

**DISERTASI**

**PENGARUH PENGGUNAAN MATERIAL PERKERASAN  
JALAN DAUR ULANG DAN ASBUTON BUTIR TERHADAP  
KINERJA CAMPURAN BERASPAL**

*The Effect of Recycled Material and Buton Granular  
Asphalt (BGA) on Asphalt Concrete Mixture Performance*

**NOVITA PRADANI  
D013191010**



**PROGRAM STUDI S3 ILMU TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2023**

**PENGAJUAN DISERTASI**

**PENGARUH PENGGUNAAN MATERIAL PERKERASAN  
JALAN DAUR ULANG DAN ASBUTON BUTIR TERHADAP  
KINERJA CAMPURAN BERASPAL**

Disertasi  
Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar Doktor  
Program Studi Ilmu Teknik Sipil

Disusun dan diajukan oleh

**NOVITA PRADANI  
D013191010**

Kepada

**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
GOWA  
2023**

## DISERTASI

# PENGARUH PENGGUNAAN MATERIAL PERKERASAN JALAN DAUR ULANG DAN ASBUTON BUTIR TERHADAP KINERJA CAMPURAN BERASPAL.

**NOVITA PRADANI**

**D013191010**

Telah dipertahankan dihadapan Panitia Ujian Disertasi yang dibentuk  
dalam rangka penyelesaian studi pada Program Doktor Ilmu Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin  
pada tanggal 15 Agustus 2023  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,  
Promotor



**Prof. Dr.Eng. Rita Irmawaty, ST., MT.**  
NIP. 197206192000122001

Co-Promotor



**Prof. Dr. Ir. M. Wihardi Tjaronge, ST.M.Eng.**  
NIP. 196805292002121002

Co-Promotor



**Dr.Eng. Irwan Ridwan Rahim, ST., MT.**  
NIP.197211192000121001

Dekan Fakultas Teknik  
Universitas Hasanuddin



**Prof. Dr.Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, ST. MT. IPM**  
NIP. 197309262000121002

Ketua Program Studi  
S3 Ilmu Teknik Sipil



**Prof. Dr.Eng. Ir. Rita Irmawaty, ST, MT**  
NIP. 197206192000122001

## PERNYATAAN KEASLIAN DISERTASI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Novita Pradani  
Nomor mahasiswa : D013191010  
Program studi : S3 Ilmu Teknik Sipil

Dengan ini menyatakan bahwa, disertasi berjudul "Pengaruh Penggunaan Material Perkerasan Jalan Daur Ulang dan Asbuton Butir Terhadap Kinerja Campuran Beraspal" adalah benar karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing Prof. Dr. Eng. Ir. Rita Irmawaty, ST., M.T., sebagai Promotor, Prof. Dr. Ir. H. M. Wihardi Tjaronge, ST., M.Eng., sebagai co-promotor-1 dan Dr. Eng. Irwan Ridwan Rahim, ST., MT., sebagai co-promotor-2. Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka disertasi ini. Sebagian dari isi disertasi ini telah dipublikasikan di *8<sup>th</sup> Brunei International Conference on Engineering and Technology (BICET) 2021, AIP Conference Proceedings, Vol. 2643, pp. 1-8, doi: 10.1063/5.0111145* sebagai artikel dengan judul "Basic Properties of Post-Disaster Recycled Material in Palu City as Flexible Pavement Materials " dan di *Civil Engineering Journal (C.E.J), Vol. 9 No. 6, pp. 1412 - 1426 doi: 10.28991/CEJ-2023-09-06-09* sebagai artikel dengan judul "The Effect of Recycled Material and Buton Granular Asphalt (BGA) on Asphalt Concrete Mixture Performance".

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya berupa disertasi ini kepada Universitas Hasanuddin.

Gowa, 1 Agustus 2023

Yang menyatakan



Novita Pradani

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah kami panjatkan ke hadirat Allah SWT yang atas izinNya sehingga disertasi dengan judul **“Pengaruh Penggunaan Material Perkerasan Jalan Daur Ulang dan Asbuton Butir Terhadap Kinerja Campuran Beraspal”** dapat terselesaikan.

Kami menyampaikan penghargaan yang sangat tinggi dan amat mendalam kepada :

1. Prof. Dr. Eng. Ir. Hj. Rita Irmawaty, ST., MT, atas bimbingan, arahan dan petunjuknya sehingga penelitian dan penyusunan disertasi ini dapat kami laksanakan dengan baik. Ucapan dan penghargaan yang sama kami sampaikan kepada Prof. Dr. Ir. H. M. Wihardi Tjaronge, ST., M.Eng dan Dr. Eng. Irwan Ridwan Rahim, ST., MT selaku Co-Promotor yang banyak memberikan waktu, arahan dan bimbingannya kepada kami.
2. Prof. Ir. Sakti Adji Adisasmita, M.Si., M.Eng.Sc., Ph.D, IPU, ASEAN.Eng. sebagai penasehat akademik yang senantiasa memberikan waktu, arahan dan bimbingannya kepada kami selama menempuh studi.
3. Prof. Ir. Sakti Adji Adisasmita, M.Si., M.Eng.Sc., Ph.D, IPU, ASEAN.Eng.; Prof. Dr. Ir. Abd. Rahman Djamaluddin, M.T.; Prof. Dr. Ir. Sumarni Hamid Aly, M.T. dan Dr. Eng. Ir. Muralia Hustim, S.T., M.T.

selaku tim penguji internal yang banyak memberikan arahan selama proses penyusunan disertasi ini.

4. Prof. Dr. Ir. Bambang Sugeng Subagio, DEA. sebagai penguji eksternal yang telah memberikan arahan dan masukan dalam penyelesaian disertasi ini.
5. Rektor Universitas Hasanuddin Prof. Dr. H. Jamaluddin Jompa, M.Sc, Prof. Dr. Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, ST., MT. sebagai Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, Prof. Dr. Ir. M. Wihardi Tjaronge, ST. M.Eng sebagai Ketua Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, Prof. Dr. Eng. Ir. Hj. Rita Irmawaty, ST., MT, sebagai Ketua Program Studi S3 Ilmu Teknik Sipil Universitas Hasanuddin dan Bapak/Ibu Dosen Departemen Teknik Sipil Universitas Hasanuddin yang telah mengarahkan dan membimbing selama proses perkuliahan, serta Bapak/ibu staf Prodi S3 Teknik Sipil yang sangat membantu dalam proses administrasi.
6. Rektor Universitas Tadulako, Dekan Fakultas Teknik Universitas Tadulako beserta Civitas Akademika Universitas Tadulako Palu.
7. Kementerian Keuangan Republik Indonesia atas beasiswa BUDI-DN LPDP yang kami terima selama menempuh pendidikan doktor di Universitas Hasanuddin.
8. Pimpinan dan staf Laboratorium Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional (BPJN) Sulawesi Selatan atas bantuan dan kerjasamanya selama proses penelitian.

9. Rekan-rekan dan laboran Laboratorium Riset Eco Material dan Beton, Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.

10. Teman-teman seperjuangan angkatan 2019, yang senantiasa memberikan semangat dan motivasi selama ini.

Akhirnya ucapan terima kasih yang setinggi tingginya atas segala doa, keikhlasan, pengorbanan dan dukungan yang tidak ternilai kepada *my support system* suami tercinta, ayahanda tersayang, *my fantastic four* Azka, Aqilah, Zajil dan Ayra, *my support from heaven* mama dan Tawi, serta keluarga besar yang selalu ada dan mendukung dengan penuh cinta dan keikhlasan.

Akhir kata, semoga sedikit ilmu yang tertuang dalam disertasi ini dapat berkontribusi dalam perkembangan ilmu pengetahuan serta bermanfaat dengan sebaik-baiknya.

Makassar, Agustus 2023

Wassalam

Novita Pradani

## ABSTRAK

**NOVITA PRADANI.** *Pengaruh Penggunaan Material Perkerasan Jalan Daur Ulang dan Asbuton Butir Terhadap Kinerja Campuran Beraspal* (dibimbing oleh **Rita Irmawaty, M. Wihardi Tjaronge** dan **Irwan Ridwan Rahim**).

Daur ulang perkerasan jalan merupakan teknologi alternatif dalam pembangunan dan rehabilitasi struktur perkerasan jalan, karena semakin terbatas dan tingginya harga material perkerasan. Penelitian ini dimaksudkan untuk memodifikasi campuran daur ulang perkerasan jalan pasca bencana dengan menambahkan asbuton butir sebagai substitusi agregat halus yang mampu meningkatkan kinerja dari campuran daur ulang. Campuran yang digunakan pada penelitian ini adalah Laston Lapis Aus (AC-WC) yang mengandung material *Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)*, agregat baru, aspal Pen 60/70 dan asbuton butir (BGA). Persentase material daur ulang (RAP) dalam campuran dibatasi 20% dan 30% terhadap berat campuran. Pada masing-masing campuran dengan variasi RAP tersebut ditambahkan BGA sebesar 0%; 3%; 6% dan 9%. Sifat aspal dan agregat diukur berdasarkan hasil pengujian sifat fisik aspal dan agregat, sedangkan kinerja campuran diperoleh melalui pengujian Marshall, perendaman Marshall dan kuat tarik tidak langsung (ITS). Hasil pengujian sifat fisik aspal diperoleh bahwa aspal RAP mempunyai penetrasi yang rendah dan titik lembek yang tinggi. Kinerja campuran hasil uji Marshall menunjukkan nilai Stabilitas Marshall 1549,10 kg (30% RAP) dan 1430,91 kg (20% RAP) lebih tinggi dari campuran konvensional yaitu 1266,02 kg. Hasil pengujian rendaman Marshall memberikan nilai IKS sebesar 97% (0% RAP + 9% BGA), yang merupakan nilai durabilitas tertinggi dari campuran lainnya. Hasil pengujian ITS menunjukkan nilai tertinggi sebesar 1,159 Mpa diperoleh pada campuran 30% RAP + 9% BGA. Namun Campuran AC-WC dengan penggunaan RAP sebesar 20% dan asbuton butir sebesar 3%, cenderung lebih efektif dalam memberikan kenaikan nilai stabilitas dan kuat tarik tidak langsung serta memberikan nilai durabilitas yang masih mendekati campuran AC-WC konvensional. Secara umum, hasil pengujian menunjukkan bahwa penggunaan material RAP dan BGA dapat dijadikan alternatif dalam perbaikan struktur perkerasan jalan serta dapat menjadi salah satu solusi untuk meningkatkan elastisitas campuran. Namun dengan tetap memperhatikan batas maksimum penggunaan material RAP dalam campuran dan meningkatkan *quality control* pada saat pelaksanaan.

**Kata Kunci :** Perkerasan Jalan Daur Ulang, Asbuton butir, AC-WC, Stabilitas, ITS.

## ABSTRACT

**NOVITA PRADANI.** *The Effect of Recycled Material and Buton Granular Asphalt (BGA) on Asphalt Concrete Mixture Performance* (supervised by **Rita Irmawaty, M. Wihardi Tjaronge and Irwan Ridwan Rahim**).

Pavement Recycling as alternative technology in pavement construction and maintenance is continuously developed due to scarcity and highly cost of materials. The aim of this research is to modify the post-disaster road pavement recycled mixture by adding Buton granular asphalt as a fine aggregate substitute which can improve the performance of the mixture. The mixture used in this study is Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC) which contain Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) material, new aggregate, Pen 60/70 asphalt and Buton granules (BGA). The percentage of recycled material (RAP) in the mixture is limited to 20% and 30% by mixture weight. For each RAP variation, BGA is added with 0%, 3%; 6% and 9% by mixture weight. Asphalt and aggregate properties are measured based on the physical properties testing, while the mixture performance is obtained through Marshall testing, Marshall immersion and indirect tensile strength (ITS) test. The results of asphalt physical properties test obtained that RAP asphalt has low penetration and high softening point. The mixture performance of the Marshall test results showed Marshall Stability values of 1549.10 kg (30% RAP) and 1430.91 kg (20% RAP) higher than the conventional mixture which is 1266.02 kg. Marshall immersion test results provide an IKS value of 97% (0% RAP + 9% BGA), which is the highest durability value than the other mixtures. ITS test results showed the highest value of 1.159 MPa is obtained in a mixture of 30% RAP + 9% BGA. However, AC-WC mixtures with 20% RAP and 3% BGA tend to be more effective in increasing stability and indirect tensile strength values and providing durability values that are still close to conventional AC-WC mixtures. Generally, the result of this research shown that RAP and BGA materials can be used as an alternative materials using in pavement rehabilitation and can be one of the solution to increase the elasticity of mixture. Some attentions should be taken on the maximum percentage of RAP materials and quality control in construction stage should be conducted intensively.

**Keywords:** Reclaimed Asphalt Pavement (RAP), Buton Granular Asphalt (BGA), AC-WC, Stability, ITS

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	i
<b>HALAMAN PENGAJUAN DISERTASI .....</b>	ii
<b>HALAMAN PERSETUJUAN DISERTASI .....</b>	iii
<b>PERNYATAAN KEASLIAN DISERTASI .....</b>	iv
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	v
<b>ABSTRAK .....</b>	viii
<b>ABSTRACT .....</b>	ix
<b>DAFTAR ISI .....</b>	x
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	xiv
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	xvii
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	xxii
<b>DAFTAR SINGKATAN DAN NOTASI .....</b>	xxiii
 <b>BAB I     PENDAHULUAN</b>	
A. Latar Belakang.....	1
B. Rumusan Masalah.....	9
C. Tujuan Penelitian .....	10
D. Manfaat Penelitian .....	12
E. Lingkup Penelitian .....	12
F. Batasan Penelitian.....	13

	G. Sistematika Penulisan .....	14
<b>BAB II</b>	<b>TINJAUAN PUSTAKA</b>	
	A. Lapis Beton Aspal .....	16
	B. Material Daur Ulang (RAP) .....	20
	C. <i>Buton Granular Asphalt (BGA)</i> .....	23
	D. Kadar Aspal Optimum (KAO) .....	31
	E. Stabilitas Marshall .....	33
	F. Kuat Tarik Tidak Langsung .....	34
	G. Durabilitas Campuran .....	36
	H. Regresi Mutilinier Berganda.....	36
	I. Penelitian Terdahulu .....	39
<b>BAB III</b>	<b>METODOLOGI PENELITIAN</b>	
	A. Lokasi dan Waktu Penelitian.....	54
	B. Alur Penelitian.....	54
	C. Pengujian Material .....	65
	1. Material Perkerasan Daur Ulang (RAP).....	65
	2. Material Asbuton Butir (BGA) .....	68
	3. Agregat Baru ( <i>Fresh Aggregate</i> ) .....	69
	4. Aspal Baru ( <i>Fresh Bitumen</i> ) .....	71
	D. Pengujian Campuran .....	72
	E. Pengujian Stabilitas Marshall.....	74
	F. Pengujian Kuat Tarik Tidak Langsung (ITS) .....	77
	G. Analisis Data.....	78

