

PEMANFAATAN DAN KINERJA AGREGAT SUBSTANDAR SEBAGAI BAHAN KONSTRUKSI JALAN

H. R. Anwar Yamin



**KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM
BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN
PUSAT PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN JALAN DAN JEMBATAN**

Jl.A.H Nasution No.264 P.O BOX 2 Bandung 40294 Indonesia Telp (022) 7802251 Fax (022) 7802726 email: pusjatan@pusjatan.pu.go.id

PEMANFAATAN DAN KINERJA AGREGAT SUBSTANDAR SEBAGAI BAHAN KONSTRUKSI JALAN

Penulis:

Dr. H. R. Anwar Yamin, MSc, ME.

Cetakan Ke-1 Desember 2013

© Pemegang Hak Cipta Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan

No. ISBN : 978-602-264-064-6

Kode Kegiatan : PPK2 - 001 107 F 13

Kode Publikasi : IRE – TR - 110/IN/2013

Ketua Program Penelitian:

Dr. H. R. Anwar Yamin, MSc, ME.

Puslitbang Jalan dan Jembatan

Ketua Sub Tim Teknis:

Prof. DR. Ir. M. Sjahdanulirwan, MSc.

Layout dan Design

Yosi Samsul Maarif, S.Sn

Penerbit :

ZipBooks (Anggota IKAPI)

Jl. Margacinta no.204 Bandung

Pemesanan melalui:

Perpustakaan Puslitbang Jalan dan Jembatan

info@pusjatan.pu.go.id



PRAKATA

Naskah ini disusun dengan sumber dana APBN Kementerian Pekerjaan Umum Tahun 2013, pada DIPA Puslitbang Jalan dan Jembatan. Pandangan yang disampaikan di dalam publikasi ini merupakan pandangan penulis dan tidak selalu menggambarkan pandangan dan kebijakan Kementerian Pekerjaan Umum maupun institusi pemerintah lainnya. Penggunaan data dan informasi yang dibuat di dalam publikasi ini sepenuhnya merupakan tanggung jawab penulis.

Pembangunan dan peningkatan jalan membutuhkan agregat dalam jumlah yang sangat banyak. Ada persyaratan tertentu yang harus dipenuhi oleh agregat yang akan digunakan agar jalan yang dihasilkan memiliki kekuatan dan durabilitas yang baik. Dalam spesifikasi, umumnya persyaratan untuk agregat ditujukan untuk jalan-jalan yang melayani lalu lintas berat dan padat. Namun demikian, tidak semua tempat memiliki agregat yang memenuhi persyaratan tersebut. Agregat yang tidak memenuhi persyaratan dari spesifikasi yang digunakan diistilahkan sebagai agregat substandar atau marginal.

Ada dua hal yang dapat dilakukan pada agregat substandar dapat digunakan sebagai bahan konstruksi jalan sebagaimana agregat standar, yaitu dengan melakukan treatment (penanganan) pada agregat tersebut sebelum digunakan atau dengan menurunkan nilai spesifikasi sifat-sifat agregat yang akan digunakan.

Buku membahas beberapa metode penanganan agregat substandar berkenaan dengan sifat aslinya agar dapat digunakan sebagai bahan konstruksi jalan khususnya untuk campuran beraspal. Perawatan untuk penggunaan lainnya seperti untuk lapis pondasi juga dibahas dalam buku ini. Selain itu, dalam buku ini dibahas juga kinerja jalan yang menggunakan agregat substandar hasil pengamatan uji coba skala terbatas di Mando dan Papua.

Buku ini diharapkan dapat membuka wawasan bagi perencana, pelaksana dan pengawas bahwa agregat substandard masih dapat digunakan sebagai bahan jalan dengan kinerja yang baik asalnya melalui penanganan yang benar.



■ DAFTAR ISI

Prakata	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	ix
BAB 1. AGREGAT SUBSTANDAR	1
1.1. Agregat	2
1.2. Agregat Alam Substandar	3
1.3. Kebutuhan Teknologi Penggunaan Agregat Substanda	4
BAB 2. PENANGANAN AGREGAT SUBSTANDAR	5
2.1. Penambahan Bahan Pengikat dan Penstabil	6
2.1.1. Penggunaan Modifier	7
2.1.2. Metode Penyelimutan Agregat	11
2.2. Efisiensi Penggunaan Agregat Substandar	12
BAB III. PEMANFAATAN AGREGAT SUBSTANDAR SEBAGAI BAHAN PERKERASAN JALAN	13
3.1. Pemanfaatan Batu Karang Kristalin Fak-fak dan Sorong untuk Campuran Beraspal	14
3.2. Pemanfaatan Pasir Laut dari Kaimana untuk Latasir	23
3.3. Pemanfaatan Tanah Lateritis Merauke untuk Soil Cement	24
3.4. Pemanfaatan Agregat Substandar Sulawesi Utara untuk Campuran Beraspal	30
3.5. Pemanfaatan Domato Substandar Agregat Melonguane-Sulawesi Utara	38
BAB 4. UJI COBA PEMANFAATAN AGREGAT SUBSTANDAR SEBAGAI BAHAN PERKERASAN JALAN PADA SKALA PROYEK	39
4.1. Uji Coba Substandar Agregat Biak untuk Lapis Beraspal	41
4.2. Uji Coba Substandar Agregat Manado untuk Lapis Beraspal	47
4.3. Uji Coba Domato Substandar Agregat Talaud Sebagai Lapis Pondasi	55

BAB 5. EVALUASI KINERJA UJI GELAR PENGGUNAAN AGREGAT SUBSTANDAR	61
5.1. Evaluasi Kinerja Hasil Uji Gelar Penggunaan Agregat Substandar di Manado	62
5.2. Evaluasi Kinerja Hasil Uji Gelar Penggunaan Agregat Substandar di Papua	68
PUSTAKA	73
LAMPIRAN	79



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Ilustrasi Tiga Fungsi Utama Fatty Amine dan Turunannya	9
Gambar 3.1.	Pengaruh Surfaktan terhadap Kekerasan Aspal	18
Gambar 3.2.	Pengaruh Surfaktan terhadap Kekentalan Aspal	19
Gambar 3.3.	Pengaruh Surfaktan terhadap LoH Aspal	19
Gambar 3.4.	Pengaruh Surfaktan terhadap Titik Lembek Aspal	19
Gambar 3.5.	Contoh Tanah dari Merauke- Papua	25
Gambar 3.6.	Hubungan Kadar Semen dengan CBR Tanah Lateritis Merauke	28
Gambar 3.7.	Hubungan Kadar Semen dengan Kuat Tekan Bebas Tanah Lateritis Merauke	28
Gambar 3.8.	Penurunan IP Tanah Selmat Munting Akibat Penambahan Kapur	29
Gambar 3.9.	Kekuatan Campuran dari Agregat Asli Lokon, Pen 60 dan Anti Stripping	32
Gambar 3.10.	Kekuatan Campuran dari Coated Agregat Lokon dan Pen 60	33
Gambar 3.11.	Pengaruh Cemen Coated dan Anti Stripping pada Agregat Lokon pada Stabilitas Sisa Campuran	33
Gambar 3.12.	Pengaruh Anti Stripping dan Cement Coated pada Durabilitas Campuran dari Agregat Substandar Lokon Terhadap Siklus Uap	35
Gambar 3.13.	Kecenderungan Penurunan Stabilitas Sisa Campuran dari Agregat Asli Lokon Terhadap Siklus Uap	36
Gambar 3.14.	Hasil Pengujian ITSr	37
Gambar 3.15.	Visualisasi Umum Agregat dari Beberapa Quari di Talaud	38
Gambar 4.1.	Visualisasi Agregat dari Biak	40
Gambar 4.2.	Agregat Biak Vs Agregat Fak-Fak dan Sorong	42
Gambar 4.3.	Lokasi dan Trase Ruas Percobaan Karbobat Substandar Agregat dari Quari Sorong	43
Gambar 4.4.	Tipikal Penampang Melintang Konstruksi Ruas Jalan Percobaan Karbobat Substandar Agregat Sorong	44

