

ARTIKEL ILMIAH

**PENGARUH GRADASI AGREGAT PADA DAERAH LARANGAN
TERHADAP KINERJA CAMPURAN LAPIS ASPAL BETON (LASTON)
MENGUNAKAN ASPAL YANG DIMODIFIKASI DENGAN GONDORUKEM**

*Effect of Aggregate Gradation on the Restricted Zone to Performance
of Asphalt Concrete (LASTON) Mixtures using Asphalt Modified with Gondorukem*

Tugas Akhir

Untuk memenuhi persyaratan
Mencapai serajat Sarjana S-1 Jurusan Teknik Sipil



Oleh:

Roni Setiabudi

F1A014132

**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MATARAM**

2018

ARTIKEL ILMIAH

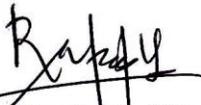
PENGARUH GRADASI AGREGAT PADA DAERAH LARANGAN TERHADAP KINERJA CAMPURAN LAPIS ASPAL BETON (LASTON) MENGGUNAKAN ASPAL YANG DIMODIFIKASI DENGAN GONDORUKEM

Oleh :

Roni Setiabudi
F1A 014 132

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

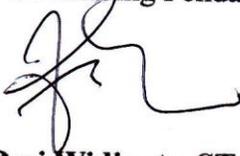
1. Pembimbing Utama



Ratna Yuniarti, ST., M.Sc (Eng).
NIP. 19680620 199412 2 001

Tanggal : 29 oktober 2018

2. Pembimbing Pendamping



Desi Widianty, ST., MT.
NIP. 19710101 199802 2 001

Tanggal : 27 oktober 2018

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik
Universitas Mataram



Jauhar Fajri, ST., M.Sc (Eng)., Ph.D.
NIP. 19740607 199802 1 001

ARTIKEL ILMIAH

**PENGARUH GRADASI AGREGAT PADA DAERAH LARANGAN
TERHADAP KINERJA CAMPURAN LAPIS ASPAL BETON (LASTON)
MENGUNAKAN ASPAL YANG DIMODIFIKASI DENGAN GONDORUKEM**

Oleh :

Roni Setiabudi
F1A 014 132

Telah dipertahankan didepan Dewan Penguji
Pada tanggal 17 Oktober 2018

Dan dinyatakan telah memenuhi syarat mencapai derajat sarjana S-1
Jurusan Teknik Sipil

1. Penguji I


I A O Suwati Sideman, ST., MSc.
NIP. 19691011 199702 2 002

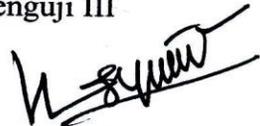
Tanggal : 31 oktober 2018

2. Penguji II


Rohani, ST, MT.
NIP. 19671231 199512 2 001

Tanggal : 30 oktober 2018

3. Penguji III


Hasyim, ST, MT.
NIP. 19651231 199512 1 001

Tanggal : 29 oktober 2018



Mataram, November 2018
Dekan Fakultas Teknik
Universitas Mataram

A. Kholiddin, ST., M.Sc (Eng.), Ph.D.
NIP. 19681231 199412 1 001

**PENGARUH GRADASI AGREGAT PADA DAERAH LARANGAN
TERHADAP KINERJA CAMPURAN LAPIS ASPAL BETON (LASTON)
MENGUNAKAN ASPAL YANG DIMODIFIKASI DENGAN GONDORUKEM**

*Effect of Aggregate Gradation on the Restricted Zone to Performance
of Asphalt Concrete (LASTON) Mixtures using Asphalt Modified with Gondorukem*

**Roni Setiabudi¹, Ratna Yuniarti², Desi Widianty³
JURUSAN TEKNIK SIPIL UNIVERSITAS MATARAM**

INTISARI

Bahan pembentuk perkerasan jalan adalah aspal dan agregat. Aspal dapat ditambahkan dengan bahan tambah lain tertentu untuk menambah kualitas aspal murni yang disebut dengan aspal modifikasi. Gondorukem adalah salah satu bahan tambah yang dapat ditambahkan pada aspal. Agregat merupakan bahan pembentuk yang paling dominan. Susunan butir agregat yang sangat luas pengaruhnya terhadap kualitas perkerasan jalan disebut gradasi agregat. Bina Marga menyarankan agar gradasi agregat tidak boleh melewati daerah larangan karena diyakini akan menghasilkan kinerja yang buruk.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh gradasi agregat yang berada pada batas atas, nilai tengah dan batas bawah dari daerah larangan terhadap kinerja campuran lapis aspal beton (laston) yang dimodifikasikan dengan gondorukem. Jenis perkerasan yang digunakan dalam penelitian ini adalah laston AC-WC (*Asphalt Concrete-Wearing Course*) dan mengacu pada standar Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 revisi III (2013). Pemeriksaan yang dilakukan meliputi pemeriksaan volumetrik (VIM, VMA dan VFB) dan mekanis (stabilitas *Marshall*, *Flow* dan *Marshall Quotient*) serta pengujian *Marshall Immersion* dan kuat tarik tidak langsung (*IDT*).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa gradasi agregat yang berada pada batas atas, nilai tengah dan batas bawah daerah larangan dapat digunakan dalam campuran beraspal yang dimodifikasi dengan gondorukem tetapi tidak ekonomis, karena membutuhkan aspal yang banyak yaitu 6,25%. Hal ini dibuktikan dengan hasil pemeriksaan volumetrik (VIM, VMA dan VFB) dan mekanis (stabilitas *Marshall*, *Flow*, dan *Marshall Quotient*) serta pengujian *Marshall Immersion* dan kuat tarik tidak langsung (*IDT*) yang telah memenuhi spesifikasi Bina Marga.

Kata Kunci : Aspal Modifikasi, Gradasi Agregat, Daerah Larangan

¹ Mahasiswa Teknik Sipil Universitas Mataram

² Dosen Pembimbing Utama

³ Dosen Pembimbing Pendamping

PENDAHULUAN

Material pembentuk pekerasan jalan adalah aspal dan agregat. Aspal didefinisikan sebagai material berwarna hitam atau coklat tua pada temperatur ruang berbentuk padat sampai agak padat. Aspal dapat ditambahkan dengan bahan tambah lain tertentu untuk menambah kualitas aspal murni yang disebut dengan aspal modifikasi. Gondorukem adalah salah satu bahan tambah yang dapat ditambahkan pada aspal. Gondorukem merupakan olahan dari getah hasil sadapan pada batang Tusam (Pinus). Sedangkan agregat adalah formasi kulit bumi yang keras dan penyal (*solid*). Susunan butir agregat yang sangat luas pengaruhnya terhadap kualitas pekerasan jalan disebut gradasi agregat.