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Karakteristik Material .....	85
1. Perkerasan Daur Ulang (RAP) .....	85
2. Material Baru ( <i>Fresh Material</i> ).....	95
3. Asbuton Butir (BGA).....	99
4. Perbaikan Sifat Fisik Material RAP .....	104
B. Rancangan Campuran Beraspal Panas .....	113
C. Pengujian Campuran dengan Metode Marshall .....	115
1. Kadar Aspal Optimum (KAO).....	115
2. Karakteristik Volumetrik Campuran .....	131
3. Nilai Empiris Marshall .....	140
4. Perendaman Marshall ( <i>Marshall Immersion</i> ).....	149
D. Pengujian Campuran dengan Uji Kuat Tarik Tidak Langsung .....	152
1. Hubungan Tegangan Regangan.....	152
2. Nilai Modulus Elastisitas .....	156
3. Nilai Kuat Tarik Tidak Langsung (ITS) .....	158
E. Hubungan Nilai Stabilitas dan Asbuton Butir pada Campuran Daur Ulang .....	160
F. Hubungan Nilai Kuat Tarik Tidak Langsung dan Asbuton Butir pada Campuran Daur Ulang.....	162
G. Perumusan Model Stabilitas dan Kuat Tarik Tidak Langsung .....	163

H. Temuan Empirik .....	168
<b>BAB V KESIMPULAN</b>	
A. Kesimpulan .....	169
B. Saran .....	172
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>173</b>

## DAFTAR TABEL

<b>Nomor</b>		<b>Halaman</b>
1.	Ketentuan Sifat-Sifat Campuran Laston .....	18
2.	Perkiraan deposit Asbuton di daerah Lawele .....	26
3.	Tipikal sifat-sifat fisik bitumen Asbuton .....	26
4.	Sifat-sifat fisik bitumen Asbuton .....	27
5.	Sifat-sifat kimia bitumen Asbuton .....	28
6.	Komposisi kimia mineral Asbuton .....	29
7.	Persyaratan Asbuton Butir B 50/30 .....	30
8.	Jalur ( <i>track</i> ) penelitian campuran dengan RAP dan BGA .....	40
9.	Posisi Penelitian .....	49
10.	Matriks Benda Uji .....	64
11.	Spesifikasi Gradasi Agregat LASTON AC-WC.....	67
12.	Pengujian Material Hasil Daur Ulang .....	67
13.	Jenis pengujian dan persyaratan Asbuton butir Tipe 50/30.....	68
14.	Pengujian Agregat Kasar .....	70
15.	Pengujian Agregat Halus.....	70
16.	Pengujian Aspal Keras PEN 60/70.....	72
17.	Penomoran Benda Uji.....	72
18.	Penentuan Kadar Aspal dari Ekstraksi Material RAP .....	86
19.	Kandungan partikel atom material RAP .....	87
20.	Hasil Pengujian Karakteristik Agregat RAP Hasil Ekstraksi .....	90

21.	Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat RAP Hasil Ekstraksi	91
22.	Hasil Analisis Kesesuaian Gradasi Agregat RAP .....	93
23.	Hasil Pengujian Karakteristik Aspal RAP Hasil Ekstraksi.....	94
24.	Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Baru.....	96
25.	Hasil Pengujian Karakteristik Aspal Baru .....	98
26.	Hasil Pengujian Viskositas Aspal Baru Pen 60/70 .....	99
27.	Penentuan Kadar Aspal dari Ekstraksi Material Asbuton.....	100
28.	Karakteristik fisik Asbuton Butir BGA 50/30 .....	101
29.	Komposisi kimia mineral Asbuton butir dari Lawele (BGA) .....	101
30.	Hasil Pengujian Analisa Saringan Mineral Asbuton Hasil Ekstraksi.....	102
31.	Karakteristik fisik Aspal Asbuton BGA 50/30.....	103
32.	Sifat kimia Asbuton dari Lawele .....	104
33.	Gradasi Rencana Hasil Perbaikan .....	105
34.	Hubungan Persentase <i>Reclamite</i> terhadap Nilai Penetrasi dan Titik Lembek Aspal RAP .....	107
35.	Hasil Pengujian Berbagai Kombinasi Aspal RAP dan Aspal Pen 60/70 .....	109
36.	Hasil Pengujian Karakteristik Aspal Pen 60/70 dan Aspal Asbuton.....	111
37.	Hasil Pengujian Karakteristik Aspal RAP dengan <i>Reclamite</i> + Aspal Asbuton Aspal Pen 60/70.....	112
38.	Contoh Perhitungan Berat dalam Campuran .....	114

39.	Nilai-nilai Parameter Marshall pada Kadar Aspal Optimum.....	116
40.	Hasil analisis model stabilitas .....	162
41.	Hasil analisis model kuat tarik tidak langsung .....	164

## DAFTAR GAMBAR

<b>Nomor</b>		<b>Halaman</b>
1.	Alur Perumusan Masalah .....	11
2.	Regangan Tarik dan Tekan pada Lapis Perkerasan Jalan.....	19
3.	Lokasi deposit Asbuton di Pulau Buton Sulawesi Tenggara .....	24
4.	Diagram pembeban uji Kuat Tarik Tidak Langsung.....	35
5.	<i>Road Map</i> Penelitian .....	53
6.	Diagram Alur Penelitian .....	57
7.	Tahapan Penelitian Tahap I Sub Tahap I.....	60
8.	Tahapan Penelitian Tahap I- Sub Tahap II.....	61
9.	Tahapan Penelitian Tahap I- Sub Tahap III.....	62
10.	Tahapan Penelitian Tahap II.....	63
11.	Tahapan Penelitian Tahap III.....	64
12.	Lokasi Pengambilan Sampel RAP .....	66
13.	RAP Balaroo Palu .....	67
14.	Peremaja Reclamite®.....	68
15.	Asbuton Butir B 50/30.....	69
16.	Gradasi Rencana, Gradasi RAP dan Gradasi BGA .....	71
17.	Alat Marshall Test .....	77
18.	Skema pengujian kuat tarik tidak langsung.....	78
19.	Skematis volumetrik campuran beraspal .....	81
20.	Kristalinitas Agregat RAP .....	88
21.	Intesitas Spektrum Mineral Material RAP .....	89

22.	Gradasi <i>Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)</i> .....	91
23.	Hubungan antara Viskositas dan Temperatur Aspal Pen 60/70 ..	99
24.	Gradasi Asbuton Butir (BGA 50/30).....	102
25.	Gradasi Rencana Hasil Perbaikan.....	105
26.	Hubungan antara Bahan Peremaja terhadap Nilai Penetrasi (a) dan Nilai Titik Lembek (b).....	107
27.	Penentuan Kadar Peremaja Optimum berdasarkan Pendekatan Nilai Penetrasi dan Nilai Titik Lembek .....	108
28.	Hubungan <i>Penetration Index</i> terhadap Kadar Aspal RAP.....	110
29.	Hasil Pengujian Marshall Campuran C1 (0% Material RAP, 100% Material Baru dan 0% BGA).....	117
30.	Hasil Pengujian Marshall Campuran C2 (0% Material RAP, 97% Material Baru dan 3% BGA) .....	118
31.	Hasil Pengujian Marshall Campuran C3 (0% Material RAP, 94% Material Baru dan 6% BGA).....	119
32.	Hasil Pengujian Marshall Campuran C4 (0% Material RAP, 91% Material Baru dan 9% BGA) .....	120
33.	Hasil Pengujian Marshall Campuran A1 (20% Material RAP, 80% Material Baru dan 0% BGA) .....	121
34.	Hasil Pengujian Marshall Campuran A2 (20% Material RAP, 77% Material Baru dan 3% BGA) .....	122
35.	Hasil Pengujian Marshall Campuran A3 (20% Material RAP, 74% Material Baru dan 6% BGA) .....	123

36.	Hasil Pengujian Marshall Campuran A4 (20% Material RAP, 71% Material Baru dan 9% BGA) .....	124
37.	Hasil Pengujian Marshall Campuran B1 (30% Material RAP, 70% Material Baru dan 0% BGA) .....	125
38.	Hasil Pengujian Marshall Campuran B2 (30% Material RAP, 67% Material Baru dan 3% BGA) .....	126
39.	Hasil Pengujian Marshall Campuran B3 (30% Material RAP, 64% Material Baru dan 6% BGA) .....	127
40.	Hasil Pengujian Marshall Campuran B4 (30% Material RAP, 61% Material Baru dan 9% BGA) .....	128
41.	Perbandingan Kadar Aspal Optimum terhadap Persentase Material RAP .....	129
42.	Perbandingan Persentase Aspal RAP, Aspal BGA dan Aspal Baru dalam campuran AC-WC pada Kondisi Kadar Aspal Optimum. ....	131
43.	Perbandingan Nilai VIM terhadap persentase RAP.....	133
44.	Perbandingan Nilai VIM terhadap persentase BGA .....	134
45.	Perbandingan Nilai VMA terhadap persentase RAP .....	136
46.	Perbandingan Nilai VMA terhadap persentase BGA.....	137
47.	Perbandingan Nilai VFA terhadap persentase RAP .....	138
48.	Perbandingan Nilai VFA terhadap persentase BGA.....	139
49.	Perbandingan Nilai Stabilitas terhadap persentase RAP .....	141
50.	Perbandingan Nilai Stabilitas terhadap persentase BGA .....	142
51.	Perbandingan Nilai Flow terhadap persentase RAP .....	145

52.	Perbandingan Nilai Flow terhadap persentase BGA .....	146
53.	Perbandingan Nilai MQ terhadap persentase RAP .....	147
54.	Perbandingan Nilai MQ terhadap persentase BGA .....	148
55.	Perbandingan Nilai Stabilitas Standar dan Stabilitas Rendaman.....	150
56.	Perbandingan Nilai Indeks Kekuatan Sisa .....	151
57.	Perbandingan Nilai Tegangan terhadap Regangan pada Campuran Tanpa Material RAP .....	153
58.	Perbandingan Nilai Tegangan terhadap Regangan pada Campuran dengan 20% RAP.....	155
59.	Perbandingan Nilai Tegangan terhadap Regangan pada Campuran dengan 30% RAP .....	156
60.	Perbandingan Modulus Elastisitas terhadap persentase RAP ....	157
61.	Perbandingan Modulus Elastisitas terhadap persentase BGA ..	158
62.	Perbandingan Nilai ITS terhadap persentase RAP .....	159
63.	Perbandingan Nilai ITS terhadap persentase BGA .....	160
64.	Hubungan Stabilitas terhadap persentase BGA pada Campuran Daur Ulang .....	161
65.	Hubungan Kuat Tarik Tidak Langsung terhadap persentase BGA pada Campuran Daur Ulang.....	162
66.	Kesesuaian Nilai Stabilitas Prediksi Model Terhadap Hasil Pengujian Laboratorium .....	165

67.	Kesesuaian Nilai Kuat Tarik Tidak Langsung Prediksi Model Terhadap Hasil Pengujian Laboratorium .....	167
-----	---	-----

**DAFTAR LAMPIRAN**

<b>Lampiran</b>	<b>Halaman</b>
Lampiran A Perhitungan Proporsi Campuran akibat Gradasi Agregat pada RAP ( <i>Reclaimed Asphalt Pavement</i> ) dan Asbuton Butir (BGA) .....	183

## DAFTAR SINGKATAN DAN NOTASI

SINGKATAN	Nama	Pemakaian Pertama Kali pada Halaman
AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials .....	66
AC	Asphalt Concrete .....	4
AC-Base	Asphalt Concrete Base .....	17
AC-BC	Asphalt Concrete Binder Course .....	4
AC-WC	Asphalt Concrete Wearing Course .....	8
ASTM	American Society for Testing Material .....	30
BGA	Buton Granular Asphalt .....	7
HMRA	Hot Mix Recycling Asphalt .....	4
IKS	Indeks Kekuatan Marshall Sisa .....	36
ITS	Indirect Tensile Strength .....	4
KAO	Kadar Aspal Optimum .....	5
Laston	Lapis Aspal Beton .....	17
LVDT	Linearly Variable Differential Transformer .....	78
MQ	Marshall Quotient (Hasil Bagi Marshall) .....	8
RAP	Reclaimed Asphalt Pavement .....	3
SNI	Standar Nasional Indonesia .....	7
SSD	Surface Saturated Dry .....	75
VFB	Voids Filled with Bitumen (rongga terisi aspal) .....	32
VIM	Voids in Mixture (rongga dalam campuran) .....	5
VMA	Voids in Mineral Aggregates (rongga udara di dalam agregat) .....	18
 <b>LAMBANG</b>		
cSt	centiStokes .....	98
dmm	desimilimeter (0,1 mm) .....	26

kPa	Kilo Pascal .....	.35
MPa	Mega Pascal .....	.31
P <sub>b</sub>	Perkiraan Kadar Aspal Optimum .....	.76
PI	Penetration index .....	.65
SP	Softening Point.....	.79
T	Temperatur .....	.79
XRD	<i>X-Ray Diffraction</i> .....	.67
XRF	<i>X-Ray Fluorescence</i> .....	.67
°C	Derajat Celcius.....	.72

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **A. Latar Belakang**

Kenaikan populasi dan pengguna jalan berakibat pada konstruksi, perawatan, dan rehabilitasi prasarana jalan menjadi salah satu inisiatif yang diutamakan oleh pemerintah. Pertambahan jumlah penduduk dan pengguna jalan berdampak pada pembangunan, pemeliharaan dan rehabilitasi prasarana jalan menjadi salah satu program yang diprioritaskan oleh pemerintah. Affandi dan Kusnianti, 2013 memperkirakan kebutuhan aspal Indonesia mencapai 1,3 juta ton per tahun dari kegiatan pembangunan dan pemeliharaan perkerasan lentur di Indonesia, bila campuran perkerasan beraspal mempunyai kadar aspal 6% terhadap berat total campuran maka akan menghasilkan 21,6 juta ton campuran aspal panas per tahun. Indonesia hanya dapat memproduksi aspal sebanyak 0,9 juta ton per tahun dimana 0,6 juta ton per tahun diproduksi oleh Pertamina, 0,3 juta ton per tahun diproduksi oleh Sarana Karya dan untuk memenuhi kekurangannya, diimpor dari negara lain. Di lain sisi lain harga aspal minyak semakin meningkat dari tahun ke tahun (Illyin, 2012; Nasrullah, 2020). Berdasarkan kebutuhan yang disebutkan maka dibutuhkan ketersediaan jumlah material perkerasan yang cukup besar untuk kegiatan pembangunan maupun preservasi jalan baik berupa agregat dan aspal (Maha, 2015).

Dalam hal pembangunan jalan, pengurangan bahan baku menjadi hal yang krusial dalam beberapa dekade terakhir ini. Salah satunya dalam bentuk pemanfaatan kembali material limbah dari sektor industri dan atau sektor konstruksi. Keterbatasan bahan baku untuk pembangunan dan makin tingginya kebutuhan agregat dan aspal untuk konstruksi, mendorong berbagai pihak yang terkait dengan dunia konstruksi untuk mempertimbangkan material alternatif (Irmawaty, 2022; Sihombing, 2021; Bethary, 2019; Widayanti, 2019 dan Valdes, 2011).

