

ARTIKEL ILMIAH

**PENGARUH GRADASI AGREGAT PADA DAERAH LARANGAN
TERHADAP KINERJA CAMPURAN LAPIS ASPAL BETON (LASTON)
MENGUNAKAN ASPAL PEN 60/70**

*Effect of Aggregate gradation on The Restricted Zone to Performance
of Asphalt Concrete (LASTON) Mixtures using Asphalt Pen 60/70*

Tugas Akhir

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



Oleh:

Prilia Esadianti Ariestiani

F1A014110

**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MATARAM**

2018

ARTIKEL ILMIAH

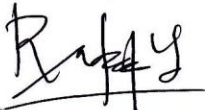
PENGARUH GRADASI AGREGAT PADA DAERAH LARANGAN TERHADAP
KINERJA CAMPURAN LAPIS ASPAL BETON (LASTON)
MENGUNAKAN ASPAL PEN 60/70

Oleh :

Prilia Esdianti Ariestiani
F1A 014 110

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

1. Pembimbing Utama



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

Tanggal : 29 oktober 2018

2. Pembimbing Pendamping



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

Tanggal : 27 oktober 2018

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik
Universitas Mataram



Jauhar Fauzan, ST., MSc (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 PEN 60/70**

Oleh :

**Prilia Esadianti Ariestiani
F1A 014 110**

Telah dipertahankan didepan Dewan Penguji
Pada tanggal 20 Oktober 2018

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

1. Penguji I

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

Tanggal : 30 - 10 - 2018

2. Penguji II

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

Tanggal : 30 - 10 - 2018

3. Penguji III

I Wawan Suteja, ST., MT.
NIP. 19670826 199412 1 001

Tanggal : 29 - 10 - 2018

Mataram, November 2018

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Mataram



Akmaluddin, ST., MSc (Eng), Ph.D.
NIP. 19681231 199412 1 001

**PENGARUH GRADASI AGREGAT PADA DAERAH LARANGAN
TERHADAP KINERJA CAMPURAN LAPIS ASPAL BETON (LASTON)
MENGUNAKAN ASPAL PEN 60/70**

*Effect of Aggregate gradation on The Restricted Zone to Performance
of Asphalt Concrete (LASTON) Mixtures using Asphalt Pen 60/70*

**Prilia Esadianti Ariestiani¹, Ratna Yuniarty², I A O Suwati Sideman³
JURUSAN TEKNIK SIPIL UNIVERSITAS MATARAM**

INTISARI

Agregat adalah bahan material paling dominan dalam campuran beraspal. Susunan butir agregat sesuai ukurannya yang sangat luas pengaruhnya terhadap kualitas perkerasan jalan disebut gradasi agregat. Bina Marga menyarankan agar gradasi agregat tidak melewati daerah larangan. Daerah larangan adalah daerah yang tidak boleh dilalui oleh susunan butiran agregat 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). 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 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 : Gradasi Agregat, Daerah Larangan, Laston AC-WC

¹ Mahasiswa Teknik Sipil Universitas Mataram

² Dosen Pembimbing Utama

³ Dosen Pembimbing Pendamping

PENDAHULUAN

Bahan pembentuk pekerasan jalan adalah aspal dan agregat. Aspal didefinisikan sebagai material berwarna hitam atau coklat tua pada temperatur ruang berbentuk padat sampai agak padat. Agregat merupakan komponen utama dari struktur pekerasan jalan, yaitu 90-95% agregat berdasarkan persentase berat, atau 75-85% agregat berdasarkan persentase volume. Dengan demikian kualitas pekerasan jalan ditentukan dari sifat agregat dan hasil campuran agregat dengan material lain (Sukirman, 2016). 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". Menggunakan aspal penetrasi 80/100 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.

Dari penelitian diatas belum dilakukan penelitian pada daerah larangan dengan menggunakan aspal 60/70, 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 penetrasi 60/70.

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.

