

DISERTASI

**KARAKTERISTIK CAMPURAN ASPAL YANG
MENGUNAKAN BATU GUNUNG**

(Characteristics of Asphalt Mixed Using Mountain Stone)

**ESWAN
P0800316020**



**PROGRAM DOKTOR TEKNIK SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2021**

LEMBAR PENGESAHAN DISERTASI

KARAKTERISTIK CAMPURAN ASPAL YANG MENGGUNAKAN BATU
GUNUNG


Disusun dan diajukan oleh :

ESWAN
P0800316020

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Doktor Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 13 Juli 2021 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Promotor


Prof. Ir. Sakti Adji Adisasmita., M. Eng.Sc., Ph.D


NIP. 19640422199303 1 001

Co. Promotor

Co. Promotor


Dr. Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, ST., MT


Nip. 19730926200012 1 002


Dr. Ir. Syafruddin Rauf., MT


NIP. 19580424198702 1 001

Ketua Program Studi S3

Dekan Fakultas Teknik


Prof. Ir. Sakti Adji Adisasmita., M. Eng. Sc., Ph.D

NIP. 19640422 199303 1 001


Prof. Dr. Ir. H. Muhammad Arsyad Thaha., MT

NIP. 1960123 1198609 1 001

PERNYATAAN KEASLIAN DISERTASI

Yang bertanda tangan dibawah ini

Nama : Eswan
Nomor Mahasiswa : P0800316020
Program Studi : Teknik Sipil
Jenjang : S3

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulis berjudul

Karakteristik Campuran Aspal yang Menggunakan Batu Gunung

Adalah karya tulis saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain bahwa disertasi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi disertasi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 25 Juni 2021

Yang menyatakan


ESWAN

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah kami panjatkan ke hadirat Tuhan yang maha kuasa yang atas izinnya sehingga penelitian dan penulisan ini yakni **“Karakteristik Campuran Aspal yang Menggunakan Batu Gunung”** dapat terselesaikan. Dalam melaksanakan penelitian ini upaya dan perjuangan keras kami lakukan dalam menyelesaikannya.

Kami menyampaikan penghargaan yang sangat tinggi dan amat mendalam kepada bapak **Prof. Ir. Sakti Adji Adismita, MS., M.Eng.Sc., Ph.D**, atas bimbingan, arahan dan petunjuknya sehingga penelitian dan penyusunan disertasi ini dapat kami laksanakan dengan baik. Ucapan dan penghargaan yang sama kami sampaikan kepada **Dr. Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, ST., MT** dan **Dr. Ir. Syafruddin Rauf, MT** selaku Co-Promotor yang banyak memberikan waktu, arahan dan bimbingannya kepada kami. Kepada bapak kami mengucapkan terima kasih dan penghormatan yang setinggi-tingginya atas bimbingan yang begitu tulus dan ikhlas.

Penghargaan yang setinggi tingginya kepada; Rektor Universitas Hasanuddin (Ibu **Prof. Dr. Dwia Aries Tina Pulubuhu, MA**), bapak **Prof. Dr. H. Jamaluddin Jompa, M.Sc** (Dekan Sekolah Pascasarjana Universitas Hasanuddin), bapak **Prof. Dr. Ir. H. Muhammad Arsyad Thaha, MT** (Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin), bapak **Prof. Dr. M. Wihardi Tjaronge, ST. M.Eng** (Ketua Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin), bapak **Prof. Ir. Sakti Adji**

Adisasmita, MS., M.Eng.Sc., Ph.D (Ketua Program Studi S3 Teknik Sipil Universitas Hasanuddin) dan bapak/ibu dosen Pascasarjana Universitas Hasanuddin yang telah mengarahkan dan membimbing dalam proses perkuliahan. Bapak/ibu staf Pascasarjana Unhas dan staf Prodi S3 Teknik Sipil yang sangat membantu dalam proses administrasi, kami sampaikan banyak terima kasih.

Ucapan terimakasih yang tak terhingga kuucapkan untuk kedua orang tuaku, semoga Allah SWT memberikan tempat yang terbaik, kepada istri tercinta (**Mardiyah, Amd.Keb**), anak dan menantu (**Eka Putri Nursyafirah, ST** dan **Boy Faris Hari Sandi, ST**) atas kesabaran dan keikhlasan dalam menanti selesainya studi ini. Untuk cucuku yang sangat saya sayangi (**Alesha Kylulina Azharein** dan **Delisha Ayshelyn Mariyam**), semoga Allah SWT memberikan kesehatan. Tak lupa saya ucapkan terimakasih kepada teman angkatan S3 tahun 2016, utamanya kepada Saudaraku **Ir. Miswar Tumpu, ST., MT** atas bantuannya.

Ucapan terimakasih yang setinggi tingginya atas segala keikhlasan, pikiran dan tenaganya yang tidak ternilai. Hanya dengan doa semoga Allah Rabbul Alamin dapat membalasnya. Akhirnya kami ucapkan Nun Wal Kalami Wamayasturuun.

Makassar, Agustus 2021
Wassalam

Eswan

ABSTRAK

ESWAN. Karakteristik Campuran Aspal yang Menggunakan Batu Gunung (dibimbing oleh **Sakti Adji Adisasmita, M. Isran Ramli dan Syafruddin Rauf**).

Pembangunan konstruksi perkerasan jalan pada umumnya menggunakan bahan standar yang berasal dari bahan alam seperti batu dan pasir. Namun demikian, tidak semua daerah memiliki cadangan bahan yang mencukupi untuk digunakan sebagai bahan perkerasan atau mutu bahan yang ada di bawah standar (substandard). Untuk mengatasi hal tersebut, perlu dilakukan rekayasa teknis dalam pemanfaatan bahan sehingga bahan lokal yang substandard atau bahan buangan industri (*waste materials*) dapat dioptimalisasikan penggunaannya untuk perkerasan jalan, khususnya campuran beraspal. Sebagai material utama dalam perkerasan jalan, agregat mempunyai peranan yang sangat penting, dimana agregat menempati proporsi terbesar dalam campuran yang umumnya berkisar antara 75% - 85% dari volume total campuran. Salah satu daerah yang kekurangan agregat adalah Provinsi Kalimantan Timur. Penelitian ini bertujuan untuk menemukan nilai modulus kekakuan campuran AC-WC dengan menggunakan agregat lokal Provinsi Kalimantan Timur dan aspal minyak pen. 60/70 sebagai bahan pengikat akibat rendaman air. Penelitian ini berbentuk eksperimen di laboratorium. Variabel penelitian adalah benda uji tanpa perendaman air dan dengan perendaman air selama 3, 5 dan 7 hari. Didapatkan kadar aspal optimum pada 6,10%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada perendaman 3 hari, nilai modulus resilien yang didapatkan pada kadar aspal 4,5, 5,0, 5,5, 6,0 dan 6,5% adalah masing-masing sebesar 421,0 MPa, 506,0 MPa, 872,5 MPa, 747,0 MPa dan 648,5 MPa. Pada perendaman 5 hari, nilai modulus resilien yang didapatkan adalah masing-masing sebesar 383,5 MPa, 386,0 MPa, 915,5 MPa, 561,0 MPa dan 555,5 MPa. Sedangkan pada benda uji dengan perendaman 7 hari, nilai modulus kekakuan yang dihasilkan adalah masing-masing sebesar 290,5 MPa, 425,5 MPa, 1369,0 MPa, 547,5 MPa dan 525,0 MPa.

Kata kunci : Campuran aspal, Agregat sub standar, Modulus kekakuan, Senoni



ABSTRACT

ESWAN. Characteristics of Asphalt Mixed Using Mountain Stone (supervised by **Sakti Adji Adisasmita, M. Isran Ramli and Syafruddin Rauf**).

Construction of road pavement construction in general uses standard materials derived from natural materials such as stone and sand. However, not all regions have sufficient material reserves to be used as pavement materials or substandard quality. To overcome this situation, technical engineering needs to be done in the use of materials so that local materials that are substandard or industrial waste materials (waste materials) can be optimized for use in road pavement, especially asphalt mixtures. As the main material in road pavement, the aggregate has a very important role, where the aggregate occupies the largest proportion in the mixture which generally ranges from 75% - 85% of the total volume of the mixture. This study aims to find the modulus of stiffness of the AC-WC mixture by using a local aggregate of East Kalimantan Province and asphalt pen oil. 60/70 as a binder due to water immersion. This research is in the form of experiments in the laboratory. The research variable is the test object without water immersion, water immersion for 3, 5 and 7 where days. The optimum asphalt level was obtained at 6.10%. The results showed that at 3 days immersion, the resilient modulus values obtained at asphalt levels of 4.5, 5.0, 5.5, 6.0 and 6.5% were 421.0 MPa, 506.0 MPa, 872.5 MPa, 747.0 MPa and 648.5 MPa, respectively.. At 5 days immersion, the resilient modulus values obtained were 383.5 MPa, 386.0 MPa, 915.5 MPa, 561.0 MPa and 555.5 MPa, respectively; whereas for the specimens with 7 days immersion, the stiffness modulus values generated were 290.5 MPa, 425.5 MPa, 1369.0 MPa, 547.5 MPa and 525.0 MPa, respectively.