Meskipun penggunaan bahan daur ulang memiliki keunggulan dalam konservasi energi, namun penggunaan bahan daur ulang juga dapat menurunkan kualitas dari campuran. Material daur ulang adalah penggunaan kembali kupasan material permukaan jalan beraspal lama. Material perkerasan jalan yang mengalami pengupasan tersebut, dapat disebabkan oleh masa layannya yang telah selesai atau dapat pula disebabkan karena bencana alam seperti, gempa bumi atau tsunami. Menurut data World Bank tahun 2022, Indonesia menduduki peringkat ke-12 dari 35 negara yang paling rawan terhadap bencana. Data ini membuat Indonesia menjadi bagian dari negara yang rentan terhadap bencana alam terutama gempa bumi. Kejadian bencana ini menyisakan cukup banyak material konstruksi seperti material perkerasan jalan yang belum dimanfaatkan secara optimal. Bencana dahsyat yang terjadi di Palu, Sulawesi Tengah pada 28 September 2018 adalah salah satunya. Perkerasan jalan eksisting yang telah rusak akibat bencana, hanya

digunakan sebatas sebagai bahan material timbunan. Pemanfaatan material pasca bencana ini dapat berkontribusi dalam pembangunan berkelanjutan. Material perkerasan jalan daur ulang dikenal dengan istilah *Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)*. Material RAP ini telah mengalami penurunan *quality* selama usia layannya, seperti penurunan nilai penetrasi, penuaan aspal, perubahan distribusi susunan ukuran butiran atau kelelahan campuran. Modifikasi diperlukan agar material RAP dapat digunakan kembali sebagai bahan konstruksi pada permukaan jalan baru. Metode daur ulang ini diuji di lapangan pada tahun 2007 oleh Badan Penelitian dan Pengembangan Pekerjaan Umum pada ruas jalan Palimanan – Jatibarang dengan panjang jalan kurang lebih 3.5 km, sedangkan pada tahun 1989 Asphalt Institute menggunakan RAP pada campuran beraspal panas (Al Qadi dkk,2012). Pemanfaatan RAP dalam campuran *hotmix* berdasarkan the Asphalt Institute (1993) adalah sekitar 10% - 35% untuk unit produksi jenis takaran, dan kuantitas sekitar 10% - 50% untuk produksi jenis drum. *Rejuvenating Agent* perlu ditambahkan bila penggunaan RAP lebih besar dari 20%. Berdasarkan studi yang dilakukan asosiasi aspal di Amerika rata-rata penggunaan RAP pada campuran beraspal mengalami peningkatan sebesar 15,6% pada tahun 2009 dan pada tahun 2014 meningkat hingga 20,4%, dengan perkiraan jumlah RAP yang digunakan dalam campuran aspal adalah 71,9 juta ton. Dengan asumsi kadar aspal 5% pada RAP, sama dengan 3,6 juta ton aspal dan 68 juta ton agregat alami (Hansen dan Copeland, 2014).

Dalam metoda perkerasan daur ulang ini diperlukan evaluasi sifat fisik material hasil pengupasan perkerasan lama dalam hal ini agregat dan aspal RAP, karena adanya proses *aging* dan oksidasi yang merubah sifat fisik dari material. Untuk aspal, proses ini menyebabkan hilangnya fraksi ringan dalam komposisi aspal, meningkatnya kadar *asphaltenes*, *hardening* (peningkatan viskositas) dan hilangnya daktilitas aspal. Selain itu penuaan yang terjadi akan menyebabkan perilaku getas dan kaku yang berlebihan, dan meningkatnya kecenderungan campuran untuk disintregasi dan retak. Sedangkan gradasi agregat juga dapat berubah akibat dari degradasi lalu lintas dan pengaruh lingkungan (Pradani, 2011; Zaumanis, 2013). Terdapat beberapa penelitian yang telah dilakukan untuk campuran beraspal yang menggunakan RAP, yaitu:

1. Penggunaan RAP pada campuran HMRA AC-BC dengan persentase sampai dengan 25% RAP menyebabkan nilai modulus resilien dan stabilitas meningkat yang menyebabkan kerusakan deformasi permanen lebih kecil (Suherman, 2012).
2. Penambahan RAP sampai dengan 100% dapat meningkatkan nilai kekuatan tarik tidak langsung (ITS) baik pada kondisi kering dan basah yang mengakibatkan nilai rasionya lebih dari 90%, sedangkan untuk pergantian RAP dengan ukuran fraksi lolos saringan #10 dan tertahan #40 menunjukkan hasil yang kurang baik dibandingkan dengan campuran yang tidak menggunakan RAP. Potensi penuaan yang terjadi pada aspal RAP menyebabkan berkurangnya

gesekan yang terjadi antara agregat dengan RAP (Reyes Ortiz dkk. 2012).

3. Penambahan persentase RAP pada campuran memberikan nilai kohesi dan umur kelelahan menurun tetapi memberikan nilai lebih baik untuk *creep* dan terjadi resistensi terhadap ketahanan kelembapan dilihat dari kenaikan nilai TSR (Ayman A dkk. 2015).
4. Penambahan RAP dalam campuran beraspal panas cenderung menurunkan nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) campuran sehingga berkontribusi dalam mengurangi penggunaan aspal baru dalam campuran (Bethary, 2020; Suherman 2012; Pradani dkk, 2011).
5. Model empiris terhadap modulus resilien pada campuran aspal beton panas dengan penggunaan RAP dan Slag, dipengaruhi oleh persentase RAP, Slag, modulus kekakuan aspal dan rongga dalam campuran (VIM) (Bethary, 2020).

Berdasarkan uraian beberapa penelitian diatas dapat diketahui beberapa masalah pada campuran aspal yang menggunakan RAP yaitu:

1. Potensi penuaan yang terjadi pada aspal RAP menyebabkan berkurangnya gesekan yang terjadi antara agregat dengan RAP (Reyes Ortiz dkk. 2012).
2. Penurunan umur kelelahan yang terjadi pada campuran aspal sejalan dengan penambahan persentase RAP (Ayman A dkk. 2015).

3. Sifat-sifat aspal dan agregat RAP serta gradasinya, perlu diperbaharui bila akan menggunakan RAP dalam campuran. (Pradani dkk, 2011; Bethary, 2020).

Disisi lain Indonesia adalah salah satu negara yang memiliki aspal alam yaitu Aspal alam Buton yang memiliki deposit yang cukup tinggi di Pulau Buton, Sulawesi Tenggara. Kebutuhan aspal nasional sekitar 1,2 juta ton/tahun, 50% dipenuhi oleh aspal nasional (Pertamina) dan sisanya adalah aspal import (Pertamina, 2019). Asbuton merupakan kekayaan alam/bahan lokal Indonesia dengan deposit 663 juta ton, mengandung aspal 132 juta, ton setara dengan 100 tahun kebutuhan aspal nasional atau 200 tahun substitusi import. Asbuton jika digunakan dapat meningkatkan kemakmuran/perekonomian dan menjadi potensi kemandirian aspal nasional (Direktorat Bina Teknik Jalan Jembatan, 2019; Nasrullah 2019). Terdapat beberapa produk Asbuton yang siap pakai, salah satunya adalah Asbuton Butir (*Buton Granular Asphalt*). Asbuton butir ini terdiri dari Asbuton Butir tipe B 5/20 dan Asbuton Butir tipe B 50/30. Hingga saat ini, penggunaan Asbuton secara maksimal telah dikukuhkan dengan surat edaran dari Ditjen Bina Marga yang mewajibkan penggunaan Asbuton butir sebagai material pengganti dalam campuran panas di semua paket proyek campuran panas (*hot-mix*). Keputusan Menteri Pekerjaan Umum No. 35/PRT/M/2006 tentang Peningkatan Pemanfaatan Aspal Buton untuk Pemeliharaan dan Pembangunan Jalan memastikan bahwa setelah dilakukan uji lapangan dan laboratorium,

penggunaan Asbuton dalam pemeliharaan dan pembangunan konstruksi jalan adalah layak secara teknis dan ekonomis serta berpotensi meningkatkan stabilitas dan durabilitas jalan. Hal ini tertuang melalui Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 35/PRT/M/2006 tentang Peningkatan Pemanfaatan Aspal Buton untuk Pemeliharaan dan Pembangunan Jalan. Untuk mendukung penggunaan Asbuton butir ini, maka Direktorat Bina Teknik Jalan Jembatan Kementerian PUPR telah mengeluarkan Spesifikasi SNI terbaru terkait penggunaan Asbuton butir dalam perkerasan jalan yaitu SNI 8863-2019 Spesifikasi Asbuton Butir B 5/20 dan SNI 8864-2019 Spesifikasi Asbuton Butir B 50/30. Dalam penerapannya, pergantian agregat ini hanya efektif pada penggunaan 8% asbuton butir terhadap berat total campuran. Hal ini berdampak pada kemampuan bitumennya dalam mensubstitusi aspal minyak yang hanya sekitar 2,5%. Dalam spesifikasi terbaru Kemen PUPR (Spesifikasi Umum 2018 Untuk Pekerjaan Konstruksi dan Jembatan Rev.2) mencantumkan batas penggunaan maksimum asbuton butir 50/30 dalam campuran panas sebesar 7% - 10% terhadap berat total campuran.

Beberapa hasil penelitian juga telah dilakukan mengenai Asbuton butir dalam campuran beraspal antara lain:

1. Penggunaan BGA dalam campuran AC-BC, menunjukkan kenaikan nilai modulus elastisitas dan *compressive stress* dibandingkan dengan campuran tanpa BGA. Penggunaan BGA sebesar 5% dan 8% terhadap berat campuran (Abdul Gaus dkk. 2015).

2. Penggunaan BGA pada aspal campuran dingin dengan menggunakan semen sebagai filler, berpotensi meningkatkan nilai stabilitas Marshall (La One dkk. 2020).
3. Substitusi agregat dan aspal dengan BGA pada campuran AC-WC meningkatkan nilai stabilitas Marshall dan kuat tarik tidak langsung (ITS). Semakin tinggi persentase BGA, semakin besar nilai stabilitas dan ITS yang dihasilkan (M. Fauzan dkk.2020).

Berdasarkan beberapa penelitian yang telah dilakukan masih terdapat beberapa hal yang menunjukkan bahwa penggunaan BGA pada campuran beraspal panas, dapat meningkatkan nilai stabilitas Marshall dan penurunan pada nilai *Marshall flow*, sehingga memiliki nilai MQ lebih tinggi, yang merupakan indikator dari kekakuan tinggi dan ketahanan terhadap deformasi permanen (Nasrul, 2020).

Material RAP telah mengalami *aging* pada saat produksi, pada saat menerima beban kendaraan serta pengaruh lingkungan menyebabkan berkurangnya daya lekat (adhesi) yang terjadi antara agregat dengan aspal, diharapkan sifat adhesi ini dapat diperbaiki dengan menambahkan BGA sebagai pengganti agregat dan aspal. Kinerja campuran dengan kombinasi penggunaan RAP dan BGA ditinjau dari karakteristik *Marshall* menunjukkan, dapat meningkatkan nilai stabilitas dan nilai MQ sehingga dapat menjadi salah satu indikator bahwa pada campuran yang mengandung RAP dan BGA, memiliki kekakuan yang cukup tinggi

dibandingkan dengan campuran tanpa BGA dan RAP (Wilis dkk, 2018; Ningrum dkk, 2018).

Walaupun teknologi pemanfaatan RAP dan BGA telah menunjukkan prospek yang menjanjikan, namun di Indonesia teknologi ini belum terlalu banyak diaplikasikan. Dari latar belakang tersebut maka dalam penelitian ini akan mencoba mengevaluasi campuran aspal yang memanfaatkan RAP pasca bencana dengan menggunakan bahan peremaja RAP dan BGA sebagai bahan pengganti agregat halus serta pengembangan terhadap model mekanistiknya. Sebelumnya juga dilakukan analisis sifat fisik masing-masing material serta penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO) campuran.

Pendekatan dilakukan dengan membuat uji model fisik di laboratorium berupa model campuran beraspal yang mengandung material RAP dan BGA, kemudian dilakukan pengujian kinerja campuran berdasarkan indikator Stabilitas Marshall dan Kuat Tarik tidak Langsung (ITS) serta durabilitas Marshall.

## **B. Rumusan Masalah**

Berdasarkan uraian latar belakang masalah, dalam penelitian ini akan menganalisis pengaruh penggunaan material RAP dan penambahan *Buton Granular Asphalt (BGA)* dalam campuran perkerasan beton aspal lapis aus (AC-WC), dengan rumusan masalah yang akan dikaji adalah :

1. Bagaimana karakteristik dari material agregat, aspal, asbuton butir (BGA) dan material perkerasan jalan daur ulang (RAP).

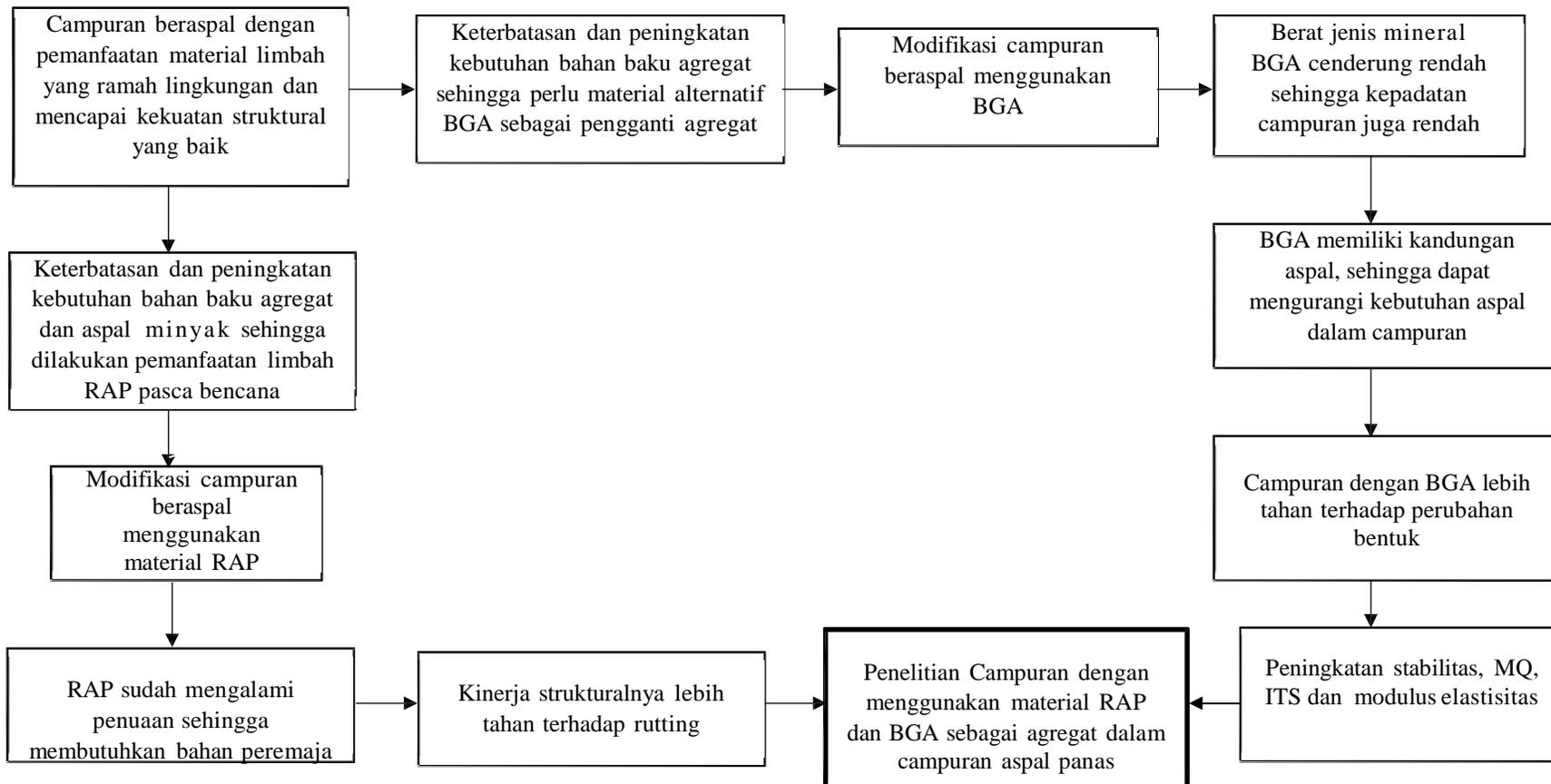
2. Berapa nilai kadar aspal optimum (KAO) dari campuran beton aspal lapis aus (AC-WC) yang menggunakan material RAP, BGA dan kombinasi keduanya.
3. Bagaimana kinerja campuran beton aspal lapis aus (AC-WC) terhadap penggunaan material RAP, BGA dan kombinasi keduanya.
4. Bagaimana model persamaan korelasi empiris stabilitas dan kuat tarik tidak langsung campuran beton aspal lapis aus (AC-WC) terhadap penggunaan material RAP dan BGA.

