

**KAJIAN SIFAT TEKNIS AGREGAT LOKAL
DI SEKITAR KABUPATEN BLORA
TERHADAP DURABILITAS CAMPURAN LASTON**

*A STUDY ON ENGINEERING PROPERTIES
OF BLORA REGENCY'S LOCAL AGGREGATES DUE TO
ASPHALT CONCRETE MIXTURE DURABILITY*

T E S I S

Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
Mencapai Gelar Magister Teknik



Disusun oleh:

**DENNY ADHIHARTA SETIAWAN
S 940908103**

**MAGISTER TEKNIK SIPIL
KONSENTRASI
TEKNIK REHABILITASI DAN PEMELIHARAAN BANGUNAN SIPIL
PROGRAM PASCA SARJANA
UNIVERSITAS SEBELAS MARET SURAKARTA
2010**

**KAJIAN SIFAT TEKNIS AGREGAT LOKAL
DI SEKITAR KABUPATEN BLORA
TERHADAP DURABILITAS CAMPURAN LASTON**

Disusun oleh :

DENNY ADHIHARTA SETIAWAN, ST
S 940908103

Telah disetujui oleh Tim Pembimbing

Tim Pembimbing :

<u>Jabatan</u>	<u>Nama</u>	<u>Tanda Tangan</u>	<u>Tanggal</u>
Pembimbing I	<u>Ir. Ary Setyawan, M.Sc. (Eng), Ph.D.</u> NIP. 19661204 199512 1 001
Pembimbing II	<u>Ir. Sulastoro RI, M.Si.</u> NIP. 19521105 198601 1 001

Mengetahui :
Ketua Program Studi Magister Teknik Sipil

Prof. Dr. Ir. Sobriyah, MS
NIP. 19480422 198503 2 001

**KAJIAN SIFAT TEKNIS AGREGAT LOKAL
DI SEKITAR KABUPATEN BLORA
TERHADAP DURABILITAS CAMPURAN LASTON**

Disusun oleh :

DENNY ADHIHARTA SETIAWAN, ST
S 940908103

Telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Pendadaran Tesis
Program Studi Magister Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret Surakarta
pada hari Senin tanggal 1 Pebruari 2010

Dewan Penguji :

<u>Jabatan</u>	<u>N a m a</u>	<u>Tanda Tangan</u>
Ketua	<u>S.A. Kristiawan, S.T., M.Sc. (Eng), Ph.D.</u> NIP. 19690501 199503 1 002
Sekretaris	<u>Prof. Dr. Ir. Sobriyah, MS</u> NIP. 19480422 198503 2 001
Penguji I	<u>Ir. Ary Setyawan, M.Sc. (Eng), Ph.D.</u> NIP. 19661204 199512 1 001
Penguji II	<u>Ir. Sulastoro RI, M.Si.</u> NIP. 19521105 198601 1 001

Mengetahui

Direktur Program
Pascasarjana

Ketua Program Studi
Magister Teknik Sipil

Prof. Drs. Suranto, M.Sc., Ph.D
NIP. 19570820 198503 1 004

Prof. Dr. Ir. Sobriyah, MS
NIP. 19480422 198503 2 001

PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Denny Adhieharta Setiawan, ST

NIM : S 940908103

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa tesis yang berjudul :

**KAJIAN SIFAT TEKNIS AGREGAT LOKAL
DI SEKITAR KABUPATEN BLORA
TERHADAP DURABILITAS CAMPURAN LASTON**

adalah betul-betul karya sendiri. Hal-hal yang bukan karya saya, tertulis dalam tesis tersebut, diberi tanda *citasi* dan ditunjukkan dalam Daftar Pustaka.

Apabila kemudian hari terbukti pernyataan saya tidak benar, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan tesis dan gelar yang saya peroleh dari gelar tersebut.

Surakarta, 31 Januari 2010

Yang membuat pernyataan

Denny Adhieharta Setiawan, ST

UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan mengucapkan syukur Alhamdulillah, akhirnya penulis dapat menyelesaikan tesis dengan judul *Kajian Sifat Teknis Agregat Lokal di Sekitar Kabupaten Blora terhadap Durabilitas Campuran Laston* dengan bantuan berbagai pihak. Ungkapan terima kasih khusus disampaikan kepada dosen pembimbing Ir.Ary Setyawan, M.Sc (Eng), Ph.D dan Ir. Sulastoro RI, M.Si, atas dukungan, bimbingan, petunjuk, saran, dan motivasi yang diberikan selama penelitian dan penyusunan tesis ini.

Pada kesempatan ini penulis juga mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Kepala Pusat Pembinaan Keahlian Teknik Konstruksi (PUSBIKTEK) Dinas Pekerjaan Umum beserta staf, atas kesempatan yang diberikan untuk dapat mengikuti pendidikan ini.
2. Direktur Program Pasca Sarjana Universitas Sebelas Maret beserta staf, atas segala dukungan dan fasilitas yang diberikan.
3. Ketua Program Studi Magister Teknik Sipil Rehabilitasi dan Pemeliharaan Bangunan Sipil UNS beserta staf, atas segala dukungan dan fasilitas yang diberikan.
4. Prof. Dr.Ir. Sobriyah, MS dan S.A. Kristiawan, S.T, MSc. Ph.D, selaku dosen penguji yang telah memberikan saran dan masukan untuk perbaikan tesis ini.
5. Bapak/Ibu Dosen Program Pasca Sarjana Magister Teknik Sipil Rehabilitasi dan Pemeliharaan Bangunan Sipil UNS, atas segala bantuan dan bimbingannya selama proses pengajaran.
6. Kepala Laboratorium Jalan Raya Fakultas Teknik UNS beserta staf, atas segala sarana dan fasilitas yang diberikan
7. Istri tercinta Nining Setia Ningrum, *my prince* Dimas Ananda Setiawan, dan *my princess* Nadia Alisha Mutiara Putri, yang senantiasa memberikan dukungan, dorongan semangat, dan selalu menjadi inspirasi selama penulis mengikuti pendidikan dan penyusunan tesis ini

8. Ayahanda Wahyu Suharto dan Ibunda Kuswardhani tercinta, atas segala doa, restu, suri tauladan, dan dukungannya selama penulis mengikuti pendidikan ini
9. Rekan-rekan mahasiswa MTRBS-UNS angkatan 2008, atas kekompakannya selama proses perkuliahan dan penyusunan tesis ini
10. Mas Yanuar dan Agus, yang selalu membantu melancarkan semua proses yang saya tempuh, dan Agus Sutopo yang ikut "bekerja keras membanting tulang" pada saat praktikum.
11. Laptop *Acer Aspire* 4315, printer Canon PIXMA iP1980, dan Honda K 4224 EE yang selalu memberikan bantuan siang dan malam.
12. Serta semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian penyusunan tesis ini
Semoga Tuhan membalas semua kebaikan yang diberikan dengan dengan rahmat yang berlimpah.

Penyusun menyadari bahwa tesis ini masih banyak kekurangan, oleh karena itu saran dan kritik yang membangun akan penulis terima dengan senang hati demi kesempurnaan tesis ini.

Akhir kata, semoga tesis ini bermanfaat bagi kita semua. Amin

Surakarta, Pebruari 2010

Penulis

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT karena berkat rahmat dan hidayahNya, penulis dapat menyelesaikan tesis dengan judul *Kajian Sifat Teknis Agregat Lokal di Sekitar Kabupaten Blora terhadap Durabilitas Campuran Laston*. Tesis ini sebagai salah satu persyaratan akademik untuk menyelesaikan Program Pasca Sarjana pada bidang keahlian Teknik Rehabilitasi dan Pemeliharaan Bangunan Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta.

Tesis ini mengangkat kajian tentang sifat-sifat teknis dua jenis agregat yang dipakai di Kabupaten Blora, sehingga diketahui jenis mana yang paling sesuai untuk perkerasan dan ketahanannya dalam campuran laston. Hal ini menjadi penting, karena tidak adanya data yang memadai yang bisa dipakai sebagai acuan penentuan jenis agregat yang memenuhi persyaratan. Besar harapan, bahwa tesis ini bisa menjadi salah satu penyelesaian terhadap persoalan tersebut.

Penyusun menyadari bahwa tesis ini masih banyak kekurangan, oleh karena itu saran dan kritik yang membangun akan penulis terima dengan senang hati demi kesempurnaan tesis ini.

Surakarta, Pebruari 2010

Penulis

ABSTRAK

Agregat yang dipasok dari dua *quarry* agregat adalah material paling penting untuk kegiatan konstruksi jalan di Blora, khususnya untuk campuran beraspal. Pertama agregat dari Rembang (kemudian disebut “Rembang”) dan yang kedua adalah agregat dari Pati (kemudian disebut “Pati”). Ada anggapan, bahwa Pati punya kualitas yang lebih baik daripada Rembang. Penelitian ini bertujuan untuk mengungkap sifat-sifat teknis agregat-agregat ini dan kinerjanya dalam campuran laston, dalam hal durabilitas perkerasan.

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen di laboratorium. Kedua agregat dari Rembang dan Pati diuji untuk mengetahui sifat-sifat teknisnya dengan beberapa pengujian, seperti berat jenis dan penyerapan air, abrasi Los Angeles, kelekatan terhadap aspal, impak agregat, kepipihan, dan pengujian petrografi. Dengan menggunakan gradasi laston Bina Marga No. II, benda uji dibuat dari agregat dan aspal dengan kandungan 4,5%, 5%, 5,5%, 6%, dan 6,5% terhadap berat total benda uji. Untuk menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO), dilakukan pengujian Marshall yang menghasilkan karakteristik Marshall (stabilitas, kelelahan, Marshall Quotient (MQ), densitas, dan porositas). Benda uji pada KAO kemudian ditinjau durabilitasnya dengan pengujian *Indirect Tensile Strength*, *Unconfined Compressive Strength*, dan Permeabilitas.

Secara umum, hasil penelitian menunjukkan bahwa sifat teknis agregat Pati dan Rembang dan kinerjanya dalam campuran laston memenuhi persyaratan, kecuali Rembang pada berat jenis dan penyerapan, dan Pati untuk indeks kepipihan. Penelitian juga menyimpulkan bahwa campuran yang menggunakan agregat Pati menunjukkan durabilitas yang lebih tinggi dibanding campuran yang menggunakan agregat Rembang, dalam hal nilai-nilai ITS, UCS, dan permeabilitas.

Kata kunci: agregat, durabilitas, laston, sifat teknis.

ABSTRACT

Aggregates supplied from two aggregate quarries are the most important material for road construction purposes in Blora, particularly for the bituminous mixture. The first was aggregates from Rembang (then called as “Rembang”), and the second was aggregates from Pati (then called as “Pati”). There was an assumption already, that Pati has better quality than Rembang. The aim of this research was reveal the engineering properties from these aggregates and their performance in asphalt concrete mixture, due to the durability of pavement.

The research used the laboratory experimental method. Both aggregates from Rembang and Pati were examined to determine their engineering properties with several test, such as specific gravity and water absorption, Los Angeles abrasion, affinity for asphalt, aggregate impact, flakiness, and petrographic examination. Using the asphalt concrete gradation No. II from Bina Marga, the specimens were made from aggregate and bitumen content at 4,5%, 5%, 5,5%, 6%, and 6,5% by total mass of specimen. The specimens tested with Marshall test, to determine the Optimum Bitumen Content (OBC), which was proceed from Marshall characteristic (stability, flow, Marshall Quotient (MQ), density, and porosity). The specimens with OBC then evaluated due to its durability with Indirect Tensile Strength, Unconfined Compressive Strength, and Permeability test.

Generally, the result shown that engineering properties of Pati and Rembang and its performance in asphalt concrete mixture was proper into requirements, except Rembang for specific gravity and water absorption, and Pati for flakiness index. The research also concluded that the mixture with Pati aggregates shown higher durability than the mixture with Rembang aggregates, in term of ITS, UCS, and permeability values.

Keywords: aggregates, asphalt concrete, durability, engineering properties.

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN	iii
HALAMAN UCAPAN TERIMA KASIH	iv
ABSTRAK	v
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	3
1.3. Batasan Masalah	3
1.4. Tujuan Penelitian	4
1.5. Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	
2.1. Tinjauan Pustaka	5
2.1.1. Sifat Teknis Agregat dan Karakteristik Petrografi	5
2.1.2. Kinerja Agregat dalam Campuran Beraspal	8
2.2. Landasan Teori	10
2.2.1. Siklus Batuan	10
2.2.2. Klasifikasi Batuan	12
2.2.2.1. Batuan Beku (<i>Igneous Rock</i>)	12
2.2.2.2. Batuan Sedimen (<i>Sedimentary Rock</i>)	12

2.2.2.3. Batuan Malihan (<i>Metamorphic Rock</i>)	13
2.2.3. Sifat Mineral Penyusun Batuan	13
2.2.3.1. Kekerasan (<i>hardness</i>)	13
2.2.3.2. Berat Jenis	14
2.2.4. Agregat	14
2.2.4.1. Klasifikasi Agregat Berdasarkan Proses Pengolahan	15
2.2.4.2. Klasifikasi Agregat Berdasarkan Ukuran	16
2.2.5. Sifat-sifat Agregat	17
2.2.5.1. Gradasi Agregat	17
2.2.5.2. Jenis Gradasi Agregat	19
2.2.5.3. Ukuran Maksimum Agregat	19
2.2.5.4. Kebersihan Agregat	20
2.2.5.5. Ketahanan Agregat	21
2.2.5.6. Bentuk dan Tekstur Agregat	21
2.2.5.7. Kadar Lempung	23
2.2.5.8. Daya Lekat terhadap Aspal	24
2.2.5.9. Berat Jenis Agregat	25
2.2.6. Pengujian terhadap Agregat	26
2.2.7. Kriteria Agregat untuk Perkerasan Jalan	28
2.2.8. Aspal	30
2.2.8.1. Aspal Alam	30
2.2.8.2. Aspal Minyak	31
2.2.9. Laston	33
2.2.10. Pengujian terhadap Laston	35
2.2.10.1. Pengujian Volumetrik	36
2.2.10.2. Pengujian <i>Indirect Tensile Strength</i>	36
2.2.10.3. Pengujian <i>Unconfined Compressive Strength</i> ...	37
2.2.10.4. Pengujian Permeabilitas	38
2.2.11. Durabilitas Campuran Beraspal	39

BAB III METODE PENELITIAN

3.1. Metode Penelitian	40
3.2. Tempat Penelitian	40
3.3. Teknik Pengumpulan Data	40
3.4. Bahan dan Alat Penelitian	41
3.5. Pengujian Agregat	42
3.5.1. Berat jenis dan penyerapan air	42
3.5.2. Abrasi Los Angeles	43
3.5.3. Kelekatan terhadap Aspal	43
3.5.4. <i>Aggregate Impact</i>	43
3.5.5. Uji Kepipihan	44
3.5.6. Pengujian Petrografi	44
3.6. Benda Uji	45
3.7. Pembuatan Benda Uji	46
3.8. Pengujian Laston	47
3.8.1. Pengujian Volumetrik	47
3.8.2. Pengujian <i>Marshall</i>	47
3.8.3. <i>Indirect Tensile Strength</i> (ITS)	48
3.8.4. <i>Unconfined Compressive Strength</i> (UCS)	48
3.8.5. Pengujian Permeabilitas	48

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Pengujian Agregat	52
4.1.1. Pengujian Petrografi	54
4.1.2. Pengujian Sifat Fisik Agregat	56
4.2. Pengujian Aspal	58
4.3. Pengujian Laston	59
4.3.1. Pengujian <i>Marshall</i>	60
4.3.2. Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)	61
4.3.3. Sifat <i>Marshall</i> pada Kadar Aspal Optimum	66
4.4. Hubungan Sifat Agregat terhadap Sifat <i>Marshall</i>	67
4.4.1. Stabilitas	67

4.4.2. Kelelehan (<i>Flow</i>)	69
4.4.3. <i>Marshall Quotient</i> (MQ)	72
4.5. Pengujian <i>Indirect Tensile Strength</i> (ITS)	73
4.6. Pengujian <i>Unconfined Compressive Strength</i> (UCS)	76
4.7. Pengujian Permeabilitas	78
4.8. Durabilitas Campuran Beraspal	81
 BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1. Kesimpulan	82
5.2. Saran	83
DAFTAR PUSTAKA	85
LAMPIRAN	LA-1

DAFTAR TABEL

Tabel	2.1.	Skala kekerasan Mohs	14
Tabel	2.2.	Berat jenis mineral	14
Tabel	2.3.	Ukuran dan bukaan saringan	18
Tabel	2.4.	Sifat perkerasan pada berbagai macam gradasi	19
Tabel	2.5.	Contoh gradasi agregat campuran	20
Tabel	2.6.	Resistensi mineral penyusun batuan terhadap pelapukan kimiawi	29
Tabel	2.7.	Persyaratan sifat fisik aspal	32
Tabel	2.8.	Gradasi agregat untuk spesifikasi Laston Bina Marga II	33
Tabel	2.9.	Persyaratan campuran laston	35
Tabel	4.1.	Hasil pengujian petrografi	54
Tabel	4.2.	Analisa pengaruh tingkat kekerasan mineral terhadap kekerasan mineral	56
Tabel	4.3.	Hasil pengujian agregat	57
Tabel	4.4.	Hubungan karakter petrografi dengan syarat agregat untuk perkerasan jalan	58
Tabel	4.5.	Hasil pengujian aspal	59
Tabel	4.6.	Rekapitulasi hasil <i>Marshall test</i> agregat Pati	61
Tabel	4.7.	Rekapitulasi hasil <i>Marshall test</i> agregat Rembang	61
Tabel	4.8.	Rekapitulasi <i>Marshall Properties</i> agregat pada Kadar Aspal Optimum	67
Tabel	4.9.	Hubungan nilai stabilitas <i>Marshall</i> dengan sifat agregat	69
Tabel	4.10.	Hubungan nilai <i>flow</i> dengan sifat agregat	71
Tabel	4.11.	Hubungan nilai <i>Marshall Quotient</i> dengan sifat agregat	73
Tabel	4.12.	Rekapitulasi hasil perhitungan ITS terkoreksi	74
Tabel	4.13.	Hubungan nilai ITS dengan sifat agregat	75
Tabel	4.14.	Rekapitulasi hasil perhitungan UCS terkoreksi	77
Tabel	4.15.	Hubungan nilai UCS dengan sifat agregat	78
Tabel	4.16.	Rekapitulasi hasil perhitungan permeabilitas	79
Tabel	4.17.	Hubungan nilai permeabilitas dengan sifat agregat	80

DAFTAR GAMBAR

Gambar	1.1.	Peta lokasi quarry agregat	2
Gambar	2.1.	Siklus batuan	11
Gambar	2.2.	Ukuran butiran agregat	16
Gambar	2.3.	Tipikal bentuk agregat kubikal, lonjong dan pipih	23
Gambar	2.4.	Ilustrasi berat jenis agregat	25
Gambar	2.5.	Pengujian ITS	36
Gambar	2.6.	Pengujian UCS	38
Gambar	2.7.	Pengujian permeabilitas	39
Gambar	2.8.	Hubungan antara jumlah ulangan siklus termal dengan <i>Indirect Tensile Strength</i> (ITS) dan <i>Unconfined Compressive Strength</i> (UCS) dalam KN/mm^2	39
Gambar	3.1.	Diagram alir penelitian	51
Gambar	4.1a.	Lokasi <i>quarry</i> agregat Pati pada Peta Rupa Bumi	53
Gambar	4.1b.	Lokasi <i>quarry</i> agregat Pati pada Peta Geologi	53
Gambar	4.2a.	Lokasi <i>quarry</i> agregat Rembang pada Peta Rupa Bumi	54
Gambar	4.2b.	Lokasi <i>quarry</i> agregat Rembang pada Peta Geologi	54
Gambar	4.3a.	Foto kondisi <i>quarry</i> agregat Pati (<i>pyroxene basalt</i>)	55
Gambar	4.3b.	Foto megaskopis agregat Pati (<i>pyroxene basalt</i>)	55
Gambar	4.3c.	Foto mikroskopis agregat Pati (<i>pyroxene basalt</i>)	55
Gambar	4.4a.	Foto kondisi <i>quarry</i> agregat Rembang (<i>porphyry andesite</i>)	55
Gambar	4.4b.	Foto megaskopis agregat Rembang (<i>porphyry andesite</i>)	55
Gambar	4.4c.	Foto mikroskopis agregat Rembang (<i>porphyry andesite</i>)	55
Gambar	4.5.	Gradasi laston spesifikasi BM II	59
Gambar	4.6a.	Grafik hubungan kadar aspal dengan stabilitas	62
Gambar	4.6b.	Grafik hubungan kadar aspal dengan <i>flow</i>	62
Gambar	4.6c.	Grafik hubungan kadar aspal dengan <i>Marshall Quotient</i>	62
Gambar	4.6d.	Grafik hubungan kadar aspal dengan densitas	63
Gambar	4.6e.	Grafik hubungan kadar aspal dengan porositas	63
Gambar	4.7.	Grafik hubungan kadar aspal dengan stabilitas campuran dengan agregat Pati	64

Gambar 4.8.	Grafik hubungan kadar aspal dengan stabilitas campuran dengan agregat Rembang	65
Gambar 4.9.	Grafik perbandingan nilai stabilitas pada KAO	68
Gambar 4.10.	Grafik perbandingan nilai <i>flow</i> pada KAO	70
Gambar 4.11.	Grafik perbandingan nilai <i>Marshall Quotient</i> pada KAO	72
Gambar 4.12.	Grafik perbandingan nilai ITS pada KAO	75
Gambar 4.13.	Grafik perbandingan nilai UCS pada KAO	77
Gambar 4.16.	Grafik perbandingan nilai permeabilitas pada KAO	79



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	A	Pengujian berat jenis dan penyerapan air	LA-1
		
		Pengujian keausan agregat dengan mesin abrasi Los Angeles	LA-2
		
		<i>Aggregate Impact Value</i>	LA-3
		
		Pengujian agregat pipih	LA-4
		
Lampiran	B	Hasil pengujian petrografi agregat Pati	LB-1
		
		Hasil pengujian petrografi agregat Rembang	LB-3
		
Lampiran	C	Kebutuhan mold kadar aspal 4,5%	LC-1
		
		Kebutuhan mold kadar aspal 5%	LC-2
		
		Kebutuhan mold kadar aspal 5,5%	LC-3
		
		Kebutuhan mold kadar aspal 6%	LC-4
		
		Kebutuhan mold kadar aspal 6,5%	LC-5
		
		Mic design agregat Pati KAO 5,33%	LC-6
		
		Mic design agregat Rembang KAO 5,86%	LC-7
		
Lampiran	D	Hasil pengujian volumetrik agregat Pati	LD-1
		
		Hasil perhitungan Marshall test agregat Pati	LD-2
		
		Hasil pengujian volumetrik agregat Rembang	LD-3
		
		Hasil perhitungan Marshall test agregat Rembang	LD-4
		
Lampiran	E	Data dan analisis hasil pengujian ITS	LE-1
		
		Data dan analisis hasil pengujian UCS	LE-2
		
		Hasil pengujian permeabilitas	LE-3
		
Lampiran	F	Koreksi tebal benda uji <i>Marshall test</i> agregat Pati	LF-1
		
		Koreksi tebal benda uji <i>Marshall test</i> agregat Rembang	LF-2

	
	Koreksi tebal benda uji ITS	LF-3
	
	Hasil pengujian volumetrik ITS	LF-4
	
	Koreksi tebal benda uji UCS	LF-5
	
	Hasil pengujian volumetrik UCS	LF-6
	
Lampiran G	Dokumentasi penelitian	LG-1
	



DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

A	: luas penampang benda uji, pada pengujian UCS/permeabilitas
AASHTO	: American Association of State Highway & Transportation Officials
A _b	: berat benda uji kering oven, pada pengujian berat jenis & penyerapan air
ACV	: <i>Aggregate Crushing Value</i>
A _{fi}	: Material lolos <i>thickness gauge</i> , pada uji kepipihan agregat
A _i	: Berat agregat pada uji Aggregate Impact
AIV	: Aggregate Impact Value (nilai impak agregat)
A _{ka}	: Prosentase agregat tertahan saringan No. 8, pada penentuan kadar aspal perkiraan
A _{la}	: Berat benda uji semula pada uji abrasi Los Angeles
ASTM	: American Standard Testing & Materials
B _b	: berat benda uji jenuh kering permukaan, pada pengujian berat jenis & penyerapan air
B _{fi}	: Material tertahan <i>thickness gauge</i> , pada uji kepipihan agregat
B _i	: Berat agregat tertahan saringan No. 8 pada uji Aggregate Impact
B _{ka}	: Prosentase agregat lolos saringan No. 8 dan tertahan No. 200, pada penentuan kadar aspal perkiraan
B _{la}	: Berat benda uji tertahan saringan No. 12 pada uji abrasi Los Angeles
BM	: Bina Marga
BS	: British Standard
C _b	: berat benda uji di air, pada pengujian berat jenis & penyerapan air
C _{ka}	: Prosentase agregat lolos saringan No. 200, pada penentuan kadar aspal perkiraan
D	: Densitas (kerapatan) benda uji, pada pengujian volumetrik
d	: diameter benda uji, pada pengujian ITS
H	: tebal rata-rata benda uji, pada pengujian ITS/permeabilitas
ITS	: Indirect Tensile Strength (kuat tarik tak langsung)
K	: koefisien permeabilitas, pada pengujian permeabilitas
KAO	: Kadar Aspal Optimum
OBC	: Optimum Bitumen Content (kadar aspal optimum)
KPa	: Kilo Pascal
MQ	: Marshall Quotient (hasil bagi stabilitas dengan kelelehan, kg/mm)
P _b	: Kadar aspal rencana
P	: beban terkoreksi, pada pengujian ITS/UCS
P	: tekanan air pengujian, pada pengujian permeabilitas
PI	: Particle Index (perhitungan kestabilan campuran dari kontribusi properti agregat)
PSV	: Polished Stone Value (nilai poles)
SG _{Ag}	: berat jenis agregat dalam benda uji, pada pengujian volumetrik
SG _b	: berat jenis aspal dalam benda uji, pada pengujian volumetrik
SG _{Mix}	: berat jenis benda uji, pada pengujian volumetrik
SNI	: Standar Nasional Indonesia
SSD	: Surface Saturated Dry (jenuh kering permukaan)
T	: waktu perembesan, pada pengujian permeabilitas

UCS	: Unconfined Compressive Strength (kuat tekan bebas)
V	: volume air rembesan, pada pengujian permeabilitas
VIM	: Voids in Mix (rongga dalam campuran)
VMA	: Voids in Mineral Aggregate (pori dalam agregat)
W_{ag}	: berat agregat dalam benda uji, pada pengujian volumetrik
W_b	: berat aspal dalam benda uji, pada pengujian volumetrik
W_{dry}	: berat benda uji di udara, pada pengujian volumetrik
W_s	: berat benda uji kering permukaan di udara, pada pengujian volumetrik
W_w	: berat benda uji di air, pada pengujian volumetrik
γ	: berat jenis air, pada pengujian permeabilitas
π	: phi; 3,14, pada pengujian ITS



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Agregat merupakan salah satu material konstruksi yang mempunyai peran sangat penting dan digunakan secara luas dalam kegiatan konstruksi. Dalam lapisan perkerasan jalan, baik perkerasan lentur maupun perkerasan kaku, menggunakan agregat sebagai material penyusun utama. Sebagai material utama penyusun perkerasan, proporsi agregat dalam campuran sebesar 90% - 95% dari berat perkerasan.

Untuk mencapai umur yang direncanakan dari perkerasan jalan, maka diperlukan mutu dan kualitas bahan yang memenuhi persyaratan yang ditentukan. Apabila mutu bahan kurang memenuhi persyaratan yang ditentukan, maka tingkat ketahanan dan keawetan konstruksi menjadi rendah. Kerusakan yang muncul akan menjadi salah satu indikator pertama tidak tercapainya umur rencana yang dikehendaki. Konsekuensi yang ditimbulkan adalah tingginya biaya untuk memelihara atau memperbaiki konstruksi tersebut.

Agregat yang dipakai di Kabupaten Blora dipasok dari *quarry* di Kabupaten Rembang dan *quarry* dari Kabupaten Pati. Agregat dari Rembang lebih sering dipakai karena pertimbangan ekonomis, yaitu harga yang lebih murah. Penggunaan agregat dari Kabupaten Pati kurang menjadi pilihan karena lebih mahal. Meski belum ada data teknis yang valid, pada masyarakat telah terbentuk anggapan bahwa agregat dari Pati memiliki kualitas yang lebih baik apabila dibandingkan dengan agregat dari Rembang.

