

Pengaruh Penambahan Limbah Marmer terhadap Campuran AC-WC dengan Asbuton LGA 50/30

Muhammad Shidiq Abdu Rahman Wahid¹, Tantin Pristyawati², Iwan Ristanto³

^{1, 2, 3} Program Studi Teknik Sipil, Universitas Veteran Bangun Nusantara

Email: muhammadshidiq380@gmail.com¹; tantintsipil@gmail.com²; iwan.ristanto@yahoo.com³

ABSTRAK

Lapisan aspal AC-WC merupakan lapisan dengan struktur yang paling halus jika dibandingkan dengan lapisan-lapisan lainnya. Campuran bergradasi rapat yang memiliki sedikit rongga pada aspal AC-WC membuat lapisan ini sensitif terhadap variasi dan proporsi campuran. Penelitian ini menggunakan bahan inovasi limbah marmer dengan tujuan menganalisa pengaruh Asbuton pada AC-WC LGA 50/30 dengan penambahan limbah marmer. Penambahan limbah marmer Asbuton LGA 50/30 menghasilkan kadar aspal optimum dengan Asbuton 9% sebesar 5,2%. Metode yang digunakan adalah eksperimen dengan parameter karakteristik *Marshall*. Dari hasil penelitian 5 *varian* campuran limbah marmer yang dipergunakan dengan nilai *varian* 15%, 20%, 25%, 30% dan 35%. Pada asbuton 9% nilai VMA, VIM, stabilitas, VFA, dan *flow* mengalami variasi kenaikan dan penurunan, sementara nilai MQ terus meningkat. namun pada nilai VIM terdapat 4 *varian* yang tidak memenuhi *specific* Bina Marga yaitu 15%, 25%, 30%, dan 35%. Oleh karena itu dapat di simpulkan dari analisa limbah marmer 9% yang hanya dapat di gunakan pada 5 varian yaitu pada kdar limbah marmer terbaik dari penelitian ini adalah 20%.

Kata Kunci: Asbuton LGA 50/30, AC-WC, Karakteristik *Marshall*, Limbah Marmer

ABSTRACT

The AC-WC asphalt layer is the layer with the smoothest structure compared to other layers. The tightly graded mixture which has few voids in AC-WC asphalt makes this layer sensitive to variations and mixture proportions. This research uses innovative marble waste materials with the aim of analyzing the effect of Asbuton on AC-WC LGA 50/30 with the addition of marble waste. The addition of Asbuton LGA 50/30 marble waste produces optimum asphalt content with Asbuton 9% of 5.2%. The method used is experimentation with *Marshall* characteristic parameters. From the research results, 5 variants of marble waste mixture were used with variance values of 15%, 20%, 25%, 30% and 35%. At 9% asbuton the values of VMA, VIM, stability, VFA, and *flow* experienced variations in increase and decrease, while the MQ value continued to increase. However, in the VIM value there are 4 variants that do not meet the Bina Marga specifics, namely 15%, 25%, 30% and 35%. Therefore, it can be concluded from the analysis of 9% marble waste that it can only be used in 5 variants, namely the best marble waste content from this research is 20%.

Keywords: Asbuton LGA 50/30, AC-WC, *Marshall* Characteristics, Marble Waste

Submitted:	Reviewed:	Revised	Published:
14 Januari 2025	20 Mei 2025	18 Juni 2025	01 Agustus 2025

PENDAHULUAN

Perkerasan jalan merupakan lapisan yang diletakkan di atas tanah dasar yang telah dipadatkan, dengan tujuan untuk mendukung beban lalu lintas dan mendistribusikan beban tersebut secara *horizontal* maupun *vertikal*, serta menyalurkannya ke tanah dasar (*subgrade*) agar beban yang diterima tanah dasar tidak melebihi kapasitas dukung tanah yang diperbolehkan (Agus Surandono, 2020).

Di Indonesia, terdapat dua jenis konstruksi perkerasan jalan yang umum digunakan, yaitu perkerasan lentur (*flexible pavement*) dan perkerasan kaku (*rigid pavement*). Perkerasan lentur memanfaatkan aspal sebagai bahan pengikat, di mana lapisan-lapisan tersebut berfungsi untuk mendistribusikan beban lalu lintas ke lapisan tanah dasar. Sementara itu, perkerasan kaku menggunakan beton semen sebagai bahan pengikat, yang sering disebut juga

sebagai perkerasan beton semen. Terbatasnya sumber daya alam mendorong adanya inovasi, salah satunya adalah penggunaan marmer sebagai alternatif agregat kasar dalam campuran aspal untuk pembangunan jalan (Andi Syaiful, 2016).

Aspal adalah bahan utama dalam campuran perkerasan jalan yang dipadukan dengan agregat dan material pengisi. Dalam pembangunan jalan di Indonesia, jenis aspal yang umum digunakan yaitu aspal keras dengan penetrasi 60/70 atau 80/100, baik yang diproduksi oleh Pertamina maupun yang diimpor dari negara lain seperti Singapura dan Malaysia (Pataras, 2017).

Aspal berfungsi sebagai bahan pengikat dalam perkerasan lentur, sehingga dapat menjaga kepadatan, menahan pelapukan agregat yang disebabkan oleh cuaca. Sebagai bahan tambah inovasi digunakan limbah beton sebagai pengganti agregat kasar. Penambahan limbah beton bertujuan untuk mengurangi penggunaan

agregat baru dari alam. Penambahan Asbuton LGA B50/30 dalam campuran beraspal diharapkan dapat menjadi alternatif untuk meningkatkan kualitas dalam campuran beraspal, serta mendukung pemerintah dalam menggunakan produk dalam negeri (Pristyawati, 2024).