Selengkapnya alur perumusan masalah dapat dilihat pada Gambar 1.

### **C. Tujuan Penelitian**

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dikemukakan, maka tujuan penelitian dalam tulisan ini adalah:

1. Menganalisis karakteristik dari material agregat, aspal, asbuton butir (BGA) dan material perkerasan jalan daur ulang (RAP).
2. Menentukan kadar aspal optimum (KAO) dari campuran beton aspal lapis aus (AC-WC) yang menggunakan material RAP, BGA dan kombinasi keduanya.
3. Menganalisis kinerja campuran beton aspal lapis aus (AC-WC) terhadap penggunaan material RAP, BGA dan kombinasi keduanya.
4. Merumuskan model persamaan korelasi empiris untuk stabilitas dan kuat tarik tidak langsung campuran beton aspal lapis aus (AC-WC) terhadap penggunaan material RAP dan BGA.



**Gambar 1** Alur Perumusan Masalah

#### **D. Manfaat Penelitian**

Manfaat yang diharapkan dari penelitian dalam tulisan ini adalah :

1. Hasil penelitian dapat digunakan sebagai referensi dalam mengembangkan model campuran perkerasan lentur yang menggunakan material daur ulang yaitu material RAP dan BGA terutama pada campuran beton aspal lapis aus (AC-WC).
2. Hasil penelitian menjadi tambahan alternatif pemanfaatan material daur ulang dalam hubungannya dengan konstruksi jalan berkelanjutan.
3. Hasil penelitian dapat digunakan sebagai pedoman dan pendekatan teknis perencanaan perkerasan jalan daur ulang, terutama dalam pemanfaatan limbah perkerasan pasca bencana.

#### **E. Lingkup Penelitian**

Ruang lingkup penelitian dalam tulisan ini adalah sebagai berikut :

1. Melakukan pengujian karakteristik material RAP, BGA, agregat dan aspal.
2. Melakukan perancangan, pengujian dan evaluasi pengaruh penambahan material RAP dan BGA terhadap campuran aspal.
3. Melakukan pengujian mekanis terhadap campuran panas beton aspal lapis aus (AC-WC) dengan penambahan material RAP dan BGA.

4. Mengembangkan model hubungan antara material RAP dan BGA terhadap kinerja mekanis campuran panas beton aspal lapis aus (AC-WC).

#### **F. Batasan Penelitian**

Beberapa batasan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Jenis campuran beraspal yang digunakan adalah campuran beraspal dengan gradasi menerus jenis AC-WC. Kriteria yang digunakan dalam penentuan kinerja campuran beraspal mengacu pada Spesifikasi Umum Jalan dan Jembatan Bina Marga 2018 revisi 2.
2. Material yang digunakan untuk *Buton Granular Asphalt (BGA)* adalah asbuton butir ukuran 50/30, aspal menggunakan aspal produksi Pertamina pen 60/70 dan RAP berasal dari limbah pasca bencana di Balaroa Palu, Sulawesi Tengah.
3. Komposisi material daur ulang (RAP) yang digunakan adalah 20% dan 30%. Sedangkan persentase BGA sebesar 3%, 6% dan 9% serta campuran konvensional tanpa kandungan BGA dan RAP sebagai kontrol.
4. Peninjauan kinerja terhadap stabilitas dan durabilitas campuran dilakukan dengan pengujian laboratorium menggunakan *Marshall Test*.
5. Peninjauan kinerja terhadap kuat tarik tak langsung campuran, dilakukan dengan pendekatan uji *Indirect Tensile Strength (ITS)*.

## **G. Sistematika Penulisan**

Disertasi ini secara garis besar terdiri dari lima bab, yaitu: Pendahuluan, Tinjauan Pustaka, Metodologi Penelitian, Hasil dan Pembahasan, serta Kesimpulan dan Saran. Berikut adalah penjelasan singkat tentang isi dari setiap bab tersebut:

### **BAB I PENDAHULUAN**

Bab ini menjelaskan mengenai latar belakang, rumusan masalah, tujuan penulisan, batasan masalah, manfaat penelitian, serta sistematika penulisan yang berisi tentang gambaran secara garis besar mengenai hal-hal yang dibahas dalam bab-bab berikutnya.

### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Konsep-konsep yang mendukung penelitian digunakan sebagai dasar atau referensi dalam bab ini.

### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

Bab ini mencakup lokasi dan waktu penelitian, persiapan peralatan dan material, tahapan metode penelitian serta penjelasan tentang pelaksanaan penelitian.

### **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

Bab ini merupakan pembahasan dari hasil-hasil pengujian karakteristik material, volumetrik benda uji, durabilitas benda uji, kinerja benda uji, hubungan tegangan regangan benda uji, dan kuat tarik tidak langsung benda uji.

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bagian ini berisi kesimpulan tentang analisis data yang diperoleh selama penelitian yang disertai dengan rekomendasi yang diusulkan.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **A. Lapisan Beton Aspal**

Lapisan Beton Aspal adalah lapisan teratas pada struktur perkerasan jalan yang bernilai struktural serta dikembangkan di Amerika oleh *The Asphalt Institute* untuk pertama kalinya dengan nama *Asphalt Concrete (AC)*. Berdasar pada Bina Marga Kementerian Pekerjaan Umum, campuran beton aspal tersusun dari campuran agregat bergradasi menerus dan aspal keras, yang dicampur, dihampar dan dipadatkan dalam keadaan panas pada temperatur tertentu. Temperatur pencampuran diperoleh dari hasil pengujian viskositas, bergantung pada jenis aspal. Gradasi menerus adalah gradasi yang menunjukkan ukuran butiran yang merata dari agregat berukuran besar hingga agregat berukuran kecil dengan komposisi agregat kasar, agregat halus, abu batu hingga *filler* serta menggunakan aspal sebagai bahan pengikat.

Kekuatan dari Beton Aspal diperoleh dari gradasi agregat penyusunnya yang menerus (*continuous graded*), dimana gradasi ini akan memberikan gaya *interlocking* terbaik sehingga menghasilkan struktur yang stabil. Hal ini yang menyebabkan beton aspal mempunyai nilai stabilitas yang lebih tinggi namun relatif lebih kaku sehingga campuran ini menjadi rentan mengalami keretakan serta peka terhadap perubahan

kadar aspal dan gradasi agregat walau memiliki ketahanan yang baik terhadap kelelahan plastis.

Menurut spesifikasi baru campuran beraspal Kementerian PUPR 2018, Laston (AC) terdiri dari tiga macam campuran, AC Lapis Aus (AC-WC), AC Lapis Antara (AC-BC) dan AC Lapis Pondasi (AC-Base) dengan ukuran maksimum agregat masing-masing campuran adalah 19 mm, 25.4 mm, 3.75 mm. Lapis Beton Aspal Lapis Aus (AC-WC) merupakan lapisan paling atas dari struktur perkerasan, mempunyai tekstur yang lebih halus dibandingkan dengan Lapisan Beton Aspal Lapis Pengikat (*AC-Binder Course*). Lapisan AC-WC mempunyai fungsi utama sebagai pelindung konstruksi di bawahnya dari kerusakan akibat pengaruh air dan cuaca, sebagai lapisan aus dan menyediakan permukaan jalan yang rata dan tidak licin, disamping sebagai pendukung lalu lintas [Bina Marga Dept. PU, 1987]. Persyaratan terkait sifat-sifat dari campuran Lapisan Aspal Beton (AC) tersebut dapat dilihat pada **Tabel 1**.

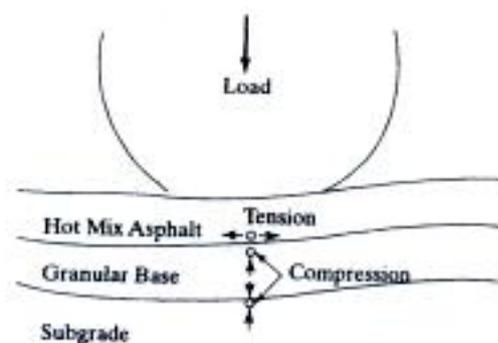
**Tabel 1.** Persyaratan Sifat-Sifat Campuran Aspal Beton (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2018)

Sifat-sifat Campuran		Laston		
		Lapis Aus	Lapis Antara	Fondasi
Jumlah tumbukan per bidang		75		112
Rasio partikel lolos ayakan 0,075 mm dengan kadar aspal efektif	Min.		0,6	
	Maks		1,6	
Rongga dalam campuran (%)	Min.		3,0	
	Maks		5,0	
Rongga dalam Agregat (VMA)(%)	Min.	15	14	13
Rongga terisi aspal (%)	Min.	65	65	65
Stabilitas Marshall (kg)	Min.		800	1800
Pelelehan (mm)	Min.		2	3
	Maks		4	6
Stabilitas Marshall Sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60 °C	Min.		90	
Rongga dalam campuran(%) pada Kepadatan membal (refusal)	Min.		2	

Dalam perencanaan campuran beraspal dengan pendekatan *Mechanistic-Empirical Methods*, dilakukan pendekatan berdasarkan karakteristik material dan kaidah teoritis, dengan diperkuat oleh respon struktur perkerasan seperti tegangan atau regangan dari perhitungan eksak terhadap beban sumbu kendaraan. Nilai respons perkerasan digunakan untuk memperkirakan tekanan dari pengujian di laboratorium dan data lapangan. Pengamatan pada proses konstruksi di lapangan sangat diperlukan karena teori saja belum cukup terbukti untuk mendesain perkerasan jalan secara realistis (Huang, 2012).

Kerkhoven dan Dormon (1953) merupakan yang pertama menyarankan penggunaan regangan tekan vertikal permukaan tanah

dasar pada lapis perkerasan jalan beraspal sebagai kriteria kegagalan untuk mengurangi deformasi permanen, sedangkan Saal dan Pell (1960) merekomendasikan penggunaan regangan tarik horizontal pada lapisan aspal paling bawah untuk meminimalisir retak lelah, seperti tampak pada **Gambar 2**. Penggunaan kedua konsep desain perkerasan jalan tersebut pertama kali dipresentasikan di Amerika Serikat oleh Dormon dan Metclaf (1965). Seiring dengan makin berkembangnya konsep metode mekanistik empiris ini, maka pada tahun 1975, Yodder dan Witczak menemukan bahwa dalam prosedur desain lapis perkerasan beraspal mempertimbangkan deformasi permanen (*rutting*) serta retak lelah dari lapisan beraspal sebagai dua mekanisme kegagalan yang paling signifikan. Dua kriteria kegagalan ini juga diadopsi oleh Shell Petroleum International (Claussen dkk, 1977) dan Asphalt Institute (Shook dkk, 1982) dalam kriteria *design* menggunakan metode mekanistik-empiris.



**Gambar 2.** Regangan Tarik dan Tekan pada Lapis Perkerasan Jalan  
(Huang, 2012)

## **B. Material Daur Ulang (*Reclaimed Asphalt Pavement/RAP*)**

Lebih dari 90% ruas jalan di Indonesia menggunakan teknologi perkerasan lentur atau perkerasan beraspal. Namun untuk pembangunan dan pemeliharaan perkerasan lentur setiap tahunnya, masih dilakukan impor aspal dikarenakan Indonesia mengalami defisit aspal. Teknologi penggunaan RAP dengan metode *cut and fill* merupakan salah satu alternatif untuk mengatasi kendala kekurangan aspal (Nono, 2015), teknologi ini bersifat efisien dan efektif serta dapat mengurangi penggunaan agregat (45% - 100%) dan aspal baru (60%) sehingga lebih bernilai ekonomis, konservasi energi, dan geometrikan jalan dapat dipertahankan serta melestarikan sumber daya alam hal ini juga dinyatakan dalam (Kandhal dan Mallick, 1997) bahwa penggunaan RAP dapat memberikan penghematan biaya antara 14-34% dengan persentase RAP 20-50% dalam total campuran aspal.

Campuran aspal beton pada perkerasan yang mencapai akhir dari umur rencana, kemudian dibongkar terdapat material yang lama dapat digunakan kembali untuk pembangunan jalan baru (Silva, dkk. 2012). Pada campuran perkerasan baru, sebagian besar material RAP dicampur dengan *fresh* agregat dan *fresh* aspal pada persentase tertentu. Pemanfaatan RAP dapat diaplikasikan pada lapis pengikat AC-BC untuk memberikan peningkatan terhadap beban lalu lintas serta pada lapis permukaan AC-WC (Qadi, dkk. 2012).