Gambar 4.5.	Proses Produksi dan Pelaksanaan Penghamparan Campuran Beraspal	46
Gambar 4.6.	Pengaruh Cement Coated Pada Agregat Substandar dari Uji ITSr	50
Gambar 4.7.	Bentuk Aleimen Segmen Percobaan CCA- Agregat Kakaskasen 1- Manado	51
Gambar 4.8.	Potongan Melintang Jalan Segmen Percobaan CCA Kakaskasen 1- Manado	51
Gambar 4.9.	Proses Precoated dengan menggunakan Beton Mollen	52
Gambar 4.10.	<i>Treatment Agregat</i> Substandar Kakaskasen -1 di Base Camp	52
Gambar 4.11.	Visualisasi Agregat Kakaskasen -1 Sebelum dan Sesudah di-treatment	52
Gambar 4.12.	Pelaksanaan Uji Coba Skala Terbatas Pada Lajur Lalu Lintas Arah Rumbia	54
Gambar 4.13.	Hasil Penghamparan Uji Coba Skala Terbatas Agregat Substandar Kakaskasen -1, Sulawesi Utara	54
Gambar 4.14.	Struktur dan Dimensi Perkerasan Ruas Beo- Esang, Talaud	57
Gambar 4.15.	Tahapan Pelaksanaan	58
Gambar 4.16.	Nilai CBR Domato-Semen di Lapangan Hasil Uji DCP.	59
Gambar 5.1.	Perubahan Modulus Campuran Beraspal dari Agregat Substandar Manado Akibat Penuaan Jangka Panjang	66
Gambar 5.2.	Penurunan Nilai Penetrasi Aspal Akibat Penuaan Jangka Panjang Campuran Beraspal yang Menggunakan Treated dan <i>Untreated Agregat</i> Substandar Manad	67
Gambar 5.3.	Ilustrasi Struktur Perkerasan Segmen Jalan Percobaan Manado	68
Gambar 5.4.	Perubahan Modulus Campuran Beraspal dari Agregat Substandar Papua Akibat Perubahan Temperatur	71
Gambar 5.5.	Penurunan Nilai Penetrasi Aspal Akibat Penuaan Jangka Panjang Campuran Beraspal Agregat Substandar Papua Akibat Bahan Tambah pada Aspal	72

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1.	Komposisi Kimia Agregat dari Quari Fak-Fak dan Sorong	15
Tabel 3.2.	Pengaruh Partikel Halus pada Kelekatan Agregat Quari Batu Gantung	16
Tabel 3.3.	Pengaruh Surfaktan pada Kelekatan Aspal Pen 60	17
Tabel 3.4.	Pengaruh Surfaktan pada Sifat Aspal Pen 60	18
Tabel 3.5.	Pengaruh 0,01% Surfaktan pada Sifat Aspal Pen 60	21
Tabel 3.6.	Sifat AC-BC dari Agregat Quari Batu Gantung dengan Aditif Aspal	21
Tabel 3.7.	Kandungan Garam pada Pasir Laut Kaimana Sebelum dan Sesudah Pencucian	23
Tabel 3.8.	Sifat Latasir dari Pasir Laut Kaimana	24
Tabel 3.9.	Hasil Pengujian Tanah Merauke – Papua	25
Tabel 3.10.	Komposisi Kimia Tanah Merauke – Papua	26
Tabel 3.11.	Hasil Pengujian Daya Dukung Stabilitas Tanah dengan Semen	27
Tabel 3.12.	Pengaruh Penambahan Kapur pada Tanah Merauke	28
Tabel 3.13.	Pengaruh Penambahan Semen pada Stabilisasi Tanah-Kapur	29
Tabel 3.14.	Komparasi Sifat Campuran AC-WC Agregat Substandar dan Standar	31
Tabel 4.1.	Sifat Fisik Agregat Biak- Papua	41
Tabel 4.2.	Kuantitas Unsur Kimia Agregat Biak- Papua	42
Tabel 4.3.	Sifat Aspal Pen 60 yang Digunakan	45
Tabel 4.4.	Sifat Campuran dengan Bahan Tambah yang Berbeda	45
Tabel 4.5.	Sifat Fisik Agregat Kakaskasen -1	47
Tabel 4.6.	Kuantitas Unsur Kimia Agregat Kakaskasen -1	47
Tabel 4.7.	Sifat Aspal yang Digunakan	49
Tabel 4.8.	Sifat Campuran pada Kadar Aspal Optimum	50

Tabel 4.9.	Sifat-sifat Campuran AC-WC pada Kadar Aspal 6,2%	53
Tabel 4.10.	Sifat Domato dari Quari Batumbalango Kabupaten Talaud	55
Tabel 4.11.	Sifat Domato-Semen	56
Tabel 4.12.	Harga Konstruksi Penggunaan Domato-Semen Vs Agregat Klas A Sebagai Lapis Pondasi	60
Tabel 5.1.	Jenis dan Kuantitas Kerusakan Segmen Percobaan di Manado, Umur 1 Bulan	63
Tabel 5.2.	Sifat Campuran AC-WC Menggunakan Agregat Substandar Manado, Umur 18 Bulan	65
Tabel 5.3.	Rasio Penurunan Modulus Kekakuan Campuran Percobaan di Manado, Umur 18 Bulan	66
Tabel 5.4.	Penurunan Nilai Penetrasi Aspal Akibat Penuaan Jangka Panjang Campuran Beraspal yang Menggunakan <i>Treated</i> dan <i>Untreated Agregat</i> Substandar Manado	67
Tabel 5.5.	Ilustrasi Struktur Perkerasan Segmen Jalan Percobaan di Manado	69
Tabel 5.6.	Jenis dan Kuantitas Kerusakan Segmen Percobaan HRS-WC Menggunakan Agregat Substandar Papua, Umur 20 Bulan	69
Tabel 5.7.	Sifat Campuran HRS-WC Menggunakan Agregat Substandar Papua, Umur 20 Bulan	70
Tabel 5.8.	Sensitifitas Perubahan Modulus Kekakuan Campuran Percobaan di Papua Akibat Perubahan Temperatur	71

BAB 1

AGREGAT SUBSTANDAR



1.1. Agregat

Agregat adalah komponen padat dan keras dengan ukuran yang bervariasi yang merupakan material utama dalam konstruksi perkerasan jalan dan berfungsi sebagai penahan beban serta mengisi rongga. Setiap material dapat menjadi bahan jalan asalkan memenuhi persyaratan spesifikasi yang ada. Tidak ada batasan khusus material apa yang dapat digunakan sebagai bahan jalan. Secara khusus *Geological Society*, UK mendefinisikan bahwa agregat adalah partikel batuan yang dapat digunakan sebagai bahan perkerasan jalan dengan atau tanpa bahan pengikat (Collins et al. 1985).

Agregat digunakan pada seluruh jenis dan lapis perkerasan kecuali untuk tanah dasar. Agregat alam dapat digunakan sebagai bahan perkerasan jalan baik secara langsung atau melalui tahapan proses terlebih dahulu. Agregat merupakan bahan utama pembentuk lapis perkerasan, menurut Please et al. (1968) dalam setiap meter persegi perkerasan jalan terdapat 1,3 ton agregat dan karena agregat merupakan bagian terbesar (95%) bahan pembentuk campuran beraspal serta memberikan sumbangan terbesar pada daya dukung perkerasan maka kualitas dan sifat-sifat fisik agregat sangat mempengaruhi kinerja perkerasan (AI, 1993).

