawah titik nyala				
	Mulai jam : 12.26 WIB		5°C s/d 6°C per menit		
	Selesai jam : 12.31 WIB				
			Titik nyala perkiraan = 320 °C		
	°C di bawah titik nyala	Waktu	°C	Titik Nyala	Keterangan
	56	12.26 WIB	304		
	51	12.27 WIB	309		
	46	12.28 WIB	314		
	41	12.29 WIB	319		
	36	12.30 WIB	324		
	31	12.30 WIB	329		
	26	12.31 WIB	334		
	21	12.31 WIB	339	338	Titik nyala
	16	10.09 WIB	344	344	Titik bakar

Catatan :	Titik nyala = 338 °C
	Titik bakar = 344 °C

Sumber: Hasil Pengujian

Berdasarkan hasil dari pengujian titik nyala, dapat disimpulkan bahwa aspal memiliki titik nyala pada suhu 338°C yaitu pada saat uap benda uji menyala (nyala biru singkat), dan titik bakar sebesar 344°C. Maka dari itu titik nyala memenuhi syarat Spesifikasi Direktorat Jendral Bina Marga 2018 yaitu minimal 232°C. Titik nyala aspal adalah suhu pada saat aspal mengeluarkan uap yang cukup untuk dapat terbakar jika terdapat sumber api atau panas. Titik nyala ini dapat bervariasi tergantung pada jenis aspal dan penggunaannya. Sebagai contoh, aspal yang digunakan untuk konstruksi jalan biasanya memiliki titik nyala yang cukup tinggi agar tetap stabil di bawah paparan sinar matahari dan beban lalu lintas.

Sifat-sifat aspal, termasuk titik nyala, dipengaruhi oleh komposisi kimia dan struktur molekulnya. Aspal terdiri dari senyawa hidrokarbon kompleks dengan berbagai fraksi, termasuk zat penyusun berat seperti maltene dan asphaltene.

4.3.3 Pengujian Titik Lembek (SNI 2434:2011)

Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan titik lembek aspal dan yang berkisar antara 30°C sampai 200°C. Kemudian yang dimaksud dengan titik lembek adalah suhu pada saat bola baja dengan berat tertentu, mendesak suatu berat tertentu suatu aspal atau ter yang tertahan dalam cincin dengan ukuran tertentu, sehingga aspal dan ter tersebut menyentu pelat dasar yang terletak dibawah cincin pada tinggi tertentu, sebagai akibat kecepatan pemanasan tertentu. Pengujian Titik Lembek ini dilakukan di Laboratorium Intitut Teknologi Nasional Malang. Hasil dari pengujian Titik Lembek dapat dilihat pada tabel di bawah ini :

Tabel 4. 20 Pengujian Titik Lembek Aspal

Mendinginkan contoh	Didiamkan pada suhu ruang	Pembacaan suhu es
	Mulai jam :10.00 WIB	27 °C
	Selesai jam :11.00 WIB	
Mencapai suhu pemeriksaan	Didiamkan pada suhu 5°C	Pembacaan suhu es
	Mulai jam : 14.28 WIB	

		Selesai jam : 14.38 WIB		0 °C	
Pemeriksaan titik lembek		Mulai jam : 14.38 WIB			
		Selesai jam : 15.00 WIB			
Suhu yang diamati		Waktu		Titik lembek °C	
°C	°F	Benda Uji I	Benda Uji II	Benda Uji I	Benda Uji II
0		14.38	14.38		
5		14.44	14.44		
10		14.47	14.47		
15		14.50	14.50		
20		14.52	14.52		
25		14.53	14.53		
30		14.54	14.54		
35		14.56	14.56		
40		14.58	14.58		
45		14.59	14.59		
50		15.01	15.02	48	49

Sumber: Hasil Pengujian

Pengujian titik lembek aspal bertujuan untuk menentukan sifat mekanis dan termal dari aspal, khususnya fokus pada titik lembeknya. Kesimpulan dari pengujian ini dapat memberikan informasi penting mengenai kemampuan aspal untuk menahan beban dan deformasi pada berbagai suhu. Dengan mengetahui titik lembek aspal, para insinyur dan ilmuwan material dapat memahami kinerja aspal dalam kondisi nyata, memastikan keamanan dan keberlanjutan konstruksi jalan, dan merancang campuran aspal yang sesuai dengan lingkungan dan kebutuhan penggunaan spesifik. Kesimpulan ini juga dapat membantu dalam pengembangan standar kualitas aspal dan memastikan bahwa material ini memenuhi persyaratan teknis yang diperlukan.

Berdasarkan hasil dari pengujian titik lembek aspal didapat sebesar 48,5°C. Maka dari itu titik nyala telah memenuhi syarat Spesifikasi Direktorat Jendral Bina Marga 2018 yaitu minimal 48°C.

4.3.4 Pengujian Daktilitas Aspal (SNI 2432:2011)

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk menentukan jarak maksimum regangan aspal keras di antara dua cetakan sebelum akhirnya terputus, yang

dilakukan pada kondisi suhu dan kecepatan tarik yang telah ditetapkan. Hasil uji dinyatakan tidak valid jika sampel menyentuh dasar wadah atau terapung di permukaan air. Guna mengantisipasi hal tersebut, densitas air harus diselaraskan dengan densitas sampel melalui penambahan metil alkohol atau natrium klorida. Prosedur daktilitas aspal ini dilaksanakan di Laboratorium Institut Teknologi Nasional Malang.



Gambar 4. 11 Proses Pengujian Daktilitas Aspal

Sumber : Dokumentasi Penelitian

Pengujian daktilitas dimulai dengan memanaskan sampel aspal hingga cair dan menuangkannya ke dalam cetakan kuning yang telah diolesi campuran gliserin-tali (sebagai pelepas cetakan), lalu didiamkan pada suhu ruang selama 30 hingga 40 menit hingga memadat. Setelah itu, sampel diletakkan dalam bak air bersuhu 25°C selama 30 menit sebelum bagian atasnya diratakan menggunakan spatula panas agar sejajar dengan permukaan cetakan. Sampel kemudian direndam kembali dalam bak air pengujian selama 85 hingga 95 menit untuk memastikan suhu benar-benar stabil sebelum cetakan dilepas dari pelat dasarnya dan dipasangkan pada mesin daktilitas. Mesin dijalankan dengan menarik kedua ujung benda uji pada kecepatan konstan 5 cm per menit hingga benang aspal tersebut putus, di mana jarak tarikan dalam satuan sentimeter pada saat putus itulah yang dicatat sebagai nilai daktilitas, dengan syarat selama pengujian sampel harus tetap terendam air dan tidak boleh menyentuh dasar atau permukaan air. Hasil dari pengujian Daktilitas Aspal dapat dilihat pada tabel di bawah ini :

Tabel 4. 21 Pengujian Daktilitas Aspal Sebelum Kehilangan Berat Minyak

Persiapan contoh	Contoh dipanaskan		Pembacaan suhu aspal
	Mulai jam	: 08.50 WIB	150 °C
	Selesai jam	: 09.50 WIB	
Mendinginkan contoh	Didiamkan pada suhu ruang		
	Mulai jam	: 10.00 WIB	
	Selesai jam	: 11.00 WIB	
Mencapai suhu pemeriksaan	Direndam pada suhu 25°C		Pembacaan suhu water bath
	Mulai jam	: 11.00 WIB	25 °C
	Selesai jam	: 12.30 WIB	
Pemeriksaan Daktilitas	Mulai jam	: 12.30 WIB	Pembacaan suhu alat
	Selesai jam	: 13.00 WIB	25°C
Daktilitas pada 25°C dengan kecepatan mesin 5 cm per menit :			
Pengamatan	1	2	
Pembacaan (Cm)	103	103	
Rata-rata (Cm)	103,0		
Catatan :			
Daktilitas = 103 cm			

Sumber: Hasil Pengujian

Tabel 4. 22 Pengujian Daktilitas Aspal Sebelum Kehilangan Berat Minyak

Mendinginkan contoh	Didiamkan pada suhu ruang		
	Mulai jam	: 16.00 WIB	
	Selesai jam	: 17.00 WIB	
Mencapai suhu pemeriksaan	Direndam pada suhu 25°C		Pembacaan suhu water bath
	Mulai jam	: 17.00 WIB	25 °C
	Selesai jam	: 18.30 WIB	
	Mulai jam	: 18.30 WIB	Pembacaan suhu alat

Pemeriksaan Daktilitas	Selesai jam	: 19.00 WIB	25°C
Daktilitas pada 25°C dengan kecepatan mesin 5 cm per menit :			
Pengamatan	1	2	
Pembacaan (Cm)	101	101	
Rata-rata (Cm)	101		
Catatan :			
Daktilitas setelah kehilangan berat = 101 cm			

Sumber: Hasil Pengujian

Keterangan:

1. Hasil dari pengujian daktilitas aspal sebelum kehilangan berat didapatkan nilai rata – rata sebesar 103 cm, dan sesudah kehilangan berat sebesar 101 cm.
2. Dari kedua hasil pengujian daktilitas memenuhi syarat Spesifikasi Direktorat Jendral Bina Marga 2018 dengan nilai ≥ 50 cm untuk pengujian sesudah kehilangan berat.

4.3.5 Hasil Pengujian Kehilangan Berat Minyak dan Aspal (SNI 06-2440-1991)

Pengujian ini dilakukan untuk menentukan besarnya penyusutan massa pada minyak dan aspal melalui metode pemanasan dengan ketebalan spesifik, yang hasilnya dipresentasikan berdasarkan persentase bobot awal. Seluruh rangkaian pengujian ini diselenggarakan di Laboratorium Institut Teknologi Nasional Malang.



Gambar 4. 12 Proses Pengujian Kehilangan Berat Minyak dan Aspal

Sumber : Dokumentasi Penelitian

Pengujian kehilangan berat minyak dan aspal dilakukan dengan memanaskan sampel aspal hingga cair, kemudian menuangkannya ke dalam cawan logam silinder standar hingga mencapai berat sekitar 50 gram dan mendinginkannya pada suhu ruang hingga memadat. Setelah itu, sampel ditimbang dengan teliti sebagai berat awal sebelum dimasukkan ke dalam oven khusus yang memiliki piringan berputar dengan kecepatan 5 hingga 6 putaran per menit pada suhu stabil 163°C selama tepat 5 jam. Selama proses pemanasan tersebut, komponen minyak ringan dalam aspal akan menguap, dan setelah waktu pengujian berakhir, sampel dikeluarkan, didinginkan dalam desikator untuk mencegah penyerapan kelembapan, lalu ditimbang kembali sebagai berat akhir. Selisih berat tersebut kemudian dihitung dalam persentase untuk menentukan tingkat penguapan dan stabilitas aspal terhadap panas, yang menjadi indikator seberapa besar aspal akan mengalami pengerasan saat proses pencampuran panas di lapangan. Hasil dari Pengujian Kehilangan Berat Minyak dan Aspal dapat dilihat pada di bawah ini :

Tabel 4. 23 Hasil Pengujian Kehilangan Berat Minyak dan Aspal(AASHTO T-47-82)

Persiapan contoh	Contoh dipanaskan		Pembacaan suhu aspal
	Mulai jam	: 08.50 WIB	140 °C
	Selesai jam	: 09.50 WIB	
Mendinginkan contoh	Didiamkan pada suhu ruang		Pembacaan suhu ruang
	Mulai jam	: 10.00 WIB	25 °C
	Selesai jam	: 11.00 WIB	
Pemeriksaan kehilangan berat pada 163°C	Mulai jam	: 11.00 WIB	Pembacaan suhu dlm contoh
	Selesai jam	: 16.00 WIB	163 ± 1 °C
	Sampel I	Sampel II	Sampel III
Berat cawan + aspal keras	72,6	73,2	74,5
Berat cawan kosong	10,6	10,7	10,6
Berat aspal keras	62	62,5	63,9
Berat sebelum pemanasan	72,6	73,2	74,5
Berat sesudah pemanasan	72,5	73	74,4
Kehilangan berat	0,1	0,2	0,1
Kehilangan berat dlm %	0,138	0,273	0,134
Rata-rata (%)	0,182		
Catatan :			
Kehilangan berat rata-rata = 0,182 %			

Sumber: Hasil Pengujian

4.3.6 Hasil Pengujian Aspal

Hasil dari pengujian aspal yang dilaksanakan di Laboratorium Bahan Konstruksi, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Nasional Malang, diketahui bahwa pengujian aspal memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 untuk digunakan sebagai bahan campuran AC – BC. Hasil pengujian aspal dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 4. 24 Hasil Pengujian Aspal Pertamina Penetrasi 60/70

No.	Pengujian	Syarat	Hasil	Satuan	Keterangan
1	Penetrasi Sebelum Kehilangan Minyak	60 - 70	68,50	10 ⁻¹ Mm	Memenuhi
2	Berat Jenis Aspal Keras	≥ 1	1,01	gr/cm ²	Memenuhi
3	Daktilitas Sebelum Kehilangan Minyak	≥ 100	103,0	Cm	Memenuhi
4	Titik Nyala Aspal	≥ 232	339	°C	Memenuhi
5	Titik Bakar Aspal	-	344	°C	-
6	Titik Lembek Aspal dan Ter	≥ 48	49,50	°C	Memenuhi
7	Kehilangan Berat Minyak dan Aspal	≤ 0,8	0,182	%	Memenuhi
8	Penetrasi Setelah Kehilangan Minyak (% semula)	≥ 54	89,49	%	Memenuhi
9	Daktilitas Setelah Kehilangan Minyak	≥ 50	101	cm	Memenuhi

Sumber: Hasil Pengujian

Dengan hasil pengujian yang solid dan sesuai dengan spesifikasi aspal pertamina penetrasi 60/70, telah memenuhi standar yang diperlukan dalam hal penetrasi, kekerasan, serta stabilitas termal. Kualitas yang konsisten ini memberikan keyakinan dalam penggunaannya sebagai bahan konstruksi yang handal dan bertahan lama.

Tabel 4. 25 Ketentuan Untuk Aspal Keras

NO.	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Tipe I Aspal Pen. 60-70	Tipe II Aspal Modifikasi	
				PG70	PG76
1.	Penetrasi pada 25°C (0,1mm)	SNI 2456:2011	60-70	Dilaporkan ⁽¹⁾	
2.	Temperatur yang menghasilkan Geser Dinamis (G*/Sinδ) pada osilasi 10 rad/detik ≥ 1,0 kpa (°C)	SNI 06-6442-200	-	70	60
3.	Viskositas Kinematis 135°C (cSt) ⁽³⁾	ASTM D2170-10	≥ 300	≤ 3000	
4.	Titik Lembek (°C)	SNI 2434:2011	≥ 48	Dilaporkan ⁽²⁾	
5.	Daktilitas pada 25°C (cm)	SNI 2432:2011	≥ 100	-	
NO.	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Tipe I Aspal Pen. 60-70	Tipe II Aspal Modifikasi	
6.	Titik Nyala (°C)	SNI 2433:2011	≥ 232	≥ 232	
7.	Kelarutan dalam Trichloroethylene (%)	AASHTO T44-14	≥ 99	≥ 99	
8.	Berat Jenis	SNI 2441:2011	≥ 1,0	-	
9.	Stabilitas Penyimpanan: Perbedaan Titik Lembek (°)	ASTM D 5976-00 Part 6.1 dan SNI 03-3639-	-	≤ 2,2	

10.	Kadar Parafin Lilin (%)	SNI 03-3639-2002	≤2,2		
Pengujian Residu hasil TFOT (SNI-06-2440-1991) atau RTFOT (SNI-03-6835-2002):					
11.	Berat yang Hilang (%)	SNI 06-2441-1991	≤0,8		≤0,8
12.	Temperatur yang menghasilkan Geser Dinamis (G*/sinδ) pada	SNI 06-6442-2000	-	70	76
13.	Penetrasi pada 25°C (% semula)	SNI 2456:2011	≥ 54	≥ 54	≥ 54
14.	Daktilitas pada 25°C (cm)	SNI 2432:2011	≥ 50	≥ 50	≥ 50
Residu aspal segar setelah PAV (SNI 03-6837-2002) pada temperature 100°C dan tekanan 2,1 Mpa					
15.	Temperatur yang menghasilkan Geser Dinamis (G* _{sinδ}) pada osilasi 10 rad/detik ≤ 5000 kPa.(°C)	SNI 06-6442-2000	-	31	43

Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Devis 6 – 39

4.4 Perencanaan Komposisi Campuran

4.4.1 Perhitungan Persentase Agregat dengan Metode Grafis

Metode grafis diagonal digunakan dalam penyusunan kalkulasi persentase agregat untuk campuran aspal AC-BC melalui serangkaian tahapan sistematis. Prosedur ini merupakan standar operasional untuk menentukan perbandingan antara agregat kasar dan halus. Berikut adalah urutan pelaksanaannya:

Langkah 1: Persiapan Sampel

Pengambilan Sampel Aspal: Peroleh benda uji campuran AC-BC dari titik lokasi penelitian atau proyek konstruksi aktif yang akan ditinjau. **Persiapan Peralatan:** Pastikan seluruh instrumen pendukung telah siap digunakan, termasuk rangkaian saringan (mesh) dengan variasi ukuran tertentu serta timbangan dengan tingkat akurasi tinggi. Siapkan pula material agregat yang akan diuji.

Langkah 2: Penyaringan Agregat

Proses Pengayakan Agregat: Gunakan susunan ayakan standar untuk mengelompokkan agregat kasar dan halus berdasarkan ukurannya. **Pendataan Berat Fraksi:** Lakukan penimbangan terhadap jumlah material yang tertahan pada tiap-tiap nomor saringan.

Langkah 3: Persiapan Grafik Diagonal

Rancang Diagram Diagonal: Susunlah grafik diagonal di mana sumbu horizontal menunjukkan persentase agregat halus (umumnya pasir), sementara sumbu vertikal memperlihatkan persentase agregat kasar (seperti kerikil atau batu pecah). **Tetapkan Parameter Acuan:** Identifikasi titik-titik koordinat pada grafik

yang merepresentasikan perbandingan agregat kasar dan halus sesuai dengan standar spesifikasi campuran aspal yang ditargetkan.

Langkah 4: Penentuan Persentase Agregat

Pemplotan Data pada Grafik Diagonal: Masukkan data sampel campuran aspal ke dalam diagram diagonal yang tersedia berdasarkan hasil penimbangan fraksi agregat kasar maupun halus.

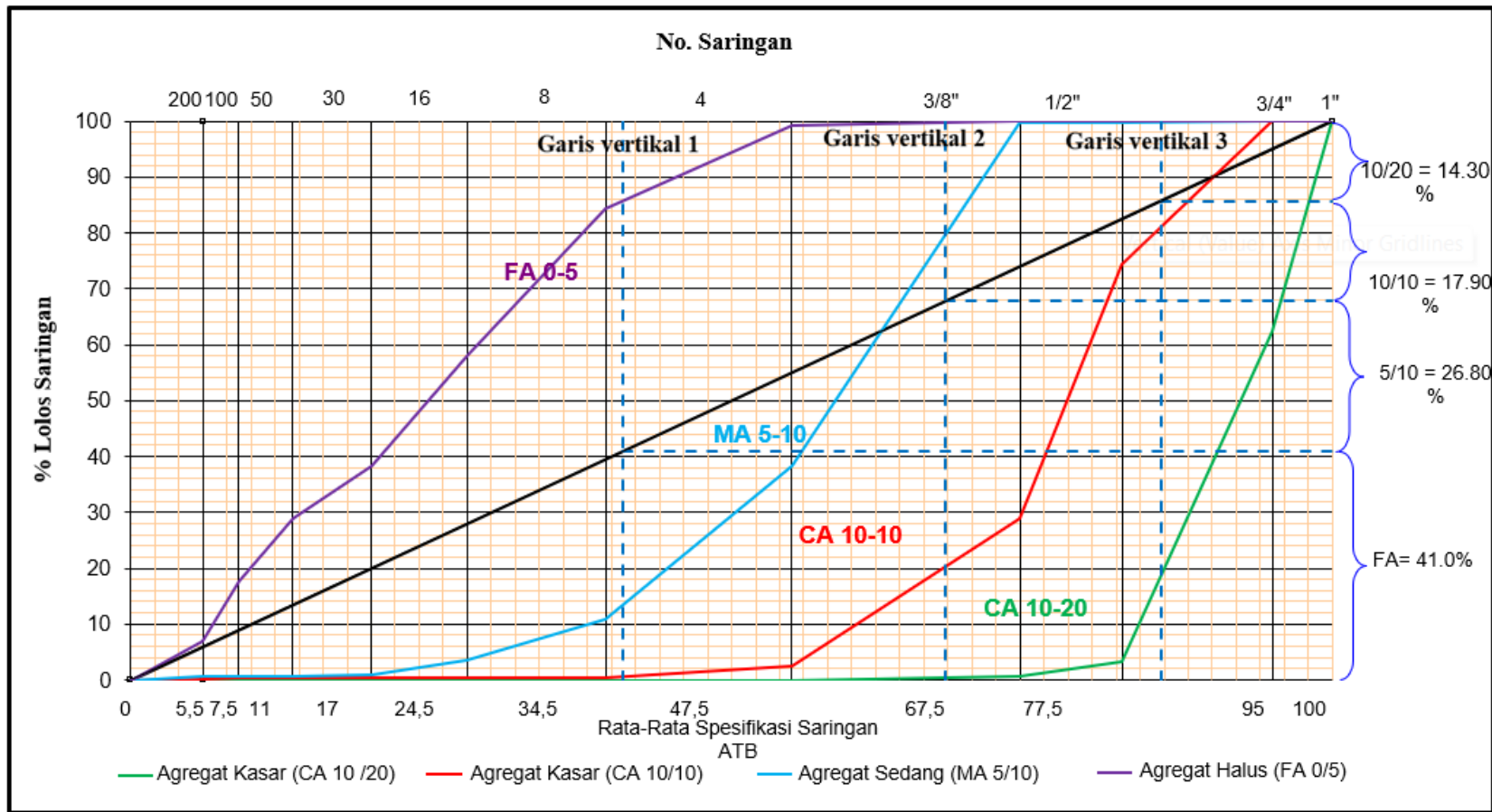
Analisis Komposisi Agregat: Tentukan proporsi agregat kasar dan halus dengan melihat posisi titik sampel pada grafik. Nilai ini berfungsi untuk memverifikasi kesesuaian campuran terhadap standar spesifikasi yang ditetapkan.