Gradasi agregat berfungsi memberikan kekuatan yang pada akhirnya mempengaruhi stabilitas pada campuran, dengan kondisi saling mengunci (*interlocking*) dari masing-masing agregat kasar. Untuk dapat menjaga agar agregat dengan gradasi yang disyaratkan menghasilkan sifat campuran yang diinginkan, maka gradasi campuran untuk material *Asphalt Concrete* harus berada di luar “daerah larangan (*restriction zone*)” dari lengkung gradasi. Daerah larangan didefinisikan sebagai daerah yang tidak boleh dilalui oleh susunan butiran atau gradasi agregat dan diyakini menghasilkan bahan campuran yang berkinerja buruk.

Penelitian yang dilakukan Wahyudi (2011), tentang “studi praktis zona terlarang campuran agregat gradasi menerus superpave”. menunjukkan bahwa gradasi yang menerobos zona terlarang menghasilkan sifat-sifat volumetrik dan mekanis yang baik. Diantaranya nilai rongga pori udara sebesar 3,52%, berada pada prosentase ideal yaitu berkisar antara 3% – 6%, nilai stabilitas sebesar 934,52 kg, yang berada diatas persyaratan minimum untuk nilai stabilitas lalu lintas berat yaitu sebesar 800 kg dan nilai kelelahan plastis sebesar 2,50 mm yang telah memenuhi spesifikasi Bina Marga yaitu sebesar 2,50 – 5,00 mm.

Penelitian yang dilakukan Siswanda (2013), yang berjudul “pengaruh penambahan gondorukem terhadap kinerja asphalt concrete – wearing course” menunjukkan bahwa stabilitas dan flow campuran aspal dengan menggunakan bahan aditif gondorukem telah memenuhi spesifikasi. Kadar gondorukem optimum dan

ideal untuk digunakan dalam campuran pekerasan adalah 2% berdasarkan nilai stabilitas, kelelahan (flow) dan fleksibilitas (MQ) yang tinggi. Selain itu memiliki nilai regangan tarik tak langsung, kekakuan arah horizontal dan vertikal lebih stabil.

Rianung (2007), melakukan penelitian tentang “kajian laboratorium pengaruh bahan tambah gondorukem pada *asphalt concrete – binder course* (AC-BC) terhadap nilai propertis Marshall dan Durabilitas. Dari penelitiannya diperoleh hasil bahwa gondorukem jika digunakan sebagai bahan tambah pada campuran beraspal panas AC-BC mempunyai kinerja yang lebih baik jika digunakan pada jalan dalam kondisi kering. Aspal+gondorukem 2% paling optimal karena semua parameter uji aspal dapat dipenuhi dan mempunyai karakteristik Marshall yang dianggap paling optimal jika dibandingkan dengan menggunakan aspal murni.

Dari beberapa penelitian diatas belum dilakukan penelitian pada daerah larangan dengan menggunakan aspal modifikasi, maka artikel ini akan membahas hasil penelitian tentang pengaruh gradasi yang berada pada batas atas, nilai tengah, dan batas bawah daerah larangan terhadap kinerja campuran laston dengan menggunakan aspal yang dimodifikasi dengan gondorukem.

DASAR TEORI

Aspal

Aspal adalah zat perekat material berwarna hitam atau gelap, berbentuk padat atau semi padat, yang dapat diperoleh di alam ataupun sebagai hasil produksi.

Agregat

Agregat adalah suatu bahan yang terdiri dari mineral padat, berupa masa berukuran besar ataupun berupa fragmen-fragmen.

Gradasi Agregat

Gradasi adalah susunan butir agregat sesuai ukurannya, merupakan sifat yang sangat luas pengaruhnya terhadap kualitas pekerasan secara keseluruhan. Ukuran butir agregat dapat diperoleh melalui pengujian analisis ayakan (Sukirman, 2016).

Gondorukem

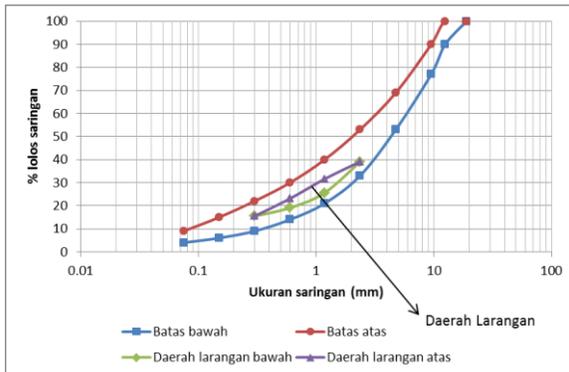
Gondorukem bahan yang berharga murah dan mudah didapatkan yang merupakan resin natural didapat dari hasil destilasi/penyulingan dari getah pinus dan berupa padatan berwarna kuning jernih sampai kuning tua. Kualitas getah akan menentukan kualitas dan rendaman gondorukem yang dihasilkan. Getah pohon pinus mengandung 70 – 75 % gondorukem dan 20 – 25 % terpentin (Rianung, 2007).

Daerah Larangan

Daerah larangan adalah daerah yang tidak boleh dilalui oleh susunan butiran atau gradasi agregat.