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.

Semua agregat, tanpa memperhatikan sumber, metode pemrosesan dan mineraloginya, harus cukup memberikan kekuatan geser terhadap beban yang diberikan. Karena agregat memiliki kohesi yang rendah, maka kekuatan gesernya hanya tergantung pada sifat saling kunci antar agregat (*aggregate interlocking*) itu sendiri. Sifat saling kunci ini sangat penting terutama bila agregat tersebut digunakan sebagai bahan perkerasan dengan tanpa bahan pengikat (*unbound layer*). Oleh sebab itu, agregat yang berbentuk kubikal lebih disukai dari pada agregat yang bulat. Selain harus kubikal, agregat yang akan digunakan untuk lapis perkerasan jalan harus memenuhi persyaratan tertentu.

SHRP (AI, 1996) menyebutkan ada dua sifat penting agregat yang harus diketahui. Kedua sifat itu adalah sifat yang merupakan kesepakatan (*consensus properties*) dan sifat yang berasal dari sumber agregat (*source properties*).

Dua sifat penting agregat yang harus diketahui SHRP (AI, 1996), yaitu sifat yang merupakan kesepakatan (*consensus properties*) dan sifat yang berasal

dari sumber agregat (*source properties*). *Consensus properties* agregat adalah sifat utama agregat yang harus dipenuhi untuk mendapatkan campuran beraspal berkinerja tinggi. Yang termasuk dalam sifat-sifat ini adalah angularity, kepipihan dan kadar lempung dalam agregat. *Source properties* agregat biasanya digunakan untuk mengetahui kualitas sumber-sumber agregat. Yang termasuk dalam *source properties* ini adalah kekerasan, keawetan dan kandungan material yang tidak diinginkan dalam agregat.

Seperti telah diuraikan di atas bahwa semua agregat dapat digunakan sebagai bahan jalan sejauh memenuhi spesifikasi. Agregat yang memenuhi *source* dan *consensus properties* sebagaimana yang disyaratkan dalam suatu spesifikasi digunakan diistilahkan sebagai agregat standar. Tidak semua agregat memenuhi kedua sifat tersebut di atas, terutama *source properties*-nya. Agregat seperti ini diistilahkan sebagai agregat substandar atau agregat marjinal (Yamin et al., 2012).

1.2. Agregat Alam Substandar

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, tetapi masih memiliki kemungkinan untuk bisa digunakan dengan sukses dengan cara memodifikasi desain perkerasan standar dan prosedur konstruksi (DoT, 1998).

Agregat substandar dapat memiliki satu atau lebih dari kekurangan sifat dari sifat yang diinginkan sehingga agregat ini dikategorikan sebagai agregat substandar. Sifat yang umumnya tidak terpenuhi tersebut antara lain adalah gradasi, bidang pecah, kepipihan, kekerasan (abrasi), keawetan (*soundness*) dan kadar lempung yang tinggi.

Agregat substandar dapat berasal dari agregat alam ataupun agregat buatan. Beberapa contoh agregat substandar dapat berasal dari agregat alam antara lain adalah batu gamping, batu karang, batu apung, agregat dari kelompok silika agregat (seperti batu pasir, konglomerat, breksi, shale), pasir kuarsa, pasir laut dan lain sebagainya. Sedangkan agregat substandar buatan dapat berupa agregat yang sengaja dibuat, contohnya alwa, batu bata, genting dan lain sebagainya, dan ada pula yang berasal dari sisa produksi (*waste*) contohnya slag, tailing. Dengan beberapa perbaikan atau desain struktural yang sesuai, memungkinkan agregat bahan lokal yang tidak memenuhi spesifikasi tetapi menunjukkan kinerja lapangan yang cukup memadai, khususnya untuk jalan bervolume lalu lintas rendah (Aror et al. 1986; Greening et al. 1997; Cook et al. 2003).

Untuk agregat substandar yang terjadi sebagai akibat dari proses pelapukan, Hudec (1997) menyatakan bahwa tidak ada satu pengujian (*single test*) yang dapat digunakan untuk memprediksi kinerja dari agregat tersebut. Beberapa

pengujian yang direkomendasikannya untuk mengetahui tingkat kinerja agregat tersebut antara lain adalah berat jenis dan penyerapan, analisis petrografi, abrasi (Micro Duval abrasi), impact, slaking atau siklus basah-kering, ukuran pori dan kekekalan (*soundness*). Hudec (1997) juga mengatakan bahwa uji abrasi dengan mesin Los Angeles dan uji kekekalan bentuk terhadap sulfat (*sulphate soundness*) tidak berhubungan dengan kinerja dari agregat substandar. Sebaliknya Wu et al. (1998) mengatakan bahwa uji abrasi dan kekekalan terhadap magnesium sulfat adalah pengujian yang paling cocok untuk mengetahui kinerja *weathering-agregat* (agregat substandar) untuk campuran beraspal.

1.3. Kebutuhan Teknologi Penggunaan Agregat Substandar

Panjang Jalan di Indonesia saat ini kurang lebih 310.000 km yang terdiri dari jalan Nasional, jalan Propinsi dan jalan Kabupaten. Jalan Nasional meliputi 8.5%, jalan Propinsi 12.6%, jalan Kabupaten 72.0% dan jalan Kota mencakup 6.9%. Sedangkan jalan non-status (jalan desa) meliputi sekitar 240.000 km.

Kebutuhan bahan jalan setiap tahun untuk pelaksanaan preservasi dan pembangunan jalan baru terus meningkat. Keperluan material bahan jalan tidak hanya untuk campuran beraspal tetapi untuk lapis pondasi, sedangkan ketersediaan akan sumber bahan, khususnya agregat standar dari tahun ke tahun menurun. Salah satu jalan keluarnya adalah memanfaatkan secara optimum penggunaan bahan lokal dan bahan substandar pada suatu daerah.

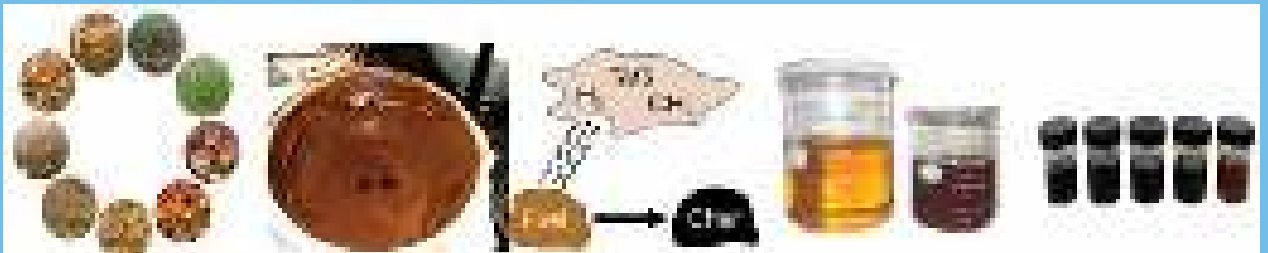
Menyadari pentingnya peran jalan dan keterbatasan pemerintah dalam membiayai penanganan jalan dan penurunan ketersediaan agregat standar, teknologi pemanfaatan bahan lokal dan substandar untuk perkerasan jalan, baik untuk campuran beraspal maupun untuk lapis pondasi jalan perlu dikembangkan.

Studi laboratorium penggunaan agregat substandar sebagai bahan perkerasan jalan baik sebagai bahan untuk campuran beraspal maupun untuk lapis telah banyak yang dilakukan oleh Yamin (2011), tetapi hanya sedikit studi yang dilakukan untuk mengetahui kinerja dan keuntungan penggunaan agregat substandar di lapangan atau dalam skala proyek.