Langkah 5: Evaluasi dan Pelaporan

Analisis Temuan: Evaluasi angka persentase kumulatif yang diperoleh dengan tolok ukur spesifikasi standar. Simpulkan apakah komposisi campuran tersebut telah mencapai target atau masih membutuhkan modifikasi lebih lanjut.

Penyusunan Dokumentasi: Dokumentasikan data kalkulasi agregat ke dalam laporan sistematis yang mencakup detail sampel, prosedur kerja, serta poin-poin analisis. Pendekatan ini memberikan gambaran visual mengenai rasio agregat kasar dan halus pada campuran AC-BC, sekaligus menjamin akurasi proporsi demi memenuhi standar teknis proyek.

Penentuan proporsi campuran agregat dilakukan melalui metode grafis, yang didasarkan pada hasil analisis gradasi sebelumnya. Proses ini mencakup evaluasi berat jenis serta persentase lolos saringan pada tiap fraksi agregat, dengan detail perhitungan yang disajikan dalam grafik dan tabel komposisi berikut:



Gambar 4. 13 Grafik Diagonal Komposisi Campuran Agregat AC – BC

Sumber: Hasil Pengujian

Gambar 4.13 diatas menyajikan kurva gradasi butiran untuk berbagai jenis agregat yang digunakan dalam campuran aspal AC-BC, dengan sumbu X menunjukkan ukuran saringan (diameter butir dalam mm) dan sumbu Y menunjukkan persentase agregat yang lolos dari saringan tersebut. Di dalamnya terdapat empat kurva spesifik: Agregat Kasar (CA 10/20), Agregat Kasar (CA 10/10), Agregat Sedang (MA 5/10), dan Agregat Halus (FA 0/5), yang menunjukkan distribusi ukuran butir yang berbeda untuk masing-masing fraksi agregat. Garis hitam diagonal merepresentasikan batas spesifikasi ideal atau target gradasi ATB. Selain itu, terdapat perhitungan proporsi campuran optimal di sisi kanan, yaitu FA 0/5 = 41,0%, MA 5/10 = 26,80%, CA 10/10 = 17,90%, dan CA 10/20 = 14,30%, yang mengindikasikan bahwa campuran aspal yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari kombinasi fraksi-fraksi agregat tersebut untuk memenuhi standar gradasi yang diinginkan. Perhitungan proporsi dalam campuran agregat dengan menggunakan metode grafis dilakukan dengan cara trial and eror.

Dimana :

- Garis vertical 1 (Kiri):

$$\text{Fraksi agregat halus (FA)} = \text{fraksi agregat sedang (MA)} + \text{fraksi agegat kasar (CA 10/10)}$$

$$14,7 \% \text{ (FA)} = 13,9 \% \text{ (MA)} + 0,8 \% \text{ (CA 10/10)}$$

$$14,7 \% = 14,7 \%$$

- Garis vertical 2 (tengah) :

$$\text{Fraksi agregat sedang (MA)} = \text{fraksi agregat kasar (CA 10/10)}$$

$$20 \% \text{ (MA)} = 20 \% \text{ (CA 10/10)}$$

$$20 \% = 20 \%$$

- Garis vertical 3 (kanan) :

$$\text{Fraksi agregat sedang (CA 10/10)} = \text{fraksi agregat kasar (CA 10/10)}$$

$$19 \% \text{ (CA 10/10)} = 19 \% \text{ (CA 10/10)}$$

$$19 \% = 19 \%$$

Proporsi dari masing – masing agregat :

- Gradasi horizontal 1 dengan garis diagonal didapatkan : FA = 41%
- Garis horizontal 2 dengan garis diagonal didapatkan : CA 10/10 = 17,9 %
- Garis horizontal 2 dengan garis diagonal didapatkan : CA 10/20 = 14,30 %
- Sehingga : MA = 100 % - CA (10/10)- CA (10/20) - FA (5/10)
= 100 % - 17,9 % -14,30 % - 41 %
= 26,80 %

Kombinasi Campuran Presentase Agregat Spesifikasi AC – BC

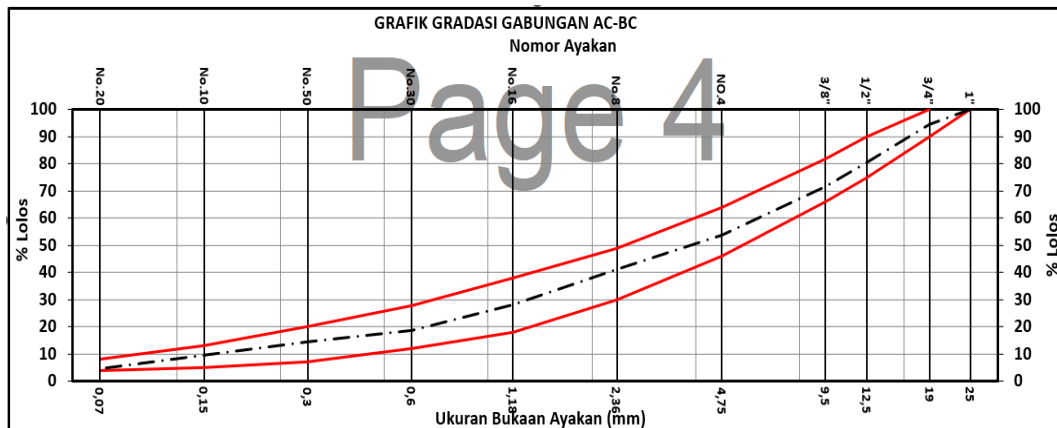
4.4.2 Perhitungan Presentase Agregat Dengan Metode Analitis

Data hasil pengujian gradasi, yang mencakup bobot serta persentase agregat lolos tiap ayakan, digunakan sebagai dasar untuk menentukan proporsi campuran. Detail perhitungan komposisi tersebut disajikan dalam bentuk grafik dan tabel di bawah ini:

Tabel 4. 26 Komposisi Gradasi Gabungan Campuran AC – BC

Ukuran Saringan	10/20	10/10	5/10	0/5	Filler	10/20	10/10	5/10	0/5	Filler	Hasil Gab.	Spek	Fak. Luas	Luas Perm.
	%lolos	%lolos	%lolos	%lolos	%lolos	15,02	18,76	20,19	44,52	1,50				
1" (25 mm)	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	15,02	18,76	20,19	44,52	1,50	100,00	100,00	0,41	0,41
3/4" (19 mm)	62,30	100,00	100,00	100,00	100,00	9,36	18,76	20,19	44,52	1,50	94,34	90-100		
1/2" (12,5 mm)	3,17	74,43	99,83	100,00	100,00	0,48	13,97	20,16	44,52	1,50	80,62	75-90		
3/8" (9,5 mm)	0,75	28,91	99,68	100,00	100,00	0,11	5,42	20,13	44,52	1,50	71,69	66-82		
No.4 (4,75 mm)	0,00	2,52	38,23	99,29	100,00	0,00	0,47	7,72	44,21	1,50	53,90	46-64		
No.8 (2,36 mm)	0,00	0,49	10,73	84,31	100,00	0,00	0,09	2,17	37,54	1,50	41,29	30-49	0,82	0,34
No.16 (1,18 mm)	0,00	0,46	3,49	57,86	100,00	0,00	0,09	0,70	25,76	1,50	28,05	18-38	1,64	0,46
No.30 (0,6 mm)	0,00	0,45	0,85	38,25	100,00	0,00	0,08	0,17	17,03	1,50	18,79	12-28	2,87	0,54
No.50 (0,28 mm)	0,00	0,44	0,78	28,89	100,00	0,00	0,08	0,16	12,86	1,50	14,60	7-20	6,14	0,90
No.100 (0,15 mm)	0,00	0,40	0,66	17,72	100,00	0,00	0,07	0,13	7,89	1,50	9,60	5-13	12,29	1,18
No.200 (0,075 mm)	0,00	0,23	0,53	6,84	100,00	0,00	0,04	0,11	3,05	1,50	4,70	4-8	32,77	1,54
JUMLAH LUAS PERMUKAAN AGREGAT (m²/kg)														5,36

Sumber: Hasil Pengujian



Gambar 4. 14 Grafik Gradasi Gabungan Campuran AC – BC

Sumber: Hasil Pengujian

Perhitungan komposisi gradasi gabungan campuran AC – BC

- Komposisi 10/20 (CA1)

$$\begin{aligned} \%CA1 &= \left(\frac{\%CA \text{ grafik diagonal} \times (100 - \text{filler})}{100} \right) \\ &= \left(\frac{16 \times (100 - 1,50)}{100} \right) \\ &= 15,76\% \end{aligned}$$

- Komposisi 10/10 (CA2)

$$\begin{aligned} \%CA2 &= \left(\frac{\%CA \text{ grafik diagonal} \times (100 - \text{filler})}{100} \right) \\ &= \left(\frac{19 \times (100 - 1,50)}{100} \right) \\ &= 18,72\% \end{aligned}$$

- Komposisi 5/10 (MA)

$$\begin{aligned} \%MA &= \left(\frac{\%MA \text{ grafik diagonal} \times (100 - \text{filler})}{100} \right) \\ &= \left(\frac{21 \times (100 - 1,50)}{100} \right) \\ &= 20,69\% \end{aligned}$$

- Komposisi 0/5 (FA)

$$\begin{aligned} \%FA &= \left(\frac{\%FA \text{ grafik diagonal} \times (100 - \text{filler})}{100} \right) \\ &= \left(\frac{45 \times (100 - 1,50)}{100} \right) \\ &= 44,33\% \end{aligned}$$

4.5 Komposisi Campuran Normal Untuk Variasi Kadar Aspal

Setelah proporsi dari masing – masing agregat didapatkan, maka dilanjutkan perhitungan kadar aspal rencan yang nantinya digunakan sebagai acuan dalam penentuan variasi kadar aspal. Variasi kadar aspal berdasarkan spesifikasi Depkimpraswil 2002 dengan mempergunakan rumus sebagai berikut:

$$P = 0,035 (\%CA) + 0,045 (\%FA) + 0,18 (\%FF) + K$$

Dimana:

P = kadar aspal rencana, persen terhadap berat campuran

CA = proporsi fraksi kasar (tertahan saringan No.8)

FA = proporsi fraksi halus (lolos saringan No. 8 dan tertahan saringan No. 200)

FF = proporsi bahan pengisi (lolos saringan No. 200)

K = konstanta (laston : 0,5 – 1 ; lataston : 2 – 3)

Tabel 4. 27 Hasil Perhitungan Kadar Aspal Rencana

URAIAN		NILAI	SATUAN				
Proporsi Fraksi Kasar		CA	58,71	%			
Proporsi Fraksi Halus		FA	36,60	%			
Proporsi Bahan Pengisi		FF	4,70	%			
Total			100,00	%			
Nilai Konstanta		K	1,00	-			
Perkiraan Kadar Aspal		Pb	5,50	%			
Rumus Perkiraan Kadar Aspal (Pb): $Pb = 0,035 \times (CA) + 0,045 \times (FA) + 0,18 \times (FF) + \text{Konstanta}$ (laston : 0,5~1 & lataston : 1~2)				Campuran Gmm			
Jenis Material	% Proporsi Agg.	KADAR ASPAL RENCANA (%)					
		4,50 %	5,00 %	5,50 %	6,00 %	6,50 %	5,50 %
		% Proporsi Campuran					
10/20	15,02	14,35	14,27	14,20	14,12	14,04	14,20
10/10	18,76	17,92	17,83	17,73	17,64	17,54	17,73
5/10	20,19	19,28	19,18	19,08	18,98	18,88	19,08
0/5	44,52	42,52	42,30	42,07	41,85	41,63	42,07
Filler	1,50	1,43	1,43	1,42	1,41	1,40	1,42
Total	100,00	95,50	95,00	94,50	94,00	93,50	94,50
		100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Jenis Material	Komposisi (%)	KADAR ASPAL RENCANA (%)					5,50 %
		4,50 %	5,00 %	5,50 %	6,00 %	6,50 %	
		Berat Agregat (gr)					
10/20	15,02	172,1	171,2	170,3	169,4	168,5	184,5
10/10	18,76	215,0	213,9	212,8	211,7	210,5	230,5
5/10	20,19	231,4	230,2	229,0	227,8	226,6	248,1
0/5	44,52	510,2	507,6	504,9	502,2	499,5	547,0
Filler	1,50	17,2	17,1	17,0	16,9	16,8	18,4
Berat total Ag. Camp. (gr)		1146,0	1140,0	1134,0	1128,0	1122,0	1228,5
Berat aspal (gr)		54,0	60,0	66,0	72,0	78,0	71,5
Berat total campuran (gr)		1200,0	1200,0	1200,0	1200,0	1200,0	1300,0

Sumber: Hasil Pengujian

Contoh Perhitungan perkiraan kadar aspal rencana

$$\begin{aligned}
 P_b &= 0,035 \times (CA) + 0,045 \times (FA) + 0,18 \times (FF) + K \\
 &= 0,035 \times (57,52) + 0,045 \times (38,38) + 0,18 \times (4,09) + 1 \ 2,01 + 1,73 + 0,74 + \\
 &= 5,50 \%
 \end{aligned}$$

Contoh perhitungan untuk variasi kadar aspal 5,50 %

Berat total campuran = 1200 gr

$$\begin{aligned}
 \text{Berat aspal} &= \frac{\text{Variasi Aspal} \times \text{Berat Total Campuran}}{100} \\
 &= \frac{5,50 \times 1200}{100} \\
 &= 66 \text{ gr}
 \end{aligned}$$

4.6 Pengujian Berat Jenis Maksimum Campuran Beraspal (SNI 03-6893-2002)

Tabel 4. 28 Pengujian Berat Jenis Maksimum Campuran Beraspal Kadar Aspal 4,50 %

No.	Uraian		I	II	Rata - rata
A	Berat contoh kering oven di udara (gr)		1176,2	1186,0	1181,1
B	Berat piknometer kosong (gr)		1327,0	1327,0	1327,0
C	Berat piknometer + contoh (gr)		2503,2	2513,0	2508,1
D	Berat piknometer berisi air (gr)		4668,0	4668,0	4668,0
E	Berat piknometer berisi air dan contoh uji (gr)		5357,0	5363,0	5360,0
	Berat jenis : $\frac{A}{(A + D - E)}$		2,414	2,415	2,415

Sumber: Hasil Pengujian

Tabel 4. 29 Pengujian Berat Jenis Maksimum Campuran Beraspal Kadar Aspal 5,00 %

No.	Uraian	I	II	Rata - rata
A	Berat contoh kering oven di udara (gr)	1173,4	1183,9	1178,65
B	Berat piknometer kosong (gr)	1327,0	1327,0	1327,0
C	Berat piknometer + contoh (gr)	2500,4	2510,9	2505,65
D	Berat piknometer berisi air (gr)	4668,0	4668,0	4668,0
E	Berat piknometer berisi air dan contoh uji (gr)	5353,5	5360,5	5357,0
	Berat jenis : $\frac{A}{(A + D - E)}$	2,405	2,409	2,407

Sumber: Hasil Pengujian

Tabel 4. 30 Pengujian Berat Jenis Maksimum Campuran Beraspal Kadar Aspal 5,50 %

No.	Uraian	I	II	Rata - rata
A	Berat contoh kering oven di udara (gr)	1186,6	1182,2	1184,4
B	Berat piknometer kosong (gr)	1327,0	1327,0	1327,0
C	Berat piknometer + contoh (gr)	2513,6	2509,2	2511,4
D	Berat piknometer berisi air (gr)	4668,0	4668,0	4668,0
E	Berat piknometer berisi air dan contoh uji (gr)	5359,0	5358,5	5358,75
	Berat jenis : $\frac{A}{(A + D - E)}$	2,394	2,404	2,399

Sumber: Hasil Pengujian

Tabel 4. 31 Pengujian Berat Jenis Maksimum Campuran Beraspal Kadar Aspal 6,00 %

No.	Uraian	I	II	Rata - rata
A	Berat contoh kering oven di udara (gr)	1174	1166,4	1170,2
B	Berat piknometer kosong (gr)	1327,0	1327,0	1327,0
C	Berat piknometer + contoh (gr)	2501	2493,4	2497,2
D	Berat piknometer berisi air (gr)	4668,0	4668,0	4668,0
E	Berat piknometer berisi air dan contoh uji (gr)	5347,5	5344,5	5346,0
	Berat jenis : $\frac{A}{(A + D - E)}$	2,374	2,381	2,378

Sumber: Hasil Pengujian

Tabel 4. 32 Pengujian Berat Jenis Maksimum Campuran Beraspal Kadar Aspal 6,50 %

No.	Uraian	I	II	Rata - rata
A	Berat contoh kering oven di udara (gr)	1178,8	1202,3	1190,55
B	Berat piknometer kosong (gr)	1327,0	1327,0	1327
C	Berat piknometer + contoh (gr)	2505,8	2529,3	2517,55
D	Berat piknometer berisi air (gr)	4668,0	4668,0	4668
E	Berat piknometer berisi air dan contoh uji (gr)	5349	5361,5	5355,25
	Berat jenis : $\frac{A}{(A + D - E)}$	2,368	2,363	2,366

Sumber: Hasil Pengujian

4.7 Pengujian Marshall Test Untuk Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)

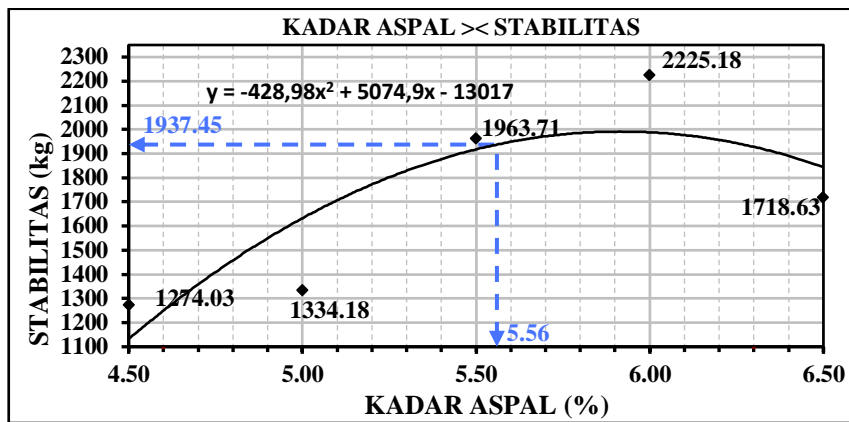
Tabel 4. 33 Hasil Pengujian Test Marshall Mencari Kadar Aspal Optimum

Jenis Campuran : AC-BC						Berat jenis bulk agregat (S) : 2,62					Aspal : Pertamina			Kalibrasi marshall (W) : 29,80															
Jumlah Tumbukan : 75						Gmm test (T) : 2,387					Penetrasi : 60/70			Luas Permukaan Ag. (X) : 5,36															
Suhu : 145 °C						Berat jenis efektif ag. (U) = (100-Pb) / ((100/T) - (Pb/V)) : 2,584					B. jenis (V) : 1,034			Partikel lolos sar. #200 (Y) : 4,70															
Perkiraan kadar aspal rencana (Pb): $Pb = 0,035 \times (CA) + 0,045 \times (FA) + 0,18 \times (FF) + \text{Konstanta (laston} = 0,5 - 1 \text{ \& lataston} = 2- 3) : 5,50 \%$																													
No. Benda uji	Tebal benda uji (mm)					Kadar Aspal	Berat benda uji (gram)			Volume benda uji	Berat isi	Bj. maks. camp.	% Rongga			Stabilitas		Flow	MQ	% Absorsi aspal	% Kadar aspal eff.	Rasio Part. lolos sar. #200	T. film						
							kering udara	dalam air	s.s.d				Gmb	V . M . A	V . I . M	V . F . A	Bacaan dial							Koreksi					
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L						M	N	O	P	Q	R						
	1	2	3	4	Rata - Rata	Lab. Test	Lab. Test	Lab. Test	D - C	$\frac{G}{J}$	$\frac{100}{100-\Delta + \frac{\Delta}{U \cdot V}}$	$\frac{100 - E}{F(100-\Delta)S}$	$\frac{100(G-E)}{100(H-I)G}$	Lab. Test	K. W. A.Koreksi	Lab. Test	$\frac{L}{M}$	$\frac{100 \cdot U \cdot S \cdot V}{S \cdot U}$	$\frac{A \cdot (100-A) \cdot Q}{100}$	$\frac{Y}{P}$	$\frac{\Delta - O \cdot 1000}{X \cdot V(100-A)}$								
1	63,0	62,5	62,5	63,0	62,75	4,50	1078,4	579,4	1080,8	501,4	2,151	21,74	11,15	48,69	91	1249,99	3,90	320,51											
2	62,0	63,0	62,0	62,0	62,25		1081,8	582,9	1083	500,1	2,163												21,29	10,64	50,01	101	1403,45	2,46	570,51
3	68,4	67,0	68,3	68,0	67,93		1100,7	566	1103	537,0	2,050												25,41	15,33	39,69	95	1168,67	4,00	292,17
Rata - Rata										2,121	2,421	22,81	12,37	46,13	96	1274,03	3,45	394,39	-0,614	5,09	0,92	9,66							
1	64,0	63,7	63,0	64,0	63,68	5,00	1103,4	595,9	1105,2	509,3	2,167	21,58	9,87	54,24	110	1479,93	2,86	517,46											
2	60,6	60,1	60,4	60,5	60,40		1047,1	567,2	1048	480,8	2,178												21,17	9,40	55,58	115	1671,46	2,99	559,02
3	60,0	60,1	60,0	60,0	60,03		1011,2	547,8	1021	473,2	2,137												22,65	11,10	50,97	58	851,13	4,85	175,49
Rata - Rata										2,160	2,404	21,80	10,13	53,60	94	1334,18	3,57	417,32	-0,614	5,58	0,84	10,66							
1	63,1	63,0	63,0	63,3	63,10	5,50	1124,6	624,2	1125,5	501,3	2,243	19,22	6,03	68,66	109	1485,40	3,16	470,06											
2	64,0	64,3	64,0	63,5	63,95		1151,6	638,3	1153,3	515,0	2,236												19,48	6,33	67,52	155	2072,80	4,18	495,88
3	60,5	60,0	60,6	60,0	60,28		1077,6	603,8	1079,5	475,7	2,265												18,43	5,11	72,30	160	2332,93	2,48	940,70
Rata - Rata										2,248	2,387	19,05	5,82	69,49	141	1963,71	3,27	635,55	-0,614	6,08	0,77	11,67							