Secara geografis, Kabupaten Rembang berada di sebelah utara Kabupaten Blora. Jarak ke *quarry* Rembang dari Blora kurang lebih 35 km. Kabupaten Pati terletak di sebelah barat Kabupaten Rembang, dengan jarak ke *quarry* kurang lebih

70 km. Mempertimbangkan jarak tempuh ke Rembang apabila dibandingkan dengan jarak tempuh ke Pati, maka faktor transportasi adalah menjadi salah satu penyebab perbedaan harga agregat yang bersangkutan. Lokasi geografis *quarry* terhadap Kabupaten Blora ditunjukkan pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1. Peta lokasi *quarry* agregat

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sifat teknis agregat Rembang maupun agregat Pati. Dari pengujian terhadap agregat-agregat ini diharapkan diketahui sifat-sifat teknis agregat dan kinerja laston (*asphalt concrete*) yang menggunakan agregat-agregat tersebut, sehingga dapat diketahui durabilitas perkerasan yang bersangkutan. Laston dipilih karena jenis campuran inilah yang banyak digunakan sebagai perkerasan jalan di Kabupaten Blora. Jenis pengujian yang akan dilakukan untuk mengetahui sifat teknis pada agregat-agregat ini antara lain : uji berat jenis, uji penyerapan air, uji abrasi Los Angeles, uji agregat *impact*, uji kepipihan, dan uji kelekatan agregat terhadap aspal. Untuk mengetahui kandungan mineral dalam agregat, dilakukan pengujian petrografi. Pengujian *Marshall* digunakan untuk mengetahui karakteristik *Marshall*. Untuk menilai durabilitas campuran beraspal, dilakukan pengujian kuat tarik tak langsung (*indirect tensile strength, ITS*), kuat tarik bebas (*unconfined compressive strength, UCS*) dan permeabilitas, sehingga akan diketahui campuran yang menggunakan agregat mana yang memiliki durabilitas yang lebih tinggi.

1.2. Perumusan Masalah

Dari uraian latar belakang di atas, maka permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana sifat teknis dan kandungan mineral agregat dari Kabupaten Rembang dan agregat dari Kabupaten Pati?
2. Bagaimanakah perbandingan sifat-sifat Marshall campuran laston yang menggunakan agregat dari kedua *quarry* tersebut?
3. Bagaimanakah perbandingan durabilitas campuran laston yang menggunakan agregat dari kedua *quarry* ditinjau dari kuat tarik tak langsung, kuat tekan bebas, dan permeabilitas?

1.3. Batasan Masalah

Agar penelitian ini tidak terlalu luas tinjauannya dan tidak menyimpang dari batasan masalah di atas, maka perlu pembatasan terhadap pembahasan. Batasan-batasan masalah yang ditetapkan adalah sebagai berikut :

1. Penelitian dan pengujian dilakukan di hanya sebatas penerapan di laboratorium.
2. Material yang digunakan adalah :
 - a. Agregat Rembang diambil dari *quarry* dari Desa Karas, Kecamatan Sedan, Kabupaten Rembang. Agregat Pati diambil dari *quarry* dari Desa Pegadon, Kecamatan Gunung Wungkal, Kabupaten Pati. Diambil dari batuan yang sering digunakan sebagai bahan agregat, dengan kriteria batuan yang dominan berwarna abu-abu dan berat.
 - b. Aspal keras Pertamina dengan nilai penetrasi 60/70.
 - c. Material pengisi (*filler*) berupa abu batu yang lolos saring # 200, dari masing-masing *quarry*.
3. Tinjauan untuk mengetahui sifat teknis agregat dari kedua *quarry* meliputi uji uji berat jenis, uji penyerapan air, uji abrasi Los Angeles, uji agregat *impact*, uji kelekatan agregat terhadap aspal, uji kepipihan, dan uji petrogafi. Tinjauan terhadap aspal meliputi uji penetrasi, titik lembek, titik nyala, titik bakar, daktilitas, dan berat jenis.
4. Durabilitas campuran laston ditinjau melalui pengujian kuat tarik tak langsung (ITS), kuat tekan bebas (UCS), dan permeabilitas.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui sifat teknis dan kandungan mineral agregat yang berasal dari Kabupaten Rembang dan agregat dari Kabupaten Pati.
2. Memperoleh perbandingan sifat-sifat Marshall dari campuran yang menggunakan agregat dari masing-masing *quarry*.
3. Memperoleh perbandingan durabilitas laston yang menggunakan agregat Rembang dan agregat Pati ditinjau dari kuat tarik tak langsung, kuat tekan bebas, dan permeabilitas.

1.5. Manfaat Penelitian

Dari penelitian yang akan dilakukan, diharapkan ada beberapa manfaat yang diambil, antara lain sebagai berikut :

1. Akan diperoleh rujukan untuk mengetahui sifat teknis agregat dari Kabupaten Rembang dan agregat dari Kabupaten Pati. Disamping itu akan diketahui karakteristik *Marshall*, kuat tekan bebas, kuat tarik dan permeabilitas dari agregat dari masing-masing *quarry* dalam laston.
2. Dapat memberikan sumbangan pertimbangan teknis dan ilmiah kepada pihak-pihak yang berkepentingan dalam penggunaan agregat dari *quarry* Kabupaten Rembang dan agregat dari *quarry* Kabupaten Pati.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Tinjauan pustaka merupakan tulisan yang merupakan hasil penelitian yang berhubungan dengan sifat teknis agregat dan karakter petrografi, serta kinerja agregat dalam perkerasan.

2.1.1. Sifat Teknis Agregat dan Karakteristik Petrografi

Identifikasi terhadap karakter agregat berdasarkan sifat fisik, pengujian petrografi, dan sifat teknis merupakan hal yang sangat penting untuk keperluan konstruksi di Pakistan. Tiga aspek utama penentu karakter agregat, yaitu sumber agregat, proses pemecahan, dan properti dasar yang diperoleh dari pengujian dipadukan untuk dianalisis. Analisis kualitatif terhadap agregat dari berbagai sumber dan sifat petrografi digabung dengan hasil pengujian akan sifat-sifat agregat. Sebuah “peta sumber agregat” siap pakai berdasarkan database geografis menjadi keluaran dari penelitian ini (Zaidi et al, 2008).

Karakter dan morfologi agregat (seperti bentuk, sudut, dan tekstur permukaan) sangat mempengaruhi kinerja perkerasan. Dewasa ini analisis *image* (citra fotografi) lebih banyak digunakan untuk mengetahui sifat-sifat fisik agregat daripada metode konvensional laboratorium yang boros waktu dan tenaga. Pengembangan metode portabel (praktis) untuk menentukan sifat agregat kasar kemudian lebih dikembangkan. Menggunakan program komputer yang merupakan penerapan metode analisis *Fourier* untuk menganalisis bentuk, sudut dan tekstur permukaan, yang kemudian terintegrasi dengan komputer (dengan *Mathlab*) dan kamera. Hasil analisis statistik menunjukkan bahwa dengan metode tersebut bisa diperoleh peringkat kuantitatif dari agregat dengan peringkat

kualitasnya. Nilai yang diharapkan berdasarkan bentuk, sudut dan tekstur permukaan sebuah agregat akan diperoleh dari 15 profil berbagai arah (Wang, et al, 2008)

Terdapat hubungan yang erat antara karakteristik petrografi batuan vulkanik Kroasia dengan ketahanan batuan tersebut terhadap proses pemecahan. Beberapa karakteristik petrografi yang mempengaruhi ketahanan agregat terhadap pemecahan adalah: ukuran kristal, bentuknya, susunan kristal, dan adanya retak mikro pada batuan induk. Kandungan mineral juga mempengaruhi ketahanan batuan yang bersangkutan terhadap proses pemecahan. Pada kajian mengenai ukuran kristal, disimpulkan bahwa agregat yang mengandung ukuran kristal yang besar mempunyai ketahanan rendah terhadap pemecahan, walaupun memiliki karakter petrografi yang lebih baik (retak mikro yang sedikit, kandungan mineral kurang menguntungkan sedikit). Adanya retak mikro (retak dengan lebar kurang dari 0,1 mm) pada batuan induk ternyata sangat mempengaruhi kekuatan agregat, karena retak mikro ini biasanya juga masih terdapat pada agregat (setelah batu dipecah). Retak mikro akan membentuk *mikroblock* yang memperlemah struktur material batuan dan ketahanan terhadap pecah. Hal ini juga berlaku pada batuan dengan nilai abrasi yang baik (Fistric et al, 2002).

Sifat teknis agregat yang dari Banten, Jawa Barat yang merupakan batuan *andesite*, dibandingkan dengan *olivine basalt* yang diambil dari Irlandia Utara. Sejarah geologi batuan di kedua negara sangat mempengaruhi properti fisik, mekanis dan kekekalan batuan yang bersangkutan. Batuan mengalami iklim yang berbeda, tropis pada batuan di Banten dan Irlandia merupakan daerah beriklim dingin, sehingga mengalami pelapukan yang berbeda pula. Korelasi antara data fisik dan data mekanis batuan dari kedua negara menunjukkan bahwa batuan *basalt* dari Irlandia mempunyai kerapatan dan kekuatan yang lebih tinggi daripada batuan dari Banten. Terdapat korelasi antara berat jenis dan penyerapan air, dimana batuan dengan porositas tinggi (lebih menyerap air) akan mengurangi berat jenis. Angka penyerapan air batuan dari kedua negara kurang dari 5%. Disamping itu terdapat korelasi antara penyerapan air dan nilai abrasi Los Angeles, dimana dengan tingkat penyerapan air yang bertambah akan menaikkan nilai abrasi Los Angeles, dengan kata lain agregat dengan tingkat penyerapan air

yang tinggi akan lebih mudah mengalami degradasi. Dapat dikatakan bahwa nilai abrasi Los Angeles dapat diprediksi apabila nilai penyerapan air diketahui (Widajat, 2005).

Variasi mineralogi dari agregat dari Longford Down Massif akan memberikan nilai PSV yang bervariasi pula. Agregat memiliki nilai PSV yang akan bertambah seiring dengan prosentase kandungan kuarsa (*quartz*) yang ada dalam sampel agregat. Dibandingkan dengan agregat kasar dan agregat halus, agregat medium memiliki nilai PSV yang paling tinggi (Woodside, et al, 1996).

Perbedaan parameter petrografi dari batuan-batuan granit sangat mempengaruhi sifat mekanis dari batuan yang bersangkutan, sehingga sifat-sifat fisik dan mekanis dari batuan merupakan fungsi dari parameter petrografi dari batuan tersebut. Ketahanan batuan terhadap abrasi akan bertambah seiring dengan bertambahnya kandungan *quartz* dan *feldspar*. Sementara kandungan *mica* dalam batuan justru akan memberi efek yang sebaliknya, yaitu ketahanan terhadap abrasi makin berkurang. Ketahanan batuan terhadap *impact* atau beban kejut akan bertambah jika kandungan *mica* bertambah dan kandungan *feldspar* berkurang (Kondelchuk et al, 2005)

Penyebab penurunan agregat di masa layannya diduga penyebabnya adalah perubahan beberapa mineral dalam batuan akibat pengaruh cuaca (mineral *volcanik glass* menjadi mineral lempung, *iron* oksida, dan *calcite*, yang melemahkan ikatan aspal-agregat). Pencucian agregat dilakukan untuk mengatasi masalah ini. Ternyata pada proses pencucian didapat kandungan *coagulant* yang menarik partikel-partikel kecil (abu batu dan sebagainya) ke permukaan agregat dan menjadikan permukaan agregat bermuatan listrik positif, sehingga ikatan terhadap aspal menjadi lemah. Menghilangkan dan mengontrol *coagulant* (menurunkan konsentrasi *coagulant* dalam air pencuci agregat) menjadi penyelesaian, yang akan menghasilkan agregat yang bersih dan awet. (Hudec, et al 2008)

Secara mineralogi, agregat lokal Kalimantan termasuk kelompok batuan *sandstone* yang mengandung silika (SiO_2) sebanyak $\pm 65\%$. Agregat lokal ini memiliki nilai abrasi $\pm 20\%$, berat jenis $\pm 2,65$, maka agregat tersebut memenuhi syarat apabila digunakan sebagai lapis pondasi agregat kelas A maupun B. Namun

dengan nilai kelekatan terhadap aspal yang hanya 80% dan stabilitas sisa 40%, maka diperlukan tambahan aditif untuk meningkatkan kelekatan terhadap aspal, sehingga mencapai persyaratan yang ditentukan (Darsana, 2009)

2.1.2. Kinerja Agregat dalam Perkerasan Beraspal

Perilaku deformasi pada *hot mix asphalt* (HMA) karena penggunaan agregat dari sisa peleburan baja (*slag*) pada kuat tarik tak langsung campuran HMA dilakukan pada pada campuran yang masing-masing mengandung *slag*, batu kapur (*limestone*), dan basal. Nilai kuat tarik tak langsung tertinggi dimiliki oleh campuran yang menggunakan *slag* yaitu 2,3 kali nilai dari campuran dengan batu kapur, dan 2,2 kali nilai dari campuran basal. Nilai kuat tarik tak langsung yang tinggi akan meningkatkan ketahanan campuran terhadap keretakan. Penggunaan *slag* pada campuran HMA dapat diaplikasi pada persimpangan, dimana kekakuan campuran sangat diperlukan. (Kok & Kuloglu, 2008).

Durabilitas perkerasan beraspal, dalam hal ini ketahanan perkerasan terhadap retak (*fracture resistant*) dapat diprediksi dari hasil pengujian kuat tarik tak langsung dan kuat tekan bebas. Ketahanan perkerasan terhadap retak dapat dihubungkan dengan nilai kuat tarik tak langsung dari perkerasan yang bersangkutan, ketahanan perkerasan terhadap retak, kuat tarik tak langsung, dan kuat tekan bebas akan menurun seiring dengan bertambahnya jumlah ulangan siklus termal. (Othman, 2006).

Adanya air (*presence of water*) dalam agregat yang sedang menerima beban akan menurunkan kekuatan agregat tersebut. Nilai abrasi dari agregat Clereng menunjukkan angka 22,64% pada kondisi kering oven dan 26,30% pada kondisi SSD. Hal ini menunjukkan bahwa air di dalam agregat akan berpengaruh dalam pengujian, dan penelitian menunjukkan bahwa kekuatan agregat akan cenderung melemah. Hal yang sama juga ditunjukkan dalam pengujian kekerasan, dimana dalam kondisi kering didapat angka 15,92% sedangkan dalam kondisi SSD didapat angka 21,80%. Hal ini membuktikan bahwa agregat yang basah juga memberikan kontribusi dalam timbulnya penurunan kinerja perkerasan selama umur rencana (Suprpto, 1991).

Perlakuan suhu tinggi terhadap agregat dari berbagai jenis batuan menunjukkan bahwa agregat akan mengalami kehilangan sebagian massanya

(terutama dari batuan jenis *basalt*). Gradasi agregat (terutama pada fraksi halus agregat) akan mengalami perubahan akibat perlakuan suhu tinggi. Kemudian melalui tes abrasi Los Angeles terhadap agregat pasca perlakuan suhu tinggi juga menunjukkan bahwa nilai abrasi agregat mengalami peningkatan. Artinya ketahanan agregat terhadap abrasi dan impak akan mengalami penurunan apabila dibandingkan dengan agregat tanpa perlakuan suhu tinggi (Giuliani, 2002).

Kombinasi antara agregat yang berlainan jenis dan bitumen memberikan pengaruh yang signifikan terhadap *skid resistance* pada perkerasan di awal masa layannya. Jenis agregat yang dibutuhkan adalah agregat yang mampu tetap menjaga *skid resistance* meski dalam keadaan basah. Sementara keberadaan air turut mempercepat terjadinya *stripping*, yaitu lepasnya butiran agregat dari perkerasan. Akan tetapi perkerasan yang mengalami *stripping* sebenarnya akan menambah *skid resistance* dari perkerasan yang bersangkutan. Penelitian ini menyimpulkan bahwa penggunaan agregat dengan nilai PSV yang tinggi tidak menjamin *skid resistance* yang tinggi di awal masa layan dari perkerasan. Tetapi agregat dengan nilai PSV rendah justru mempercepat terjadinya *stripping* (Woodward, et al, 2002).

Karakteristik morfologi agregat kasar ternyata mempunyai hubungan erat dengan kekuatan perkerasan beraspal. Agregat berbentuk *cubical* memiliki ketahanan terhadap *rutting* dan memiliki friksi internal tertinggi apabila dibandingkan dengan bentuk agregat yang lain. Semakin banyak agregat *cubical* dalam campuran, semakin tinggi nilai PI. Sementara agregat dengan bentuk pipih dalam perkerasan beraspal memiliki tingkat kepadatan yang rendah dan sangat rentan terhadap perubahan bentuk akibat gaya geser. *Particle Index* (PI) merupakan metode yang tepat untuk memperhitungkan kestabilan perkerasan beraspal ditinjau dari kombinasi kontribusi bentuk agregat, bentuk sudut agregat (*angularity*), serta permukaan agregat. Nilai PI berhubungan erat dengan karakteristik geometrik agregat (Chen, et al 2005).

Bentuk agregat (*aggregate shape*) ternyata memberikan pengaruh dalam kemudahan pengerjaan dan kinerja perkerasan beraspal. Agregat yang pipih mempengaruhi nilai Marshall pada campuran yang mengandung agregat tersebut. Stabilitas mengalami penurunan, *flow* mengalami kenaikan, VMA dan VIM juga

mengalami kenaikan. Kandungan aspal bertambah seiring dengan penambahan jumlah agregat pipih dalam campuran. *Workability Index* menurun seiring dengan penambahan jumlah agregat pipih dalam campuran (Siswosoebroto et al, 2005).

Batu kapur asal Tuban secara teknis tidak layak digunakan sebagai bahan lapis perkerasan aspal beton. Kinerja dari batu kapur pada campuran laston menunjukkan bahwa campuran memiliki nilai *Marshall Quotient* (MQ) yang tinggi (>350 kg/mm). Tingginya nilai MQ berarti campuran memiliki nilai stabilitas yang tinggi, namun fleksibilitas rendah. Penyerapan aspal yang tinggi oleh batu kapur Tuban menyebabkan nilai VIM (*Void in Mix* – rongga dalam campuran) menjadi sangat tinggi (> 5%), yaitu rongga antar agregat menjadi besar karena aspal lebih banyak yang terserap ke dalam agregat (Arifin, et al, 2008).

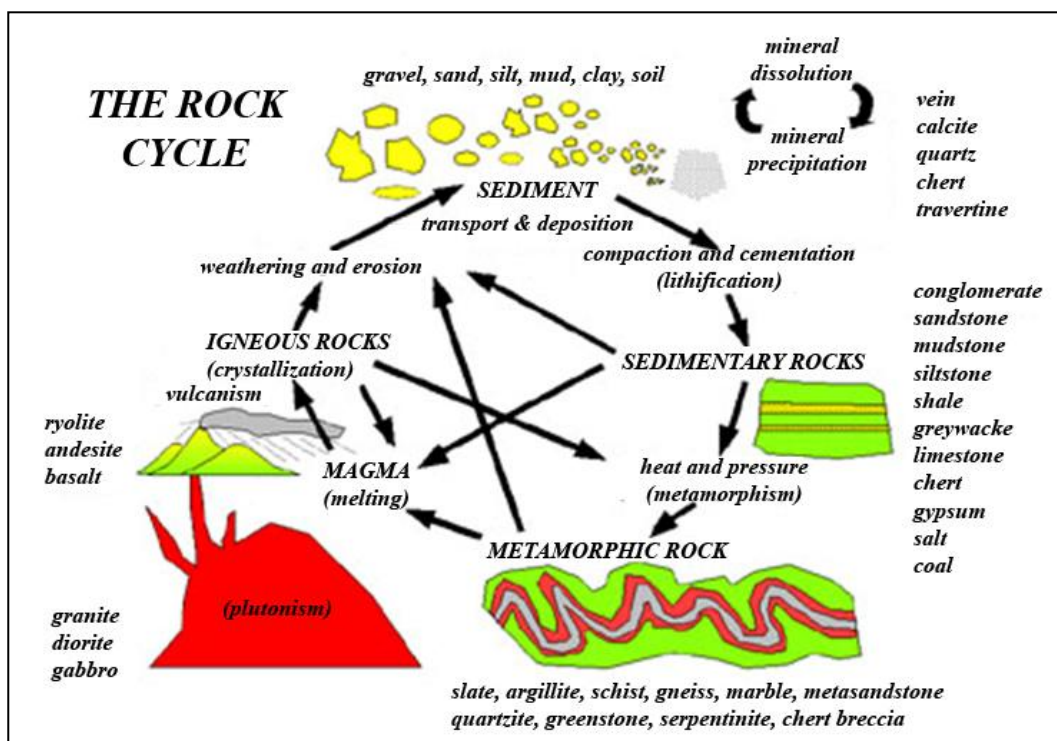
2.2. Landasan Teori

Landasan teori berisi semua teori berhubungan dengan batuan, agregat, dan perkerasan beraspal, yang digunakan untuk penelitian.

2.2.1. Siklus Batuan

Seperti halnya air, batuan juga mengalami siklus. Siklus batuan bermula dari proses pembentukan magma. Batuan pembentuk kulit bumi selalu mengalami siklus (daur), yaitu batuan mengalami perubahan wujud dari magma, batuan beku, sedimen, malihan dan kembali lagi menjadi magma. Tempat terjadinya pembekuan batuan mungkin terjadi di permukaan bumi, atau di dalam dapur magma bersama-sama dengan proses pembekuan magma secara keseluruhan. Oleh karena itu, batuan yang berasal dari magma akan berbeda-beda pula jenisnya, meskipun semua tetap dinamakan batuan beku. Akibat pengaruh atmosfer, batuan beku di permukaan bumi akan rusak, hancur, dan kemudian terbawa oleh aliran air, gletser, dan hembusan angin. Tidak jarang pada waktu hujan lebat, batuan yang hancur itu meluncur pada lereng yang curam karena gravitasi dan pada akhirnya batuan yang telah diangkut tersebut akan diendapkan di tempat baru. Sampai pada akhirnya terbentuklah batuan endapan yang tertimbun di dataran rendah, sungai, danau atau di laut. Karena tenaga endogen, batuan beku maupun batuan endapan pada suatu masa mencapai suatu tempat

yang berdekatan dengan magma. Akibat terjadinya persinggungan dengan magma, batuan sedimen atau beku berubah bentuknya atau biasa disebut batu malihan (*metamorf*). Batuan malihan dapat juga terbentuk akibat tekanan yang dialami oleh batuan sedimen. Pada suatu tempat, batuan malihan akan mengalami proses pengangkatan sehingga lapisan yang sebelumnya berada di dalam akan terangkat keluar permukaan bumi. Tetapi dapat pula akibat tenaga eksogen,



Sumber: Pras, 2009

Gambar 2.1. Siklus batuan

batuan mengalami pelapukan, erosi dan pengangkutan, sehingga kembali menjadi batuan sedimen. Hal ini dapat juga terjadi karena aktifitas vulkanik dimana batuan sedimen bertemu dengan resapan magma, batuan malihan berbaur dan menjadi bagian dari magma tersebut. Akibatnya, batuan malihan menjadi batuan beku lagi. Fenomena seperti inilah yang disebut siklus batuan. Siklus batuan tersaji pada Gambar 2.1

2.2.2. Klasifikasi Batuan

Berdasarkan pada asal terjadinya, klasifikasi batuan (Smith & Collis, 1993) adalah:

2.2.2.1. Batuan Beku (*Igneous Rock*)

Jenis batuan ini berasal dari material cair atau magma cair dari dalam perut bumi yang keluar dan membeku di permukaan bumi. Batuan jenis ini masih dibedakan atas batuan beku luar (*extrusive igneous rock*) dan batuan beku dalam (*intrusive igneous rock*). Batuan beku luar dibentuk dari material yang keluar ke permukaan bumi disaat gunung berapi meletus yang akibat pengaruh cuaca mengalami pendinginan dan membeku. Umumnya berbutir halus, seperti misalnya batu apung, andesit, *basalt*, *obsidian*, dan sebagainya. Batuan beku dalam dibentuk dari magma yang tidak dapat keluar ke permukaan bumi. Magma mengalami pendinginan dan membeku secara perlahan-lahan. Batuan jenis ini dapat ditemui di permukaan bumi karena erosi dan gerakan bumi. Batuan jenis ini memiliki tekstur kasar. Batuan jenis ini antara lain adalah batu *granit*, *granodiorit*, *gabbro*, dan *diorit*.

2.2.2.2. Batuan Sedimen (*Sedimentary Rock*)

Batuan endapan (sedimen) adalah jenis batuan yang terjadi karena adanya pengendapan materi hasil erosi. Materi hasil erosi terdiri atas berbagai jenis partikel, ada yang kasar, halus, ada yang berat, ringan. Cara pengangkutannya pun bermacam-macam, karena terdorong (*traction*), terbawa secara melompat-lompat (*saltation*), terbawa dalam bentuk suspensi, dan ada pula yang larut (*salutation*). Batuan sedimen terbentuk dari lepasnya bagian dari batuan yang terbawa oleh angin, air maupun es dan membentuk berbagai lapisan dan kemudian terkonsolidasi. Batuan sedimen juga dapat berasal dari campuran partikel mineral, sisa-sisa hewan dan tanaman yang mengalami pengendapan dan pembekuan. Pada umumnya merupakan lapisan-lapisan pada kulit bumi, hasil endapan di danau, laut dan sebagainya.

2.2.2.3. Batuan Malihan (*Metamorphic Rock*)

Batuan malihan, yaitu batuan yang berasal dari batuan sedimen atau batuan beku (*igneous* dan *sedimentary rocks*) namun kemudian berubah dari sifat asalnya akibat dari panas dan tekanan yang tinggi di dalam kulit bumi, sehingga menghasilkan jenis batuan baru dengan karakteristik baru. Perubahan batuan terjadi dari bermacam-macam hal, antara lain sebagai berikut :

- a. Suhu tinggi, berasal dari magma karena berdekatan dengan dapur magma sehingga metamorfosis ini disebut metamorfosis kontak. Contoh batuan hasil dari proses ini adalah batu marmer dari batu kapur, antrasit dari batu bara.
- b. Tekanan tinggi, berasal dari adanya endapan-endapan yang sangat tebal di atasnya. Contoh batu pasir dari pasir.
- c. Tekanan dan suhu tinggi, terjadi jika ada lipatan dan geseran pada waktu terjadi pembentukan pegunungan. Metamorfosis ini disebut metamorfosis dinamo. Misalnya batu tulis.
- d. Penambahan bahan lain, pada saat terjadi perubahan bentuk terkadang terdapat penambahan bahan lain. Jenis batuan ini disebut batuan metamorf *pneumatolitis*.

2.2.3. Sifat Mineral Penyusun Batuan

Kajian terhadap sifat mineral merupakan hal yang harus dilakukan untuk mengetahui sifat batuan. Karakteristik petrografi agregat sangat berpengaruh terhadap sifat fisik-mekanik agregat (Sucipta et all, 2000). Sifat-sifat mineral utama yang menentukan sifat fisik batuan antara lain:

2.2.3.1. Kekerasan (*hardness*)

Penilaian kekerasan mineral berdasarkan skala yang direka oleh Friedrich Mohs (1812) yang dikenal dengan *Mohs Scale*. Secara berurutan Mohs menyusun 10 mineral dari yang paling lunak ke mineral yang paling keras, seperti tersaji pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Skala kekerasan Mohs

Jenis Mineral	Skala Kekerasan
<i>Talc</i>	1
<i>Gypsum</i>	2
<i>Calcite</i>	3
<i>Fluorite</i>	4
<i>Apatite</i>	5
<i>Feldspar</i>	6
<i>Quartz</i>	7
<i>Topaz</i>	8
<i>Corundum</i>	9
<i>Diamond</i>	10

Sumber:Alden, 2009

2.2.3.2. Berat jenis

Kerapatan batuan dapat dinyatakan sebagai “berat jenis”, dimana kerapatan batuan relatif terhadap kerapatan air. Meski demikian, batuan dengan jenis sama bisa memiliki berat jenis yang berlainan, tergantung dari perbedaan kandungan mineral dan pori/ruang. Pada Tabel 2.2. berikut tersaji berat jenis beberapa mineral utama penyusun batuan beku:

Tabel 2.2. Berat jenis mineral

Jenis mineral	Berat jenis
<i>Albite</i>	2,6 – 2,63
<i>Andesine</i>	2,6 – 2,63
<i>Bytownite</i>	2,72 – 2,74
<i>Hornblende</i>	2,9 – 3,4
<i>Pyroxene</i>	3,18

Sumber: Alden, 2009

2.2.4. Agregat

Agregat didefinisikan sebagai pecahan dari batuan, yang digunakan secara bersamaan baik dalam keadaan terikat atau tidak terikat, yang merupakan bagian suatu struktur. Pasir, kerikil dan batu pecah merupakan adalah merupakan agregat yang menjadi komponen utama dalam penggunaan dalam struktur dewasa ini. Dalam perkembangan lebih lanjut, penggunaan agregat *recycle* mulai menjadi pertimbangan di tengah semakin berkurangnya sumber daya alam yang ada.

ASTM (1974) mendefinisikan agregat/batuan sebagai suatu bahan yang terdiri dari mineral padat, berupa massa berukuran besar atau berupa fragmen-fragmen. Agregat/batuan merupakan komponen utama dari perkerasan jalan yang mengandung 90 – 95% agregat berdasarkan prosentase berat atau 75 – 85% berdasarkan prosentase volume. Dengan demikian, sifat-sifat agregat dan hasil campuran agregat dengan material lain menentukan daya dukung, mutu dan keawetan perkerasan jalan.