Tanah dan agregat dapat digunakan secara langsung tanpa bahan pengikat pada lapisan bawah dari struktur perkerasan. Namun, apabila kedua bahan tersebut tidak dapat menghasilkan kekuatan yang diinginkan agar dapat digunakan sebagai lapis pondasi bawah atau sebagai lapis permukaan karena sifat dari bahan tersebut yang kurang baik (*substandard*) maka suatu bahan tambah diperlukan untuk meningkatkan ikatan antar partikel tanah atau agregat dan atau untuk memperbaiki mutu dari bahan tersebut.

BAB 2

PENANGANAN AGREGAT SUBSTANDAR



2.1. Penambahan Bahan Pengikat dan Penstabil

Apabila agregat substandar akan digunakan sebagai bahan untuk lapis pondasi, pemenuhan persyaratan spesifikasi akibat dari penggunaan agregat ini dapat dilakukan dengan menambahkan bahan pengikat atau penstabil (*stabilizer*). Bahan yang digunakan untuk tujuan ini harus dapat berfungsi sebagai pengikat atau penstabil partikel-partikel tanah atau agregat baik secara fisik atau secara kimia.

Jenis bahan pengikat yang umumnya digunakan pada perkerasan jalan antara lain adalah :

- Bahan-bahan organik non-bituminus, seperti semen dan kapur.
- Garam
- Bahan-bahan yang merupakan turunan dari minyak bumi.
- Polimer

Bila akan digunakan bahan pengikat dari turunan minyak bumi, aspal emulsi adalah bahan pengikat yang paling banyak digunakan hampir pada seluruh jenis agregat. Aspal emulsi kationik sangat baik digunakan sebagai bahan pengikat pada material berbutir tetapi tidak cocok digunakan untuk jenis bahan yang memiliki sifat kohesi (Ingles et al. 1972). Apabila agregat substandar akan digunakan sebagai bahan untuk campuran beraspal, menurut DoT (1998), penggunaan aspal modifikasi sebagai bahan pengikat akan memberikan efek positif yang penting pada peningkatan kinerja campuran beraspal yang dihasilkan. Proporsi bahan pengikat yang digunakan adalah kecil bila dibandingkan terhadap berat atau volume campuran secara keseluruhan. Walaupun begitu, jenis dan jumlah bahan pengikat yang akan digunakan adalah penting dan perlu mendapat perhatian.

Tidak semua bahan tambah cocok dengan jenis tanah atau agregat yang digunakan. Oleh karena itu, bahan pengikat yang cocok untuk digunakan harus ditentukan terlebih dahulu karena tidak semua bahan pengikat cocok untuk digunakan dengan material tertentu.

Untuk agregat substandar yang dominan dengan kandungan karbonat, durabilitas agregat substandar tersebut dapat dikontrol dengan mengontrol kandungan aluminium oksidanya (Al_2O_3). Kandungan Al_2O_3 dalam agregat dapat dilihat dengan keberadaan jumlah fraksi lempung pada agregat tersebut (Hudec, 1997).

2.1.1. Penggunaan Modifier

Cady et al. (1979) mengatakan bahwa beberapa sifat agregat yang umumnya dapat diperbaiki (*upgrading*) apabila agregat tersebut akan digunakan sebagai bahan untuk campuran beraspal. Sifat agregat yang dapat diperbaiki antara lain adalah *stripping resistance*, degradasi dan penyerapannya.

Adesi aspal terhadap agregat adalah fenomena permukaan yang berhubungan dengan *physicochemical properties* dari pada aspal dan agregat. Oleh sebab itu, adesi pada yang terjadi pada *interface* antara aspal dengan agregat ditentukan dari sifat aspal dan agregat itu sendiri (Ishai et al., 1977). Hilangnya adesi dari kedua bahan ini pada campuran beraspal akan menyebabkan ketidakstabilan yang dapat menjurus ke kegagalan campuran tersebut.

Pengelupasan aspal dari agregat pada campuran beraspal sangat ditentukan oleh viskositas dan tegangan permukaan aspal, tekstur permukaan dan porositas agregat serta polaritas dan orientasi molekul dari keduanya (Prevost, 1938). Oleh sebab itu, peningkatan adesi aspal-agregat dapat dilakukan baik dari sisi aspal ataupun dari sisi agregatnya.

A. Modifier Aspal

Dari sisi aspal, peningkatan adesi aspal-agregat dapat dilakukan dengan menurunkan viskositas dan tegangan permukaan aspal dan atau dengan mengubah polaritas dan orientasi molekul aspal. Penurunan dan tegangan permukaan aspal dapat dilakukan dengan menambahkan surfaktan pada aspal tersebut. Sedangkan bahan *anti-stripping* yang berbasis *fatty amine* digunakan untuk mengubah polaritas dan orientasi molekul aspal.

1. Surfaktan

Surfaktan adalah senyawa yang dapat menurunkan tegangan permukaan cairan, tegangan permukaan antara dua cairan, atau antara cair dengan benda padat. Surfaktan dapat berperan sebagai agen pembasahan, agen pembusaan atau anti pembusaan, agen pengemulsi atau sebagai agen pendispersi (Jean, 2002).

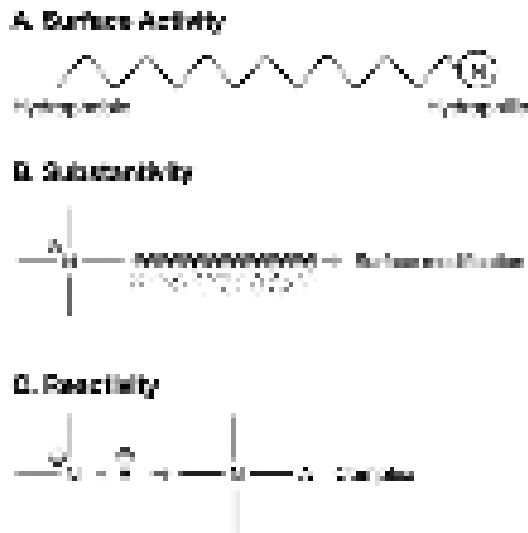
Surfaktan umumnya berupa senyawa organik yang bersifat amphiphilik (Jean, 2002). Ini berarti bahwa surfaktan mengandung kelompok hidrofobik (ekor) dan kelompok hidrofilik (kepala mereka). Oleh karena itu, molekul surfaktan mengandung bahan yang tidak larut dalam air (*water insoluble*) tetapi larut dalam minyak (*soluble*).

Molekul surfaktan akan terdifusi (menyebar) dalam air dan terserap pada *interface* antara udara dan air atau antara minyak dan air dalam campuran air-minyak. Kelompok hidrofobik (kelompok ekor) dari surfaktan yang tidak larut dalam air akan memperpanjang dirinya hingga keluar dari fase air ke arah udara atau ke arah fase minyak. Sedangkan kelompok kepala larut air sehingga tetap dalam fase air. Hal inilah yang menyebabkan kenapa surfaktan dapat memodifikasi sifat permukaan air pada interface antara air dengan udara atau air dengan minyak.

2. Fatty Amine Base

Fatty amine adalah kation aktif (*kationic*) yang dihasilkan dari *fatty acid*. *Fatty amine* adalah senyawa nitrogen turunan dari asam lemak, olefin, atau alkohol dibuat dari sumber alami, lemak dan minyak, atau bahan baku petrokimia. Struktur molekul *fatty amine* dan turunannya dicirikan dengan adanya satu atau lebih atom C_8 sampai C_{22} dari group R aliphatic alkyl dengan satu atau lebih gugus amine.