1	61,0	61,5	61,3	61,4	61,30	6,00	1111,6	623,5	1113,9	490,4	2,267	18,81	4,39	76,67	161	2288,33	3,41	671,06					
2	61,0	61,2	63,5	63,4	62,28		1085,8	605,4	1088	482,6	2,250	19,42	5,10	73,74	154	2138,66	3,44	621,70					
3	63,0	63,4	63,0	63,0	63,10		1136,5	631,2	1138,1	506,9	2,242	19,70	5,43	72,44	165	2248,54	4,18	537,93					
Rata - Rata							2,253	2,371	19,31	4,97	74,28	160	2225,18	3,68	610,23	-0,614	6,58	0,71	12,69				
1	53,1	52,6	51,7	52,6	52,50	6,50	962,3	542,7	962,6	419,9	2,292	18,35	2,67	85,46	75	1395,29	4,45	313,55					
2	62,0	62,5	62,6	62,5	62,40		1144,4	643,8	1145,6	501,8	2,281	18,75	3,14	83,24	140	1938,60	4,76	407,27					
3	63,6	62,3	63,0	63,9	63,20		1134,1	633,1	1136,2	503,1	2,254	19,69	4,26	78,36	134	1821,99	5,41	336,78					
Rata - Rata							2,276	2,355	18,93	3,36	82,35	116	1718,63	4,87	352,53	-0,614	7,07	0,66	13,73				
Jenis Campuran : AC-BC							Berat jenis bulk agregat (S) : 2,624					Aspal : Pertamina					Kalibrasi marshall (W) : 29,80						
Jumlah Tumbukan : 75							Gmm test (T) : 2,387					Penetrasi : 60/70					Luas Permukaan Ag. (X) : 5,36						
Suhu : 145 °C							Berat jenis efektif ag. (U) = (100-Po) / ((100/T) - (Po/V)) : 2,587					B. jenis (V) : 1,034					Partikel lolos sar. #200 (Y) : 4,70						
Kadar aspal optimum (Po) : 5,56 %																							
No. Benda uji	Tebal benda uji (mm)					Kadar Aspal	Berat benda uji (gram)			Volume benda uji	Berat isi		% Rongga			Stabilitas		Flow	MQ	% Absorsi aspal	% Kadar aspal eff.	Rasio Part. lolos sar. #200	T. film
							kering udara	dalam air	s.s.d		Gmb	Bj. maks. camp.	V . M . A	V . I . M	V . F . A	Bacaan dial	Koreksi						
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R					
1	2	3	4	Rata - Rata	Lab. Test	Lab. Test	Lab. Test	D - C	$\frac{G}{J}$	$\frac{100-A + \frac{A}{U}}{V}$	$\frac{F(100-A)}{S}$	$\frac{100(G-F)}{G}$	$\frac{100(H-D)}{I}$	Lab. Test	K. W. A. Koreksi	Lab. Test	$\frac{L}{M}$	$\frac{100 U-S V}{S \cdot U}$	$\frac{A-(100-A)O}{100}$	$\frac{Y}{P}$	$\frac{A-O}{X V(100-A)}$		
1	64,2	63,7	64,0	63,5	63,85	5,56	1176,3	669,8	1183,1	513,3	2,292	17,54	4,00	77,17	76	1018,57	3,67	277,54					
2	63,8	64,0	64,3	63,6	63,93		1188,9	675,7	1194,6	518,9	2,291	17,55	4,02	77,09	82	1097,18	3,13	350,54					
3	63,6	63,4	62,8	63,0	63,20		1193,5	679,3	1199,8	520,5	2,293	17,49	3,95	77,43	72	978,98	3,33	293,99					
Rata - Rata Perendaman Marshall 30 Menit							2,292	2,387	17,53	3,99	77,23	77	1031,57	3,38	307,35	-0,575	6,10	0,77	11,72				
1	64,5	64,3	65,0	64,8	64,65	5,56	1195,2	679,1	1201	521,9	2,290	17,59	4,07	76,88	70	922,02	3,85	239,49					
2	65,2	64,9	64,6	64,8	64,88		1183,6	673,2	1188,8	515,6	2,296	17,39	3,84	77,94	64	838,95	3,40	246,75					
3	64,5	64,0	63,8	63,9	64,05		1186,9	676	1193,4	517,4	2,294	17,45	3,91	77,62	77	1027,47	3,68	279,20					
Rata - Rata Perendaman Marshall 24 Jam							2,293	2,387	17,48	3,94	77,48	70	929,48	3,64	255,15	-0,575	6,10	0,39	11,72				
STABILITAS MARSHALL SISA PERENDAMAN 24 JAM = $\frac{929,48}{1031,57} \times 100 = 90,10 \%$																							

Sumber : Hasil Pengujian

4.8 Kadar Aspal Optimum(KAO)



Gambar 4. 15 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dan Stabilitas Koreksi

Sumber: Hasil Pengujian

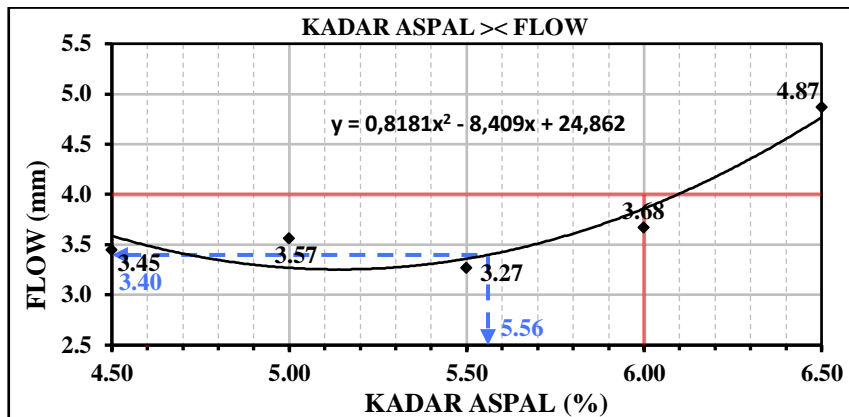
Contoh perhitungan control dari persamaan nilai Y terhadap kadar aspal 4,5 % di atas:

$$y = -428,98x^2 + 5074,9x - 13017$$

$$y = -428,98(4,5)^2 + 5074,9(4,5) - 13017$$

$$y = 1274,03$$

Dari gambar 4.15 hubungan kadar aspal dengan stabilitas diketahui bahwa pada penambahan kadar aspal 4,50%, 5,00%, 5,50% dan 6,00% nilai stabilitas berturut-turut mengalami kenaikan. Kemudian mengalami penurunan pada penambahan kadar aspal 6,50%. Nilai stabilitas optimum tercapai pada campuran aspal beton dengan kadar aspal 6,00% yaitu sebesar 2225,18 kg. Berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 tentang ketentuan sifat-sifat campuran laston nilai stabilitas minimum AC- BC yaitu 1000 kg, sehingga secara keseluruhan semua variasi kadar aspal memenuhi persyaratan.



Gambar 4. 16 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dan Flow

Sumber: Hasil Pengujian

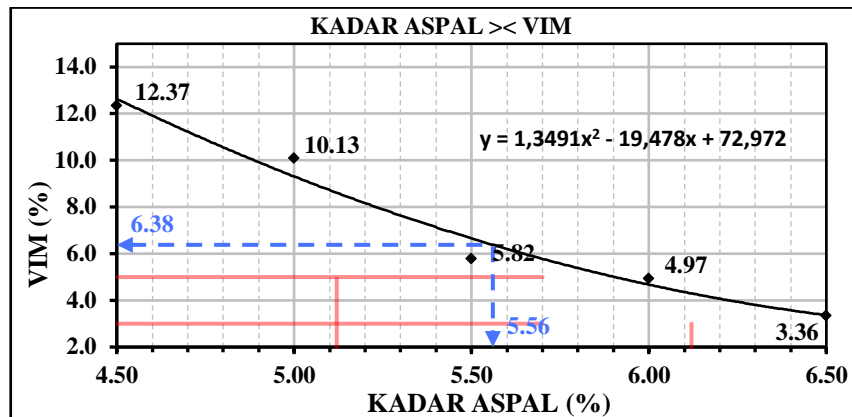
Contoh perhitungan control dari persamaan nilai Y terhadap kadar aspal 4,5 % di atas:

$$y = 0,8181x^2 - 8,409x + 24,862$$

$$y = 0,8181(4,5)^2 - 8,409(4,5) + 24,862$$

$$y = 3,40$$

Dari gambar 4.16 hubungan kadar aspal dengan flow diketahui bahwa pada penambahan kadar aspal 4,50%, 5,00%, 5,50%, 6,00%, dan 6,50% nilai flow berturut- turut mengalami kenaikan. Sehingga dapat disimpulkan semakin besar kadar aspal yang digunakan maka nilai flow akan semakin meningkat. Nilai flow tertinggi terdapat pada campuran dengan kadar aspal 6,50% yaitu sebesar 4,87 mm. Berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 tentang ketentuan sifat-sifat campuran laston nilai flow minimum untuk AC-BC yaitu 2 mm dan maksimum 4 mm, sehingga variasi kadar aspal yang memenuhi persyaratan yaitu variasi kadar aspal 4,50%, 5,00%, 5,50% dan 6,00%.



Gambar 4. 17 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dan VIM

Sumber: Hasil Pengujian

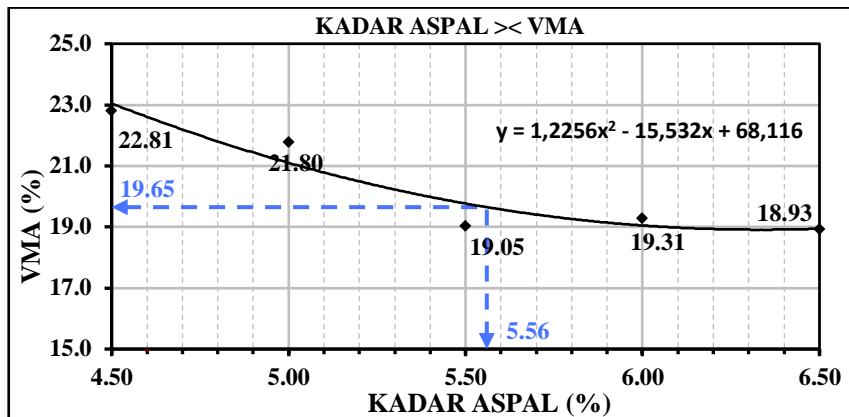
Contoh perhitungan control dari persamaan nilai Y terhadap kadar aspal 4,5 % di atas:

$$y = 1,3491x^2 - 19,478x + 72,972$$

$$y = 1,3491(4,5)^2 - 19,478(4,5) + 72,972$$

$$y = 12,37$$

Dari gambar 4.17 hubungan kadar aspal dengan VIM diketahui bahwa pada penambahan kadar aspal 4,50%, 5,00%, 5,50%, 6,00%, 6,50% nilai VIM berturut-turut mengalami penurunan. Sehingga dapat disimpulkan semakin besar kadar aspal yang digunakan maka nilai VIM akan semakin menurun. Nilai VIM tertinggi terdapat pada campuran dengan kadar aspal 4,50% yaitu sebesar 12,37%. Berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 tentang ketentuan sifat-sifat campuran laston nilai VIM minimum untuk AC-BC yaitu 3% dengan maksimum 5%, sehingga variasi kadar aspal yang memenuhi persyaratan yaitu variasi kadar aspal 6,00% dan 6,50%.



Gambar 4. 18 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dan VMA

Sumber: Hasil Pengujian

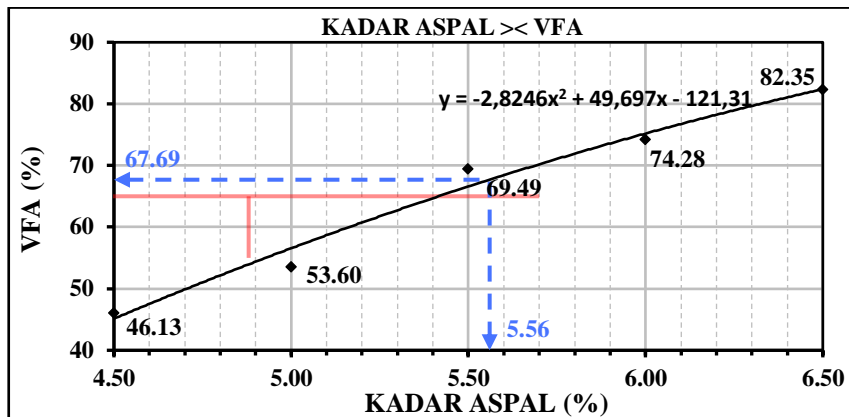
Contoh perhitungan control dari persamaan nilai Y terhadap kadar aspal 4,5 % di atas:

$$y = 1,2256x^2 - 15,532x + 68,116$$

$$y = 1,2256(4,5)^2 - 15,532(4,5) + 68,116$$

$$y = 22,81$$

Dari gambar 4.18 hubungan kadar aspal dengan VMA diketahui bahwa pada penambahan kadar aspal 4,50%, 5,00%, dan 5,50% nilai VMA mengalami penurunan, dan pada kadar aspal 6,00%, 6,50% nilai VMA berturut-turut mengalami kenaikan. Nilai VMA tertinggi terdapat pada campuran dengan kadar aspal 4,50% yaitu sebesar 22,81%. Berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 tentang ketentuan sifat-sifat campuran laston nilai VMA minimum untuk AC-BC yaitu 15% sehingga secara keseluruhan semua variasi aspal memenuhi persyaratan.



Gambar 4. 19 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dan VFA

Sumber: Hasil Pengujian

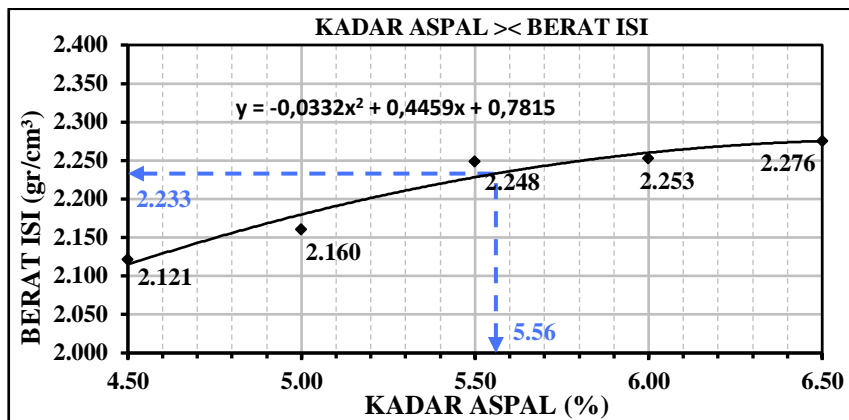
Contoh perhitungan control dari persamaan nilai Y terhadap kadar aspal 4,5 % di atas:

$$y = -2,8246x^2 + 49,697x - 121,31$$

$$y = -2,8246(4,5)^2 + 49,697(4,5) - 121,31$$

$$y = 22,81$$

Dari gambar 4.19 hubungan kadar aspal dengan VFA diketahui bahwa pada penambahan kadar aspal 4,50%, 5,00%, 5,50%, 6,00%, 6,50% nilai VFA berturut-turut mengalami kenaikan. Sehingga dapat disimpulkan semakin besar kadar aspal yang digunakan maka nilai VFA akan semakin meningkat. Nilai VFA tertinggi terdapat pada campuran dengan kadar aspal 6,50% yaitu sebesar 82,35%. Berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 tentang ketentuan sifat-sifat campuran laston nilai VFA minimum untuk AC-BC yaitu 65% sehingga variasi kadar aspal yang memenuhi persyaratan yaitu kadar aspal 5,50%, 6,00%, dan 6,50%.



Gambar 4. 20 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dan Berat Volume

Sumber: Hasil Pengujian

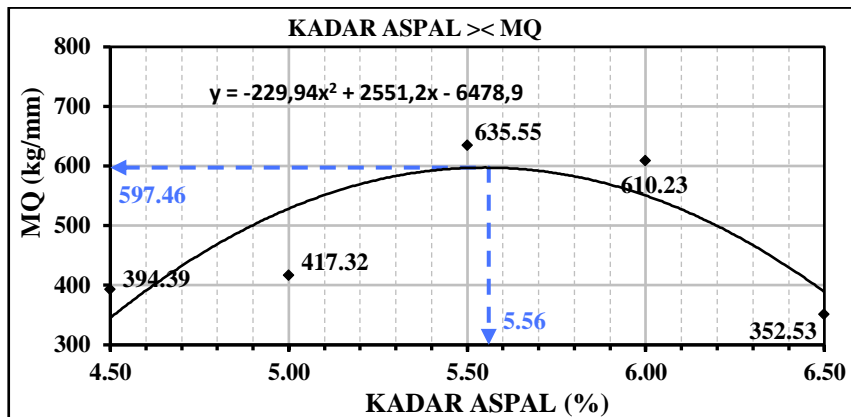
Contoh perhitungan control dari persamaan nilai Y terhadap kadar aspal 4,5 % di atas:

$$y = -0,0332x^2 + 0,4459x + 0,7815$$

$$y = -0,0332(4,5)^2 + 0,4459(4,5) + 0,7815$$

$$y = 2,121$$

Dari gambar 4.20 hubungan kadar aspal dengan berat volume diketahui bahwa pada penambahan kadar aspal 4,50%, 5,00%, 5,50%, 6,00%, 6,50% nilai berat volume berturut-turut mengalami kenaikan. Sehingga dapat disimpulkan semakin besar kadar aspal yang digunakan maka nilai berat volume akan semakin meningkat. Nilai berat volume tertinggi terdapat pada campuran aspal 6,50% yaitu sebesar 2,276 gr/cm³.



Gambar 4. 21 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dan MQ

Sumber: Hasil Pengujian

Contoh perhitungan control dari persamaan nilai Y terhadap kadar aspal 4,5 % di atas:

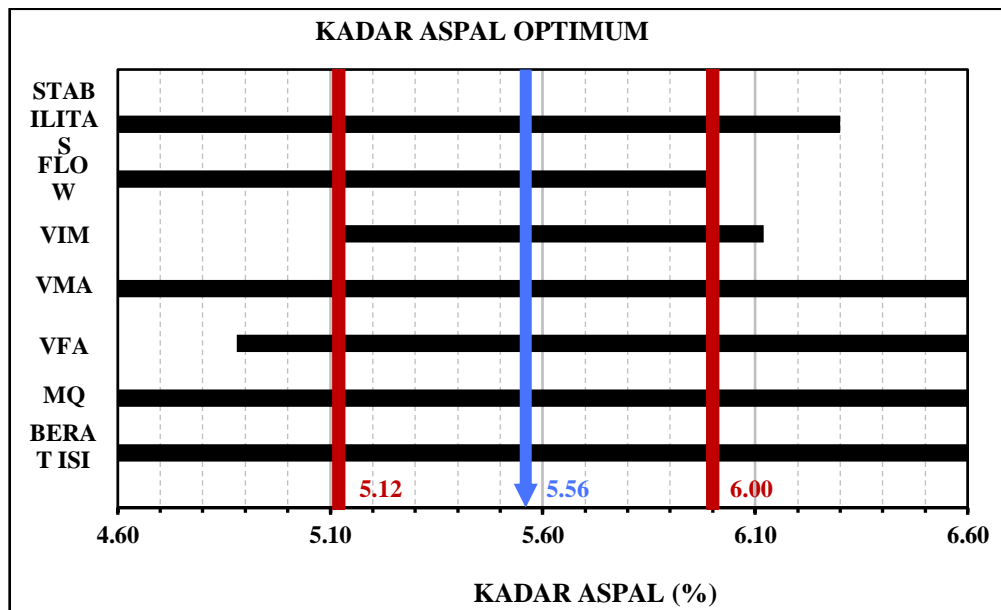
$$y = -0,0332x^2 + 0,4459x + 0,7815$$

$$y = -0,0332(4,5)^2 + 0,4459(4,5) + 0,7815$$

$$y = 2,121$$

Dari gambar 4.21 hubungan kadar aspal dengan MQ diketahui bahwa pada penambahan kadar aspal 4,50% dan 5,00% nilai MQ mengalami kenaikan, sedangkan pada kadar aspal 5,50%, 6,00%, dan 6,50% nilai MQ berturut-turut mengalami penurunan. Nilai MQ tertinggi terdapat pada campuran aspal 5,50% yaitu sebesar 635,55kg/mm. Berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 tentang ketentuan sifat-sifat campuran laston nilai MQ minimum untuk AC-BC yaitu 300 kg/mm, sehingga secara keseluruhan semua variasi kadar aspal memenuhi persyaratan.

Berdasarkan grafik diatas diperoleh kadar aspal optimum (KAO) sebagai berikut :



Gambar 4. 22 Grafik Diagram Batang Kadar Aspal Optimum (KAO)

Sumber: Hasil Pengujian

Ditinjau dari diagram diatas untuk mendapatkan kadar aspal optimum terlihat pada grafik yang mana dikelompokkan menjadi dua sisi dari perpotongan kadar aspal optimum yaitu sisi kiri dan sisi kanan. Sisi kiri menyatakan batas maksimum dan sisi kanan menyatakan batas minimum, sehingga dapat digunakan rumus sebagai berikut : $\frac{a+b}{2} = \frac{5,12+6,00}{2} = 5,56$

4.9 Komposisi Campuran Aspal AC-BC Dengan Bahan Tambahan Serbuk Ban.

Berdasarkan nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) yang telah ditetapkan sebesar 5,56%, tahap berikutnya melibatkan penyusunan komposisi campuran AC-BC yang dimodifikasi dengan serbuk ban bekas. Penggunaan serbuk ban ini dimaksudkan untuk mengevaluasi dampaknya terhadap performa campuran, khususnya pada aspek durabilitas, kekuatan, dan porositas. Pengujian dilakukan dengan membandingkan sampel kontrol (0%) terhadap variasi kadar serbuk ban sebesar 1%, 3%, 6%, dan 9%. Melalui eksperimen ini, perubahan karakteristik struktural dan stabilitas campuran dianalisis untuk mengidentifikasi dosis serbuk ban yang paling efektif. Rincian perhitungan proporsi campuran untuk setiap variasi tersebut disajikan pada Tabel 4.34.