Teknologi perkerasan daur ulang adalah teknologi yang memanfaatkan kembali agregat dan aspal perkerasan lama untuk digunakan sebagai perkerasan jalan yang baru dengan menambahkan *fresh* agregat, *fresh* aspal dan atau *rejuvenating agent/modifier*. Agar memenuhi spesifikasi yang disyaratkan, perlu dilakukan *upgrade* terhadap sifat fisik aspal dan agregat lama serta gradasinya (Pradani, dkk 2011). Campuran yang menggunakan daur ulang dapat menjadi sebagai salah satu alternatif yang menjanjikan pada konstruksi jalan, terutama jika menggunakan bahan peremaja sehingga dapat mengurangi suhu produksi dan meningkatkan kinerja campuran tersebut (Silva, dkk. 2012). Pemakaian praktis RAP dalam campuran *hot-mix* berdasarkan the Asphalt Institute (1993) adalah 10%-35% untuk produksi jenis takaran dan 10%-50% untuk produksi jenis drum. Valdes, dkk (2011) menyampaikan bahwa persyaratan campuran daur ulang sekitar 10% - 50%, dengan campuran 40% RAP masih dalam rentang yang diterima sedangkan campuran dengan 60% diluar batas yang ditentukan.

Dalam metoda perkerasan daur ulang ini diperlukan evaluasi sifat fisik material hasil pengupasan perkerasan lama karena adanya proses *aging* dan oksidasi yang merubah sifat fisik dari material. Untuk aspal, proses ini menyebabkan hilangnya fraksi ringan dalam komposisi aspal, meningkatnya kadar *asphaltenes*, *hardening* (peningkatan viskositas) dan hilangnya daktilitas aspal. Selain itu penuaan yang terjadi akan menyebabkan perilaku getas dan kaku yang berlebihan, dan

meningkatnya kecenderungan campuran untuk disintregasi dan retak. Sedangkan gradasi agregat juga dapat berubah akibat dari degradasi dari lalu lintas dan pengaruh lingkungan (Pradani, 2011; Zaumanis, 2013)

Beberapa hal yang perlu dilakukan evaluasi terhadap material RAP adalah sebagai berikut (Fawas Kaseer dkk, 2019; Jian Li dkk, 2018, Zhang J. dkk, 2018, Widayanti A, dkk, 2019; Bethary dkk, 2019)

- Gradasi agregat apabila disesuaikan dengan spesifikasi yang akan digunakan, dapat ditentukan kebutuhan penambahan agregat baru atau material lain pengganti agregat.
- Kadar aspal dapat ditentukan atas dasar berat relatif dari aspal dan agregat yang telah diekstraksi dan dalam penggunaannya, kadar aspal dari material pengupasan dalam pengujian Marshall dapat berpengaruh terhadap penambahan jumlah dan tingkat aspal yang dibutuhkan. Untuk tingkat aspal yang dipakai dalam campuran konvensional.
- Bahan peremaja (*rejuvenating agent*) perlu ditambahkan untuk mengembalikan sifat rheologi aspal RAP (viskositas atau penetrasi) yang telah mengalami penurunan.

Penggunaan RAP dibatasi maksimal 50% berdasarkan kapasitas panas dari alat produksi dan emisi gas hydrocarbon. Negara-negara bagian di Amerika umumnya menyetujui penggunaan RAP 10%-30% pada konstruksi perkerasan jalan. Pada penelitian sebelumnya

menunjukkan bahwa persentase RAP optimum campuran beraspal panas adalah sekitar 20% - 30% memperlihatkan kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan persentase RAP yang kurang dari 20% atau lebih besar dari 30% (Kusmarini dkk, 2012; Harahab dkk, 2013; Widayanti A. dkk, 2018; Bethary, 2020).

### **C. Buton Granular Asphalt (BGA)**

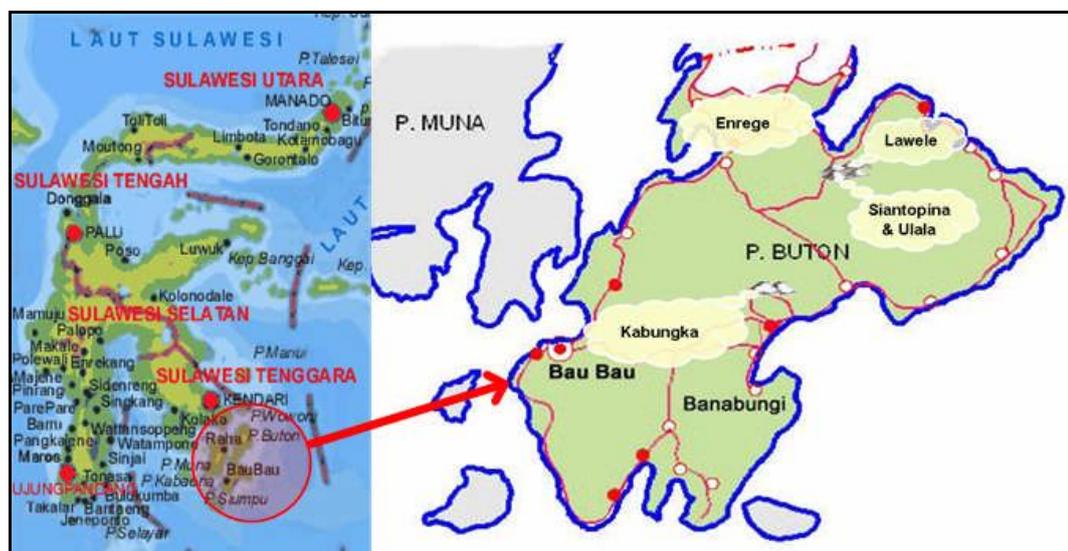
*Buton Granular Asphalt (BGA)* merupakan bagian dari Aspal Buton atau dikenal dengan asbuton yang ditemukan pertama kali tahun 1924 di Pulau Buton, Sulawesi Tenggara. Sejak tahun 1926, Asbuton telah digunakan pada skala lapangan. Ketersediaan asbuton sekitar 677 juta ton atau setara dengan 170 juta ton aspal minyak. Asbuton merupakan salah satu deposit aspal alam terbesar di dunia (Suaryana, 2008).

Dirjen Bina Marga berusaha memaksimalkan penggunaan Asbuton di Indonesia dengan mewajibkan penggunaan asbuton dalam paket pekerjaan *hot-mix*, hal ini tertuang dalam surat edaran Dirjen Bina Marga agar menggunakan Asbuton butir sebagai bahan substitusi dalam campuran aspal panas. Namun dalam penerapannya, substitusi ini hanya efektif pada persentase 8% asbuton butir terhadap campuran. Sehingga bitumen asbuton hanya mampu mengganti aspal minyak kurang lebih 2,5% saja.

Asbuton atau Aspal batu Buton ini terbentuk secara alami akibat proses geologi yang sebagian besar berbentuk butiran. Asbuton terbentuk

dari minyak bumi yang terdorong muncul ke permukaan kemudian menyusup di antara batuan yang *porous* (Departemen Pekerjaan Umum, 2006). Ketersediaan Asbuton diperkirakan sekitar 60 juta ton atau setara dengan 24 juta barel minyak (Suryana, 2003; Tjaronge dan Irmawaty, 2012).

Departemen Pekerjaan Umum menjelaskan dalam Buku 1, Pemanfaatan Asbuton (Pedoman Konstruksi dan Bangunan) No : 001 – 01/BM/2006 bahwa Asbuton butir mempunyai dimensi butiran tertentu yang diperoleh dari proses pengolahan Asbuton padat yang dihancurkan dengan alat *crusher* atau alat pemecah lainnya yang sesuai. Nilai penetrasi bitumen asbuton lebih rendah bila dibandingkan dengan nilai penetrasi aspal minyak. Hasil inilah yang membedakan bitumen asbuton yang cenderung lebih kaku dibandingkan aspal minyak yang lebih daktail.



**Gambar 3.** Lokasi Asbuton di Pulau Buton Sulawesi Tenggara (Pusjatan, 2011)

Gambar 3 menunjukkan ketersediaan Aspal Buton (Asbuton) di Pulau Buton, Provinsi Sulawesi Tenggara, Indonesia. Lokasi Asbuton ini tersebar di beberapa kecamatan di Pulau Buton diantaranya kecamatan Enreke sebesar 170 juta ton, kecamatan Lawele sebesar 210 juta ton, kecamatan Siantopina dan kecamatan Ulala sebesar 220 juta ton, kecamatan Kabungka sebesar 60 juta ton dan kecamatan Banabungi.

Eksplorasi besar-besaran yang telah dilakukan oleh Alberta Research Council di daerah Lawele (Supriyadi S., Alberta Research Council, 1989 dalam buku 1, pemanfaatan Asbuton Dirjen Bina Marga, 2006) yang dilakukan pada 132 titik pengeboran diperoleh hasil bahwa ketebalan Asbuton berkisar antara 9-45 meter atau ketebalan rata-rata yang mencapai sebesar  $\pm 30$  meter dengan tebal tanah penutup yang berkisar antara 0-17 meter atau rata-rata tebal tanah penutup sebesar 3.47 meter dengan luas daerah pengaruh Asbuton sebesar kurang lebih 1.5 juta m<sup>2</sup>.

Beberapa penelitian telah dilakukan dan memperoleh hasil bahwa pemanfaatan asbuton sebagai bahan pengganti aspal minyak secara parsial, selain memanfaatkan aspal alam Indonesia juga dapat meningkatkan nilai stabilitas serta memperbaiki kinerja campuran beraspal (Kurniadji, 2007; Howardy dkk., 2008; Affandi, 2008; Ali dkk., 2012; Budiamin dkk., 2015; Gaus dkk., 2015; Israil dkk., 2016; Mahyuddin dkk., 2017; Rizal dkk., 2017).

Tabel 2 memperlihatkan perkiraan ketersediaan Asbuton dari 7 lokasi di pulau Buton serta Tabel 3 dan Tabel 4 masing-masing memperlihatkan tipikal *properties* bitumen Asbuton diantaranya penetrasi, titik lembek dan viskositas yang dikeluarkan oleh Alberta Research Council, (1989) dalam Suaryana (2008) dan *properties* bitumen Asbuton yang dikeluarkan oleh Puslitbang Jalan dan Jembatan Kementerian Pekerjaan Umum tahun 2006.

**Tabel 2.** Perkiraan Asbuton di daerah Lawele (Kurniadji,2003)

No.	Lokasi	Luas (m <sup>2</sup> )	Tebal (m)	Kadar Aspal (%)	Deposit (Juta Ton)
1	Batuawu	550 ribu	76,1	20–40	60.69
2	Mempenga	280 ribu	72	20–30	29.232
3	Langunturu	420 ribu	61	20–25	37.149
4	Kabukubuku	570 ribu	50	20–35	41.325
5	Wangkaburu	460 ribu	62,8	20–35	41.888
6	Siantopina	5 juta	25	Belum	181.25
7	Ulala	1.5 juta	21,65	Belum	47.089

**Tabel 3.** Tipikal sifat fisik bitumen Asbuton (Alberta Research Council,1989; Suaryana,2008)

Lokasi	Penetrasi (dmm, 25°C)	Titik Lembek (°C)	Viskositas (135°C, poises)
1. Lawele - I2	75	48	4.0
2. Lawele - G7	150	42	2.8
3. Lawele - E – 13	120	45	4.1
4. Lawele - G17	160	40	3.1
5. Kabungka	22	63	5.1

Setelah melalui beberapa tes sifat fisik bitumen asbuton, terlihat perbedaan yang sangat signifikan pada *properties* bitumen Asbuton padat dari Kabungka dan Asbuton padat dari Lawele seperti ditunjukkan pada Tabel 4 berikut.

**Tabel 4.** Sifat fisik bitumen Asbuton (Pusjatan Kemen. Pekerjaan Umum, 2006)

Jenis Pengujian	Hasil Pengujian	
	Asbuton padat dari Kabungka	Asbuton padat dari Lawele
Kadar Aspal, %	20	30,08
Penetrasi, 25°C, 100 gr, 5 detik, 0,1 mm	4	36
Titik Lembek, °C	101	59
Daktilitas, 25°C, 5 cm/menit, cm	<140	>140
Kelarutan dalam C <sub>2</sub> HCl <sub>3</sub> , %	-	99,6
Titik Nyala, °C	-	198
Berat Jenis	1,046	1,037
Penurunan Berat (TFOT), 163°C, 5 jam	-	0,31
Penetrasi Setelah TFOT, % asli	-	94
Titik Lembek setelah TFOT, °C	-	62
Daktilitas setelah TFOT, cm	-	>140

Tabel 5 menunjukkan hasil uji sifat kimia bitumen Asbuton antara Asbuton padat dari Kabungka dan Asbuton padat dari Lawele yang dikeluarkan oleh Pusjatan Kementerian Pekerjaan Umum tahun 2006, dimana yang paling signifikan adalah kandungan unsur *liquid (maltane)* dan kandungan unsur *solid (asphaltene)*. Pada bitumen Asbuton dari

Kabungka, kandungan unsur *liquid* yang terkandung sebesar 1,5% sedangkan pada bitumen Asbuton dari Lawele yang terkandung sebesar 2,1%. Sedangkan kandungan unsur *solid* pada bitumen Asbuton dari Kabungka sebesar 39,4% dan bitumen Asbuton dari Lawele yang terkandung adalah 46,9%.

**Tabel 5.** Sifat-sifat kimia bitumen Asbuton (Pusjatan Kementerian PU, 2006)

Jenis Pengujian	Hasil Pengujian	
	Asbuton padat dari Kabungka	Asbuton Padat dari Lawele
Nitrogen (N), %	29,0	30,1
Acidafins (A1), %	9,3	6,6
Acidafins (A2), %	12,9	8,4
Parafin (P), %	11,2	8,9
Parameter Maltene	1,5	2,1
Nitrogen/Parafin, N/P	2,4	3,3
kandungan Asphaltene, %	39,4	46,9

Tabel 6 memperlihatkan komposisi kimia mineral Asbuton antara Asbuton padat dari Kabungka dan Asbuton padat dari Lawele yang dikeluarkan oleh Pusjatan Kementerian PU tahun 2006. Perbedaan terlihat jelas pada senyawa  $\text{CaCO}_3$  (kalsium karbonat) yang berupa mineral kapur dengan persentase 86,7% pada Asbuton padat dari Kabungka dan 72,9% pada Asbuton padat dari Lawele.

**Tabel 6.** Komposisi kimia mineral Asbuton (Pusjatan Kementerian PU, 2006)

Senyawa	Hasil Pengujian	
	Asbuton padat dari Kabungka	Asbuton Padat dari Lawele
CaCO <sub>3</sub>	86,7	72,9
MgCO <sub>3</sub>	1,4	1,3
CaS	1,1	1,9
H <sub>2</sub> O	0,4	0,5
SiO <sub>2</sub>	0,9	2,9
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,6	17,1
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,5	2,3
Residu	0,9	1,1

Berdasarkan sifat kimia yang diperoleh, bitumen Asbuton Lawele memiliki senyawa Nitrogen yang cukup tinggi dan kandungan maltene yang lebih baik. Hal ini menunjukkan bahwa material asbuton memiliki sifat kelekatan yang cukup baik terhadap agregat serta memiliki durabilitas yang lebih baik (Pusjatan PU, 2016).