Tabel 1. Gradasi laston AC-WC dan daerah larangan

Ukuran Saringan	% Berat Lolos		Daerah Larangan (%)
	Bukaan (mm)	Laston (AC) Lapis Aus (WC)	
No. 1½"	37,5		
1"	25		
¾"	19	100	
½"	12,5	90 – 100	
3/8"	9,5	77 – 90	
No. 4	4,75	53 – 69	
No. 8	2,36	33 – 53	39,1
No. 16	1,18	21 – 40	25,6 – 31,6
No. 30	0,600	14 – 30	19,1 – 23,1
No. 50	0,300	9 – 22	15,5
No. 100	0,150	6 – 15	
No. 200	0,075	4 – 9	



Gambar 1. Grafik distribusi butiran agregat laston AC-WC dan daerah larangan

Laston

Laston adalah salah satu jenis dari lapis konstruksi perkerasan lentur. Jenis perkerasan ini merupakan campuran merata antara agregat dan aspal sebagai bahan pengikat pada suhu tertentu. Salah satu bagian dari laston adalah laston lapis aus (AC-WC). Laston lapis aus merupakan lapis yang mengalami kontak langsung dengan beban dan lingkungan sekitar,

maka diperlukan perencanaan dari beton aspal AC-WC yang sesuai dengan spesifikasi sehingga lapis ini bersifat kedap air, tahan terhadap cuaca, dan mempunyai stabilitas yang tinggi.

Pengujian Marshall

a. Sifat volumetrik

Pengujian sifat volumetrik meliputi rongga pori diantara agregat (VMA), rongga pori dalam campuran (VIM), dan rongga pori terisi aspal (VFB).

b. Sifat mekanis

Pengujian sifat mekanis meliputi stabilitas *Marshall*, Pelelehan (*flow*), dan *Marshall Quotient* (MQ).

c. *Marshall Immersion*

d. Kuat tarik tidak langsung (*IDT*)

METODE PENELITIAN

Penelitian yang dilakukan adalah penelitian eksperimental yang dilakukan di Laboratorium Transportasi dan Rekayasa Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Mataram.

Bahan Penelitian

1. Aspal minyak penetrasi 60/70 yang didapatkan dari PT. Kresna Karya, Pringgabaya - Lombok Timur.
2. Gondorukem kualitas *Water White* (WW) berasal dari toko bahan kimia di Tidar - Surabaya.
3. Material agregat kasar dan agregat halus dari PT. Kresna Karya.
4. *Filler* berupa serbuk abu batu yang diperoleh dari PT. Kresna Karya.

Peralatan penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah alat uji pemeriksaan aspal (alat uji penetrasi, alat uji titik nyala dan titik bakar, alat uji daktilitas, alat uji titik lembek, alat uji kehilangan berat minyak dan aspal, dan alat uji berat jenis (piknometer); alat uji pemeriksaan agregat (satu set saringan, piknometer, timbangan, pemanas); alat pengujian marshall, bak perendam yang dilengkapi dengan pengatur suhu, satu set alat pengujian *IDT*, alat-alat penunjang seperti : kompor, oven, sendok pengaduk, sarung tangan

anti panas, kain lap, *stop watch*, timbangan digital, dan jangka sorong.

Tahapan penelitian

1. Persiapan

Persiapan yang dilakukan yaitu persiapan pustaka, bahan, dan alat-alat yang digunakan yaitu meliputi aspal penetrasi 60/70, gondorukem, agregat kasar, agregat halus, *filler*.

2. Pemeriksaan material

a. Pengujian aspal

Pengujian aspal pada penelitian ini dilakukan pada aspal modifikasi, yaitu aspal pen 60/70 yang ditambahkan dengan gondorukem 2%. Pemeriksaan aspal modifikasi dilakukan dengan menggunakan Spesifikasi Bina Marga edisi 2010 revisi III (2013).

b. Pengujian agregat

Pengujian agregat berupa pengujian agregat kasar, halus dan *filler*.

3. Perencanaan campuran

Menggunakan 4 variasi campuran daerah larangan, yaitu :

a. Batas atas daerah larangan

Gradasi agregat rencana yang digunakan adalah nilai tengah dari %Berat Lolos laston AC-WC dan nilai batas atas daerah larangan.

Tabel 2. Gradasi agregat rencana untuk batas atas daerah larangan

Ukuran Saringan		% Berat Lolos		Gradasi rencana (%)
No.	Bukaan (mm)	Laston (AC)	Lapis Aus (WC)	
1½"	37,5			
1"	25			
¾"	19	100		100
½"	12,5	90 – 100		95
3/8"	9,5	77 – 90		83,5
No.4	4,75	53 – 69		61
No.8	2,36	33 – 53		39,1
No.16	1,18	21 – 40		31,6
No.30	0,600	14 – 30		23,1
No.50	0,300	9 – 22		15,5
No.100	0,150	6 – 15		10,5
No.200	0,075	4 - 9		6,5

b. Nilai tengah daerah larangan

Gradasi agregat rencana yang digunakan adalah nilai tengah dari %Berat Lolos laston AC-WC dan nilai tengah daerah larangan.

Tabel 3. Gradasi agregat rencana untuk nilai tengah daerah larangan

Ukuran Saringan		% Berat Lolos		Gradasi rencana (%)
No.	Bukaan (mm)	Laston (AC)	Lapis Aus (WC)	
1½"	37,5			
1"	25			
¾"	19	100		100
½"	12,5	90 – 100		95
3/8"	9,5	77 – 90		83,5
No.4	4,75	53 – 69		61
No.8	2,36	33 – 53		39,1
No.16	1,18	21 – 40		28,6
No.30	0,600	14 – 30		21,1
No.50	0,300	9 – 22		15,5
No.100	0,150	6 – 15		10,5
No.200	0,075	4 - 9		6,5

c. Batas bawah daerah larangan

Gradasi agregat rencana yang digunakan adalah nilai tengah dari %Berat Lolos laston AC-WC dan nilai batas bawah daerah larangan.

Tabel 4. Gradasi agregat rencana untuk batas bawah daerah larangan

Ukuran Saringan		% Berat Lolos		Gradasi rencana (%)
No.	Bukaan (mm)	Laston (AC)	Lapis Aus (WC)	
1½"	37,5			
1"	25			
¾"	19	100		100
½"	12,5	90 – 100		95
3/8"	9,5	77 – 90		83,5
No.4	4,75	53 – 69		61
No.8	2,36	33 – 53		39,1
No.16	1,18	21 – 40		25,6
No.30	0,600	14 – 30		19,1
No.50	0,300	9 – 22		15,5
No.100	0,150	6 – 15		10,5
No.200	0,075	4 - 9		6,5

d. Luar daerah larangan

Gradasi agregat rencana yang digunakan adalah nilai dari %Berat Lolos laston AC-WC dan berada diluar daerah larangan.