2.2.4.1. Klasifikasi Agregat Berdasarkan Proses Pengolahan

Berdasarkan proses pengolahannya, agregat dapat dibedakan atas :

a. Agregat alam/agregat siap pakai

Agregat siap pakai adalah agregat yang dapat digunakan sebagai material perkerasan jalan dengan bentuk dan ukuran sebagaimana diperoleh di lokasi asalnya. Agregat jenis ini digunakan sesuai dengan bentuk aslinya yang ada di alam atau sedikit mengalami pengolahan. Dua bentuk agregat alam yang sering digunakan adalah kerikil dan pasir. Kerikil adalah agregat dengan ukuran partikel $>1/4$ inch (6,35 mm), pasir adalah agregat dengan ukuran partikel $< 1/4$ inch tetapi lebih besar dari 0,075 mm (saringan No. 200). Berdasarkan tempat asalnya, agregat alam juga dapat dibedakan atas *pitrun*, yaitu agregat yang diambil dari tempat terbuka di alam, dan *bankrun*, yaitu agregat yang berasal dari sungai (endapan sungai).

b. Agregat yang mengalami proses pengolahan

Agregat yang diproses adalah batuan yang telah dipecah dan disaring sebelum digunakan. Pemecahan dilakukan karena tiga alasan yaitu : untuk merubah tekstur permukaan partikel dari licin ke permukaan partikel kasar, untuk merubah bentuk dari bulat (*rounded*) ke kubus (*cubical*), dan untuk menambah distribusi dari rentang ukuran agregat.

c. Agregat Buatan

Agregat ini didapat dari proses kimia atau fisika dari beberapa material sehingga menghasilkan suatu material baru yang sifatnya menyerupai agregat. Beberapa jenis agregat ini merupakan hasil sampingan dari proses industri dan proses material yang sengaja diproses agar bisa digunakan sebagai agregat atau sebagai material pengisi (*filler*). *Slag* merupakan contoh agregat yang didapat dari hasil

sampingan produksi. Batuan ini adalah substansi non metalik yang timbul ke permukaan dari pencairan atau peleburan biji besi selama proses peleburan. Pada saat menarik besi dari cetakan, *slag* ini akan pecah menjadi partikel yang lebih kecil, baik melalui perendaman atau memecahkannya setelah dingin.

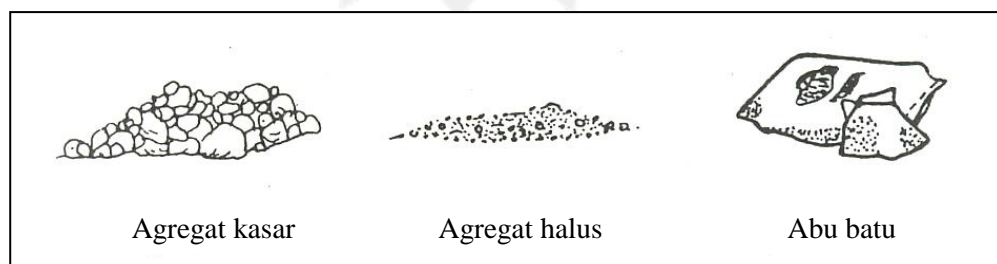
2.2.4.2. Klasifikasi Agregat Berdasarkan Ukuran

Batasan dari masing-masing agregat pada penggolongan berdasarkan ukuran seringkali sedikit berbeda, tergantung institusi yang mengeluarkannya. Berikut adalah contoh beberapa institusi yang mengeluarkan penggolongan agregat berdasarkan ukuran. *The Asphalt Institute* dan Depkimpraswil, pada Spesifikasi Baru Campuran Panas, 2002, membedakan agregat menjadi :

- Agregat kasar, adalah agregat dengan ukuran butir lebih besar dari saringan No. 8 (=2,36 mm).
- Agregat halus, adalah agregat dengan ukuran butiran lebih kecil dari saringan No. 8 (=2,36 mm).
- Bahan pengisi (*filler*), adalah bagian dari agregat halus yang lolos saringan No. 30 (=0,60 mm).

Sementara Bina Marga, Buku 3 Spesifikasi (1993), membedakan agregat menjadi:

- Agregat kasar, adalah agregat dengan ukuran butiran lebih besar dari saringan No. 4 (= 4,75 mm).
- Agregat halus, adalah agregat dengan ukuran butir lebih halus dari saringan No. 4 (= 4,75 mm).
- Bahan pengisi atau *filler*, adalah bagian dari agregat halus yang minimal 75% lolos saringan No. 200 (=0,075 mm).



Sumber: Sukirman, 1995

Gambar 2.2. Ukuran butiran agregat

Kategori lain adalah kategori agregat berdasarkan ukuran partikel-partikelnya berdasarkan AASHTO, yaitu :

- a. Agregat kasar, yaitu agregat $> 4,75$ mm menurut ASTM atau > 2 mm menurut AASHTO.
- b. Agregat halus, yaitu agregat $< 4,75$ mm menurut ASTM atau < 2 mm dan $> 0,075$ mm menurut AASHTO.
- c. Abu batu/mineral *filler*, yaitu agregat halus yang lolos saringan No. 200.

Penggolongan agregat berdasarkan ukuran butirannya tersaji pada Gambar 2.2.

2.2.5. Sifat-sifat Agregat

Sifat dan kualitas agregat menentukan kemampuannya dalam memikul beban lalu lintas. Agregat dengan sifat dan kualitas yang baik dibutuhkan untuk lapisan permukaan yang langsung menerima beban lalu lintas dan menyebarkannya ke lapisan di bawahnya. Sifat agregat sebagai bahan konstruksi perkerasan jalan dapat dikategorikan menjadi 3 (tiga) kelompok yaitu :

1. Kekuatan, yang dipengaruhi oleh gradasi, ukuran maksimum, kadar lempung, kekerasan dan ketahanan (*toughness and durability*), bentuk butir serta tekstur permukaan.
2. Kemampuan yang baik untuk dilapisi aspal, yang dipengaruhi oleh porositas, kemungkinan basah dan jenis agregat yang digunakan.
3. Kemudahan dalam pelaksanaan dan menghasilkan lapisan yang nyaman dan aman, yang dipengaruhi oleh tahanan geser (*skid resistance*) serta campuran yang memberikan kemudahan dalam pelaksanaan.

Sifat agregat merupakan salah satu faktor penentu kemampuan perkerasan jalan memikul beban lalu lintas dan daya tahan terhadap cuaca. Oleh karena itu diperlukan pengujian terhadap suatu agregat sebelum digunakan sebagai material perkerasan jalan. Sifat agregat yang menentukan kualitas perkerasan adalah :

2.2.5.1. Gradasi Agregat

Gradasi agregat adalah distribusi dari berbagai macam ukuran partikel sebagai prosentase dari berat total. Gradasi ditentukan oleh material yang lolos dari berbagai macam ukuran saringan yang disusun bertahap dengan ukuran saringan

dengan lubang terkecil diletakkan paling bawah. Gradasi juga ditentukan oleh material yang tertahan pada setiap saringan.

Secara umum, gradasi agregat adalah sebagai berikut :

- Agregat kasar, semua material yang tertahan pada saringan No. 8 (2,36 mm)
- Agregat halus, semua material yang lolos saringan No. 8 (2,36 mm)
- Debu, proporsi agregat halus yang lolos saringan No. 200
- Filler*, sedikitnya 70% lolos dari saringan No. 200.

Tabel 2.3. Ukuran dan bukaan saringan

Ukuran Saringan	Bukaan (mm)
4 inci	100
3 ¹ / ₂ inci	90
3 inci	75
2 ¹ / ₂ inci	63
2 inci	50
1 ¹ / ₂ inci	37,5
1 inci	25
³ / ₄ inci	19
¹ / ₂ inci	12,5
³ / ₈ inci	9,5
No. 4	4,75
No. 8	2,36
No. 16	1,18
No. 30	0,6
No. 50	0,3
No. 100	0,15
No. 200	0,075

Sumber: Sukirman, 1995

Gradasi adalah susunan butir agregat sesuai dengan ukurannya. Ukuran butir agregat dapat diperoleh melalui pengujian analisis saringan. Satu set saringan biasanya terdiri dari saringan berukuran 4 inci, 3¹/₂ inci, 3 inci, 2¹/₂ inci, 2 inci, 1¹/₂ inci, 1 inci, ³/₄ inci, ¹/₂ inci, ³/₈ inci, No. 4, No. 8, No. 16, No. 30, No. 50, No. 100 dan No. 200. Ukuran saringan dalam ukuran panjang menunjukkan ukuran bukaan, sedangkan nomor saringan menunjukkan banyaknya bukaan dalam 1 inci panjang. Ukuran saringan dan bukaan saringan ditunjukkan dalam Tabel 2.3.

2.2.5.2. Jenis Gradasi Agregat

Gradasi agregat dapat dibedakan atas :

1. Gradasi seragam (*uniform graded*)

Adalah gradasi agregat dengan ukuran yang hampir sama atau sejenis atau mengandung agregat halus yang sedikit jumlahnya sehingga tidak dapat mengisi rongga antar agregat. Gradasi seragam disebut juga gradasi terbuka.

2. Gradasi rapat (*dense graded*)

Merupakan campuran agregat kasar dan halus dalam porsi yang berimbang sehingga dinamakan juga agregat bergradasi baik (*well graded*).

Tabel 2.4. Sifat perkerasan pada berbagai macam gradasi

Gradasi Seragam (<i>Uniform Graded</i>)	Gradasi Baik (<i>Dense Graded</i>)	Gradasi Jelek (<i>Poorly Graded</i>)
Kontak antar butir baik	Kontak antar butir baik	Kontak antar butir jelek
Kepadatan bervariasi	Seragam dan kepadatan tinggi	Seragam tapi kepadatan jelek
Stabilitas dalam keadaan terbatas (<i>confined</i>) tinggi	Stabilitas tinggi	Stabilitas sedang
Stabilitas dalam keadaan lepas rendah	Kuat menahan deformasi	Stabilitas sangat rendah dalam keadaan basah
Sulit dipadatkan	Sukar sampai sedang dalam usaha memadatkannya	Mudah dipadatkan
Mudah diresapi air	Tingkat permeabilitas cukup	Tingkat permeabilitas rendah
Tidak dipengaruhi oleh bervariasinya kadar air	Pengaruh variasi kadar air cukup	Sangat dipengaruhi oleh bervariasinya kadar air

Sumber: Alizar, 2009

3. Gradasi buruk (*poorly graded*)

Adalah gradasi agregat dimana campuran agregat di sini tidak memenuhi dua kategori di atas. Agregat bergradasi buruk yang umum digunakan untuk lapisan perkerasan lentur adalah gradasi celah (*gap graded*), yang merupakan campuran agregat dengan satu fraksi hilang yang sering juga disebut gradasi senjang. Sifat-sifat yang dimiliki oleh ketiga gradasi tersebut di atas pada perkerasan tersaji pada Tabel 2.4.

2.2.5.3. Ukuran Maksimum Agregat

Semua lapisan perkerasan lentur membutuhkan agregat yang terdistribusi dari besar sampai kecil, semakin besar ukuran maksimum partikel agregat yang

digunakan semakin banyak variasi ukuran agregat dari besar sampai kecil yang diperlukan. Batasan ukuran maksimum yang digunakan dibatasi oleh tebal lapisan yang diharapkan.

Ukuran maksimum butir agregat dapat dinyatakan dengan :

1. Ukuran maksimum agregat, yaitu menunjukkan ukuran saringan terkecil dimana agregat yang lolos saringan sebanyak 100%
2. Ukuran nominal maksimum agregat, menunjukkan ukuran saringan terbesar dimana agregat yang tertahan saringan tersebut sebanyak tidak lebih dari 10%. Ukuran maksimum agregat adalah satu saringan atau ayakan yang lebih besar dari ukuran nominal maksimum.

Tabel 2.5. Contoh gradasi agregat campuran

Saringan		Prosentase lolos
Nomor	Ukuran (mm)	
$\frac{3}{4}$ inci	19	100
$\frac{1}{2}$ inci	12,5	100
$\frac{3}{8}$ inci	9,5	98
No. 4	4,75	91
No. 8	2,36	78
No. 50	0,3	21
No. 100	0,15	8

Sumber: Sukirman, 1995

Dari Tabel 2.5 terlihat bahwa ukuran terkecil dimana agregat lolos 100% adalah $\frac{1}{2}$ inci, oleh karena itu ukuran maksimum agregat adalah $\frac{1}{2}$ inci. Ukuran terbesar dimana agregat yang tertahan kurang atau sama dengan 10% adalah $\frac{3}{8}$ inci, oleh karena itu ukuran nominal maksimum agregat adalah $\frac{3}{8}$ inci. Ukuran maksimum agregat ikut menentukan tebal minimum lapisan perkerasan yang mungkin dapat dilaksanakan. Sebagai patokan awal, tebal lapisan minimum sama dengan dua kali ukuran agregat maksimum.

2.2.5.4. Kebersihan Agregat

Yang dimaksudkan adalah kebersihan agregat dari debu dan zat organik. Agregat yang banyak dilekati oleh debu dan zat organik lainnya akan mengakibatkan aspal sulit melekat ke permukaan agregat.

2.2.5.5. Ketahanan Agregat

Pada campuran perkerasan, batuan akan mengalami proses tambahan seperti pemecahan, pelapukan akibat cuaca, baik ketika campuran sedang dibuat atau pada saat dipadatkan. Demikian pula batuan akan mengalami pengikisan yang disebabkan oleh lalu lintas. Oleh karena itu batuan harus mempunyai daya tahan yang cukup terhadap pemecahan (*crushing*), penurunan mutu (*degradatiory*), dan penguraian (*disintegration*). Agregat yang berada pada permukaan perkerasan atau pada lapisan di dekat permukaan memerlukan kekerasan yang lebih besar dibandingkan dengan agregat yang ada di bawahnya. Kekerasan agregat dinilai dengan menggunakan pengujian abrasi Los Angeles. Pengujian abrasi Los Angeles adalah mencari prosentase keausan akibat pengaruh gesekan relatif antara agregat dengan bola-bola baja, dan akibat tumbukan antara bola baja dengan agregat selama pengujian berlangsung.

$$\text{Keausan} = \frac{A_{la} - B_{la}}{A_{la}} \times 100\% \quad (2.1)$$

dengan: A_{la} = berat benda uji semula, dinyatakan dalam gram,
 B_{la} = berat benda uji tertahan saringan No.12, dinyatakan dalam gram.

2.2.5.6. Bentuk dan Tekstur Agregat

Bentuk agregat dapat mempengaruhi cara pengerjaan campuran perkerasan. Bentuk dan tekstur agregat mempengaruhi stabilitas perkerasan yang dibentuk oleh agregat tersebut. Bentuk-bentuk partikel agregat antara lain sebagai berikut:

a. Bulat (*rounded*)

Agregat yang dijumpai di sungai pada umumnya telah mengalami pengikisan oleh air sehingga umumnya berbentuk bulat. Partikel agregat bulat saling bersentuhan dengan luas bidang kontak kecil sehingga menghasilkan daya penguncian (*interlocking*) yang lebih kecil dan mudah tergelincir.

b. Lonjong (*elongated*)

Partikel agregat berbentuk lonjong dapat ditemui di sungai-sungai atau bekas endapan sungai. Agregat dikatakan lonjong jika ukuran terpanjangnya $> 1,8$ kali diameter rata-rata. Indeks kelonjongan (*elongated index*) adalah

perbandingan dalam persen dari berat agregat lonjong terhadap berat total. Sifat interlockingnya hampir sama dengan yang berbentuk bulat.

c. Kubus (*cubical*).

Partikel berbentuk kubus merupakan bentuk agregat hasil dari mesin pemecah batu (*stone crusher*) yang mempunyai bidang kontak yang lebih luas karena berbentuk bidang rata sehingga memberi interlocking yang lebih besar. Dengan demikian kestabilan yang diperoleh lebih besar dan lebih tahan terhadap deformasi yang timbul. Agregat berbentuk kubus ini paling baik untuk digunakan sebagai bahan perkerasan jalan.

d. Pipih (*flaky*).

Partikel agregat berbentuk pipih dapat merupakan hasil dari mesin pemecah batu ataupun memang merupakan sifat dari batuan yang bersangkutan yang apabila dipecah cenderung berbentuk pipih. Agregat dikatakan pipih jika lebih tipis dari 0,6 kali diameter rata-rata. Agregat yang berbentuk pipih mudah pecah pada saat pencampuran, pemadatan ataupun akibat beban lalu lintas. Oleh karena itu banyaknya agregat pipih ini dibatasi. Indeks kepipihan dihitung berdasarkan rumus sebagai berikut:

$$Flakiness\ Index = \frac{A_{fi}}{A_{fi} + B_{fi}} \times 100\% \quad (2.2)$$

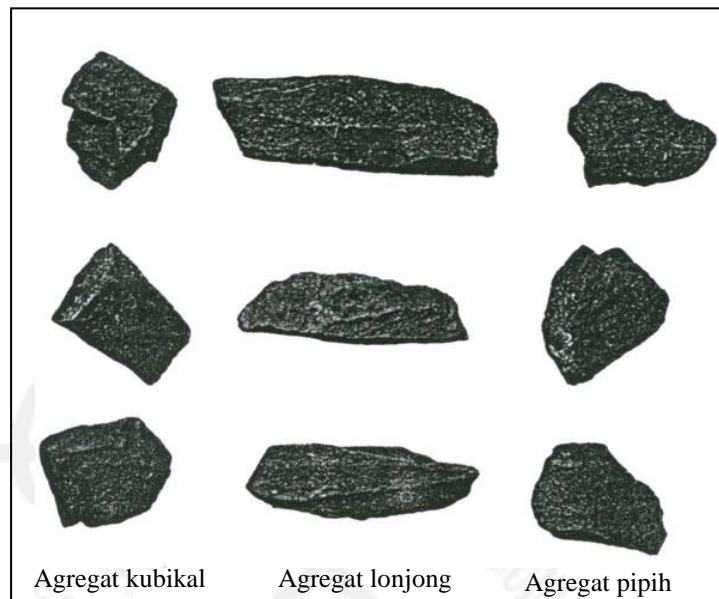
dengan: A_{fi} = material lolos,
 B_{fi} = material tertahan.

e. Tak Beraturan (*Irregular*).

Partikel agregat yang tidak beraturan, tidak mengikuti salah satu yang disebutkan di atas.

Gesekan yang timbul antar partikel juga menentukan stabilitas dan daya dukung dari lapisan perkerasan. Besarnya gesekan dipengaruhi oleh jenis permukaan agregat yang dapat dibedakan atas agregat yang permukaannya kasar (*rough*), kemudian agregat yang permukaannya halus (*smooth*), kemudian agregat yang permukaannya licin dan mengkilap (*glassy*) dan agregat yang permukaannya berpori (*porous*). Pada campuran dengan aspal, ikatan antar partikel dengan aspal

akan lebih baik pada agregat dengan permukaan kasar dibandingkan dengan agregat dengan permukaan halus.



Sumber: Sukirman, 1995

Gambar 2.3. Contoh bentuk agregat

Bentuk bentuk agregat pada umumnya dapat dilihat pada Gambar 2.3. Bentuk permukaan dapat mempengaruhi cara pengerjaan dan kekuatan yang dihasilkan dari campuran perkerasan beraspal. Disamping itu, aspal akan lebih menempel dengan baik pada agregat dengan permukaan kasar dibanding dengan agregat dengan permukaan halus dan licin.

2.2.5.7. Kadar Lempung

Lempung mempengaruhi mutu campuran agregat dengan aspal karena :

- Lempung membungkus partikel-partikel agregat sehingga ikatan antar agregat dan aspal berkurang.
- Adanya lempung mengakibatkan luas daerah yang harus diselimuti aspal menjadi bertambah. Dengan kadar aspal yang sama akan menghasilkan tebal lapisan yang lebih tipis yang dapat mengakibatkan terjadinya *stripping*, yaitu lepasnya ikatan antara aspal dan agregat.
- Tipisnya lapisan aspal mengakibatkan lapisan mudah teroksidasi sehingga lapisan cepat rapuh/getas.
- Lempung cenderung menyerap air yang berakibat hancurnya lapisan aspal.

2.2.5.8. Daya Lekat terhadap Aspal

Daya lekat terhadap aspal tergantung pada keadaan pori dan jumlah pori dalam agregat. Agregat yang tidak mudah dilekati aspal akan mengakibatkan terjadinya *stripping*, yaitu terkelupasnya butiran dari perkerasan beraspal. Daya lekat aspal terhadap agregat dipengaruhi oleh sifat agregat terhadap air. Pada agregat yang bersifat *hydrophilic*, yaitu agregat yang mudah diresapi air, ikatan antara agregat dan aspal menjadi mudah lepas. Sebaliknya agregat yang tidak mudah diresapi air, *hydrophobic*, seperti diorit, andesit, akan lebih mudah terikat dengan aspal. Agregat yang digunakan sebagai lapis permukaan harus memiliki daya lekat terhadap aspal lebih dari 95%. Agregat yang mengandung silika seperti batu kuarsa dan jenis batuan granit tertentu mempunyai daya lekat terhadap aspal yang rendah. Batu kapur, dolomit mempunyai daya lekat yang tinggi terhadap aspal.

Disamping dipengaruhi oleh agregat, daya lekat aspal terhadap agregat juga dipengaruhi oleh jenis aspal. Agregat yang bersifat basa (banyak mengandung ion OH^- , sehingga secara umum permukaan agregat bermuatan negatif) lebih mudah dilekati oleh aspal emulsi yang bermuatan positif (*Cationic Emulsified Asphalt*). Sebaliknya batuan yang bersifat positif lebih mudah dilekati aspal emulsi bermuatan negatif (*Anionic Emulsified Asphalt*). Faktor yang mempengaruhi lekatan aspal dan agregat dibedakan atas 2 (dua) hal :

1. Sifat mekanis, yang tergantung dari :

- Pori-pori dan absorpsi
- Bentuk dan tekstur permukaan
- Ukuran butir.

2. Sifat kimiawi dari agregat

Banyaknya pori pada agregat ditentukan dari banyaknya air yang dapat terabsorpsi oleh agregat. Absorpsi merupakan sifat yang dimiliki agregat, dimana agregat dapat menyerap air ke dalam pori-pori agregat. Agregat dengan daya absorpsi lebih besar akan menyerap aspal lebih banyak, sehingga dibutuhkan lebih banyak aspal untuk menjadikannya campuran beraspal, karena disamping aspal digunakan untuk menyelimuti permukaan

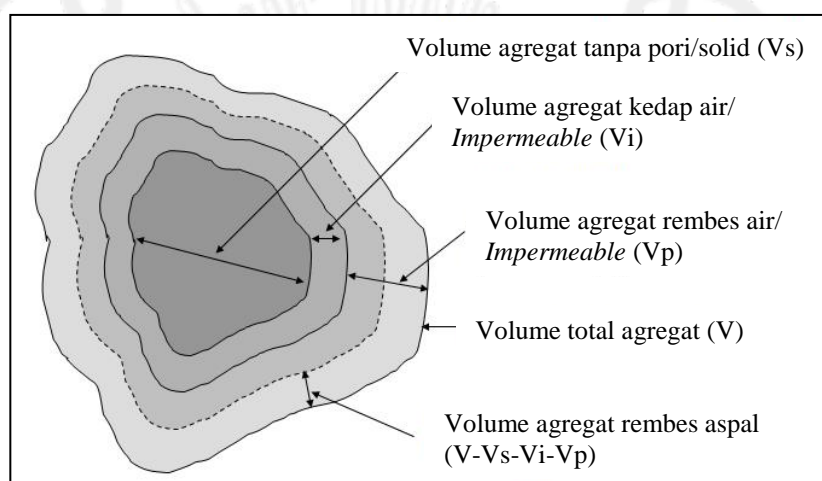
agregat, sebagian aspal lagi terserap ke dalam pori-pori agregat. Perhitungan penyerapan agregat dihitung berdasarkan rumus sebagai berikut:

$$\text{Penyerapan (absorpsi)} = \left[\frac{B_b - A_b}{A_b} \right] \times 100\% \quad (2.3)$$

dengan: A_b = berat benda uji kering oven (gram),
 B_b = berat benda uji kondisi jenuh kering permukaan (gram).

2.2.5.9. Berat Jenis Agregat

Berat jenis agregat adalah perbandingan antara berat volume agregat dan berat volume air. Agregat dengan berat jenis kecil, mempunyai volume besar, atau berat yang ringan. Skema berat jenis agregat tersaji pada Gambar 2.4.



Sumber: Sukirman, 1995

Gambar 2.4. Ilustrasi berat jenis agregat

Berat jenis agregat (*specific gravity*) terdiri dari :

a. Berat jenis *bulk* (*bulk specific gravity*)

Berat jenis *bulk* adalah berat jenis dengan memperhitungkan berat agregat dalam keadaan kering dan seluruh volume agregat. Perhitungan berat jenis dan penyerapan air adalah sebagai berikut:

$$\text{Berat jenis } bulk = \frac{A_b}{(B_b - C_b)} \quad (2.4)$$

dengan: A_b = berat benda uji kering oven (gram),
 B_b = berat benda uji kondisi jenuh kering permukaan (gram),
 C_b = berat benda uji di air (gram).

b. Berat jenis kering permukaan (*surface saturated dry*)

Berat jenis kering permukaan adalah berat jenis dengan memperhitungkan berat agregat dalam keadaan kering permukaan, jadi merupakan berat kering agregat kering ditambah berat air yang meresap ke dalam pori agregat, dan seluruh volume agregat. Perhitungan berat jenis kering permukaan dihitung berdasarkan rumus sebagai berikut:

$$\text{Berat jenis SSD} = \frac{B_b}{(B_b - C_b)} \quad (2.5)$$

dengan: B_b = berat benda uji kondisi jenuh kering permukaan (gram),
 C_b = berat benda uji di air (gram).

c. Berat jenis semu (*apparent specific gravity*)

Berat jenis semu adalah berat jenis dengan memperhitungkan berat agregat dalam keadaan kering, dan volume agregat yang tidak dapat diresapi oleh air.

$$\text{Berat jenis apparent} = \frac{A_b}{(A_b - C_b)} \quad (2.6)$$

dengan: A_b = berat benda uji kering oven (gram),
 C_b = berat benda uji di air (gram).

2.2.6. Pengujian terhadap Agregat

Seiring dengan kebutuhan akan data yang akurat mengenai karakteristik dan sifat teknis agregat yang berbeda-beda, maka berbagai macam pengujian telah dirumuskan untuk mengetahui karakteristik dan sifat teknis agregat, dan untuk memprediksi performa dari agregat pada saat usia layannya. Disamping itu juga diperlukan data yang akurat, agar agregat dari berbagai tempat tersebut bisa dibandingkan untuk mengetahui agregat mana yang terbaik. Mayoritas pengujian atau tes dilakukan untuk mengetahui sifat fisik atau sifat mekanis dari agregat.

Pengujian terhadap agregat dapat digolongkan menjadi :

1. Pengujian Fisik

Antara lain gradasi agregat, bentuk & tekstur agregat (uji kepipihan, dan lain-lain), berat jenis, penyerapan air, dan uji petrografi.

2. Pengujian Mekanis

Digolongkan menjadi 2 bagian :

a. Kekuatan (*Strength*)

Meliputi *Aggregate Impact Value (AIV)*, *Aggregate Crushing Value (ACV)*, *Franklin Point Load Test*, *Schmidt Rebound Number*, dan *Ten Percent Fines Value*.

b. Ketahanan (*Durability*)

Meliputi *Aggregate Abrasion Value*, *Aggregate Attrition Value*, *Los Angeles Abrasion*, *Polished Stone Value (PSV)*, *Slake Durability Value*, dan *Sulphate Soundness*

3. Pengujian Kimiawi

Antara lain *Chloride Content*, *Sulphate Content*, *Organic Content* dan *Adhesion Test*.

Untuk mengetahui kesesuaian agregat terhadap syarat yang ditentukan sebagai material perkerasan jalan, perlu dilakukan pengujian sebagai berikut:

1. *Impact Test*, untuk mengetahui ketahanan agregat, tahan terhadap pemecahan dalam masa layanan.

$$\text{Aggregate Impact Value} = \frac{A_i - B_i}{A_i} \times 100\% \quad (2.7)$$

dengan: A_i = berat agregat,

B_i = berat agregat tertahan saringan No. 8.

2. *Los Angeles abrasion test*, untuk mengetahui kekerasan dan ketahanan terhadap abrasi.
3. Tes kelekatan terhadap aspal, untuk mengetahui kemampuan mempertahankan ikatan antara aspal dan agregat.
4. Tes penyerapan air, untuk mengetahui ketahanan agregat terhadap pelapukan dan cuaca.
5. Uji kepipihan, untuk mengetahui kemampuan agregat untuk berkontribusi pada kekuatan dan kekakuan campuran.