Tabel 7 menunjukkan jenis pengujian dan persyaratan yang harus dipenuhi oleh Asbuton butir (BGA) dengan tipe 50/30 berdasarkan spesifikasi terbaru SNI 8864-2019. Spesifikasi ini juga menjelaskan bahwa asbuton butir B 50/30 berfungsi sebagai pengganti aspal minyak pen 60/70, karena kandungan aspal dalam asbuton B 50/30 cukup tinggi. Persentase pemakaian asbuton butir B 50/30 berdasarkan Spesifikasi

KemenPUPR tahun 2018 revisi 2, dibatasi dari 7% hingga 10% terhadap berat total campuran beraspal panas.

**Tabel 7.** Persyaratan Asbuton Butir B 50/30 (SNI 8864-2019)

No	Sifat Asbuton Butir	Standar Uji	Persyaratan
1	Sifat asbuton butir B 50/30		
	Ukuran butir asbuton	SNI ASTM C136:2012	
	Lolos Ayakan 3/8 inchi (9,5 mm); %		100
	Kadar bitumen asbuton; %	SNI 8279:2016	Min 20
	Kadar Air; %	SNI 2490-2008	Maks 4
2	Sifat bitumen asbuton butir B 50/30 hasil ekstraksi (SNI 8279:2016) dan pemulihan (SNI 4797:2015)		
	Kelarutan dalam Trikloroetilen; %	SNI 2438:2015	Min 99
	Penetrasi bitumen asbuton pada 25°C, 100 g, 5 detik; dmm	SNI 2456:2011	40 - 70
	Tiik Lembek; °C	SNI 2434:2011	Min 48
	Daktilitas pada 25°C; cm	SNI 2432:2011	Min 100
	Berat jenis	SNI 2441:2011	Min 1,0
	Penurunan berat setelah TFOT; %	SNI 06-2440-1991	Maks 2
	Penetrasi setelah TFOT pada 25°C, 100 g, 5 detik; (% terhadap penetrasi awal)	SNI 2456:2011	Min 54

Penelitian terkait penambahan asbuton dalam campuran beraspal panas telah banyak diteliti dan dikembangkan hingga saat ini. Penggunaan bitumen asbuton sebagai *modifier* yang dicampur ke dalam aspal minyak, secara efektif dapat meningkatkan ketahanan aspal modifikasi terhadap temperatur tinggi, deformasi, *aging* dan kepekaan terhadap temperatur, tetapi mengalami penurunan performa pada

temperatur rendah (Zha X, dkk, 2017). Campuran beraspal yang dimodifikasi dengan Asbuton memiliki keunggulan secara mekanistik. Nilai modulus resilien campuran beraspal makin tinggi seiring semakin banyaknya penambahan Asbuton butir. Penggunaan asbuton butir perlu dibatasi agar nilai modulus resilien campuran tidak lebih besar dari 3750 Mpa, demi mencegah campuran aspal agar tidak mudah rapuh terutama pada campuran dengan tebal kurang lebih 4 cm (lapis *overlay* AC-WC) (Dirjen Bina Marga, 2006). Penggunaan asbuton butir dalam campuran beraspal panas juga mengindikasikan terjadinya peningkatan stabilitas Marshall pada campuran dengan asbuton butir dibandingkan campuran konvensional (Hermadi M, dkk, 2022; Nasrul, 2020; Mahyuddin A, dkk, 2017; Wicaksana D.E, dkk, 2017). Penambahan asbuton butir juga menunjukkan kinerja yang cukup baik terhadap deformasi permanen dibandingkan dengan campuran konvensional (Nega A, dkk, 2019; Karimi, dkk, 2016)

#### **D. Kadar Aspal Optimum (KAO)**

Kadar Aspal Optimum (KAO) merupakan persentase aspal yang memenuhi semua persyaratan nilai karakteristik campuran perkerasan jalan seperti nilai stabilitas, rongga serta kekakuan campuran. Nilai ini merepresentasikan sifat campuran seperti stabilitas, durabilitas, kekakuan, workabilitas, permeabilitas, ketahanan terhadap kelelahan, ketahanan terhadap gelincir, dan ketahanan terhadap deformasi permanen. Nilai KAO seringkali ditentukan sebagai nilai tengah dari rentang kadar

minimum dan maksimum yang memenuhi semua persyaratan spesifikasi dari nilai karakteristik teknis campuran perkerasan (Wirahaji, 2012).

Kadar Aspal Optimum (KAO) dalam campuran mempengaruhi beberapa sifat campuran seperti Berat Jenis campuran, Rongga dalam campuran (VIM), Rongga antar mineral agregat (VMA) dan Rongga terisi aspal (VFA/VFB). Kadar aspal optimum dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti jenis gradasi agregat yang digunakan dalam campuran (Efendy dkk, 2019). KAO merupakan faktor penting dalam merancang campuran aspal yang bermutu tinggi dan dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor. Kadar aspal optimum memberikan dampak yang cukup signifikan terhadap umur pelayanan perkerasan jalan. Penentuan kadar aspal optimum yang tepat dapat meningkatkan umur pelayanan perkerasan jalan, karena campuran aspal yang memiliki kadar aspal optimum yang tepat akan memiliki karakteristik yang lebih baik dan mampu menerima beban lalu lintas yang melewatinya. Oleh karena itu, penentuan kadar aspal optimum yang tepat sangat krusial dalam perancangan dan pembangunan perkerasan jalan yang berkualitas dan tahan lama (Kamba, 2013; Setiobudi, 2017).

Penentuan KAO dapat diperoleh dengan menggunakan berbagai metode yaitu metode empiris (metode Marshall dan Superpave), metode mekanistik-empiris yang menggunakan model matematika dalam menentukan KAO, metode Artificial Neural Network (ANN) dengan pemanfaatan neural networks dan metode Response Surface Method

(RSM) yang menggunakan model statistik untuk memprediksi kinerja campuran dan menentukan kadar aspal optimum (Wirahaji, 2012; Kamba, 2013)

### **E. Stabilitas Marshall**

Diperkenalkan pertama kali oleh Bruce Marshall dari Misisipi State Highway Department pada tahun 1940-an, metode Marshall bertujuan untuk memperoleh nilai stabilitas dan flow dari campuran beraspal; sifat volumetrik yaitu VIM dan VMA; kepadatan campuran serta hasil bagi Marshall (MQ). Li dkk (1999) menguji suatu campuran beraspal dengan menggunakan metode Marshall untuk mengetahui sifat-sifat campuran aspal panas dan mendapatkan nilai kestabilan dan pengaliran yang langsung terbaca pada skala dial. Metode Marshall diaplikasikan dalam desain campuran beraspal yang digunakan dalam penelitian modulus elastisitas campuran aspal beton.

Gul dkk (2014) menyatakan bahwa karakteristik deformasi permanen campuran beraspal dapat dianalisis dengan menggunakan sampel silinder yang dipadatkan menggunakan metode *superpave* atau metode Marshall. Sedangkan Xiang (2020) mengemukakan untuk mengevaluasi stabilitas dan volumetrik campuran beraspal, dapat menggunakan metode Marshall.

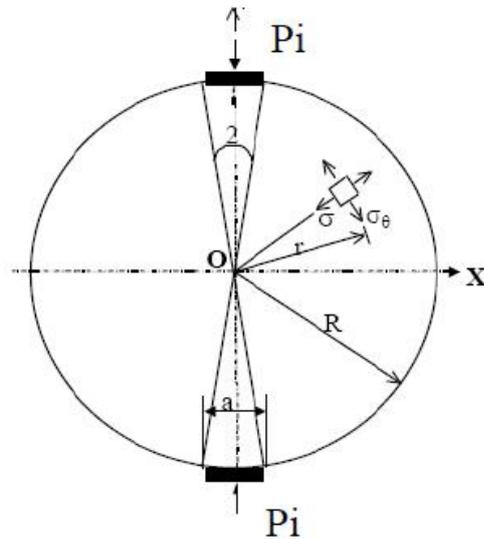
Affandi (2006) memperoleh hasil bahwa penggunaan Asbuton murni dalam campuran beraspal, dapat meningkatkan stabilitas campuran. Hal ini ditunjukkan dengan nilai deformasi yang lebih kecil pada campuran dengan asbuton murni dibandingkan campuran konvensional. Pada saat

yang berbeda, Hermadi (2006) berdasarkan hasil penelitiannya menemukan bahwa campuran aspal dengan asbuton menghasilkan nilai kepadatan campuran yang lebih rendah dari campuran tanpa asbuton dan hal ini berhubungan dengan berat jenis mineral asbuton yang cenderung lebih kecil.

#### **F. Kuat Tarik Tidak Langsung (*Indirect Tensile Strength/ITS*)**

Pengujian kuat tarik tidak langsung (ITS) bertujuan untuk menentukan nilai kuat tarik campuran beton aspal yang menjadi salah satu indikator terhadap keretakan (*cracking*) yang rentan terjadi pada lapisan perkerasan jalan (Tayfur dkk., 2007). Hal tersebut juga dinyatakan oleh Birgisson dkk (2008) bahwa uji ITS menggambarkan perilaku retak (*cracking*) pada campuran aspal.

Pedoman pengujian ITS sesuai dengan standar ASTM D6931-12. Sampel uji akan ditekan dengan menggunakan beban strip yang diletakkan pada permukaan lingkaran sampel, hingga sampel uji mengalami *failure* (terbelah). Menurut Ahmedzade dkk (2007), nilai kuat tarik tidak langsung (ITS) merupakan fungsi dari beban, diameter dan ketebalan sampel, untuk sampel berbentuk lingkaran penuh seperti Gambar 4.



**Gambar 4.** Diagram Pembebanan Uji Kuat Tarik Tidak Langsung  
 Nilai ITS lingkaran penuh diperlihatkan dalam persamaan 1.

$$ITS = \frac{2P_{max}}{\pi t d} \dots\dots\dots(1)$$

Dimana :

ITS = Tegangan tarik dipusat sampel (kN)

$P_{max}$  = Beban maksimum (kN)

t = Ketebalan sampel (mm)

d = Diameter sampel (mm)

Pengujian kuat tarik tidak langsung dapat juga dijadikan indikator untuk memperkirakan ketahanan campuran aspal terhadap kerusakan *rutting*. Campuran Aspal dengan nilai kuat tarik tidak langsung kurang dari 200 kPa memiliki ketahanan *rutting* yang buruk, sedangkan nilai kuat tarik tidak langsung yang lebih besar dari 320 kPa memiliki ketahanan terhadap *rutting* yang baik (Christensen D.W., dkk, 2000).

## **G. Durabilitas Campuran**

Durabilitas campuran adalah kemampuan campuran untuk bertahan terhadap pengaruh cuaca dan air serta mempertahankan kinerja strukturalnya dalam jangka waktu yang lama. Durabilitas campuran dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti kualitas aspal, persentase aspal, jenis dan susunan ukuran butiran agregat, serta penggunaan material lain sebagai pengganti agregat (Haris, 2019). Untuk menentukan durabilitas campuran, dapat dilakukan pengujian stabilitas, tes perendaman, dan pengujian indeks daya tahan (Haris, 2019; Setiadji dkk, 2015; Tahir dkk, 2009). Durabilitas campuran yang baik dapat meningkatkan umur pakai jalan dan mengurangi biaya perawatan dan perbaikan jalan (Saleh dkk, 2018).

Nilai IKS dan Indeks Penurunan Stabilitas dapat digunakan untuk mengevaluasi kinerja durabilitas campuran beton aspal. Semakin tinggi nilai IKS dan semakin rendah nilai Indeks Penurunan Stabilitas, maka semakin baik kinerja durabilitas campuran beton aspal tersebut (Haris, 2019; Setiadji dkk, 2015; Tahir dkk, 2009).

## **H. Regresi Multilinier Berganda**

Regresi multilinier berganda adalah metode statistik yang digunakan untuk mempelajari hubungan antara dua atau lebih variabel independen (X) dan satu variabel dependen (Y). Dalam regresi multilinier berganda, variabel independen dapat berupa variabel kuantitatif atau kualitatif,

sedangkan variabel dependen selalu berupa variabel kuantitatif . Tujuan dari regresi multilinier berganda adalah untuk memprediksi nilai variabel dependen berdasarkan nilai variabel independen yang diberikan (Ghozali, 2018).

Dalam pemodelan dengan regresi multilinier berganda, terdapat beberapa asumsi yang harus dipenuhi, asumsi ini sering disebut sebagai asumsi klasik dalam pemodelan seperti asumsi normalitas, autokorelasi, linearitas dan tidak adanya multikolinearitas antara variabel independen. Model yang dikembangkan harus memenuhi uji asumsi klasik tersebut. Selain itu, dalam melakukan regresi multilinier berganda, perlu dilakukan pengujian signifikansi koefisien regresi dan pengujian kelayakan model secara keseluruhan. Regresi multilinier berganda dapat dilakukan dengan menggunakan berbagai software statistik.

*Goodness of fit* suatu model merupakan ketepatan regresi sampel dalam menaksir nilai aktual. Secara statistik, *goodness of fit* suatu model dapat diukur dengan :

1. Nilai koefisien determinasi (R-squared).

Nilai ini digunakan untuk mengukur seberapa besar variabilitas variabel dependen yang dapat dijelaskan oleh variabel independen dalam model. Semakin besar nilai koefisien determinasi, semakin baik model dalam menjelaskan hubungan antara variabel independen dan variabel dependen. Namun, koefisien determinasi tidak dapat digunakan untuk menguji signifikansi koefisien regresi secara parsial.

## 2. Nilai statistik – F.

Nilai ini digunakan untuk menguji signifikansi model secara keseluruhan. Nilai F-statistik dihitung dengan membagi variansi yang dijelaskan oleh model dengan variansi yang tidak dijelaskan oleh model. Jika nilai F-statistik lebih besar dari nilai F-tabel pada tingkat signifikansi tertentu, maka model dianggap signifikan.

## 3. Nilai statistik – t.

Nilai ini digunakan untuk menguji signifikansi koefisien regresi secara parsial. Nilai t-statistik dihitung dengan membagi nilai koefisien regresi dengan standar error-nya. Jika nilai t-statistik lebih besar dari nilai t-tabel pada tingkat signifikansi tertentu, maka koefisien regresi dianggap signifikan.

Untuk mengevaluasi signifikansi variabel independen dalam analisis regresi multilinier berganda, dapat dilakukan dengan melihat nilai signifikansi (p-value) dari masing-masing variabel independen. Selain itu, dapat juga dilakukan uji F untuk mengevaluasi signifikansi model secara keseluruhan. Jika nilai p-value pada uji F kurang dari 0,05, maka model dianggap signifikan secara statistik dan dapat digunakan untuk memprediksi variabel dependen (Ghozali, 2018).

## I. Penelitian Terdahulu

Penelitian-penelitian yang telah dilakukan oleh para peneliti sebelumnya (**Tabel 8**) sangat dibutuhkan dalam suatu penelitian. Hal ini disebabkan karena hasil penelitian yang akan dihasilkan harus dibandingkan dan atau divalidasi dengan hasil-hasil penelitian sebelumnya. Posisi penelitian ini terhadap penelitian-penelitian sebelumnya dapat dilihat dengan membandingkan variabel penelitian. Variabel penelitian-penelitian sebelumnya dapat dilihat pada **Tabel 9**.