Tabel 5. Gradasi agregat rencana untuk luar daerah larangan

Ukuran Saringan		% Berat Lolos		Gradasi rencana (%)
No.	Bukaan (mm)	Laston (AC)	Lapis Aus (WC)	
1½"	37,5			
1"	25			
¾"	19	100		100
½"	12,5	90 – 100		95
3/8"	9,5	77 – 90		83,5
No.4	4,75	53 – 69		61
No.8	2,36	33 – 53		43
No.16	1,18	21 – 40		35,8
No.30	0,600	14 – 30		26,55
No.50	0,300	9 – 22		18,75
No.100	0,150	6 – 15		10,5
No.200	0,075	4 - 9		6,5

4. Penentuan kadar aspal optimum

Penentuan KAO campuran laston dalam penelitian ini dimulai dengan memperkirakan kadar aspal optimum rencana pada tiap

variasi campuran yang dihitung menggunakan rumusan $P_b = 0,035 (\%CA) + 0,045 (\%FA) + 0,18FF) + \text{Konstanta}$. Dengan

Dengan :

P_b = % perkiraan kadar aspal awal
 CA = % agregat kasar tertahan saringan No.4
 FA = % agregat halus lolos saringan No.4 dan tertahan No.200
 FF = % *filler*, lolos saringan No.200
 Konstanta = 0,5 sampai 1,0 untuk aspal campuran laston.

Tabel 6. Desain rancangan penentuan KAO

Variasi Campuran	Kadar Aspal Rencana (%)					Jumlah Benda Uji
	Pb-1	Pb-0,5	Pb	Pb+0,5	Pb+1	
Batas atas daerah larangan	3	3	3	3	3	15
Nilai tengah daerah larangan	3	3	3	3	3	15
Batas bawah daerah larangan	3	3	3	3	3	15
Luar daerah larangan	3	3	3	3	3	15
Total Benda Uji						60

- Pembuatan benda uji untuk penentuan kadar aspal optimum
- Pengujian benda uji
 Pengujian yang dilakukan pada tahap ini dimaksudkan untuk memperoleh nilai kadar aspal optimum (KAO) dengan menguji sifat volumetrik dan mekanik dari 60 buah benda uji yang telah dibuat pada tahap sebelumnya.
- Menentukan kadar aspal optimum
- Pembuatan benda uji berdasarkan KAO
 Pembuatan dan pengujian setelah mendapatkan KAO tidak dilakukan pada variasi luar daerah larangan agregat, karena hanya sebagai pembandingan untuk melihat bahwa aspal modifikasi memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 revisi III (2013).

Tabel 7. Jumlah rencana benda uji yang dibuat berdasarkan nilai KAO

Variasi Campuran Benda Uji	Pengujian benda uji	
	Uji <i>Marshall Immersion</i>	Uji <i>IDT Strength</i>
Batas atas daerah larangan agregat	6 buah	3 buah
Nilai tengah daerah larangan agregat	6 buah	3 buah
Batas bawah daerah larangan agregat	6 buah	3 buah
Total	27 buah	

Pengujian benda uji yang dilakukan berdasarkan KAO meliputi pemeriksaan sifat volumetrik (VMA, VIM, dan VFB), sifat mekanis (stabilitas *Marshall*, *flow*, dan MQ), *Marshall Immersion*, dan kuat tarik tidak langsung (*IDT*).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pemeriksaan aspal modifikasi

Dalam penelitian ini, aspal yang digunakan adalah aspal minyak dengan penetrasi 60/70 yang dimodifikasi dengan gondorukem 2%.

Tabel 8. Hasil pemeriksaan aspal modifikasi gondorukem

No.	Jenis Pemeriksaan	Persyaratan	Hasil Pemeriksaan
1	Penetrasi, 25°C, 100 gram, 5 detik; 0,1 mm	60-70	67,6
2	Titik lembek; °C	≥ 48	48,8
3	Titik nyala; °C	≥ 232	>300
4	Daktilitas; 25 °C, (cm)	≥ 100	160
5	Berat jenis	≥ 1,0	1,045
6	Kehilangan berat; % berat	≤ 0,8	0,215
7	Perbandingan Penetrasi setelah penurunan Berat terhadap % asli	≥ 54	46,7 (69,08%)
8	Daktilitas setelah penurunan berat; cm	≥ 100	154

(Sumber : Hasil penelitian)

Catatan : Nilai untuk pengujian titik nyala dan titik bakar aspal belum ditemukan karena kapasitas alat hanya mencapai 300 °C. Pada saat pengujian, titik nyala dan titik bakar belum terlihat sampai suhu mencapai 300 °C, namun nilai tersebut sudah melebihi standar yang disyaratkan.

Hasil pemeriksaan agregat

Tabel 9. Hasil Pemeriksaan Agregat

No	Jenis Pemeriksaan	Agregat			Persyaratan
		Kasar	Halus	Filler	
1	Berat jenis bulk	2,66	2,64	2,55	≥ 2,50
2	Berat jenis semu	2,79	2,84	2,56	≥ 2,50
3	Penyerapan terhadap air (%)	1,73	2,67	0,14	≤ 3,00
4	Keausan dengan alat <i>impact</i>	8,58	-	-	≤ 30,00
5	Kelekatan agregat terhadap aspal (%)	98	-	-	≥ 95

(Sumber : Hasil penelitian)

Menentukan kadar aspal rencana

Gradasi campuran dilakukan pada masing-masing variasi campuran daerah larangan, yaitu sebagai berikut :

1. Batas atas daerah larangan

Tabel 10. Gradasi rencana batas atas untuk menentukan KAO

Ukuran Saringan	% Bemat Lolos		Batas Daerah Larangan	Gradasi rencana (%)	Persen Tertahan (%)	
	No.	Bukaan (mm)				Laston (AC) Lapis Aus (WC)
1½"		37,5				
1"		25				
¾"		19	100	100	0	
½"		12,5	90 – 100	95	5	
3/8"		9,5	77 – 90	83,5	16,5	
No.4		4,75	53 – 69	61	39	
No.8		2,36	33 – 53	39,1	39,1	60,9
No.16		1,18	21 – 40	25,6 - 31,6	31,6	68,4
No.30		0,600	14 – 30	19,1 - 23,1	23,1	76,9
No.50		0,300	9 – 22	15,5	15,5	84,5
No.100		0,150	6 – 15	10,5	89,5	
No.200		0,075	4 – 9	6,5	93,5	

