

PEMANFAATAN BUTON GRANULAR ASPHALT TIPE B 5/20 PADA CAMPURAN ASPAL BETON TERHADAP NILAI KEAUSAN (CANTABRO TEST)

Wan Muhammad Iqbal¹, Winayati¹, Alfian Saleh^{1,*}

¹Program Studi Teknik Sipil, Universitas Lancang Kuning, Pekanbaru, Riau, Indonesia

*Corresponding authors: alfian.saleh@unilak.ac.id

Submitted: 12 August 2022, Revised: 15 November 2022, Accepted: 10 December 2022

ABSTRACT: Buton Granular Asphalt has properties to improve pavement characteristics because the material from Buton Granular Asphalt contains fine grains of material that provide strength to the road pavement so that with the increase in the strength of this pavement layer, it will affect the wear of the pavement due to the frictional force of the wheels on the road pavement. So it is necessary to do the properties and characteristics of the strength of the asphalt concrete mixture with the use of Buton Granular Asphalt. This research uses Buton Granular Asphalt as an added material for Asphalt Concrete – Wearing Course (AC-WC) pavement layers. The method used in this research is an experimental study in the laboratory by looking at the parameters and national standards set in laboratory testing. Buton Granular Asphalt is an asbuton product that has bitumen content between 20-25%. From the results of the Optimum Asphalt Content (KAO) test, the optimum asphalt content value is 5.64%. After getting the Optimum Asphalt Content, the test object was made with the addition of Buton Granular Asphalt, variations were made with values of 0%, 1%, 2%, and 3% of the asphalt weight. After making the test object, the cantabro test was carried out. From the results of the study, the value of weight loss at 0% levels was 8.82%, 1% levels were 5.18%, 2% levels were 2.46% and 3% levels were 1.84%. The results of this study indicate that the use of Buton Granular Asphalt material with a content of 3% has the lowest weight loss value, with the use of Buton Granular Asphalt as an added material has a high resistance to wear and tear. This indicates that adding Buton Granular Asphalt can make the pavement resistant to wear and tear caused by vehicle wheel friction and because the content of Buton Granular Asphalt consists of a fine material that can make the interlocking of the pavement mixture stronger.

KEYWORDS: asphalt; Buton; cantabro; granular.

ABSTRAK: Buton Granular Asphalt memiliki sifat sebagai meningkatkan karakteristik perkerasan karena material dari Buton granular Asphalt terdapat butiran material halus yang memberikan kekuatan pada perkerasan jalan sehingga dengan meningkatnya kekuatan dari lapis perkerasan ini maka akan berpengaruh dari keausan perkerasan akibat gaya gesekan roda pada perkerasan jalan. Sehingga perlu dilakukan sifat dan karakteristik dari keausan campuran aspal beton dengan pemanfaatan Buton Granular Asphalt dan mampu menahan repetisi beban kendaraan. Penelitian ini menggunakan Buton Granular Asphalt sebagai bahan tambah untuk lapisan perkerasan Asphalt Concrete – Wearing Course (AC-WC). Metode yang dilakuakn pada penelitian ini yaitu dengan studi eksperimen dilaboratorium dengan melihat parameter dan standar nasional yang ditetapkan dalam pengujian laboratorium. Buton Granular Asphalt merupakan produk asbuton yang memiliki kadar bitumen antara 20-25%. Dari hasil pengujian Kadar Aspal Optimum (KAO) didapatkan nilai kadar aspal optimum sebesar 5.64%. Setelah mendapatkan Kadar Aspal Optimum maka dilakukan pembuatan benda uji dengan penambahan Buton Granular Asphalt dibuat variasi dengan nilai 0%, 1%, 2%, dan 3% terhadap berat aspal. Setelah membuat benda uji maka dilakukan pengujian cantabro. Dari hasil penelitian didapatkan nilai kehilangan berat pada kadar 0% sebesar 8.82% kadar 1% sebesar 5.18% kadar 2% sebesar 2.46% dan kadar 3% sebesar 1.84%. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan material Buton Granular Asphalt dengan kadar 3% memiliki nilai kehilangan berat paling rendah, dengan penggunaan Buton Granular Asphalt sebagai bahan tambah memiliki nilai ketahanan yang tinggi terhadap keausan. Ini mengindikasikan dengan menambahkan Buton Granular Asphalt dapat membuat perkerasan jalan tahan terhadap keausan yang disebabkan oleh gesekan roda kendaraan karena kandungan dari Buton Granular Asphalt terdiri dari material halus yang dapat membuat interlocking dari campuran perkerasan menjadi kuat.