**Tabel 8.** Jalur (*track*) penelitian campuran dengan RAP dan BGA

No	Nama Penulis	Judul	Sumber	Pokok Persoalan	Outcome	Persamaan	Perbedaan
						Rencana Riset	Rencana Riset
1.	Jian Li, Ph.D. Fujian Ni, Ph.D. Qingqing Lu	Experimental Investigation into the Multiscale Performance of Asphalt Mixtures with High Contents of Reclaimed Asphalt Pavement	DOI: 10.1061/(ASCE) MT.1943-5533.0002269. © 2018 American Society of Civil Engineers (ASCE)  <b><u>Tahun 2018</u></b>	Menganalisa kinerja mekanik campuran beraspal panas dengan menggunakan material RAP dengan konsentrasi tinggi yaitu 30%, 50%, 80% dan 100%.	Semakin tinggi kandungan RAP, nilai modulus dinamik akan semakin meningkat, nilai <i>phase angel</i> akan menurun.	Menggunakan material RAP dan pengujian SCB	komposisi RAP dan menggunakan BGA
2.	Fawaz Kaseer, Ph.D.; Akash Bajaj; Amy Epps Martin, Ph.D., P.E., M.ASCE; Edith Arámbula-Mercado, Ph.D., P.E.; Elie Hajj, Ph.D., A.M.ASCE	Strategies for Producing Asphalt Mixtures with High RAP Content	DOI:10.1061/(ASCE) MT.1943-5533.0002910. © 2019 American Society of Civil Engineers (ASCE)  <b><u>Tahun 2019</u></b>	Mengetahui kinerja campuran yang mengandung RAP dengan presentasi tinggi pada kondisi <i>short term</i> dan <i>long term aging</i> .	Peningkatan persentasi RAP akan meningkatkan nilai kekakuan aspal.  Penggunaan aspal yang lebih lembek dapat menstabilkan nilai kekakuan.  Memperhatikan komposisi bahan peremaja untuk	Menggunakan material RAP	Jenis Gradasi campuran dan komposisi RAP, menggunakan BGA.

**Tabel 8.** Jalur (*track*) penelitian campuran dengan RAP dan BGA (lanjutan)

					kadar RAP tinggi, terutama untuk ketahanan terhadap <i>rutting</i> pada <i>long term aging</i>		
3.	Jizhe Zhang Hi Sun Hongguang Jiang Xiaobin Xu Ming Liang Yong Hou Zhanyong Yao	Experimental Assessment of Reclaimed Bitumen and RAP Asphalt Mixtures Incorporating a Developed Rejuvenator	Construction and Building Materials 215 (2019) 660-669; 0950-0618/© 2019 Elsevier Ltd.All rights reserved.  <b>Tahun 2019</b>	Mengetahui sifat mekanistik campuran yang mengandung material RAP dan bahan peremaja	Nilai Modulus dinamis mengalami kenaikan dengan penggunaan RAP, namun dengan penambahan bahan peremaja, nilai modulus dinamis mendekati kondisi campuran kontrol.  Ketahanan terhadap kelelahan juga mengalami kondisi yang sama.	Menggunakan material RAP dan bahan peremaja.	Gradasi campuran, komposisi material RAP dan menggunakan BGA.
4.	Arkan Obaid Munir D. Nazzal Lana Abu Qtaish Sang Soo Kim	Effect of RAP Source on Cracking Resistance of Asphalt Mixtures with High RAP Contents	DOI: 10.1061/(ASCE) MT.1943-5533.0002817. © 2019 American Society of Civil Engineers (ASCE)	Menganalisa Sifat Makro dan Mikro dari aspal RAP terutama sifat ketahanan terhadap <i>fracture</i> pada campuran aspal dengan berbagai	Sifat Adhesi dari aspal RAP mengalami penurunan dibanding aspal segar.  Sumber RAP	Menggunakan 2 jenis RAP dari sumber yang berbeda dengan persentasi 30%, 40% dan 50%	Jenis Gradasi campuran, komposisi RAP dan menggunakan BGA

**Tabel 8.** Jalur (*track*) penelitian campuran dengan RAP dan BGA (lanjutan)

	Ala Abbas		<b><u>Tahun 2019</u></b>	kandungan RAP yang berbeda.	sangat berpengaruh terhadap nilai kelelahan, terutama pada kadar RAP diatas 35%.		
	Mir Arefin						
	Tanvir Quasem						
5.	Rindu Twidi Bethary Bambang Sugeng Subagio Harmein Rahman Nyoman Suaryana	Effect of Slag and Recycled Materials on The Performance of Hot Mix Asphalt.	Jurnal Teknik Sipil Vol. 26 No. 1, April 2019, Institut Teknologi Bandung, ISSN 0853-2982  <b><u>Tahun 2019</u></b>	Menganalisa kinerja campuran AC-BC dengan menggunakan slag sebagai pengganti agregat	Kinerja optimum campuran terlihat pada kandungan RAP 30%.  Penambahan slag cenderung menaikkan nilai MQ campuran.	Menggunakan material RAP dan slag.	Menggunakan BGA
6.	Reyes-Ortiz O. Berardinelli E. Alvarez, A.E. Carvajal-Munoz, J.S. Fuentes, L.G.	Evaluation of Hot Mix Asphalt Mixtures with Replacement of Aggregates by Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) Material	Procedia-Social and Behavioral Sciences 53 (2012) 379 – 388.  Published by Elsevier Ltd.  <b><u>Tahun 2012</u></b>	Mengetahui kinerja mekanis campuran beraspal panas bergradasi rapat yang mengganti agregat dengan sebagian dan seluruhnya dengan material RAP	Nilai <i>Indirect Tensile Strength</i> dan modulus resilien tertinggi, diberikan pada campuran yang mengganti agregat dengan 100% material RAP.	Menggunakan material RAP.	Jenis Gradasi campuran dan menggunakan BGA.

**Tabel 8.** Jalur (*track*) penelitian campuran dengan RAP dan BGA (lanjutan)

7.	Ainalem Nega, Ph.D  Muhammad Karami, Ph.D  Hamid Nikraz	Permanent Deformation Characteristics of BRA Modified Asphalt Paving Mixtures Using Dynamic Creep Analysis	Airfiled and Highway Pavements 2019.  Published by ASCE  <b><u>Tahun 2019</u></b>	Mengevaluasi karakteristik deformasi permanen dari campuran <i>BRA</i> <i>modified</i> menggunakan analisis <i>dynamic creep test</i> .	Campran yang mengandung BRA lebih stabil dibandingkan tanpa BRA, karena memiliki nilai deformasi permanen yang lebih kecil dari campuran tanpa BRA.	Menggunakan material BRA ( <i>Buton Rock Asphalt</i> )	Jenis Gradasi campuran dan menggunakan material RAP.
8.	Xudong Zha  Ziwei Wang  Anhui Liu  Guangyao Qian	Experimental Analysis on Material Properties for Buton Rock Asphalt and Its Modified Asphalt	Transportation Research Congress, 2017.  Published by ASCE  <b><u>Tahun 2017</u></b>	Mengetahui komposisi dan properties dari BRA.	Campuran BRA dengan aspal minyak, menghasilkan sifat yang sangat baik dalam meningkatkan ketahanan aspal terhadap perubahan temperature.	Menggunakan material BRA ( <i>Buton Rock Asphalt</i> )	Menggunakan material RAP

**Tabel 8.** Jalur (*track*) penelitian campuran dengan RAP dan BGA (lanjutan)

9.	Nyoman Suaryana	Performance Evaluation of Stone Matrix Asphalt Using Indonesian Natural Rock Asphalt as Stabilizer	International Journal of Pavement Research and Technology 9 (2016) 387 – 392  Published by Elsevier Ltd.  <b><u>Tahun 2016</u></b>	Mengevaluasi kinerja campuran SMA menggunakan asbuton sebagai stabilizer.	Kinerja campuran dengan Asbuton sebaik campuran menggunakan serat selulosa. Penggunaan asbuton menghasilkan campuran yang lebih kaku pada temperatur tinggi, namun cenderung getas pada temperatur rendah.	Menggunakan material Asbuton (LGA 50/25)	Menggunakan RAP, jenis campuran yang berbeda.
10.	Sri Gusty M.W. Tjaronge Nur Ali Rudy Djamaluddin	Pengaruh Penambahan Buton Granular Asphalt pada Campuran Aspal Berongga Campur Panas Hampar Dingin terhadap Stabilitas Marshall.	Prosiding Konferensi Nasional Teknik SIpil dan Perencanaan (KN-TSP) 2017	Mengetahui stabilitas campuran yang mengandung Asbuton Butir Lawele (BGA).	Penggunaan Asbuton butir cenderung meningkatkan nilai stabilitas campuran (BGA optimum 5,5%)	Menggunakan Asbuton Butir (BGA)	Jenis campuran, menggunakan material RAP.
11.	Muhammad Karami	Assessing the Fatigue Performance of Buton Rock Asphalt Modified Mixtures	International Journal of Pavement Research and Technology  Chinese Society of	Menilai kinerja kelelahan campuran yang mengandung <i>Buton Granular Asphalt (BGA)</i>	Campuran yang mengandung BRA memiliki ketahan yang lebih baik terhadap kelelahan.	Menggunakan Asbuton (BRA)	Menggunakan Material RAP.

**Tabel 8.** Jalur (*track*) penelitian campuran dengan RAP dan BGA (lanjutan)

			Pavement Engineering				
			Published by Springer.				
			<b><u>Tahun 2020</u></b>				
12.	Abdul Gaus Tjaronge M.W. Nur Ali Rudy Djamaluddin	Compressive Strength of Asphalt Concrete Binder Course (AC-BC) Mixture using Buton Granular Asphalt (BGA)	The 5 <sup>th</sup> International Conference of Euro Asia Civil Engineering Forum (EACEF-5).  Published by Elsevier Ltd.	Mengevaluasi nilai kuat tekan campuran AC-BC yang mengandung asbuton butir (BGA)	Campuran dengan BGA memiliki nilai kuat tekan dan modulus elastis yang lebih tinggi dibandingkan campuran tanpa BGA.	Menggunakan Asbuton butir (BGA) dan campuran AC- BC	Menggunakan material RAP.
			<b><u>Tahun 2015</u></b>				
13.	Bulgis M.W. Tjaronge S.A. Adisasmita M. Hustim	Effect of Buton Granular Asphalt (BGA) on Compressive Stress-Strain Behaviour of Asphalt Emulsion Mixture	IOP Conf. Series: Material Science and Engineering 271 (2017) 012069  IOP Publishing.	Mengetahui nilai kuat tekan campuran aspal emulsi yang mengandung asbuton butir (BGA).	Campuran dengan BGA memiliki nilai kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan campuran tanpa BGA.	Menggunakan asbuton butir (BGA)	Jenis campuran perkerasan, menggunakan material RAP.

**Tabel 8.** Jalur (*track*) penelitian campuran dengan RAP dan BGA (lanjutan)

14.	Muhammad Fauzan Sofyan M. Saleh M. Isya	Modifikasi Campuran Aspal AC-WC Menggunakan <i>Buton Granular Asphalt (BGA)</i> sebagai Bahan Subtitusi.	Journal of The Civil Engineering Student, Vol.1. No.3, Desember 2019 (155-161)  <b><u>Tahun 2019</u></b>	Mengetahui karakteristik campuran yang menggunakan asbuton butir (BGA)	Campuran dengan BGA cenderung memiliki nilai stabilitas Marshall yang lebih tinggi dibandingkan campuran tanpa BGA (BGA optimum 8%)	Menggunakan asbuton butir (BGA)	Jenis Gradasi campuran; menggunakan material RAP
15.	La One M.W. Tjaronge Rita Irmawaty Muralia Hustim	Effect of Buton Granular Asphalt Gradation and Cement As Filler on Performance of Cold Mix Asphalt Using Limestone Aggregate	Journal of Engineering Science and Technology  Vol. 15, No. 1 (2020) 419-433  <b><u>Tahun 2020</u></b>	Mnegetahui kinerja campuran aspal dingin yang mengandung asbuton butir (BGA) dan filer semen.	Terjadi peningkatan nilai stabilitas Marshall pada campuran dengan BGA dan semen (optimum BGA 14%, semen 2,5%)	Menggunakan asbuton butir (BGA)	Jenis gradasi campuran, meggunakan material RAP.
16.	Abrar Mahyuddin M.W. Tjaronge Nur Ali M. Isran Ramli	Experimental Analysis on Stability and Indirect Tensile Strength in Asphalt Emulsion Mixture Containing Buton Granular Asphalt	International Journal of Applied Engineering Research Vol. 12, Number 12 (2017) pp 3162-3169.  <b><u>Tahun 2017</u></b>	Mengetahui kinerja campuran aspal emulsi yang mengandung asbuton butir (BGA)	Penggunaan BGA dalam campuran aspal emulsi dapat meningkatkan nilai stabilitas dan nilai kuat tarik tak langsung. (Kadar BGA 2,5% - 7,5%)	Menggunakan asbuton butir (BGA)	Jenis gradasi campuran dan menggunakan material RAP,

**Tabel 8.** Jalur (*track*) penelitian campuran dengan RAP dan BGA (lanjutan)

17.	Whinda Pratiwi Tiara Gea Noviastuti Ludfi Djakfar Hendi Bowoputro	Pengaruh Asbuton terhadap Karakteristik Marshall Perkerasan Daur Ulang dengan peremaja Oli Bekas dan Solar	Student Journal ub.ac.id  <b><u>Tahun 2017</u></b>	Mengetahui kinerja campuran daur ulang yang mengandung asbuton butir.	Menggunakan agregat RAP seluruhnya, asbuton butir sebagai filler. Menghasilkan nilai stabilitas yang meningkat seiring penambahan asbuton.	Menggunakan RAP dan asbuton butir BGA tipe 5/20.	Gradasi campuran, proporsi RAP, tipe asbuton butir.
18.	Anindya Andana Ningrum Yogie Risdianto	Perbandingan Penggunaan Buton Granular Asphalt (BGA) dan Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) sebagai Bahan Substitusi Agregat pada Campuran Aspal Wearing Course (AC-WC) dengan Fly Ash sebagai Filler.	Jurnal Rekayasa Teknik Sipil Vol.2, NO. 2/REKAT/18 (2018)  <b><u>Tahun 2018</u></b>	Mengetahui karakteristik Marshall campuran AC-WC yang menggunakan RAP dan BGA.	Campuran dengan BGA dan RAP dapat meningkatkan nilai stabilitas Marshall dan MQ.	Menggunakan material RAP dan BGA.	Gradasi campuran, jenis pengujian.
19.	Ayudya Retno Wilis Yogie Risdianto	Pengaruh Penambahan Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) dan Lawele Granular Asphalt	Jurnal Rekayasa Teknik Sipil Vol.2, NO. 2/REKAT/18	Mengetahui karakteristik Marshall campuran AC-WC yang menggunakan RAP dan LGA.	Campuran dengan LGA dan RAP dapat meningkatkan nilai stabilitas Marshall disbanding	Menggunakan material RAP dan LGA.	Gradasi campuran, jenis pengujian.