Fatty amine dan turunannya adalah senyawa pengaktif permukaan bersifat kationik yang dapat melekat erat pada suatu permukaan baik dengan ikatan kimia maupun fisika. Dengan sifatnya ini *fatty amine* dan turunannya dapat digunakan untuk banyak tujuan. Secara garis besar, fungsi *fatty amine* dan turunannya dapat dikelompokkan dalam tiga fungsi utama, yaitu : sebagai bahan pengaktif permukaan (*surface Activity*), sebagai bahan pemodifikasi permukaan (*substantivity*) dan sebagai bahan pengreaktif (*reactivity*). Perbedaan dari tiga fungsi utama ini seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Ilustrasi Tiga Fungsi Utama Fatty Amine dan Turunannya

Sifat kimia dari *fatty amine* dapat berubah dengan meubah jumlah group dan posisi amine dalam molekul fatty amine tersebut. Keseimbangan antara panjang rantai hidrokarbon dan jumlah group amine dalam fatty amine sangat mempengaruhi kekuatan adesinya (*adhesion power*). Rantai hidrokarbon yang panjang lebih baik dari pada rantai hidrokarbon yang pendek, karena rantai hidrokarbon yang panjang lebih larut dalam aspal sehingga memberikan daya lekat yang lebih baik. Menurut Porubszky et al (1969), kondisi optimum *fatty amine* sebagai bahan anti stripping bila terdiri dari 14 – 18 rantai karbon amine, dengan satu atau dua group amine dimana salah satunya merupakan group amine utama (*primary amine group*).

Penambahan fatty amine pada aspal dapat mengurangi atau bahkan mengeliminasi masalah pengelupasan aspal pada agregat. Penambahan sedikit *fatty amine* pada aspal akan meningkatkan daya pembasahan (*wetability*) aspal terhadap agregat. Hal ini disebabkan karena amino group dari fatty amine akan bereaksi dengan agregat (hydrophilik) sedangkan group hidrokarbonnya yang merupakan mineral hydrophobik akan bereaksi aspal. Dengan demikian, *fatty amine* dapat berfungsi sebagai jembatan antara permukaan hydrophilik (agregat) dengan permukaan hydrophobik (aspal) sehingga dihasilkan ikatan yang kuat antara aspal dengan agregat tersebut (Stefan, 1983). Beberapa contoh anti stripping yang berbasis fatty amino antara lain adalah tallow diamine, polyamines, amidoamines, imidazolines dan lain sebagainya.

Meskipun fatty amine sangat efektif digunakan sebagai senyawa anti-stripping pada aspal, tetapi senyawa ini tidak stabil pada temperatur tinggi. Proses reaksi fatty amine pada aspal akan sangat lambat pada temperatur di bawah 100°C. Semakin tinggi temperatur semakin cepat proses reaksinya, tetapi ada temperatur 120°C, 50% dari kemampuan fatty amine akan hilang. Pada temperatur 180°C, aspal yang sudah dicampurkan dengan fatty amine hanya dapat digunakan dalam beberapa jam ke depan saja sebelum semua kereaktifan dari fatty amine tersebut hilang seluruhnya. Untuk mengatasi hal tersebut, saat ini penggunaan fatty amine dikombinasikan dengan senyawa nitrogen organik lainnya seperti *fatty amidoamines* dan *fatty imidazolines*. Kombinasi dari senyawa-senyawa ini selain dapat meningkatkan kestabilan fatty amine dalam aspal pada temperatur tinggi juga dapat menaikkan daya adesi dan menurunkan dosis pemakaiannya (Nicholls, 1998). Tetapi menurut Castano et al. (2004), fatty amine, *fatty amidoamine* ataupun *fatty imidazolines* akan kehilangan stabilitas thermalnya dan akan terurai dengan cepat bila dicampurkan dengan aspal pada temperatur 150°C-180°C.

3. Iron Naphthene

Selain fatty amine, bahan lain yang dapat juga digunakan sebagai anti-stripping pada aspal-agregat adalah *iron naphthene*. *Iron naphthene* adalah garam besi yang berasal dari *naphthenic acid*. *Naphthenic acid* itu sendiri adalah suatu campuran carboic acid yang didapat dari pencucian alkali dari fraksi petroleum. Iron naphthene dapat berperan sebagai anti-stripping dengan cara berpindah dan masuk (*migrating*) ke interface aspal-agregat pada saat aspal masih dalam keadaan panas dan membentuk senyawa yang tahan air (McConnoughay, 1971).

B. Modifier Agregat

Perbaikan sifat agregat dapat dilakukan dengan penambahan modifier pada agregat. Cady et al. (1979) merekomendasikan beberapa metode perbaikan (*treatment*) sifat agregat yang dapat digunakan untuk tujuan tersebut, yaitu penyalutan agregat (*coated aggregate*) dengan *modifier*. Beberapa jenis *modifier* yang umumnya digunakan antara lain adalah epoksi, kapur hidrad, semen atau dengan memperkaya partikel agregat dengan bahan kimia lainnya.

Issai et al (1977) mengusulkan suatu cara untuk memodifikasi sifat agregat yaitu dengan memberikan larutan semen (*cement slurry*) atau larutan kapur (*lime slurry*) pada agregat 24 jam sebelum agregat tersebut digunakan sebagai bahan untuk campuran beraspal. Untuk tujuan yang sama, Bayomi (1992) menggunakan teknik lain, yaitu dengan mencampurkan semen dengan agregat terlebih dahulu baru kemudian menambahkan air agar terjadi proses hidrasi, dan di *curing*

minimum selama 24 jam sehingga terbentuk ikatan yang permanen antara semen dengan agregat. Menurut Bayomi (1992) penambahan semen pada agregat tidak saja dapat meningkatkan adesi tetapi juga *internal friction* dari agregat tersebut.

2.1.2. Metode Penyelimutan Agregat

Penyelimutan agregat dengan kapur ataupun semen dapat menghasilkan penyelimutan eksternal ataupun internal (Cady et al., 1979). Pada penyelimutan eksternal (*external coating*), seluruh permukaan agregat (khususnya agregat kasar) harus diselimuti oleh semen atau kapur. Selimut semen atau kapur pada permukaan agregat ini seyogyanya tidak boleh cacat (terkelupas) yang dapat menyebabkan masuk atau terserapnya air oleh agregat. Sedangkan pada penyelimutan internal (*internal coating*), semen atau kapur yang digunakan akan menyelimuti atau mengisi rongga dalam agregat, tetapi kedua bahan ini tentu saja tidak dapat mengisi seluruh rongga yang terdapat dalam agregat.

Konsep penyelimutan kapur atau semen agregat (*lime/cement-coating aggregate*) menggunakan asumsi bahwa partikel agregat harus diselimuti semen atau kapur. Kuantitas semen atau kapur yang digunakan harus dapat menyelimuti agregat dengan cukup tebal agar dapat menutupi seluruh permukaan agregat secara permanen tetapi tidak boleh begitu tebal karena selain dapat menghasilkan gumpalan-gumpalan semen juga dapat menyebabkan lengketnya (*sticky*) partikel agregat satu dengan yang lainnya. Oleh sebab itu, jumlah semen atau kapur yang digunakan harus optimum. Parameter –parameter berikut ini dapat digunakan untuk menentukan kadar semen atau kapur optimum yang digunakan untuk tujuan tersebut, yaitu :

- Semen yang digunakan harus menyelimuti seluruh permukaan agregat
- Rasio air semen (*water cement ratio, W/C*) harus ditentukan agar didapat penyelimutan yang optimum dan proses hidrasi yang maksimum.
- Waktu hidrasi yang diperlukan agar didapat ikatan yang permanen antara semen dengan permukaan agregat.