KATA KUNCI: aspal; Buton; cantabro; granular.

© The Author(s) 2020. This article is distributed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International license.

1 PENDAHULUAN

Seiring meningkatnya infrastruktur di Indonesia maka akan di dapatkan kelancaran bertransportasi, sampai sekarang pembangunan jalan masih tetap berlangsung (Setyawan et al., 2017). Dengan

banyaknya pembangunan jalan yang dilakukan sehingga membuat kelangkaan material yang memenuhi spesifikasi terutama agregat. Salah satu yang berperan penting dalam lapis perkerasan jalan ialah agregat, dimana agregat menempati proporsi

terbesar dalam campuran (Anam & Pratikto, 2018; Adithya et al., 2016). Nilai stabilitas dengan memanfaatkan *Buton Granular Asphalt* pada variasi 2% dan 3% membuat campuran perkerasan aspal lebih stabil dengan melihat nilai density yang meningkat seiring dengan penambahan *Buton Granular Asphalt* sehingga dengan kepadatan yang meningkat perlu dilakukan pengujian mengenai nilai keausan dengan penambahan *Buton Granular Asphalt* (Rahmadi et al., 2018). Sehingga penelitian ini melihat nilai keausan dari campuran perkerasan dengan penambahan *Buton Granular Asphalt* di tinjau dari nilai keausannya (Gaus et al., 2015; Gusty et al., 2017).

Asbuton merupakan aspal yang dapat diperoleh dari buton. Sulitnya pelaksanaan pemanfaatan asbuton dikarenakan teknologi yang digunakan belum bekerja dengan cukup maksimal sehingga menjadi tidak efisien (Fauzan et al., 2020) Dengan menambahkan asbuton diharapkan dapat meningkatkan karakteristik aspal dan juga meningkatkan kekuatan aspal sehingga mampu menerima beban yang ada di lalu lintas dan peka terhadap suhu panas yang ada di lapangan (Wang et al., 2021).

BGA atau *Buton Granular Asphalt* adalah produk asbuton yang mengandung bitumen antara 20-25%. Penggunaan *Buton Granular Asphalt* telah dilakukan di beberapa tempat namun hasil yang didapatkan kurang optimal, BGA merupakan produk olahan asbuton yang berfungsi terhadap campuran sehingga membuat lebih optimal dan lebih kaku dengan batas fleksibilitas yang mampu meminimalisir kerusakan yang diakibatkan beban lalu lintas dan terbebas dari kerusakan diluar rencana karena BGA mengandung bahan aromatik dan resin tinggi. Keuntungan utama BGA adalah tahan terhadap perubahan suhu karena titik lembeknya lebih tinggi daripada aspal bitumen (Sarwono et al., 2018). Namun dari beberapa sumber yang berhubungan dengan penelitian BGA, diperlukan emolien untuk melunakkan bitumen asbuton sehingga merubah sifat fisik dan kekuatan aspal mendekati *60/70 penetrating oil asphalt* (Fatoni, 2021)

Nilai *cantabro test* atau disebut juga dengan nilai keausan bertujuan untuk mengetahui ketahanan lapis perkerasan terhadap keausan. Pengujian keausan menggambarkan seberapa besar ketahanan pada perkerasan aspal untuk menahan gesekan antara roda kendaraan dengan permukaan jalan. Uji *cantabro* menunjukkan seberapa baik permukaan aspal menahan gesekan antara roda kendaraan dan permukaan jalan (Saleh et al., 2022)

Pada penelitian ini yang ditinjau merupakan lapisan permukaan aus jalan dimana lapisan permukaan ini yang langsung bersentuhan dengan roda kendaraan sehingga dengan penambahan *Buton Granular Asphalt* ini maka dilakukan penelitian dengan melihat nilai keausan. Dengan diketahui nilai keausan maka dapat mengetahui ketahanan lapisan

perkerasan terhadap gaya gesek yang terjadi pada lapisan permukaan.