**Tabel 8.** Jalur (*track*) penelitian campuran dengan RAP dan BGA (lanjutan)

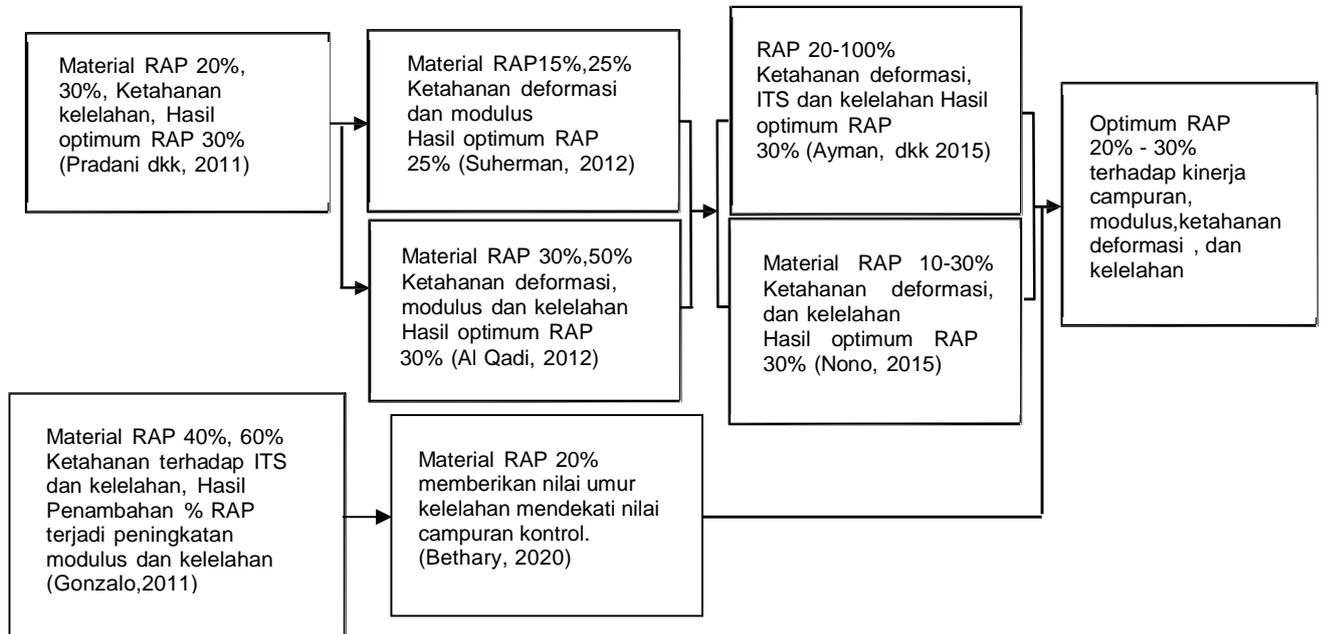
		(LGA) sebagai Bahan Substitusi Agregat pada Campuran Beton Aspal Wearing Course (AC-WC) dengan Fly Ash sebagai Filler.	(2018) <b><u>Tahun 2018</u></b>		campuran dengan RAP saja..		
20.	Restu Alam Suyuti Raden Jachrizal Sumubrata Sigit Pranowo Hadiwardoyo Dadang Iskandar	The Use of Reclaimed Asphalt Pavement by Adding Retona Asbuton on Asphalt Concrete Wearing Course Using The Warm Mix Asphalt Method	AIP Conf. Proc.  Exploring Resources, Process and Design for Sustainable Urban Development.  AIP Publishing.  <b><u>Tahun 2019</u></b>	Mengoptimalkan penggunaan RAP dan aspal retona pada campuran hangat.	Campuran yang paling optimal adalah dengan 49,37% RAP dan aspal retona 4,13%.	Menggunakan material RAP dan retona asbuton.	Jenis campuran, jenis Asbuton, jenis pengujian.



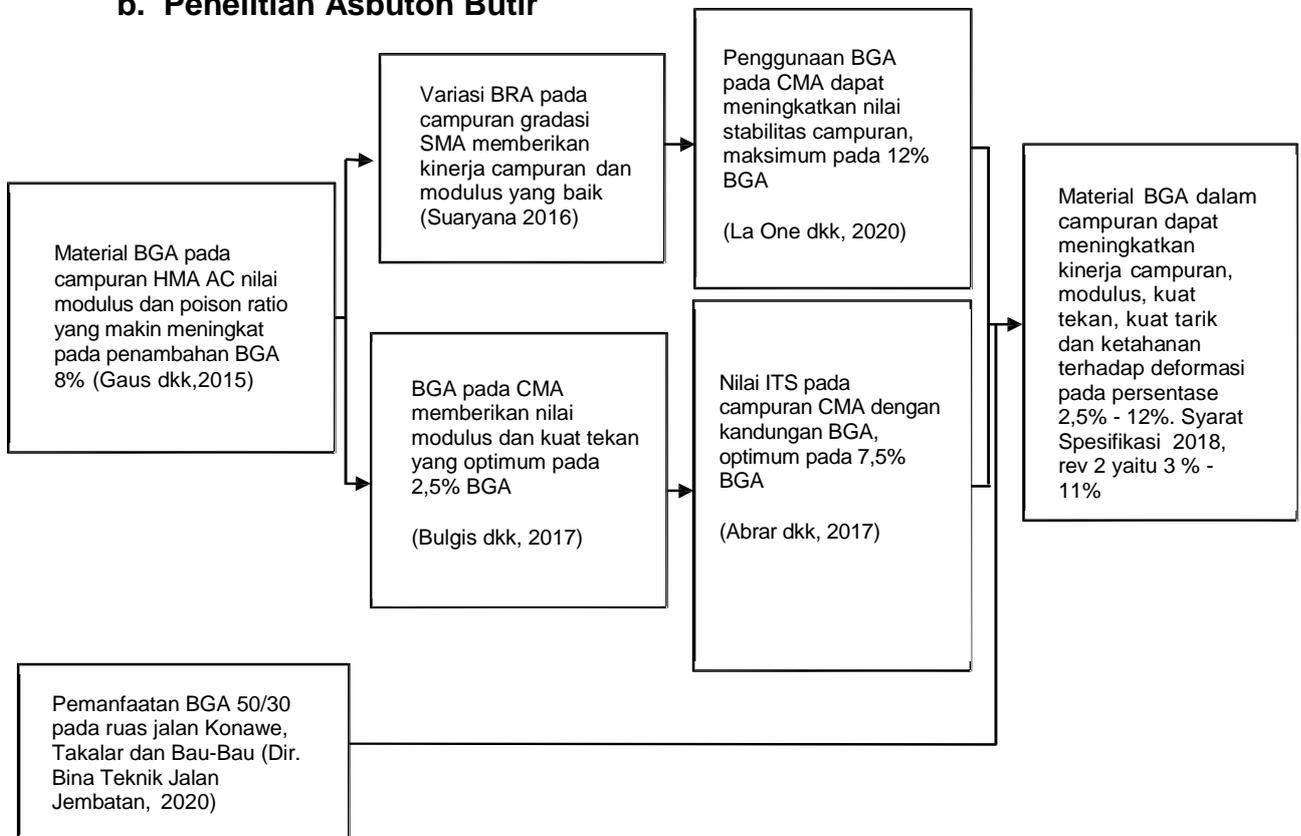
Berdasarkan Tabel 8 dan Tabel 9 yang memperlihatkan posisi penelitian ini terhadap penelitian-penelitian sebelumnya dengan membandingkan variabel pada tiap penelitian, terlihat bahwa penelitian ini memberikan inovasi dan kebaruan dalam material yang digunakan, variabel yang diteliti serta metodologi yang digunakan. Material yang digunakan yaitu kombinasi antara material RAP yang menggunakan bahan peremaja (Reclamite) serta menggunakan Asbuton Butir (BGA tipe 50/30). Variabel penelitian meliputi kinerja campuran dengan indikator Stabilitas Marshall dan Kuat Tarik tidak Langsung (ITS) serta mempertimbangkan aspek durabilitas campuran. Sedangkan metode yang digunakan mengacu pada campuran panas beton aspal lapis aus (AC-WC) serta melakukan analisis terhadap Kadar Aspal Optimum (KAO) pada campuran.

Berdasarkan dari beberapa penelitian terdahulu yang telah dikembangkan maka dapat dibuat perkiraan persentase RAP dan BGA yang digunakan di dalam campuran beraspal panas (aspal beton lapis aus/AC-WC) yaitu:

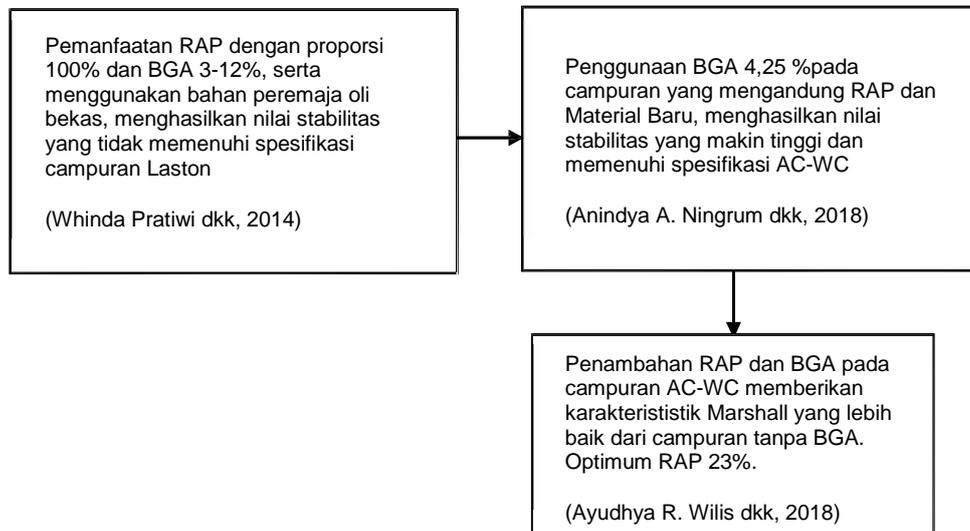
### a. Penelitian RAP



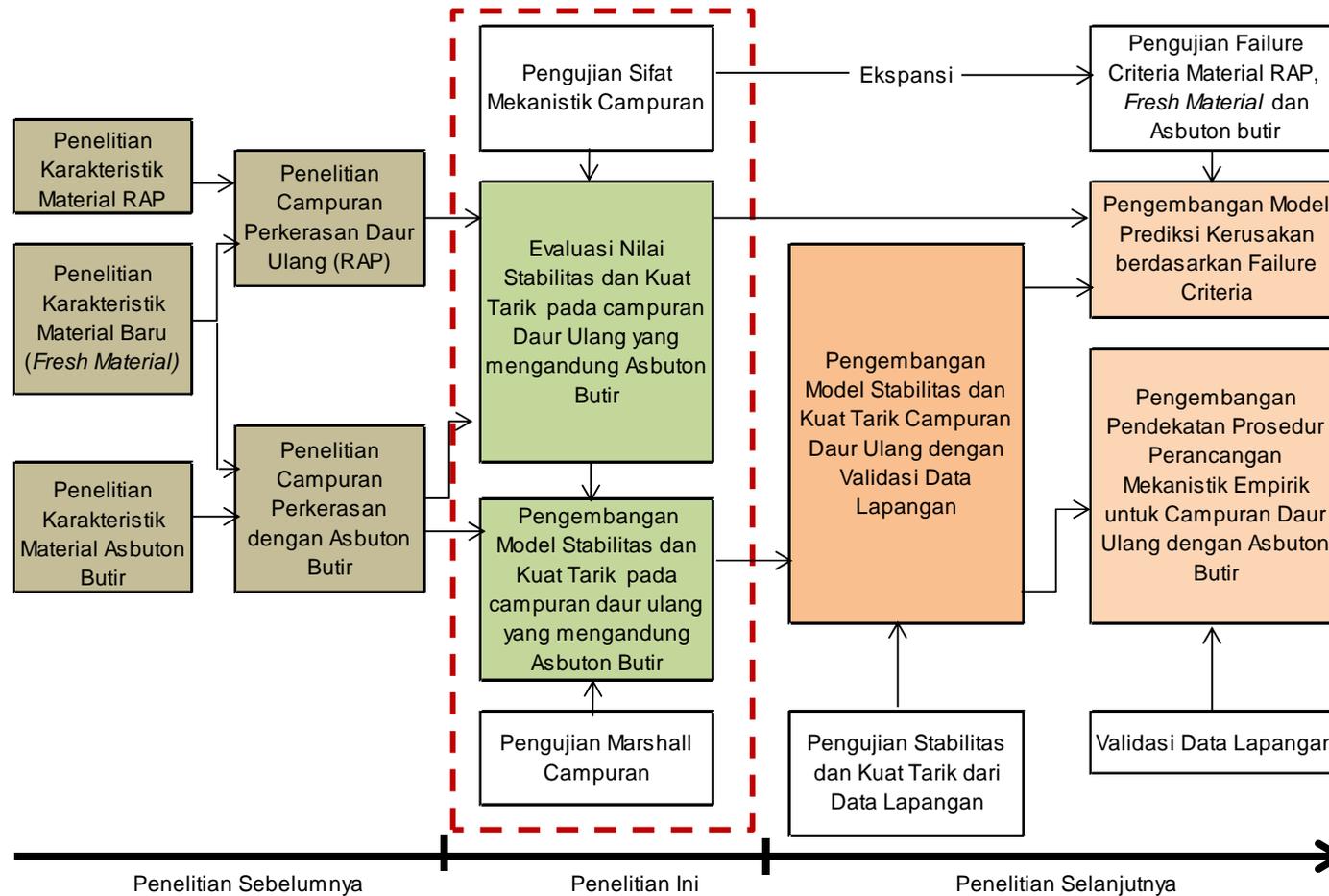
### b. Penelitian Asbuton Butir



### c. Penelitian Asbuton Butir dan RAP



Dari peta posisi penelitian dilakukan penyusunan *road map* penelitian, seperti dijelaskan secara ilustratif pada Gambar 5. Terlihat bahwa penelitian secara lengkap terdiri dari 3 bagian besar yaitu: penelitian yang telah dilakukan (terdahulu), penelitian saat ini dan penelitian lanjutan. Penelitian yang telah dilakukan meliputi pengujian sifat fisik dari material penyusun campuran dalam hal ini material RAP, material BGA dan *fresh material* (agregat dan aspal baru). Selain itu pada tahap awal ini juga telah dilakukan pengujian campuran yang terpisah antara material baru+RAP dan material baru+BGA, namun belum dengan mencampurkan ketiganya. Tahapan selanjutnya dalam penelitian saat ini meliputi pengujian kinerja campuran yang mengandung material RAP, BGA dan *fresh material*. Kinerja campuran meliputi stabilitas dan kuat tarik campuran. Tahapan akhir dari penelitian, diharapkan hasil yang telah diperoleh dapat divalidasi terhadap data lapangan.



**Gambar 5.** Road Map Penelitian