Keywords : Asphalt mix, Substandard aggregate, Stiffness modulus, Senoni



DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR NOTASI	xii
BAB I PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang.....	1
B. Rumusan Masalah.....	8
C. Tujuan Penelitian.....	9
D. Batasan Masalah.....	9
E. Manfaat Penelitian.....	10
F. Sistematika Penulisan	11
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
A. Isu Strategis Penggunaan Material Lokal Pada Campuran Beraspal.....	14
B. Deskripsi Aspal Minyak dan Aspal Beton.....	17
C. Teori Agregat	22
D. Agregat Substandar	32
E. Uji Karakteristik Marshall.....	34

F. Uji <i>Indirect Tensile Stiffnes Modulus</i> (ITSM)	38
G. Kerangka Pikir Penelitian	39
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
A. Lokasi dan Waktu Penelitian.....	42
B. Rancangan Penelitian.....	45
C. Pengujian Karakteristik Campuran AC-WC.....	51
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
A. Pengujian Karakteristik Material	56
B. Kuat Tekan (<i>Compressive Strength</i>) Batu Senoni	61
C. Penentuan Gradasi Campuran.....	66
D. Rancangan Dan Komposisi Campuran AC-WC Berdasarkan Kadar Aspal Perkiraan.....	68
E. Karakteristik Marshall Campuran AC-WC Berdasarkan Jumlah Tumbukan Per Bidang.....	77
F. Penentuan Kadar Aspal Optimum Campuran AC-WC Berdasarkan Jumlah Tumbukan Per Bidang.....	82
G. Pengaruh Rendaman Air Terhadap Karakteristik Marshall Campuran AC-WC Berdasarkan Jumlah Tumbukan Per Bidang.....	83
H. Pengaruh Rendaman Air Terhadap Modulus Kekakuan Campuran AC-WC Menggunakan Agregat Sub Standar	94

I. Analisis Pengaruh Variabel Terhadap Nilai Modulus Resilien Campuran Aspal (Uji t dan Uji F).....	101
J. Temuan Empirik	104
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
A. Kesimpulan.....	106
B. Saran	107
DAFTAR PUSTAKA.....	108

DAFTAR TABEL

Nomor		Halaman
1.	Metode Pengujian Karakteristik Agregat	47
2.	Metode Pengujian Karakteristik Aspal Minyak Pen. 60/70	47
3.	Gradasi Agregat Gabungan Untuk Campuran Aspal	48
4.	Matriks Jumlah Benda Uji Untuk Penentuan KAO	49
5.	Matriks Jumlah Benda Uji Pada Kondisi KAO dengan Variasi Perendaman Air	50
6.	Matriks Jumlah Benda Uji Untuk Pengujian Modulus Kekakuan	50
7.	Karakteristik Fisik Agregat Kasar	57
8.	Hasil Pemeriksaan Karakteristik Agregat Halus	58
9.	Hasil Pemeriksaan Karakteristik Filler (Abu Batu)	59
10.	Hasil Pemeriksaan Karakteristik Aspal Minyak Penetrasi 60/70	60
11.	Hasil Pengujian Kuat Tekan Batu Senoni (Benda Uji Kubus)....	63
12.	Pengaruh Perendaman Terhadap Kuat Tekan Batu Senoni (Benda Uji Kubus).....	64
13.	Komposisi Material Dalam Berat Untuk 1200 Gram Benda Uji .	69
14.	Karakteristik Campuran AC-WC dengan 2 x 35 Tumbukan	70
15.	Karakteristik Campuran AC-WC dengan 2 x 50 Tumbukan	71
16.	Karakteristik Campuran AC-WC dengan 2 x 75 Tumbukan	71

17.	Kadar Aspal Optimum (KAO) Campuran AC-WC Menggunakan Agregat Batu Senoni dan Pasir Mahakam	83
18.	Karateristik Marshall Campuran AC-WC dengan 2 x 35 Tumbukan Akibat Rendaman Air (KAO = 6,5%)	84
19.	Karateristik Marshall Campuran AC-WC dengan 2 x 50 Tumbukan Akibat Rendaman Air (KAO = 6,0%)	84
20.	Karateristik Marshall Campuran AC-WC dengan 2 x 75 Tumbukan Akibat Rendaman Air (KAO = 5,5%)	85
21.	Modulus Resilien Campuran Aspal Terhadap Lama Perendaman	96
22.	Hasil uji t (uji parsial) SPSS.....	102

DAFTAR GAMBAR

Nomor		Halaman
1.	Jenis Gradasi Agregat	28
2.	Kerangka Pikir Penelitian	41
3.	Bagan Alir Penelitian	44
4.	Alat Uji Marshall	52
5.	Pengujian ITSM.....	53
6.	Hubungan Sudut 2θ Dengan Intensitas Agregat Kasar	58
7.	Hubungan Sudut 2θ Dengan Intensitas Agregat Halus	59
8.	Hubungan Sudut 2θ Dengan Intensitas Aspal Minyak.....	61
9.	Skema Pengujian Kuat Tekan Batu Senoni.....	62
10.	Gradasi Agregat Gabungan Campuran AC-WC.....	67
11.	Hubungan Stabilitas Dengan Kadar Aspal Minyak	71
12.	Hubungan Flow Dengan Kadar Aspal Minyak	75
13.	Hubungan MQ Dengan Kadar Aspal Minyak.....	76
14.	Hubungan VIM Dengan Kadar Aspal Minyak	78
15.	Hubungan VMA Dengan Kadar Aspal Minyak.....	80
16.	Hubungan VFB Dengan Kadar Aspal Minyak	82
17.	Hubungan Lama Perendaman Dengan Nilai Stabilitas	85
18.	Hubungan Lama Perendaman Dengan Nilai Flow	88
19.	Hubungan Lama Perendaman Dengan Nilai MQ	90
20.	Hubungan Lama Perendaman Dengan Nilai VIM.....	91
21.	Hubungan Lama Perendaman Dengan Nilai VMA	92

22.	Hubungan Lama Perendaman Dengan Nilai VFB	93
23.	Pengujian ITSM (Modulus Resilien) Atau Modulus Kekakuan ..	95
24.	Hubungan Ranah Waktu Pengujian Dengan Horizontal Deformasi Campuran AC-WC Perendaman 3 Hari	98
25.	Hubungan Ranah Waktu Pengujian Dengan Horizontal Deformasi Campuran AC-WC Perendaman 5 Hari	99
26.	Hubungan Ranah Waktu Pengujian Dengan Horizontal Deformasi Campuran AC-WC Perendaman 7 Hari	100

DAFTAR NOTASI

†	= Tegangan campuran aspal
	= Regangan (mm)
d	= Diameter benda uji (cm)
P_{max}	= Beban maksimum (kN)
t	= Ketebalan benda uji (mm)
°C	= Derajat celcius
%	= Persen
	= PI radian
cm	= Centimeter
mm	= Milimeter
Pen	= Penetrasi
BGA	= <i>Buton Granular Asphalt</i>
ITS	= <i>Indirect Tensile Strength (MPa)</i>
MQ	= <i>Marshall Quotient</i>
VIM	= <i>Void in Mix</i>
VMA	= <i>Void Mineral in Agregat</i>
ASTM	= <i>American Society for Testing Materials</i>
SNI	= Standar Nasional Indonesia
KAO	= Kadar Aspal Optimum
AASHTO	= <i>American Association of State Highway and Transportation Officials</i>

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Provinsi Kalimantan Timur merupakan salah satu provinsi dengan wilayah yang sangat luas di Indonesia, dimana menurut data dari Badan Perencanaan Pembangunan Daerah (BAPPEDA) provinsi Kalimantan Timur Tahun 2019, bahwa provinsi Kalimantan Timur memiliki luas wilayah daratan 127.346,92 km² dan luas pengelolaan laut 25.656 km². Selain itu, provinsi Kalimantan Timur memiliki 3.721.389 jumlah jiwa penduduk yang tersebar di 10 kabupaten dan kota, terdiri atas 7 kabupaten dan 3 kota (BPS Provinsi Kalimantan Timur, 2019).

Menurut data Badan Pusat Statistik (BPS) Tahun 2019, provinsi Kalimantan Timur mempunyai panjang ruas Jalan nasional adalah sebesar 1.710,90 km yang terdiri dari jalan arteri primer: 326,22 km, jalan kolektor primer: 1.384,68 km, panjang ruas jalan provinsi: 884,80 km, panjang ruas jalan kabupaten dan kota: 10.735,25 km dan panjang jalan tol: 64,87 km, dan data survei kondisi jalan nasional semester II tahun 2019, menyebutkan bahwa dalam keadaan mantap: 81,59% dan tidak mantap: 18,41% dan rata-rata lebar 6,81 m (290/KPTSM/2015; (248/KPTSM/2015; Pusat Fasilitas Infrastruktur Daerah, Sekretariat Jenderal Kepmen PUPR Tahun

2019; Bidang Operasi dan Pemeliharaan BPJT Tahun 2019 ; IRMS, Data Survei Jalan Nasional Semester II Tahun 2019). Data ini tentu saja terus mengalami peningkatan dan belum termasuk jalan yang dikelola oleh kabupaten dan kota.

Sebagai salah satu provinsi yang sedang berkembang, salah satu indikator dan faktor yang dapat menunjang pemerataan pembangunan adalah tersedianya infrastruktur dan prasarana transportasi darat yang baik, sehingga pergerakan arus orang dan barang dapat lebih cepat dan baik.

Sebagai material utama dalam perkerasan jalan, agregat mempunyai peranan yang sangat penting, dimana agregat menempati proporsi terbesar dalam campuran yang umumnya berkisar antara 75% - 85% dari volume total campuran (Rondonuwu, 2013), sehingga salah satu pertimbangan dalam perencanaan, desain dalam pelaksanaan pekerjaan jalan adalah ketersediaan agregat, harga agregat dan kualitas agregat yang memenuhi persyaratan, dimana agregat standar yang berasal dari alam seperti batu dan pasir umumnya digunakan sebagai bahan untuk lapis pondasi jalan atau campuran beraspal.

Pada umumnya tidak semua daerah memiliki cadangan singkapan/ sedimentasi bebatuan atau agregat yang cukup secara kuantitas dan kualitas yang memadai sesuai dengan standar mutu yang berlaku, sehingga untuk memenuhi kebutuhan bahan jalan yang

semakin meningkat dilakukan dengan cara mendatangkan agregat dari tempat lain, seperti yang terjadi di provinsi Kalimantan Timur selama ini, dimana agregat yang digunakan dalam bidang pekerjaan jalan jasa konstruksi, didatangkan dari provinsi Sulawesi Tengah.