2 METODOLOGI

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah *Buton Granular Asphalt* yang didapat dari PT. Mekar Abadi Mandiri. Penelitian dilakukan pada Laboratorium Teknik Sipil Universitas Lancang Kuning, Pekanbaru.

2.1 Rancangan Benda Uji

Pengujian ini, terdapat beberapa variasi pada benda uji, persentase campuran antara aspal pertamina penetrasi 60/70 dengan *Buton Granular Asphalt* tipe 5/20. Penggunaan *Buton Granular Asphalt* sesuai dengan ketentuan Spesifikasi Umum Bina Marga revisi 2. Persentase penggunaan *Buton Granular Asphalt* 0%, 1%, 2%, dan 3%.

Penentuan variasi jumlah presentase aspal pertamina penetrasi 60/70 berdasarkan nilai Kadar Aspal Optimum (KAO), dengan menggunakan rumus Pb. Agregat yang digunakan merupakan agregat yang bersih dari debu dan jenuh air. Adapun rincian benda uji dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Rincian Benda Uji

No	Kadar Aspal (%)	Sampel
1	5%	3
2	5.5%	3
3	6%	3
4	6.5%	3
5	7%	3
Jumlah		15

Setelah beberapa sampel dibuat, selanjutnya dilakukan pengujian marshall untuk mengetahui nilai stability, VIM, *Flow* dan unit *weight* agar mendapatkan kadar aspal optimum (KAO). Setelah KAO didapatkan akan digabungkan pada campuran *Buton Granular Asphalt*. Adapun tabel penggunaan asbuton berbutir dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Rincian Benda Uji

No	Kadar BGA dari KAO (%)	Sampel
1	0%	3
2	1%	3
3	2%	3
4	3%	3
Jumlah		12

2.2 Tahapan Penelitian

2.2.1 Pengujian agregat kasar

Agregat kasar merupakan batuan yang tertahan saringan No 8. Sebelum agregat ini dicampurkan menjadi perkerasan jalan terlebih dahulu diperiksa nilai propertisnya di laboratorium pengujian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik dari agregat yang akan digunakan (Setyawan et al., 2017)

2.2.2 Pengujian agregat halus

Agregat kasar merupakan batuan yang lolos saringan No 8 dan tertahan saringan No.200. Terlebih dahulu agregat halus ini diperiksa propertisnya agar agregat yang digunakan memenuhi kriteria. Pemeriksaan ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik dari agregat yang akan digunakan (Soehardi & Putri, 2018)

2.2.3 Pengujian aspal

Pemeriksaan ini bertujuan untuk mengetahui berat jenis dan penetrasi dari aspal memenuhi spesifikasi untuk aspal dengan penetrasi 60/70 (Amiruddin et al., 2012)

2.2.4 Pengujian marshall test

Pengujian *marshall test* mengacu pada SNI 06-1991 yang bertujuan untuk mengetahui data-data pengujian seperti Density, *Void Mineral Agregate (VMA)*, *Void Filled With Asphalt (VFWA)*, *Void In The Mixture (VITM)*, Stabilitas, *Flow* dan *Marshall Quotient (MQ)* (Rombot, 2015). Kemudian menentukan kadar aspal optimum yang digunakan dan akan ditambahkan dengan BGA.

2.2.5 Kadar aspal optimum

Pada pembuatan benda uji dengan tujuan menentukan nilai aspal optimum ada beberapa cara yaitu penyusunan desain campuran. Terlebih dahulu mencari nilai Pb dengan cara nilai takaran aspal yang dipakai dengan rancangan yang dinyatakan sebagai persamaan. Pembuatan Benda Uji Kadar Aspal Optimum (KAO) (Saifuddin et al., 2017) Takaran aspal optimum rencana dihasilkan dari rumus yang ditentukan oleh Bina Marga yaitu dengan persamaan berikut ini (Bina Marga, 2018).

$$Pb = 0.035 \times (\%CA) + 0.045 (\%FA) + 0.18 (\%FF) + k \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan: Pb = kadar aspal, persen berat total dari campuran, CA = agregat kasar tertahan, FA = agregat halus lolos saringan, FF = agregat halus lolos saringan no.200, dan k = konstanta (1 untuk laston).