Selama ini, Pertamina dikenal sebagai penyedia utama aspal buatan di Indonesia. Namun, Indonesia juga memiliki cadangan aspal alam yang masih kurang dimanfaatkan. Oleh karena itu, pemerintah kini berupaya mendorong penggunaan aspal Buton untuk memaksimalkan pemanfaatan sumber daya alam secara lebih optimal. Penggunaan aspal alam ini diharapkan dapat memenuhi kebutuhan aspal untuk pembangunan infrastruktur jalan raya (Kafabihi, 2020). Salah satu jenis aspal lokal yang saat ini perlu mendapat perhatian lebih adalah aspal Buton. Aspal Buton adalah aspal alam yang terdapat di Pulau Buton, Provinsi Sulawesi Tenggara, dan merupakan bagian dari kekayaan alam Indonesia (Yunus, 2023). Pemanfaatan asbuton sejalan dengan salah satu poin yang dihasilkan dalam rapat kerja antara Menteri Pekerjaan Umum dan DPR RI mengenai penggunaan asbuton, yang juga didukung oleh Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 18/PRT/M/2018 (Kafabihi, 2020).

Produksi marmer yang terus berjalan menghasilkan banyak limbah sisa marmer yang berbentuk pecahan dan memiliki ukuran yang bervariasi, ada yang berbentuk kubus dan beberapa berwujud partikel yang halus (Windra, 2023).

Dari beberapa penelitian pemanfaatan limbah marmer, salah satunya dilakukan oleh (Dendo, 2017), dengan penelitian pemanfaatan limbah marmer sebagai bahan perkerasan jalan pada campuran *Hot Rolled Sheet – Binder Course* menunjukkan bahwa limbah pecahan marmer dapat digunakan sebagai agregat kasar dan secara fisik memenuhi persyaratan yang ditetapkan oleh Depertemen Pekerjaan Umum (2010). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memperoleh informasi tambahan mengenai penggunaan asbuton LGA 50/30 dalam campuran dengan limbah marmer, serta membandingkannya dengan campuran asbuton tanpa limbah marmer, guna mengidentifikasi perubahan karakteristik campuran yang lebih optimal dan terpenuhi *specific* yang telah ditetapkan.

Metode Penelitian

Pembuatan benda uji yang mengacu pada *Specific* Bina Marga tahun 2018 rev 2

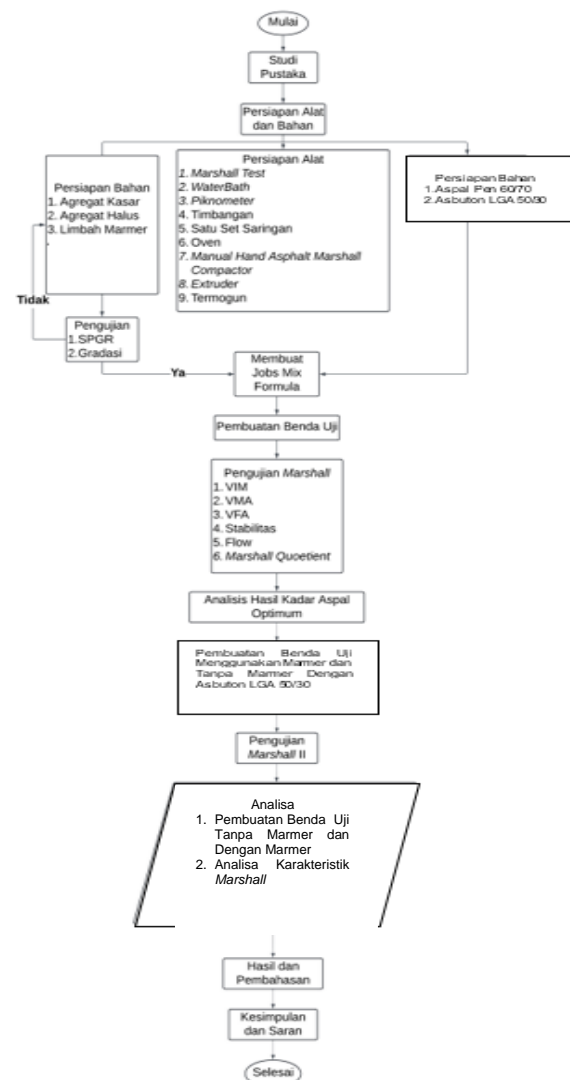
menetapkan bahwa standar pengujian yang digunakan mengacu pada pedoman Bina Marga, yaitu AASHTO T-245-90. Agregat kasar terdiri dari material ukuran 1-2 dan 0-, sedangkan *fine aggregate* adalah abu batu.

Tempat dan waktu penelitian

Penelitian dilakukan secara eksperimental di *Laboratory* Teknik Sipil Universitas Veteran Bangun Nusantara pada bulan Mei - Agustus 2024

Bagan Alir Penelitian

Langkah-langkah dalam penelitian akan jelaskan dalam bentuk diagram *flow chart* yang ditampilkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Bagan alir penelitian

Perencanaan Benda Uji

Gambar 1 merupakan limbah marmer yang masih dalam bentuk pecahan besar limbah marmer akan di hancurkan seperti gambar 2 untuk dilakukan proses pengujian. Jenis pengujian adalah SPGR bertujuan untuk menentukan berat kering agregat, berat jenis agregat, berat semu agregat dan penyerapan suatu agregat. Metode yang di gunakan meliputi penimbangan sampel kering, jenuh, dan di dalam air untuk menghitung berat jenis dan penyerapan, setelah memalui proses pengujian akan berlanjut pada proses pembuatan benda uji inovasi.