Mendatangkan material agregat dari luar daerah untuk pekerjaan campuran aspal, akan menambah biaya produksi pada pekerjaan campuran aspal yang disebabkan oleh jarak antara lokasi *quarry* material dengan lokasi produksi pada pekerjaan campuran aspal akan dipengaruhi oleh biaya pengangkutan agregat yang sangat tergantung dari jarak tempuhnya. Untuk mengatasi masalah penggunaan agregat dari luar daerah, perlu dicari beberapa alternatif seperti pemamfaatan agregat lokal sebagai pilihan yang paling ekonomis, atau melakukan perbaikan kualitas agregat lokal yang tidak memenuhi standar (substandar).

Provinsi Kalimantan Timur yang memiliki kandungan deposit singkapan/sedimentasi bebatuan agregat yang cukup luas, namun mutu bebatuan agregatnya tidak memenuhi standar maka perbaikan bebatuan agregat lokal akan lebih ekonomis dari pada mendatangkan bebatuan agregat yang jauh dari luar. Agregat sub standar adalah agregat yang tidak memenuhi sifat yang disyaratkan dalam spesifikasi jalan, antara lain berat jenis, nilai plastisitas, penyerapan dan abrasi yang akan mempengaruhi tingkat kelekatan agregat terhadap pada campuran aspal. Permasalahan yang bisa timbul karena penggunaan

agregat sub standar adalah pelepasan aspal agregat (*stripping*) yang akan mengakibatkan terjadinya kerusakan dini dan berkurangnya fungsi jalan.

Pembangunan konstruksi perkerasan jalan pada umumnya menggunakan bahan standar yang berasal dari bahan alam seperti batu dan pasir. Bahan tersebut digunakan sebagai bahan untuk lapis pondasi jalan yang tanpa atau dengan bahan pengikat atau untuk campuran beraspal. Agar biaya konstruksi dapat diperkecil, selain hal tersebut penggunaan bahan setempat atau lokal perlu diperhatikan dan dipikirkan secara matang. Namun demikian untuk itu perlu dilakukan upaya-upaya agar bahan sub standar ini dapat dioptimalkan penggunaan dan pemanfaatannya.

Selain itu, peningkatan kebutuhan bahan jalan tidak dapat diimbangi dengan ketersediaan sumber bahan, khususnya agregat. Untuk memenuhi kebutuhan agregat di suatu daerah dengan cara mendatangkan agregat dari tempat lainnya yang tentu saja akan meningkatkan harga satuan biaya pembangunan jalan. Untuk mengatasi hal tersebut, perlu dilakukan rekayasa teknis dalam pemanfaatan bahan material lokal sehingga yang substandar atau bahan buangan industri (*waste materials*) dapat dioptimalkan penggunaannya untuk perkerasan jalan, baik pada campuran beraspal maupun untuk lapis pondasi jalan (Fred W., 1993; Yamin A., 2011).

Campuran beraspal, keras, panas, minyak yang sering digunakan untuk lapis permukaan jalan di Indonesia adalah Lapis Aspal Beton (Laston) atau *Asphalt Concrete* (AC) yakni campuran antara material bitumen atau aspal dengan agregat kasar dan agregat halus yang diproses dalam suhu yang sangat tinggi. Laston mempunyai tiga macam campuran yaitu *Asphalt Concrete Wearing Course* (AC-WC) sebagai lapis aus, *Asphalt Concrete Binder Course* (AC-BC) sebagai lapis antara dan *Asphalt Concrete Base* (AC-Base) sebagai lapis pondasi.

Suatu lapis permukaan perkerasan jalan memiliki kemampuan sebagai lapis aus dan juga ketika tidak terjadi perubahan bentuk yang tetap dalam masa layanan. Salah satu penyebab kerusakan atau tidak mencapainya umur layanan jalan tersebut adalah bertambahnya tingkat kepadatan lalu lintas. Menurut Tayfur *et al.*, 2005 dan Birgisson *et al.*, 2007, pengulangan beban lalu lintas sebagai akibat dari kepadatan lalu lintas menyebabkan terjadinya akumulasi deformasi permanen pada campuran beton aspal sehingga mengalami penurunan kinerja jalan dalam masa layanan. Untuk mengatasi masalah tersebut, salah satu caranya adalah dengan memanfaatkan bahan tambah (*additive*) ke dalam campuran.

Kondisi tegangan yang terjadi akibat beban roda pada lapisan perkerasan dapat diuji di laboratorium namun dengan banyak faktor yang disederhanakan. Pada kondisi sesungguhnya tekanan atau

beban diterapkan tiga dimensi. Oleh karena itu, sejumlah pengujian yang telah disederhanakan, diperkenalkan untuk dapat menguji sejumlah aspek-aspek tertentu dari perilaku campuran beraspal. Pengujian tersebut dibagi menjadi tiga kelompok. Kelompok pengujian pertama adalah pengujian dasar uji beban berulang triaksial (*repeated load triaxial test*), uji tekan statik untuk rangka (*unconfined static uniaxial creep compression test*), uji beban tarik berulang (*repeated load indirect tensile test*), uji dinamik kekakuan dan kelelahan (*dynamic stiffness and fatigue tests*). Kelompok pengujian kedua adalah pengujian simulasi di laboratorium (*simulative*): Uji Roda-pelacakan (*wheel-tracking test*) dan kelompok pengujian yang ketiga adalah pengujian empiris dengan uji Marshall (*Marshall tests*) (*Shell Bitumen Handbook*, 2013).

Dari uraian-uraian diatas dan riset penelitian terdahulu pengujian material lokal sebagai bahan konstruksi jalan dan bangunan, sedimentologi singkapan bebatuan agregat sub standar, yang dilakukan oleh Pemerintah Provinsi Kalimantan Timur; Badan Penelitian dan Pengembangan Daerah – Balai Pengujian dan Peralatan Konstruksi diseluruh Daerah Kabupaten Kota telah dilakukan riset penelitian termasuk di Desa Senoni Kabupaten Kutai Kartanegara. Hasil riset penelitian masuk klasifikasi klas, C spesifikasi teknis Dinas Pekerjaan Umum, (Balitbang 2004; UPT, Balai Pengujian dan Peralatan Kostruksi Provinsi Kalimantan Timur). Perihal latar

belakang tersebut kami peneliti memandang perlu untuk melakukan riset penelitian pendalaman lebih lanjut pada lokasi sedimentologi singkapan bebatuan di Desa Senoni, Kecamatan Kembang Jangut, Kabupaten Kutai Kartanegara, permasalahan selama ini di Provinsi Kalimantan Timur khususnya bagi pelaku jasa konstruksi daerah menjadi suatu permasalahan serius, pada pelaksanaan kegiatan pekerjaan proyek-proyek pemerintah Provinsi maupun daerah Kabupaten/Kota, baik sumber dana pembiayaan yang berasal dari APBN, APBD I, APBD II sering kali menjadi hambatan/kendala terlambatnya suatu kegiatan pelaksanaan pekerjaan proyek-proyek pemerintah, karena pelaku jasa konstruksi daerah Kabupaten/Kota selalu ketergantungan suplai material agregat yang didatangkan dari luar pulau Kalimantan, yaitu dari Sulawesi Tengah (Palu), sedangkan potensi kandungan deposit sedimentologi singkapan bebatuan di Provinsi Kalimantan Timur cukup luas untuk kandungan deposit singkapan/sedimentasi bebatuan agregat di Desa Senoni Kecamatan kembang jangut dengan luas lahan 46 Ha sekitar \pm 460.000 juta ton yang masuk dalam Kabupaten Kutai Kartanegara, selama ini belum maksimal dimanfaatkan dalam pengelolaanya oleh pemerintah daerah. Hal ini disebabkan karena dianggap substandar dan termasuk dalam klasifikasi kelas, C sesuai spesifikasi Dinas Pekerjaan Umum.

Dengan permasalahan tersebut timbul pemikiran peneliti untuk melakukan riset penelitian sedimentologi singkapan bebatuan agregat

di daerah Senoni, Provinsi Kalimantan Timur sebagai kinerja campuran aspal keras/minyak *Asphalt concrete Wearing Course* asphalt penetrasi rendah 60/70 sebagai bahan pengikat, Sehingga peneliti membuat riset penelitian dengan judul “ **Karakteristik Campuran Aspal Yang Menggunakan Batu Gunung**”.

B. Rumusan Masalah

Pada dasarnya Provinsi Kalimantan Timur memiliki deposit singkapan/sedimentasi bebatuan yang sangat luas, tetapi selama ini dianggap sebagai agregat yang tidak memenuhi syarat spesifikasi teknis (substandar) untuk digunakan sebagai material perkerasan jalan, sehingga perlu dilakukan penelitian untuk menjawab permasalahan tersebut yaitu :

1. Bagaimana sifat fisik dan kimia sedimentologi singkapan bebatuan di Senoni dan pasir Mahakam terhadap campuran *Asphalt Concrete Wearing Course* yang menggunakan aspal minyak penetrasi 60/70.
2. Bagaimana pengaruh jumlah tumbukan dan perendaman air campuran *Asphalt Concrete Wearing Course* yang menggunakan sedimentologi singkapan bebatuan di Senoni dan pasir Mahakam dan aspal keras minyak penetrasi 60/70 terhadap nilai stabilitas Marshall.

3. Bagaimana pengaruh jumlah tumbukan dan perendaman air campuran *Asphalt Concrete Wearing Course* yang menggunakan sedimentologi singkapan bebatuan di senoni dan pasir Mahakam dan aspal keras minyak penetrasi 60/70 terhadap nilai modulus kekakuan.