Proses penyelimutan kapur atau semen pada agregat dapat dilakukan dengan mencampur kapur atau semen dengan individual agregat kasar atau dapat juga pada kombinasi gradasi agregat. Cara pertama lebih disukai dari pada cara kedua karena dengan cara pertama pencampuran kapur atau semen dengan individual agregat relatif tidak mengubah kombinasi gradasi agregat. Selain itu, karena stripping umumnya banyak terjadi pada agregat kasar (Fromm, 1974 dan TAI, 1981), maka sifat agregat kasarlah yang

harus diperbaiki. Sedangkan dengan cara kedua, pencampuran kapur atau semen dengan kombinasi gradasi agregat dapat mengubah gradasi awal kombinasi agregat sehingga adakalanya gradasi akhir yang dihasilkan tidak lagi memenuhi rentang kombinasi gradasi yang disyaratkan. Hal ini sering kali terjadi khususnya bila kadar semen yang digunakan cukup tinggi.

Penambahan semen atau kapur untuk menyelimuti kombinasi gradasi agregat dapat tidak menempel secara permanen pada permukaan agregat tersebut bila W/C rendah. Dengan demikian penyelimutan yang dihasilkan tidak begitu baik dan akan terjadi peningkatan kadar partikel halus (*filler*) dalam kombinasi gradasi agregat tersebut. Selain itu, pada kadar kapur atau semen dan kadar air yang tinggi, partikel halus dari agregat akan tersementasi membentuk butiran yang lebih besar sehingga kombinasi gradasi agregat berubah dan dapat menyebabkan kurangnya partikel halus dalam kombinasi gradasi agregat tersebut. Menurut Bartley, et al. (2007), agregat substandar digunakan dan memberikan hasil yang baik bila ditangani (*treatment*) dengan menggunakan 3% - 5 % kapur atau semen.

Berdasarkan uraian di atas, dapat disimpulkan bahwa pada penanganan agregat substandar dengan metoda penyelimutan kapur atau semen, metoda pencampuran semen atau kapur dengan individual agregat akan memberikan hasil yang lebih baik. Pada metode ini, penggunaan semen atau kapur yang dianjurkan adalah sebanyak 3%- 5% dengan W/C optimum sebesar 0,55 dan lamanya masa curing minimum adalah 24 jam (Bayomi, 1992).

2.2. Efisiensi Penggunaan Agregat Substandar

Efisiensi penggunaan agregat substandar tergantung pada sifat dari agregat substandar itu sendiri (Bartley et al., 2007). Penggunaan agregat substandar secara langsung sebagai bahan perkerasan jalan tentu saja akan mempengaruhi kinerja perkerasan jalan yang dihasilkan. Penanganan untuk peningkatan mutu agregat substandar tentu saja memerlukan biaya. Besarnya biaya ini tergantung pada seberapa jelek agregat substandarnya, metode apa yang digunakan dan seberapa tinggi peningkatan yang dapat dihasilkan dari penanganan tersebut.

Walaupun penanganan yang dilakukan pada agregat substandar memerlukan biaya namun penggunaan agregat substandar yang notabene merupakan agregat lokal setempat ini akan efektif bila dibandingkan dengan mendatangkan agregat dari tempat lain. Analisa finansial saja tidak cukup dijadikan acuan untuk penggunaan agregat substandar, untuk tujuan ini analisa ekonomi harus dijadikan pertimbangan.

BAB 3

PEMANFAATAN AGREGAT SUBSTANDAR SEBAGAI BAHAN PERKERASAN JALAN



3.1. Pemanfaatan Batu Karang Kristalin Fak-fak dan Sorong untuk Campuran Beraspal

Agregat dari quari yang terdapat di Fak Fak dan Sorong memiliki sifat natural (*natural properties*) yang sangat baik dengan nilai abrasi antara 20 – 37% dan berat jenis bulk berkisar antara 2, 2,5 dan penyerapan kurang dari 1%. Namun demikian agregat dari quari-quari ini memiliki kelekatan terhadap aspal lebih kecil dari 95%, lebih kecil dari nilai minimum kelekatan yang disyaratkan dalam spesifikasi (> 95%).

Masalah yang umumnya terdapat pada agregat-agregat ini adalah kurangnya daya lekat agregat (< 95%) terhadap aspal. Berdasarkan hasil uji ini, bahan-bahan dari quari-quari tersebut tidak memenuhi sifat bahan yang disyaratkan dan tidak boleh digunakan karena dapat dikelompokkan sebagai agregat substandar bila akan digunakan sebagai bahan untuk campuran beraspal.

Dari sifat-sifat ini dapat disimpulkan bahwa agregat dari tiga quari yang terdapat di Fak Fak sangat baik digunakan untuk lapis pondasi Klas A tetapi tidak boleh digunakan sebagai agregat untuk campuran beraspal. Namun demikian, mengingat sifat-sifat yang tidak terpenuhi tersebut bukan *natural properties* dari agregat, maka usaha-usaha untuk memperbaiki sifat-sifat tersebut dengan melakukan rekayasa bahan di laboratorium dapat dilakukan.

Dari susunan komposisi kimia agregat seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.1, diketahui bahwa agregat dari quari Fak Fak sangat dominan mengandung kalsium diikuti oleh kandungan silika dan alumina atau magnesium. Dengan demikian secara elektrostatis, agregat-agregat ini bermuatan listrik positif. Hal ini menunjukkan bahwa agregat tersebut seharusnya dapat melekat erat dengan aspal karena aspal bermuatan listrik negatif. Tetapi kenyataannya kelekatan agregat-agregat ini terhadap aspal lebih kecil dari 95%. Ada dua hal yang diduga menjadi penyebabnya, yaitu kurang kuatnya ion positif dari agregat atau karena

absorbsinya yang terlampaui kecil sehingga aspal sulit untuk melekat.

Kelekatan agregat terhadap aspal adalah suatu sifat yang masuk dalam kategori konsensus properties (TAI, 1996), artinya dengan suatu intervensi nilai dari parameter ini dapat diubah atau ditingkatkan. Dalam hal ini, nilai kelekatan agregat mungkin dapat ditingkatkan sehingga agregat tersebut dapat digunakan untuk campuran beraspal.

Untuk tujuan tersebut, untuk memanfaatkan agregat substandar dari Fak Fak dan Sorong ini sebagai bahan untuk campuran beraspal dilakukan dengan menggunakan bahan tambah yang dapat menaikkan kandungan ion positif pada agregat, yaitu dengan menggunakan kapur, semen ataupun *mill powder*. Bila cara ini tidak berhasil, alternatif lainnya yang dapat dilakukan adalah dengan menurunkan tegangan permukaan atau meningkatkan daya lekat aspal, yaitu dengan penambahan surfaktan (*sulfactant*), aditif adhesif promotor ataupun kombinasi dari keduanya pada aspal.

Tabel 3.1. Komposisi Kimia Agregat dari Quari Fak Fak dan Sorong

Komposisi Kimia	Rata Rata	Nama Quarry				Rata Rata
		Fak Fak	Gabungan	Sorong		
SiO ₂	6.64	4.72	10.01	3.65	0.50	%
Al ₂ O ₃	1.34	0.40	0.914	2.87	0.18	%
Fe ₂ O ₃	1.18	0.15	0.51	2.55	0.10	%
CaO	42.18	47.88	27.43	40.57	53.75	%
MgO	2.74	0.85	1.37	1.19	0.59	%
Na ₂ O	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	%
K ₂ O	0.08	0.01	0.08	0.23	0.01	%
TiO ₂	0.05	0.00	0.11	0.99	0.05	%
MnO	0.01	0.01	0.00	0.02	0.00	%
P ₂ O ₅	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	%
SPH ₂	0.02	0.02	0.00	0.19	0.01	%
H ₂ O	1.20	0.36	0.68	0.24	0.14	%
HCl	42.18	47.88	27.43	40.57	53.75	%

Penambahan kapur, semen ataupun *mill powder* pada agregat untuk meningkatkan kekuatannya terhadap aspal dibatasi hanya maksimum 2% saja. Hal ini bertujuan apabila kekuatannya dapat ditingkatkan dengan penambahan bahan ini, campuran beraspal yang dihasilkan nantinya tidak begitu kaku sehingga cenderung tidak akan getas karena adanya penambahan bahan ini. Pembatasan ini juga sejalan dengan spesifikasi Bina Marga seksi 6.3 (Bina

Marga, 2010), dimana untuk campuran aspal panas penambahan *filler* aktif seperti kapur semen ataupun *fly ash* maksimum hanya 2% terhadap berat agregat.