Gambar 1. Sebelum **Gambar 2.** Sesudah

Penelitian ini terdapat 5 varian 15%, 20%, 25%, 25%, 30%, dan 35% dari total agregat kasar dan untuk agregat terdapat agregat kasar dengan presentase 30%, agregat *medium* 20%, agregat halus 43,4%, *filler* 1% dan as buton. masing-masing *varian* dibuat 3 benda uji dengan total 60 benda uji, 30 benda uji normal dan 30 benda uji inovasi menggunakan limbah mermer. Kemudian dilakukan identifikasi untuk mendapatkan nilai kadar aspal optimum (KAO) berdasarkan hasil uji nilai Stabilitas *Marshall* dan *Marshall Flow*, VIM, VMA, VFA dan *Marshall Quotient* (MQ).

Pengujian Marshall

Dalam prosesa pengujian *Marshall* dilakukan tahan sebagai berikut :

- 1.letakan benda uji dalam *water bath* selama 30 menit di suhu 60°C
- 2.keluarkan benda uji dari *waterbath* dan letakan kedalam *proving ring* (proses mengangkat benda uji tidak boleh lebih dari 30 detik)
- 3.pasang *proving ring* ke benda uji dan letakan pada mesin penguji
- 4.pasang dial untuk stabilitas dan kelelahan(*flow*)
- 5.naikkan kepala penekan *Marshall* dan benda ujin sampai menyentuh cicin atas sebelum melakukan uji pembebanan
6. Berikan pembebanan pada benda uji dengan kecepatan konstan hingga beban mulai menurun, seperti yang terlihat pada jarum dial, dan catat beban maksimum yang tercatat
- 7.catat nilai *flow* dan stabilitas pada saat pembebanan maksimum tercapai. Proses pengujian ini dilakukan sesuai dengan prosedur standar yang ditetapkan oleh ASTM atau AASHTO, dengan beberapa penyesuaian, adalah ASTM D 1559-76 atau AASHTO T-245-90.



Gambar 4. Uji *Marshall*

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian *Specific Gravity and Absorption* SNI 03 – 1970 - 1990 diginakan untuk penentuan nilai berat jenis semu, berat kering jenuh, berat jenis *bulk*, dan penyerapan agregat halus dan kasar. Adapun hasil uji dari *SPGR* dijelaskan pada Tabel 1 – 3 di bawah ini.

Tabel 1. BJ dan penyerapan agregat kasar
Berat = 2507,1 gram

Ayakan	Besar	Spec	Referensi
Berat benda uji kering(gr)	2476,7		
SSD (gram)	2502,5		
Berat Contoh didalam air	1600,9		
Berat <i>Bulk</i>	2,747	Min 2,5 gr/cm ³	SNI 1969 :2008
Berat kering permukaan jenuh (SSD)	2,776	Min 2,5 gr/cm ³	
Berat jenis semu (<i>Apparent</i>)	2,828	Min 2,5 g5r/cm ³	
Penyerapan (<i>Absorption</i>)	1,042 %	Maks 3%	

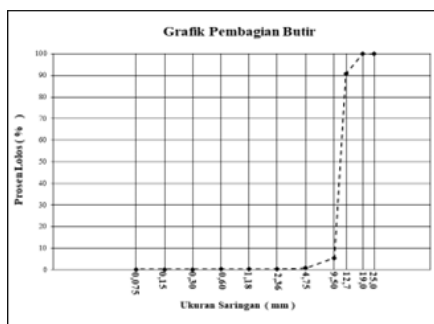
Tabel 2. BJ dan penyerapan *medium aggregate*
Berat = 1507,8 gram

Ayakan	Besar	Spec	Reference
Berat kering(gr)	1486,4		
SSD (gr)	1501,9		
Berat Contoh didalam air	953,5		SNI 1969 :2008
Berat <i>Bulk</i>	2,710	Min 2,5 gr/cm ³	
Berat kering permukaan jenuh (SSD)	2,739	Min 2,5 gr/cm ³	
Berat semu (<i>Apparent</i>)	2,789	Min 2,5 g5r/cm ³	SNI 1969 :2008
Penyerapan (<i>Absorption</i>)	1,043 %	Maks 3%	

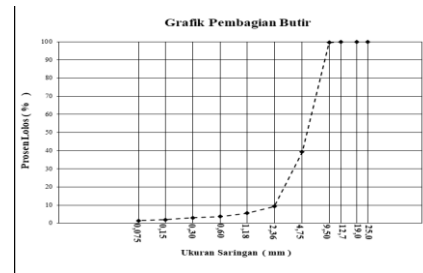
Tabel 3. BJ dan penyerapan *fine aggregate* Berat = 500 gram

Ayakan	Besar	Spec	Reference
(SSD)	500,0		
Berat kering	485,0		
Berat <i>picnometer</i> + Air	1294,5		
Berat <i>picnometer</i> + Air + Benda uji	1610,6		
Berat <i>Bulk</i>	2,637	Min 2,5 gr/cm ³	SNI 1970 :2008
Berat kering permukaan jenuh (SSD)	2,719	Min 2,5 gr/cm ³	
Berat semu (<i>Apparent</i>)	2,872	Min 2,5 gr/cm ³	
Penyerapan (<i>Absorption</i>)	3,093 %	Maks 3%	