C. Tujuan Penelitian

Terkait dengan latar belakang dan rumusan permasalahan diatas, maka dalam penelitian ini bertujuan untuk :

1. Menganalisis hubungan sifat fisik dan kimia sedimentologi singkapan bebatuan di Senoni pasir Mahakam terhadap campuran *Asphalt Concrete Wearing Course* yang menggunakan aspal minyak penetrasi 60/70.
2. Menganalisis pengaruh jumlah tumbukan dan perendaman air campuran *Asphalt Concrete Wearing Course* yang menggunakan sedimentologi singkapan bebatuan di Senoni pasir Mahakam dan aspal keras minyak 60/70 terhadap stabilitas marshall.
3. Menganalisis pengaruh jumlah tumbukan dan perendaman air campuran *Asphalt Concrete Wearing Course* yang menggunakan sedimentologi singkapan bebatuan di Senoni pasir Mahakam dan aspal keras minyak penetrasi 60/70 terhadap nilai modulus kekakuan.

D. Batasan Masalah

Berdasarkan tujuan penelitian yang ada, maka ruang lingkup pada penelitian ini dibatasi pada hal-hal yaitu :

1. Penelitian yang dilakukan adalah berbentuk uji eksperimen di laboratorium.
2. Penelitian ini menggunakan uji beban monotonik pada benda uji berskala silinder yang dilakukan dalam bentuk eksperimental di laboratorium.
3. Lokasi *quarry* sedimentologi singkapan bebatuan (batu gunung) dan pasir Mahakam yang digunakan dalam penelitian ini diambil dari *quarry* di Desa Senoni Kecamatan Kembang Jangut Kabupaten Kutai Kartanegara Provinsi Kalimantan Timur.

E. Manfaat Penelitian

Seiring dengan tujuan yang ingin dicapai, maka manfaat yang diharapkan dari riset penelitian ini mencakup dalam beberapa aspek yaitu:

1. Aspek akademis

Hasil dari riset penelitian yang ingin dicapai oleh peneliti adalah : nantinya sidementologi singkapan bebatuan (batu gunung) dan pasir Mahakam yang berada di Senoni, Kecamatan Kembang Jangut Kabupaten Kutai Kartanegara bisa dimanfaatkan sebagai bahan material campuran *Asphalt Concrete Wearing Course*, dan bisa memberikan saran dan masukan baik untuk pemerintah daerah

Kabupaten/Kota maupun pemerintah Provinsi Kalimantan Timur dan merupakan upaya akademik berdasarkan standar dan kaidah ilmiah. Oleh karena itu, secara akademis penelitian ini diharapkan bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan dapat dijadikan acuan atau landasan teoritis, khususnya yang terkait dengan pemanfaatan material lokal, dalam bidang perancangan perkerasan jalan.

2. Aspek praktis

Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan (referensi) bagi penerapan secara teknis pelaksanaan perkerasan jalan bagi pelaku jasa konstruksi, dengan tetap berpegang pada kaidah dan persyaratan spesifikasi umum Bina Marga Standar Nasional Indonesia yang ada, terutama dalam pemanfaatan material lokal dan asphalt keras minyak penetrasi 60/70 dalam pelaksanaan pekerjaan konstruksi perkerasan *Asphalt Concrete Wearing Course*.

F. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan disusun agar tetap terarah pada tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini. Sistematika penulisan yang dituliskan dalam penelitian ini adalah :

BAB I PENDAHULUAN

Dalam bab ini, berisi tentang latar belakang masalah penelitian, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian serta batasan

penelitian serta sistematika penulisan. Bab ini menjelaskan permasalahan yang diamati, menjelaskan tujuan dan pentingnya hasil penelitian bagi pengembangan ilmu perkerasan jalan, ruang lingkup sebagai batasan dalam penulisan, serta sistematika dan organisasi tentang pengenalan isi per bab dalam disertasi.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Dalam bab ini, memberikan gambaran tentang teori agregat, teori aspal (*bitumen*), informasi tentang pembuatan *Asphalt Concrete* campuran beraspal keras minyak, jenis-jenisnya, aspal penetrasi rendah 40/55, aspal penetrasi rendah 60/70, aspal penetrasi tinggi 80/100, aspal penetrasi tinggi 100/110 dan respon perkerasan akibat pembebanan serta informasi mengenai penelitian-penelitian terdahulu tentang campuran aspal keras minyak penetrasi rendah 60/70 untuk perkerasan *Asphalt Concrete Wearing Course*

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Dalam bab ini, dijelaskan metode yang digunakan dalam penelitian ini, pengujian karakteristik, berat jenis, nilai plastisitas, penyerapan, kekerasan, keausan, tingkat kelekatan agregat terhadap aspal, yang dilakukan pada sedimentologi singkapan bebatuan pasir Mahakam, dan aspal keras minyak penetrasi rendah 60/70, bagan alir penelitian, pembuatan benda uji dan rencana jumlah benda uji, pengujian-pengujian yang dilakukan pada hasil campuran aspal keras minyak dengan penetrasi rendah 60/70 berupa uji Marshall

(stabilitas, flow, Marshall *quetiont* dan parameter lainnya), kuat tarik tidak langsung (*indirect tensile strength*), kuat tekan bebas (*unconfined compressive strength*).

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam bab ini, memberikan gambaran tentang karakteristik fisik dan kimia sedimentologi singkapan bebatuan dan bahan pengikat berupa aspal keras minyak dengan penetrasi rendah 60/70, penentuan gradasi campuran, menghitung kadar aspal perkiraan dan mix design campuran *Asphalt Concrete Wearing Course* berdasarkan kadar aspal perkiraan. Selanjutnya, menganalisis karakteristik Marshall akibat rendaman air dengan variasi jumlah tumbukan yaitu 2 × 35, 2 × 50 dan 2 × 75. Kemudian dilakukan pengkajian dengan penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO) pada masing-masing variasi jumlah tumbukan. dan penentuan campuran yang optimal dan akhirnya menganalisis nilai modulus kekakuan campuran aspal dan deformasi horizontal yang terjadi.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Merupakan bab yang menyimpulkan hasil dari analisis indikator-indikator yang ditemukan dalam riset penelitian, memberikan saran-saran dan rekomendasi hasil temuan yang ditemukan dalam riset penelitian.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Isu Strategis Penggunaan Material Lokal Pada Campuran

Beraspal

Perkembangan konstruksi jalan yang digunakan oleh seluruh dunia diawali oleh temuan Thomas Telford (1757-1834) dan John London Mac Adam (1756-1836). Konstruksi ini diberi lapisan aus yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikatnya dan seluruh dunia menggunakan teknologi ini sebagai konstruksi jalan. Perkembangan selanjutnya adalah konstruksi perkerasan jalan menggunakan aspal panas (*hot-mix*). Jenis perkerasan ini dinamakan perkerasan lentur.

Di Indonesia, kedua jenis perkerasan ini telah digunakan pada hampir seluruh proyek-proyek jalan nasional, provinsi dan kabupaten. Masalah yang dihadapi Direktorat Jenderal Bina Marga Indonesia adalah kerusakan dini pada konstruksi-konstruksi jalan. Baik yang terjadi pada perkerasan lentur maupun perkerasan kaku. Hampir 40 % jaringan jalan yang ada di Indonesia mengalami kerusakan ringan hingga kerusakan berat. Jaringan jalan nasional pada tahun 2002 mencapai 330.495 km. Secara keseluruhan jalan yang rusak meliputi jalan negara sekitar 12%

(3.224 km), jalan provinsi sekitar 34% (12.636 km), sementara jalan kabupaten yang rusak mencapai 47% (113.244 km) (Direktorat Jenderal Perhubungan Darat, 2005).

Kekurangan perkerasan beton dibandingkan perkerasan beraspal adalah biaya awal dan perbaikan konstruksi yang cukup tinggi, butuh waktu sampai cukup kuat untuk dilewati, tidak sesuai bagi konstruksi badan jalan yang labil atau masih terjadi bongkar pasang utilitas, kurang nyaman (kekasaran, sambungan) dan silau akibat warna perkerasan yang cenderung putih (Hermadi & Sjahdanulirwan, 2008).

Selain masalah kerusakan struktur jalan, masalah pemanfaatan material lokal juga muncul. Kedua masalah ini merupakan suatu tantangan bagi peneliti untuk melakukan penelitian yang bersifat aplikatif agar masalah tersebut dapat terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, pemanfaatan material lokal dalam campuran beraspal, khususnya pada campuran AC-WC.

Indonesia merupakan negara kepulauan yang mempunyai 17.504 pulau, tetapi selama ini proses pembangunan kurang berorientasi pada kondisi geografis kepulauan (Ismail, 2007).

Keberadaan infrastruktur jalan di Provinsi Kalimantan Timur merupakan sarana dan prasarana mutlak yang harus disediakan guna menunjang seluruh aktivitas masyarakat, baik ekonomi, sosial, pendidikan, pariwisata, maupun kesehatan. Namun, kini masih

terdapat daerah-daerah pedalaman, terpencil dan kawasan perbatasan yang sulit dijangkau oleh akses perhubungan karena letaknya yang terisolasi dan jauh dari ibukota Kota dan Kabupaten. Minimnya jaringan jalan, terbatasnya angkutan perhubungan darat dan udara, hingga tidak tersedianya akses pendidikan, kesehatan dan kebersihan adalah hal yang menjadi pangkal masalah di daerah pedalaman dan perbatasan Provinsi Kalimantan Timur.

Kebutuhan bahan jalan untuk campuran beraspal, campuran beton semen, dan lapis pondasi meningkat di Provinsi Kalimantan Timur, sementara ketersediaan akan sumber bahan, khususnya agregat standar semakin terbatas dan mahal karena harus didatangkan dari luar pulau atau dari Provinsi Sulawesi Tengah yang memerlukan biaya angkut yang tinggi, serta membutuhkan waktu yang lama dalam proses pengiriman.

Pada penerapan konsep pembangunan jalan, tuntutan penggunaan material lokal yang memenuhi spesifikasi teknis merupakan tantangan tersendiri dalam menciptakan inovasi-inovasi komposisi modifikasi material lokal dengan material lain di luar wilayah kerja (Mulyono, 2007). Namun keterbatasan alat uji mutu di daerah terpencil menjadi kendala untuk mengetahui spesifikasi material lokal (Andriyanto, 2005).