No	Jenis Pengujian	Metode	Syarat
1	Penetrasi pada 25° C (0,1 mm)	SNI 06-2456-1991	60 – 70
2	TitikLembek; ° C	SNI 2434-2011	≥ 48
3	TitikNyala; ° C	SNI 2433:2011	≥ 232
4	Daktilitas; 25° C; (cm)	SNI 2432:2011	≥ 100
5	Berat Jenis	SNI 2441:2011	≥ 1,0
6	Berat yang hilang (%)	SNI 06-2441-1991	≤ 0,8
7	Penetrasi pada 25° C setelah Kehilangan berat (%)	SNI 06-2456-1991	≥ 54
8	Daktilitas pada 25° C setelah Kehilangan berat (cm)	SNI 2432:2011	≥ 100

(Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga 2010, revisi III (2013))

Agregat

Agregat didefinisikan secara umum sebagai format kulit bumi yang keras dan padat. ASTM mendefinisikan agregat sebagai suatu bahan yang terdiri dari mineral padat, berupa masa berukuran besar ataupun berupa fragmen-fragmen.

Gradasi Agregat

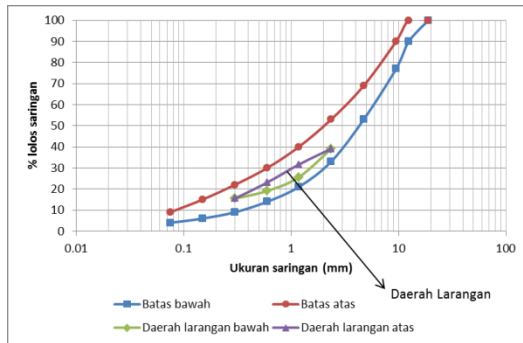
Gradasi adalah susunan butir agregat sesuai ukurannya, merupakan sifat yang sangat luas pengaruhnya terhadap kualitas pekerasan secara keseluruhan.

Daerah Larangan

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

Tabel 1. Gradasi laston AC-WC

No.	Ukuran Saringan Bukaan (mm)	% Berat Lolos		Daerah Larangan (%)
		Laston (AC)	Lapis Aus (WC)	
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. Material agregat kasar dan agregat halus dari PT.Kresna Karya.
3. *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*, tumbangan 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, agregat kasar, agregat halus, *filler*.
2. Pemeriksaan material
 - a. Pengujian aspal
Pengujian aspal pada penelitian ini dilakukan pada aspal pen 60/70. Pemeriksaan aspal 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

5. Pembuatan benda uji untuk penentuan kadar aspal optimum
 6. 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.
 7. Menentukan kadar aspal optimum
 8. 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 pen 60/70 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

Dalam penelitian ini, aspal yang digunakan adalah aspal minyak dengan penetrasi 60/70.

Tabel 8. Hasil pemeriksaan aspal

No.	Jenis Pemeriksaan	Persyaratan	Hasil Pemeriksaan
1	Penetrasi, 25°C, 100 gram, 5 detik; 0,1 mm	60-70	68
2	Titik leleh; °C	≥ 48	48,5
3	Titik nyala; °C	≥ 232	>300
4	Daktilitas; 25 °C, (cm)	≥ 100	147,5
5	Berat jenis	≥ 1,0	1,054
6	Kehilangan berat; % berat	≤ 0,8	0,20
7	Penetrasi setelah penurunan berat; % asli	≥ 54	66,3
8	Daktilitas setelah penurunan berat; cm	≥ 100	138,5