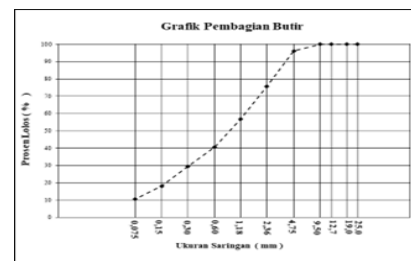
Tabel 1-3 memperlihatkan bahwa agregat yang digunakan telah memenuhi spesifikasi SNI. Langkah berikutnya adalah melakukan pengujian analisis saringan untuk menentukan persentase setiap agregat yang digunakan. Dari pengujian hasil *Specific Gravity and Absorption* untuk *coarse*, *medium*, dan *fine*, pengujian ini dilakukan sesuai dengan standar SNI 03-1969-2008. Nilai berat jenis *bulk* untuk agregat kasar, *medium*, dan halus berkisar antara 2,637 hingga 2,747 gr/cm³. Berat jenis kering permukaan jenuh dari agregat-agregat tersebut berada dalam kisaran 2,719 hingga 2,776 gr/cm³, sementara berat jenis semu (*apparent*) tercatat antara 2,789 hingga 2,872 gr/cm³, yang sesuai dengan standar minimum 2,5 gr/cm³. Untuk penyerapan, nilai *coarse aggregate*, *medium aggregate*, dan *fine aggregate* berada dalam rentang 1,042 hingga 3,093%, dengan standar minimum penyerapan sebesar 3%. Berdasarkan hasil pengujian untuk agregat kasar dan SNI 03-1970-1990 untuk agregat halus, Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui gradasi agregat dalam formula desain campuran. Proses pengujian analisis saringan ini terbagi dalam beberapa tahap.

**Gambar 5.** Grafik hasil pengujian *coarse aggregate*

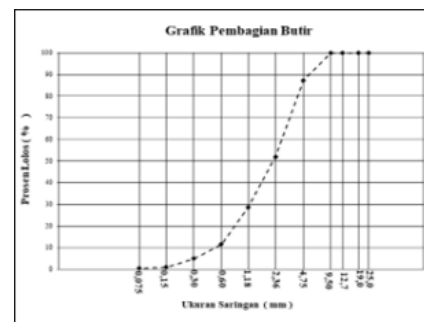
Hasil analisa saringan untuk agregat kasar menunjukkan bahwa agregat yang lolos adalah 6,68% dan yang tertahan 93,32 % .

**Gambar 6.** Grafik hasil pengujian agregat *medium*

Hasil menunjukkan bahwa hasil analisa saringan agregat medium lolos adalah 99,65 % dan yang tertahan 0,35 %.

**Gambar 7.** Grafik hasil pengujian agregat halus

Hasil menunjukkan bahwa hasil analisa saringan agregat halus lolos adalah 10,45 % dan yang tertahan 89,55 %.

**Gambar 8.** Grafik hasil pengujian asbuton

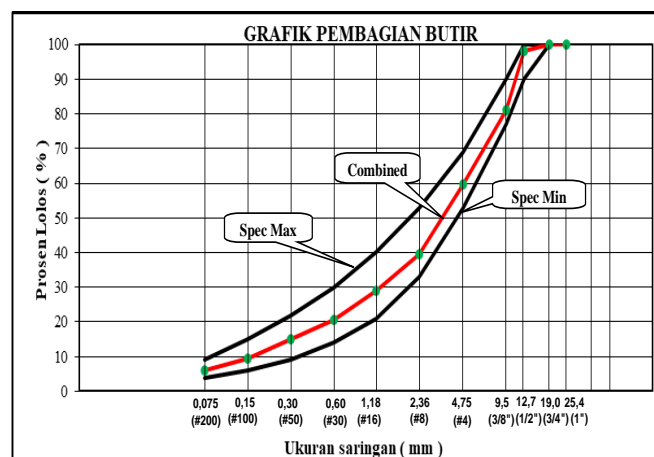
Setelah dilakukan uji analisis saringan, hasilnya menunjukkan bahwa asbuton dapat melewati saringan dengan ukuran antara 25 mm hingga 2,36 mm, dan tertahan pada saringan dengan ukuran antara 1,18 mm hingga 0,075 mm. Rencana campur aspal AC-WC disusun berdasarkan hasil analisis ini. Berdasarkan grafik kumulatif dari hasil analisis saringan, persentase setiap fraksi terhadap total berat agregat dapat dihitung. Setelah persentase berat ditentukan, persentase material yang lolos saringan dibandingkan dengan spesifikasi yang berlaku. Jika gradasi campuran sesuai dengan spesifikasi, maka berat setiap fraksi agregat dan aspal untuk pembuatan benda uji dapat dihitung. Uji gradasi agregat bertujuan untuk menentukan komposisi agregat dalam campuran aspal. Persentase

material yang lolos saringan telah memenuhi *Specific* Umum 2018 rev 2, yang tertunjuk gradasi total agregat yang digunakan dalam pencampuran aspal AC-WC. Agregat kasar menunjukkan persentase lolos saringan sebesar 100-5,5%, sementara persentase tertahan berada dalam rentang 0,9- 0,1%. *Medium aggregate* memiliki persentase lolos saringan antara 100-

39,3%, sementara tertahan berada dalam rentang 9,3- 1,4%. Untuk agregat halus, persentase material lolos saringan berada dalam kisaran 100- 75,8%, sementara tertahan berkisar antara 56,7- 10,6%. Di sisi lain, asbuton menunjukkan persentase lolos saringan antara 100-52,1%, dan persentase tertahan berada dalam rentang 28,6-0,4%.