2.2.6 Cantabro test

Pengujian keausan perkerasan aspal (*cantabro test*) merupakan pengujian yang dimaksudkan untuk menentukan ketahanan lapis perkerasan terhadap keausan dengan menggunakan mesin *Los Angeles* tanpa menggunakan bola-bola baja. Keausan ini

dinyatakan dengan perbandingan antara berat bahan sampel setelah 300 putaran terhadap berat semula sebelum dimasukkan kedalam mesin *Los Angeles* (Saleh et al., 2022). Kehilangan berat ini dinyatakan dalam persen dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\text{Nilai Keausan} = \frac{a-b}{b} \times 100 \% \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan: a = berat benda uji semula (gr), sedangkan b = berat benda uji setelah 300 putaran (gr).

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pengujian Berat Jenis Agregat Kasar

Hasil pengujian agregat kasar didapatkan hasil yang mengikuti syarat Bina Marga 2018. Untuk hasil dari pengujian yang didapatkan dapat dilihat pada Tabel.3 berikut ini:

Tabel 3. Hasil Pengujian Berat Jenis Agregat Kasar

No	Jenis pengujian	Nilai persyaratan (Bina Marga 2018)	Hasil pengujian material	Ket.
1	Keausan dengan mesin <i>Los Angeles</i>	Maks. 40%	26.71%	Memenuhi
2	Berat jenis agregat	≥25	2.684	Memenuhi
3	Penyerapan air oleh agregat	<3	0.010	Memenuhi

Pada Tabel 3 diatas menunjukkan bahwa dari hasil pengujian yang didapatkan agregat kasar yang digunakan memenuhi persyaratan.

3.2 Hasil Pengujian Berat Jenis Agregat Halus

Hasil pengujian halus didapatkan hasil yang mengikuti syarat Bina Marga 2018. Untuk hasil dari pengujian yang didapatkan dapat dilihat pada Tabel.4 berikut ini:

Tabel 4. Hasil Pengujian Berat Jenis Agregat Halus

No	Jenis pengujian	Nilai persyaratan (Bina Marga 2018)	Hasil pengujian material	Ket.
1	Berat jenis agregat	≥25	2.9	Memenuhi
2	<i>Sand equivalent</i>	>50	84.55%	Memenuhi
3	Penyerapan air oleh agregat	<3	0.05	Memenuhi

Pada Tabel 4 diatas menunjukkan bahwa dari hasil pengujian yang didapatkan agregat kasar yang digunakan memenuhi persyaratan

3.3 Berat Jenis Aspal

Pada pengujian berat jenis aspal pertamina pen 60/70 didapat nilai berat jenis sebesar 1.03 gr. Menurut Spesifikasi Umum Bina Marga aspal dengan penetrasi antara 60-70 mempunyai berat jenis aspal antara 0.95-1.05 dengan ketentuan kandungan mineral lain hanya sebesar 1 % dalam aspal (Huwae et al., 2015). Adapun hasil untuk pengujian berat jenis dari aspal dapat dilihat pada Tabel 5 berikut ini:

Tabel 5. Hasil Pengujian Berat Jenis Aspal

No	Urutan pemeriksaan		Berat	
1	Berat picnometer	B1	1265	gr
2	Berat picnometer + aquades	B2	28.87	gr
3	Berat air	$B3 = B2 - B1$	16.37	gr
4	Berat picnometer + aspal	B4	13.6	gr
5	Berat aspal	$B5 = B4 - B1$	1.03	gr
6	Berat picnometer + aspal + aquades	$B6 = B1 + B5 + B2$	28.98	gr
7	Berat air	$B7 = B6 - B4$	15.37	gr
8	Volume aspal	$B8 = B3 - B7$	1	gr
9	Berat jenis aspal	$B9 = B5/B8$	1.03	gr

3.4 Hasil Pengujian Penetrasi Aspal

Pada pengujian ini menggunakan aspal dengan penetrasi 60/70 sebagai benda uji. Berdasarkan hasil pemeriksaan penetrasi didapat nilai penetrasi sebesar 69.4 sehingga aspal memenuhi persyaratan Spesifikasi