Menyadari pentingnya peran jalan dan penurunan ketersediaan agregat standar, maka perlu dilakukan penelitian dan pengembangan

teknologi pemanfaatan material lokal atau substandar. Material lokal di sini adalah bahan yang terdapat di suatu daerah yang umumnya tidak memenuhi persyaratan standar (substandar) yang sudah baku, sehingga apabila bahan tersebut layak untuk digunakan sebagai bahan jalan, perlu ada kajian yang memungkinkan untuk dibuat suatu acuan yang dibakukan (Widajat, 2010).

B. Deskripsi Aspal Minyak dan Aspal Beton

1. Aspal Minyak (Bitumen)

Aspal atau bitumen merupakan material yang berwarna hitam kecoklatan yang bersifat viskoelastis sehingga akan melunak dan mencair bila mendapat cukup pemanasan dan sebaliknya akan mengeras apabila tidak mendapat cukup pemanasan (Manual Pekerjaan Campuran Beraspal Panas, Buku 1, Petunjuk Umum).

a. Sumber aspal (bitumen)

1). Aspal (bitumen) hasil destilasi

Minyak mentah disuling dengan cara destilasi, yakni suatu proses dimana bitumen dipisahkan dari minyak mentah tersebut. Proses destilasi ini disertai oleh kenaikan atau meningkatnya temperatur pemanasan minyak mentah tersebut. Aspal (bitumen) hasil destilasi (penyulingan) ini yang kemudian dalam penggunaannya yang berbeda-

beda sehingga aspal (bitumen) ini diklasifikasikan lagi menjadi : (1) aspal keras yang biasa digunakan untuk campuran *hot-mix* (campuran aspal panas), (2) aspal (bitumen) cair digunakan untuk peruntukan sebagai lapis perekat dan sebagai lapis peresap dalam dunia perkerasan jalan dan (3) aspal emulsi yang diperuntukkan dan digunakan sebagai lapis perekat dan sebagai lapis peresap serta sebagai perekat dalam campuran aspal dingin (*cold mix*) dengan memanfaatkan aspal emulsi sebagai bahan pengikat.

2). Aspal (bitumen) alam

Aspal (bitumen) alam adalah aspal yang secara alamiah terjadi di alam. Berdasarkan depositnya aspal (bitumen) alam dapat dikelompokkan kedalam dua kelompok, yakni aspal (bitumen) danau dan aspal (bitumen) yang berbentuk batu. Aspal (bitumen) danau secara alamiah terdapat di danau Trinidad, Venezuela dan aspal (bitumen) yang berbentuk batu secara alamiah terdapat di daerah Kentucky dan di daerah Pulau Buton Provinsi Sulawesi Tenggara-Indonesia. Aspal (bitumen) dari deposit ini terbentuk dalam celah-celah batuan yang berbentuk kapur dan batuan pasir yang ada di daerah tersebut.

3). Aspal (bitumen) modifikasi

Aspal (bitumen) yang berbentuk modifikasi ini dibuat dengan cara mencampur dan memodifikasi aspal keras penetrasi 60/70 dengan suatu bahan tambah atau biasa disebut sebagai *additive* yang dimanfaatkan

sebagai bahan substitusi. Bahan tambah yang biasanya dipakai adalah polymer yang saat ini banyak digunakan dalam dunia perkerasan jalan. Oleh karena itu, aspal (bitumen) modifikasi sering juga disebut sebagai aspal (bitumen) *polymer modified*.

3. Aspal Beton (*Asphalt Concrete*)

Lapis aspal beton adalah lapisan pada konstruksi jalan raya, yang terdiri dari campuran aspal keras dan agregat yang bergradasi menerus (*well graded*) dicampur, dihamparkan dan dipadatkan dalam keadaan panas pada suhu tertentu. Jenis agregat yang digunakan terdiri dari agregat kasar, agregat halus dan filler, sedangkan aspal yang digunakan sebagai bahan pengikat untuk lapis aspal beton harus terdiri dari salah satu aspal keras penetrasi 40/50, 60/70 dan 80/100 yang seragam, tidak mengandung air bila dipanaskan sampai suhu 175°C tidak berbusa dan memenuhi persyaratan sesuai dengan yang ditetapkan. Pembuatan Lapis Aspal Beton (Laston) dimaksudkan untuk mendapatkan suatu lapisan permukaan atau lapis antara (binder) pada perkerasan jalan yang mampu memberikan sumbangan daya dukung yang terukur serta berfungsi sebagai lapisan kedap air yang dapat melindungi konstruksi dibawahnya (Bina Marga, 1987).

Menurut Sukirman (2003), bahwa lapis aspal beton (laston) digunakan untuk jalan-jalan dengan beban lalu lintas berat, laston juga

dikenal dengan nama AC (*asphalt concrete*). Sedangkan menurut Kementerian Pekerjaan Umum (2010), bahwa ciri lain dari laston adalah memiliki sedikit rongga dalam struktur agregatnya, saling mengunci satu dengan yang lainnya, oleh karena itu aspal beton memiliki sifat stabilitas tinggi dan relatif kaku.

Berdasarkan Spesifikasi Bina Marga Tahun 2010, disebutkan bahwa laston, mempunyai 3 macam campuran, yaitu :

1. Laston sebagai lapisan aus, dikenal dengan *Asphalt Concrete Wearing Course* (AC WC), dengan tebal nominal minimum adalah 4 cm.
2. Laston sebagai lapisan antara, dikenal dengan nama *Asphalt Concrete-Binder Course* (AC BC) dengan tebal nominal minimum adalah 6 cm.
3. Laston sebagai lapisan pondasi, dikenal dengan nama *Asphalt Concrete-Base* (AC base), dengan tebal nominal minimum adalah 7,5 cm.

Sebagai campuran perkerasan, laston memiliki tujuh karakteristik campuran yang harus dimiliki oleh aspal beton adalah :

1. Tahan terhadap tekanan (*stability*)

Tahan terhadap tekanan adalah kemampuan dari suatu perkerasan jalan dalam menerima beban lalu lintas yang bekerja tanpa terjadi adanya perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur dan bleeding.

Jalan yang melayani volume lalu lintas yang tinggi dan dominan terdiri dari kendaraan berat, membutuhkan suatu perkerasan jalan dengan stabilitas yang tinggi. Faktor yang dapat mempengaruhi nilai stabilitas aspal beton adalah gesekan internal dan kohesi.

2. Keawetan (*durability*)

Keawetan adalah kemampuan aspal beton untuk menerima repetisi atau pengulangan akibat beban lalu lintas seperti berat kendaraan dan gesekan antara roda kendaraan dengan permukaan jalan, serta menahan dapat keausan akibat pengaruh cuaca dan iklim, seperti udara, air atau perubahan temperatur. Durabilitas beton aspal dipengaruhi oleh tebalnya film atau selimut aspal, banyaknya pori dalam campuran, kepampatan dan kedap airnya campuran. Semakin tebal film aspal akan mengakibatkan mudah terjadi *bleeding* yang akan menyebabkan jalan semakin licin.

3. Kelenturan (*flexibility*)

Kelenturan adalah kemampuan dari aspal beton untuk menyesuaikan diri akibat konsolidasi atau penurunan (*settlement*) dan pergerakan dari pondasi atau tanah dasar, tanpa terjadi retak. Penurunan terjadi akibat repetisi beban lalu lintas, ataupun penurunan akibat berat sendiri tanah timbunan yang dibuat di atas tanah asli. Fleksibilitas dapat ditingkatkan dengan mempergunakan agregat yang bergradasi terbuka dengan kadar aspal yang tinggi.

4. Ketahanan terhadap kelelahan (*fatigue resistance*)

Ketahanan terhadap kelelahan adalah suatu kemampuan dari aspal beton untuk menerima lendutan berulang akibat repetisi beban, tanpa terjadinya kelelahan berupa alur dan retak.

5. Kekesatan atau tahanan geser (*skid resistance*)

Kekesatan atau tahanan geser adalah kemampuan permukaan aspal beton terutama dalam kondisi basah atau hujan, dimana dapat menghasilkan suatu gaya gesek pada roda kendaraan, sehingga roda kendaraan tidak tergelincir, ataupun mengalami slip. Selain itu, agregat yang digunakan tidak saja harus mempunyai permukaan yang kasar, tetapi juga harus mempunyai daya tahan untuk permukaannya tidak mudah menjadi licin akibat repetisi kendaraan.

6. Kedap air (*impermeable*)

Kedap air adalah kemampuan beton aspal untuk tidak dapat dimasuki oleh air ataupun udara ke dalam lapisan beton aspal. Air dan udara dapat menyebabkan terjadinya percepatan proses penuaan aspal, dan pengelupasan film atau selimut aspal dari permukaan agregat. Tingkat impermeabilitas beton aspal berbanding terbalik dengan tingkat durabilitasnya.

7. Mudah dilaksanakan (*workability*)

Workability adalah kemampuan campuran beton aspal untuk mudah dihamparkan dan dipampatkan. Faktor yang mempengaruhi tingkat

kemudahan dalam proses penghamparan dan pemadatan adalah viskositas aspal, kepekaan aspal terhadap perubahan temperatur gradasi

serta kondisi agregat.

Menurut Spesifikasi Bina Marga Tahun 2010, bahwa sebagai lapis permukaan perkerasan jalan, laston harus mempunyai nilai struktur, kedap air, dan mempunyai stabilitas tinggi berdasarkan ketentuan sifat-sifat dari campuran aspal panas untuk Laston bergradasi kasar.

C. Teori Agregat

Agregat merupakan batu pecah, kerikil dan pasir, baik yang langsung diambil di alam maupun dari hasil olahan. Agregat merupakan komponen utama lapisan perkerasan jalan yaitu mengandung 90%–95% agregat berdasarkan persentase berat atau 75%–85% agregat berdasarkan persentase volume.