2.2.7. Kriteria Agregat untuk Perkerasan Jalan

Agregat yang akan digunakan untuk perkerasan jalan harus memenuhi beberapa kriteria berikut ini

1. Ketahanan terhadap Pecah

Faktor utama yang berpengaruh terhadap berkurangnya kekuatan terhadap pemecahan batuan beku adalah *porosity* (porositas), ukuran butiran dan jumlah kandungan mineral lunak. Reaksi dengan bahan kimia juga berpengaruh terhadap meningkatnya jumlah mineral lunak dalam batuan, misalnya proses plagioklas yang menghasilkan karbonat/kapur.

2. Ketahanan terhadap Abrasi

Faktor petrografi yang berpengaruh terhadap ketahanan abrasi adalah kekuatan dan jumlah mineral keras dalam batuan, proporsi-orientasi-&distribusi mineral yang terbelah, ukuran butiran (*grain*), kandungan mineral yang punya potensi untuk melunak karena reaksi kimiawi. Batuan beku segar, yang bebas silika cenderung lebih tahan terhadap pecah dibanding batuan basa yang punya ferromagnesian tinggi. Dekomposisi kimiawi (mis: plagioklas yang lapuk bila kena HCl) meningkatkan abrasivitas (Hartley, 1974).

3. Ketahanan terhadap Poles

Batuan yang telah mengalami pelapukan sedang memiliki nilai poles (PSV) yang lebih tinggi dibanding batuan segar (mengacu pada mineral sekunder yang lebih lunak dibanding mineral primer seperti *quartz*, *feldspar*).

4. Ketahanan terhadap Stripping

Secara statistik batuan beku basa lebih memiliki kelekatan yang lebih baik dibanding batuan beku asam, dimana batuan *quartzite* menunjukkan kelekatan yang baik. Kandungan silika bukan merupakan kriteria tunggal. Dua sampel batuan dengan *feldspar*, (pertama *mikroline*, lalu yang lain *orthoclase*) menunjukkan tingkat kelekatan yang rendah, dan Hallberg menduga bahwa hal tersebut mungkin berkaitan dengan pelepasan ion-ion sodium (Na) dan potasium (K) dan kemungkinan aluminium (Al) dari permukaan mineral dan formasi sebagai akibat dari hidrosida yang berdekatan di permukaan mineral. Di dalam air, molekul-molekul ini bisa menurunkan tegangan *interfacial* dan tegangan kelekatan (*adhesion tension*). Diduga, bahwa performa batuan asam

yang rendah tidak hanya berkaitan dengan kandungan silika, tapi juga formasi hidroksida dari sodium, potasium dan aluminium pada permukaan batuan yang bersinggungan dengan medium air (Hallberg, 1958). Kondisi pelepasan adhesi terjadi lebih sering pada mineral yang bersifat *quartzo-felspatic*, tapi jarang terjadi atau bahkan tidak sama sekali pada mineral yang bersifat ferro-magnesian (Hughes et al. (1960).

5. Ketahanan terhadap Pelapukan/Cuaca

Pelapukan kimiawi akan menyebabkan perubahan kimiawi dan/atau pelarutan atas mineral-mineral. Proses ini terutama terjadi oleh air (asam) ion H⁺, sedangkan mineral akan mengalami pencemaran kimiawi. *Feldspar* misalnya, dapat beralih menjadi mineral lempung. Kalsit (CaCO₃) dapat larut dalam air.

Tabel 2.6. Resistensi mineral penyusun batuan terhadap pelapukan kimiawi

Resistensi terhadap pelapukan	Mineral
SANGAT RENDAH	<i>Gips (CaSO₄), Halit (NaCl)</i>
	<i>Kalsit (CaCO₃), Delomit (CaMg(CO₃)₂)</i>
	<i>Olivin, Hornblenda</i>
	<i>Biotit</i>
	<i>Plagioklas, Kalifelspar</i>
	<i>Kuarsa (besaran lempung)</i>
	<i>Muskovit</i>
	<i>Montmorillonit</i>
	<i>Kaolinit</i>
	<i>Kuarsa (SiO₂)</i>
	<i>Gipsit (Al(OH)₃)</i>
	<i>Hematit (Fe₂O₃)</i>
SANGAT TINGGI	<i>Rutil (TiO₂), Korund (Al₂O₃)</i>

Sumber : Smith, M.R. & Collis, L., 1993)

6. Kontribusi pada Kekuatan dan Kekakuan pada Campuran

Berlaku pada agregat kasar, halus dan filler, dimana kontribusi ini bergantung pada kemampuan agregat untuk memberikan mekanisme *interlock* dan friksi internal. Angularitas (sudut) dan kekasaran permukaan agregat memberikan kontribusi penting pada kekuatan dan ketahanan terhadap deformasi dari perkerasan beraspal. bahwa kekakuan dan kekuatan sangat tergantung dari bentuk dan tingkat penyerapan dari agregat, baik kasar, halus dan filler (Kavussi & Lees 1990)

2.2.8. Aspal

Bitumen adalah zat perekat berwarna hitam atau gelap, yang dapat diperoleh di alam ataupun sebagai bahan hasil produksi. Bitumen mengandung unsur utama berupa senyawa hidrokarbon seperti aspal, tar atau *pitch* (Sukirman, 2003).

Aspal didefinisikan sebagai material perekat (*cementitious*), berwarna hitam atau coklat tua, dengan unsur utama bitumen. Aspal dapat diperoleh di alam ataupun merupakan residu dari pengilangan minyak bumi. Tar adalah material berwarna coklat atau hitam, berbentuk cair atau semi padat, dengan unsur utama bitumen sebagai hasil kondensat dalam destilasi destruktif dari batubara, minyak bumi, atau material organik lainnya. *Pitch* didefinisikan sebagai material perekat padat, berwarna hitam atau coklat tua, yang berbentuk cair jika dipanaskan. *Pitch* diperoleh sebagai residu dari destilasi fraksional tar. Tar dan *pitch* tidak diperoleh di alam, tetapi merupakan produk kimiawi. Dari ketiga material pengikat di atas, aspal merupakan material yang umum digunakan untuk bahan pengikat agregat, oleh karena itu seringkali bitumen disebut pula aspal. Aspal merupakan material yang pada suhu ruang berbentuk padat sampai agak padat, dan bersifat termoplastis. Jadi aspal akan mencair jika dipanaskan sampai temperatur tertentu, dan kembali membeku jika temperatur turun. Bersama dengan agregat, aspal merupakan material pembentuk campuran perkerasan jalan. Prosentase aspal dalam campuran perkerasan berkisar antara 4 – 10% berdasarkan berat campuran, atau 10 – 15% berdasarkan volume campuran. Berdasarkan tempat diperolehnya, aspal dibedakan atas:

2.2.8.1. Aspal Alam

Aspal alam ada yang diperoleh di gunung-gunung seperti aspal di Pulau Buton, dan ada pula yang diperoleh di danau seperti di Trinidad, yang merupakan aspal alam terbesar di dunia (*Trinidad Lake Asphalt*). Di Indonesia sendiri aspal alam di pulau Buton berupa aspal gunung, dikenal dengan nama Asbuton (*Aspal Buton*). Asbuton merupakan batu yang mengandung aspal. Deposit asbuton membentang dari Kecamatan Lawele sampai Sampolawa. Cadangan deposit berkisar 200 juta ton dengan kadar aspal berkisar bervariasi dari 10 – 35% aspal. Penggunaan asbuton sebagai salah satu bahan perkerasan jalan telah dimulai sejak tahun 1920, meskipun masih bersifat konvensional. Asbuton merupakan campuran

antara bitumen dengan bahan mineral lainnya dalam bentuk batuan. Karena asbuton merupakan material yang ditemukan begitu saja di alam, maka kadar bitumen yang dikandungnya bervariasi dari rendah sampai tinggi. Untuk mengatasi hal ini, maka asbuton mulai diproduksi dalam berbagai bentuk di pabrik pengolahan asbuton. Asbuton dapat dibagi menjadi dua kelompok yaitu :

1. Asbuton yang masih mengandung material *filler*, seperti asbuton kasar, asbuton halus, asbuton mikro, dan *butonite mastic asphalt*.
2. Asbuton yang dimurnikan menjadi aspal murni melalui proses ekstraksi atau proses kimiawi.

2.2.8.2. Aspal Minyak

Aspal minyak adalah aspal yang merupakan residu destilasi minyak bumi. Setiap minyak bumi dapat menghasilkan residu jenis *asphaltic base crude oil* yang banyak mengandung aspal, *paraffin base crude oil* yang banyak mengandung parafin, atau *mixed base crude oil* yang mengandung campuran antara parafin dan aspal. Untuk perkerasan jalan umumnya digunakan aspal minyak jenis *asphaltic base crude oil*. Dari proses hasil destilasi minyak bumi dengan temperatur yang berbeda-beda akan menghasilkan bensin (*gasoline*), minyak tanah (*kerosene*), dan solar (minyak diesel) dengan aspal merupakan residunya. Residu aspal berbentuk padat, tetapi melalui pengolahan hasil residu ini dapat pula berbentuk cair atau emulsi dalam suhu ruang.

Dilihat pada bentuknya pada temperatur ruang, maka aspal dibedakan menjadi :

1. Aspal padat adalah aspal yang berbentuk padat atau semi padat pada suhu ruang dan akan mencair jika dipanaskan. Aspal padat dikenal dengan semen aspal (*asphalt cement*). Oleh karena itu, semen aspal harus dipanaskan terlebih dahulu sebelum digunakan sebagai bahan pengikat agregat.
2. Aspal cair (*cutback asphalt*) adalah aspal berbentuk cair pada suhu ruang. Aspal cair merupakan aspal semen yang dicairkan dengan bahan pencair dari hasil penyulingan minyak bumi seperti minyak tanah, bensin atau solar.

Dari bahan pencair yang digunakan membuat aspal cair dibedakan menjadi :

- a. *Rapid curing cutback asphalt* (RC), yaitu aspal cair dengan bahan pencair bensin. RC merupakan aspal cair yang paling cepat menguap.

- b. *Medium curing cutback asphalt* (MC), yaitu aspal cair dengan bahan pencair minyak tanah (*kerosene*).
- c. *Slow curing cutback asphalt* (SC), yaitu aspal cair dengan bahan pencair solar (minyak diesel). SC merupakan aspal cair yang paling lama menguap.

Tabel 2.7. Persyaratan sifat fisik aspal

No.	Jenis Pemeriksaan	Syarat	
		Min.	Maks.
1.	Penetrasi, 10gr, 25 °C, 5 detik	60	79
2.	Titik Lembek, °C	48	58
3.	Titik Nyala, °C	200	-
4.	Titik Bakar, °C	200	-
5.	Daktalitas, 25 °C, 5 cm/menit,	100	-
6.	<i>Specific Gravity</i> , gr/cc	1 gr/cc	-

Sumber: RSNI S-01-2003

3. Aspal emulsi (*emulsified asphalt*) adalah campuran aspal dengan air dan bahan pengemulsi, yang dibuat di pabrik pencampur. Aspal emulsi ini secara fisik lebih cair daripada aspal cair. Di dalam aspal emulsi, butir-butir aspal larut dalam air. Untuk menghindari tarik menarik antara butiran aspal yang menghasilkan butiran yang lebih besar, maka butiran tersebut diberi muatan listrik.

Berdasar muatan listrik yang dikandungnya, aspal emulsi dapat dibedakan atas :

- a. Aspal kationik atau disebut juga aspal emulsi asam, merupakan aspal emulsi yang butiran aspalnya bermuatan arus listrik positif.
- b. Aspal anionik atau disebut juga aspal emulsi alkali, merupakan aspal emulsi yang butiran aspalnya bermuatan negatif.

Aspal yang digunakan sebagai pengikat pada harus memenuhi syarat seperti tersaji pada Tabel 2.7.

2.2.9. Laston

Laston atau aspal beton merupakan campuran aspal panas yang mempunyai agregat kasar, pasir, bahan pengisi (*filler*) dan aspal. Komposisi bahan campuran agregat mempunyai gradasi menerus (Tenriajeng, 2002).

Dalam campuran, agregat yang kecil akan mengisi ruang di antara agregat yang besar, sehingga membentuk struktur granular yang padat dengan rongga udara yang sangat kecil. Bahan aspal akan menyelimuti butiran agregat sebagai lapis tipis dan sebagian mengisi rongga di antara agregat. Kekuatan mekanik dari campuran ini diperoleh dari gesekan dalam, sifat penguncian antar agregat serta kohesi antar butir agregat yang telah terselimuti aspal.

Tabel 2.8. Gradasi agregat campuran laston Bina Marga II

No. Campuran		Laston BM II	
Gradasi/tekstur		Kasar	
Tebal padat (mm)		25 - 50	
Ukuran Saringan		Spesifikasi	% Lolos Campuran
$\frac{3}{4}$ "	19	100	100,00
$\frac{1}{2}$ "	12,7	75 - 100	87,5
$\frac{3}{8}$ "	9,52	60 - 85	72,5
No.4	4,76	35 - 55	45,0
No.8	2,38	20 - 35	27,5
No.30	0,59	10 - 22	16,0
No.50	0,279	6 - 16	11,0
No.100	0,149	4 - 12	8,0
No.200	0,074	2 - 8	5,0
PAN	-	-	0,00

Sumber: Departemen Pekerjaan Umum

Gradasi agregat untuk laston tersaji pada Tabel 2.8. Karakteristik yang dimiliki oleh laston adalah :

1. Stabilitas

Stabilitas adalah kemampuan lapisan perkerasan untuk menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur maupun *bleeding*. Stabilitas terjadi dari gesekan antar butir, penguncian antar partikel dan daya ikat yang baik dari lapisan aspal. Stabilitas dicapai dengan agregat yang bergradasi rapat, dengan tekstur permukaan yang kasar, berbentuk kubus,

kemudian dengan aspal dengan penetrasi rendah dan dalam jumlah yang mencukupi untuk ikatan antar butir.

2. Ketahanan

Lapisan perkerasan mampu menahan keausan akibat pengaruh cuaca, air, perubahan suhu maupun akibat gesekan dari roda kendaraan. Ketahanan dicapai melalui : VIM (*voids in mix*) yang kecil sehingga lapisan bersifat kedap air yang dapat mencegah air masuk dan proses oksidasi, VMA (*voids in mineral aggregate*) besar sehingga film aspal dapat dibuat tebal. VMA besar dicapai dengan menggunakan agregat dengan gradasi senjang. Namun lapisan film aspal yang tebal membuat kemungkinan terjadi *bleeding* menjadi lebih besar.

3. Kelenturan

Kelenturan adalah kemampuan lapisan perkerasan untuk dapat mengikuti deformasi yang terjadi akibat beban lalu lintas berulang tanpa mengalami retak dan perubahan volume.

4. Tahanan geser atau kekesatan (*skid resistance*)

Tahanan geser adalah kekesatan yang diberikan oleh perkerasan sehingga kendaraan tidak mengalami selip, baik diwaktu basah maupun kering. Kekesatan dicapai dengan penggunaan agregat dengan permukaan kasar dan kadar aspal yang tepat.

5. Ketahanan kelelahan (*fatigue resistance*)

Ketahanan kelelahan adalah ketahanan dari lapisan perkerasan dalam menerima beban berulang tanpa mengalami retak ataupun *rutting* (beralur). Ketahanan kelelahan ini dicapai dengan VIM yang rendah dan VMA serta kadar aspal yang tinggi.

6. Kemudahan pelaksanaan

Kemudahan pelaksanaan adalah mudahnya suatu campuran untuk dihampar dan dipadatkan sehingga mencapai kepadatan yang diharapkan. Hal ini dipengaruhi oleh gradasi agregat, temperatur campuran.

Tabel 2.9. Persyaratan Campuran Laston

Karakteristik Campuran Laston	Syarat	
	Min.	Max.
Stabilitas, kg	550	1250
Flow, mm	2	4
Marshall Quotient (MQ), kg/mm	200	350

Sumber: Buku 3 Spesifikasi, Departemen Pekerjaan Umum, 1993

Aspal beton atau laston merupakan campuran aspal panas yang ditujukan pada jalan dengan kondisi lalu lintas berat. Campuran ini khusus diformulasikan untuk meningkatkan keawetan dan ketahanan kelelahan. Pada kondisi lalu lintas sedang digunakan campuran aspal panas *Hot Rolled Sheet*. Untuk lapis antara bisa digunakan *Asphalt Treated Base* yang relatif memiliki kekakuan yang cukup untuk menerima beban. Departemen Pekerjaan Umum mensyaratkan campuran laston seperti yang tersaji pada Tabel 2.9.

2.2.10. Pengujian terhadap Laston

Sebelum membuat benda uji, ditentukan kadar aspal perkiraan untuk benda uji yang dihitung berdasarkan rumus sebagai berikut:

$$P = 0,05A_{ka} + 0,1B_{ka} + 0,5C_{ka} \quad (2.8)$$

dengan:

P = Kadar aspal rencana (%),

A_{ka} = Prosentase agregat tertahan saringan No.8 (%),

B_{ka} = Prosentase agregat lolos saringan No.8 dan tertahan No.200 (%),

C_{ka} = Prosentase agregat lolos saringan No.200 (%).

Setelah itu dibuat benda uji berdasarkan kadar aspal perkiraan, dua tingkat ke bawah dan ke atas dengan interval setiap tingkat sebesar 0,5%. Pengujian campuran laston ini antara lain pengujian volumetrik (*volumetric test*), *Marshall Test*. Dari hasil *Marshall test* dapat ditentukan Kadar Aspal Optimum sebagai kadar aspal untuk benda uji pada pengujian kuat tarik tidak langsung (*indirect tensile strength test*, ITS), pengujian kuat tarik bebas (*unconfined compressive strength test*, UCS) dan pengujian permeabilitas (*falling head permeability*)

2.2.10.1. Pengujian Volumetrik

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui VIM (*Voids in Mix*) dari masing-masing benda uji. Berikut adalah rumus-rumus untuk densitas (D), berat jenis campuran (SG_{mix}) dan porositas.

$$D = \frac{W_{dry}}{(W_s - W_w)} \quad (2.9)$$

dengan: D = Densitas,
 W_{dry} = berat benda uji di udara (gram),
 W_s = berat benda uji kering permukaan (gram),
 W_w = berat benda uji di air (gram).

$$SG_{mix} = \frac{100}{\frac{\% W_{Ag}}{SG_{Ag}} + \frac{\% W_b}{SG_b}} \quad (2.10)$$

dengan: SG_{mix} = berat jenis benda uji,
 W_{ag} = berat agregat dalam benda uji,
 W_b = berat aspal dalam benda uji,
 SG_{Ag} = berat jenis agregat dalam benda uji,
 SG_b = berat jenis aspal dalam benda uji.

$$\text{Porositas} = \left(1 - \frac{D}{SG_{mix}}\right) * 100\% \quad (2.11)$$

2.2.10.2. Pengujian *Indirect Tensile Strength* (ITS)

Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui kuat tarik dari perkerasan beraspal. Nilai ITS yang tinggi berhubungan dengan makin tahannya perkerasan terhadap potensi retak pada suhu rendah (Huang et al, 2003). Perhitungan besarnya kuat tarik tak langsung dengan menggunakan rumus:

$$ITS = \frac{2 \times \bar{P}}{\pi(hd)} \quad (2.12)$$

dengan: \bar{P} = beban terkoreksi,
 π = phi, 3,14,
 h = tebal rata-rata benda uji,
 d = diameter benda uji.



Gambar 2.5. Pengujian ITS

2.2.10.3. Pengujian *Unconfined Compressive Strength* (UCS)

Pengujian UCS ini untuk mengetahui kuat tekan dari perkerasan beraspal. Kuat tekan lapis permukaan merupakan indikasi langsung untuk mengetahui berapa besarnya beban yang mampu diterima oleh perkerasan jalan. Kuat tekan merupakan kemampuan lapisan perkerasan untuk menahan beban yang bekerja secara vertikal. Beban vertikal yang bekerja disebabkan oleh berat kendaraan termasuk muatan yang membebani perkerasan pada arah vertikal. Besarnya kuat tekan bebas dihitung berdasarkan rumus:

$$\text{UCS} = \frac{\bar{P}}{A} \quad (2.13)$$

dengan : \bar{P} = beban terkoreksi,
 A = luas penampang benda uji.



Gambar 2.6. Pengujian UCS

2.2.10.4. Pengujian Permeabilitas

Koefisien permeabilitas menunjukkan tingkat kemampuan campuran aspal untuk dilalui air. Faktor-faktor yang mempengaruhi permeabilitas diantaranya porositas, densitas, gradasi-bentuk-ukuran agregat, dan sifat adhesi-koheksi dalam campuran. Campuran disebut *permeable* jika memiliki koefisien permeabilitas lebih besar dari $12,5 \times 10^{-4}$ cm/detik (Mohammad et al, 2003), dan sebaliknya, apabila memiliki koefisien permeabilitas kurang dari $12,5 \times 10^{-4}$ cm/detik, maka dikatakan sebagai campuran yang *impermeable*. Campuran yang *impermeable* memiliki durabilitas yang lebih tinggi karena menghambat intrusi air dan atau udara ke dalam perkerasan sehingga memperlambat proses oksidasi aspal dan mempertahankan ikatan aspal-agregat. Perhitungan koefisien permeabilitas menggunakan rumus sebagai berikut:

$$k = \frac{V \times h \times \gamma}{A \times P \times T} \quad (2.14)$$

dengan:

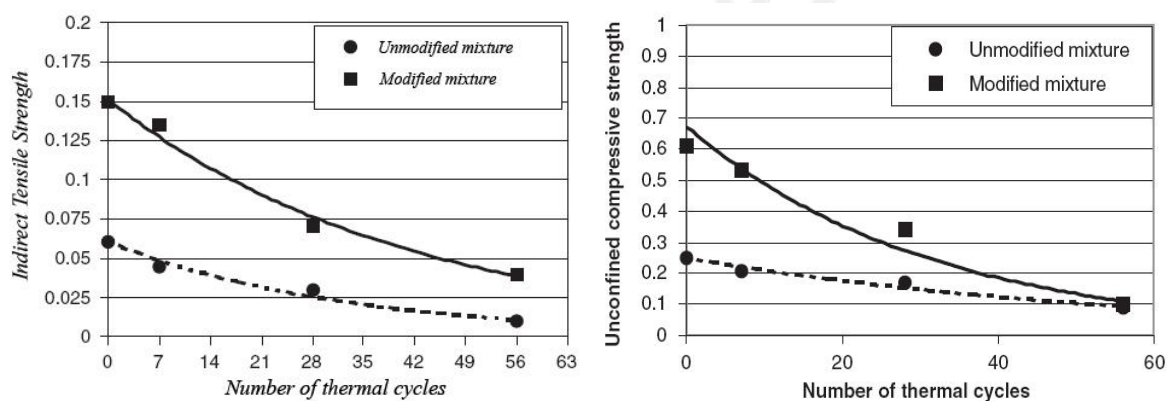
- k = koefisien permeabilitas,
- V = volume air rembesan (ml),
- h = tebal rata-rata benda uji,
- γ = berat jenis air (1.10^{-3} kg/cm³),
- A = luas penampang benda uji,
- P = tekanan air pengujian (kg/cm²),
- T = waktu perembesan (detik).



Gambar 2.7. Pengujian permeabilitas

2.2.11. Durabilitas Perkerasan Beraspal

Hubungan antara nilai ITS dan UCS terhadap durabilitas perkerasan beraspal ditinjau dari hubungan antara nilai ITS dan UCS terhadap siklus termal (suhu yang naik dan turun secara berulang). Ketahanan perkerasan beraspal terhadap retak, ITS dan UCS menurun seiring dengan makin berulangnya siklus termal (Othman, 2006). Dengan kata lain, dengan nilai ITS yang tinggi, maka jumlah ulangan siklus akan bertambah, yang berarti durabilitas perkerasan beraspal menjadi lebih tinggi. Contoh hubungan antara nilai ITS dan siklus termal tersaji pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8. Hubungan antara jumlah ulangan siklus termal dengan *Indirect Tensile Strength* (ITS) dan *Unconfined Compressive Stress* (UCS) dalam KN/mm^2 (Othman, 2006)

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Metode Penelitian

Data tersebut diolah untuk mendapatkan suatu perbandingan dari syarat-syarat yang ada. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui perbandingan antara sifat teknis dan kandungan mineral di dalam agregat yang berasal dari Kabupaten Rembang dan agregat dari Kabupaten Pati, serta kemudian untuk mengetahui kinerjanya dalam laston, melalui karakteristik Marshall. Tinjauan durabilitas laston ditinjau dari kuat tarik tak langsung, kuat tekan bebas dan permeabilitas. Prosedur penelitian yang digunakan mengacu ketentuan, syarat dan prosedur dari SNI, Bina Marga, AASHTO, BSI atau organisasi lain yang berkaitan.

3.2. Tempat Penelitian

Pelaksanaan penelitian yang merupakan pengujian agregat meliputi uji berat jenis & penyerapan air, uji abrasi Los Angeles, uji agregat *impact*, uji kelekatan agregat terhadap aspal, uji kepipihan, karakteristik *Marshall*, kuat tekan bebas, kuat tarik tak langsung dan permeabilitas dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta. Pengujian petrografi untuk mengetahui komposisi mineral penyusun agregat dilakukan di Laboratorium Petrografi dan Mineralogi Jurusan Geologi Universitas Pembangunan Nasional (UPN) Veteran, Yogyakarta.

3.3. Teknik Pengumpulan Data

Sumber data diperoleh dari hasil penelitian sebagai data primer dan data sekunder diperoleh dari sumber-sumber lain yang merupakan hasil penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Data-data tersebut antara lain:

1. Data Primer

Data primer adalah data yang dikumpulkan secara langsung melalui serangkaian kegiatan yang dilakukan sendiri dengan mengacu pada petunjuk manual yang ada.

Data-data yang termasuk sebagai data primer adalah :

- a. Pemeriksaan fisik aspal
- b. Pemeriksaan berat jenis agregat
- c. Pemeriksaan daya penyerapan air agregat
- d. Pemeriksaan abrasi Los Angeles
- e. Pemeriksaan kelekatan terhadap aspal
- f. Pemeriksaan impak agregat
- g. Pemeriksaan kepipihan agregat
- h. Pemeriksaan petrografi
- i. Pemeriksaan *Marshall*
- j. Pemeriksaan kuat desak (UCS) dan kuat tarik tidak langsung (ITS)
- k. Pemeriksaan permeabilitas menggunakan *Falling Head Permeability*

2. Data Sekunder

Data sekunder adalah penggunaan data dari sumber-sumber lain, dimana data tersebut tidak dikumpulkan langsung oleh penulis. Dalam banyak hal peneliti menggunakan data sekunder apa adanya. Data sekunder didapat dari Laboratorium Jalan Raya Universitas Sebelas Maret Surakarta. Termasuk data sekunder adalah data formasi batuan di sekitar *quarry* yang didapat dari peta geologi lembar terkait, dan lain-lain.

3.4. Bahan dan Alat Penelitian

Bahan dan alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Agregat

Agregat Rembang diambil dari *quarry* di Gunung Kunci, Desa Karas, Kecamatan Sedan, Kabupaten Rembang. Batuan yang diambil merupakan batuan beku, yang merupakan batuan dengan tingkat lapuk sedang. Agregat Pati diambil dari *quarry* di Desa Pegadon, Kecamatan Gunung Wungkal, Kabupaten Pati. Merupakan batuan lava dari Gunung Muria, yang kemudian

terbawa aliran air sungai dan menjadi sedimen sungai. Agregat-agregat tersebut kemudian diproses dengan *stone crusher* untuk mendapatkan persyaratan ukuran yang sesuai spesifikasi. Untuk mengetahui korelasi antara sifat teknis agregat dari masing-masing *quarry* dengan mineraloginya, maka dilakukan uji petrografi dan kajian formasi batuan di lokasi *quarry* dan sekitarnya dari peta geologi dari lembar-lembar terkait.

2. Aspal

Aspal yang digunakan dalam penelitian ini adalah aspal keras Pertamina dengan nilai penetrasi 60/70.

3. Satu set saringan (*sieve*) standar ASTM dan mesin getar saringan
4. Water bath
5. Timbangan
6. Oven
7. Mesin abrasi Los Angeles
8. Mesin *Aggregate Impact*
9. *Thickness Gauge*
10. Jangka sorong

3.5. Pengujian Agregat

Persyaratan agregat kasar secara umum meliputi kebersihan, ketahanan, kekerasan, keawetan dan memiliki nilai abrasi tidak lebih dari 40%. Pengujian yang akan dilakukan antara lain :

3.5.1. Berat jenis dan penyerapan air

Kurang lebih 2 kg agregat kering dari masing-masing *quarry* dimasukkan dalam keranjang kawat dan direndam selama 24 jam. Contoh agregat ditimbang di dalam air dan didapatkan berat contoh di dalam air. Kemudian agregat diambil dan ditimbang setelah permukaannya dikeringkan. Kemudian agregat dikeringkan dalam oven , pada suhu 100 – 110° C, dan dicari berat keringnya. Berat jenis dihitung dengan membagi berat kering dari agregat dengan berat yang setara dengan volume air. Penyerapan air dinyatakan sebagai prosentase air yang terserap berkaitan dengan berat kering oven dari agregat.