Tabel 4. 34 Komposisi campuran aspal AC-BC dengan bahan tambahan serbuk ban

Jenis Material	% Proporsi Agg.	KADAR ASPAL OPTIMUM (%)				
		5,56 %				
		% Proporsi Campuran				
		1	2	3	4	5
10/20	15,02	14,19	14,19	14,19	14,19	14,19
10/10	18,76	17,72	17,72	17,72	17,72	17,72
5/10	20,19	19,07	19,07	19,07	19,07	19,07
0/5	44,52	42,05	42,05	42,05	42,05	42,05
Filler	1,50	1,42	1,42	1,42	1,42	1,42
Total	100,00	94,44	94,44	94,44	94,44	94,44
		100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Jenis Material	Komposisi (%)	KADAR ASPAL OPTIMUM (%)				
		5,56 %				
		SAMPEL SERBUK BAN				
		0	1%	3%	6%	9%
		Berat Agregat (gr)				
Limbah Ban		0	12	36	72	108
10/20	15,02	170,2	170,2	170,2	170,2	170,2
10/10	18,76	212,7	212,7	212,7	212,7	212,7
5/10	20,19	228,8	216,8	192,8	156,8	120,8
0/5	44,52	504,6	504,6	504,6	504,6	504,6
Filler	1,50	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0
Berat total Ag. Camp. (gr)		1133,3	1133,3	1133,3	1133,3	1133,3
Berat aspal (gr)		66,72	66,7	66,7	66,7	66,7
Berat total campuran (gr)		1200	1200,0	1200,0	1200,0	1200,0

Sumber : Hasil Pengujian

Proses penentuan proporsi material dalam campuran aspal tipe AC-BC yang dimodifikasi dengan serbuk ban bekas mengadopsi metodologi perhitungan yang serupa dengan prosedur penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO) pada kondisi standar. Perbedaan mendasar terletak pada integrasi serbuk ban sebagai material aditif dalam komposisi campuran tersebut. Secara teknis, inklusi serbuk ban ini tidak dirancang untuk meningkatkan massa total campuran aspal, melainkan berfungsi sebagai material substitusi bagi sebagian fraksi agregat berukuran 5/10 mm. Pemilihan agregat ukuran tersebut sebagai bagian yang digantikan didasarkan pada karakteristik dimensi partikel serbuk ban yang dinilai memiliki kemiripan atau berada dalam rentang ukuran yang setara. Implementasi substitusi ini dilakukan dengan mengganti sebagian bobot agregat 5/10 sesuai dengan parameter variasi kadar yang telah ditetapkan, yakni sebesar 1%, 3%, 6%, hingga 9%.

4.10 Pengujian Marshall Test Untuk Aspal AC-BC Dengan Tambahan Serbuk Ban

Tabel 4. 35 Hasil Pengujian Marshall Untuk Aspal AC-BC Dengan Bahan Tambahan Serbuk Ban

Jenis Campuran : AC-BC						Berat jenis bulk agregat (S) : 2,62					Aspal : Pertamina			Kalibrasi marshall (W) : 29,80								
Jumlah Tumbukan : 75						Gmm test (T) : 2,387					Penetrasi : 60/70			Luas Permukaan Ag. (X) : 5,36								
Suhu : 145 °C						Berat jenis efektif ag. (U) = $(100-Pb) / ((100/T) - (Pb/V))$: 2,587					B. jenis (V) : 1,034			Partikel lolos sar. #200 (Y) : 4,70								
Perkiraan kadar aspal rencana (Pb): $Pb = 0,035 \times (CA) + 0,045 \times (FA) + 0,18 \times (FF) + \text{Konstanta (laston} = 0,5 - 1 \text{ \& lataston} = 2- 3)$: 5,56 %																						
No. Benda uji	Tebal benda uji (mm)					Kadar Aspal	Berat benda uji (gram)			Volume benda uji	Berat isi	Bj. maks. camp.	% Rongga			Stabilitas		Flow	MQ	% Absorsi aspal	% Kadar aspal eff.	Rasio Part. lolos sar. #200
							kering udara	dalam air	s.s.d				V . M . A	V . I . M	V . F . A	Bacaan dial	Koreksi					
	1	2	3	4	Rata - Rata	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
							Lab. Test	Lab. Test	Lab. Test	D - C	$\frac{G}{J}$	$\frac{100 - A + \frac{A}{U}}{V}$	$\frac{F(100-A)}{S}$	$\frac{100(G-F)}{G}$	$\frac{100(H-D)}{I}$	Lab. Test	K. W. A. Koreksi	Lab. Test	$\frac{L}{M}$	$\frac{100 \cdot US \cdot Y}{S \cdot U}$	$\frac{A-(100-A)Q}{100}$	$\frac{Y}{P}$
1	59,3	60,0	59,9	59,7	59,73	0%	1049,7	576,9	1052,8	475,9	2,206		20,63	7,60	63,15	174	2573,44	3,16	814,38			
2	61,7	61,6	61,4	61,6	61,58		1064	577,1	1066	488,9	2,176		21,69	8,83	59,26	176	2484,96	4,12	603,15			
3	61,0	60,6	61,2	61,6	61,10		1055,2	574,5	1058,8	484,3	2,179		21,60	8,73	59,58	177	2528,06	3,48	726,45			
Rata - Rata										2,187	2,387	21,30	8,39	60,66	176	2528,82	3,59	714,66	-0,575	6,10	0,77	11,72
1	61,2	60,9	61,4	60,9	61,10	1%	1064	577,8	1067,5	489,7	2,173		21,81	8,98	58,82	146	2085,29	5,1	408,88			
2	61,9	61,4	60,6	60,8	61,18		1083,5	594,1	1086,4	492,3	2,201		20,80	7,80	62,48	175	2494,90	7,2	346,51			
3	61,9	61,6	61,9	62,0	61,85		1044,7	562,1	1048,5	486,4	2,148		22,71	10,03	55,85	143	2005,83	7	286,55			
Rata - Rata										2,174	2,387	21,78	8,94	59,05	155	2195,34	6,43	347,31	-0,575	6,10	0,77	11,72
1	63,5	63,8	63,6	64,9	63,95	3%	1087,1	582,7	1095	512,3	2,122		23,64	11,11	53,01	100	1337,29	5,4	247,65			
2	63,9	62,8	63,6	62,8	63,28		1051,6	558,2	1058,7	500,5	2,101		24,39	11,98	50,87	84	1140,22	6,0	190,04			
3	63,9	64,1	65,4	65,6	64,75		1074,2	573,5	1080,2	506,7	2,120		23,71	11,19	52,80	140	1840,10	6,4	287,52			
Rata - Rata										2,114	2,387	23,92	11,43	52,22	108	1439,21	5,93	241,73	-0,575	6,10	0,77	11,72

Jenis Campuran : AC-BC		Berat jenis bulk agregat (S) : 2,624			Aspal : Pertamina			Kalibrasi marshall (W) : 29,80															
Jumlah Tumbukan : 75		Gmm test (T) : 2,387			Penetrasi : 60/70			Luas Permukaan Ag. (X) : 5,36															
Suhu : 145 °C		Berat jenis efektif ag. (U) = $(100-Pb) / ((100/T) - (Pb/V))$: 2,587			B. jenis (V) : 1,034			Partikel lolos sar. #200 (Y) : 4,70															
Perkiraan kadar aspal rencana (Pb): $Pb = 0,035 \times (CA) + 0,045 \times (FA) + 0,18 \times (FF) + \text{Konstanta (laston} = 0,5 - 1 \text{ \& lataston} = 2- 3)$: 5,56 %																							
No. Benda uji	Tebal benda uji (mm)					Kadar Aspal	Berat benda uji (gram)			Volume benda uji	Berat isi Gmb	Bj. maks. camp.	% Rongga			Stabilitas		Flow	MQ	% Absorsi aspal	% Kadar aspal eff.	Rasio Part. lolos sar. #200	
							kering udara	dalam air	s.s.d				V . M . A	V . I . M	V . F . A	Bacaan dial	Koreksi						
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q						
	1	2	3	4	Rata - Rata	Lab Test	Lab Test	Lab Test	D - C	$\frac{G}{J}$	$\frac{100-A+\Delta}{U \quad V}$	$\frac{F(100-\Delta)}{S}$	$\frac{100(G-F)}{G}$	$\frac{100(H-D)}{I}$	Lab Test	K. W. A.Koreksi	Lab Test	$\frac{L}{M}$	$\frac{100 U \cdot S \cdot V}{S \cdot U}$	$\frac{A(100-A)Q}{100}$	$\frac{Y}{P}$	$\frac{A \cdot Q \cdot 1000}{X \cdot V(100-A)}$	
1	61,6	60,4	61,4	62,0	61,35	6%	5,56	1053,8	562,1	1056,2	494,1	2,133		23,25	10,66	54,16	95	1348,62	7	192,66			
2	62,0	62,1	62,6	61,3	62,00			1050,5	550,1	1054,6	504,5	2,082		25,07	12,77	49,05	94	1313,85	6,5	202,13			
3	63,9	64,1	63,6	64,4	64,00			1047,0	552,4	1052,3	499,9	2,094		24,63	12,26	50,21	80	1068,66	7,4	144,41			
Rata - Rata																							
1	63,0	63,0	62,6	62,2	62,70	9%	5,56	1053,3	558,1	1055,4	497,3	2,118		23,78	11,28	52,59	87	1196,41	6,1	196,13			
2	63,0	62,9	62,9	63,0	62,95			1051,2	553,1	1052,3	499,2	2,106		24,23	11,79	51,33	69	943,49	6,3	149,76			
3	62,2	62,3	62,3	62,6	62,35			1047,0	557,1	1048,9	491,8	2,129		23,39	10,82	53,75	80	1109,06	5,8	191,22			
Rata - Rata																							

Sumber : Hasil Pengujian

4.11 Perhitungan Interval Kepercayaan

Dari data – data yang diperoleh dalam hasil penelitian selanjutnya diuji dengan menggunakan metode interval kepercayaan. Dengan menggunakan interval kepercayaan diharapkan data – data tersebut dapat mendekati angka valid. Dalam pengujian tersebut, interval kepercayaan konfien 95%. Hal ini berarti angka toleransi kesalahan yang diijinkan hanya 5%, sedangkan sisanya 95% adalah data – data yang dipercaya. Data – data yang tidak memenuhi syarat tersebut tidak digunakan, sehingga data – data yang tidak memenuhi syarat tersebut tidak digunakan, sehingga data – data yang memenuhi syarat yang diuji secara statistic.

Tabel 4. 36 Data Pengujian Stabilitas Setelah Dilakukan Pengujian Interval

Kadar Serbuk (%)	No. Benda uji	Stabilitas (kg)	X	S	P	dk	$t_{0,975}$	Interval Kepercayaan		Keterangan
								Min	Max	
0,0	1	1485,40	1963,71	434,17	0,975	2	4,303	885,16	3042,26	Memenuhi
	2	2072,80								Memenuhi
	3	2332,93								Memenuhi
1,0	1	2085,29	2195,34	262,45	0,975	2	4,303	1543,37	2847,31	Memenuhi
	2	2494,90								Memenuhi
	3	2005,83								Memenuhi
3,0	1	1337,29	1439,20	360,90	0,975	2	4,303	542,67	2335,73	Memenuhi
	2	1140,22								Memenuhi
	3	1840,10								Memenuhi
6,0	1	1348,62	1243,71	152,59	0,975	2	4,303	864,65	1622,77	Memenuhi
	2	1313,85								Memenuhi
	3	1068,66								Memenuhi
9,0	1	1196,41	1082,99	128,46	0,975	2	4,303	763,87	1402,10	Memenuhi
	2	943,49								Memenuhi
	3	1109,06								Memenuhi

Sumber : Hasil Penelitian

Berikut adalah perhitungan stabilitas aspal pada variasi kadar serbuk ban 0%

Tabel 4. 37 Data Pengujian Stabilitas Variasi Kadar Serbuk Ban 0%

Kode Benda Uji	Stabilitas (Kg)
1	1485,40
2	2072,80
3	2332,93

Sumber : Hasil Penelitian

Dari data stabilitas diatas, selanjutnya dicari interval kepercayaan 95%

Dengan langkah – langkah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\bar{x} &= \frac{\text{Stabilitas}}{n} \\ &= \frac{1485,40+2072,80+2332,93}{3} \\ &= 1963,71\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}S &= \sqrt{\sum_1^n (X_i - \bar{x})^2} \\ S &= \sqrt{\frac{(1552,58-1554,64)^2+(1551,60-1554,64)^2+(1559,74-1554,64)^2}{3-1}} \\ &= 434,17\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}P &= 0,5 ((1+(1-0,05))) \\ &= 0,975\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Dk &= n \\ &= 2\end{aligned}$$

Keterangan:

\bar{x} = nilai rata –rata

S = standar deviasi

P = persentil

$T_{0,975}$ = nilai pada persentil

Maka nilai interval kepercayaan adalah sebagai berikut:

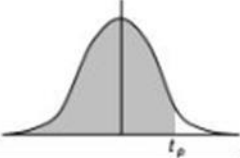
$$\begin{aligned} &= \bar{x} - \left(t_{0,975} x \frac{s}{\sqrt{n}} \right) < \mu < \left(t_{0,975} x \frac{s}{\sqrt{n}} \right) \\ &= 1554,64 - \left(t_{0,975} x \frac{29,68}{\sqrt{3}} \right) < \mu < \left(t_{0,975} x \frac{29,68}{\sqrt{3}} \right) \\ &= 982,03 < \mu < 1100,38 \end{aligned}$$

Jadi sesuai dengan range interval kepercayaan untuk data stabilitas diatas, maka data stabilitas pada variasi kadar serbuk ban 0%. Dengan cara yang sama kita dapat mencari interval kepercayaan untuk semua parameter dengan variasi yang sudah ditentukan. Selanjutnya dapat dilihat pada tabel interval kepercayaan untuk semua perhitungan dibawah ini.

Tabel 4. 38 Tabel Uji T

Sebaran t-Student

Nilai persentil untuk distribusi t
 $v = dk$
 (Bilangan dalam badan tabel menyatakan t_p)



v	t													
	0.9995	0.995	0.99	0.975	0.95	0.9	0.8	0.75	0.7	0.6	0.55	0.5		
1	638.819	63.657	31.821	12.706	6.314	3.078	1.376	1.000	0.727	1.000	0.325	0.158	0.000	
2	31.599	9.925	6.965	4.303	2.920	1.886	1.061	0.816	0.617	0.816	0.289	0.142	0.000	
3	12.924	5.841	4.541	3.182	2.353	1.638	0.978	0.765	0.584	0.765	0.277	0.137	0.000	
4	8.610	4.604	3.747	2.776	2.132	1.533	0.941	0.741	0.569	0.741	0.271	0.134	0.000	
5	6.869	4.032	3.365	2.571	2.015	1.476	0.920	0.727	0.559	0.727	0.267	0.132	0.000	
6	5.959	3.707	3.143	2.447	1.943	1.440	0.906	0.718	0.553	0.718	0.265	0.131	0.000	
7	5.408	3.499	2.998	2.365	1.895	1.415	0.896	0.711	0.549	0.711	0.263	0.130	0.000	
8	5.041	3.355	2.896	2.306	1.860	1.397	0.889	0.706	0.546	0.706	0.262	0.130	0.000	
9	4.781	3.250	2.821	2.262	1.833	1.383	0.883	0.703	0.543	0.703	0.261	0.129	0.000	
10	4.587	3.169	2.764	2.228	1.812	1.372	0.879	0.700	0.542	0.700	0.260	0.129	0.000	
11	4.437	3.106	2.718	2.201	1.796	1.363	0.876	0.697	0.540	0.697	0.260	0.129	0.000	
12	4.318	3.055	2.681	2.179	1.782	1.356	0.873	0.695	0.539	0.695	0.259	0.128	0.000	
13	4.221	3.012	2.650	2.160	1.771	1.350	0.870	0.694	0.538	0.694	0.259	0.128	0.000	
14	4.140	2.977	2.624	2.145	1.761	1.345	0.868	0.692	0.537	0.692	0.258	0.128	0.000	
15	4.073	2.947	2.602	2.131	1.753	1.341	0.866	0.691	0.536	0.691	0.258	0.128	0.000	
16	4.015	2.921	2.583	2.120	1.746	1.337	0.865	0.690	0.535	0.690	0.258	0.128	0.000	
17	3.965	2.898	2.567	2.110	1.740	1.333	0.863	0.689	0.534	0.689	0.257	0.128	0.000	
18	3.922	2.878	2.552	2.101	1.734	1.330	0.862	0.688	0.534	0.688	0.257	0.127	0.000	
19	3.883	2.861	2.539	2.093	1.729	1.328	0.861	0.688	0.533	0.688	0.257	0.127	0.000	
20	3.850	2.845	2.528	2.086	1.725	1.325	0.860	0.687	0.533	0.687	0.257	0.127	0.000	
21	3.819	2.831	2.518	2.080	1.721	1.323	0.859	0.686	0.532	0.686	0.257	0.127	0.000	
22	3.792	2.819	2.508	2.074	1.717	1.321	0.858	0.686	0.532	0.686	0.256	0.127	0.000	
23	3.768	2.807	2.500	2.069	1.714	1.319	0.858	0.685	0.532	0.685	0.256	0.127	0.000	
24	3.745	2.797	2.492	2.064	1.711	1.318	0.857	0.685	0.531	0.685	0.256	0.127	0.000	
25	3.725	2.787	2.485	2.060	1.708	1.316	0.856	0.684	0.531	0.684	0.256	0.127	0.000	
26	3.707	2.779	2.479	2.056	1.706	1.315	0.856	0.684	0.531	0.684	0.256	0.127	0.000	
27	3.690	2.771	2.473	2.052	1.703	1.314	0.855	0.684	0.531	0.684	0.256	0.127	0.000	
28	3.674	2.763	2.467	2.048	1.701	1.313	0.855	0.683	0.530	0.683	0.256	0.127	0.000	
29	3.659	2.756	2.462	2.045	1.699	1.311	0.854	0.683	0.530	0.683	0.256	0.127	0.000	
30	3.646	2.750	2.457	2.042	1.697	1.310	0.854	0.683	0.530	0.683	0.256	0.127	0.000	
40	3.551	2.704	2.423	2.021	1.684	1.303	0.851	0.681	0.529	0.681	0.255	0.126	0.000	
60	3.460	2.660	2.390	2.000	1.671	1.296	0.848	0.679	0.527	0.679	0.254	0.126	0.000	
120	3.373	2.617	2.358	1.980	1.658	1.289	0.845	0.677	0.526	0.677	0.254	0.126	0.000	
∞	2.581	2.330	1.962	1.646	1.282	1.282	1.282	1.282	0.842	0.675	0.525	0.253	0.126	

Tabel 4. 39 Data Pengujian Lelehan (Flow) Setelah Dilakukan Pengujian Interval Kepercayaan

Kadar Serbuk ban (%)	No. Benda uji	Flow (mm)	X	S	P	dk	$t_{0,975}$	Interval Kepercayaan		Keterangan
								Min	Max	
0,0	1	3,16	3,27	0,86	0,975	2	4,303	1,15	5,40	Memenuhi
	2	4,18								Memenuhi
	3	2,48								Memenuhi
1,0	1	5,10	6,43	1,16	0,975	2	4,303	3,55	9,31	Memenuhi
	2	7,20								Memenuhi
	3	7,00								Memenuhi
3,0	1	5,40	5,93	0,50	0,975	2	4,303	4,68	7,18	Memenuhi
	2	6,00								Memenuhi
	3	6,40								Memenuhi
6,0	1	7,00	6,97	0,45	0,975	2	4,303	5,85	8,09	Memenuhi
	2	6,50								Memenuhi
	3	7,40								Memenuhi
9,0	1	6,10	6,07	0,25	0,975	2	4,303	5,44	6,69	Memenuhi
	2	6,30								Memenuhi
	3	5,80								Memenuhi

Sumber : Hasil Penelitian

Tabel 4. 40 Data Pengujian VIM (Voids in The Mix) Setelah Dilakukan Pengujian Interval Kepercayaan

Kadar Serbuk ban (%)	No. Benda uji	Vim (%)	X	S	P	dk	$t_{0,975}$	Interval Kepercayaan		Keterangan
								Min	Max	
0,0	1	6,03	5,82	0,64	0,975	2	4,303	4,24	7,40	Memenuhi
	2	6,33								Memenuhi
	3	5,11								Memenuhi
1,0	1	8,98	8,94	1,12	0,975	2	4,303	6,17	11,71	Memenuhi
	2	7,80								Memenuhi
	3	10,03								Memenuhi
3,0	1	11,11	11,43	0,48	0,975	2	4,303	10,23	12,62	Memenuhi
	2	11,98								Memenuhi
	3	11,19								Memenuhi
6,0	1	10,66	11,90	1,10	0,975	2	4,303	9,16	14,63	Memenuhi
	2	12,77								Memenuhi
	3	12,26								Memenuhi
9,0	1	11,28	11,30	0,49	0,975	2	4,303	10,09	12,50	Memenuhi
	2	11,79								Memenuhi
	3	10,82								Memenuhi

Sumber : Hasil Penelitian

Tabel 4. 41 Data Pengujian VMA (Void in Mineral Agregat) Setelah Dilakukan Pengujian Interval Kepercayaan

Kadar Serbuk ban (%)	No. Benda uji	Vma (%)	X	S	P	dk	t _{0,975}	Interval Kepercayaan		Keterangan
								Min	Max	
0,0	1	19,27	19,09	0,55	0,975	2	4,303	17,73	20,45	Memenuhi
	2	19,53								Memenuhi
	3	18,48								Memenuhi
1,0	1	21,81	21,77	0,96	0,975	2	4,303	19,40	24,15	Memenuhi
	2	20,80								Memenuhi
	3	22,71								Memenuhi
3,0	1	23,64	23,91	0,41	0,975	2	4,303	22,88	24,94	Memenuhi
	2	24,39								Memenuhi
	3	23,71								Memenuhi
6,0	1	23,25	24,32	0,95	0,975	2	4,303	21,96	26,68	Memenuhi
	2	25,07								Memenuhi
	3	24,63								Memenuhi
9,0	1	23,78	23,80	0,42	0,975	2	4,303	22,76	24,84	Memenuhi
	2	24,23								Memenuhi
	3	23,39								Memenuhi