(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	No.	Bukan (mm)	% Berat Lolos		Batas Daerah Larangan	Gradasi rencana (%)	Persen Tertahan (%)
			Laston (AC) Lapis Aus (WC)				
1 1/2"		37,5					
1"		25					
3/4"		19	100		100	0	
3/8"		12,5	90 – 100		95	5	
No.4		9,5	77 – 90		83,5	16,5	
No.8		4,75	53 – 69		61	39	
No.16		2,36	33 – 53	39,1	39,1	60,9	
No.30		1,18	21 – 40	25,6 - 31,6	31,6	68,4	
No.60		0,600	14 – 30	19,1 - 23,1	23,1	76,9	
No.100		0,300	9 – 22	15,5	15,5	84,5	
No.200		0,150	6 – 15		10,5	89,5	
No.425		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 $Pb = 0,035 (\%CA) + 0,045 (\%FA) + 0,18 (\%FF) + \text{Konstanta}$ 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	13.451	13.992	13.907	13.646
2	4.5	13.336	13.903	13.594	13.844
3	4.5	13.852	14.188	13.705	13.488
Rata-rata		13.546	14.028	13.736	13.659
1	5	13.878	14.153	14.036	13.851
2	5	13.923	14.200	14.512	13.834
3	5	14.116	14.292	14.038	13.802
Rata-rata		13.972	14.215	14.196	13.829
1	5.5	14.628	15.036	14.245	14.429
2	5.5	14.493	15.032	14.174	14.757
3	5.5	14.335	15.010	14.256	14.290
Rata-rata		14.485	15.026	14.225	14.492
1	6	15.462	15.488	15.262	14.699
2	6	15.299	15.378	15.329	14.517
3	6	15.406	15.444	15.224	14.633
Rata-rata		15.389	15.437	15.272	14.616
1	6.5	15.925	16.008	15.950	15.660
2	6.5	15.467	15.672	16.117	15.576
3	6.5	15.720	15.594	15.985	15.467
Rata-rata		15.704	15.758	16.017	15.567
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	5.733	6.323	6.231	5.946
2	4.5	5.608	6.226	5.889	6.161
3	4.5	6.170	6.536	6.010	5.773
Rata-rata		5.837	6.362	6.043	5.960
1	5	5.031	5.335	5.206	5.002
2	5	5.081	5.387	5.731	4.983
3	5	5.294	5.488	5.209	4.948
Rata-rata		5.135	5.403	5.382	4.978
1	5.5	4.642	5.098	4.214	4.420
2	5.5	4.491	5.094	4.135	4.786
3	5.5	4.315	5.069	4.227	4.265
Rata-rata		4.483	5.087	4.192	4.490
1	6	4.384	4.414	4.157	3.521
2	6	4.200	4.289	4.234	3.315
3	6	4.321	4.363	4.115	3.446
Rata-rata		4.302	4.355	4.169	3.427
1	6.5	3.702	3.797	3.730	3.398
2	6.5	3.177	3.412	3.921	3.302
3	6.5	3.467	3.323	3.771	3.177
Rata-rata		3.449	3.511	3.807	3.292
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	57.376	54.810	55.200	56.429
2	4.5	57.947	55.220	56.678	55.494
3	4.5	55.458	53.932	56.146	57.195
Rata-rata		56.927	54.654	56.008	56.373
1	5	63.745	62.303	62.909	63.887
2	5	63.505	62.065	60.507	63.981
3	5	62.496	61.600	62.897	64.148
Rata-rata		63.249	61.989	62.105	64.005
1	5.5	68.265	66.097	70.415	69.370
2	5.5	69.011	66.114	70.825	67.567
3	5.5	69.899	66.229	70.349	70.156
Rata-rata		69.058	66.146	70.530	69.031
1	6	71.648	71.503	72.760	76.045
2	6	72.549	72.110	72.380	77.166
3	6	71.953	71.748	72.970	76.449
Rata-rata		72.050	71.787	72.703	76.553
1	6.5	76.753	76.282	76.615	78.301
2	6.5	79.458	78.227	75.671	78.803
3	6.5	77.947	78.693	76.412	79.461
Rata-rata		78.053	77.734	76.233	78.855
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)
a	4.5	2647.00	2498.76	2650.57	2595.57
b	4.5	2562.29	2715.75	2562.29	2681.37
β	4.5	2514.71	2650.57	2541.12	2625.82
Rata-rata		2574.67	2621.69	2584.66	2634.25
a	5	2512.31	2709.04	2670.65	2624.99
b	5	2573.31	2494.91	2585.39	2835.67
β	5	2709.04	2901.28	2561.74	2525.71
Rata-rata		2598.22	2701.75	2605.93	2662.13
a	5.5	2584.02	2672.30	2640.12	2628.57
b	5.5	2596.12	2739.95	2650.85	2695.40
β	5.5	2650.85	2759.20	2615.92	2773.78
Rata-rata		2610.33	2723.82	2635.63	2699.25
a	6	2458.06	2638.47	2618.12	2624.99
b	6	2673.12	2728.67	2739.12	2695.40
β	6	2638.47	2650.85	2465.21	2640.12
Rata-rata		2589.88	2672.66	2607.49	2653.50
a	6.5	2602.17	2624.99	2596.12	2736.18
b	6.5	2525.71	2683.57	2548.27	2579.34
β	6.5	2579.34	2647.82	2615.92	2615.92
Rata-rata		2569.08	2652.13	2586.77	2643.81
Spesifikasi		Min.800	Min.800	Min.800	Min.800