3.5.2. Abrasi Los Angeles

Gradasi yang digunakan merupakan agregat dengan berat 2500 gram agregat kering oven yang lolos saringan $\frac{3}{4}$ " dan tertahan saringan $\frac{1}{2}$ " dan tertahan saringan $\frac{3}{8}$ ". Bersama dengan sebelas bola baja, agregat dimasukkan ke dalam bejana Los Angeles dan diputar sebanyak 500 putaran. Material hasil pengujian kemudian disaring dengan menggunakan saringan No. 12, kemudian dicuci dan dikeringkan dengan oven pada suhu 110°C , sehingga beratnya tetap.

3.5.3. Kelekatan terhadap Aspal

Untuk meneliti kelayakan dari agregat untuk konstruksi jalan beraspal, maka perlu diketahui karakteristik pengelupasan aspal dari permukaan agregat karena pengaruh air. Uji perendaman statis digunakan untuk penelitian ini. Prinsip dari pengujian ini adalah merendam agregat yang terselimuti aspal di air, dan memperkirakan derajat pengelupasannya. 100 gram agregat kering dan bersih yang lolos saringan 9,5 mm dan tertahan pada saringan 6,3 mm dipanaskan hingga $140 \pm 5^{\circ}\text{C}$ selama 1 jam. Kemudian aspal sebanyak 5% dari total berat benda uji, dipanaskan hingga 160°C dan dicampur dengan agregat sehingga semua partikel agregat terselimuti dengan sempurna. Partikel yang telah terselimuti kemudian dipindahkan ke dalam gelas ukuran 500 ml dan didiamkan hingga dingin pada suhu ruangan selama kira-kira 2 jam. Kemudian ditambahkan air suling untuk merendam agregat yang telah terselimuti selama 24 jam. Nilai kelekatan merupakan perbandingan antara permukaan agregat yang tidak terselimuti aspal dengan permukaan agregat total pada tiap pengujian, dan dinyatakan sebagai lebih besar atau kurang dari 95%.

3.5.4. *Aggregate Impact*

Nilai AIV (*Aggregate Impact Value*) dari agregat kasar menyatakan ukuran relatif dari ketahanan agregat terhadap beban seketika atau *impact*. Pengujian dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta. Menggunakan mesin *Aggregate Impact Test* Tipe TA-750. Pengujian ini dilakukan terhadap agregat yang lolos saringan $\frac{1}{2}$ " dan tertahan saringan $\frac{3}{8}$ ".

Tahap pengujian adalah sebagai berikut:

- a. Agregat ukuran disiapkan dalam keadaan *surface saturated dry* (SSD).
- b. Tabung penakar diisi dengan agregat $\frac{1}{3}$ bagian, lalu ditumbuk secara merata sebanyak 25 kali dengan tinggi jatuh 50 mm diatas agregat.
- c. Tabung penakar diisi dengan agregat untuk lapisan ke 2 dan ke 3. Pada lapisan terakhir, agregat yang melebihi dibuang/diratakan dengan batang penumbuk. Pori yang terbentuk diisi dengan agregat yang lebih tadi.
- d. Berat tabung penakar yang berisi agregat ditimbang, lalu berat agregat ditentukan.
- e. Agregat dimasukkani ke dalam mold penumbuk lalu ditumbuk dengan batang penumbuk sebanyak 25 kali hanya pada lapisan atas sebanyak 25 kali hanya pada lapisan atas.
- f. Ketinggian palu penumbuk diatur pada ketinggian 210 mm, dengan cara mengatur mur penjepit pada kedua tiang alat impak.
- g. *Counter* di-nolkan, diputar sampai menunjukkan angka 0000.
- h. Dilakukan penumbukan sebanyak 15 kali dengan interval waktu tidak kurang dari 1 detik.
- i. Agregat kemudian ditumpahkan dalam loyang sampai mold penumbuk bersih.
- j. Agregat kemudian disaring dengan saringan No.8, lalu agregat yang tertahan saringan ditimbang.

3.5.5. Uji Kepipihan

Tahapan pengujian adalah sebagai berikut:

- a. Cuci dan keringkan sampai berat tetap pada $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$
- b. Uji tiap butiran dari tiap ukuran agregat dengan bukaan slot yang sesuai untuk tiap saringan.
- c. Pisahkan antara material yang tertahan dan material yang lolos.
- d. Timbang material yang lolos pada ketelitian 0,1 gram.
- e. Timbang material yang tertahan pada ketelitian 0,1 gram.

3.5.6. Pengujian Petrografi

Pengujian petrografi dimaksudkan untuk mengetahui komposisi mineral yang menyusun batuan dengan menggunakan mikroskop, dalam hal ini batuan

yang merupakan bahan baku agregat, yaitu dari Pati dan Rembang. Dari sampel batuan yang diambil, kemudian disayat (diiris) tipis dengan ketebalan ± 30 mikrometer. Setelah disayat, potongan tersebut diasah dan kemudian dipoles (*polishing*) untuk menghasilkan permukaan yang sangat halus dan rata. Kemudian dianalisis kandungan mineral yang terkandung di dalamnya melalui mikroskop. Selain itu juga dilakukan pengambilan gambar secara mikroskopis, untuk mengetahui kandungan mineral dalam batuan. Pengujian petrografi dilakukan di Laboratorium Petrografi dan Mineralogi Jurusan Geologi Universitas Pembangunan Nasional (UPN) Veteran, Yogyakarta.

3.6. Benda Uji

Jumlah benda uji untuk mengetahui kinerja agregat dalam laston adalah sebagai berikut :

1. Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)

Penentuan kadar aspal optimum ditentukan sebagai berikut :

- a. 6 (enam) variasi kadar aspal
- b. 3 (tiga) benda uji pada setiap kadar aspal
- c. 2 (dua) jenis agregat

Jumlah benda uji untuk penentuan KAO adalah $6 \times 3 \times 2 = 36$ benda uji.

2. Pengujian *Unconfined Compressive Strength* (UCS)

- a. Masing 3 (tiga) benda uji pada kadar aspal optimum
- b. 2 (dua) jenis agregat

Jumlah benda uji untuk pengujian UCS $3 \times 2 = 6$ benda uji.

3. Pengujian *Indirect Tensile Strength* (ITS)

- a. Masing 3 (tiga) benda uji pada kadar aspal optimum
- b. 2 (dua) jenis agregat

Jumlah benda uji untuk pengujian ITS $3 \times 2 = 6$ benda uji.

4. Uji *Falling Head Permeability*

- a. Masing 3 (tiga) benda uji pada kadar aspal optimum
- b. 2 (dua) jenis agregat

Jumlah benda uji untuk pengujian permeabilitas adalah $3 \times 2 = 6$ benda uji.

Jadi total benda uji adalah 54 buah.

3.7. Pembuatan Benda Uji

Pembuatan benda uji untuk penelitian ini melalui tahapan, yaitu sebagai berikut :

1. Tahap I

Yaitu tahap persiapan, dimana kita mempersiapkan bahan dan alat yang akan digunakan

2. Tahap II

Tahap pemeriksaan bahan, berupa menentukan jenis gradasi agregat yang digunakan

3. Tahap III

Tahap penentuan kadar aspal perkiraan. Untuk menentukan kadar aspal perkiraan dilakukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

4. Tahap IV

Menentukan berat aspal dan agregat yang akan dicampur berdasarkan variasi kadar aspal. Prosentase ditentukan berdasarkan berat total campuran

5. Tahap V

Agregat yang telah ditimbang, dituang ke dalam wajan lalu dipanaskan di atas pemanas sampai suhu 165°C . Aspal dipanaskan sampai mencair, kemudian dituang ke dalam wajan yang berisi agregat yang diletakkan di atas timbangan, sampai berat total campuran tercapai

6. Tahap VI

Setelah aspal dituangkan ke dalam agregat, campuran diaduk sampai rata dan dipanaskan dengan suhu campuran mencapai 165°C . Kemudian campuran ini didiamkan sampai mencapai suhu pemadatan 135°C , lalu campuran ini dimasukkan ke dalam mould untuk penumbukan.

7. Tahap VII

Campuran dipadatkan dengan alat pemadat sebanyak 75 kali pada setiap sisinya. Selanjutnya benda uji didinginkan pada suhu ruang, barulah kemudian dikeluarkan dari mould dengan bantuan dongkrak hidrolik.

3.8. Pengujian Laston

Pengujian untuk Laston antara lain:

3.8.1. Pengujian Volumetrik

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui VIM (*Voids in Mix*) dari masing-masing benda uji. Tahap pengujiannya adalah sebagai berikut :

- a. Benda uji yang telah diberi kode diukur diameter dan ketinggiannya pada empat sisi yang berbeda-beda dengan menggunakan jangka sorong. Setelah itu benda uji ditimbang untuk mendapatkan berat masing-masing benda uji.
- b. Benda uji kemudian direndam selama 24 jam, kemudian benda uji ditimbang di dalam air untuk mendapatkan berat di dalam air dan ditimbang dalam keadaan kering permukaan dengan cara benda dilap dengan kain.
- c. Dari hasil pengukuran di udara, berat di dalam air dan berat SSD, dihitung densitas, berat jenis (*specific gravity*) masing-masing benda uji.
- d. Dari hasil densitas dan SG_{mix} dihitung besarnya VIM dengan menggunakan rumus porositas.

3.8.2. Pengujian *Marshall*

Langkah-langkah dalam pengujian ini adalah :

- a. Benda uji direndam dalam *water bath* (bak perendam) selama 30 menit dengan suhu 60°C.
- b. Kepala penekan *Marshall* dibersihkan dan permukaannya dilapisi dengan pelumas agar benda uji mudah lepas.
- c. Mengeluarkan benda uji dari *water bath* setelah 30 menit dan segera diletakkan pada alat uji *Marshall* yang dilengkapi dengan arloji (*flow meter*) dan arloji pembebanan/stabilitas.
- d. Pembebanan dilakukan hingga mencapai maksimum, yaitu pada saat arloji pembebanan berhenti dan berbalik arah. Pada saat itu dilakukan penentuan stabilitas dan nilai *flow*.
- e. Benda uji dikeluarkan dari alat uji *Marshall* dan dilakukan pengujian benda uji yang lain dengan mengikuti prosedur di atas.

3.8.3. *Indirect Tensile Strength (ITS) Test*

Langkah-langkah dalam pengujian ini adalah :

- a. Setiap benda uji diukur terlebih dahulu tinggi keempat sisinya dan dihitung rata-ratanya untuk menjadi patokan tinggi setiap benda uji. Kemudian diukur diameter setiap benda uji.
- b. Menaruh benda uji di atas mesin UTM, dan dilakukan pembebanan. Pembebanan dihentikan setelah mencapai maksimum pada saat jarum indikator pembebanan berhenti dan berbalik arah. Pada saat itu dilakukan pembacaan besarnya nilai Indirect Tensile Strength Test dan deformasi meter.
- c. Mengeluarkan benda uji untuk dilakukan pengujian pada benda uji yang lain.

3.8.4. *Unconfined Compressive Strength (UCS) Test*

Langkah-langkah dalam pengujian ini adalah sebagai berikut :

- a. Meletakkan benda uji ke mesin UTM
- b. Menghidupkan mesin UTM, dan menurunkan pendesak (bagian atas) sehingga mendekati benda uji. Setelah itu apabila pendesak mulai menekan benda uji, maka jarum penunjuk pada manometer mesin desak akan bergerak sesuai dengan besarnya pembebanan.
- c. Pada saat beban telah mencapai maksimum, maka salah satu dari jarum penunjuk (jarum berwarna hitam) akan kembali ke posisi semula/nol. Jarum lain (jarum yang berwarna merah) tetap menunjukkan angka pembebanan maksimum.
- d. Mencatat beban maksimum

Kemudian dilakukan perhitungan besarnya kuat tekan bebas dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

3.8.5. Pengujian Permeabilitas

Pada pengujian permeabilitas, prosedur pengujian dilakukan dengan mesin AF-16. Dalam pengujian permeabilitas mencakup 4 hal, yaitu : pemasangan bejana rembesan, pengaliran air, pengujian dan penyelesaian.

1. Pemasangan bejana rembesan
 - a. Melepas sekrup dan baut pada 8 posisinya, yang mengencangkan bejana penyerap dan penutup, kemudian melepaskan penutupnya.

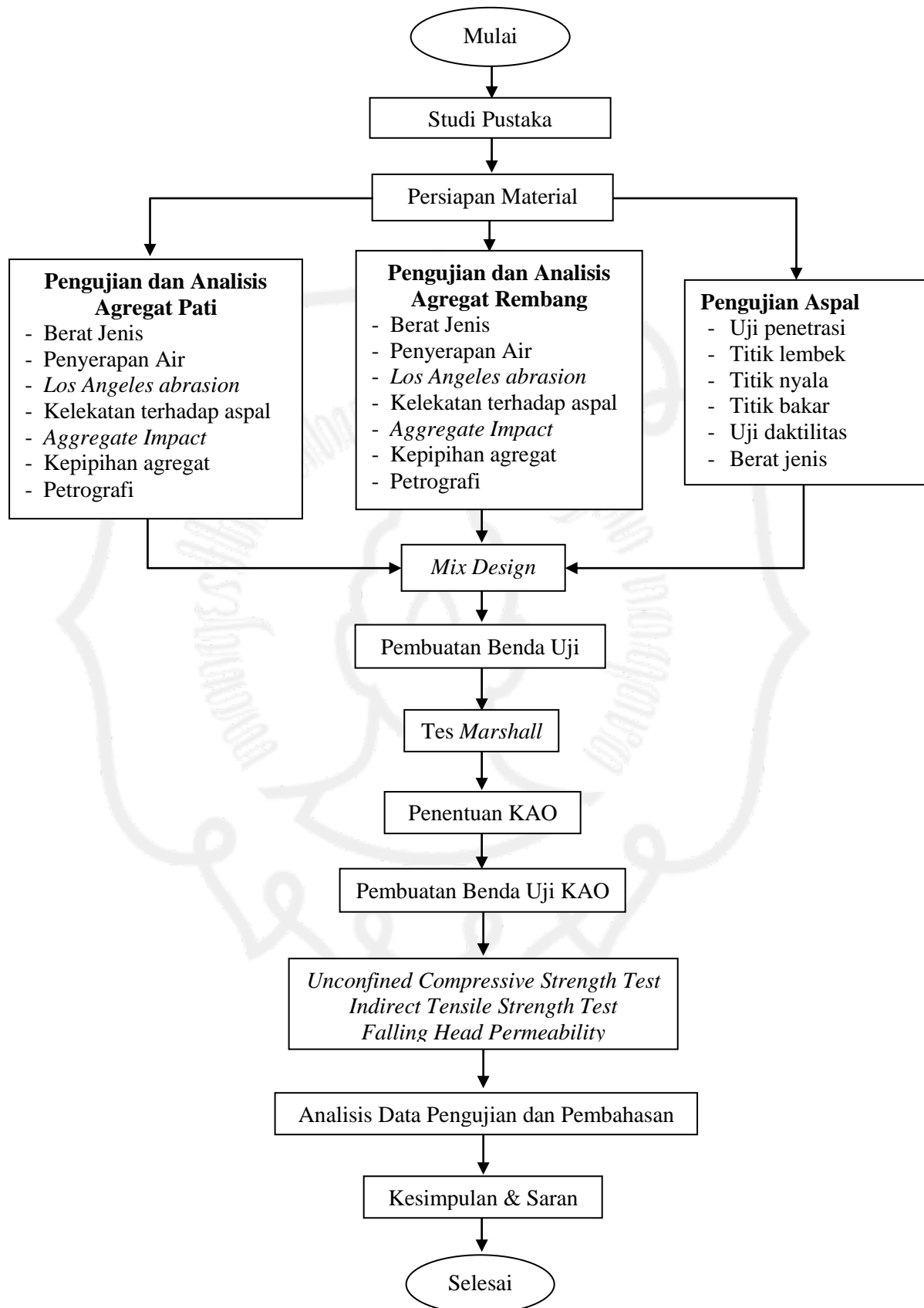
- b. Cincin O dipasang pada permukaan bawah penutup
 - c. Memasukkan plat berlubang dan batu pori ke dalam bejana penyerap
 - d. Mengatur letak benda uji yang telah dipersiapkan sehingga terletak di tengah batu pori
 - e. Mengisi celah antara benda uji dan permukaan dalam bejana dengan lilin atau parafin
 - f. Memasang penutup bejana penyerap pada bejana (memeriksa apakah cincin O sudah terpasang), kemudian mengencangkan dengan sekrup dan baut pada 8 posisinya.
2. Suplai air
- a. Membuka katup suplai air (4) dan ventilasi udara (5), menghubungkan pipa karet pensuplai air pada ujung katup (4), kemudian air dialirkan
 - b. Mengecek ketinggian air dalam tangki dengan ketinggian tabung skala akumulasi tekanan tangki (7). Untuk menurunkan konsumsi gas, air diisi sebanyak mungkin dalam tangki.
 - c. Bila air diisi penuh, katup suplai air (4) dan ventilasi udara (5) ditutup
 - d. Memutar katup pengatur tekanan (2) berlawanan arah jarum jam, kemudian membuka lubang suplai tekanan pada bagian atas silinder nitrogen (1), tekanan tertinggi akan ditunjukkan pada skala alat ukur tekanan (150 kg/cm^2)
 - e. Membuka katup suplai tekanan (3), memutar katup pengatur tekanan (2) untuk menghimpun tekanan $2-3 \text{ kg/cm}^2$ (petunjuk 50 kg/cm^2 pada alat ukur tekanan)
 - f. Membuka ventilasi udara dari bejana dari bejana penyerap (10), kemudian membuka katup sumber suplai (8) dan katup suplai (11) untuk menyuplai air.
 - g. Memeriksa apakah udara ikut keluar bersama air saat air meluap melalui ventilasi udara, kemudian menutup katup suplai (11) dan menutup ventilasi udara
3. Pengujian
- a. Memeriksa apakah katup suplai (11) tertutup. Bila uji tekanan menunjukkan 10 kg/cm^2 atau lebih, katup penghenti dibiarkan tertutup (12)
 - b. Mengatur pengujian tekanan yang dikehendaki dengan memutar katup pengatur tekanan (2) searah jarum jam.

Catatan : terdapat selisih waktu antara kerja katup pengatur tekanan (2) dan gerakan jarum jam penunjuk skala tekanan. Oleh karenanya satu kali operasi katup pengatur tekanan dianggap selisih setelah mencapai tekanan yang dikehendaki, dan saat mengamati gerakan jarum penunjuk setelah posisinya tetap perlahan-lahan katup pengatur tekanan diputar lagi searah jarum jam untuk mengatur tekanan uji.

- c. Apabila penentuan tekanan lebih besar dari tekanan uji yang dikehendaki tutuplah katup pengatur samping (2), ventilasi udara (5) dibuka akumulasi tekanan tangki air untuk menurunkan tekanan menjadi lebih rendah dari tekanan uji, kemudian ventilasi udara ditutup. Katup dibuka lagi dan katup pengatur tekanan (2) diperiksa untuk tekanan uji dengan benar.
 - d. Membuka katup suplai (11) untuk memberikan tekanan benda uji.
 - e. Apabila air yang menetes dari pipa pengumpul sudah konstan, kemudian catat waktu yang diperlukan untuk mengisi air pada tabung pengukur sebanyak 1000 cm³.
4. Penyelesaian
- a. Menutup katup suplai (11), menutup katup pengatur tekanan ke samping (2) berlawanan arah jarum jam untuk mengembalikan pada posisi 0.
 - b. Membuka ventilasi udara (5) untuk melepaskan tekanan, setelah jarum jam penunjuk kembali ke 0, menutup semua katup
 - c. Membuka ventilasi udara bejana penyerap (10), melepas bejananya, mengambil benda uji, kemudian peralatan dibersihkan.

Kemudian dengan data-data yang diperoleh dari percobaan dengan menggunakan alat permeabilitas AF-16, dilakukan perhitungan dengan menggunakan rumus permeabilitas.

DIAGRAM ALIR PENELITIAN



Gambar 3.1. Diagram alir penelitian

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

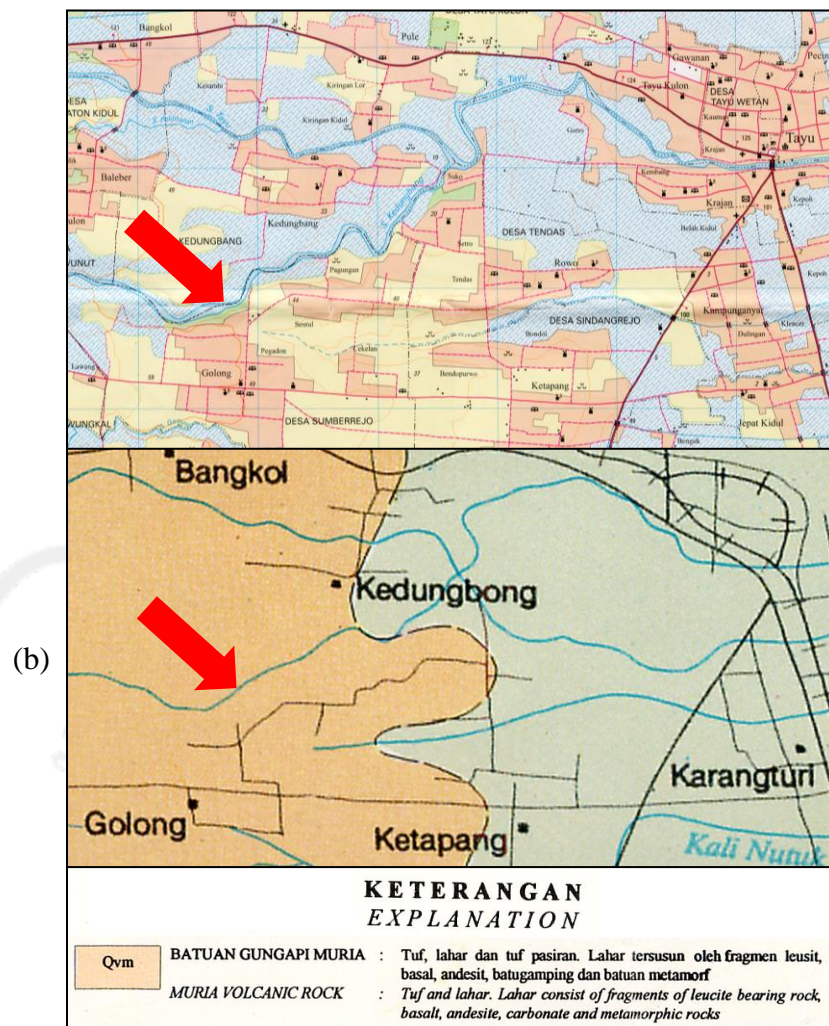
4.1. Pengujian Agregat

Agregat yang diperiksa adalah agregat Rembang diambil dari *quarry* dari Gunung Kunci, Desa Karas, Kecamatan Sedan, Kabupaten Rembang. Agregat Pati diambil dari *quarry* dari Desa Pegadon, Kecamatan Gunung Wungkal, Kabupaten Pati. Pengambilan sampel batuan agregat Rembang diambil dari *quarry* Gunung Kunci, Desa Karas, Kecamatan Sedan, Kabupaten Rembang, diambil dari batuan segar. Sampel batuan agregat Pati diambil dari *quarry* dari Desa Pegadon, Kecamatan Gunung Wungkal, Kabupaten Pati. Pendekatan keterwakilan terhadap karakteristik batuan Pati dilakukan dengan mengambil sampel dengan memperhatikan "kolom litologi batuan" (untuk mengetahui sebaran vertikal batuan) dan batuan yang secara megaskopis terlihat dominan (warna, kepadatan dan tekstur). Sebelum dilakukan pemeriksaan, dilakukan tinjauan terhadap peta geologi pada lembar yang berkaitan. Hal ini dimaksudkan untuk mengetahui pola penyebaran batuan pada lokasi sekitar *quarry* tempat agregat berasal.

1. Tinjauan pada Peta Geologi Lembar Rembang

Bertujuan untuk mengetahui pola penyebaran batu yang digunakan sebagai bahan agregat Pati (dari *quarry* di Desa Pegadon, Kecamatan Gunung Wungkal, Kabupaten Pati).

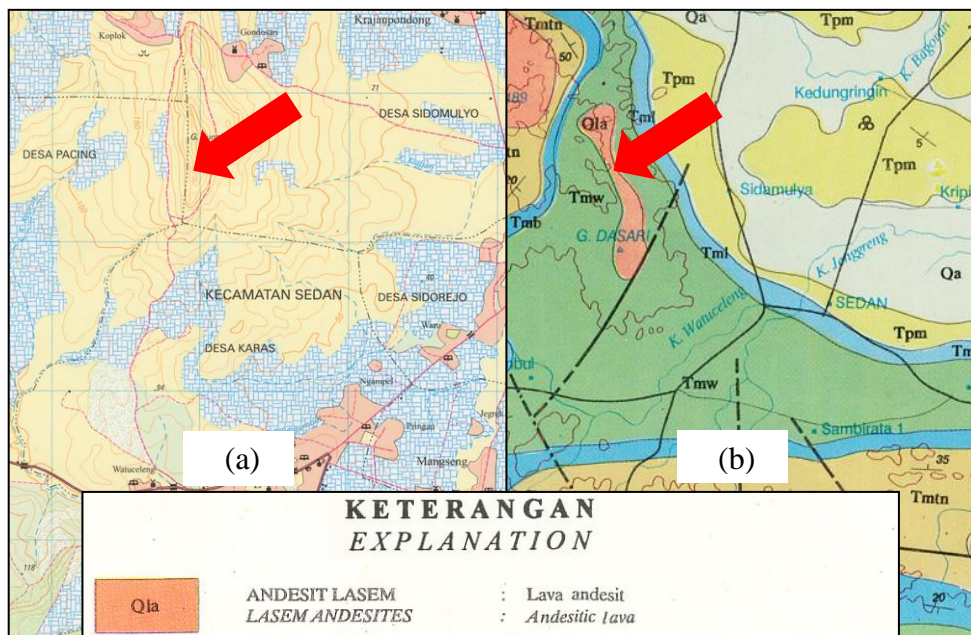
Dari peta geologi lembar tersebut (Gambar 4.1) diperoleh data bahwa batuan yang tersebar di sekitar lokasi *quarry* merupakan Batuan Gunungapi Muria (Qvm), yaitu tuf, lahar dan tuf pasir. Lahar tersusun oleh fragmen leusit, basal, andesit, batugamping dan batuan metamorf. Hal ini berkorelasi positif dengan hasil pengujian petrografi, dimana agregat Pati merupakan batuan jenis basal (*basalt*).



Gambar 4.1. Lokasi *quarry* agregat Pati pada Peta Rupa Bumi (a) dan Peta Geologi (b), (ditunjukkan dengan anak panah)

2. Tinjauan pada Peta Geologi Lembar Jatirogo

Bertujuan untuk mengetahui pola penyebaran batu yang digunakan sebagai bahan agregat Rembang (lokasi *quarry* di Gunung Kunci, Desa Karas, Kecamatan Sedan, Kabupaten Rembang). Dari Gambar 4.2 diperoleh data bahwa batuan yang tersebar di lokasi *quarry* merupakan Batuan Andesit Lasem, yaitu lava andesit. Hal ini berkorelasi positif dengan hasil pengujian petrografi, dimana agregat Rembang merupakan batuan jenis andesit (*andesite*).