Tabel 4. Hasil Analisa Saringan *Combined Grading*

Uraian	Ukuran Saringan										
Saringan (Inci)	1	3/4	1/2	3/8	# 4	# 8	# 16	# 30	# 50	#100	#200
Gradasi Data											
<i>Coarse Aggregate</i>	100	100	100	100	96,14	75,78	56,68	40,72	29,50	18,10	10,56
<i>Medium Aggregate</i>	100	100	100	99,59	39,33	9,33	5,55	3,74	3,02	1,95	1,41
<i>Fine Aggregate</i>	100	100	90,65	5,52	0,86	0,33	0,29	0,28	0,26	0,22	0,13
<i>Asbuton</i>	100	100	100	100	87,31	52,08	28,57	11,54	4,95	0,99	0,41
<i>Filler</i>	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	97
Aggregate Combination											
<i>Coarse Aggregate</i>	20%	20	20	18,13	1,10	0,17	0,07	0,06	0,06	0,05	0,04
<i>Medium Aggregate</i>	30%	30	30	29,88	11,80	2,80	1,66	1,12	0,91	0,59	0,42
<i>Fine Aggregate</i>	43,4%	43,4	43,4	43,4	43,4	41,72	32,89	24,60	17,67	12,80	7,85
<i>Asbuton</i>	5,6%	5,60	5,60	5,60	5,60	4,89	2,92	1,60	0,65	0,28	0,06
<i>Filler</i>	1%	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,97
Total											
Campuran	100%	100	100	98,13	80,98	59,58	39,67	28,92	20,50	15,04	9,54
<i>Specific</i>											
AC-WC											
Min.	100	100	90	77	53	33	21	14	9	6	4
Mak.	100	100	100	90	69	53	40	30	22	15	9
Ket.	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok



Gambar 9. Grafik pembagian butir

Berdasarkan nilai dari gradasi pada tabel 4 dan gambar hasil uji agregat menunjukkan hasil gradasi agregat kasar, agregat medium, agregat halus, asbuton, dan *filler* menunjukkan bahwa persentase agregat yang digunakan dalam

campuran beraspal terdiri dari 20% agregat kasar, 30% agregat medium, 43,4% agregat halus, 5,6% asbuton, dan 1% *filler*. Setelah gradasi, proporsi agregat tersebut dimasukkan ke dalam rumus untuk menghitung Kadar Aspal Optimum (KAO)

Berdasarkan hasil pengujian pembagian butir agregat, dilakukan perhitungan estimasi kadar aspal optimum secara teoritis (P_b) sesuai dengan Peraturan Bina Marga dengan hasil analisis gabungan grading FA, MA, dan CA menghasilkan nilai P_b sebesar 5,72% menggunakan rumus berikut:

$$\begin{aligned}
 P_b &= (0,035 \times CA) + (0,045 \times FA) + (0,180 \times FF) \\
 &\quad + K \\
 &= (0,035 \times 60,33) + (0,045 \times 33,64) + (0,180 \\
 &\quad \times 6,03) + 1 \\
 &= 2,112 + 1,514 + 1,085 + 1 \\
 &= 5,72 \%
 \end{aligned}$$

KAO yang dihitung sebesar 5,72%. Untuk mendapatkan KAO yang tepat, hasil perhitungan tersebut dibulatkan menjadi 5,7%, dan kemudian ditambahkan *varian* KAO dengan selisih 0,5%, yaitu dua nilai di bawah 5,7% dan dua nilai di atasnya. Dengan demikian, KAO yang digunakan untuk membuat sampel normal adalah 4,7%; 5,2%; 5,7%; dan 6,2%. Pembuatan benda uji dilakukan dengan tiga briket untuk setiap *varian* guna menentukan KAO yang akan digunakan dalam pembuatan aspal inovatif pada Tabel 5 dan 6.

Tabel 5. *Composition Agregat dengan Asbuton 9%*

Ukuran Saringan	Persentase	1	2	3	4	5
Kadar Asphalt (%)		4,7%	5,2%	5,7%	6,2%	6,7%
ASTM	mm	1030,06	1024,65	1019,24	1013,84	1008,43
1"	25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3/4"	19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1/2"	12,7	1,87	19,26	19,16	19,06	18,96
3/8"	9,5	17,15	176,66	175,73	174,80	173,88
#4	4,75	21,40	220,38	219,23	218,07	216,91
#8	2,36	19,92	205,15	204,07	202,99	201,92
#16	1,18	10,75	110,69	110,11	109,53	108,95
#30	0,6	8,43	86,79	86,33	85,88	85,42
#50	0,3	5,46	56,25	55,95	55,66	55,36
#100	0,15	5,50	56,63	56,33	56,04	55,74
#200	0,075	9,54	98,25	97,74	97,22	96,70
Berat Asphalt		56,64	62,64	68,64	74,64	80,64
Filler		11,43	11,37	11,31	11,25	11,19
As buton		101,87	101,34	100,80	100,27	99,74
Berat Keseluruhan		1200,00	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00

Sebelum membuat benda uji, KAO dari asbuton LGA 50/30 harus ditentukan terlebih dahulu. Berdasarkan Tabel 6 pengujian karakteristik *Marshall* dilakukan untuk menetapkan KAO optimal dalam campuran aspal AC-WC dengan

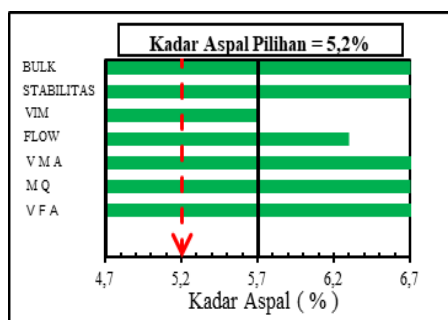
kandungan asbuton sebesar 9%. Penelitian yang menggunakan lima varian kadar aspal menghasilkan nilai stabilitas, VIM, VFA, VMA, *Flow*, dan *Marshall Quotient*. Hasil dari pengujian tersebut dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Uji *Marshall* Asbuton 9%