(Sumber : Hasil penelitian)

Dari **Tabel 10** diatas, dapat ditentukan proporsi masing-masing fraksi untuk menghitung kadar aspal rencana. Persen tertahan pada saringan no. 4 yang merupakan batas agregat kasar dengan agregat halus adalah sebesar 39%. Jadi digunakan proporsi untuk fraksi agregat kasar adalah sebesar 39%. Dari perhitungan didapatkan proporsi untuk fraksi agregat halus adalah sebesar 54,5% dan filler sebesar 6,5%. Proporsi filler didapat dari nilai yang lolos dari saringan No.200 yakni sebesar 6,5% berdasarkan persen lolosnya. Oleh karena itu, nilai kadar aspal rencana (Pb) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan $P_b = 0,035 (\%CA) + 0,045 (\%FA) + 0,18 (\%FF) + \text{Konstanta}$ dengan nilai konstanta sebesar 0,6. Dari perhitungan didapatkan nilai kadar aspal rencana (Pb) adalah sebesar 5,59% dan dibulatkan menjadi 5,5%.

Hasil pemeriksaan untuk mencari KAO

1. Rongga Pori Antar Agregat (VMA)

Tabel 11. Hasil pemeriksaan VMA

No	Kadar Aspal (%)	VMA Pada Batas Atas (%)	VMA Pada Nilai Tengah (%)	VMA Pada Batas Bawah (%)	VMA Pada Luar (%)
1	4,5	13,712	12,881	13,422	13,479
2	4,5	13,513	12,942	13,598	13,407
3	4,5	13,297	13,040	13,762	13,493
	Rata-rata	13,507	12,955	13,594	13,460
1	5	13,512	13,647	14,191	13,651
2	5	13,382	14,369	13,889	13,269
3	5	13,857	13,709	13,627	13,754
	Rata-rata	13,584	13,908	13,902	13,558
1	5,5	14,226	14,718	14,976	14,537
2	5,5	14,168	14,931	14,545	14,298
3	5,5	14,389	14,856	14,836	14,188
	Rata-rata	14,261	14,835	14,786	14,341
1	6	15,178	15,332	15,133	15,346
2	6	15,169	15,217	15,234	15,047
3	6	15,393	15,220	15,196	15,406
	Rata-rata	15,247	15,256	15,187	15,267
1	6,5	15,532	15,065	15,546	15,331
2	6,5	15,839	15,387	15,238	15,594
3	6,5	15,338	15,728	15,570	15,704
	Rata-rata	15,570	15,393	15,451	15,543
	Spesifikasi	Min.15	Min.15	Min.15	Min.15

(Sumber : Hasil penelitian)

Dari **Tabel 11** diperoleh nilai rongga diantara mineral agregat (VMA) pada masing-masing variasi daerah larangan meningkat seiring dengan bertambahnya kadar aspal. Hal ini merupakan pengaruh dari semakin banyak kadar aspal pada campuran, maka volume rongga diantara butir-butir agregat akan semakin besar pula.

2. Rongga dalam campuran (VIM)

Tabel 12. Hasil pemeriksaan VIM

No	Kadar Aspal (%)	VIM pada Batas Atas (%)	VIM Pada Nilai Tengah (%)	VIM Pada Batas Bawah (%)	VIM Pada Luar (%)
1	4,5	5,944	5,038	5,627	5,690
2	4,5	5,727	5,105	5,820	5,612
3	4,5	5,491	5,211	5,998	5,705
	Rata-rata	5,721	5,118	5,815	5,669
1	5	4,515	4,663	5,265	4,668
2	5	4,371	5,461	4,931	4,246
3	5	4,896	4,732	4,641	4,782
	Rata-rata	4,594	4,952	4,946	4,565
1	5,5	4,079	4,629	4,918	4,426
2	5,5	4,014	4,867	4,435	4,159
3	5,5	4,261	4,782	4,760	4,035
	Rata-rata	4,118	4,759	4,704	4,207
1	6	3,946	4,122	3,895	4,137
2	6	3,937	3,991	4,010	3,799
3	6	4,190	3,994	3,967	4,205
	Rata-rata	4,024	4,036	3,957	4,047
1	6,5	3,134	2,998	3,150	2,903
2	6,5	3,486	2,967	2,797	3,204
3	6,5	2,911	3,359	3,177	3,330
	Rata-rata	3,177	3,108	3,041	3,146
	Spesifikasi	3,0-5,0	3,0-5,0	3,0-5,0	3,0-5,0

(Sumber : Hasil penelitian)

Dari **Tabel 12** diperoleh nilai VIM pada masing-masing variasi daerah larangan mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya kadar aspal.

3. Rongga pori terisi aspal (VFB)

Tabel 13. Hasil pemeriksaan VFB

No	Kadar Aspal (%)	VFB Pada Batas Atas (%)	VFB Pada Nilai Tengah (%)	VFB pada Batas Bawah (%)	VFB Pada Luar (%)
1	4,5	56,654	60,888	58,073	57,789
2	4,5	57,619	60,558	57,204	58,146
3	4,5	58,703	60,038	56,417	57,721
	Rata-rata	57,659	60,495	57,231	57,885
1	5	66,587	65,828	62,903	65,805
2	5	67,338	61,995	64,498	67,999
3	5	64,671	65,480	65,939	65,231
	Rata-rata	66,198	64,435	64,447	66,345
1	5,5	71,330	68,551	67,164	69,554
2	5,5	71,671	67,405	69,507	70,911
3	5,5	70,389	67,807	67,913	71,557
	Rata-rata	71,130	67,921	68,195	70,674
1	6	73,998	73,119	74,259	73,040
2	6	74,048	73,771	73,676	74,754
3	6	72,778	73,758	73,895	72,705
	Rata-rata	73,608	73,549	73,943	73,500
1	6,5	79,822	80,100	79,739	81,062
2	6,5	77,990	80,716	81,645	79,451
3	6,5	81,021	78,644	79,596	78,792
	Rata-rata	79,611	79,820	80,327	79,768
	Spesifikasi	Min.65	Min.65	Min.65	Min.65

(Sumber : Hasil penelitian)

Tabel 13 diatas menunjukkan bahwa semakin bertambahnya kadar aspal maka semakin meningkat pula nilai VFB. Hal ini berarti dengan semakin banyaknya kadar aspal yang digunakan, maka aspal efektif yang masuk ke dalam rongga campuran dan menyelimuti campuran aspal akan semakin banyak pula.