(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	3.80	3.60	3.75	3.60
2	4.5	3.60	3.40	3.60	3.40
3	4.5	3.20	3.30	3.30	3.70
	Rata-rata	3.53	3.43	3.55	3.57
1	5	3.50	3.75	3.70	3.60
2	5	3.50	3.40	3.75	3.50
3	5	3.70	3.50	3.50	3.80
	Rata-rata	3.57	3.55	3.65	3.63
1	5.5	3.65	3.50	3.80	3.55
2	5.5	3.80	3.60	3.75	3.70
3	5.5	3.40	3.70	3.55	3.80
	Rata-rata	3.62	3.60	3.70	3.68
1	6	3.50	3.50	3.65	3.70
2	6	3.70	3.80	3.80	3.65
3	6	3.80	3.60	3.70	3.75
	Rata-rata	3.67	3.63	3.72	3.70
1	6.5	3.85	3.70	3.85	3.70
2	6.5	3.60	3.80	3.60	3.85
3	6.5	3.65	3.60	3.80	3.80
	Rata-rata	3.70	3.70	3.75	3.78
	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	696.58	694.10	706.82	720.99
2	4.5	711.75	798.75	711.75	788.64
3	4.5	785.85	803.20	770.04	709.68
	Rata-rata	731.39	765.35	729.53	739.77
1	5	717.80	722.41	721.80	729.17
2	5	735.23	733.80	689.44	810.19
3	5	732.17	828.94	731.93	664.66
	Rata-rata	728.40	761.72	714.39	734.67
1	5.5	707.95	763.51	694.77	740.44
2	5.5	683.19	761.10	706.89	728.49
3	5.5	779.66	745.73	736.88	729.94
	Rata-rata	723.60	756.78	712.85	732.96
1	6	702.30	753.85	717.29	709.46
2	6	722.47	718.07	720.82	738.47
3	6	694.33	736.35	666.27	704.03
	Rata-rata	706.37	736.09	701.46	717.32
1	6.5	675.89	709.46	674.32	739.51
2	6.5	701.59	706.20	707.85	669.96
3	6.5	706.67	735.51	688.40	688.40
	Rata-rata	694.71	717.06	690.19	699.29
	Spesifikasi	Min.250	Min.250	Min.250	Min.250

(Sumber : Hasil penelitian)

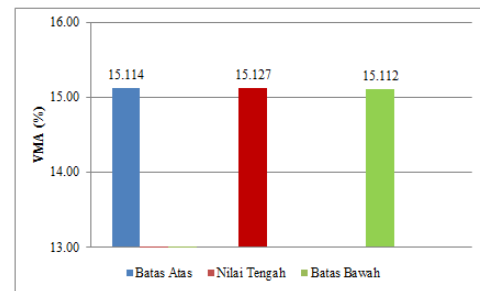
Dari Tabel 16 diperoleh hasil bahwa nilai MQ pada masing-masing daerah larangan mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya kadar aspal.