% kadar aspal	BJ maks camp (gr/cc)	BJ. Bulk Campuran (gr/cc)	% VIM	% VMA	% VFA	Stabilitas (Kg)	Flow (mm)	MQ
4,7	2,480	2,362	4,78	15,907	69,966	1485,04	2,45	607,94
5,2	2,462	2,367	3,87	16,166	76,095	1537,15	2,86	537,60
5,7	2,444	2,369	3,07	16,526	81,542	1582,74	3,44	462,26
6,2	2,426	2,373	2,20	16,829	86,946	1628,33	3,86	423,37
6,7	2,409	2,376	1,37	17,175	92,010	1673,93	4,54	370,84
BATASAN			3,0 -5,0.	Min. 15	Min. 65	Min. 800	2,0 - 4,0m	Min. 250

Hasil analisis uji *Marshall* menunjukkan bahwa penambahan kadar aspal pada campuran asbuton 9% dapat meningkatkan nilai BJ *bulk* campuran.

Pertambahan kadar pada aspal bisa menurunkan nilai VIM, tetapi meningkatkan nilai VMA dan VFA, Stabilitas mengalami peningkatan.



Gambar 10. Grafik penentuan KAO asbuton 9%

Pada Gambar 10, hasil pengujian karakteristik *Marshall* dengan berbagai varian kadar aspal menunjukkan uji dengan asbuton 9%. Hasilnya menunjukkan bahwa kadar aspal optimum untuk asbuton 9% adalah 5,2%. Persentase kadar asbuton ini digunakan dalam campuran aspal dengan limbah marmer, dengan variasi substitusi sebesar 15%, 20%, 25%, 30%, dan 35%.

Tabel 7. Hasil perbandingan AC-WC asbuton 9% inovasi marmer

Parameter	Specific Bina Marga 2018	Asbuton Inovasi Marmer		Keterangan
		Varian (%)	Hasil	
(VIM)	3,0-5,0%	15%	2,66%	Tidak Memenuhi
		20%	3,20%	Memenuhi
		25%	2,83%	Tidak Memenuhi
		30%	2,66%	
		35%	2,29%	
(VMA)	Minimal 15%	15%	15,71 %	Memenuhi
		20%	16,18 %	
		25%	15,86 %	
		30%	15,71 %	
		35%	15,39 %	
(VFA)	Minimal 65%	15%	83,12 %	Memenuhi
		20%	80,34 %	
		25%	82,30 %	
		30%	83,29 %	
		35%	85,17 %	
Stabilitas	Minimal 800kg	15%	1693,47 kg	Memenuhi
		20%	1693,47 kg	
		25%	1765,11 kg	
		30%	1765,11 kg	
		35%	1817,22 kg	
Flow	2,0 - 4,0 mm	15%	2,48 mm	Memenuhi
		20%	3,17 mm	
		25%	2,79 mm	
		30%	3,95 mm	
		35%	3,49 mm	
Marshall Quotient (MQ)	Min. 250kg/mm	15%	684,24 kg/mm	Memenuhi
		20%	534,23 kg/mm	
		25%	641,33 kg/mm	
		30%	448,92 kg/mm	
		35%	528,46 kg/mm	

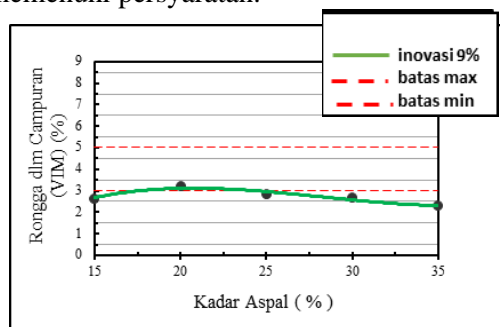
Berdasarkan Tabel 7, Menunjukkan bahwa semua nilai terpenuhi standar yang ditetapkan dalam *specific* Bina Marga kecuali nilai VIM pada penambahan marmer 15%, 25%, 30%, dan 35% memenuhi standar dengan standar minimal 15%.



Gambar 12. Benda uji inovasi

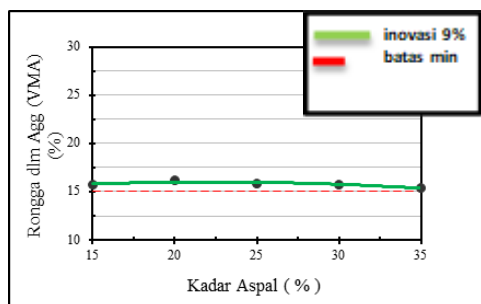
Berikut adalah uraian berdasarkan hasil grafik pada Asbuton 9% AC-WC inovasi marmer pada tabel 7 diatas:

- VIM:** Berdasarkan data VIM as buton 9% dapat di simpulakn bahwa kadar limbah marmer 15%, 25%, 30% dan 35% menurunkan nilai VIM. sedangkan pada kadar 20% cenderung menaikan nilai VIM Namun, rongga udara harus sesuai dengan standar Bina Marga yaitu berada kisaran 3%-5%. Hasil ini menunjukkan bahwa penambahan limbah marmer pada asbuton 9% hanya pada kadar limbah 20% yang memenuhi persyaratan.



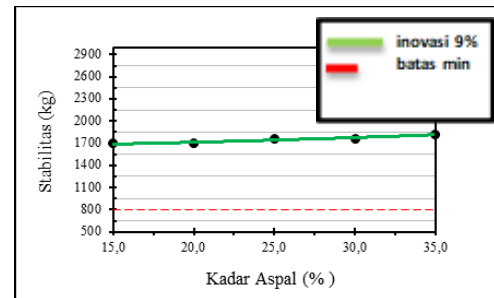
Gambar 13. Grafik perbandingan nilai VIM

- VMA:** Dari hasil perhitungan VMA, diketahui bahwa penambahan limbah marmer pada kadar asbuton 9% dapat memenuhi *Specific* Bina Marga. Nilai VMA terendah pada asbuton terjadi pada kadar limbah marmer 35% dengan rata-rata 15,39%, sedangkan nilai tertinggi tercatat pada kadar 20% sebesar 16,18%.