Berdasarkan hal tersebut, pada agregat dari quari Batu Gantung Fak Fak ditambahkan kapur, semen ataupun *mill powder*. Penambahan bahan-bahan ini dilakukan dengan tiga cara, yaitu : pada kondisi agregat kering (Kondisi A), agregat dalam *Saturated Surface Dry*, SSD (Kondisi B) dan pada kondisi agregat kering tetapi kapur, semen ataupun *mill powder* yang akan ditambahkan dibuat dalam bentuk larutan dengan menggunakan air dengan proporsi 1 : 5 (Kondisi C). Hasil dari masing-masing kondisi pengujian seperti yang diberikan pada Tabel 3.2

Tabel 3.2. Pengaruh Partikel Halus Aktif pada Kelekatan Agregat Quari Batu Gantung

Kondisi Perambahan	Partikel Halus Aktif (% terhadap Berat Agregat)		
	0%	1%	2%
Kondisi A	< 80%	< 95%	< 95%
Kondisi B	-	< 95%	< 95%
Kondisi C	-	< 95%	< 95%
Semen			
Kondisi A	< 80%	< 95	< 95
Kondisi B	-	< 95	< 95
Kondisi C	-	< 95	< 95
Mill			
Kondisi A	< 80%	< 95%	< 95%
Kondisi B	-	< 95%	< 95%
Kondisi C	-	< 95%	< 95%

Catatan:
 Kondisi A - Agregat kering + Partikel halus aktif
 Kondisi B - Agregat SSD + Partikel halus aktif
 Kondisi C - Agregat kering + Larutan partikel halus aktif

Dari Tabel 3.2 ini dapat diketahui bahwa penggunaan kapur, semen ataupun *mill powder* yang dicampurkan secara kering ataupun pada agregat dari quari Batu Gantung Fak Fak dengan kondisi kering jenuh permukaan (SSD) tidak akan meningkatkan daya lekat antara agregat tersebut dengan aspal. Bila bahan tambah ini (kapur, semen ataupun *mill powder*) dilarutkan terlebih dahulu dalam air dengan perbandingan 1 : 5, lalu baru dicampur

dan diaduk secara merata dengan agregat (agregat pada kondisi kering), hanya larutan yang dibuat dengan menggunakan 1% ataupun 2% semen saja yang dapat meningkatkan daya lekat antara agregat dengan aspal. Sehingga dengan demikian agregat dari quari Batu Gantung Fak Fak dapat digunakan untuk campuran beraspal asalnya dilakukan perawatan terlebih (*pretreatment*) dengan mencampurkan agregat tersebut dengan air semen dengan perbandingan 1 semen dan 5 air.

Pretreatment untuk meningkatkan kelekatan agregat terhadap aspal dengan cara di atas mungkin saja dapat menimbulkan kesulitan dalam penerapannya di lapangan. Oleh sebab itu, untuk mencapai tujuan yang sama dicoba cara lain yaitu dengan menurunkan tegangan permukaan aspal agar aspal tersebut memiliki keenceran yang memadai sehingga pada saat bertemu dengan permukaan agregat partikel aspal dapat pecah dan menutupi permukaan agregat dengan luasan yang lebih besar. Penurunan tegangan permukaan aspal dapat dilakukan dengan penambahan bahan pengencer berupa surfaktan. Pada Tabel 3.3 dapat dilihat juga bahwa penambahan surfaktan dapat menaikkan kelekatan antara agregat dari quari Batu Gantung Fak Fak dengan aspal dari lebih kecil dari 95% menjadi lebih besar dari 95%. Peningkatan ini tidak saja terjadi pada agregat dari quari Batu Gantung Fak Fak tetapi juga terjadi pada agregat dari quari Sorong lainnya.

Tabel 3.3 Pengaruh Surfaktan pada Kelekatan Aspal Pen 60

Jenis Agregat	Konsentrasi Surfaktan dalam Aspal			
	0%	0,025%	0,1%	0,2%
		Perbandingan Kelekatan		
Batu Gantung	< 95%	> 95	> 95	> 95
Kor 14	< 95%	> 95	> 95	> 95

Walaupun surfaktan dapat meningkatkan kelekatan antara agregat dengan aspal, Surfaktan juga ternyata meubah sifat reologi aspal, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.4 dan Gambar 3.1, sampai Gambar 3.4.

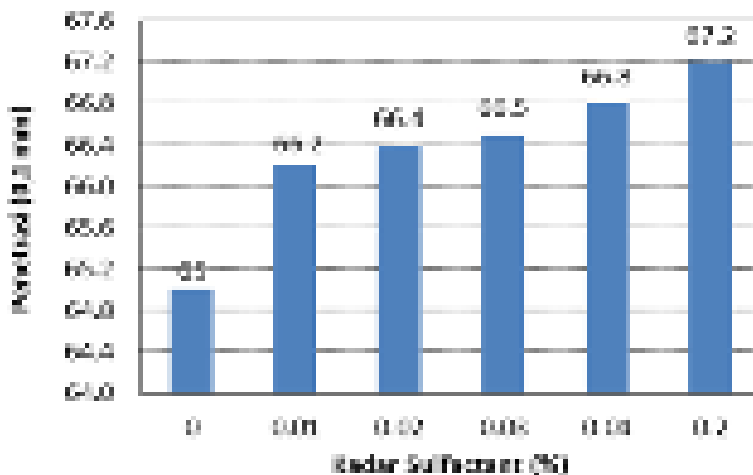
Pada Gambar 3.1 dapat dilihat bahwa penambahan surfaktan dalam aspal Pen 60 akan menurunkan tingkat kekerasan aspal, semakin banyak surfaktan yang ditambahkan semakin lembek aspalnya yang ditunjukkan dengan semakin besarnya nilai penetrasi aspal tersebut. Bila aspal Pen 60 memiliki syarat batas rentang antara 60 – 70 (Bina Marga, 2010), maka penambahan surfaktan sampai dengan 0,2% ke dalam aspal minyak Pen 60 tidak merubah klasifikasi dari aspal tersebut. Dengan semakin encernya aspal, semakin

mudah aspal tersebut pecah pada saat bertemu dengan permukaan agregat dan semakin luas pula permukaan agregat yang dapat diselimutinya. Dengan demikian akan semakin kuat dapat melekatkan antara keduanya.