Umum Bina Marga untuk digunakan aspal AC 60-70 (Kuchiishi et al., 2021). Adapun hasil dari pengujiannya dapat dilihat pada Tabel 6 berikut ini:

Tabel 6. Hasil Pengujian Penetrasi Aspal

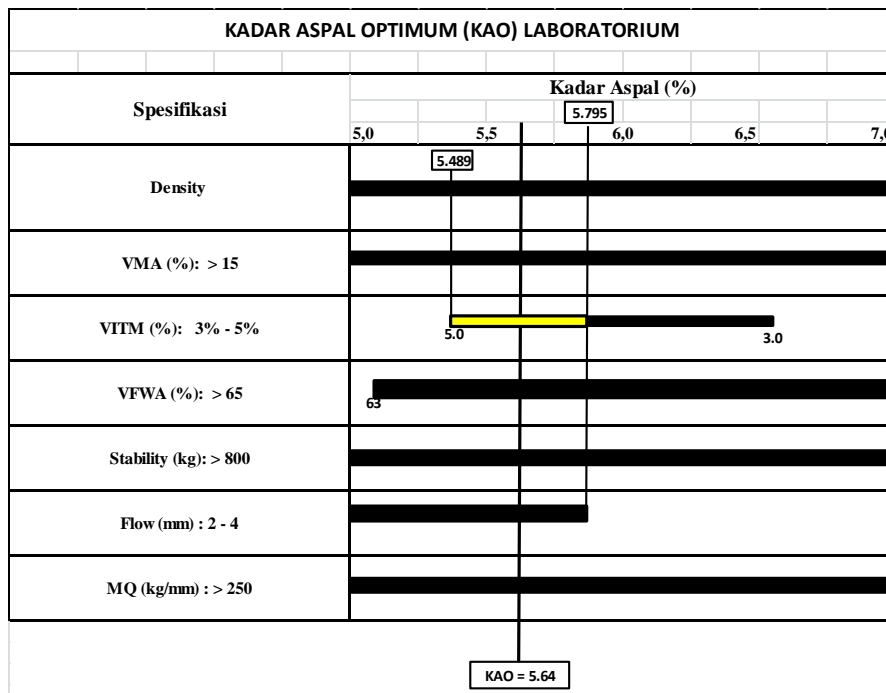
No	Cawan A	Cawan B
1	69	69
2	71	68
3	71	70
4	68	70
5	70	68
Rata-rata = 69.4		

3.5 Hasil Pengujian Marshall Test

Dari hasil pengujian yang dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Program Studi Teknik Sipil Universitas Lancang Kuning Provinsi Riau Kota Pekanbaru, diperoleh data pengujian berupa *density*, VMA, VFWA, VITM, stabilitas, *flow* dan MQ. Pengujian *Marshall Test* ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik dari campuran perkerasan dimana dalam pengujian Marshall ini terdapat tujuh parameter dari penentuan karakteristik campuran perkerasan yaitu nilai stabilitas, *flow*, *density*, *void in the mixture* (VITM), *void filled with asphalt* (VFWA), *void minerale agregate* (VMA), dan *marshall quotient* (MQ) dimana dari ketujuh parameter nilai ini sebagai penentuan untuk mengetahui karakteristik perkerasan aspal dan untuk menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO) yang mana dari KAO ini akan menjadi awal dalam menambahkan *Buton Granuler Asphalt* (BGA) pada lapis perkerasan dan kemudian dengan KAO yang didapatkan tadi akan dilihat bagaimana keausan dari lapis perkerasan dengan menambahkan *Buton Granuler Asphalt* (BGA) pada lapis perkerasan. Adapun hasilnya secara detail dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil Pengujian Marshall Test