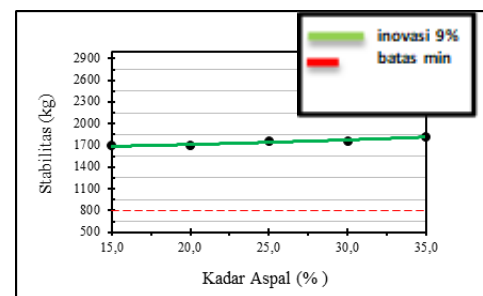
Gambar 14. Grafik perbandingan nilai VMA

- VFA:** Pada data VFA untuk limbah marmer pada campuran asbuton 9% mengalami kenaikan dan penurunan hasil. Berdasarkan ketentuan Bina Marga, nilai VFA harus minimal 65%. Pada asbuton 9%, nilai VFA tertinggi terjadi pada kadar limbah marmer 35% dengan rata-rata 85,17%, sedangkan nilai terendah pada kadar 20% sebesar 80,30%.



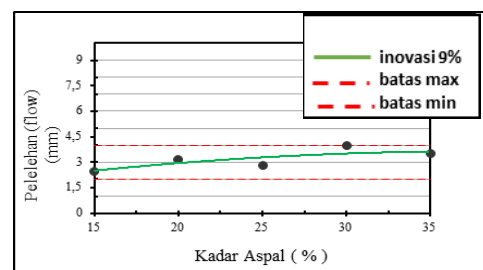
Gambar 15. Grafik perbandingan nilai VFA

- Stabilitas:** Hasil perhitungan stabilitas menunjukkan bahwa penambahan limbah marmer asbuton sebesar 9% memenuhi persyaratan Bina Marga, di mana nilai stabilitas harus melebihi 800 Kg. Pada asbuton 9% Nilai stabilitas cenderung naik pada setiap kadar limbah marmer.



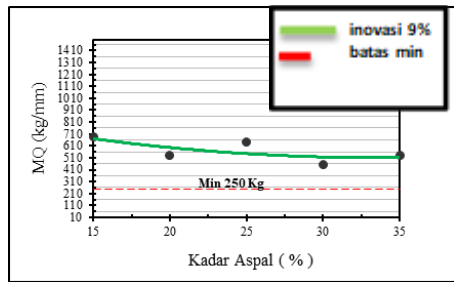
Gambar 16. Grafik perbandingan nilai stabilitas

- Flow:** Nilai *flow* pada campuran asbuton 9% menunjukkan peningkatan kelelahan benda uji pada kadar limbah marmer 20%, 30% dan 35%. *Flow* tertinggi terjadi pada campuran limbah marmer 30%, dengan rata-rata 3,95mm, sementara nilai *flow* terendah terdapat pada kadar 15%, yaitu sebesar 2,48%mm, pada campuran as buton 9%. memenuhi *specific* Bina Marga.



Gambar 17. Grafik perbandingan nilai flow

- MQ:** Nilai *Marshall Quotient* (MQ) menunjukkan bahwa penambahan limbah marmer pada campuran asbuton 9% terpenuhi *specific* dengan batas min nilai MQ sebesar 250 kg/mm. Pada asbuton 9%, nilai MQ tertinggi ditemukan pada kadar limbah marmer 15% sebesar 684,24 kg/mm, sedangkan nilai paling rendah tercatat pada kadar 30% sebesar 448,92 kg/mm.



Gambar 18. Grafik perbandingan nilai MQ

KESIMPULAN

Dari hasil analisa karakteristik *Marshall* yang telah dilakukan dengan penggunaan limbah marmer varian 15%, 20%, 25%, 30% dan 35% dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

Pada penelitian ini, penambahan limbah marmer Asbuton LGA 50/30 menghasilkan kadar aspal optimum dengan Asbuton 9% sebesar 5,2%. Dari hasil analisa karakter *Marshall* yang sudah dilakukan dengan menggantikan sebagian agregat kasar menggunakan limbah marmer, dapat ditarik kesimpulan bahwa penambahan aspal buton LGA 50/30 bersama limbah marmer memengaruhi hasil karakter *Marshall*. Semakin banyak kadar limbah marmer yang ditambahkan, pada campuran asbuton 9%, nilai VMA, VIM, stabilitas, VFA, dan *flow* mengalami variasi kenaikan dan penurunan, sementara nilai MQ terus meningkat. Dari analisis penambahan limbah marmer pada campuran AC-WC, hasilnya memenuhi *specific* Bina Marga. Namun, untuk nilai VIM pada campuran asbuton 9% dengan limbah marmer pada varian 15%, 25%, 30%, dan 35%, tidak memenuhi kriteria penggunaan. Oleh karena itu dapat disimpulkan dari analisa limbah marmer 9% yang dapat digunakan pada 5 varian yaitu pada kadar limbah marmer terbaik dari penelitian ini adalah 20%