4. Stabilitas Marshall

Tabel 14. Hasil pemeriksaan Stabilitas Marshall

No	Kadar Aspal (%)	Stabilitas Pada Batas Atas (kg)	Stabilitas Pada Nilai Tengah (kg)	Stabilitas Pada Batas Bawah (kg)	Stabilitas Pada Luar (kg)
1	4.5	2668.17	2659.92	2472.80	2689.35
2	4.5	2625.82	2541.12	2574.12	2619.49
3	4.5	2617.02	2595.57	2625.82	2703.32
Rata-rata		2637.00	2598.87	2557.58	2670.72
1	5	2563.67	2561.74	2611.80	2739.12
2	5	2785.93	2612.29	2584.92	2773.78
3	5	2910.30	2757.42	2624.99	2796.41
Rata-rata		2753.30	2643.82	2607.24	2769.77
1	5.5	2717.67	2773.78	2563.67	2725.92
2	5.5	3135.20	2751.23	2739.12	2829.98
3	5.5	2640.12	2695.40	2913.91	2960.05
Rata-rata		2831.00	2740.13	2738.90	2838.65
1	6	2525.71	2660.67	2508.11	2853.25
2	6	2876.08	2711.30	2950.92	2596.12
3	6	2918.16	2611.80	2491.35	2640.12
Rata-rata		2773.32	2661.26	2650.13	2696.50
1	6.5	2761.95	2510.86	2244.10	2830.43
2	6.5	2628.57	2661.02	2517.19	2510.86
3	6.5	2661.02	2593.37	2510.86	2322.76
Rata-rata		2683.85	2588.42	2424.05	2554.68
Spesifikasi		Min.1000	Min.1000	Min.1000	Min.1000

(Sumber : Hasil penelitian)

Berdasarkan Tabel 14 jika dibuat dalam bentuk grafik maka grafik pada masing-masing variasi daerah larangan tersebut akan berbentuk kurva, yang berarti pada saat kadar aspal tertentu nilai stabilitasnya maksimal.

5. Flow (Pelelehan)

Tabel 15. Hasil pemeriksaan flow

No	Kadar Aspal (%)	Flow Pada Batas Atas (mm)	Flow Pada Nilai Tengah (mm)	Flow Pada Batas Bawah (mm)	Flow Pada Luar (mm)
1	4.5	3.60	3.50	3.20	3.30
2	4.5	3.20	3.40	3.40	3.25
3	4.5	3.40	3.40	3.50	3.50
Rata-rata		3.40	3.43	3.37	3.35
1	5	3.60	3.60	3.30	3.40
2	5	3.50	3.45	3.50	3.60
3	5	3.60	3.50	3.60	3.60
Rata-rata		3.57	3.52	3.47	3.53
1	5.5	3.70	3.60	3.50	3.50
2	5.5	3.65	3.70	3.70	3.70
3	5.5	3.70	3.65	3.80	3.75
Rata-rata		3.68	3.65	3.67	3.65
1	6	3.45	3.90	4.00	3.70
2	6	3.70	3.40	3.80	3.50
3	6	4.00	3.70	3.60	3.80
Rata-rata		3.72	3.67	3.80	3.67
1	6.5	3.90	3.70	3.75	3.85
2	6.5	3.70	3.75	3.90	3.65
3	6.5	3.85	3.60	3.85	3.60
Rata-rata		3.82	3.68	3.83	3.70
Spesifikasi		2.0 - 4.0	2.0 - 4.0	2.0 - 4.0	2.0 - 4.0

(Sumber : Hasil penelitian)

Dari Tabel 15. Diperoleh bahwa nilai flow pada masing-masing variasi daerah larangan mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya kadar aspal. Hal ini terjadi karena semakin banyak kadar aspal suatu campuran maka semakin banyak pula suatu campuran aspal tersebut.

6. Marshall Quotient (MQ)

Tabel 16. Hasil pemeriksaan MQ

No	Kadar Aspal (%)	MQ Pada Batas Atas (kg/mm)	MQ Pada Nilai Tengah (kg/mm)	MQ Pada Batas Bawah (kg/mm)	MQ Pada Luar (kg/mm)
1	4.5	741.16	759.98	772.75	814.95
2	4.5	820.57	747.39	757.09	806.00
3	4.5	769.71	763.40	750.23	772.38
Rata-rata		777.15	756.92	760.03	797.78
1	5	712.13	711.59	791.46	805.62
2	5	795.98	757.19	738.55	770.49
3	5	808.42	787.83	729.17	776.78
Rata-rata		772.17	752.21	753.06	784.30
1	5.5	734.51	770.49	732.48	778.83
2	5.5	858.96	743.57	740.30	764.86
3	5.5	713.55	738.47	766.82	789.35
Rata-rata		769.00	750.84	746.53	777.68
1	6	732.09	682.22	627.03	771.15
2	6	777.32	797.44	776.56	741.75
3	6	729.54	705.89	692.04	694.77
Rata-rata		746.32	728.52	698.54	735.89
1	6.5	708.19	678.61	598.43	735.18
2	6.5	710.42	709.61	645.43	687.91
3	6.5	691.17	720.38	652.17	645.21
Rata-rata		703.26	702.87	632.01	689.43
Spesifikasi		Min.300	Min.300	Min.300	Min.300

(Sumber : Hasil penelitian)

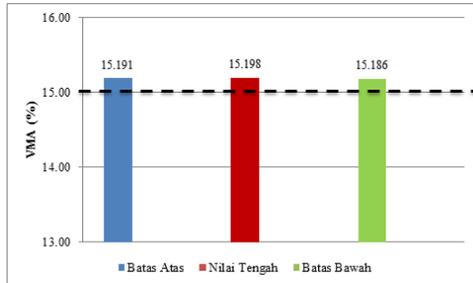
Dari Tabel 16 diperoleh hasil bahwa nilai MQ pada masing-masing daerah larangan mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya kadar aspal.