Sumber : Hasil Penelitian

Tabel 4. 42 Data Pengujian VFA (Voids Filled with Asphalt / rongga terisi aspal) Setelah Dilakukan Pengujian Interval Kepercayaan

Kadar Serbuk ban (%)	No. Benda uji	Vfa (%)	X	S	P	Dk	t _{0,975}	Interval Kepercayaan		Keterangan
								Min	Max	
0,0	1	68,74	69,57	2,49	0,975	2	4,303	63,38	75,76	Memenuhi
	2	67,60								Memenuhi
	3	72,37								Memenuhi
1,0	1	58,82	59,05	3,32	0,975	2	4,303	50,80	67,30	Memenuhi
	2	62,48								Memenuhi
	3	55,85								Memenuhi
3,0	1	53,01	52,23	1,18	0,975	2	4,303	49,30	55,16	Memenuhi
	2	50,87								Memenuhi
	3	52,80								Memenuhi
6,0	1	54,16	51,14	2,68	0,975	2	4,303	44,49	57,79	Memenuhi
	2	49,05								Memenuhi
	3	50,21								Memenuhi
9,0	1	52,59	54,56	4,54	0,975	2	4,303	43,27	65,84	Memenuhi
	2	51,33								Memenuhi
	3	59,75								Memenuhi

Sumber : Hasil Penelitian

Tabel 4. 43 Data Pengujian Berat Volume Setelah Dilakukan Pengujian Interval Kepercayaan

Kadar Serbuk ban (%)	No. Benda uji	Berat Volume (gr/cm ³)	X	S	P	dk	t _{0,975}	Interval Kepercayaan		Keterangan
								Min	Max	
0,0	1	2,243	2,248	0,0152	0,975	2	4,303	2,211	2,286	Memenuhi
	2	2,236								Memenuhi
	3	2,265								Memenuhi
1,0	1	2,173	2,174	0,0266	0,975	2	4,303	2,108	2,240	Memenuhi
	2	2,201								Memenuhi
	3	2,148								Memenuhi
3,0	1	2,122	2,114	0,0115	0,975	2	4,303	2,086	2,143	Memenuhi
	2	2,101								Memenuhi
	3	2,120								Memenuhi
6,0	1	2,133	2,103	0,0264	0,975	2	4,303	2,038	2,169	Memenuhi
	2	2,082								Memenuhi
	3	2,094								Memenuhi
9,0	1	2,118	2,118	0,0116	0,975	2	4,303	2,089	2,146	Memenuhi
	2	2,106								Memenuhi
	3	2,129								Memenuhi

Sumber : Hasil Penelitian

Tabel 4. 44 Data Pengujian MQ (Marshall Quotient) Setelah Dilakukan Pengujian Interval Kepercayaan

Kadar Serbuk ban (%)	No. Benda uji	Marshall Quotient (kg/mm)	X	S	P	dk	t _{0,975}	Interval Kepercayaan		Keterangan
								Min	Max	
0,0	1	470,06	635,55	264,58	0,975	2	4,303	-21,71	1292,81	Memenuhi
	2	495,88								Memenuhi
	3	940,70								Memenuhi
1,0	1	408,88	347,31	61,17	0,975	2	4,303	195,36	499,27	Memenuhi
	2	346,51								Memenuhi
	3	286,55								Memenuhi
3,0	1	247,65	241,73	49,01	0,975	2	4,303	119,99	363,48	Memenuhi
	2	190,04								Memenuhi
	3	287,52								Memenuhi
6,0	1	192,66	179,73	30,95	0,975	2	4,303	102,84	256,63	Memenuhi
	2	202,13								Memenuhi
	3	144,41								Memenuhi
9,0	1	196,13	179,04	25,47	0,975	2	4,303	115,76	242,32	Memenuhi
	2	149,76								Memenuhi
	3	191,22								Memenuhi

Sumber : Hasil Penelitian

4.12 Hasil Pengujian Marshall Dengan Bahan Tambahan Serbuk Ban

Kadar serbuk ban terbaik pada campuran aspal AC-BC diidentifikasi melalui analisis nilai rata-rata seluruh parameter Marshall—mencakup stabilitas, flow, MQ, VIM, VMA, serta VFA—sebagaimana yang diilustrasikan dalam grafik hasil perhitungan di bawah ini:

4.12.1 Stabilitas



Gambar 4. 23 Grafik pengaruh penambahan kadar serbuk ban terhadap stabilitas

Sumber : Hasil Pengujian

Contoh perhitungan control dari persamaan nilai Y terhadap kadar serbuk ban 0 % di atas:

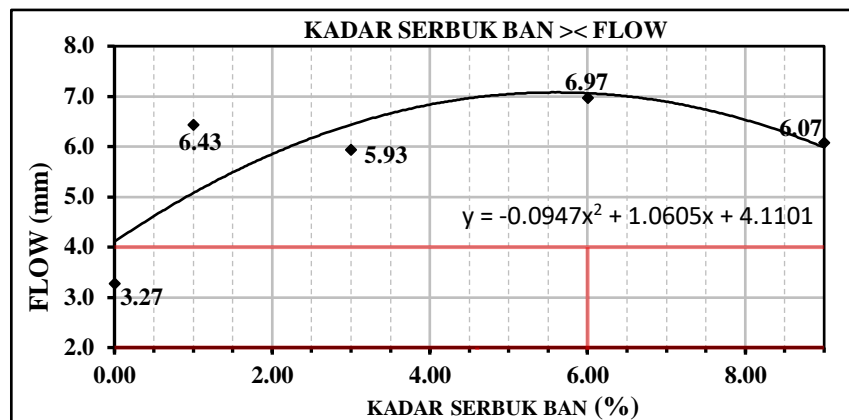
$$y = 10,958x^2 - 214,72x + 2122,6$$

$$y = 10,958(4,5)^2 - 214,72(4,5) + 2122,6$$

$$y = 1963,71$$

Dari gambar 4.23 hubungan kadar serbuk ban dengan stabilitas diketahui bahwa penambahan kadar serbuk ban membuat nilai stabilitas berturut-turut mengalami penurunan. Nilai stabilitas optimum tercapai pada campuran aspal beton dengan kadar serbuk ban 1% yaitu sebesar 2195,34 kg. Berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 tentang ketentuan sifat-sifat campuran laston nilai stabilitas minimum AC- BC yaitu 1000 kg, sehingga meskipun mengalami penurunan secara keseluruhan semua variasi kadar serbuk ban memenuhi persyaratan.

4.12.2 Flow



Gambar 4. 24 Grafik pengaruh penambahan kadar serbuk ban terhadap flow

Sumber : Hasil Pengujian

Contoh perhitungan control dari persamaan nilai Y terhadap kadar serbuk ban 0 % di atas:

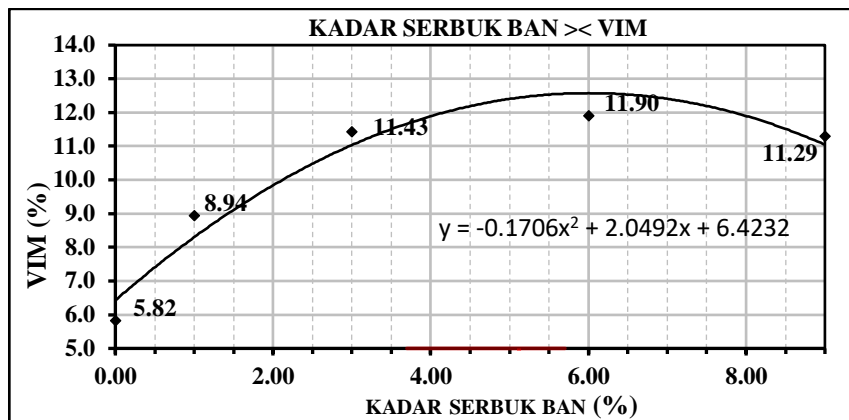
$$y = -0,0947x^2 + 1,0605x + 4,1101$$

$$y = -0,0947(4,5)^2 + 1,0605(4,5) + 4,1101$$

$$y = 3,27$$

Dari gambar 4.24 dapat dilihat rentang nilai *flow* yang dihasilkan berkisar antara 3,59 mm hingga 6,97 mm untuk variasi kadar serbuk ban 0% sampai 9%. Capaian *flow* maksimum tercatat sebesar 6,97 mm pada penggunaan serbuk ban sebanyak 6%. Merujuk pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 (rentang 2 mm hingga 4 mm), hanya campuran dengan kadar 0% yang dinyatakan memenuhi syarat dengan nilai 3,27 mm, sementara penambahan serbuk ban pada kadar lainnya melampaui batas tersebut. Secara umum, grafik menunjukkan korelasi positif antara jumlah serbuk ban dengan nilai *flow*; peningkatan kadar limbah ban tersebut membuat campuran aspal lebih fleksibel dan rentan terhadap deformasi saat memikul beban.

4.12.3 Void in Mix (VIM)



Gambar 4. 25 Grafik pengaruh penambahan kadar serbuk ban terhadap VIM

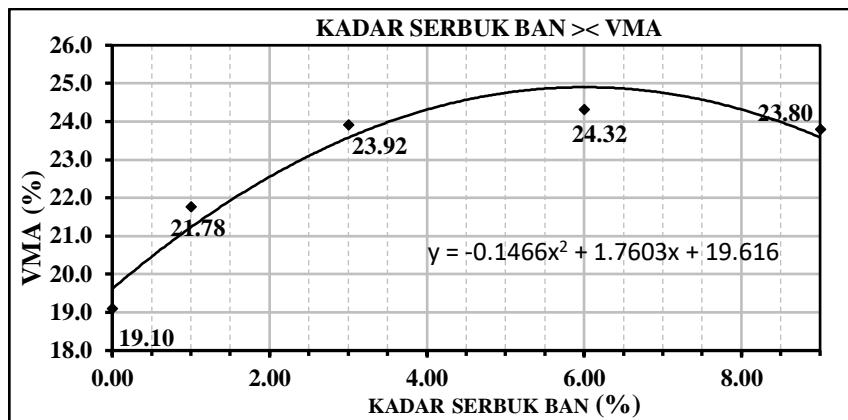
Sumber : Hasil Pengujian

Contoh perhitungan control dari persamaan nilai Y terhadap kadar serbuk ban 0 % di atas:

$$y = -0,1706x^2 + 2,0492x + 6,4232$$
$$y = -0,1706(4,5)^2 + 2,0492(4,5) + 6,4232$$
$$y = 5,82$$

Dari gambar 4.25 hubungan kadar aspal dengan VIM diketahui bahwa pada penambahan kadar serbuk ban 0%, 1%, 3%, dan 6% nilai VIM berturut-turut mengalami peningkatan sedangkan pada penambahan kadar serbuk ban 9% mengalami penurunan. Nilai VIM tertinggi terdapat pada campuran dengan kadar serbuk ban 6% yaitu sebesar 11,90%. Berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 tentang ketentuan sifat-sifat campuran laston nilai VIM minimum untuk AC-BC yaitu 3% dengan maksimum 5%, sehingga variasi kadar serbuk ban tidak memenuhi persyaratan.

4.12.4 Void in Mineral Aggregate (VMA)



Gambar 4. 26 Grafik pengaruh penambahan kadar serbuk ban terhadap VMA

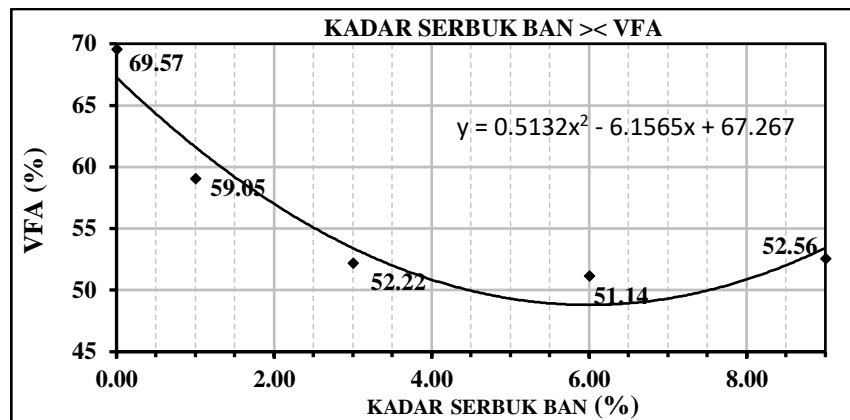
Sumber : Hasil Pengujian

Contoh perhitungan control dari persamaan nilai Y terhadap kadar serbuk ban 0 % di atas:

$$\begin{aligned}y &= -0,1466x^2 + 1,7603x + 19,616 \\y &= -0,1466(0)^2 + 1,7603(0) + 19,616 \\y &= 19,10\end{aligned}$$

Dari gambar 4.26 hubungan kadar serbuk ban dengan VMA diketahui bahwa pada penambahan kadar serbuk ban 0%, 1%, 3% dan 6% nilai VMA mengalami kenaikan, dan pada kadar serbuk ban 9% nilai VMA mengalami penurunan. Nilai VMA tertinggi terdapat pada campuran dengan kadar serbuk ban 6% yaitu sebesar 24,32%. Berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 tentang ketentuan sifat-sifat campuran laston nilai VMA minimum untuk AC-BC yaitu 15% sehingga secara keseluruhan semua variasi serbuk ban memenuhi persyaratan.

4.12.5 Voids Filled with Asphalt (VFA)



Gambar 4. 27 Grafik pengaruh penambahan kadar serbuk ban terhadap VFA

Sumber : Hasil Pengujian

Contoh perhitungan control dari persamaan nilai Y terhadap kadar serbuk ban 0 % di atas:

$$\begin{aligned}y &= 0,5132x^2 - 6,1565x + 67,267 \\y &= 0,5132(4,5)^2 - 6,1565(4,5) + 67,267 \\y &= 69,57\end{aligned}$$

Dari gambar 4.27 hubungan kadar serbuk ban dengan VFA diketahui bahwa pada penambahan kadar serbuk ban 0%, 1%, 3% dan 6% nilai VMA mengalami penurunan, dan pada kadar serbuk ban 9% nilai VMA mengalami kenaikan. Nilai VFA tertinggi terdapat pada campuran dengan kadar aspal 0% yaitu sebesar 69,57%. Berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 tentang ketentuan sifat-sifat campuran laston nilai VFA minimum untuk AC-BC yaitu 65% sehingga variasi kadar serbuk ban yang memenuhi persyaratan yaitu kadar aspal 0%.

4.12.6 Marshall Quotient (MQ)



Gambar 4. 28 Grafik pengaruh penambahan kadar serbuk ban terhadap MQ

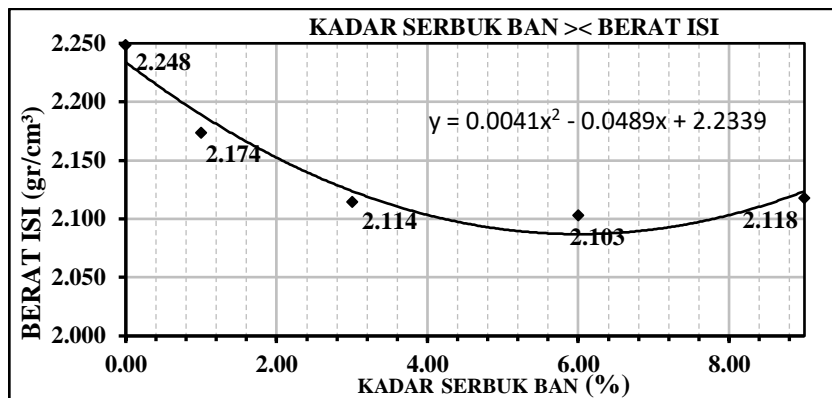
Sumber : Hasil Pengujian

Contoh perhitungan control dari persamaan nilai Y terhadap kadar serbuk ban 0 % di atas:

$$y = 10,637x^2 - 136,33x + 564,55$$
$$y = 10,637(4,5)^2 - 136,33(4,5) + 564,55$$
$$y = 635,55$$

Dari gambar 4.28 hubungan kadar serbuk ban dengan MQ diketahui bahwa pada penambahan kadar serbuk ban 0%, 1%, 3%, 6% dan 9% nilai MQ berturut-turut mengalami penurunan. Sehingga dapat disimpulkan semakin besar kadar serbuk ban yang digunakan maka nilai MQ akan semakin menurun. Nilai MQ tertinggi terdapat pada campuran serbuk ban 0% yaitu sebesar 635,55kg/mm. Berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 tentang ketentuan sifat-sifat campuran laston nilai MQ minimum untuk AC-BC yaitu 200 kg/mm, sehingga variasi kadar serbuk ban yang memenuhi persyaratan yaitu kadar serbuk ban 0%, 1%, dan 3%.

4.12.7 Berat Isi (*Density*)



Gambar 4. 29 Grafik pengaruh penambahan kadar serbuk ban terhadap density

Sumber : Hasil Pengujian

Contoh perhitungan control dari persamaan nilai Y terhadap kadar serbuk ban 0 % di atas:

$$\begin{aligned}y &= 0,0041x^2 - 0,0489x + 2,2339 \\y &= 0,0041(4,5)^2 - 0,0489(4,5) + 2,2339 \\y &= 2,248\end{aligned}$$

Dari gambar 4.29 hubungan kadar serbuk ban dengan berat volume diketahui bahwa pada penambahan kadar serbuk ban 0%, 1%, 3% dan 6% nilai berat volume berturut-turut mengalami penurunan, sedangkan pada kadar aspal 9%, nilai berat volume mengalami kenaikan. Nilai berat volume tertinggi terdapat pada campuran serbuk ban 0% yaitu sebesar 2,187 gr/cm³.

4.13 Analisa Regresi Dan Pembahasan

Perhitungan ini digunakan sebagai pembandingan dari persamaan dan koefisien determinan (R^2) merupakan nilai sebagai pengukur seberapa jauh kemampuan model regresi dalam menerangkan variasi variabel terikat (Y) yaitu Marshall Quotient (MQ). Yang didapat dari program Microsoft Excel. Perhitungan yang digunakan adalah analisa regresi.

4.13.1 Stabilitas

a. Analisa Regresi Fungsi Linear

Pada penelitian ini, untuk menganalisis variasi kadar serbuk ban terhadap kuat tekan (stabilitas) campuran aspal beton dicoba dengan menggunakan metode fungsi linear, dengan regresi bentuk persamaan:

$$\hat{Y} = a + bx \quad (2.1)$$

Analisis regresi data stabilitas:

Tabel 4. 45 Data Hasil Regresi Stabilitas Dengan Fungsi Linear

STABILITAS					
No.	X	Y	XY	x^2	Y^2
1	0	1963,71	0	0,00	3856156,96
2	1,0	2195,34	2195,34	1,00	4819517,72
3	3	1439,20	4317,61	9,00	2071306,23
4	6,0	1243,71	7462,26	36,00	1546814,56
5	9	1082,99	9746,88	81,00	1172860,12
Σ	19	7924,950	23722,09	127,00	13466655,6

Sumber : Hasil Penelitian

Keterangan:

X = Kadar Serbuk Ban (2.9)

Y = Stabilitas (2.10)

Dari Tabel 4. 19 maka didapat: (2.11)

$$\begin{aligned} \text{a.} &= \frac{(\Sigma Y)(\Sigma X^2) - (\Sigma X)(\Sigma XY)}{n(\Sigma X^2) - (\Sigma X)^2} \\ &= \frac{(7924,950)(127,00) - (19)(23722,09)}{5(127,00) - (19)^2} \\ &= 2028,281 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b.} &= \frac{n(\Sigma XY) - (\Sigma X)(\Sigma Y)}{(n)(\Sigma X^2) - (\Sigma X)^2} \\ &= \frac{5(23722,09) - (19)(7924,950)}{5(127,00) - (19)^2} \\ &= -116,655 \end{aligned}$$

Maka didapat persamaan:

$$\hat{Y} = 2028,281 - 116,655x$$

Mencari koefisien determinasi (R^2)

$$R^2 = \frac{n\sum XY - \sum X \sum Y}{\sqrt{\{(n\sum X^2 - (\sum X)^2)(n\sum Y^2 - (\sum Y)^2)\}}}$$

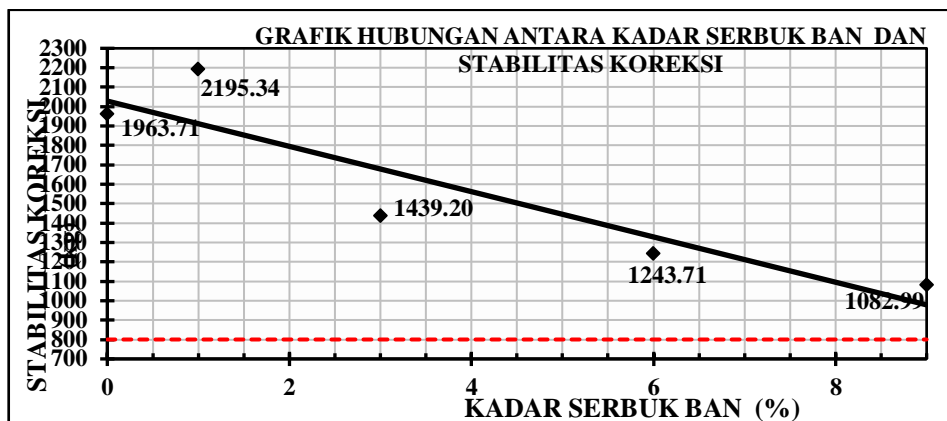
$$= \frac{5(23722,09) - (\sum X)(\sum Y)}{((5)(127,00) - 19^2)((5)(13466655,6^2 - 7924,950)^2)}$$

$$= 0,8234$$

Dari rumus diatas dapat diketahui bila $x = 6\%$ (kadar aspal optimum)

$$\hat{Y} = 107,022 + 210,153(6)$$

$$= 1380$$



Gambar 4. 30 Grafik Nilai Stabilitas Pada Kadar Serbuk Ban Dengan Menggunakan Analisa Regresi Fungsi Linear

Sumber: Hasil Penelitian

b. Analisa Regresi Fungsi Non Linear

Pada penelitian ini, untuk menganalisis variasi kadar aspal terhadap kuat tekan (Stabilitas) campuran aspal beton dicoba dengan menggunakan metode fungsi non linear, dengan regresi bentuk persamaan :

$$\hat{Y} = a + bX + cX^2$$

Dengan persamaan perhitungan sebagai berikut:

$$\sum Y = na + b \sum X + c \sum X^2$$

$$\sum XY = a \sum X + \sum X^2 + c \sum X^3$$

$$\sum X^2Y = a \sum X^2 + b \sum X^3 + c \sum X^4$$

Analisis regresi data stabilitas:

Tabel 4. 46 Data Hasil Regresi Stabilitas Dengan Fungsi Non Linear

STABILITAS								
No	K.Aspal (X)	Stabilitas (Y)	Y ²	X ²	X ³	X ⁴	XY	X ² Y
1	0,0	1963,71	3856156,964	0,000	0,00	0,00	0,000	0,000
2	1,0	2195,34	4819517,716	1,000	1,00	1,00	2195,340	2195,340
3	3,0	1439,20	2071306,235	9,000	27,00	81,00	4317,610	12952,830
4	6,0	1243,71	1546814,564	36,000	216,00	1296,00	7462,260	44773,560
5	9,0	1082,99	1172860,120	81,000	729,00	6561,00	9746,880	87721,920
Total (Σ)	19,0	7924,950	13466655,6	127,00	973,0	7939,000	23722,090	147643,650

Sumber : Hasil Penelitian

Keterangan:

X = Kadar Serbuk Ban

Y = Stabilitas

Dari tabel 4.20 didapatkan persamaan:

$$7924,950 = 5a + 19,0b + 127,00c$$

$$23722,090 = 19,0b + 127,00b + 973,0c$$

$$147643,650 = 127,00a + 973,0b + 7939,000c$$

Dari persamaan diatas didapat nilai a,b, dan c sebagai berikut:

$$a = 2122,59$$

$$b = -214,72$$

$$c = 10,959$$

Maka persamaan adalah:

$$\hat{Y} = 2122,59 + -214,72X + 10,959X^2$$

Mencari koefisien determinasi (R^2)

$$\begin{aligned}
 JK(b|a) &= (b - \left\{ \sum XY - \frac{(\sum X^2)(\sum Y)}{n} \right\}) + (c - \left\{ \sum X^2 Y - \frac{(\sum X^2)(\sum Y)}{n} \right\}) \\
 &= (6562,580 - \left\{ 23722,090 - \frac{(127,00)(7924,950)}{5} \right\}) + \\
 &\quad (-577,493 - \left\{ 147643,650 - \frac{(127,00)(7924,950)}{5} \right\}) \quad (2.12) \\
 &= 143126,534
 \end{aligned}$$

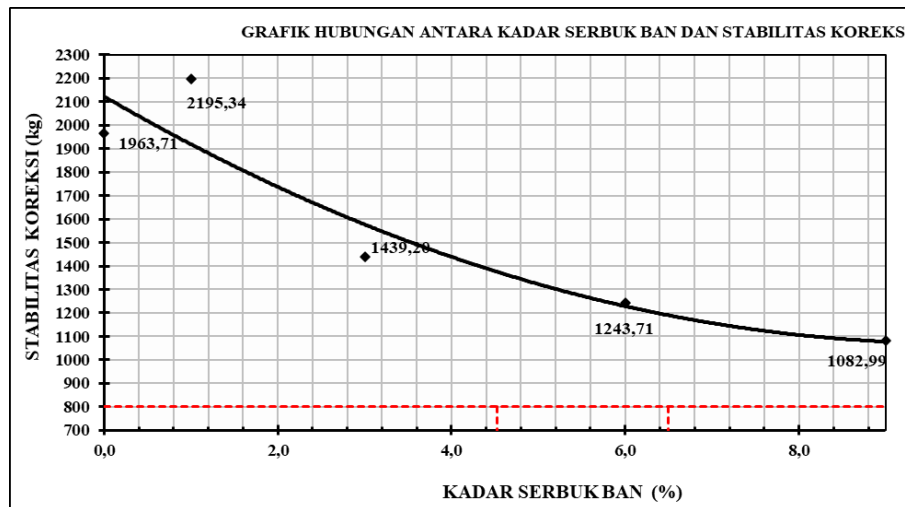
$$\begin{aligned}
 JK(E) &= \sum X^2 - \frac{(\sum Y)^2}{n} \quad (2.13) \\
 &= 127,00 - \frac{(7924,950)^2}{5} \\
 &= -7973980,7
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R^2 &= \frac{JK(b|a)}{JK(E)} \quad (2.14) \\
 &= \frac{143126,534}{-7973980,7} \\
 &= 1,856 \%
 \end{aligned}$$

Dari rumus diatas dapat diketahui bila $x = 6\%$ (serbuk ban optimum)

$$\begin{aligned}
 \hat{Y} &= 2122,59 + -214,72X + 10,959X^2 \\
 &= 2122,59 + -214,72 (6) + 10,959 (6)^2 \\
 &= 1267,677 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Nilai stabilitas = 1267,677 kg (memenuhi spesifikasi, dimana nilai stabilitas minimum 800 kg)



Gambar 4. 31 Grafik Nilai Stabilitas Pada Kadar Serbuk Ban Dengan Menggunakan Analisa Regresi Fungsi NonLinear

Sumber: Hasil Penelitian

Berdasarkan perhitungan diatas, diketahui bahwa nilai (R^2) merupakan nilai sebagai pengukur seberapa jauh kemampuan model regresi dalam menerangkan variasi variabel terikat (Y) yaitu Marshall Quotient (MQ). Yang diperoleh dengan menggunakan perhitungan analisa regresi fungsi linear sebesar 0,2745 sedangkan nilai R^2 yang diperoleh dengan menggunakan perhitungan analisa regresi fungsi non linear sebesar 0,9999. Sehingga dari kedua perhitungan diatas, dapat disimpulkan bahwa perhitungan analisa regresi fungsi non linear adalah perhitungan yang digunakan, karena nilai R^2 mendekati 1.

4.13.2 Kelelehan (Flow)

a. Analisa Regresi Fungsi Linear

Pada penelitian ini, untuk menganalisis variasi kadar aspal terhadap kelelehan (flow) campuran aspal beton dicoba dengan menggunakan metode fungsi linear, dengan regresi bentuk persamaan:

$$\hat{Y} = a + bx$$

Analisis regresi data kelelehan (flow):

Tabel 4. 47 Data Hasil Regresi Kelelehan (Flow) Dengan Fungsi Linear

FLOW					
No.	X	Y	XY	x^2	Y^2
1	0	3,27	0,00	0	10,71
2	1,0	6,43	6,43	1,0	41,39
3	3	5,93	17,80	9	35,20
4	6,0	6,97	41,80	36,0	48,53
5	9	6,07	54,60	81	36,80
Σ	19	28,67	120,63	127,00	172,6

Sumber: Hasil Penelitian

Keterangan:

X = Kadar Serbuk Ban

Y = Kelelehan (Flow)

Dari tabel 4.21 maka didapat:

$$\begin{aligned}
 \text{a.} &= \frac{(\Sigma Y)(\Sigma X^2) - (\Sigma X)(\Sigma XY)}{n(\Sigma X^2) - (\Sigma X)^2} \\
 &= \frac{(28,67)(127,00) - (19)(120,63)}{5(127,00) - (19)^2} \\
 &= -3,433
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{b.} &= \frac{n(\Sigma XY) - (\Sigma X)(\Sigma Y)}{(n)(\Sigma X^2) - (\Sigma X)^2} \\
 &= \frac{5(120,63) - (19)(28,67)}{5(127,00) - (19)^2} \\
 &= 1,133
 \end{aligned}$$

Maka didapatkan persamaan:

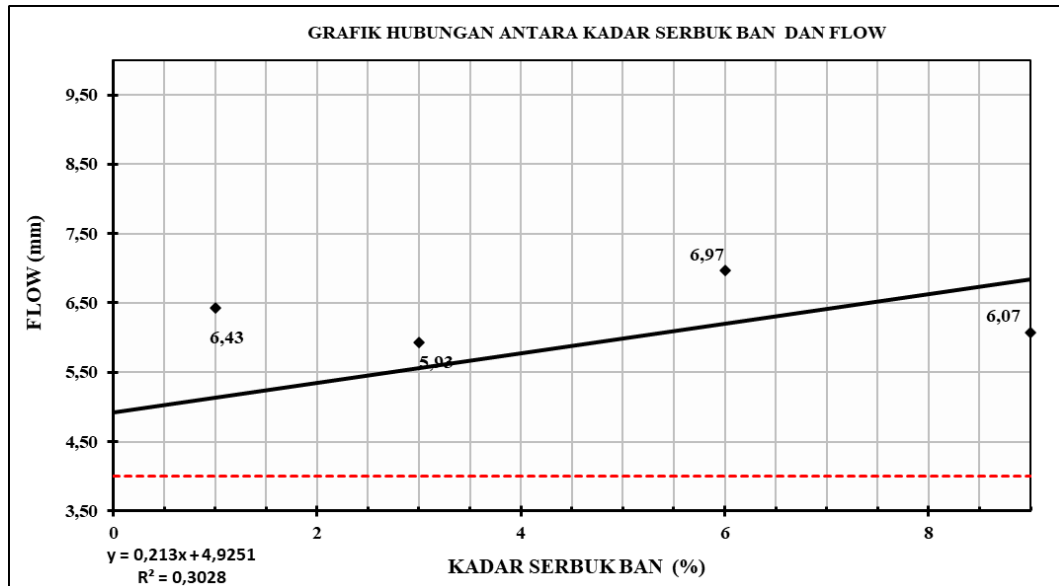
$$\hat{Y} = -3,433 + 1,133X$$

Mencari koefisien determinasi (R^2)

$$R^2 = \frac{n\Sigma XY - \Sigma X \Sigma Y}{\sqrt{\{(n\Sigma X^2 - (\Sigma X)^2)(n\Sigma Y^2 - (\Sigma Y)^2)\}}}$$

$$= \frac{5(120,63) - (19)(28,67)}{((5)(127,00) - 19^2)((5)(172,6^2 - 28,67)^2)}$$

$$= 0,9601$$



Gambar 4. 32 Grafik Nilai Kelelahan (Flow) Pada Kadar Serbuk Ban Dengan Menggunakan Analisa Regresi Fungsi Linear

Sumber : Hasil Penelitian

b. Analisa Regresi Fungsi Non Linear

Pada penelitian ini, untuk menganalisis variasi kadar aspal terhadap kelelahan (flow) campuran aspal beton dicoba dengan menggunakan metode fungsi non linear, dengan regresi bentuk persamaan :

$$\hat{Y} = a + bX + cX^2$$

Dengan persamaan perhitungan sebagai berikut:

$$\sum Y = na + b \sum X + c \sum X^2$$

$$\sum XY = a \sum X + \sum X^2 + c \sum X^3$$

$$\sum X^2Y = a \sum X^2 + b \sum X^3 + c \sum X^4$$

Analisis regresi data kelelahan (flow):

Tabel 4. 48 Data Hasil Regresi Kelelehan (Flow) Dengan Fungsi Non Linear

FLOW								
No	K.Aspal (X)	Flow (Y)	Y ²	X ²	X ³	X ⁴	XY	X ² Y
1	0,0	3,27	10,715	0,000	0,00	0,00	0,000	0,000
2	1,0	6,43	41,388	1,000	1,00	1,00	6,433	6,433
3	3,0	5,93	35,204	9,000	27,00	81,00	17,800	53,400
4	6,0	6,97	48,534	36,000	216,00	1296,00	41,800	250,800
5	9,0	6,07	36,804	81,000	729,00	6561,00	54,600	491,400
Total (Σ)	19,0	28,673	172,6	127,0	973,0	7939,000	120,633	802,033

Sumber : Hasil Penelitian

Keterangan:

X = Kadar Serbuk Ban

Y = Kelelehan (Flow)

Dari tabel 4.22 didapatkan persamaan:

$$28,673 = 5a + 19,0b + 127,0c$$

$$120,633 = 19,0b + 127,0b + 973,0c$$

$$802,033 = 127,0a + 973,0b + 7939,000c$$

Dari persamaan diatas didapat nilai a,b, dan c sebagai berikut:

$$a = 7,90$$

$$b = -3,057$$

$$c = 0,381$$

Maka persamaan adalah:

$$\hat{Y} = 7,90 + 3,057X + 0,381X^2$$

Mencari koefisien determinasi (R²)

$$\begin{aligned}
 JK(b|a) &= (b - \left\{ \sum XY - \frac{(\sum X^2)(\sum Y)}{n} \right\}) + (c - \left\{ \sum X^2 Y - \frac{(\sum X^2)(\sum Y)}{n} \right\}) \\
 &= (-3,057 - \left\{ 120,633 - \frac{(127,0)(28,673)}{5} \right\}) + \\
 &\quad (0,381 - \left\{ 802,033 - \frac{(127,0)(28,673)}{5} \right\})
 \end{aligned}$$

$$= -1347,28$$

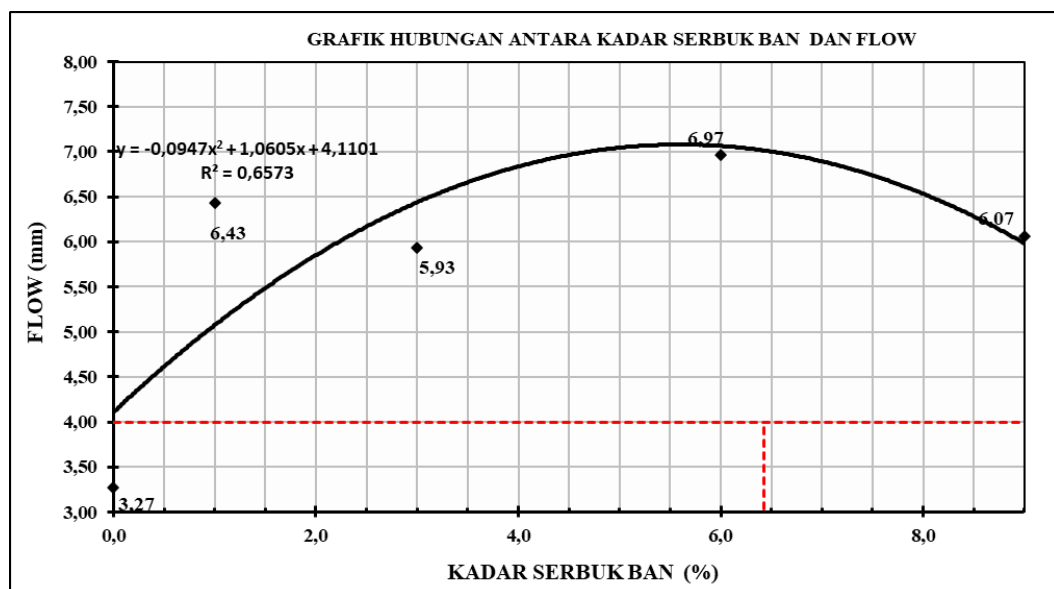
$$\begin{aligned} JK(E) &= \sum X^2 - \frac{(\sum Y)^2}{n} \\ &= 127,0 - \frac{(28,673)^2}{5} \\ &= 114,55 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R^2 &= \frac{JK(b|a)}{JK(E)} \\ &= \frac{-1347,28}{114,55} \\ &= 99,8\% \end{aligned}$$

Dari rumus diatas dapat diketahui bila $x = 6\%$ (serbuk ban optimum)

$$\begin{aligned} \hat{Y} &= -17073,405 + 6562,580X + -577,493X^2 \\ &= -17073,405 + 6562,580(6) + -577,493(6)^2 \\ &= 2,92 \end{aligned}$$

Nilai Flow = 2,92 (memenuhi spesifikasi, dimana nilai flow minimum 2)



Gambar 4. 33 Grafik Nilai Kelelahan (Flow) Pada Kadar Serbuk Ban Dengan Menggunakan Analisa Regresi Fungsi NonLinear

Sumber : Hasil Penelitian

Berdasarkan perhitungan diatas, diketahui bahwa nilai (R^2) merupakan nilai sebagai pengukur seberapa jauh kemampuan model regresi dalam menerangkan variasi variabel terikat (Y) yaitu Marshall Quotient (MQ). Yang diperoleh dengan menggunakan perhitungan analisa regresi fungsi linear sebesar 0,9601 sedangkan nilai R^2 yang diperoleh dengan menggunakan perhitungan analisa regresi fungsi non linear sebesar 0,9981. Sehingga dari kedua perhitungan diatas, dapat disimpulkan bahwa perhitungan analisa regresi fungsi non linear adalah perhitungan yang digunakan, karena nilai R^2 mendekati 1.

4.13.3 Voids In The Mix (VIM)

a. Analisa Regresi Fungsi Linear

Pada penelitian ini, untuk menganalisis variasi kadar aspal terhadap VIM (Voids in The Mix) campuran aspal beton dicoba dengan menggunakan metode fungsi linear, dengan regresi bentuk persamaan:

$$\hat{Y} = a + bx \quad (2.4)$$

Analisis regresi data VIM (Voids in The Mix):

Tabel 4. 49 Data Hasil Regresi VIM (Voids in The Mix) Dengan Fungsi Linear

VIM					
No.	X	Y	XY	x^2	Y^2
1	0	5,82	0	0	33,91
2	1,0	8,94	8,936667	1	79,86
3	3	11,43	34,28	9	130,57
4	6,0	11,90	71,38	36	141,53
5	9	11,30	101,67	81	127,61
Σ	19	49,38	216,27	127,00	513,5

Sumber : Hasil Penelitian

Keterangan:

X = Kadar Serbuk Ban

Y = VIM (Voids in The Mix)

Dari tabel 4.24 maka didapat:

$$\begin{aligned} \text{a.} &= \frac{(\sum Y)(\sum X^2) - (\sum X)(\sum XY)}{n(\sum X^2) - (\sum X)^2} \\ &= \frac{(49,38)(127,00) - (19)(216,27)}{5(127,00) - (19)^2} \\ &= 15,105 \end{aligned}$$

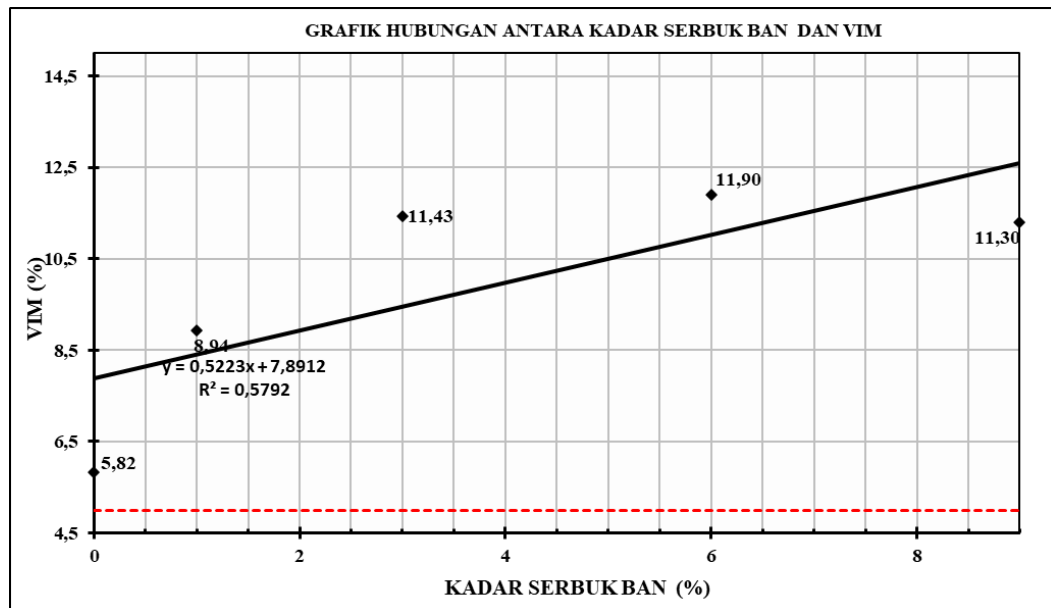
$$\begin{aligned} \text{b.} &= \frac{n(\sum XY) - (\sum X)(\sum Y)}{(n)(\sum X^2) - (\sum X)^2} \\ &= \frac{5(216,27) - (19)(49,38)}{5(127,00) - (19)^2} \\ &= -1,924 \end{aligned}$$

Maka didapatkan persamaan:

$$\hat{Y} = 15,105 + -1,924X$$

Mencari koefisien determinasi (R^2)

$$\begin{aligned} R^2 &= \frac{n\sum XY - \sum X \sum Y}{\sqrt{\{(n\sum X^2 - (\sum X)^2)(n\sum Y^2 - (\sum Y)^2)\}}} \\ &= \frac{5(216,27) - (19)(49,38)}{((5)(127,00) - 19^2)((5)(513,5 - 49,38)^2)} \\ &= 0,9859 \end{aligned}$$



Gambar 4. 34 Grafik Nilai VIM (Voids in The Mix) Pada Kadar Serbuk Ban Dengan Menggunakan Analisa Regresi Fungsi Linear

Sumber : Hasil Penelitian

b. Analisa Regresi Fungsi Non Linear

Pada penelitian ini, untuk menganalisis variasi kadar aspal terhadap VIM (Voids in The Mix) campuran aspal beton dicoba dengan menggunakan metode fungsi non linear, dengan regresi bentuk persamaan :

$$\hat{Y} = a + bX + cX^2$$

Dengan persamaan perhitungan sebagai berikut:

$$\sum Y = na + b \sum X + c \sum X^2$$

$$\sum XY = a \sum X + \sum X^2 + c \sum X^3$$

$$\sum X^2Y = a \sum X^2 + b \sum X^3 + c \sum X^4$$

Analisis regresi data VIM (Voids in The Mix):

Tabel 4. 50 Data Hasil Regresi VIM (Voids in The Mix) Dengan Fungsi Non Linear

VIM								
No	K.Aspal (X)	Vim (Y)	Y ²	X ²	X ³	X ⁴	XY	X ² Y
1	0,0	5,82	33,911	0,000	0,00	0,00	0,000	0,000
2	1,0	8,94	79,864	1,000	1,00	1,00	8,937	8,937
3	3,0	11,43	130,569	9,000	27,00	81,00	34,280	102,840
4	6,0	11,90	141,531	36,000	216,00	1296,00	71,380	428,280
5	9,0	11,30	127,615	81,000	729,00	6561,00	101,670	915,030
Total (Σ)	19,0	49,380	513,5	127,0	973,0	7939,000	216,267	1455,087

Sumber : Hasil Penelitian

Keterangan:

X = Kadar Serbuk Ban

Y = VIM (Voids in The Mix)