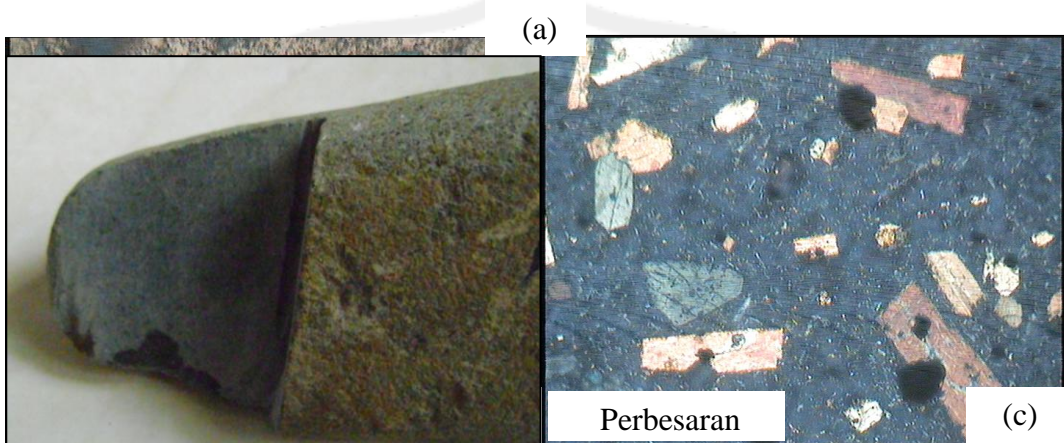
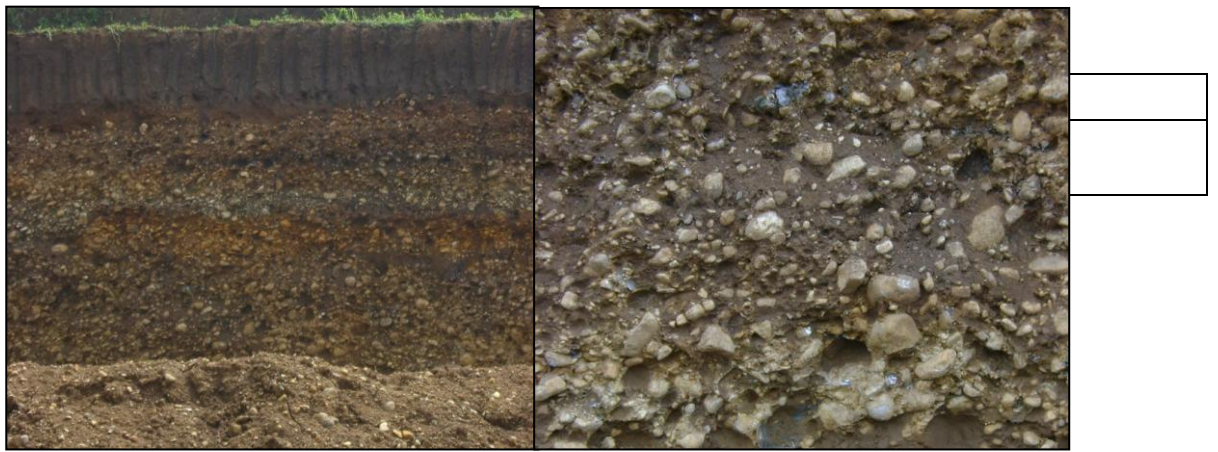
Gambar 4.2. Lokasi *quarry* pada Peta Rupa Bumi (a) dan Peta Geologi (b), (ditunjukkan dengan anak panah)

4.1.1. Pengujian Petrografi

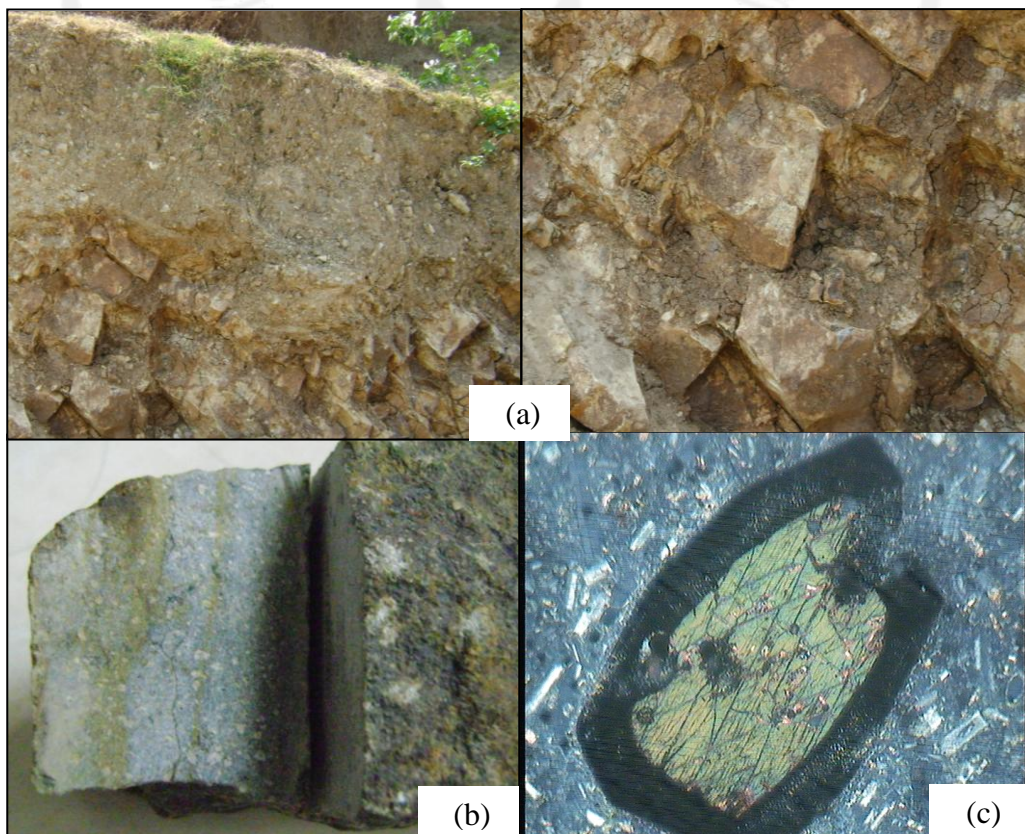
Pengujian petrografi dilaksanakan di Laboratorium Petrografi dan Mineralogi Jurusan Geologi Universitas Pembangunan Nasional (UPN) Veteran, Yogyakarta. Hasil pengujian tersaji pada Tabel 4.1. Kondisi *quarry*, foto megaskopis dan miroskopis tersaji pada Gambar 4.3 untuk agregat Pati dan Gambar 4.4 untuk agregat Rembang.

Tabel 4.1. Hasil pengujian petrografi

No	Asal agregat	Pati	Rembang
1	Nama	<i>Pyroxene basalt</i>	<i>Phorphyry andesite</i>
2	Jenis batuan	Batuan beku basa vulkanik	Batuan beku intermediet vulkanik
3	Warna	Kecoklatan	Putih kecoklatan
4	Indeks warna	40%	20%
5	Derajat kristalinitas	Hipokristalin	Hipokristalin
6	Derajat granularitas	Fanerik halus - sedang	Fanerik halus - kasar
7	Bentuk kristal	Subhedral - euhedral	Subhedral - euhedral
8	Ukuran kristal	0,05 – 2 mm	0,2 – 2,5 mm
9	Relasi	Inequigranular vitroferik dengan tekstur khusus porfiritik	Inequigranular porfiritik dengan tekstur khusus intersertal
10	Komposisi	Plagioklas (30%), piroksen (25%), opak mineral (15%), dan massa dasar gelas (30%)	Plagioklas (50%), piroksen (10%), opak mineral (15%), hornblende (5%), dan massa



Gambar 4.3. Foto kondisi quarry (a); megaskopis (b); dan mikroskopis (c) dari agregat Pati (*pyroxene basalt*)



Gambar 4.4. Foto kondisi quarry (a); megaskopis (b); dan mikroskopis (c) dari agregat Rembang (*Phorphyry andesite*)

Perbesaran

Tabel 4.2 Analisis pengaruh tingkat kekerasan mineral terhadap kekerasan batuan

Nama Mineral	Tingkat kekerasan mineral	Kandungan mineral		Kekerasan batuan	
		Pati	Rembang	Pati	Rembang
	a	b		c = a x b	
Plagioklas	6.25	30%	50%	1.88	3.13
Piroksen	6.75	25%	10%	1.69	0.68
Opak mineral	-	15%	15%	-	-
Hornblende	5.5	-	5%	-	0.28
Massa dasar gelas	5.5	30%	20%	1.65	1.10
Total		100%	100%	5.21	5.18

Berdasarkan komposisi mineral yang diperoleh dari pengujian petrografi yang tersaji pada Tabel 4.1, maka dilakukan pendekatan terhadap hubungan antara tingkat kekerasan mineral penyusun batuan dengan kekerasan batuan yang bersangkutan. Pendekatan ini bersifat proporsional, hanya untuk mendeskripsikan tingkat kekerasan batuan berdasarkan data yang ada, yaitu data komposisi mineral penyusun batuan dan tingkat kekerasan mineral berdasarkan skala kekerasan mineral dari *Mohs scale*, seperti tersaji pada Tabel 2.1.

Dari data yang tersaji pada Tabel 4.2, terlihat bahwa batuan Pati memiliki nilai yang lebih tinggi, yaitu 5,21 dibanding nilai yang dimiliki batuan Rembang yaitu 5,18. Mineral yang berkontribusi terhadap kekerasan batuan Pati adalah plagioklas (*plagioclase*) dengan prosentase 30%, piroksen (*pyroxene*) dengan prosentase 25%, dan massa dasar gelas dengan prosentase 30%. Mineral yang berkontribusi pada kekerasan batuan Rembang adalah plagioklas (*plagioclase*) dengan prosentase 50% dan masa dasar gelas dengan prosentase sebesar 20%. Dari pendekatan ini, dapat disimpulkan bahwa batuan Pati sedikit lebih keras dibandingkan dengan batuan Rembang (0,58%).

4.1.2. Pengujian Sifat Fisik Agregat

Pemeriksaan agregat kasar berikut mengacu ketentuan, syarat dan prosedur dari SNI, Bina Marga, AASHTO, BSI atau organisasi lain yang berkaitan.

Tabel 4.3 menyajikan hasil pengujian agregat. Dari hasil pemeriksaan terhadap agregat baik dari Pati maupun dari Rembang, nilai-nilai *keausan* dengan mesin abrasi Los Angeles, kelekatan agregat terhadap aspal, dan nilai *impact* adalah memenuhi persyaratan untuk digunakan sebagai material perkerasan. Untuk *berat jenis*, yang memenuhi persyaratan adalah agregat Pati, sedangkan agregat Rembang tidak memenuhi persyaratan. Dan nilai kepipihan agregat, baik untuk agregat Pati maupun agregat Rembang, kedua-duanya sama-sama tidak memenuhi persyaratan.

Tabel 4.3. Hasil pengujian agregat

No	Jenis Pemeriksaan	Acuan	Syarat		Agregat Pati	Agregat Rembang
			Min.	Maks.		
1.	Berat jenis curah kering (<i>bulk</i>)	SNI 1969:2008	2,5	-	2,68	2,38
	Berat jenis curah (jenuh kering permukaan)		-	-	2,72	2,44
	Berat jenis semu (<i>apparent</i>)		-	-	2,79	2,52
2.	Penyerapan air	SNI 1969:2008	-	3 %	1,82%	2,99%
3.	Abrasi dengan Mesin Los Angeles	SNI 2417:2008	-	40 %	26%	37,6%
4.	Kelekatan agregat terhadap aspal	SNI 03-2439-200x	95%	-	> 95%	> 95%
5.	Ketahanan terhadap tumbukan (<i>impact</i>)	SNI 03-4426-1997	-	30%	4,86%	10,45%
6	Indeks Kepipihan	BS 812/ RSNI T-01-2005		10%	49,25%	43,98%

Dari hasil pengujian petrografi, maka dilakukan analisis untuk melihat hubungan antara karakter petrografi terhadap kriteria agregat untuk perkerasan jalan. Tabel 4.4 menyajikan analisis keterkaitan antara mineralogi dan kualifikasi agregat yang dibutuhkan untuk perkerasan jalan.

Tabel 4.4 Hubungan karakter petrografi dengan syarat agregat untuk perkerasan jalan

Kriteria	Dipengaruhi oleh	Pati	Rembang
Ketahanan terhadap pemecahan	<ul style="list-style-type: none"> - Porositas - Reaksi kimiawi - Kandungan mineral lunak 	<ul style="list-style-type: none"> - Porositas kecil, penyerapan air kecil, lebih tahan terhadap pemecahan, durabilitas agregat lebih tinggi. 	<ul style="list-style-type: none"> - Porositas lebih tinggi, rentan terhadap pelapukan kimiawi, lebih mudah pecah, durabilitas agregat rendah.
Ketahanan terhadap abrasi	<ul style="list-style-type: none"> - Tingkat kekerasan mineral (Tabel 2.1) - Ukuran butiran - Mineral yang berpotensi melunak karena reaksi kimiawi 	<ul style="list-style-type: none"> - Memiliki <i>pyroxene</i> yang lebih banyak (25%) sehingga lebih keras - Ukuran kristal lebih kecil (0,05 – 2 mm) - Mengandung <i>plagioclase</i> lebih sedikit, sehingga lebih tahan pelapukan 	<ul style="list-style-type: none"> - Memiliki <i>pyroxene</i> lebih sedikit (15%) - Ukuran kristal lebih besar (0,2 – 2,5 mm) - Meski <i>plagioclase</i> lebih keras dibanding <i>pyroxene</i>, tapi <i>plagioclase</i> lebih rentan terhadap pelapukan.
Ketahanan terhadap poles	<ul style="list-style-type: none"> - Tingkat pelapukan 	<ul style="list-style-type: none"> - Pelapukan sedang, tersisa hanya mineral keras, resisten terhadap polesan 	<ul style="list-style-type: none"> - Batuan segar, lebih rentan terhadap polesan
Ketahanan terhadap <i>Stripping</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Tingkat <i>asam – basa</i> batuan: batuan beku basa memiliki kelekatan lebih baik dibanding batuan beku asam (<i>Hallberg, 1958</i>) 	<ul style="list-style-type: none"> - Merupakan batuan beku basa vulkanik, sehingga kelekatan lebih baik (<i>Hallberg, 1958</i>) 	<ul style="list-style-type: none"> - Merupakan batuan beku intermediete vulkanik (antara asam dan basa) sehingga memiliki kelekatan lebih rendah
Ketahanan terhadap Pelapukan/Cuaca	<ul style="list-style-type: none"> - Mineral yang rentan terhadap pelapukan, misalnya <i>plagioclase</i> (Tabel 2.6) 	<ul style="list-style-type: none"> - Memiliki <i>plagioclase</i> yang lebih sedikit (30%), lebih resisten terhadap pelapukan 	<ul style="list-style-type: none"> - Memiliki <i>plagioclase</i> lebih banyak (50%) lebih rentan terhadap pelapukan
Kemampuan Berkontribusi pada Kekakuan dan Kekuatan Campuran	<ul style="list-style-type: none"> - Kekasaran tekstur permukaan - Bentuk agregat 	<ul style="list-style-type: none"> - Fenokris (kristal berukuran besar, <i>plagioclase</i>) hadir lebih sedikit dibanding dengan massa dasar, sehingga tekstur lebih halus 	<ul style="list-style-type: none"> - Fenokris (kristal berukuran besar, <i>plagioclase</i>) hadir lebih banyak dibanding dengan massa dasar, sehingga tekstur lebih kasar

4.2. Pengujian Aspal

Pengujian fisik aspal dilakukan untuk mengetahui karakteristik aspal yang akan dipakai dalam campuran Laston. Hasil pemeriksaan aspal tersaji pada tabel 4.5.

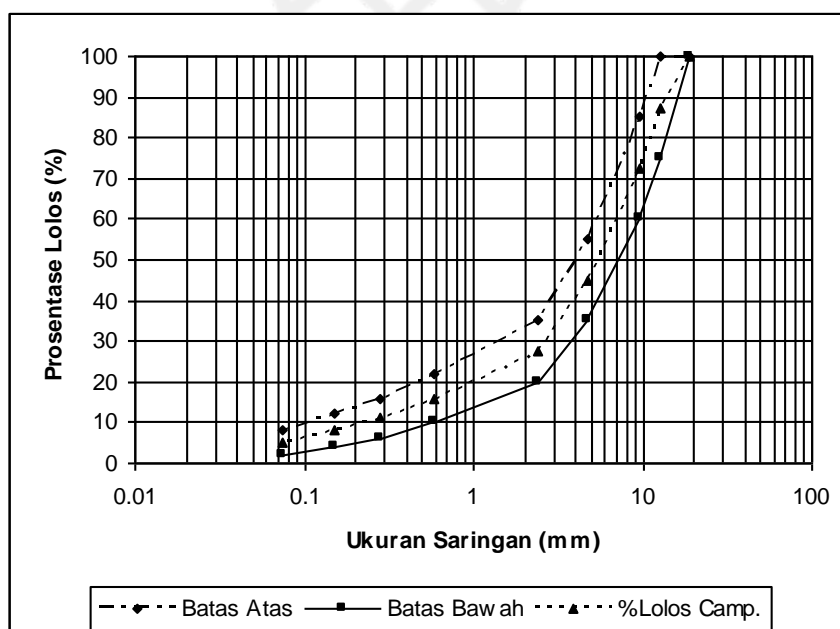
Tabel 4.5. Hasil pengujian aspal

No.	Jenis Pemeriksaan	Syarat		Hasil Pengujian
		Min.	Maks.	
1.	Penetrasi, 10gr, 25 °C, 5 detik	60	79	70
2.	Titik Lembek, °C	48	58	48.5
3.	Titik Nyala, °C	200	-	350
4.	Titik Bakar, °C	200	-	370
5.	Daktilitas, 25 °C, 5 cm/menit,	100	-	>150
6.	<i>Spesific Gravity</i> , gr/cc	1 gr/cc	-	1.039

Dari hasil pengujian, maka aspal yang akan digunakan untuk pengujian campuran laston memenuhi persyaratan yang ditentukan

4.3. Pengujian Laston

Campuran yang digunakan pada saat pengujian kinerja agregat pada campuran laston menggunakan gradasi agregat untuk spesifikasi Laston BM II, dengan gradasi seperti tersaji pada Tabel 2.5. Persyaratan campuran Laston tersaji pada Tabel 2.9.



Gambar 4.5. Gradasi laston spesifikasi BM II

Campuran ini difungsikan sebagai lapis permukaan, perata (*leveling*), dan lapis antara (*binder*). Pertimbangan pemilihan gradasi jenis ini adalah kesesuaian dengan kondisi yang ada di Kabupaten Blora. Grafik gradasi campuran Laston BM II tersaji pada Gambar 4.5. Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui kinerja agregat Pati maupun Rembang dalam campuran laston.

4.3.1. Pengujian Marshall

Sebelum dilakukan pengujian terlebih dahulu dilakukan uji *Volumetric Test* dengan melakukan pengukuran diameter, tebal dan berat dari benda uji, kemudian dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai densitas, porositas, dan SG_{mix} .

Contoh Perhitungan Volumetrik benda uji pada kadar aspal 5,5 % adalah sebagai berikut :

- Kode benda uji = KR.5,5.1. (agregat Karas, kadar aspal 5.5%, benda uji#1)
- Berat benda uji diudara (W_{dry}) = 1081,3 gram
- Berat di air (W_w) = 592,7 gram
- Berat kering permukaan (W_s) = 1107,1 gram

Maka :

$$\text{Densitas} = \frac{W_{dry}}{(W_s - W_w)} = \frac{1081,30}{(1107,1 - 592,7)} = 2,1021$$

$$Sg_{mix} = \frac{100}{\frac{\%W_{Agregat}}{SG_{Ag}} + \frac{\%W_b}{SG_b}}$$

$$= \frac{100}{\frac{94,5}{2,38} + \frac{5,5}{1,039}}$$

$$= 2,22 \text{ gr / cc}$$

$$\text{Porositas} = \left(1 - \frac{D}{2,22}\right) * 100\%$$

$$= \left(1 - \frac{2,1021}{2,2208}\right) * 100\%$$

$$= 5,3464\%$$

Perhitungan volumetrik selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran D. Setelah pengujian volumetrik dilakukan, kemudian baru dilakukan pengujian *Marshall* dan didapatkan nilai Stabilitas, *Flow* dan *Marshall Quotient (MQ)*. Dari Hasil pengujian *Marshall* dapat diketahui kadar aspal optimum yang kemudian dijadikan sebagai dasar dalam pembuatan benda uji berikutnya. Hasil rekapitulasi perhitungan *Marshall Test* tersaji pada Tabel 4.6 dan 4.7.

Tabel 4.6. Rekapitulasi hasil *Marshall test* agregat Pati

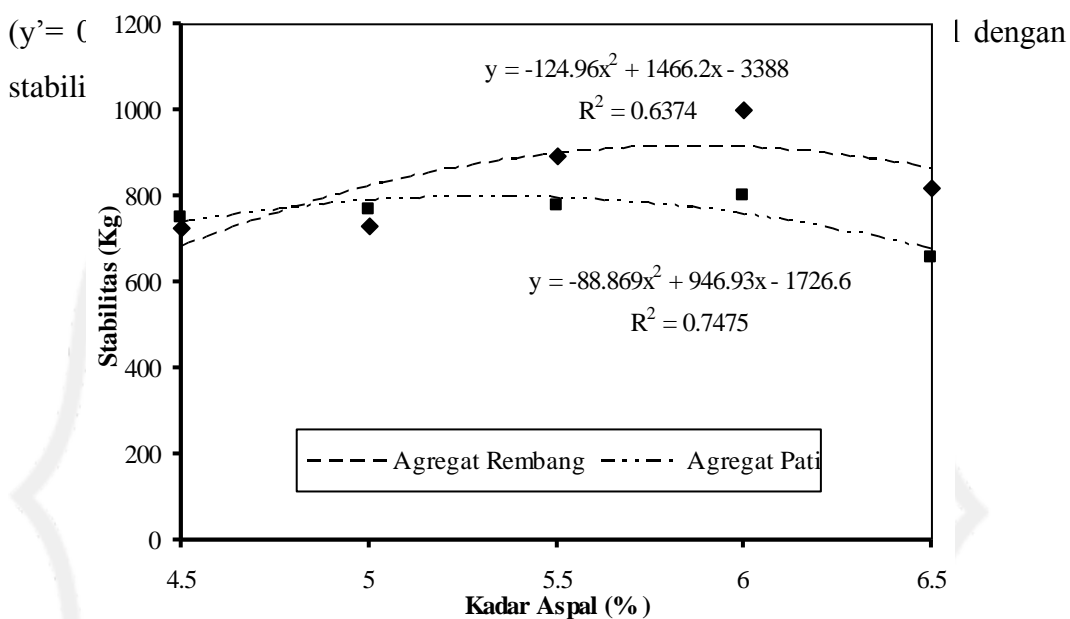
Karakteristik Marshall	Kadar Aspal (%)				
	4,5	5	5,5	6	6,5
Densitas (gr/cm ³)	2,3061	2,3471	2,3714	2,3675	2,3663
Porositas (%)	7,8925	5,5660	3,8887	3,3495	2,6992
Stabilitas (kg)	747,7	766,9	775,0	799,3	654,9
<i>Flow</i> (mm)	2,77	2,50	3,57	3,40	3,57
<i>Marshall Quotient</i>	287,76	310,15	222,82	236,17	185,45

Tabel 4.7. Rekapitulasi hasil *Marshall test* agregat Rembang

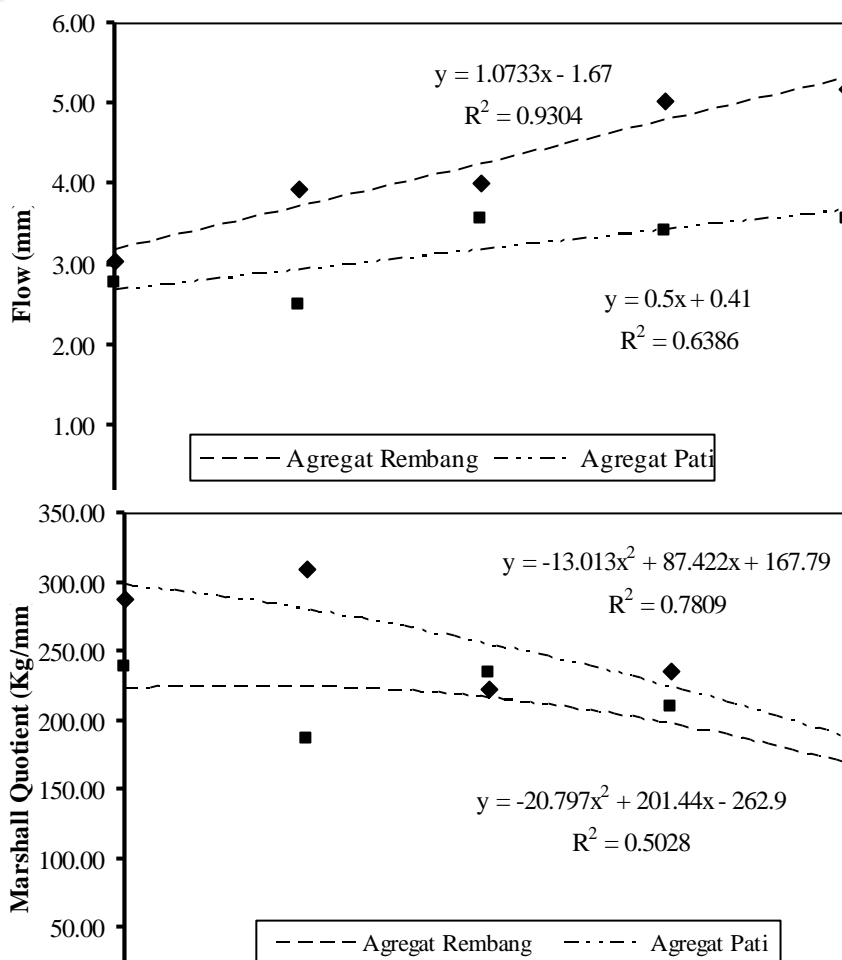
Karakteristik Marshall	Kadar Aspal (%)				
	4,5	5	5,5	6	6,5
Densitas (gr/cm ³)	2,0801	2,1003	2,1185	2,1391	2,1078
Porositas (%)	7.4612	5.9949	4.6076	3.0972	3.9456
Stabilitas (kg)	723,5	731,2	894,4	1000,5	818,0
<i>Flow</i> (mm)	3,03	3,93	4,00	5,03	5,17
<i>Marshall Quotient</i>	283,05	187,15	233,77	210,39	158,10

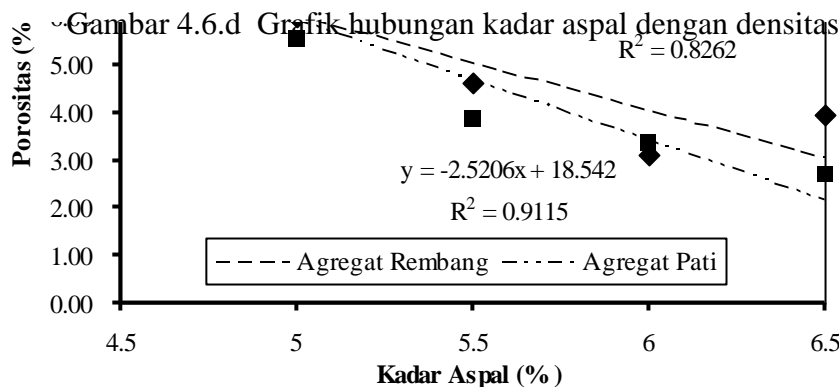
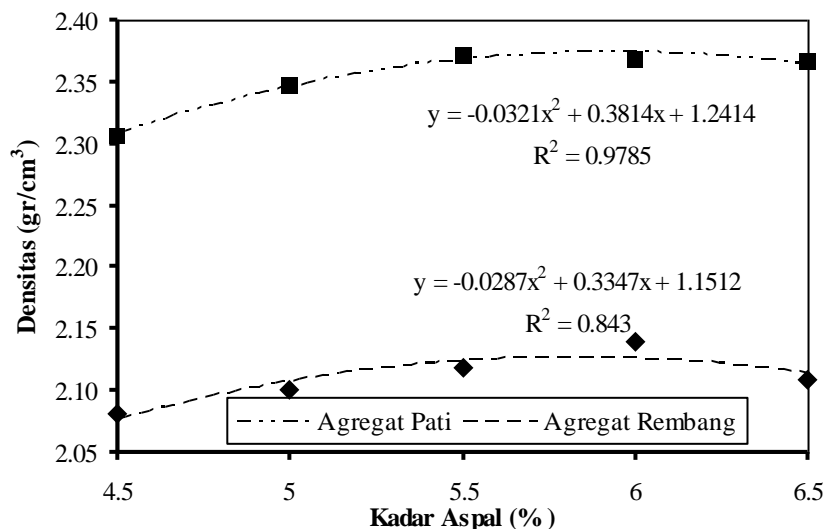
4.3.2. Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)

Kadar Aspal Optimum (KAO) adalah besarnya nilai kadar aspal pada campuran dimana akan menghasilkan karakteristik terbaik. Untuk menentukan besarnya kadar aspal optimum dibuat grafik hubungan antara stabilitas dengan kadar aspal dengan menggunakan analisis regresi polinomial pangkat dua (persamaan parabola). Kadar aspal optimum ditentukan berdasarkan penurunan



Gambar 4.6.a Grafik hubungan kadar aspal dengan dengan stabilitas





Gambar 4.6.e Grafik hubungan kadar aspal dengan porositas

Berdasarkan analisis regresi polinomial hubungan antara kadar aspal dengan stabilitas. Analisis regresi linear digunakan untuk menentukan hubungan antara *flow* dengan kadar aspal, porositas dengan kadar aspal. Penentuan hubungan densitas dengan kadar aspal, Marshall Quotient dengan kadar aspal menggunakan analisis regresi polinomial pangkat dua.