Penentuan kadar aspal optimum (KAO)

Berdasarkan hasil pemeriksaan diatas kadar aspal yang memenuhi spesifikasi persyaratan parameter-parameter marshall pada masing-masing variasi daerah larangan baik itu batas atas, nilai tengah, batas bawah maupun luar daerah larangan adalah 6,25%. Jadi kadar aspal 6,25% akan digunakan pada pemeriksaan selanjutnya sebagai KAO.

Hasil pemeriksaan berdasarkan KAO

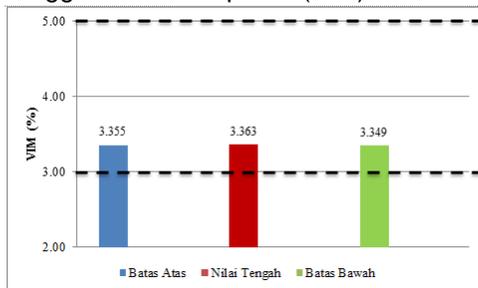
1. Rongga pori antar agregat (VMA)



Gambar 2. Grafik hubungan antara gradasi daerah larangan dengan nilai VMA

Berdasarkan Gambar 2 dapat dilihat bahwa pada nilai tengah daerah larangan memiliki nilai VMA yang terbesar yaitu sebesar 15,198%. Sedangkan pada batas bawah daerah larangan memperoleh nilai VMA yang terkecil yaitu sebesar 15,186%.

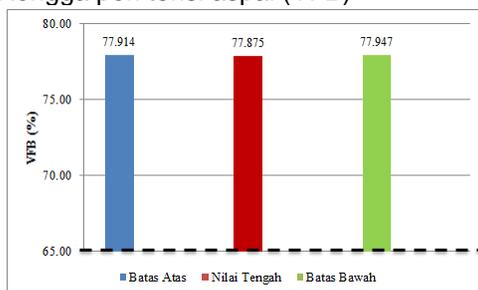
2. Rongga dalam campuran (VIM)



Gambar 3. Grafik hubungan antara gradasi daerah larangan dengan nilai VIM

Berdasarkan Gambar 3 dapat dilihat bahwa pada nilai tengah memiliki nilai VIM yang terbesar yaitu sebesar 3,363%. Sedangkan pada batas bawah daerah larangan memperoleh nilai VIM yang terkecil yaitu sebesar 3,349%.

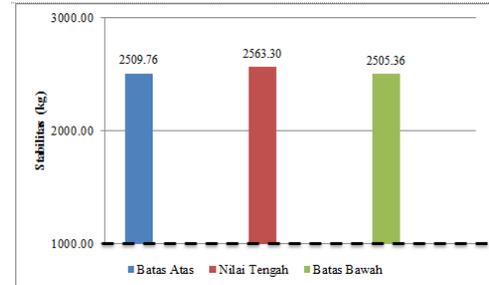
3. Rongga pori terisi aspal (VFB)



Gambar 4. Grafik hubungan antara gradasi daerah larangan dengan nilai VFB

Berdasarkan Gambar 4 dapat dilihat bahwa pada batas bawah memiliki nilai VFB yang terbesar yaitu sebesar 78,947%. Sedangkan pada nilai tengah daerah larangan memperoleh nilai VFB yang terkecil yaitu sebesar 77,875%.

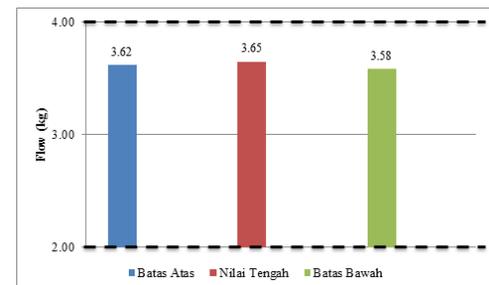
4. Stabilitas Marshall



Gambar 5. Grafik hubungan antara gradasi daerah larangan dengan nilai stabilitas

Berdasarkan Gambar 5 dapat dilihat bahwa pada nilai tengah memiliki nilai stabilitas yang terbesar yaitu sebesar 2563,30 kg. Sedangkan pada batas bawah memperoleh nilai stabilitas yang terkecil yaitu sebesar 2505,36 kg.

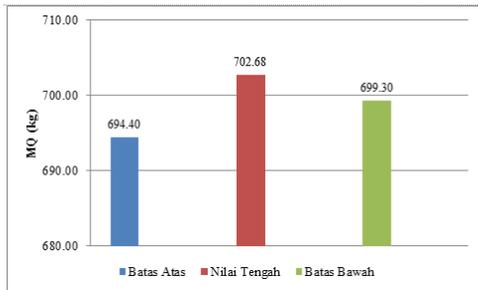
5. Pelelehan (*flow*)



Gambar 6. Grafik hubungan antara gradasi daerah larangan dengan nilai *flow*

Berdasarkan Gambar 6 dapat dilihat bahwa pada nilai tengah daerah larangan memiliki nilai *flow* yang terbesar yaitu sebesar 3,65 mm. Sedangkan pada batas bawah memperoleh nilai *flow* yang terkecil yaitu sebesar 3,58 mm.

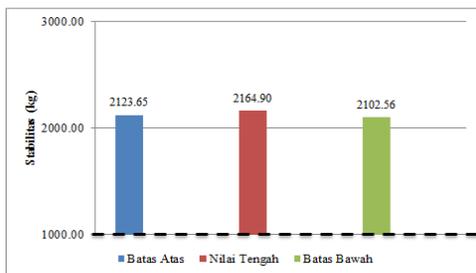
6. Marshall Quotient (MQ)



Gambar 7. Grafik hubungan antara gradasi daerah larangan dengan nilai MQ

Berdasarkan Gambar 7 dapat dilihat bahwa pada nilai tengah memiliki nilai MQ yang terbesar yaitu sebesar 702,68 kg/mm. Sedangkan pada batas atas memperoleh nilai MQ yang terkecil yaitu sebesar 694,40 kg/mm.