Dari tabel 4.25 didapatkan persamaan:

$$49,380 = 5a + 19,0b + 127,0c$$

$$216,267 = 19,0b + 127,0b + 973,0c$$

$$1455,087 = 127,0a + 973,0b + 7939,000c$$

Dari persamaan diatas didapat nilai a,b, dan c sebagai berikut:

$$a = 26,49$$

$$b = -6,134$$

$$c = 0,383$$

Maka persamaan adalah:

$$\hat{Y} = 0,383X^2 + -6,134X + 26,49$$

Mencari koefisien determinasi (R²)

$$JK (b|a) = (b - \left\{ \frac{\sum XY - \frac{(\sum X^2)(\sum Y)}{n}}{n} \right\}) + (c - \left\{ \frac{\sum X^2 Y - \frac{(\sum X^2)(\sum Y)}{n}}{n} \right\})$$

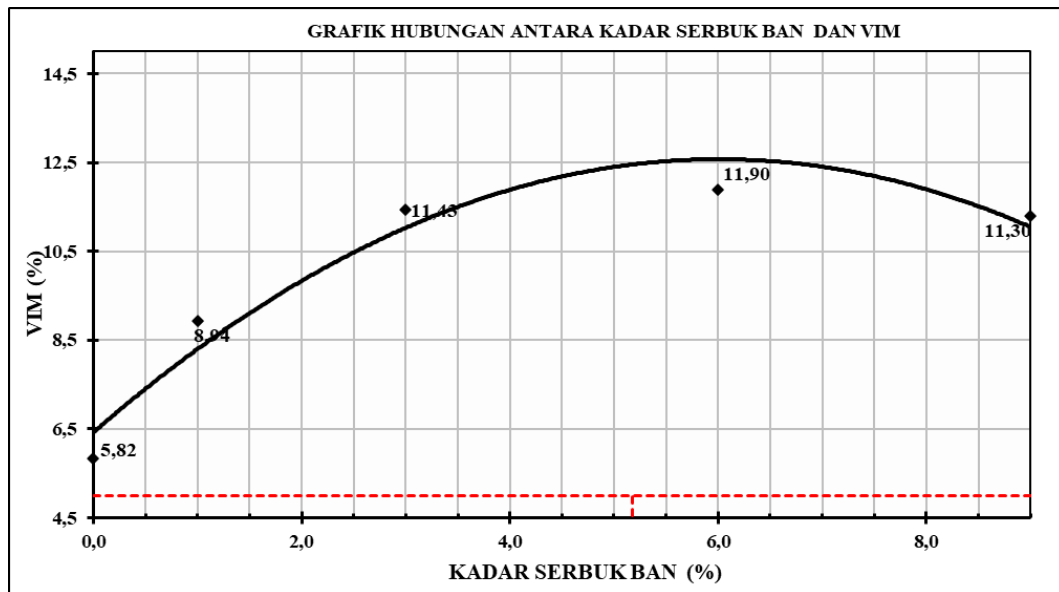
$$\begin{aligned}
&= (-6,134 - \{216,267 - \frac{(127,0)(49,380)}{5}\}) + \\
&\quad (0,383 - \{1455,087 - \frac{(127,0)(49,380)}{5}\}) \\
&= 9,381
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
JK(E) &= \sum X^2 - \frac{(\sum Y)^2}{n} \\
&= 127,0 - \frac{(49,380)^2}{5} \\
&= 9,385
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
R^2 &= \frac{JK(b|a)}{JK(E)} \\
&= \frac{9,381}{9,385} \\
&= 100,0\%
\end{aligned}$$

Dari rumus diatas dapat diketahui bila $x = 6\%$ (Serbuk ban optimum)

$$\begin{aligned}
\hat{Y} &= 0,383X^2 + -6,134X + 26,49 \\
&= 0,383(6)^2 + -6,134 (6) + 26,49 \\
&= 3,87
\end{aligned}$$



Gambar 4. 35 Grafik Nilai VIM (Voids in The Mix) Pada Kadar Serbuk Ban Dengan Menggunakan Analisa Regresi Fungsi Non Linear

Sumber : Hasil Penelitian

Berdasarkan perhitungan diatas, diketahui bahwa nilai (R^2) merupakan nilai sebagai pengukur seberapa jauh kemampuan model regresi dalam menerangkan variasi variabel terikat (Y) yaitu Marshall Quotient (MQ). Yang diperoleh dengan menggunakan perhitungan analisa regresi fungsi linear sebesar 0,9601 sedangkan nilai R^2 yang diperoleh dengan menggunakan perhitungan analisa regresi fungsi non linear sebesar 0,9996 Sehingga dari kedua perhitungan diatas, dapat disimpulkan bahwa perhitungan analisa regresi fungsi non linear adalah perhitungan yang digunakan, karena nilai R^2 mendekati 1.

4.13.4 Percent of Voids in Mineral Aggregate (VMA)

a. Analisa Regresi Fungsi Linear

Pada penelitian ini, untuk menganalisis variasi kadar aspal terhadap VMA (Percent of Voids in Mineral Aggregate) campuran aspal beton dicoba

dengan menggunakan metode fungsi linear, dengan regresi bentuk persamaan:

$$\hat{Y} = a + bX + cX^2 \quad (2.2)$$

Dengan persamaan perhitungan sebagai berikut:

$$\sum Y = na + b \sum X + c \sum X^2$$

$$\sum XY = a \sum X + \sum X^2 + c \sum X^3$$

$$\sum X^2Y = a \sum X^2 + b \sum X^3 + c \sum X^4$$

Analisis regresi data VMA (Percent of Voids in Mineral Aggregate):

Tabel 4. 51 Data Hasil Regresi VMA (Percent of Voids in Mineral Aggregate)

VMA					
No.	X	Y	XY	x^2	Y^2
1	0	19,09	0	0	364,56
2	1,0	21,77	21,77333	1,0	474,08
3	3	23,91	71,74	9	571,85
4	6,0	24,32	145,9	36,0	591,30
5	9	23,80	214,2	81	566,44
Σ	19	112,90	453,61	127,00	2568,2

Sumber : Hasil Penelitian

Keterangan:

X = Kadar Aspal

Y = Kelelehan (Flow)

Dari tabel 4.51 maka didapat:

$$\begin{aligned} \text{a.} &= \frac{(\sum Y)(\sum X^2) - (\sum X)(\sum XY)}{n(\sum X^2) - (\sum X)^2} \\ &= \frac{(112,90)(127,00) - (19)(453,61)}{5(127,00) - (19)^2} \\ &= 16,349 \end{aligned}$$

$$\text{b.} = \frac{n(\sum XY) - (\sum X)(\sum Y)}{(n)(\sum X^2) - (\sum X)^2}$$

$$= \frac{5(453,61) - (19)(112,90)}{5(127,00) - (19)^2}$$

$$= 0,094$$

Maka didapatkan persamaan:

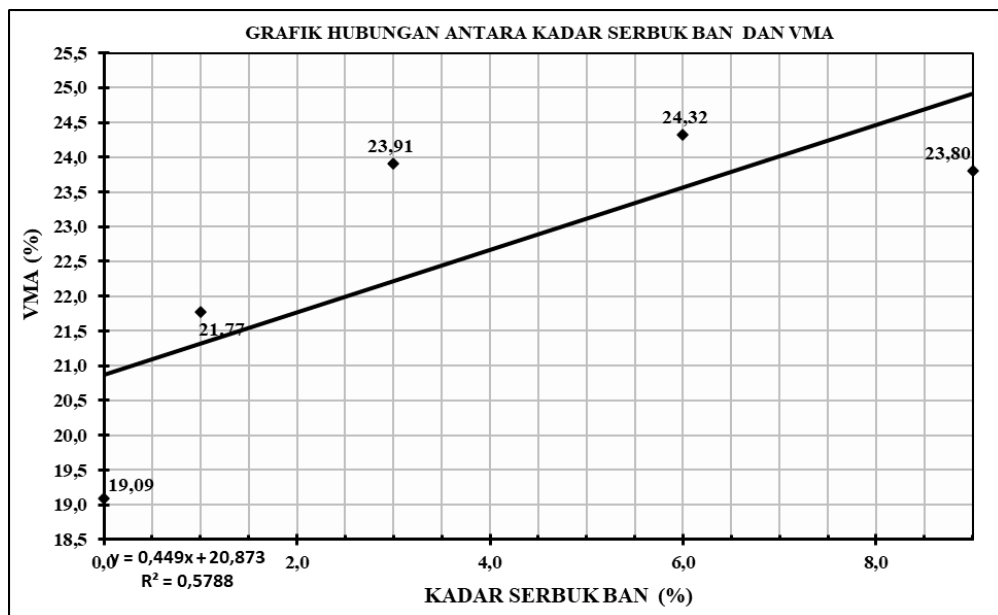
$$\hat{Y} = -3,433 + X$$

Mencari koefisien determinasi (R^2)

$$R^2 = \frac{n\sum XY - \sum X \sum Y}{\sqrt{\{(n\sum X^2 - (\sum X)^2)(n\sum Y^2 - (\sum Y)^2)\}}}$$

$$= \frac{5(453,61) - (19)(112,90)}{((5)(127,00) - 19^2)((5)(2568,2 - 112,90)^2)}$$

$$= 0,0644$$



Gambar 4. 36 Grafik Nilai VMA (Percent of Voids in Mineral Aggregate) Pada Kadar Serbuk Ban Dengan Menggunakan Analisa Regresi Fungsi Linear

Sumber : Hasil Penelitian

b. Analisa Regresi Fungsi Non Linear

Pada penelitian ini, untuk menganalisis variasi kadar aspal terhadap VMA (Percent of Voids in Mineral Aggregate) campuran aspal beton dicoba

dengan menggunakan metode fungsi non linear, dengan regresi bentuk persamaan :

$$\hat{Y} = a+bX+cX^2$$

Dengan persamaan perhitungan sebagai berikut:

$$\sum Y = na + b \sum X + c \sum X^2$$

$$\sum XY = a \sum X + \sum X^2 + c \sum X^3$$

$$\sum X^2Y = a \sum X^2 + b \sum X^3 + c \sum X^4$$

Analisis regresi data VMA (Percent of Voids in Mineral Aggregate):

Tabel 4. 52 Data Hasil Regresi VMA (Percent of Voids in Mineral Aggregate)

VMA								
No	K.Asfal (X)	Vma (Y)	Y ²	X ²	X ³	X ⁴	XY	X ² Y
1	0,0	19,09	364,555	0,000	0,00	0,00	0,000	0,000
2	1,0	21,77	474,078	1,000	1,00	1,00	21,773	21,773
3	3,0	23,91	571,848	9,000	27,00	81,00	71,740	215,220
4	6,0	24,32	591,300	36,000	216,00	1296,00	145,900	875,400
5	9,0	23,80	566,440	81,000	729,00	6561,00	214,200	1927,800
Total (Σ)	19,0	112,897	2568,2	127,0	973,0	7939,000	453,613	3040,193

Sumber : Hasil Penelitian

Keterangan:

X = Kadar Serbuk Ban

Y = VMA (Percent of Voids in Mineral Aggregate) Dari tabel 4.52

didapatkan persamaan:

$$112,897 = 5a + 19,0b + 127,0c$$

$$453,613 = 19,0b + 127,0b + 973,0c$$

$$3040,193 = 127,0a + 973,0b + 7939,000c$$

Dari persamaan diatas didapat nilai a,b, dan c sebagai berikut:

$$a = 33,66$$

$$b = -6,305$$

$$c = 0,58$$

Maka persamaan adalah:

$$\hat{Y} = 33,66 + -6,305X + 0,582X^2$$

Mencari koefisien determinasi (R^2)

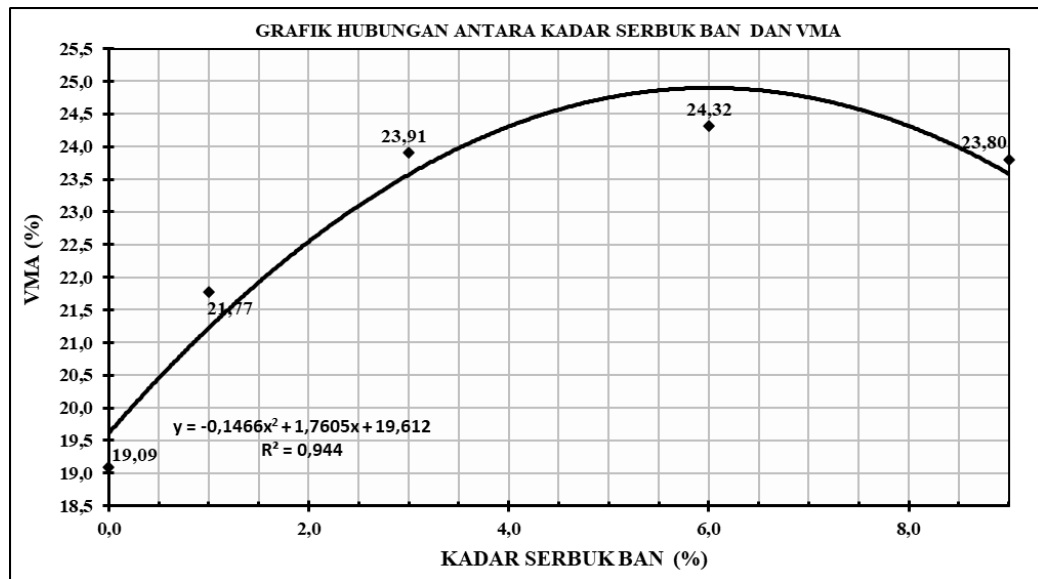
$$\begin{aligned} JK(b|a) &= (b - \left\{ \sum XY - \frac{(\sum X^2)(\sum Y)}{n} \right\}) + (c - \left\{ \sum X^2 Y - \frac{(\sum X^2)(\sum Y)}{n} \right\}) \\ &= (-6,305 - \left\{ 453,613 - \frac{(127,0)(112,897)}{5} \right\}) + \\ &\quad (-0,582 - \left\{ 3040,193 - \frac{(127,0)(112,897)}{5} \right\}) \\ &= 0,318 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} JK(E) &= \sum X^2 - \frac{(\sum Y)^2}{n} \\ &= 127,0 - \frac{(112,897)^2}{5} \\ &= 0,343 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R^2 &= \frac{JK(b|a)}{JK(E)} \\ &= \frac{0,318}{0,343} \\ &= 92,8\% \end{aligned}$$

Dari rumus diatas dapat diketahui bila $x = 6\%$ (Serbuk ban optimum)

$$\begin{aligned} \hat{Y} &= 0,582 X^2 + -6,305X + 33,66 \\ &= 0,582(6)^2 + -6,305(6) + 33,66 \\ &= 16,681 \end{aligned}$$



Gambar 4. 37 Grafik Nilai VMA (Percent of Voids in Mineral Aggregate) Pada Kadar Serbuk Ban Dengan Menggunakan Analisa Regresi Fungsi Non Linear

Sumber : Hasil Penelitian

Berdasarkan perhitungan diatas, diketahui bahwa nilai (R^2) merupakan nilai sebagai pengukur seberapa jauh kemampuan model regresi dalam menerangkan variasi variabel terikat (Y) yaitu Marshall Quotient (MQ). Yang diperoleh dengan menggunakan perhitungan analisa regresi fungsi linear sebesar 0,0644 sedangkan nilai R^2 yang diperoleh dengan menggunakan perhitungan analisa regresi fungsi non linear sebesar 0,9276 Sehingga dari kedua perhitungan diatas, dapat disimpulkan bahwa perhitungan analisa regresi fungsi non linear adalah perhitungan yang digunakan, karena nilai R^2 mendekati 1.

4.13.5 Marshall Quotient (MQ)

a. Analisa Regresi Fungsi Linear

Pada penelitian ini, untuk menganalisis variasi kadar aspal terhadap MQ (Marshall Quotient) campuran aspal beton dicoba dengan menggunakan metode fungsi linear, dengan regresi bentuk persamaan:

$$\hat{Y} = a+bX+cX^2 \quad (2.5)$$

Analisis regresi data MQ (Marshall Quotient)

Tabel 4. 53 Data Hasil Regresi MQ (Marshall Quotient) Dengan Fungsi Linear

MQ					
No.	X	Y	XY	x^2	Y^2
1	0	635,55	0	0	403921,16
2	1,0	347,31	347,314	1,0	120626,99
3	3	241,73	725,1994	9	58434,90
4	6,0	179,73	1078,409	36,0	32304,58
5	9	179,04	1611,331	81	32054,19
Σ	19	1583,37	3762,25	127,00	647341,8

Sumber : Hasil Penelitian

Keterangan:

X = Kadar Serbuk Ban

Y = MQ (Marshall Quotient)

Dari tabel 4.53 maka didapat:

$$\begin{aligned} \text{a.} &= \frac{(\Sigma Y)(\Sigma X^2) - (\Sigma X)(\Sigma XY)}{n(\Sigma X^2) - (\Sigma X)^2} \\ &= \frac{(1583,37)(127,00) - (19)(3762,25)}{5(127,00) - (19)^2} \\ &= 908,048 \end{aligned}$$

$$\text{b.} = \frac{n(\Sigma XY) - (\Sigma X)(\Sigma Y)}{(n)(\Sigma X^2) - (\Sigma X)^2}$$

$$= \frac{5(3762,25) - (19)(1583,37)}{5(127,00) - (19)^2}$$

$$= -78,301$$

Maka didapatkan persamaan:

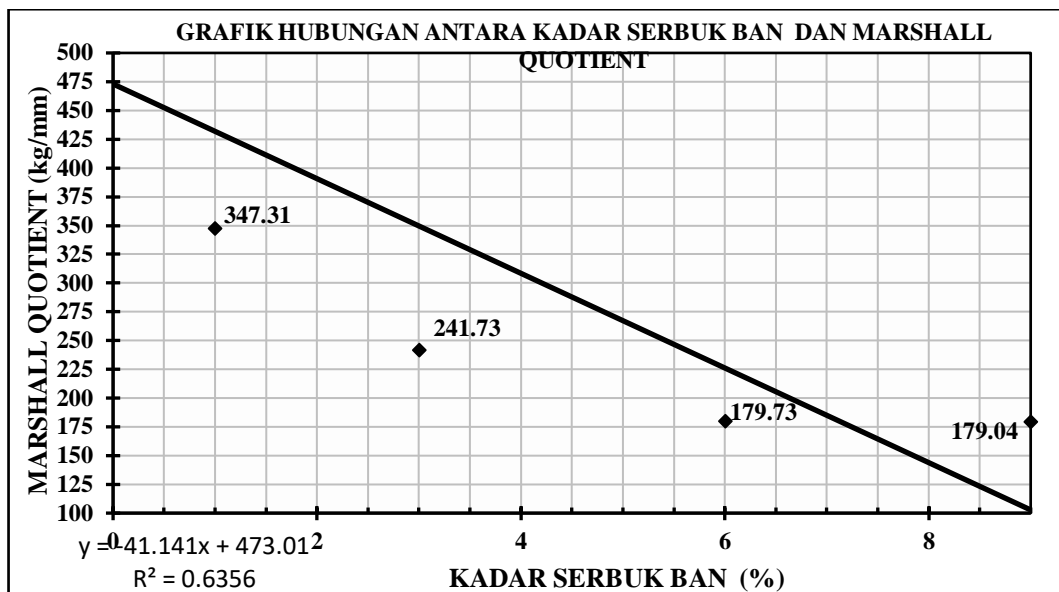
$$\hat{Y} = -3,433 + X$$

Mencari koefisien determinasi (R^2)

$$R^2 = \frac{n\sum XY - \sum X \sum Y}{\sqrt{\{(n\sum X^2 - (\sum X)^2)(n\sum Y^2 - (\sum Y)^2)\}}}$$

$$= \frac{5(3762,25) - (19)(1583,37)}{((5)(127,00) - 19^2)((5)(647341,8 - 1583,37)^2)}$$

$$= 0,2108$$



Gambar 4. 38 Grafik Nilai MQ (Marshall Quotient) Pada Kadar Serbuk Ban Dengan Menggunakan Analisa Regresi Fungsi Linear

Sumber : Hasil Penelitian

b. Analisa Regresi Fungsi Non Linear

Pada penelitian ini, untuk menganalisis variasi kadar aspal terhadap MQ (Marshall Quotient) campuran aspal beton dicoba dengan menggunakan metode fungsi non linear, dengan regresi bentuk persamaan :

$$\hat{Y} = a+bX+cX^2$$

Dengan persamaan perhitungan sebagai berikut:

$$\sum Y = na + b \sum X + c \sum X^2$$

$$\sum XY = a \sum X + \sum X^2 + c \sum X^3$$

$$\sum X^2Y = a \sum X^2 + b \sum X^3 + c \sum X^4$$

Analisis regresi data MQ (Marshall Quotient):

Tabel 4. 54 Data Hasil Regresi MQ (Marshall Quotient) Dengan Fungsi Non Linear

MARSHALL QUOTIENT								
No	K.Aspal (X)	MQ (Y)	Y ²	X ²	X ³	X ⁴	XY	X ² Y
1	0,0	635,55	403921,155	0,000	0,00	0,00	0,000	0,000
2	1,0	347,31	120626,992	1,000	1,00	1,00	347,314	347,314
3	3,0	241,73	58434,903	9,000	27,00	81,00	725,199	2175,598
4	6,0	179,73	32304,581	36,000	216,00	1296,00	1078,409	6470,451
5	9,0	179,04	32054,187	81,000	729,00	6561,00	1611,331	14501,983
Total (\sum)	19,0	1583,367	647341,8	127,0	973,0	7939,000	3762,253	23495,346

Sumber : Hasil Penelitian

Keterangan:

X = Kadar Serbuk Ban

Y = MQ (Marshall Quotient)

Dari tabel 4.54 didapatkan persamaan:

$$1583,367 = 5a + 19,0b + 127,0c$$

$$3762,253 = 19,0b + 127,0b + 973,0c$$

$$23495,346 = 127,0a + 973,0b + 7939,000c$$

Dari persamaan diatas didapat nilai a,b, dan c sebagai berikut:

$$a = -6546,68$$

$$b = 2678,069$$

$$c = -250,579$$

Maka persamaan adalah:

$$\hat{Y} = -6546,68 + 2678,069X + -250,579X^2$$

Mencari koefisien determinasi (R^2)