No	Kadar aspal (%)	Density (gr/cc)	VMA (%)	VFWA (%)	VITM (%)	Stabilitas (Kg)	Flow (%)	MQ (Kg/mm)
1	5.0	2.21	20.22	54.89	9.29	2863.23	3.10	980.54
2	5.5	2.29	17.53	71.83	4.91	3496.59	3.73	760.49
3	6.0	2.31	17.32	73.98	4.93	3696.71	5.10	610.64
4	6.5	2.28	17.90	85.11	4.62	3661.84	4.10	769.07
5	7.0	2.25	19.33	83.08	2.36	3528.01	4.05	832.88
Bina Marga 2018		≥ 2 gr/cc	Min. 15	Min. 65	3 - 5	Min 800	2-4	Min. 250



Gambar 1. Kadar Aspal Optimum Laboratorium

Dari hasil Tabel 7 yang didapatkan maka kita dapat menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO) dari parameter pada Tabel 7 dengan melihat spesifikasi yang disyaratkan. Dalam penentuan Kadar Aspal Optimum ini menggunakan metode Narrow Range didapatkan Kadar Aspal Optimum (KAO) sebesar 5.64% yang dapat dilihat pada Gambar 1.

3.6 Penentuan Kadar Aspal Optimum

Dalam menentukan kadar aspal optimum (KAO) pada campuran perkerasan mengacu pada spesifikasi Bina Marga Tahun 2018. Dari penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 7, dimana terdapat 7 (tujuh) parameter dalam menentukan kadar aspal optimum diantaranya adalah nilai density, VITM, VMA, VFWA, stabilitas, flow dan *marshall quotient* (MQ). Dimana masing-masing parameter memiliki persyaratan yang harus dipenuhi (Widayanti et al., 2018), sehingga dari parameter tersebut mendapatkan nilai kadar aspal optimum. Kadar Aspal Optimum (KAO) yang didapatkan yaitu sebesar 5.64%.

3.7 Hasil Pengujian Cantabro Test

Nilai *cantabro test* mendeskripsikan tahanan benda uji terhadap keausan dengan menggunakan mesin *Los Angeles*. Pada pengujian ini benda uji dibuat dari campuran kadar aspal optimum sebesar 5.64%. Dari kadar aspal optimum tersebut direncanakan sebanyak 3 (tiga) benda uji yang dituang kedalam mesin *Los Angeles*. Sebelum menguji dengan mesin *Los Angeles*, benda uji ditimbang agar mengetahui berat awal. Pengujian *cantabro* ini mendeskripsikan seberapa besar ketahanan suatu perkerasan aspal yang telah ditambah dengan *buton granular asphalt* untuk

menahan gaya gesek yang terjadi diakibatkan oleh roda kendaraan dan permukaan jalan. Adapun hasil dari pengujian *cantabro test* dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Hasil Pengujian *Cantabro Test*

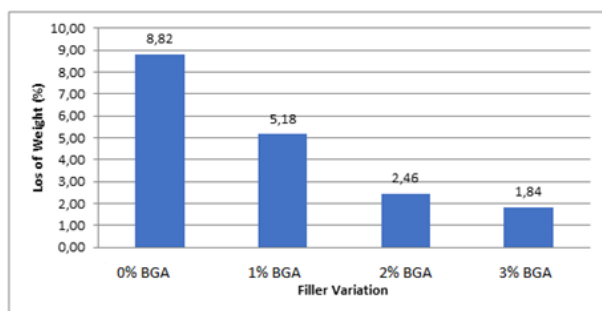
Variasi	Berat Awal	Berat Akhir	Kehilangan Berat (%)
Persyaratan			≤20%
0% BGA	1291	1055.17	8.82%
1% BGA	1305.5	1181.83	5.18%
2% BGA	1346	1282.17	2.46%
3% BGA	1348	1296.83	1.84%

Dari Tabel 8 diatas maka dibuat persentase kehilangan berat yang didapatkan dari hasil pengujian dengan membandingkan berat awal dengan berat akhir sehingga didapatkan persentase kehilangan berat dari hasil pengujian *cantabro test* ini. Adapun persentase kehilangan berat yang didapatkan dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Hasil pengujian *cantabro test*

Variasi	Syarat (Bina Marga 2018)	Kehilangan Berat (%)	Keterangan
0% BGA		8.82%	Memenuhi
1% BGA	≤20%	5.18%	Memenuhi
2% BGA		2.46%	Memenuhi
3% BGA		1.84%	Memenuhi