1. Penentuan Nilai KAO Campuran yang Menggunakan Agregat Pati

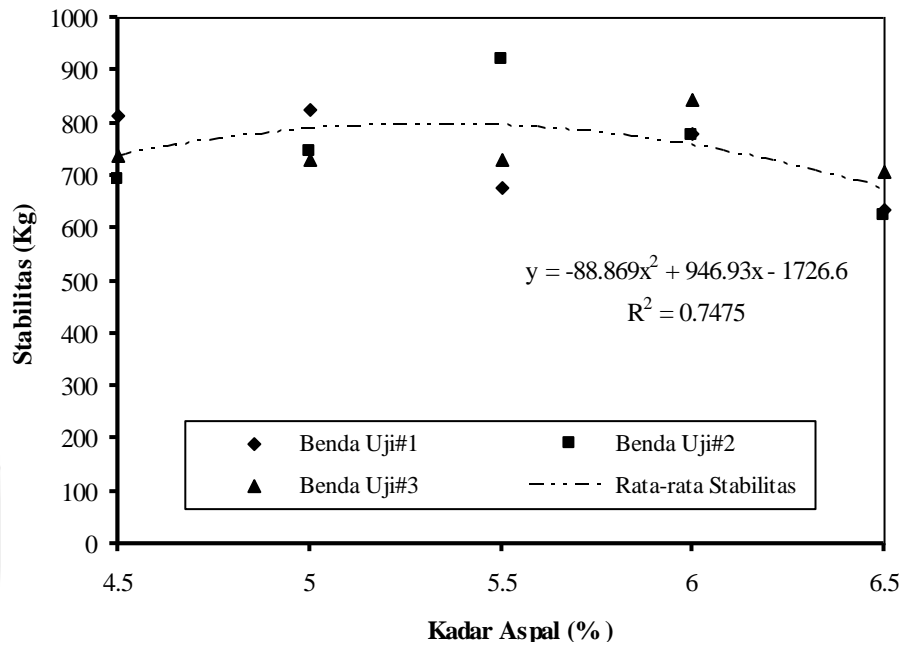
Dari grafik hubungan kadar aspal dengan stabilitas pada Gambar 4.7 maka didapatkan persamaan kuadrat sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 y &= - 88,86 x^2 + 946,9 x - 1726 \\
 y' &= 0 \\
 0 &= - 177,72 x + 946,9 \\
 177,72 x &= 946,9
 \end{aligned}$$

$$x = 946,9 / 177,72$$

$$x = 5,33 \%$$

Jadi kadar aspal optimum untuk campuran dengan menggunakan agregat Pati adalah 5,33% dari berat total campuran.



2. Pe Gambar 4.7. Grafik hubungan kadar aspal dengan stabilitas campuran dengan agregat Pati pada KAO

Dari

8

didapatkan persamaan kuadrat sebagai berikut :

$$y = -124,9 x^2 + 1466 x - 3388$$

$$y' = 0$$

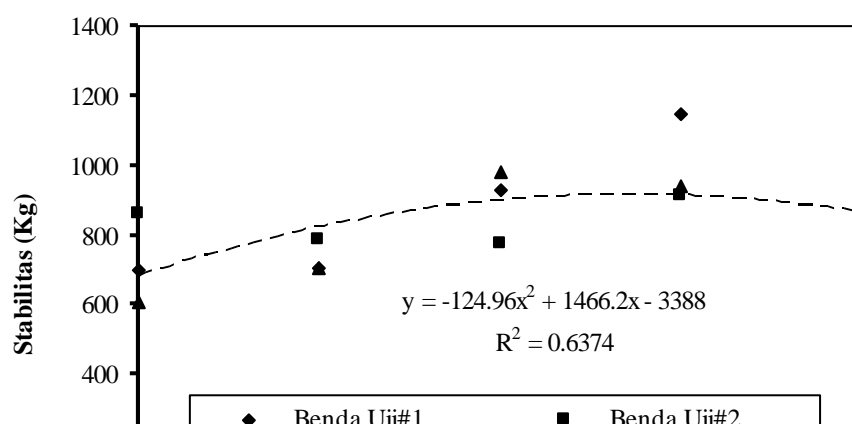
$$0 = -249,8x + 1466$$

$$249,8 x = 1466$$

$$x = 1466 / 249,8$$

$$x = 5,86 \%$$

Jadi kadar aspal optimum untuk campuran dengan menggunakan agregat Rembang adalah 5,86 % dari berat total campuran



Dari hasil dua perhitungan di atas, terlihat bahwa campuran yang menggunakan agregat Rembang membutuhkan lebih banyak aspal untuk mencapai optimumnya (5,86%). Hal ini disebabkan karena agregat Rembang memiliki berat jenis yang lebih kecil, sehingga dengan berat yang sama maka volume lebih besar. Akibatnya luas permukaan agregat yang harus diselimuti aspal juga lebih luas. Di samping itu, agregat Rembang juga memiliki tingkat penyerapan yang lebih besar, sehingga aspal yang ada lebih banyak meresap ke dalam butiran agregat.

Hal sebaliknya terjadi pada campuran yang menggunakan agregat Pati. Untuk mencapai KAO, aspal yang dibutuhkan campuran ini adalah 5,33%. Hal ini disebabkan karena agregat Pati mempunyai berat jenis yang lebih besar, sehingga pada berat yang sama volume yang terjadi lebih kecil. Dengan volume yang kecil, maka luas permukaan yang harus diselimuti aspal juga lebih kecil. Akibatnya, jumlah aspal yang dibutuhkan lebih sedikit. Di samping itu, tingkat penyerapan agregat Pati lebih kecil, sehingga aspal yang ada tidak banyak terserap ke dalam butiran agregat, tapi langsung menyelimuti permukaan agregat. Selanjutnya kadar aspal optimum ini akan digunakan sebagai dasar dalam perhitungan kadar aspal untuk pembuatan benda uji *Indirect Tensile Strength (ITS)*, *Unconfined Compressive Strength (UCS)* dan Permeabilitas. Benda uji yang dibuat sebanyak 9 buah dengan masing-masing menggunakan agregat Pati dan agregat Rembang pada campuran Laston BM II.

4.3.3. Sifat *Marshall* pada Kadar Aspal Optimum

Dalam pengujian ini tidak dilakukan pembuatan benda uji, tetapi hanya melakukan analisis data dari kadar aspal optimum yang telah didapatkan sebelumnya kedalam persamaan polynomial untuk tiap-tiap hubungan kadar aspal dengan sifat *Marshall* yang meliputi : stabilitas, *flow*, *Marshall Quotient*, densitas dan porositas. Berdasarkan hasil analisis diketahui bahwa kadar aspal optimum adalah sebesar 5,33 % untuk campuran yang menggunakan agregat Pati dan sebesar 5,86 % untuk campuran yang menggunakan agregat Rembang. Berikut adalah contoh perhitungan *Marshall Properties* dengan kadar aspal optimum pada persamaan polynomial hubungan antara kadar aspal dengan stabilitas (Gambar 4.8.) adalah sebagai berikut :

$$Y = -124,9 x^2 + 1466 x - 3388$$

$$Y = -124,9 (5,86)^2 + 1466 (5,86) - 3388$$

$$Y = -4289,02 + 8590,76 - 3388$$

$$Y = 913,74$$

Jadi nilai stabilitas campuran dengan menggunakan agregat Rembang pada kadar aspal optimum adalah 913,74 kg. Rekapitulasi hasil perhitungan *Marshall Properties* pada kadar aspal optimum tersaji pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8. Rekapitulasi *Marshall Properties* agregat pada Kadar Aspal Optimum

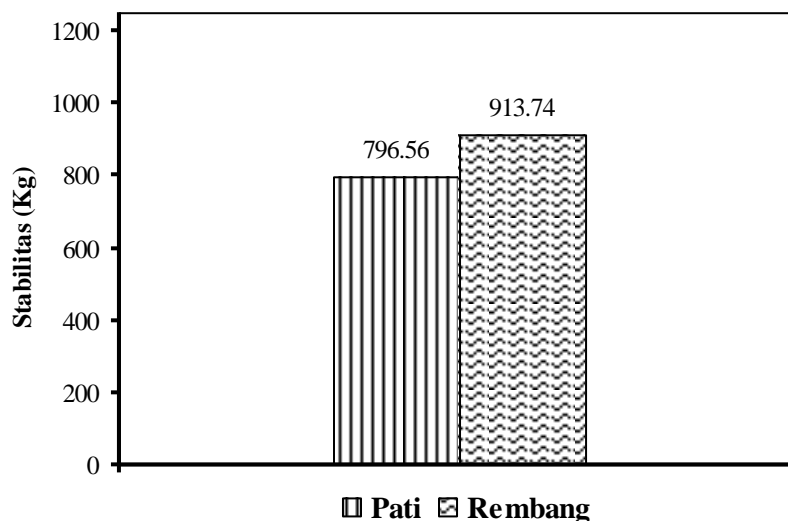
No.	Agregat	KAO	Data Marshall	Hasil
1.	Rembang	5,86 %	Densitas (gr/cm ³)	2,147
			Porositas (%)	4,306
			Stabilitas (kg)	913,74
			<i>Flow</i> (mm)	4,62
			Marshall Quotient (kg/mm)	203,38
2.	Pati	5,33 %	Densitas (gr/cm ³)	2,565
			Porositas (%)	5,1072
			Stabilitas (kg)	796,56
			<i>Flow</i> (mm)	3,08
			Marshall Quotient (kg/mm)	264,05

4.4. Hubungan Sifat Agregat terhadap Sifat Marshall

Sifat *Marshall* ditunjukkan dengan nilai stabilitas, kelelahan (*flow*), dan hasil bagi *Marshall* (*Marshall Quotient*). Nilai tersebut merupakan besaran yang diukur langsung dari pengujian pada saat benda uji dibebani dengan alat uji *Marshall*. Analisis terhadap hubungan antara sifat agregat sebagai material penyusun dengan sifat *Marshall* yang adalah sebagai berikut:

4.4.1. Stabilitas

Stabilitas merupakan parameter empiris untuk mengukur kemampuan dari campuran aspal untuk menahan deformasi yang disebabkan oleh suatu pembebanan. Faktor-faktor yang mempengaruhi nilai stabilitas diantaranya adalah gradasi agregat dan kadar aspal. Stabilitas pada perkerasan beraspal meningkat seiring dengan meningkatnya kadar aspal hingga mencapai nilai maksimum dan setelah itu nilainya akan menurun, tetapi tiap jenis campuran mempunyai stabilitas yang berbeda. Selain itu stabilitas campuran juga ditentukan oleh bentuk dan tekstur permukaan agregat. Perbandingan besarnya nilai stabilitas dari agregat Pati dan Rembang tergambar pada Gambar 4.9. Pada hasil pengujian *Marshall* pada gambar di atas terlihat, bahwa agregat Rembang memiliki stabilitas yang lebih tinggi (913,74 kg) dibanding agregat Pati (796,56 kg). Menurut persyaratan campuran Laston seperti yang tersaji pada Tabel 2.9, kedua campuran masuk dalam *range* yang diijinkan, yaitu diantara 550-1250 kg. Perbedaan nilai stabilitas ini kemungkinan disebabkan agregat Pati lebih banyak mengandung butiran pipih (*flakiness index*/indeks kepipihan agregat 49,25%). Umumnya, batuan yang keras dan kuat akan atau getas akan menghasilkan lebih banyak agregat yang pipih



Gambar 4.9. Grafik perbandingan nilai stabilitas pada KAO

daripada batuan yang lunak (Smith, M.R. & Collis, L.,1993), sehingga campuran yang banyak mengandung butiran pipih akan memiliki kestabilan yang lebih kecil. Sebaliknya agregat Rembang lebih sedikit mengandung butiran pipih (*flakiness index*/indeks kepipihan agregat 43,98%), karena karakter batuan lunak memang sedikit menghasilkan butiran pipih disaat pemecahan (*crushing*). Maka kestabilan campuran yang menggunakan agregat ini akan lebih tinggi.

Selain itu penyebab dari perbedaan nilai stabilitas adalah karena perbedaan berat jenis dari kedua agregat tersebut. Agregat Rembang memiliki berat jenis yang lebih kecil dibandingkan agregat Pati. Pada berat benda uji yang sama (\pm 1100 gr), agregat dengan berat jenis kecil memiliki volume dan jumlah butiran yang lebih banyak, apabila dibandingkan dengan agregat dengan berat jenis yang lebih besar. Dengan demikian campuran dengan agregat yang memiliki berat jenis kecil mempunyai *interlocking* yang lebih baik, sehingga ikatan antar agregat terjadi lebih baik sehingga akan menghasilkan stabilitas yang lebih baik juga. Agregat dengan berat jenis besar (memiliki pori yang sedikit) membuat aspal sulit terserap ke dalam agregat. Aspal yang ada akan menurunkan nilai stabilitas yang disebabkan ikatan antar agregat yang sudah diselimuti aspal akan merenggang oleh desakan aspal yang berlebihan.

Agregat	Hasil pengujian	Hubungan dengan sifat agregat
Pati	Nilai stabilitas campuran pada KAO sebesar 796,56 kg (memenuhi syarat)	<ul style="list-style-type: none"> • Batuan Pati merupakan batuan <i>basalt</i> yang getas yang akan menghasilkan lebih banyak agregat yang pipih pada saat <i>crushing</i> (indeks kepipihan 49,25%) • Berat jenis lebih besar, volume lebih kecil • Pada berat yang sama, jumlah butiran lebih sedikit, penguncian antar agregat menjadi kurang baik • Tekstur agregat halus (<i>basalt</i>), gaya gesekan (friksi) kecil

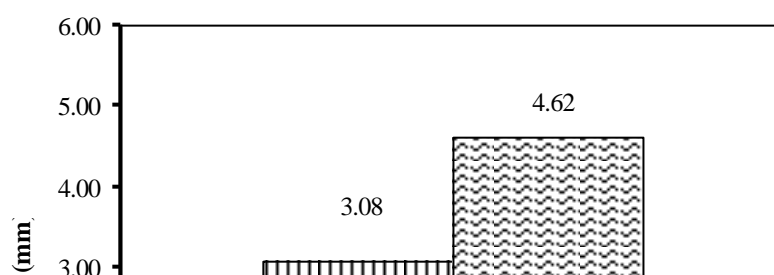
Tabel 4.9. Hubungan nilai stabilitas *Marshall* dengan sifat agregat

Rembang	Nilai stabilitas campuran pada KAO sebesar 913,74 kg (memenuhi syarat)	<ul style="list-style-type: none"> • Batuan Rembang merupakan batuan <i>andesite</i> yang lebih lunak akan menghasilkan lebih sedikit butiran pipih (indeks kepipihan 43,98%) • Berat jenis lebih kecil, pori banyak • Pada berat yang sama, jumlah butiran agregat lebih banyak, penguncian antar agregat lebih baik. • Tekstur lebih kasar (<i>andesite</i>), gaya gesekan besar.
----------------	--	---

Perbedaan nilai stabilitas yang dihasilkan oleh campuran yang menggunakan agregat yang berbeda itu juga disebabkan oleh perbedaan jenis permukaan agregat. Agregat Rembang (*andesite*) mempunyai tekstur yang lebih kasar dibanding agregat Pati (*basalt*). Agregat yang memiliki permukaan tekstur lebih kasar akan memiliki gaya gesekan antar agregat yang lebih baik dibanding dengan agregat dengan tekstur permukaan yang halus. Gesekan yang timbul antar partikel menentukan stabilitas dan daya dukung dari lapisan perkerasan. Hasil pengujian dan pembahasan tersaji dalam Tabel 4.9.

4.4.2. Kelelehan (*Flow*)

Flow adalah tingkat kelelehan yang menyatakan besarnya deformasi (penurunan). Nilai flow dipengaruhi oleh gradasi agregat, kadar, dan jenis aspal, serta bentuk permukaan batuan. *Flow* adalah merupakan keadaan perubahan bentuk suatu campuran yang terjadi bila menerima beban sampai batas runtuh yang dinyatakan dalam mm. Nilai *flow* merupakan suatu indikasi akan ketahanan terhadap deformasi, oleh karena itu harus tidak terlalu tinggi ataupun rendah. Faktor-faktor yang mempengaruhi besarnya nilai *flow* yaitu gradasi agregat, kadar, dan jenis aspal, serta bentuk permukaan batuan, dan rongga dalam mineral agregat (VMA). Campuran dengan nilai VMA yang kecil mengakibatkan penggunaan aspal yang sedikit, sehingga menghasilkan nilai VIM (*Voids in Mix*) yang kecil. Campuran yang demikian mempunyai nilai kelenturan yang rendah. Kecenderungan nilai kelelehan akan naik seiring dengan penambahan prosentase kadar aspal. Pemakaian aspal yang banyak pada campuran yang



mempunyai VMA yang kecil mengakibatkan aspal tidak lagi dapat menyelimuti agregat dengan baik dan juga menghasilkan VIM yang kecil sehingga aspal meleleh akibat pengaruh temperatur dan pemadatan lanjutan oleh beban lalu lintas. Gambar 4.10 menunjukkan perbandingan nilai *flow* dari campuran dengan agregat Pati dan agregat Rembang. Dari hasil penelitian, pada KAO agregat Pati memiliki nilai *flow* yang lebih rendah, yaitu 3,08 mm. Sebaliknya agregat Rembang memiliki *flow* yang lebih tinggi, yaitu 4,62 mm. Berdasarkan persyaratan campuran Laston yang tersaji pada Tabel 2.9, maka hanya campuran dengan agregat Pati yang memenuhi persyaratan. Sebaliknya agregat Rembang tidak memenuhi persyaratan karena terlalu tinggi. Perbedaan nilai *flow* dari kedua campuran tersebut terjadi karena perbedaan tingkat penyerapan dari agregat masing-masing campuran. Agregat Pati memiliki pori yang sedikit (berat jenis besar, penyerapan kecil), yang berarti memiliki nilai VMA yang kecil, dimana hal ini mengakibatkan kebutuhan aspal yang lebih sedikit. Dengan aspal yang sedikit, maka campuran memiliki nilai kelenturan yang rendah. Hal sebaliknya ditunjukkan pada campuran yang menggunakan agregat Rembang. Agregat Rembang memiliki pori yang lebih banyak (berat jenis kecil, penyerapan besar), yang berarti memiliki VMA yang besar, dimana hal ini mengakibatkan kebutuhan aspal yang lebih besar. Dengan aspal yang lebih banyak, maka campuran ini memiliki kelenturan yang lebih besar. *Flow* yang tinggi menunjukkan tingkat kelenturan yang tinggi, sehingga retakan yang timbul karena pembebanan dapat

terhindari, namun kemungkinan timbulnya *bleeding* menjadi besar. Sebaliknya *flow* yang rendah menunjukkan tingkat kelenturan lapisan rendah dan bersifat getas, sehingga mudah mengalami pecah akibat terjadinya pemisahan antar partikel butiran. Nilai *flow* akan meningkat seiring dengan penambahan kadar aspal. Hal ini terjadi karena rongga udara dalam campuran makin terisi oleh aspal, sehingga ruang udara dalam campuran semakin kecil. Dengan bertambahnya aspal, waktu kelelehannya makin panjang, sehingga pada saat diberikan beban akan lebih mampu mengikuti deformasi akibat beban. Tabel 4.10 menyajikan hasil nilai *flow* dengan pembahasannya.

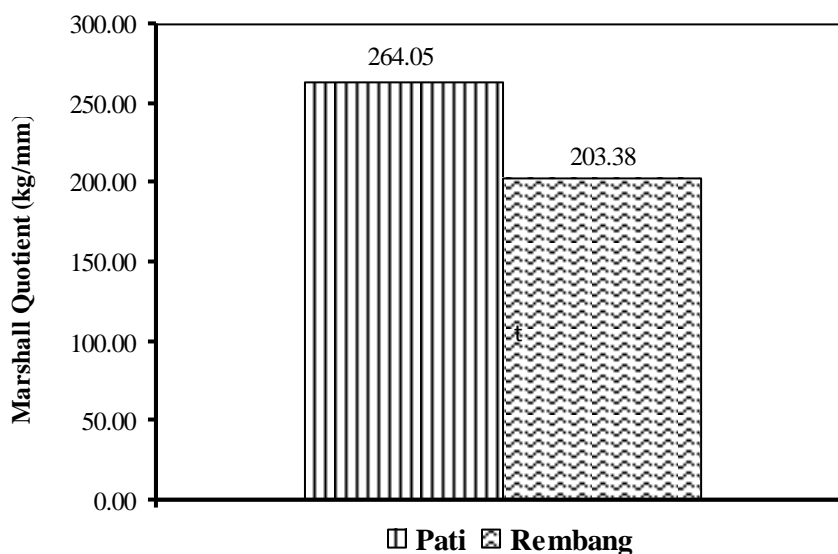
Tabel 4.10. Hubungan nilai *flow* dengan sifat agregat

Agregat	Hasil pengujian	Hubungan dengan sifat agregat
Pati	Nilai <i>flow</i> campuran pada KAO sebesar 3,08 mm (memenuhi syarat).	<ul style="list-style-type: none"> • Berat jenis lebih besar, pori lebih sedikit, VMA kecil, kebutuhan aspal lebih sedikit, <i>flow</i> lebih kecil • Mengandung mineral <i>bytownite</i> yang memiliki berat jenis $\pm 2,7$ (Tabel 2.2) sehingga kerapatan lebih tinggi, lebih sedikit menyerap aspal • Campuran lebih getas, mudah retak
Rembang	Nilai <i>flow</i> campuran pada KAO sebesar 4,62 mm (terlalu tinggi)	<ul style="list-style-type: none"> • Berat jenis lebih kecil, pori banyak, VMA besar, kebutuhan aspal lebih banyak, sehingga <i>flow</i> lebih besar • Mengandung mineral <i>andesine</i> yang memiliki berat jenis $\pm 2,6$ (Tabel 2.2), sehingga kerapatan batuan lebih rendah (porus), lebih banyak menyerap aspal • Campuran lebih lentur, tapi rawan <i>bleeding</i>.

4.4.3. Marshall Quotient (MQ)

Marshall Quotient merupakan hasil bagi stabilitas *Marshall* dengan kelelehan (*flow*) yang juga merupakan indikator terhadap kekakuan campuran. Kelenturan adalah kemampuan lapisan perkerasan untuk dapat mengikuti

deformasi yang terjadi akibat beban lalu lintas berulang tanpa timbul retak-retak. Jumlah aspal yang dipakai adalah faktor yang mempengaruhi kelenturan.



Gambar 4.11. Grafik perbandingan nilai *Marshall Quotient* pada KAO

Nilai *Marshall Quotient* yang tinggi menunjukkan kekakuan dari perkerasan dan berakibat perkerasan menjadi getas sehingga mudah terjadinya retak-retak (*cracking*). Sebaliknya nilai MQ yang rendah, menunjukkan campuran terlalu plastis/fleksibel, yang akan berakibat perkerasan mudah mengalami deformasi pada waktu menerima beban lalu lintas. Dari hasil penelitian yang tersaji pada Gambar 4.11, terlihat bahwa pada KAO nilai *Marshall Quotient* agregat Pati lebih tinggi, yaitu 264,05 kg/mm, lebih tinggi dibandingkan nilai MQ yang dimiliki oleh agregat Rembang, yaitu 203,38 kg/mm. Nilai MQ dari kedua campuran masih di dalam ambang persyaratan seperti yang tersaji pada Tabel 2.9, yaitu 200 – 350 kg/mm. Sementara perbedaan nilai MQ dari kedua campuran disebabkan karena campuran yang menggunakan agregat Rembang memiliki kadar aspal yang lebih besar (5,86%), sehingga lebih lentur, dibandingkan dengan campuran dengan agregat Pati yang berkadar aspal 5,33%.

Tabel 4.11. Hubungan nilai *Marshall Quotient* dengan sifat agregat

Agregat	Hasil pengujian	Hubungan dengan sifat agregat
Pati	Nilai MQ campuran pada KAO sebesar 264,05 kg/mm (memenuhi syarat)	<ul style="list-style-type: none"> • Berat jenis lebih besar (mengandung mineral <i>bytownite</i> yang memiliki berat jenis $\pm 2,7$ (Tabel 2.2)), pori lebih sedikit, VMA kecil, kebutuhan aspal lebih sedikit, <i>flow</i> lebih kecil • Nilai MQ lebih besar, disebabkan kadar aspal lebih kecil, sehingga campuran akan lebih getas, mudah retak
Rembang	Nilai MQ campuran pada KAO sebesar 203,38 kg/mm (memenuhi syarat)	<ul style="list-style-type: none"> • Berat jenis lebih kecil (mengandung mineral <i>andesine</i> yang memiliki berat jenis $\pm 2,6$ (Tabel 2.2)), pori banyak, VMA besar, kebutuhan aspal lebih banyak, sehingga <i>flow</i> lebih besar • Nilai MQ lebih kecil, disebabkan kadar aspal lebih banyak, sehingga campuran lebih lentur, tapi rawan <i>bleeding</i>.

4.5. Pengujian *Indirect Tensile Strength* (ITS)

Dari hasil pengujian benda uji dengan menggunakan alat *Indirect Tensile Strength Test* (*ITST*) diperoleh hasil pembacaan alat berupa nilai kuat tarik tidak langsung dengan satuan *lb*, kemudian dilakukan perhitungan nilai kuat tarik tidak langsung dengan satuan Kpa. Sebelum dilakukan perhitungan terlebih dahulu dilakukan konversi satuan. Berikut ini disajikan contoh pengkonversian satuan :

1. Perhitungan ITS untuk campuran dengan agregat Rembang

$$\text{Kode benda uji} = \text{K.I-2}$$

$$\begin{aligned} \text{Hasil pembacaan beban ITS} &= 30 \text{ lb} \\ &= 30 \text{ lb} \times 0,454 \\ &= 13,62 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban terkoreksi} &= \text{Beban} \times \text{faktor terkalibrasi} \times \text{koreksi tebal} \\ &= 13,62 \text{ kg} \times 33,640 \times 0,9169 \\ &= 394,29 \text{ kg} \end{aligned}$$

Besarnya kuat tarik tidak langsung terkoreksi sebagai berikut :

$$ITS = \frac{2x\bar{P}}{\pi(hd)} = \frac{2x394,2912}{3,14x65,63x101,45} = 0,0402 \text{ kg/mm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Konversi kg/mm}^2 \rightarrow \text{Kpa} &= 0,0402 \text{ kg/mm}^2 \times 9,81 \text{ m/s}^2 \\ &= 0,3942912 \times 10^3 \end{aligned}$$

$$= 394,2912 \text{ KPa}$$

2. Perhitungan ITS untuk campuran dengan agregat Pati

$$\text{Kode benda uji} = \text{T.I-1}$$

$$\text{Hasil pembacaan beban ITS} = 27 \text{ lb}$$

$$= 27 \text{ lb} \times 0,454$$

$$= 12,258 \text{ kg}$$

$$\text{Beban terkoreksi} = \text{Beban} \times \text{faktor terkalibrasi} \times \text{koreksi tebal}$$

$$= 12,258 \text{ kg} \times 33,640 \times 1,1438$$

$$= 471,66 \text{ kg}$$

Besarnya kuat tarik tidak langsung terkoreksi sebagai berikut :

$$ITS = \frac{2x\bar{P}}{\pi(hd)} = \frac{2x471,66}{3,14x58,59x101,45} = 0,0505 \text{ kg/mm}^2$$

$$\text{Konversi kg/mm}^2 \rightarrow \text{Kpa} = 0,0505 \text{ kg/mm}^2 \times 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$= 0,4958438 \times 10^3$$

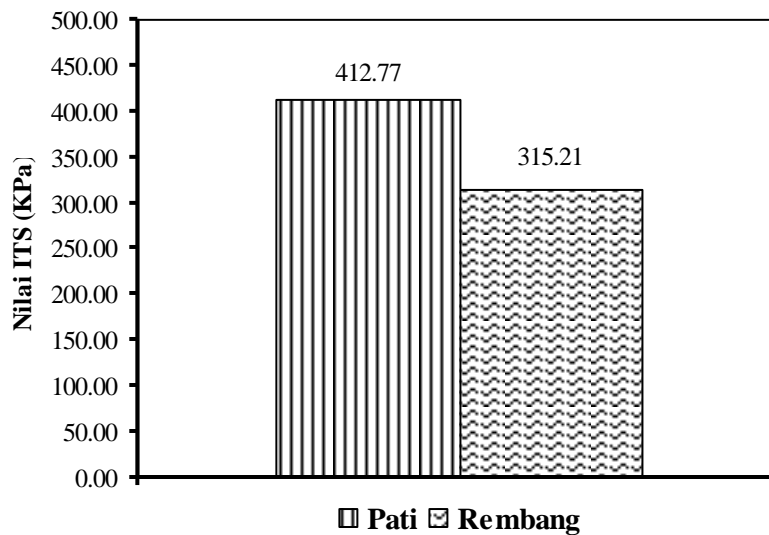
$$= 495,8438 \text{ KPa}$$

Kalibrasi alat sebesar 33,640. Koreksi tebal sesuai dengan hasil perhitungan pada Lampiran F. Rekapitulasi hasil perhitungan ITS pada kadar aspal optimum dapat dilihat pada Tabel. 4.11. Perhitungan ITS secara rinci dapat dilihat pada Lampiran E.