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

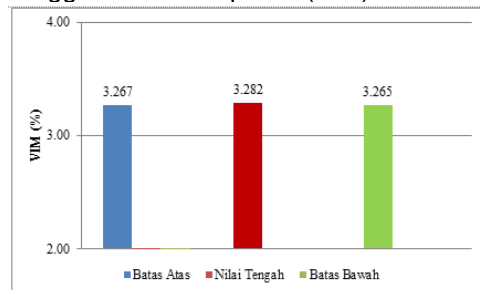
1. Rongga pori antar agregat (VMA)



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

Berdasarkan Gambar 2 dapat dilihat bahwa pada nilai tengah memiliki nilai VMA yang terbesar yaitu sebesar 15,127%. Sedangkan pada batas bawah memperoleh nilai VMA yang terkecil yaitu sebesar 15,112%.

2. Rongga dalam campuran (VIM)

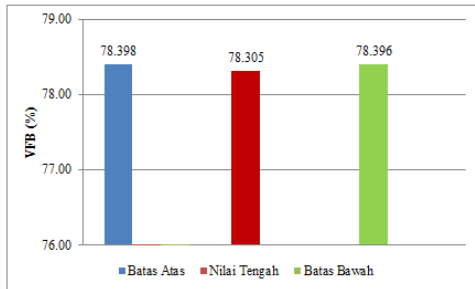


Gambar 3. Grafik hubungan antara gradasi daerah larangan dengan nilai VIM

Berdasarkan Gambar 3 dapat dilihat bahwa pada batas tengah memiliki nilai VIM yang terbesar yaitu sebesar 3,282%. Sedangkan pada batas

bawah memperoleh nilai VIM yang terkecil yaitu sebesar 3,265%.

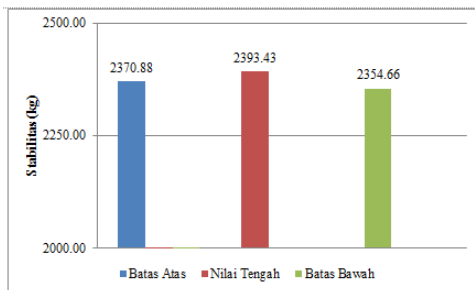
3. Rongga pori terisi aspal (VFB)



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

Berdasarkan Gambar 4 dapat dilihat bahwa pada batas atas memiliki nilai VFB yang terbesar yaitu sebesar 78,398%. Sedangkan pada batas tengah memperoleh nilai VFB yang terkecil yaitu sebesar 78,305%.

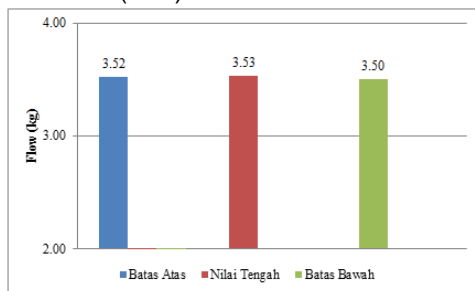
4. Stabilitas Marshall



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

Berdasarkan Gambar 4.28 diatas, dapat dilihat bahwa pada nilai tengah memiliki nilai stabilitas yang terbesar yaitu sebesar 2393,43 kg. Sedangkan pada batas bawah memperoleh nilai stabilitas yang terkecil yaitu sebesar 2354,66 kg.

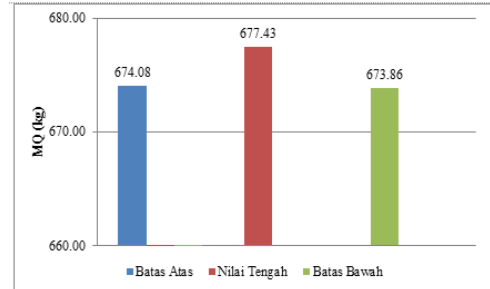
5. Pelelehan (flow)



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

Berdasarkan Gambar 6 dapat dilihat bahwa pada nilai tengah dan atas memiliki nilai flow yang terbesar yaitu sebesar 3,53 mm. Sedangkan pada batas bawah memperoleh nilai flow yang terkecil yaitu sebesar 3,50 mm.