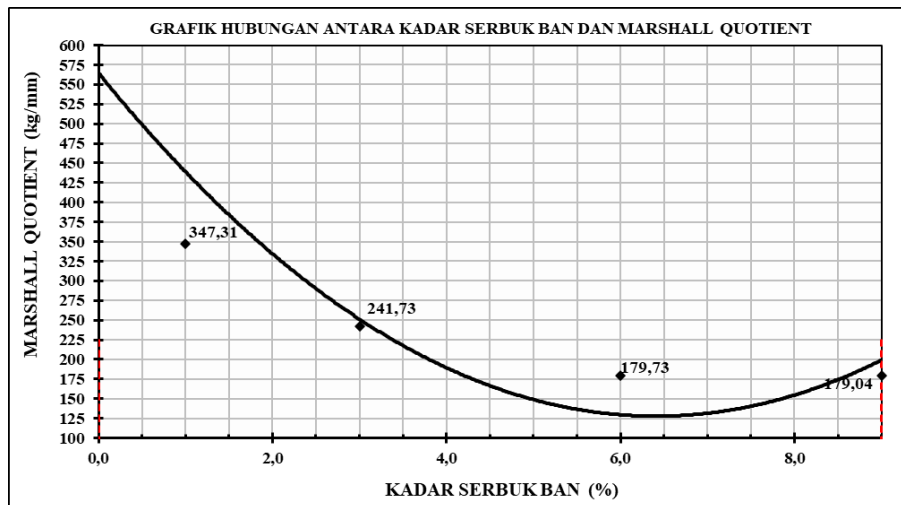
$$\begin{aligned} JK(b|a) &= (b - \left\{ \sum XY - \frac{(\sum X^2)(\sum Y)}{n} \right\}) + (c - \left\{ \sum X^2 Y - \frac{(\sum X^2)(\sum Y)}{n} \right\}) \\ &= (2678,069 - \left\{ 3762,253 - \frac{(127,0)(1583,367)}{5} \right\}) + \\ &\quad (-250,579 - \left\{ 23495,346 - \frac{(127,0)(1583,367)}{5} \right\}) \\ &= 70268,847 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} JK(E) &= \sum X^2 - \frac{(\sum Y)^2}{n} \\ &= 127,0 - \frac{(1583,367)^2}{5} \\ &= 72704,931 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R^2 &= \frac{JK(b|a)}{JK(E)} \\ &= \frac{70268,847}{72704,931} \\ &= 96,6\% \end{aligned}$$

Dari rumus diatas dapat diketahui bila $x = 6\%$ (Serbuk ban optimum)

$$\begin{aligned} \hat{Y} &= -250,579X^2 + 2678,069X + -6546,68 \\ &= -250,579 (6)^2 + 2678,069 (6) + -6546,68 \\ &= 566,42 \text{ kg/mm} \end{aligned}$$



Gambar 4. 39 Grafik Nilai MQ (Marshall Quotient) Pada Kadar Serbuk Ban Dengan Menggunakan Analisa Regresi Fungsi Non Linear

Sumber : Hasil Penelitian

Berdasarkan perhitungan diatas, diketahui bahwa nilai (R^2) merupakan nilai sebagai pengukur seberapa jauh kemampuan model regresi dalam menerangkan variasi variabel terikat (Y) yaitu Marshall Quotient (MQ). Yang diperoleh dengan menggunakan perhitungan analisa regresi fungsi linear sebesar 0,2108 sedangkan nilai R^2 yang diperoleh dengan menggunakan perhitungan analisa regresi fungsi non linear sebesar 0,9987. Sehingga dari kedua perhitungan diatas, dapat disimpulkan bahwa perhitungan analisa regresi fungsi non linear adalah perhitungan yang digunakan, karena nilai R^2 mendekati 1.

4.13.6 VFA (Percent Voids Filled With Asphalt)

a. Analisa Regresi Fungsi Linear

Pada penelitian ini, untuk menganalisis variasi kadar aspal terhadap VFA (Percent Voids Filled With Asphalt) campuran aspal beton dicoba dengan menggunakan metode fungsi linear, dengan regresi bentuk persamaan:

$$\hat{Y} = a+bx \quad (2.3)$$

Analisis regresi data VFA (Percent Voids Filled With Asphalt):

Tabel 4. 55 Data Hasil Regresi VFA (Percent Voids Filled With Asphalt) Dengan Fungsi Linear

VFA					
No.	X	Y	XY	x^2	Y^2
1	0	69,57	0	0	4839,98
2	1,0	59,05	59,05	1	3486,90
3	3	52,23	156,68	9	2727,62
4	6,0	51,14	306,84	36	2615,30
5	9	54,56	491,01	81	2976,43
Σ	19	286,54	1013,58	127,00	16646,2

Sumber : Hasil Penelitian

Keterangan:

X = Kadar Serbuk Ban

Y = VFA (Percent Voids Filled With Asphalt)

Dari tabel 4.55 maka didapat:

$$\begin{aligned}
 \text{a.} &= \frac{(\Sigma Y)(\Sigma X^2) - (\Sigma X)(\Sigma XY)}{n(\Sigma X^2) - (\Sigma X)^2} \\
 &= \frac{(286,54)(127,00) - (19)(1013,58)}{5(127,00) - (19)^2} \\
 &= 10,334
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{b.} &= \frac{n(\Sigma XY) - (\Sigma X)(\Sigma Y)}{(n)(\Sigma X^2) - (\Sigma X)^2} \\
 &= \frac{5(1013,58) - (19)(286,54)}{5(127,00) - (19)^2} \\
 &= 11,423
 \end{aligned}$$

Maka didapatkan persamaan:

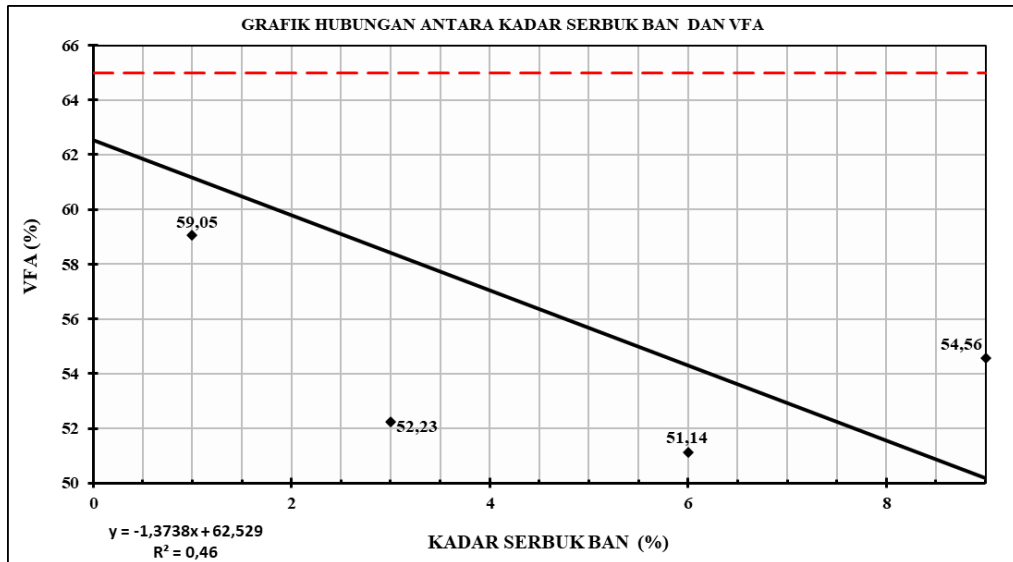
$$\hat{Y} = 10,334 + 11,423x$$

Mencari koefisien determinasi (R^2)

$$R^2 = \frac{n\Sigma XY - \Sigma X \Sigma Y}{\sqrt{\{(n\Sigma X^2 - (\Sigma X)^2)(n\Sigma Y^2 - (\Sigma Y)^2)\}}}$$

$$= \frac{5(1013,58) - (19)(286,54)}{((5)(127,00) - 19^2)((5)(16646,2 - 286,54)^2)}$$

$$= 0,9935$$



Gambar 4. 40 Grafik Nilai VFA (Percent Voids Filled With Asphalt) Pada Kadar Serbuk Ban Dengan Menggunakan Analisa Regresi Fungsi Linear

Sumber : Hasil Penelitian

b. Analisa Regresi Fungsi Non Linear

Pada penelitian ini, untuk menganalisis variasi kadar aspal terhadap VFA (Percent Voids Filled With Asphalt) campuran aspal beton dicoba dengan menggunakan metode fungsi non linear, dengan regresi bentuk persamaan :

$$\hat{Y} = a + bX + cX^2$$

Dengan persamaan perhitungan sebagai berikut:

$$\sum Y = na + b \sum X + c \sum X^2$$

$$\sum XY = a \sum X + \sum X^2 + c \sum X^3$$

$$\sum X^2Y = a \sum X^2 + b \sum X^3 + c \sum X^4$$

Analisis regresi data VFA (Percent Voids Filled With Asphalt)

Tabel 4. 56 Data Hasil Regresi VFA (Percent Voids Filled With Asphalt) Dengan Fungsi Non Linear

VFA								
No	K.Aspal (X)	Vfa (Y)	Y ²	X ²	X ³	X ⁴	XY	X ² Y
1	0,0	69,57	4839,985	0,000	0,00	0,00	0,000	0,000
2	1,0	59,05	3486,903	1,000	1,00	1,00	59,050	59,050
3	3,0	52,23	2727,625	9,000	27,00	81,00	156,680	470,040
4	6,0	51,14	2615,300	36,000	216,00	1296,00	306,840	1841,040
5	9,0	54,56	2976,430	81,000	729,00	6561,00	491,010	4419,090
Total (Σ)	19,0	286,543	16646,2	127,0	973,0	7939,000	1013,580	6789,220

Sumber : Hasil Penelitian

X = Kadar Serbuk Ban

Y = VFA (Percent Voids Filled With Asphalt) Dari tabel 4.56 didapatkan persamaan:

$$286,543 = 5a + 19,0b + 127,0c$$

$$1013,580 = 19,0b + 127,0b + 973,0c$$

$$6789,220 = 127,0a + 973,0b + 7939,000c$$

Dari persamaan diatas didapat nilai a,b, dan c sebagai berikut:

$$a = -31,24$$

$$b = 26,794$$

$$c = -1,397$$

Maka persamaan adalah:

$$\hat{Y} = -1,397x^2 + 26,794x + -31,24$$

Mencari koefisien determinasi (R²)

$$\begin{aligned} JK (b|a) &= (b - \left\{ \frac{\sum XY - (\sum X^2)(\sum Y)}{n} \right\}) + (c - \left\{ \frac{\sum X^2 Y - (\sum X^2)(\sum Y)}{n} \right\}) \\ &= (-26,794 - \left\{ 1013,580 - \frac{(127,0)(286,543)}{5} \right\}) + \\ &\quad (-31,24 - \left\{ 6789,220 - \frac{(127,0)(286,543)}{5} \right\}) \end{aligned}$$

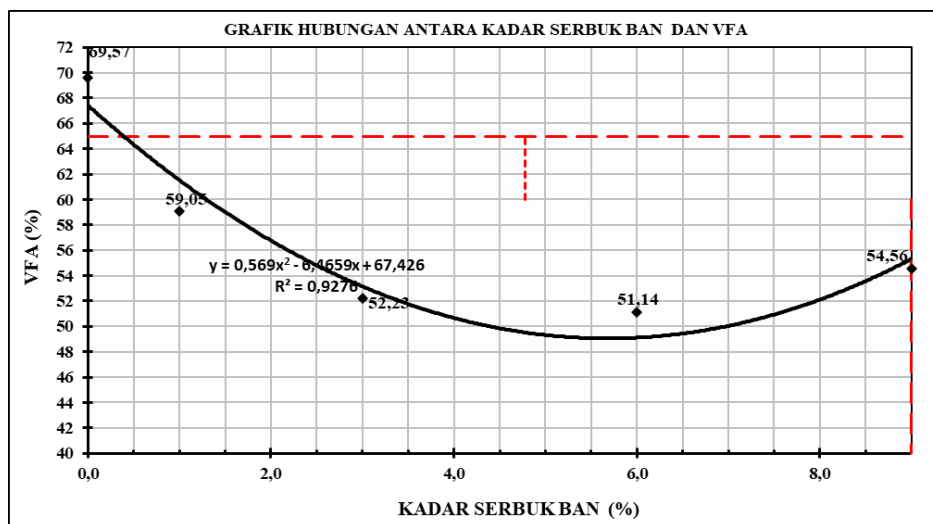
$$= 327,943$$

$$\begin{aligned} JK(E) &= \sum X^2 - \frac{(\sum Y)^2}{n} \\ &= 127,0 - \frac{(286,543)^2}{5} \\ &= 328,367 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R^2 &= \frac{JK(b|a)}{JK(E)} \\ &= \frac{70268,847}{328,367} \\ &= 99,9\% \end{aligned}$$

Dari rumus diatas dapat diketahui bila $x = 6\%$ (Serbuk ban optimum)

$$\begin{aligned} \hat{Y} &= -250,579X^2 + 2678,069X + -6546,68 \\ &= -1,397(6)^2 + 26,794(6) + -31,24 \\ &= 76,68 \end{aligned}$$



Gambar 4. 41 Nilai VFA (Percent Voids Filled With Asphalt) Pada Kadar Serbuk Ban Dengan Menggunakan Analisa Regresi Fungsi Non Linear

Sumber: Hasil Penelitian

Berdasarkan perhitungan diatas, diketahui bahwa nilai (R^2) merupakan nilai sebagai pengukur seberapa jauh kemampuan model regresi dalam menerangkan variasi variabel terikat (Y) yaitu Marshall Quotient (MQ). Yang diperoleh dengan menggunakan perhitungan analisa regresi fungsi linear sebesar 0,9935 sedangkan nilai R^2 yang diperoleh dengan menggunakan perhitungan analisa regresi fungsi non linear sebesar 0,9867. Sehingga dari kedua perhitungan diatas, dapat disimpulkan bahwa perhitungan analisa regresi fungsi non linear adalah perhitungan yang digunakan, karena nilai R^2 mendekati 1.

4.14 Perhitungan Kadar Serbuk Ban Optimum Pada Campuran Aspal AC-BC

Penentuan kadar serbuk ban optimal pada campuran aspal AC-BC dilakukan setelah seluruh data pengujian dan analisis grafik diperoleh. Adapun rincian hasil perhitungan tersebut disajikan dalam Tabel 4.36 di bawah ini:

Tabel 4. 57 Hasil Perhitungan kadar serbuk ban optimum pada campuran aspal AC-BC

Parameter	A	b	c	x optimum (%)	y optimum
Stabilitas	10,958	- 214,72	2122,6	9,80	1070,7502
Flow	-0,0947	1,0605	4,1101	5,60	7,0791
VIM	-0,1706	2,0492	6,4232	6,01	12,5768
VMA	-0,1466	1,7603	19,616	6,00	24,9002
VFA	0,5132	- 6,1565	67,267	6,00	48,8032
MQ	10,637	- 136,33	564,55	6,41	127,7288
Density	0,0041	- 0,0489	2,2339	5,96	2,0881

Sumber : Hasil Pengujian

Perhitungan dilakukan menggunakan rumus persamaan polynomial sebagai berikut:

$$X \text{ optimum} = - \frac{b}{2 \times a}$$

$$Y \text{ optimum} = a \times X^2 + b \times X + c$$

Contoh perhitungan :

$$X \text{ optimum} = - \frac{b}{2 \times a}$$

$$= - \frac{2 \times a}{2 \times (10,958)}$$

$$= - \frac{-214,72}{2 \times (10,958)}$$

$$= 9,80$$

$$Y \text{ optimum} = a \times X^2 + b \times X + c$$

$$= 10,958 \times 9,80^2 - 214,72 \times 9,80 + 2122,6$$

$$= 829,81$$

Sehingga setelah didapatkan semua nilai X optimum dari semua parameter pengujian marshall, di ambil nilai rata-rata dari nilai X optimum yaitu sebagai berikut :

$$X \text{ optimum (Kadar serbuk ban optimum)} = \frac{9,80+5,60+6,01+6,00+6,00+6,41+5,96}{7}$$

$$= 6,54 \% \approx 6 \%$$

Berdasarkan perhitungan didapatkan hasil 6% sebagai nilai optimum penggunaan serbuk ban.

4.15 Pengujian Hipotesis

Hasil pengujian hipotesis diperoleh melalui analisis statistik dengan mengamati nilai P-value yang tercantum pada tabel masing-masing parameter marshall. Uji ANOVA ini digunakan untuk menilai seberapa signifikan pengaruh variabel X (variasi kadar serbuk ban) terhadap variabel Y (parameter karakteristik marshall campuran aspal AC-BC). Hasil nilai P-value < 0,05 menunjukkan bahwa terdapat pengaruh yang signifikan dalam variasi tersebut. Pengujian ANOVA dalam penelitian ini menggunakan software minitab versi 22.

4.15.1 Stabilitas

Tabel 4. 58 Hasil ANOVA terhadap nilai stabilitas

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
kegiatan	4	2717067	679267	7,95	0,004
Error	10	854833	85483		
Total	14	3571901			

Sumber: Hasil Penelitian

Pada tabel 4.58 menunjukkan bahwa variasi kadar serbuk ban memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai stabilitas yang dinyatakan dalam P-value sebesar $0,004 < 0,05$. Hal ini berarti bahwa perubahan kadar serbuk ban dalam campuran secara nyata dan signifikan memengaruhi stabilitas. Pengaruh yang dihasilkan dari variasi serbuk ban cenderung positif karena mengalami kenaikan nilai stabilitas yaitu pada kadar serbuk ban 1%. Sehingga dapat dipertimbangkan sebagai bahan campuran aspal porus menggunakan kadar serbuk ban tersebut.

4.15.2 Flow

Tabel 4. 59 Hasil ANOVA terhadap nilai Flow

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
kegiatan	4	24,641	6,1604	11,87	0,001
Error	10	5,191	0,5191		
Total	14	29,832			

Sumber: Hasil Penelitian

Pada tabel 4.59 menunjukkan bahwa variasi kadar serbuk ban memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai flow yang dinyatakan dalam P-value

sebesar $0,001 < 0,05$. Hal ini berarti bahwa perubahan kadar serbuk ban dalam campuran secara nyata dan signifikan memengaruhi flow yang dihasilkan. Pengaruh yang dihasilkan dari variasi serbuk ban cenderung positif karena mengalami kenaikan nilai flow dari kadar 1%, 3%, dan 6%.

4.15.3 *Void in Mix (VIM)*

Tabel 4. 60 Hasil ANOVA terhadap nilai VIM

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
kegiatan	4	77,437	19,3593	29,09	0,000
Error	10	6,655	0,6655		
Total	14	84,092			

Sumber: Hasil Penelitian

Pada tabel 4.60 menunjukkan bahwa variasi kadar serbuk ban memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai VIM yang dinyatakan dalam P-value sebesar $0,00001 < 0,05$. Hal ini berarti bahwa perubahan kadar serbuk ban dalam campuran secara nyata dan signifikan memengaruhi VIM yang dihasilkan. Pengaruh yang dihasilkan dari variasi serbuk ban cenderung positif karena mengalami kenaikan nilai VIM yaitu pada kadar 1%, 3% dan 6% kemudian mengalami penurunan pada kadar 9%.

4.15.4 *Void in Mineral Aggregate (VMA)*

Tabel 4. 61 Hasil ANOVA terhadap nilai VMA

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
kegiatan	4	57,269	14,3173	29,08	0,000
Error	10	4,924	0,4924		
Total	14	62,193			

Sumber: Hasil Penelitian

Pada tabel 4.61 menunjukkan bahwa variasi kadar serbuk ban memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai VMA yang dinyatakan dalam P-value sebesar $0,00001 < 0,05$. Hal ini berarti bahwa perubahan kadar serbuk ban dalam campuran secara nyata dan signifikan memengaruhi VMA yang dihasilkan. Pengaruh yang dihasilkan dari penambahan serbuk ban pada campuran aspal porus cenderung positif karena mengalami kenaikan nilai VMA yaitu pada kadar 1%, 3% dan 6% kemudian mengalami penurunan pada kadar 9%.

4.15.5 *Void Filled with Asphalt (VFA)*

Tabel 4. 62 Hasil ANOVA terhadap nilai VFA

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
kegiatan	4	674,48	168,619	18,16	0,000
Error	10	92,85	9,285		
Total	14	767,33			

Sumber: Hasil Penelitian

Berdasarkan hasil ANOVA pada tabel 4.38 diperoleh nilai P-value sebesar $0,00001 < 0,05$. Hal ini menunjukkan bahwa variasi kadar serbuk ban berpengaruh secara signifikan terhadap nilai VFA (Void Filled with Asphalt). Pengaruh yang

dihasilkan dari penambahan serbuk ban pada campuran aspal porus cenderung negatif karena mengalami penurunan nilai VMA yaitu pada kadar 1%, 3% dan 6% kemudian mengalami kenaikan pada kadar 9%.

4.15.6 Marshall Quotient (MQ)

Tabel 4. 63 Hasil ANOVA terhadap nilai MQ

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
kegiatan	4	437796	109449	7,04	0,006
Error	10	155507	15551		
Total	14	593303			

Sumber: Hasil Penelitian

Pada tabel 4.63 menunjukkan bahwa variasi kadar serbuk ban memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai MQ yang dinyatakan dalam P-value sebesar $0,006 < 0,05$. Hal ini berarti bahwa perubahan kadar serbuk ban dalam campuran secara nyata dan signifikan memengaruhi nilai MQ yang dihasilkan. Pengaruh yang dihasilkan dari penambahan serbuk ban pada campuran aspal porus cenderung negatif karena mengalami penurunan nilai MQ yaitu pada kadar 1%, 3% dan 6% kemudian mengalami kenaikan pada kadar 9%.

4.15.7 Berat Isi (Density)

Tabel 4. 64 Hasil ANOVA terhadap nilai density

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
kegiatan	4	0,044186	0,011047	29,10	0,000
Error	10	0,003795	0,000380		
Total	14	0,047982			

Sumber: Hasil Penelitian

Pada tabel 4.64 menunjukkan bahwa variasi kadar serbuk ban memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai density yang dinyatakan dalam P-value sebesar $0,000 < 0,05$. Hal ini berarti bahwa penambahan kadar serbuk ban dalam campuran secara nyata dan signifikan memengaruhi nilai density yang dihasilkan.