Dari Tabel 9 maka dengan semakin banyak penambahan *Buton Granular Asphalt* (BGA) maka akan semakin kecil nilai keausan dari lapis perkerasan jika dilihat trend angka penurunan kehilangan berat dengan penambahan lebih dari 3% maka akan memperkecil nilai kehilangan berat yang mengindikasikan dengan penambahan BGA membuat campuran lapis aus akan semakin tahan terhadap keausan akibat gesekan roda. Dari Tabel 9 dapat dibuat grafik penurunan kehilangan berat yang didapatkan dari hasil pengujian yang dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik Pengujian *Cantabro Test*

Sehingga dilihat dari hasil yang didapatkan dengan penambahan *Buton Granular Asphalt* (BGA) sebagai bahan tambah dapat menurunkan tingkat keausan dari campuran perkerasan lentur sehingga BGA dapat meningkatkan kekuatan dari campuran dimana *Buton Granular Asphalt* memiliki butiran halus yang dapat mengisi rongga pada campuran beraspal (Nofrianto, 2017).

4 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa persentase nilai kehilangan berat pada penambahan BGA kadar 0% sebesar 8.82%, kadar 1% sebesar 5.18%, kadar 2% sebesar 2.46 % dan kadar 3% sebesar 1.84%. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa dengan penambahan *Buton Granular Asphalt* dapat meningkatkan kekuatan perkerasan jalan dan dapat meminimalisir nilai keausan karena dilihat dari bentuk visual dari *Buton Granular Asphalt* banyak memiliki butiran-butiran halus dimana butiran tersebut dapat menutupi pori-pori dari campuran perkerasan sehingga kekuatan akan keuasannya akan menjadi lebih kuat. Untuk saran selanjutnya dicoba menambahkan *Buton Granular Asphalt* dengan penambahan lebih dari 3% pada lapis perkerasan lainnya seperti laston ataupun latasir.

DAFTAR PUSTAKA

Adithya, A. P., Subagio, B. S., Kosasih, D., & Hendaro, S. (2016). Evaluasi Karakteristik Modulus Resilien dan Deformasi Permanen Campuran Beton Beraspal (AC-Binder Course) Menggunakan Campuran Agregat Berabrasi Tinggi. *Jurnal Teknik Sipil*, 23(2), 223–232. <https://doi.org/https://doi.org/10.5614/jts.2016.23.3.7>