Dalam pemakaian untuk perkerasan jalan, secara umum agregat terdiri atas :

- a. Agregat Kasar, dimana fungsi agregat kasar adalah memberikan stabilitas campuran, dengan kondisi saling mengunci dari masing – masing partikel agregat kasar dari batu pecah atau kerikil pecah. Agregat kasar untuk rancangan campuran adalah yang tertahan ayakan no.8 (2,36 mm), dan harus bersih, keras, awet dan bebas dari lempung atau bahan yang tidak dikehendaki lainnya dan memenuhi ketentuan.
- b. Agregat Halus, dimana fungsi utama agregat halus adalah untuk memberikan stabilitas dan mengurangi deformasi permanen campuran melalui friksi dan prilaku, yaitu dengan memperkokoh sifat saling mengunci dan mengisi rongga antar butir agregat kasar serta menaikkan luas permukaan dari agregat yang dapat diselimuti aspal, sehingga menambah keawetan perkerasan. Agregat halus adalah agregat yang lolos saringan No.8 (2,36 mm), dan tertahan pada saringan No.200 (0,075 mm) yaitu fraksi agregat halus hasil pecah mesin, atau pasir.
- c. Filler, dimana fungsi dari bahan pengisi (*filler*) adalah untuk mengurangi kepekaan campuran terhadap temperatur. Penggunaan bahan pengisi harus dibatasi, jika terlalu banyak menyebabkan campuran getas dan mudah retak akibat beban lalu lintas. Sebaliknya jika terlalu rendah akan menghasilkan campuran lunak dan tidak tahan cuaca. Bahan pengisi atau filler adalah agregat yang lolos

saringan No.200 (0,075 mm). Bahan pengisi atau *filler* yang ditambahkan terdiri atas debu batu kapur (*Limestone Dust*), semen Portland, abu terbang, abu tanur semen, abu batu atau bahan non plastis lainnya.

Menurut Silvia Sukirman (1999), agregat diklasifikasi berdasarkan berdasarkan proses pengolahannya serta bentuk dan teksturnya;

- 1) Berdasarkan pengolahannya, maka agregat diklasifikasikan menjadi;
 - a. Agregat alam : yaitu agregat yang dapat dipergunakan sebagaimana bentuknya di alam atau dengan sedikit proses pengolahan. Dua bentuk agregat yang sering digunakan yaitu kerikil dengan ukuran partikel lebih besar dari 1/4 inch (6,35 mm) dan pasir dengan ukuran partikel kecil dari 1/4 inch tetapi lebih besar dari 0,075 mm (saringan no. 200).
 - b. Agregat yang melalui proses pengolahan. Agregat ini harus melalui proses pemecahan terlebih dahulu supaya diperoleh bentuk partikel bersudut, diusahakan berbentuk kubus, permukaan partikel kasar sehingga mempunyai gesekan yang baik dan gradasi sesuai yang diinginkan.
 - c. Agregat buatan; Agregat yang merupakan mineral filler/pengisi.
- 2) Berdasarkan bentuk dan tekstur; agregat yang paling baik untuk digunakan sebagai bahan perkerasan jalan adalah berbentuk kubus, tetapi jika tidak ada, maka agregat yang memiliki minimal satu bidang

pecahan, dapat digunakan sebagai alternatif berikutnya. Partikel agregat dapat berbentuk yaitu :

- a. Bulat (*rounded*) Agregat yang dijumpai di sungai pada umumnya telah mengalami pengikisan oleh air sehingga umumnya berbentuk bulat. Partikel agregat saling bersentuhan dengan luas bidang kontak kecil sehingga menghasilkan daya *interlocking* yang lebih kecil dan lebih mudah tergelincir.
- b. Lonjong (*elongated*) Partikel agregat berbentuk lonjong dapat ditemui di sungai-sungai atau bekas endapan sungai. Agregat dikatakan lonjong jika ukuran terpanjangnya lebih panjang dari 1,8 kali diameter rata-rata. Sifat *interlocking*-nya 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 sehingga memberikan *interlocking*/saling mengunci yang lebih besar. Dengan demikian kestabilan yang diperoleh lebih besar dan lebih tahan terhadap deformasi yang timbul. Agregat berbentuk kubus ini paling baik digunakan sebagai bahan konstruksi perkerasan jalan.
- d. Pipih (*flaky*) Partikel agregat berbentuk pipih dapat merupakan hasil dari mesin pemecah batu ataupun memang merupakan sifat dari agregat tersebut yang jika dipecahkan cenderung berbentuk pipih.

Agregat pipih yaitu agregat yang lebih tipis dari 0,6 kali diameter rata-rata. Agregat berbentuk pipih mudah pecah pada waktu pencampuran, pemadatan ataupun akibat beban lalu lintas.

Agregat adalah material batuan/mineral alami granular. Agregat didefinisikan secara umum sebagai formasi kulit bumi yang keras dan padat. ASTM mendefinisikan agregat sebagai suatu bahan yang terdiri dari mineral padat, berupa massa berukuran besar ataupun berupa fragmen-fragmen (Sukirman S, 2003).

Menurut ASTM, berdasarkan besar partikel-partikel agregat dibedakan atas:

1. Agregat kasar : agregat $> 4,75$ mm
2. Agregat halus : agregat > 0.075 mm dan $< 4,75$ mm
3. Abu batu/mineral *filler* : agregat < 0.075 mm

Fungsi agregat kasar adalah memberikan stabilitas campuran dengan kondisi saling mengunci dari masing-masing partikel agregat kasar dan dan agregat halus. Sedangkan fungsi agregat halus adalah menambah stabilitas pada campuran dengan interlocking antar agregat. Adapun *filler* berfungsi mengikat agregat halus pada campuran, meningkatkan viskositas aspal, dan mengurangi kepekaan terhadap suhu.

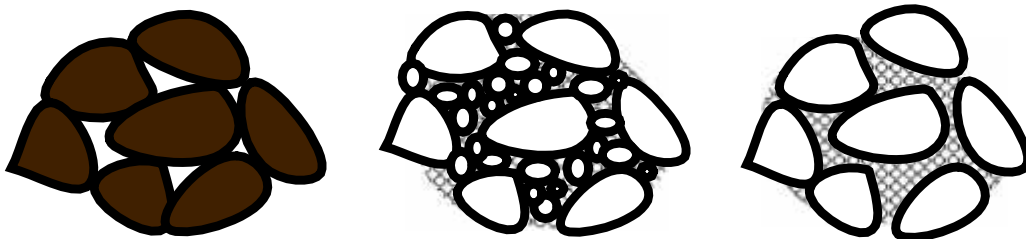
Pemakaian agregat sebagai bahan perkerasan jalan perlu diperhatikan mengenai gradasi, kebersihan, kekerasan dan ketahanan agregat, bentuk butir tekstur permukaan, porositas, absorpsi berat jenis dan daya kelekatan aspal. Sifat-sifat agregat antara lain adalah : (Sukirman S, 1999 : 45).

a. Gradasi

Gradasi atau distribusi partikel-partikel berdasarkan ukuran agregat merupakan hal yang penting dalam menentukan stabilitas perkerasan jalan. Gradasi agregat mempengaruhi besarnya rongga antar butir yang akan menentukan stabilitas dan kemudahan dalam proses pelaksanaan. Gradasi agregat dapat dibedakan atas :

1. Gradasi seragam (*uniform graded*) adalah agregat dengan ukuran yang hampir sama/sejenis. Gradasi seragam disebut juga gradasi terbuka (*open graded*) karena hanya mengandung sedikit agregat halus sehingga terdapat banyak ruang/rongga kosong antara agregat. Agregat dengan gradasi seragam akan menghasilkan lapisan perkerasan dengan sifat permeabilitas tinggi, stabilitas kurang, berat volume kecil.
2. Gradasi rapat (*dense graded*) merupakan campuran agregat kasar dan halus dalam porsi yang berimbang sehingga dinamakan juga agregat bergradasi baik (*well graded*).

3. Gradasi buruk/jelek (*poorly graded*) merupakan campuran agregat yang tidak memenuhi dua kategori di atas. Gradasi ini disebut juga gradasi senjang dan akan menghasilkan lapisan perkerasan yang mutunya terletak antara kedua jenis tersebut di atas.



a. Gradasi Seragam

b. Gradasi Rapat

c. Gradasi buruk/jelek

Gambar 1. Jenis gradasi agregat

b. Daya Tahan Agregat

Daya tahan agregat adalah ketahanan agregat untuk tidak hancur/pecah oleh pengaruh mekanis atau kimia. Degradasi didefinisikan sebagai kehancuran agregat menjadi partikel-partikel yang lebih kecil akibat gaya yang diberikan pada waktu penimbunan, pemadatan ataupun oleh beban lalu lintas.

Faktor yang mempengaruhi tingkat degradasi :

1. Jenis agregat, jenis agregat yang lunak mengalami degradasi yang lebih besar dari agregat yang lebih keras,
2. Gradasi, gradasi terbuka mempunyai tingkat degradasi yang lebih besar dari pada gradasi rapat,

3. Bentuk, partikel bulat akan mengalami degradasi yang lebih besar dari yang berbentuk kubus/bersudut,
4. Ukuran partikel, partikel yang lebih kecil mempunyai tingkat degradasi yang lebih kecil dari pada partikel dengan ukuran besar,
5. Energi pemadatan, degradasi akan terjadi lebih besar pada pemadatan dengan menggunakan energi pemadatan yang lebih besar.

c. Bentuk dan tekstur agregat

Bentuk dan tekstur agregat sangat mempengaruhi interlocking antar butir agregat. Adapun jenis-jenis bentuk agregat adalah sebagai berikut.