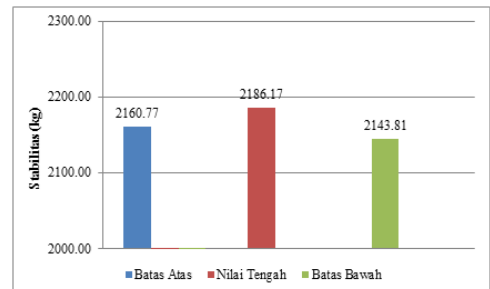
6. Marshall Quotient (MQ)



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 677,43 kg/mm. Sedangkan pada batas bawah memperoleh nilai MQ yang terkecil yaitu sebesar 673,86 kg/mm.

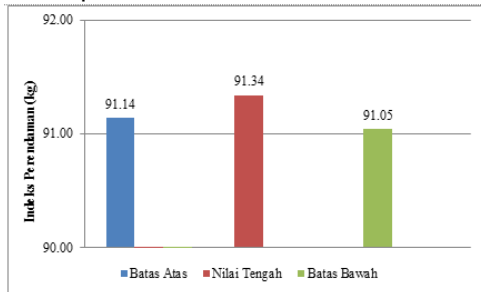
7. Marshall Immersion



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 2186,17 kg. Sedangkan pada batas bawah memperoleh nilai marshall immersion yang terkecil yaitu sebesar 2143,81 kg.

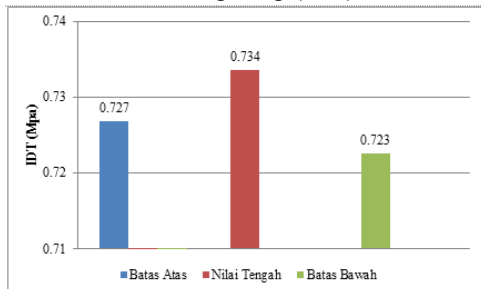
8. Indeks perendaman *Marshall Immersion*



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

Berdasarkan Gambar 9 dapat dilihat bahwa pada nilai tengah memiliki nilai indeks perendaman yang terbesar yaitu sebesar 91,34%. Sedangkan pada batas bawah memperoleh indeks perendaman yang terkecil yaitu sebesar 91,05%.

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 memiliki nilai *IDT* yang terbesar yaitu sebesar 0,734 MPa. Sedangkan pada batas bawah memperoleh nilai *IDT* yang terkecil yaitu sebesar 0,723 MPa.

KESIMPULAN

1. Hubungan antara gradasi agregat pada daerah larangan dengan nilai VMA, VIM dan VFB menghasilkan nilai koefisien korelasi (R) $> 0,9$, artinya hubungan tersebut sangat kuat. Nilai dari VMA, VIM dan VFB yang didapat telah memenuhi spesifikasi Bina Marga.
2. Gradasi agregat pada daerah larangan memiliki pengaruh terhadap sifat mekanis campuran laston. Hal ini dibuktikan dengan hubungan antara gradasi agregat pada daerah larangan dengan nilai stabilitas *Marshall*, kelelahan (*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 terhadap nilai kuat tarik tidak langsung (*IDT*). Dilihat dari besar beban yang dapat diterima oleh campuran beraspal yakni sebesar 0.727 Mpa untuk batas atas; 0,734 Mpa untuk nilai tengah dan 0,723 Mpa untuk batas bawah daerah larangan.

SARAN

1. Dapat dilakukan penelitian yang sejenis dengan menggunakan jenis campuran yang lain seperti Lataston dan Latasir.
2. Disarankan untuk menggunakan gradasi nilai tengah daerah larangan untuk mendesain gradasi campuran laston 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.

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.