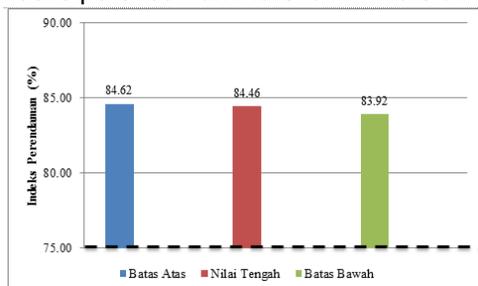
7. Marshall Immersion



Gambar 8. Grafik hubungan antara gradasi daerah larangan dengan nilai Marshall Immersion

Berdasarkan Gambar 8 dapat dilihat bahwa pada nilai tengah memiliki nilai stabilitas *marshall immersion* yang terbesar yaitu sebesar 2164,90 kg. Sedangkan pada batas bawah memperoleh nilai *marshall immersion* yang terkecil yaitu sebesar 2102,56 kg.

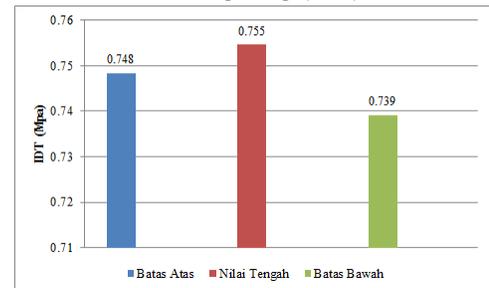
8. Indeks perendaman Marshall Immersion



Gambar 9. Grafik hubungan antara gradasi daerah larangan dengan nilai Indeks perendaman Marshall Immersion

Berdasarkan Gambar 9 dapat dilihat bahwa pada batas atas memiliki nilai indeks perendaman yang terbesar yaitu sebesar 84,62%. Sedangkan pada batas bawah memperoleh indeks perendaman yang terkecil yaitu sebesar 83,92%.

9. Kuat tarik tidak langsung (IDT)



Gambar 10. Grafik hubungan antara gradasi daerah larangan dengan nilai IDT

Berdasarkan Gambar 10 dapat dilihat bahwa nilai tengah daerah larangan memiliki nilai IDT yang terbesar yaitu sebesar 0,755 MPa. Sedangkan pada batas bawah memperoleh nilai IDT yang terkecil yaitu sebesar 0,739 MPa.

KESIMPULAN

1. Gradasi agregat pada daerah larangan memiliki pengaruh yang besar terhadap sifat volumetrik campuran beraspal yang dimodifikasi dengan gondorukem. Hal ini dapat dilihat dari hubungan antara gradasi agregat pada variasi daerah larangan dengan nilai VMA, VIM dan VFB yang diperoleh sangat kuat, yaitu menghasilkan nilai koefisien korelasi (R) > 0,9.
2. Gradasi agregat pada daerah larangan memiliki pengaruh yang besar terhadap sifat mekanis campuran beraspal yang dimodifikasi dengan gondorukem. Hal ini dibuktikan dengan hubungan antara gradasi agregat pada variasi daerah larangan terhadap nilai stabilitas *Marshall*, *flow*, *Marshall Quotient* (MQ), dan *Marshall Immersion* yang diperoleh sangat kuat, yaitu menghasilkan nilai koefisien korelasi (R) > 0,9.
3. Gradasi agregat pada daerah larangan memiliki pengaruh yang besar terhadap nilai kuat tarik tidak langsung (IDT) campuran beraspal yang dimodifikasi dengan gondorukem. Hal ini dibuktikan dengan beban maksimum yang diperoleh pada batas atas adalah sebesar 0,748 MPa; nilai tengah sebesar 0,755 MPa; dan batas bawah sebesar 0,739 MPa.

SARAN

Disarankan untuk menggunakan gradasi nilai tengah daerah larangan untuk mendesain gradasi campuran laston yang dimodifikasi dengan gondorukem karena menghasilkan kinerja campuran yang baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standardisasi Nasional, 2015, *Spesifikasi Campuran Beraspal Panas Bergradasi Menerus (Laston)*, SNI 8198 : 2015.
- Departemen Pekerjaan Umum, 2005, *Penggunaan Agregat Slag Besi dan Baja untuk Campuran Beraspal Panas*, PdT-04-2005-B.
- Farid, M., 2017, *Pengaruh Ukuran Maksimum Agregat Terhadap Kinerja Campuran Lapis Aspal Beton (LASTON)*, Mataram, Tugas Akhir Teknik Sipil.
- Jody, H.R., 2017, *Pengaruh Proporsi Bentuk Agregat Terhadap Kinerja Campuran Lapis Aspal Beton (LASTON)*, Mataram, Tugas Akhir Teknik Sipil.
- Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga, 2010, *Dokumen Pelelangan Nasional Penyediaan Pekerjaan Kontruksi (Pemborongan) Untuk Kontrak Harga Satuan*, Spesifikasi Umum 2010 (Revisi 3).
- Kurniawan, R dan Yuniarto, B., 2016, *Analisis Regresi Dasar dan Penerapannya dengan R*, Jakarta, Kencana.
- Muhidin, S.A. dan Abdurrahman, M., 2007, *Analisis Korelasi, Regresi, dan Jalur dalam Penelitian*, Bandung, CV Putaka Setia.
- Rianung, S., 2007, *Kajian Laboratorium Pengaruh Bahan Tambah Gondorukem Pada Asphalt Concrete – Binder Course (AC-BC) Terhadap Nilai Propertis Marshall Dan Durabilitas*, Semarang, Jurnal Tesis.
- Siswanda, G.P.A.D., 2013, *Pengaruh Penambahan Gondorukem Terhadap Kinerja Asphalt Concrete – Wearing Course*, Mataram, Tugas Akhir Teknik Sipil.
- Sukirman, S., 1999, *Perkerasan Lentur Jalan Raya*, Bandung, Nova.
- Sukirman, S., 2016, *Beton Aspal Campuran Panas*, Bandung, Institut Teknologi Nasional.
- Suyono, 2012, *Analisis Regresi untuk Penelitian*, Yogyakarta, CV Budi Utama.
- Wahyudi, M., 2011, *Studi Praktis Konsep Zona Terlarang Campuran Agregat Gradasi Menerus Superpave*, Jurnal Dinamika Teknik Sipil Vol. 11, No. 2, Mei 2011.