DAFTAR PUSTAKA

- Aditya, C., Halim, A., & Silviana, S. (2016). Pemanfaatan Limbah Marmer dan Serbuk Silika pada Industri Bata Beton Pejal dan Berlubang. *Prosiding SENIATI*, 2(2), 16-A.
<https://ejournal.itn.ac.id/index.php/seniati/article/view/235>
- Amal, A. S., & Saleh, C. (2015). Pemanfaatan Limbah Batu Marmer sebagai Pengganti Agregat Kasar pada Campuran Aspal Beton terhadap Karakteristik *Marshall*. *Media Teknik Sipil*, 13(2).
<https://doi.org/10.22219/jmts.v13i2.2556>
- Akbardin, J., Styadi, K. B., & Azizah, F. N. (2022). Pelatihan Pengujian Aspal untuk Pemeliharaan Jalan Pedesaan Berdasarkan Spesifikasi Aspal Pen 60/70 dengan Virtual Analysis. *Lentera Karya Edukasi*, 2(3), 147-154.
<https://doi.org/10.17509/lekaedu.v2i3.57059>
- Bela, K. R. (2025). Perbandingan Nilai Karakteristik Marshall untuk Campuran HRS-WC Menggunakan Material dari Sungai Inbate dan Sungai Bijaesahan. *Jurnal Komposit: Jurnal Ilmu-Ilmu Teknik Sipil*, 9(1), 51-61.
<https://doi.org/10.32832/komposit.v9i1.16663>
- Dendo, E. A. R. (2017). Pemanfaatan Limbah Marmer Sebagai Bahan Perkerasan Jalan Pada Campuran *Hot Rolled Sheet-Binder Course*. *Journal Dynamic Saint*, 3(1), 486-503.
<https://journals.ukitoraja.ac.id/index.php/dynamicsaint/article/view/272>
- Khoiriyah, D. I., Indriani, A. M., & Utomo, G. (2024). Karakteristik Marshall Quotient pada Hot Mix Asphalt Menggunakan Agregat Melak Kutai Barat. *Jurnal Komposit: Jurnal Ilmu-Ilmu Teknik Sipil*, 8(2), 231-239.
<https://doi.org/10.32832/komposit.v8i2.15052>
- Kafabihi, A., & Wedyantadji, B. (2020). Penggunaan Aspal Buton pada Campuran AC-WC (Asphalt Concrete-Wearing Course). *Student Journal Gelagar*, 2(2), 36-44.
<https://ejournal.itn.ac.id/index.php/gelagar/article/view/2873>
- Masherni, M., Surandono, A., & Saputra, A. A. (2020). Analisis Perencanaan Pelaksanaan Pekerjaan Perkerasan Kaku/Rigid Pavement Ruas Padang Ratukalirejo (Link. 032) Sta. 0+ 000 S/D 0+ 685 Km Kabupaten Lampung Tengah. *TAPAK (Teknologi Aplikasi Konstruksi): Jurnal Program Studi Teknik Sipil*, 9(2), 140-146.
<https://ojs.umm metro.ac.id/index.php/tapak/article/view/1197>
- Nauk, S. S., Hunggurami, E., & Bolla, M. E. (2012). Penggunaan Limbah Batu Marmer Dari Gunung Batu Naitapan Kabupaten Timor Tengah Selatan. *Jurnal Teknik Sipil*, 1(4), 1-12.
<https://sipil.ejournal.web.id/index.php/jts/article/view/85>
- Nurahmanda, A. (2020). *Penggunaan Aspal Buton Pada Campuran Atb (Asphalt*

- Treated Base*) (Doctoral Dissertation, Institut Teknologi Nasional Malang).
<http://eprints.itn.ac.id/id/eprint/6617>
- Nurdin, A., Erlangga, E., & Nuklirullah, M. (2023). AC-WC Strength Analysis with the Marshall Method on Fly Ash Mixture as a Substitute for Stone Ash Materials. *Jurnal Komposit: Jurnal Ilmu-Ilmu Teknik Sipil*, 7(2), 161–165.
<https://doi.org/10.32832/komposit.v7i2.9190>
- Payung, W. T. (2023). Pemanfaatan Limbah Marmer Sebagai Agregat Dalam Campuran AC-BC. *Paulus Civil Engineering Journal*, 5(3), 467-472.
<https://doi.org/10.52722/pcej.v5i3.710>
- Pristyawati, T., & Nugraha, D. C. (2024). Pengaruh Limbah Beton Sebagai Agregat Kasar Pada Campuran AC-BC dengan LGA 50/30. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Sipil*, 21(1), 62-72.
<http://ejournal2.pnp.ac.id/index.php/jirs/article/view/1328>
- Pataras, M., Kurnia, A. Y., Hastuti, Y., Person, R. P., & Anindita, N. P. (2017). Pengaruh Genangan Air Hujan terhadap Laston Wearing Course Menggunakan Modifikasi Asbuton LGA TIPE 50/30. *Simposium II UNIID 2017*, 2(1), 464-470.
<https://conference.unsri.ac.id/index.php/uniid/article/view/640>
- Rinaldi, H. (2017). Perkerasan Campuran Aspal AC-WC dengan Material Lokal. *Kurva Mahasiswa*, 1(1), 880-904.
<http://ejurnal.untag-smd.ac.id/index.php/TEK/article/view/2343>
- Sukirman, S. (1999). Perkerasan lentur jalan raya. Bandung: Penerbit Nova.
<https://cir.nii.ac.jp/crid/1130282272108426112>
- Suhendra, D. S. (2014). Pengaruh Variasi Temperatur pada Proses Pencampuran Terhadap Campuran Aspal Panas (Asphalt Hotmix).
<http://digilib.unila.ac.id/id/eprint/2098>
- Yunus, I., & Annisa, H. (2023). Analisis Penggunaan Asbuton Butir B50/30 Terhadap Kinerja Campuran AC-WC dengan Variasi Temperatur Pemadatan. *Jurnal Teknik Sipil Universitas Lamappapoleonro*, 2(1), 38-45.
<https://jurnal.jteksil.unipol.ac.id/index.php/home/article/view/16>