1. Bulat, yaitu agregat yang dijumpai di sungai, pada umumnya telah mengalami pengikisan oleh air sehingga umumnya berbentuk bulat.
2. Lonjong, dikatakan lonjong bila ukuran terpanjangnya $>1,8$ kali diameter rata-rata.
3. Kubus, merupakan bentuk agregat hasil dari mesin pemecah batu (crusher stone) yang mempunyai bidang kontak yang lebih luas, (berbentuk bidang rata sehingga memberikan interlocking/saling mengunci yang lebih besar).
4. Pipih, dapat merupakan hasil dari mesin pemecah batu maupun memang merupakan sifat dari agregat tersebut yang jika dipecahkan cenderung berbentuk pipih.
5. Tak beraturan, merupakan agregat yang tidak mengikuti salah satu yang disebutkan di atas.

Dari segi tekstur permukaan agregat dapat dibedakan atas licin, kasar, atau berpori. Agregat berbentuk bulat pada umumnya mempunyai permukaan yang licin, dan seringkali di jumpai disungai. Permukaan agregat yang licin menghasilkan daya penguncian antar agregat rendah, dan mempunyai tingkat kestabilan rendah.

Permukaan agregat kasar mempunyai gaya gesek yang baik, ikatan antara butir agregat kuat, sehingga lebih mampu menahan deformasi akibat beban lalu lintas.

d. Kebersihan Agregat (*cleanliness*)

Kebersihan agregat ditentukan dari banyaknya butir-butir halus yang lolos saringan No.200, seperti adanya lempung, lanau, ataupun adanya tumbuh-tumbuhan pada campuran agregat. Agregat yang banyak mengandung material yang lolos saringan No.200, jika dipergunakan sebagai bahan campuran beton aspal, akan menghasilkan beton aspal berkualitas rendah. Hal ini disebabkan material halus membungkus partikel agregat yang lebih kasar, sehingga ikatan antara agregat dan bahan pengikatnya, yaitu aspal, akan berkurang dan berakibat mudah lepasnya ikatan antara aspal dan agregat.

e. Daya Lekat Aspal Terhadap Agregat (*Affinity for asphalt*)

Daya lekat aspal terhadap agregat dipengaruhi oleh sifat agregat terhadap air. Granit dan agregat yang mengandung silica merupakan

agregat yang bersifat *hydrophilic*, yaitu agregat yang mudah diresapi air, hal ini mengakibatkan agregat tersebut tak mudah dilekati aspal, ikatan aspal dengan agregat mudah lepas. Sebaliknya agregat seperti diorite, andesit, merupakan agregat *hydrophobic* yaitu agregat yang tidak mudah terikat dengan air, tetapi mudah terikat dengan aspal.

f. Berat Jenis Agregat

Di dalam perhitungan rancangan campuran dibutuhkan parameter berat jenis agregat. Berat jenis agregat adalah perbandingan antara berat volume agregat dan berat volume air. Agregat dengan berat jenis kecil, mempunyai volume yang besar, atau berat yang ringan.

g. Agregat Substandar

Agregat substandar adalah agregat yang tidak memenuhi sifat yang disyaratkan dalam spesifikasi jalan namun masih dapat dimanfaatkan dengan melakukan modifikasi (Adithya, 2016).

Agregat substandar dapat berasal dari alam ataupun buatan. Beberapa contoh agregat substandar yang berasal dari alam adalah batu gamping, batu karang, batu apung, agregat dari kelompok silika agregat, pasir kuarsa, dan pasir laut. Sedangkan agregat substandar buatan dapat berupa agregat yang sengaja dibuat, seperti alwa, batu bata, dan genting, atau berasal dari sisa produksi (waste), seperti slag dan tailing.

Agregat substandar dapat memiliki satu atau lebih kekurangan sifat-sifat yang diinginkan. Sifat yang umumnya tidak terpenuhi, antara lain, adalah gradasi, bidang pecah, kepipihan, kekerasan (abrasi), keawetan (*soundness*), dan kadar lempung. Oleh sebab itu, secara umum, agregat substandar atau agregat marginal adalah agregat yang biasanya tidak digunakan untuk keperluan tertentu karena tidak memiliki atau memenuhi sifat-sifat yang disyaratkan dalam spesifikasi. Namun demikian agregat seperti ini masih memiliki kemungkinan untuk bisa sukses digunakan dengan cara mencampurnya dengan bahan pengikat sehingga membentuk lapisan agregat yang terikat kuat oleh bahan pengikat (*bound layer*) atau dengan memodifikasi desain perkerasan standar dan prosedur konstruksi.

Dengan beberapa perbaikan atau desain struktural yang sesuai, agregat lokal yang tidak memenuhi spesifikasi memberikan kinerja lapangan yang cukup memadai, khususnya untuk jalan bervolume lalu lintas rendah (Collin et al, 1994).

D. Agregat Substandar

Pada umumnya agregat kasar yang digunakan untuk bahan jalan berasal dari batuan beku dan biasanya batuan sedimen tidak layak sebagai agregat pada konstruksi jalan. Hal ini disebabkan karena struktur batuan sedimen tidak seragam, tidak memiliki kekuatan, mudah

terpengaruh oleh cuaca dan mengandung bahan organik yang cukup tinggi. Walaupun begitu, karena batuan sedimen memiliki banyak variasi dan bentuk sehingga beberapa diantaranya memiliki tekstur dan penampakan seperti batuan beku dan mereka memiliki cukup kekuatan untuk digunakan sebagai agregat bahan jalan (Purbi & Dixit, 2011).

Agregat yang digunakan sebagai bahan jalan haruslah memenuhi sifat-sifat tertentu yang disyaratkan dalam spesifikasi. Selanjutnya, agregat memenuhi sifat yang diistilahkan sebagai agregat standar. Sedangkan yang tidak memenuhi standar disebut sebagai agregat substandar. Sifat-sifat yang umumnya tidak sesuai spesifikasi yang berlaku, antara lain karena ketidaksesuaian gradasi, sifat plastisitas dan kekuatan (Sigfried dkk., 2014).

Agregat substandar dapat berasal dari agregat alam ataupun agregat buatan. Beberapa contoh agregat substandard dapat berasal dari agregat alam antara lain adalah batu karang, pasir laut, batu apung dan lain sebagainya. Sedangkan agregat substandar buatan dapat berupa agregat yang sengaja dibuat diantaranya yaitu alwa, batu bata, genting dan lain sebagainya dan ada pula yang berasal dari sisa produksi (*waste*) contohnya slag, tailing dan lain-lain (Yamin dkk., 2015(a); Yamin, 2011(b)).

Agregat substandar dapat memiliki satu atau lebih kekurangan sifat-sifat yang diinginkan. Sifat yang umumnya tidak terpenuhi antara lain

adalah gradasi, bidang pecah, kepipihan, kekerasan (*abrasion*) keawetan (*soundness*) dan kadar lempung. Oleh sebab itu, secara umum agregat substandar atau agregat marjinal adalah agregat yang biasanya tidak digunakan untuk keperluan tertentu karena tidak memiliki atau memenuhi sifat-sifat yang disyaratkan dalam spesifikasi. Namun demikian agregat seperti ini masih memiliki kemungkinan untuk bias sukses digunakan dengan cara mencampurnya dengan bahan pengikat sehingga membentuk lapisan agregat yang terikat kuat oleh bahan pengikat (*bound layer*) atau dengan memodifikasi desain perkerasan standar dan prosedur konstruksi. Dengan beberapa perbaikan atau desain struktural yang sesuai, agregat lokal yang tidak memenuhi spesifikasi memberikan kinerja lapangan yang cukup memadai, khususnya untuk jalan bervolume lalu lintas rendah (Collin *et al.*, 1994 dalam Yamin dkk., 2015).

Dengan beberapa perbaikan atau desain struktural yang sesuai, banyak bahan lokal yang tidak memenuhi spesifikasi tetapi menunjukkan kinerja lapangan yang cukup memadai, khususnya untuk jalan bervolume lalu lintas rendah.

E. Uji Karakteristik Marshall

Li *et al* (1999) telah melakukan pengujian campuran aspal dengan metode marshal dimaksudkan untuk mengetahui karakteristik dari

campuran aspal panas, dimaksudkan untuk mendapatkan stabilitas dan *flow* dibaca langsung dengan dial. Metode ini pertama kali diperkenalkan oleh *Bruce Marshall* dari *Misisipi State Highway Department* sekitar tahun 1940-an. Selain mendapatkannilai stabilitas dan *flow* akan didapatkan pula nilai VIM, VMA, *density* campuran aspal dan Marshall quotient. Dalam penelitian *elastic modulus* campuran aspal beton, design campuran aspal yang digunakan melibatkan metode Marshall.

Gul *et al* (2014) mengatakan bahwa karakteristik deformasi permanen dari campuran aspal dapat dipelajari dengan menggunakan benda uji silinder dipadatkan yang dapat dibuat baik dari superpave atau perangkat pemadat Marshall, terlepas dari metode campuran aspal desain dan jenis agregat. Sedangkan Xiang *et al* (2008) mengatakan untuk mengevaluasi karakteristik retak pada campuran aspal digunakan metode Marshall dalam mendesain campuran aspal.

Kinerja campuran beraspal sangat ditentukan oleh volumetrik campuran dalam keadaan padat yang terdiri dari: rongga udara dalam campuran (VIM), rongga di antara agregat (VMA), dan rongga terisi aspal (VFA). Adapun persyaratan campuran beraspal dingin dengan Asbuton butir menurut Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga tahun 2006 No : 001 – 05 /BM/2006 tentang pemanfaatan Asbuton, campuran beraspal dingin dengan Asbuton butir peremaja

emulsi. Persyaratan briket hasil pemadatan dengan 2 × 50 tumbukan sedangkan pada SNI 06-2489-1991 tentang metode pengujian campuran aspal dengan alat marshall 2 × 75 tumbukan untuk lalu lintas berat.

1. Stabilitas (*Stability*)

Kemampuan menahan beban dengan deformasi yang kecil diperlihatkan dengan nilai stabilitas yang tinggi sedangkan jika deformasi yang besar menunjukkan nilai stabilitas yang rendah. Satuan nilai stabilitas adalah kg.