Tabel 4.12. Rekapitulasi Hasil Perhitungan ITS Terkoreksi

Agregat	KAO (%)	ITS Terkoreksi (KPa)	Def. Vertikal (mm)	Def. Horisontal (mm)
Pati	5,33	412,7681	2,00	0,70
Rembang	5,86	315,2138	1,77	0,62

Dari pengujian kuat tarik tidak langsung seperti yang tersaji pada Gambar 4.12, terlihat bahwa campuran dengan agregat Pati mempunyai nilai kuat tarik tidak langsung lebih besar (412,77 KPa) dibanding dengan campuran dengan agregat Rembang (315,21 KPa).



Gambar 4.12. Grafik perbandingan nilai ITS pada KAO

Perbedaan nilai ITS ini disebabkan perbedaan karakter antara agregat Pati dan agregat Rembang. Agregat Pati memiliki pori yang lebih kecil dibandingkan dengan agregat Rembang, sehingga daya serap aspal agregat Rembang lebih besar dibanding agregat Pati. Karena pada campuran yang menggunakan agregat Rembang aspal lebih banyak yang terserap ke dalam butiran agregat, maka lapisan aspal film yang terbentuk menjadi tipis, yang berakibat ikatan antar aspal dan agregat dan ikatan antar agregat menjadi lemah. Hal inilah yang menyebabkan campuran yang menggunakan agregat Rembang mempunyai nilai ITS yang lebih kecil. Sebaliknya, agregat Pati mempunyai daya serap yang lebih kecil, sehingga aspal yang membentuk lapisan film lebih tebal. Lapisan film yang tebal ini membuat ikatan antar aspal dan agregat serta ikatan antar agregat menjadi lebih kuat. Daya ikatan pada campuran menjadi lebih kuat

Tabel 4.13 Hubungan nilai ITS dengan sifat agregat

Agregat	Hasil pengujian	Hubungan dengan sifat agregat
Pati	Nilai ITS 412,77 KPa	Agregat Pati lebih padat (pori sedikit), penyerapan lebih kecil (1,82%), sehingga lapisan aspal yang menyelimuti agregat lebih tebal, menghasilkan adhesi yang lebih kuat.
Rembang	Nilai ITS 315,21 KPa	Agregat Rembang lebih porus, penyerapan lebih besar (2,99%), banyak aspal yang lebih terserap ke dalam agregat, sehingga lapisan aspal yang menyelimuti agregat lebih tipis, menghasilkan adhesi yang kurang kuat.

4.6. Pengujian *Unconfined Compressive Strength* (UCS)

Dari hasil pengujian benda uji dengan menggunakan alat *Unconfined Compressive Strength Test (UCST)*, diperoleh hasil pembacaan alat berupa nilai kuat tekan dengan satuan *lb*, kemudian dilakukan perhitungan nilai kuat tekan dengan satuan Kpa. Sebelum dilakukan perhitungan terlebih dahulu dilakukan konversi satuan. Berikut ini disajikan contoh pengkonversian satuan :

1. Perhitungan UCS untuk campuran dengan agregat Rembang:

$$\begin{aligned}
 \text{Kode benda uji} &= \text{K.U - 1} \\
 \text{Hasil pembacaan beban UCS} &= 212 \text{ lb} \\
 &= 212 \text{ lb} \times 0,454 \\
 &= 96,25 \text{ kg} \\
 \text{Beban terkoreksi} &= \text{Beban} \times \text{faktor terkalibrasi} \times \text{koreksi tebal} \\
 &= 96,25 \text{ kg} \times 33,640 \times 0,88 \\
 &= 2865,10 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Besarnya kuat desak terkoreksi menggunakan rumus berikut :

$$\begin{aligned}
 UCS &= \frac{\bar{P}}{A} = \frac{2865,10}{3,14 \times (1/4 \times 101,45^2)} = 0,3546 \text{ kg/mm}^2 \\
 \text{Konversi kg/m}^2 &\rightarrow \text{Kpa} = 0,3546 \text{ kg/mm}^2 \times 9,81 \text{ m/s}^2 \\
 &= 3,47885 \times 10^3 \\
 &= 3478,847 \text{ KPa}
 \end{aligned}$$

2. Perhitungan UCS untuk campuran agregat Pati

$$\begin{aligned}
 \text{Kode benda uji} &= \text{T.U - 1} \\
 \text{Hasil pembacaan beban UCS} &= 249 \text{ lb} \\
 &= 249 \text{ lb} \times 0,454 \\
 &= 113,046 \text{ kg} \\
 \text{Beban terkoreksi} &= \text{Beban} \times \text{faktor terkalibrasi} \times \text{koreksi tebal} \\
 &= 113,046 \text{ kg} \times 33,640 \times 1,1177 \\
 &= 4250,8484 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Besarnya kuat desak terkoreksi adalah sebagai berikut :

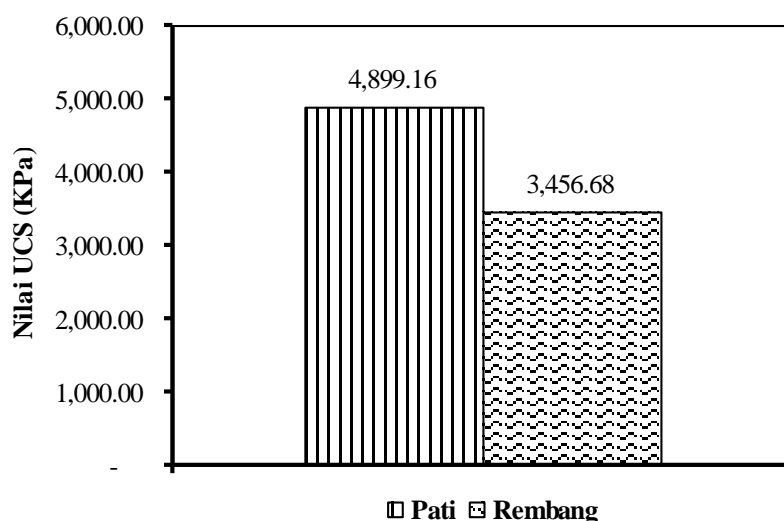
$$UCS = \frac{\bar{P}}{A} = \frac{4250,8484}{3,14 \times (1/4 \times 101,45^2)} = 0,52614 \text{ kg/mm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Konversi kg/m}^2 \rightarrow \text{Kpa} &= 0,52614 \text{ kg/mm}^2 \times 9,81 \text{ m/s}^2 \\ &= 5,161440 \times 10^3 \\ &= 5161,44 \text{ KPa} \end{aligned}$$

Kalibrasi alat sebesar 33,640. Koreksi tebal sesuai dengan hasil perhitungan pada Lampiran F. Untuk perhitungan UCS secara rinci dapat dilihat pada Lampiran E. Rekapitulasi hasil perhitungan UCS pada kadar aspal optimum tersaji pada Tabel. 4.14.

Tabel 4.14. Rekapitulasi Hasil Perhitungan UCS Terkoreksi

Agregat	KAO (%)	UCS Terkoreksi (KPa)	Def. Vertikal (mm)
Rembang	5,86	3.456,6832	4,37
Pati	5,33	4.899,1625	5,23



Dari Gambar 4.13. Grafik perbandingan nilai UCS pada KAO. Perhatikan bahwa Pati (4.899,16 KPa) dibandingkan dengan campuran yang menggunakan agregat Rembang (3.456,68 KPa). Hal ini disebabkan karena agregat Pati (*basalt*) memiliki kekerasan yang lebih tinggi dibanding agregat Rembang (*andesite*). Pada saat beban bekerja pada perkerasan, kekuatan mekanik dari campuran ini diperoleh dari gesekan dalam, sifat penguncian antar agregat serta kohesi antar butir agregat yang telah terselimuti oleh aspal. Oleh karena itu agregat yang

memiliki tingkat kekerasan yang lebih tidak akan mudah terintegrasi pada saat diberi beban. Hal inilah yang memberikan kontribusi kepada nilai kuat tekan campuran.

Tabel 4.15. Hubungan nilai UCS dengan sifat agregat

Agregat	Hasil Pengujian	Hubungan dengan sifat agregat
Pati	Nilai UCS sebesar 4.899,16 KPa	Agregat Pati merupakan batuan <i>basalt</i> yang lebih keras, sehingga berkontribusi besar pada kekuatan mekanis campuran.
Rembang	Nilai UCS sebesar 3.456,68 KPa	Agregat Rembang merupakan batuan <i>andesite</i> yang relatif lebih lunak, sehingga kekuatan mekanis lebih kecil.

4.7. Pengujian Permeabilitas

Contoh perhitungan permeabilitas pada kadar aspal optimum adalah sebagai berikut :

1. Perhitungan permeabilitas untuk campuran dengan agregat Rembang

Kode benda uji	=	K.P - 1
Waktu perembesan (T)	=	116 detik
Volume air rembesan (V)	=	1000 ml
Berat jenis air (γ)	=	$1.10^{-3} \text{ kg/cm}^3$
Tekanan air pengujian (P)	=	3 kg/cm^2
Luas penampang benda uji	=	$1/4 \cdot \pi \cdot d^2$
	=	$1/4 \cdot 3,14 \cdot 10,145^2$
	=	$80,7930 \text{ cm}^2$

Besarnya koefisien permeabilitas adalah sebagai berikut :

$$k = \frac{V \cdot L \cdot \gamma}{A \cdot P \cdot T} = \frac{1000 \times 6,466 \times 10^{-3}}{80,7930 \times 3 \times 116} = 2,30 \times 10^{-4} \text{ cm / detik}$$

2. Perhitungan permeabilitas untuk campuran dengan agregat Pati

Kode benda uji	=	T.P - 1
Waktu perembesan (T)	=	144 detik
Volume air rembesan (V)	=	1000 ml
Berat jenis air (γ)	=	$1.10^{-3} \text{ kg/cm}^3$
Tekanan air pengujian (P)	=	3 kg/cm^2

$$\begin{aligned}
 \text{Luas penampang benda uji} &= 1/4 \cdot \pi \cdot d^2 \\
 &= 1/4 \cdot 3,14 \cdot 10,145^2 \\
 &= 80,7930 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

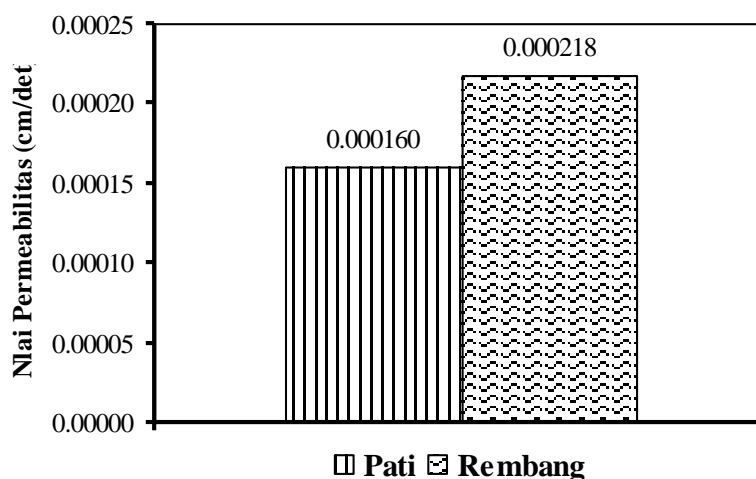
Besarnya koefisien permeabilitas adalah sebagai berikut :

$$k = \frac{V_x L_x \gamma}{A_x P_x T} = \frac{1000 \times 5,903 \times 10^{-3}}{80,7930 \times 3 \times 144} = 1,69 \times 10^{-4} \text{ cm/detik}$$

Hasil perhitungan permeabilitas pada kadar aspal optimum tersaji pada Tabel 4.16. Perhitungan terinci dari pengujian permeabilitas tersaji pada Lampiran E.

Tabel 4.16. Rekapitulasi Hasil Perhitungan Permeabilitas

Kode Sample	Agregat	Kadar Aspal	Waktu Rembesan (detik)	Koef. Permeabilitas (cm/detik)
K.P - 1	Rembang	5,86%	116	$2,30 \times 10^{-4}$
K.P - 2			134	$1,98 \times 10^{-4}$
K.P - 3			121	$2,27 \times 10^{-4}$
Rata-Rata				$2,18 \times 10^{-4}$
T.P - 1	Pati	5,33%	144	$1,69 \times 10^{-4}$
T.P - 2			167	$1,46 \times 10^{-4}$
T.P - 3			147	$1,65 \times 10^{-4}$
Rata-Rata				$1,60 \times 10^{-4}$



Gambar 4.16. Grafik perbandingan nilai permeabilitas pada KAO

Koefisien permeabilitas menunjukkan tingkat kemampuan suatu campuran aspal untuk dilalui air. Berdasarkan hasil pengujian permeabilitas pada kadar aspal optimum seperti tersaji pada Gambar 4.16 dapat dilihat bahwa nilai koefisien permeabilitas kedua campuran termasuk dalam katagori *impermeable*, dimana nilai koefisien permeabilitas campuran yang menggunakan agregat Pati mempunyai nilai permeabilitas yang lebih kecil, yaitu sebesar $1,6 \times 10^{-4}$ cm/detik, sedangkan untuk campuran yang menggunakan agregat Rembang mempunyai nilai koefisien permeabilitas sebesar $2,18 \times 10^{-4}$ cm/detik. Hal ini disebabkan karena agregat Pati dalam campuran memiliki sifat penyerapan yang kecil sehingga tingkat penyalutan aspal terhadap agregat relatif tebal dan merata, serta memiliki kepadatan yang tinggi sehingga menghasilkan rongga dalam campuran yang kecil. Dengan kecilnya rongga dalam campuran dan tebalnya aspal yang menyelimuti agregat maka semakin sulit juga air menembus lapisan perkerasan sehingga campuran lebih kedap air. Sebaliknya, campuran yang menggunakan agregat Rembang menghasilkan campuran dengan nilai permeabilitas yang besar, hal ini disebabkan karena agregat Rembang memiliki lebih banyak pori, sehingga aspal yang ada banyak terserap ke dalam agregat, sehingga lapisan film aspal lebih tipis, menjadikan rongga dalam campuran lebih besar, sehingga relatif lebih mudah dilalui oleh air.

Tabel 4.17. Hubungan Permeabilitas dengan sifat agregat

Agregat	Hasil pengujian	Hubungan dengan sifat agregat
Pati	Koefisien permeabilitas $1,6 \times 10^{-4}$ cm/detik	<ul style="list-style-type: none"> • Rongga dalam campuran lebih kecil, karena aspal tidak banyak terserap ke dalam butiran agregat dan lapisan aspal yang terbentuk lebih tebal • Campuran lebih kedap, sehingga mencegah intrusi air dan atau udara. Proses oksidasi dan pelemahan ikatan antar aspal-agregat dapat dicegah.
Rembang	Koefisien permeabilitas $2,18 \times 10^{-4}$ cm/detik	<ul style="list-style-type: none"> • Rongga dalam campuran lebih besar, karena aspal lebih banyak terserap ke dalam butiran agregat sehingga lapisan aspal yang terbentuk lebih tipis • Campuran kurang kedap, sehingga intrusi air dan atau udara mudah masuk ke dalam perkerasan. Proses oksidasi dan pelemahan ikatan antar aspal-agregat lebih cepat terjadi.

4.8. Durabilitas Perkerasan Beraspal

Durabilitas campuran dilihat dari hubungan antara nilai ITS dan UCS dengan ketahanan perkerasan terhadap retak (*fracture resistance*). Menurut Othman (2006), ketahanan perkerasan terhadap retak, nilai ITS dan UCS akan menurun seiring dengan makin berulangnya siklus termal. Kondisi tersebut tersaji pada Gambar 2.8. Mengacu *trendline* grafik pada gambar tersebut maka dengan nilai ITS awal yang tinggi, campuran beraspal akan lebih lama tahan terhadap siklus termal. Dengan kata lain, dengan nilai ITS yang tinggi, maka durabilitas campuran beraspal tersebut akan lebih tinggi. Dari hasil pengujian menunjukkan, bahwa campuran yang menggunakan agregat Pati memiliki nilai ITS 30,95% lebih tinggi dibandingkan dengan nilai yang dimiliki oleh campuran yang menggunakan agregat Rembang. Nilai UCS campuran yang menggunakan agregat Pati juga lebih tinggi 41.73% dibanding campuran yang menggunakan agregat Rembang. Dengan demikian, bisa dikatakan bahwa durabilitas campuran yang menggunakan agregat Pati lebih tinggi dibandingkan dengan campuran yang menggunakan agregat Rembang. Dalam hal permeabilitas campuran, campuran yang menggunakan agregat Pati juga memiliki durabilitas yang lebih tinggi. Hal ini disebabkan campuran tersebut memiliki koefisien permeabilitas yang lebih kecil dibanding campuran yang menggunakan agregat Rembang, sehingga lebih sulit dilalui air. Campuran yang kedep akan memiliki durabilitas yang lebih tinggi.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari penelitian serta analisis data yang telah dilakukan, maka dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada sifat teknis agregat, baik agregat Pati maupun Rembang memenuhi syarat sebagai bahan perkerasan jalan, kecuali pada agregat Rembang untuk nilai berat jenis dan kepipihan, serta agregat Pati untuk nilai kepipihan. Sifat teknis agregat Pati adalah sebagai berikut: berat jenis 2,68 gram/cm³, penyerapan air 1,82%, nilai abrasi Los Angeles 26%, kelekatan terhadap aspal >95%, nilai dampak agregat 4,86%, dan indeks kepipihan 49,25%. Sifat teknis agregat Rembang adalah sebagai berikut: berat jenis 2,38 gram/cm³, penyerapan air 2,99%, nilai abrasi Los Angeles 37,6%, kelekatan terhadap aspal >95%, nilai dampak agregat 10,45%, dan indeks kepipihan 43,98%. Kandungan mineral agregat Pati adalah *plagioklas* (30%), *piroksen* (25%), *opak mineral* (15%), dan *massa dasar gelas* (30%). Kandungan mineral agregat Rembang adalah *plagioklas* (50%), *piroksen* (10%), *opak mineral* (15%), *hornblende* (5%) dan *massa dasar gelas* (20%).
2. Pada sifat-sifat Marshall, campuran dengan agregat Pati memenuhi semua persyaratan yang ditentukan untuk campuran laston. Untuk campuran dengan agregat Rembang, hanya nilai *flow* yang tidak memenuhi persyaratan untuk campuran laston (terlalu tinggi). Perbandingan sifat-sifat *Marshall* antara kedua campuran adalah sebagai berikut: stabilitas campuran yang menggunakan agregat Rembang lebih besar 14,71% dibanding stabilitas campuran yang menggunakan agregat Pati. Nilai *flow* campuran yang menggunakan agregat Rembang lebih besar 50% dibanding nilai *flow* campuran yang menggunakan agregat Pati. Nilai *Marshall Quotient* campuran yang menggunakan agregat Pati lebih besar 29,83% dibanding campuran yang menggunakan agregat Rembang.

Densitas campuran yang menggunakan agregat Pati lebih besar 19,47% dibanding campuran yang menggunakan agregat Rembang. Nilai porositas campuran yang menggunakan agregat Pati lebih besar 18.61% dibanding campuran yang menggunakan agregat Rembang.

3. Durabilitas campuran yang menggunakan agregat Pati lebih tinggi dibandingkan dengan campuran yang menggunakan agregat Rembang. Hal ini berdasarkan bahwa campuran yang menggunakan agregat Pati memiliki nilai ITS lebih tinggi 30,95% dan nilai UCS yang lebih tinggi 41.73% dibanding campuran yang menggunakan agregat Rembang. Selain itu, campuran yang menggunakan agregat Pati lebih sulit dilalui air, ditunjukkan dengan koefisien permeabilitas yang lebih kecil, yaitu $1,6 \times 10^{-4}$ cm/detik, sedangkan nilai permeabilitas campuran yang menggunakan agregat Rembang adalah $2,18 \times 10^{-4}$ cm/detik.

5.2. Saran

Berdasarkan hasil dari penelitian dan analisis data, maka dapat diusulkan beberapa saran sebagai berikut:

1. Perlunya dilakukan penelitian lanjutan pada agregat-agregat yang berasal dari *quarry-quarry* yang lain, karena sifat sebaran dari batuan yang tidak homogen. Selain itu juga perlu dilakukan penelitian pada batuan yang dinilai memiliki potensi untuk digunakan sebagai agregat untuk bahan perkerasan jalan, yang banyak tersedia di Kabupaten Blora, misalnya batu kapur (*limestone*).
2. Perlunya dilakukan penelitian yang lebih khusus dalam mengkaji durabilitas agregat dengan menggunakan jenis pengujian-pengujian lain, misalnya pelapukan (*soundness*).
3. Kepada instansi terkait, dinilai perlu untuk menggunakan pengujian lain yang lebih mensimulasikan kondisi nyata perkerasan pada saat masa layan, misalnya dengan test *Indirect Tensile Strength*, test *Unconfiend Compressive Strength*, dan Permeabilitas), daripada menggunakan test Marshall.
4. Perlunya penelitian lanjutan yang menunjukkan hubungan antara hasil *Indirect Tensile Strength*, test *Unconfiend Compressive Strength*, dan Permeabilitas, terhadap biaya pemeliharaan perkerasan yang bersangkutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Alden, Andrew (2009): Mineralogy, www.geology.about.com
- Alizar, 2009, *Teknologi Perkerasan Jalan*, Bahan Ajar Perencanaan Perkerasan Jalan, Universitas Mercu Buana, Jakarta.
- Anonim, 2006, *Pelaksanaan Lapis Campuran Beraspal Panas*, Pedoman Konstruksi dan Bangunan, Departemen Pekerjaan Umum
- Arifin, M.Z., Lucky, P.T., dan Wicaksono, R., 2008, *Pengaruh Penggunaan Batu Kapur Asal Tuban dan Batu Pecah Asal Mojokerto sebagai Agregat Kasar terhadap Karakteristik Agregat dan Karakteristik Campuran Lapis Aspal Beton (Laston)*, Prosiding Simposium XI FSTPT Universitas Diponegoro
- Badan Koordinasi Survey dan Pemetaan Nasional (Bakosurtanal): Peta Rupa Bumi Lembar Sedan (Lembar 1509-213), Edisi I : 2000
- Badan Koordinasi Survey dan Pemetaan Nasional (Bakosurtanal): Peta Rupa Bumi Lembar Tayu (Lembar 1509-133), Edisi I : 1999
- Bhasin, A., Little, D., 2006, *Characterizing Surface Properties of Aggregates Used in Hot Mix Asphalt*, Texas Transportation Institute, Texas.
- Chen, J.S., Lin, K.Y., dan Chang, M.K., 2005, *Influence of Coarse Aggregate Shape on the Strength of Asphalt Concrete Mixtures*, Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies
- Choubane, B., Page, G.C., and Musselman, J.A., 1998, *Investigation of Water Permeability of Coarse graded Superpave*, Pavements Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists, Vol. 67
- Darsana, I.K., 2009, *Prospek Agregat Lokal Kalimantan Tengah untuk Bahan Perkerasan Jalan*, Kolokium Hasil Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan, Puslitbang Jalan dan Jembatan, Bandung
- Fistic, M., Tomasic, I., Vrkljan, M., 2002, *Influence of Petrographic Characteristics of Silicate Rocks on the Quality of Aggregates*, Rudarsko-geolosko-naftni zbornik, Vol. 14, Zagreb
- Giuliani, F., 2002, *Effect of High Temperature Heating on Behaviour of Mineral Aggregates for Bituminous Mixture*, dari Kumpulan Jurnal dan Paper "Performance of Bituminous and Hydraulic Materials in Pavements", Zwet & Zeitlinger, Lisse
- Hallberg, S., 1958, *Tests with Oiled Gravel Road*, Statens Vaginstitut, Stockholm
- Hartley, A., 1974, *Mechanical Properties of Road Surface Aggregate*, Quarterly Journal of Engineering Geology.
- Huang, B., G. Li, and N.L., Mohammed, 2003, *Analytical Modeling an Experimental Study of Tensile Strength of Asphalt Concrete Composite at Low Temperatures*, Composites: Part B

- Hudec, P., Arthur, F., Hogan, F., Pidwerbesky, B., 2008, *Case Study of How An Environmental Protection Activity Adversely Affected the Performance of A High Quality Pavement Aggregate*, dari the 23rd ARRB Conference, Research Partnering with Practitioners, Adelaide, Australia.
- Hughes, R.I., Lamb, D.R., & Pordes, O., 1960, *Adhesion in Bitumen Macadam*, Journal of Applied Chemistry.
- Irma, A., 2009, *Tinjauan Penggunaan Agregat Recycling pada Campuran Hot Rolled Asphalt (HRS) terhadap Kuat Tekan, Kuat Tarik dan Permeabilitas*, Tesis Magister Teknik Rehabilitasi dan Pemeliharaan Bangunan Sipil, Universitas Negeri Sebelas Maret Surakarta
- Kadar, D. dan Sudijono, 1993, *Peta Geologi Lembar Rembang 1509-1 & 4*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung
- Kavussi, A. & Lees, G., 1990, *An Accelerated Weathering Technique to Asses the Hardening of Bitumen and Filler-Bitumen Mixes*, Journal of Asphalt Technology.
- Kok, B.V. & Kuloglu, N., 2008, *Effect of Steel Slag Usage as Aggregate on Indirect Tensile and Creep Modulus of Hot Mix Asphalt*, G.U. Journal Science.
- Kondelchuk, D., dan Novikov, E., 2005, *Study of the Mechanical Properties of the Granitoid Rocks dan the Influence of Blasting Parameters on the Quality of Aggregates*, Literature Research, Department of Civil Engineering, Lulea University of Technology
- Mohammad, L. N., Herath, A., and Huang, B., 2003, *Evaluation of Permeability of Superpave Asphalt Mixtures*, TRB 2003 Annual Meeting
- Othman, A. M., 2006, *Fracture Resistance of Rubber-modified Asphaltic Mixtures Exposed to High-Temperature Cyclic Aging*, Journal of Elastomers and Plastics
- Pras, 2009, *Batuan dan Mineral*, diunduh pada 3 September 2009 dari blog www.pr4s.wordpress.com
- Siswosoebroto, B.I., Soedirdjo, T.I., dan Ginting, K., 2005, *Workability and Resilient Modulus of Asphalt Concrete Mixtures Containing Flaky Aggregates Shape*, Journal for the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol. 6
- Situmorang, R.L., Smit, R., dan Van Essem, E.J., 1992, *Peta Geologi Lembar Jatirogo 1509-2*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung
- Smith, M.R. & Collis, L., 1993, *Aggregates, Sand, Gravel and Crushed Rock for Construction Purposes (2nd Edition)*, The Geological Society
- Sucipta, I.G.B. Eddy & Sadisun, Imam A., 2000, *Studi Petrografi Batuan Vulkanik sebagai Agregat Bahan Baku Beton*, Buletin Geologi Departemen Teknik Geologi Institut Teknologi Bandung
- Suherdian, A., 2003, *Kajian Laboratorium Agregat Sungai Cikeruh sebagai Material Campuran Beton Aspal untuk Lapis Antara*, Tesis Program Magister Sistem dan Teknik Jalan Raya, Institut Teknologi Bandung, Bandung
- Sukirman, S., 1995, *Perkerasan Lentur Jalan Raya*, Penerbit Nova, Bandung

- Suprpto, 1991, *Pengaruh Air terhadap Hasil Pengujian Agregat Bahan Perkerasan Jalan*, Media Teknik Edisi No. 2 Tahun XIII
- Tenriajeng, A. T., 2002, *Laston sebagai Bahan Alternatif Pekerjaan Pelapisan Jalan*, Jurnal Konstruksi dan Desain, Vol.1
- Wang, L., Lane, D.S., Lu, Y., Druta, C., 2008, *Portable Image Analysis for Characterizing Aggregate Morphology*, Final Contract Report, Virginia Transportation Research Council
- Widajat, D., 2005, *Comparison of Aggregates Properties from West Java – Banten Province and Nothern Ireland*, Jurnal Puslitbang Jalan dan Jembatan
- Wignall, A., Peter S., Kendrick, Ancill, R., Copson, M., 2003, *Proyek Jalan, Teori dan Praktek*, Penerbit Erlangga, Jakarta
- Woodside, A.R., Lyle, P., Perry, M.J., dan Woodward, W.D.H., 1996, *The Relationship Mineralogy, Texture and Polished Stone Value for Gritstone Aggregate from the Longford Down Massif*, dari Kumpulan Jurnal dan Paper “Performance dan Durability of Bituminous Materials”, E& FN Spon
- Woodward, W.D.H., Woodside, A.R., & Jellie, J.H., 2002, *Development of a Labortory Test Method to Predict the Early Life Skid Resistance of Thin Asphalt Surfacing*, dari Kumpulan Jurnal dan Paper “Performance of Bituminous and Hydraulic Materials in Pavements”, Zwet & Zeitlinger, Liss
- Zaidi, S.M., Rafeeqi, S.F.A., Ali, M.S., Khan, A.M., 2008, *Aggregate Characterization - An Important Step towards Addressing Construction Issues in Pakistan*, dari First International Conference on Construction In Developing Countries (ICCIDC-I), Pakistan