- Amiruddin, A., Adisasmita, S. A., & Ali, N. H. (2012). *Kajian Eksperimental Campuran HRS-WC dengan Aspal Minyak dan Penambahan Aditif Lateks sebagai Bahan Pengikat*.
- Anam, S., & Pratikto, H. (2018). Pengujian Perkerasan Porus dengan Penambahan Tread Ban Bekas pada Uji Marshall. *UKaRsT*, 2(2), 71. <https://doi.org/10.30737/ukarst.v2i2.362>
- Dirjen Bina Marga. (2018). *Spesifikasi Umum 2018, Edaran Dirjen Bina Marga Nomor 02/SE/Db/2018* (Issue September). Direktorat Jenderal Bina Marga.
- Fatoni, A. (2021). Pengaruh Penggunaan Aspal Buton B5/20 dengan Agregat Lokal Madura pada Campuran Aspal Panas AC-WC terhadap Karakteristik Marshall. *Rekayasa: Jurnal Teknik Sipil*, 6(1), 11. <https://doi.org/10.53712/rjrs.v6i1.1157>
- Fauzan, M., Saleh, S. M., & Isya, M. (2020). Modifikasi Campuran Aspal AC-WC Menggunakan Buton Granular Asphalt Sebagai Bahan Substitusi. *Journal of The Civil Engineering ...*, 1(3), 155–161.
- Gaus, A., Tjaronge, M. W., Ali, N., & Djamaluddin, R. (2015). Compressive strength of asphalt concrete binder course (AC-BC) mixture using buton granular asphalt (BGA). *Procedia Engineering*, 125, 657–662. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.11.097>
- Gusty, S., Tjaronge, M. W., Ali, N., & Djamaluddin, R. (2017). Pengaruh Penambahan Buton Granular Asphalt Pada Campuran Aspal Berongga Campur Panas Hampar Dingin Terhadap Stabilitas Marshall. *Konferensi Nasional Teknik Sipil Dan Perencanaan (KN-TSP)*, 137–145.
- Huwae, M., Kaseke, O. H., & Sendow, T. K. (2015). Kajian Kinerja Campuran Lapis Pondasi Jenis Lapis Tipis Aspal Beton-Lapis Pondasi (HRS-Base) Bergradasi Senjang Dengan Jenis Lapis Aspal Beton-Lapis Pondasi (AC-BASE) Bergradasi Halus. *Jurnal Sipil Statik*, 3(3), 183–189.
- Kuchiishi, A. K., Vasconcelos, K., & Bariani Bernucci, L. L. (2021). Effect of mixture composition on the mechanical behaviour of cold recycled asphalt mixtures. *International Journal of Pavement Engineering*, 22(8), 984–994. <https://doi.org/10.1080/10298436.2019.1655564>
- Nofrianto, H. (2017). Kajian Campuran Panas Aspal Agregat Asbuton Retona Blend 55 (AC-WC) Dan Aspal Pen 60/70 Dengan Pengujian Marshall. *Jurnal Teknik Sipil*, 1(1), 47–56.
- Rahmadi, Sofyan, M. S., & Anggraini, R. (2018). Analisis Marshall Campuran Ac-Wc Dengan Buton Granular Asphalt Dan Abu Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Bahan Substitusi. *Jurnal Arsip Rekayasa Sipil Dan Perencanaan*, 1(3), 56–63. <https://doi.org/10.24815/jarsp.v1i3.11776>
- Rombot, P. (2015). Kajian Kinerja Campuran Beraspal Panas Jenis Lapis Aspal Beton sebagai Lapis Aus Bergradasi Kasar dan Halus. *Jurnal Sipil Statik*, 3(3), 190–197.
- Saifuddin, I. B., Gaus, A., & Anwar, C. (2017). Studi Karakteristik Kuat Tekan pada Campuran Asphalt Concrete. *Jurnal Sipil Sains*, 7(13), 25–34.
- Saleh, A., Harianja, D. S., & Lubis, F. (2022). Analisis Nilai Keausan pada Lapis Hot Rolled Sheet (HRS) dengan Menggunakan Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) dan Styrofoam. *Jurnal Teknik*, 16(1), 36–40. <https://doi.org/10.31849/teknik.v16i1.9491>
- Sarwono, D., Pramesti, F. P., & Kurniawan, H. L. (2018). Analisis Tensile Strength, Bending, Cantabro, dan Permeabilitas pada Split Mastic Asphalt (SMA) dengan Bahan Tambah High Density Polyethylene (HDPE). *Jurnal MATRIKS TEKNIK SIPIL*, 6(2), 256–262.
- Setyawan, A., Legowo, S. J., & Shidiq, A. M. (2017). Studi Karakteristik Marshall Pada Laston (Ac) dengan Bahan Pengikat Damar Aspal (Daspal) Kombinasi Material Getah Damar, Fly Ash, Oli Bekas Dan Lateks. *Matriks*

Teknik Sipil, 5(3), 815–822.
<https://doi.org/https://doi.org/10.20961/mateksi.v5i3.36707>

- Soehardi, F., & Putri, L. D. (2018). Penggunaan Aspal Buton Berbutir pada Campuran Lapisan Perkerasan Ac-Bc. *Jurnal Sainstek STT Pekanbaru*, 6(1), 6–14.
- Wang, F., Huang, T., Xin, G., Mu, M., & Shen, Q. (2021). Study on Conventional and Rheological Properties of Corn Stalk Bioasphalt/PPA Composite Modified Asphalt. *Advances in Civil Engineering*, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/7928189>
- Widayanti, A., Soemitro, R. A. A., Ekaputri, J. J., & Suprayitno, H. (2018). Kinerja Campuran Aspal Beton dengan Reclaimed Asphalt Pavement dari Jalan Nasional di Provinsi Jawa Timur. *Jurnal Manajemen Aset Infrastruktur & Fasilitas*, 2(1), 35–43. <https://doi.org/10.12962/j26151847.v2i1.3766>