2. Kelelehan (*Flow*)

Kelelehan (*Flow*) merupakan besarnya deformasi vertikal yang dinyatakan dalam satuan millimeter (mm) yang terjadi pada benda uji padat dari campuran aspal hingga mencapai titik beban maksimum pada saat pengujian stabilitas Marshall. Hal ini menunjukkan besarnya deformasi yang terjadi pada lapis perkerasan aspal akibat menahan beban yang berada di atasnya. Nilai flow ini sangat dipengaruhi oleh viscositas atau kekentalan dan persentase aspal yang digunakan, gradasi agregat, jumlah dan temperatur pemadatan.

3. Void in the mix (*VIM*)

Dikatakan oleh Hermadi dkk (2008) nilai VIM yang tinggi menunjukkan bahwa campuran aspal lebih porous sehingga aspal kurang awet dan stabilitas rendah. Nilai VIM dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya persentase agregat kasar, filler maupun persentase

bitumen dalam campuran. Bentuk fisik material juga sangat berpengaruh seperti kubikal atau pipih. Analisa rumus VIM berdasarkan Buku 5 pemanfaatan Asbuton campuran beraspal dingin dengan asbuton butir peremaja emulsi adalah :

VIM (%) = V -

$$\left\{ \left(\frac{KA \times 100}{L} \right) + \left(\frac{100 + AR + KA}{G} \right) \right\} \dots \dots \dots (1)$$

AR = Kadar residu dalam campuran (%)

G = BJ Bulk - berat benda uji (gr)

L = Berat benda uji setelah oven (gr)

KA = Kadar air (%)

4. Void in mineral agregat

Penelitian yang dilakukan oleh Tayfur *et al* (2007) dikatakan bahwa rongga diantara mineral agregat (VMA) merupakan parameter yang menentukan dalam campuran aspal, semakin kecil nilai VIM maka semakin kaku campuran campuran aspal.

Analisa rumus VMA berdasarkan Buku 5 pemanfaatan Asbuton campuran beraspal dingin dengan asbuton butir peremaja emulsi adalah :

$$VMA (\%) = \left\{ \left(\frac{100 + AR + KA}{L} - \frac{100}{LS} \right) + \left(\frac{100 + AR + KA}{G} \right) \right\} \times 100$$

.....(2)

Dimana :

A_R	= Kadar residu dalam campuran (%)
C_S	= Berat jenis semu
G	= BJ Bulk - berat benda uji (gr)
K_A	= Kadar air (%)

5. Marshall Quotient

Dikatakan oleh Ahmedzade *et al* (2008) bahwa *Marshall Quotient* (MQ) adalah sebagai karakteristik harga modulus daya tekan atau kekakuan. Nilai MQ merupakan indikator bahwa campuran aspal tahan terhadap deformasi, nilai MQ yang tinggi menunjukkan bahwa campuran aspal memiliki kekakuan yang tinggi. Nilai MQ yang tinggi menunjukkan bahwa campuran aspal bersifat kaku, berarti campuran cukup padat dengan stabilitas yang tinggi. MQ yang rendah menunjukkan campuran aspal yang lembek dan kurang cukup stabilitasnya dengan suatu resiko yang memungkinkan terjadinya retak permukaan campuran aspal dan pergerakan horizontal pada arah perjalanan (Tayfur *et al* 2007). Sehingga campuran aspal dengan *Marshall Quotient* yang tinggi lebih tahan terhadap retak akibat depormasi permanen.

Analisa rumus MQ berdasarkan Buku 5 pemanfaatan Asbuton campuran beraspal dingin dengan asbuton butir peremaja emulsi adalah :

$$MQ = \frac{S}{F} \dots\dots\dots(3)$$

Dimana :

MQ = *Marshall Quotient* (kg/mm)

S = Stabilitas (kg)

F = Nilai *flow* (mm)

F. Uji *Indirect Tensile Stiffnes Modulus* (ITSM)

Kekakuan adalah ketahanan suatu material terhadap deformasi elastis. Modulus kekakuan adalah harga kekakuan suatu material pada daerah elastis. Material yang tidak kaku (lentur) adalah material yang dapat mengalami regangan bila diberi tegangan atau beban. Seperti diketahui bahwa hampir seluruh material perkerasan tidak bersifat elastis tapi mengalami deformasi permanen setelah menerima pengulangan beban. Tetapi jika beban tersebut relatif kecil terhadap kekuatan material, dan dengan perulangan yang tinggi, maka deformasi permanen yang terjadi pada setiap pengulangan beban hampir dapat balik secara sempurna dan proporsional terhadap beban (Hartman *et al.*, 2001; Dulaimi *et al.*, 2015; Nageim *et al.*, 2012).

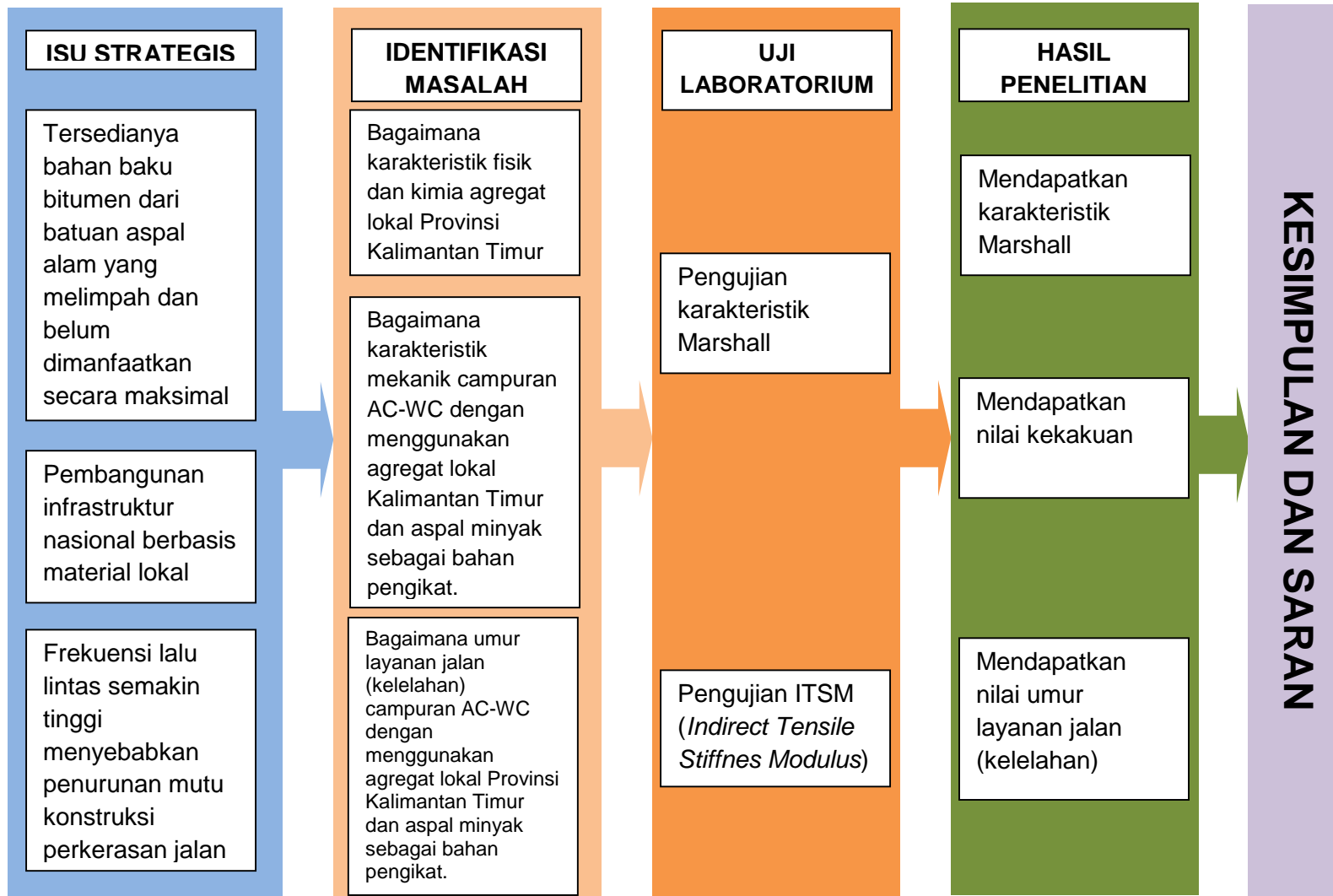
Deformasi permanen adalah peristiwa penurunan lapis struktur perkerasan secara permanen. Deformasi ini dikatakan permanen karena deformasi yang terjadi pada permukaan perkerasan tidak kembali lagi ke posisi awal (*unrecoverable*) setelah terjadi pembebanan. Deformasi permanen (dalam bentuk *rutting*) banyak terjadi pada jalur tapak roda

kendaraan. *Rutting* mempunyai dua penyebab utama, yaitu : (Dachlan & Sjahdanulirwan, 2012; Hdabi *et al.*, 2014; Dulaimi *et al.*, 2015).

1. *Rutting* yang disebabkan oleh terlalu banyaknya tekanan/pembebanan berulang yang berdampak terhadap kerusakan pada lapis bawah (dikarenakan *subgrade* jelek).
2. *Rutting* yang disebabkan oleh terlalu banyaknya tekanan/pembebanan berulang yang berdampak terhadap kerusakan pada lapis atas (struktur perkerasan).

G. Kerangka Pikir Penelitian

Dalam upaya mendorong percepatan pembangunan infrastruktur daerah saat ini, Kementerian PUPR melalui direktorat jenderal bina konstruksi telah mencanangkan pemanfaatan material-material lokal di setiap daerah. Oleh karena itu, penelitian ini mencoba melakukan eksperimental di laboratorium dengan mengkombinasikan penggunaan material lokal daerah khususnya di Provinsi Kalimantan Timur. Gambar 2 memperlihatkan kerangka pikir penelitian.



Gambar 2. Kerangka pikir penelitian