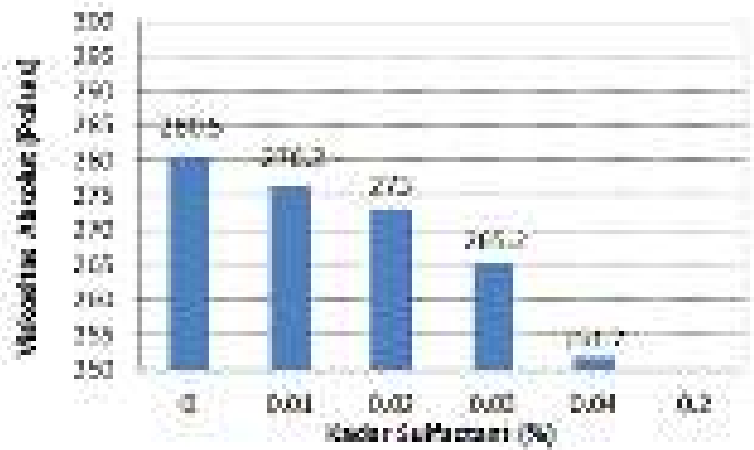
Tabel 3.4. Pengaruh Surfaktan pada Sifat Aspal Pen 60

No	Kandungan Surfaktan Dalam Aspal (%)	Penetrasi (mm)	Titik Lunas (°C)	Ketulangan Berat (%)	Viskositas (Poise)
1	0,00	86,0	49,3	0,9193	280,6
2	0,01	86,2	48,7	0,9185	285,2
3	0,02	86,4	47,9	0,9147	276,0
4	0,03	86,5	47,9	0,9185	285,2
5	0,04	86,8	47,3	0,9224	281,7
6	0,05	87,2	47,8	0,9254	

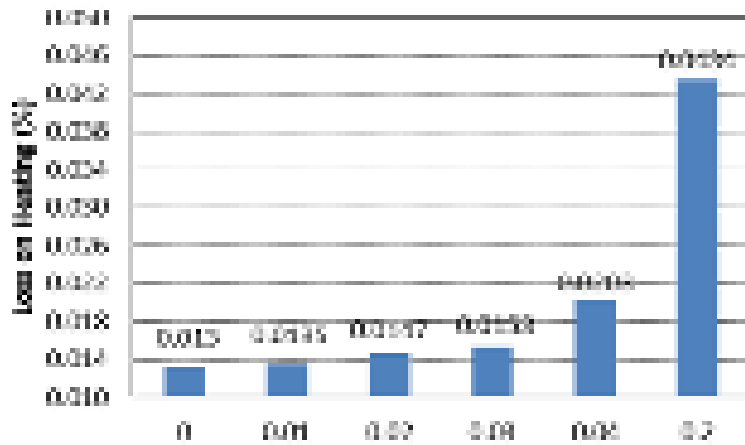
Penambahan surfaktan dalam aspal minyak dimaksudkan untuk mengencerkan aspal sehingga tegangan permukaan aspal tersebut diharapkan juga akan menurun dengan menurunnya tingkat kekentalan aspalnya. Pada Gambar 3.2 ditunjukkan pengaruh penambahan surfaktan pada viskositas aspal. Pada gambar ini dapat dilihat bahwa kekentalan aspal akan semakin menurun sejalan dengan persentase penambahan surfaktan dalam aspal tersebut.



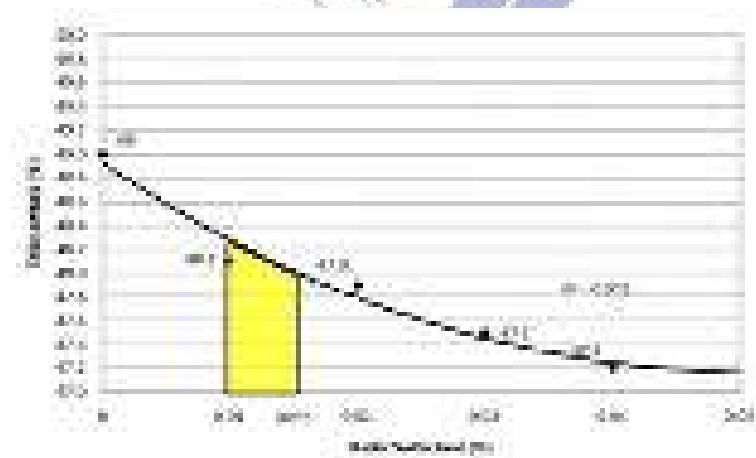
Gambar 3.1. Pengaruh Surfaktan terhadap Kekerasan Aspal



Gambar 3.2. Pengaruh Surfaktan terhadap Kekentalan Aspal



Gambar 3.3. Pengaruh Surfak tanterhadap LoH Aspal



Gambar 3.4. Pengaruh Surfaktanterhadap Titik Lembek Aspal

Penambahan surfaktan dalam aspal tentu saja akan menaikkan kandungan fraksi minyak ringan dalam aspal tersebut sehingga akan menaikkan tingkat kehilangan berat aspal (*Loss on Heating, LoH*) pada saat pemanasan. Pada Gambar 3.3 dapat dilihat bahwa menaikkan penambahan surfaktan dari 0,01% ke 0,2% akan menaikkan persentase LoH aspal dari 0,013% ke 0,043%. Bila batas LoH dalam spesifikasi adalah 0,8% (Bina Marga, 2010), maka penambahan surfaktan sampai dengan 0,2% ke dalam aspal minyak Pen 60 masih dapat diterima.

Walaupun dari segi penetrasi dan kehilangan berat penambahan 0,2% atau mungkin dengan kadar yang lebih tinggi lagi masih dapat diterima, tetapi dari segi titik lembek aspal yang dihasilkannya hal ini belum tentu dapat diterima, karena semakin tinggi penambahan surfaktan dalam aspal, akan semakin turun titik lembek aspal tersebut. Pada Gambar 2.4 dapat dilihat bahwa penambahan dari 0,01% sampai 0,04% akan menurunkan titik lembek aspal menjadi 48,2o C sampai 47,2o C. Bila batasan titik lembek aspal Pen 60 yang disyaratkan dalam spesifikasi adalah 48,o C maka penambahan surfaktansampai dengan 0,015% masih dapat diterima.

Seperti yang telah dibuktikan di atas bahwa penambahan surfaktandapat merubah sifat rheologi aspal, agar perubahan sifat aspal pen 60 yang terjadi akibat penambahan surfaktanmasih masuk rentang sifat yang disyaratkan dalam Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 dan karena penambahan surfaktan kurang dari 0,01% adalah sangat sulit dilakukan maka penambahan surfaktanyang direkomendasikan adalah antara 0,01% -0,015%.

Sifat-sifat aspal yang dihasilkan akibat dari penambahan surfaktansebesar 0,01% ini diresumekan dari tabel sebelumnya seperti yang diberikan pada Tabel 3.5. Dari tabel ini dapat dilihat bahwa, penambahan surfaktan0,01% ke dalam aspal pen 60 relatif menghasilkan aspal yang sifat-sifatnya masih memenuhi persyaratan Spesifikasi Bina Marga 2010 sebagai aspal pen 60.

Untuk penambahan surfaktan 0,01% ini, temperatur pencampuran dan pemadatan campuran yang didapat masing-masing dalam rentang 153°C – 159°C dan 141°C – 146°C. Rentang temperatur ini adalah 5°C di bawah rentang untuk aspal pen 60 original yang digunakan (157°C – 164°C dan 143°C – 150°C). Hal ini disebabkan karena akibat penambahan surfaktan, viskositas aspal turun dari 280,5 poises ke 276,2 poises.

Campuran beraspal yang dibuat dari agregat quari Batu Gantung-Fak Fak dan aspal pen 60 ditambah 0,2% aditif anti *stripping* (AS) dan 0,01% surfaktan (S) memiliki sifat yang masuk Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 kecuali nilai

stabilitas Marshall sisa (Tabel 3.6), tetapi campuran yang menggunakan pen 60 ditambah 0,01% surfaktan dapat memenuhi seluruh sifat yang disyaratkan.

Tabel 3.5. Pengaruh 0,01% Surfaktan pada Sifat Aspal Pen 60

No	Uraian	Hasil	Spesifikasi
1	Perkolasi (mm)	85,2	83-113
2	Tekstur (mm)	18,1	Min 16
3	Ketahanan terhadap air (%)	86,4	Min 80
4	Kelembutan terhadap air (%)	21,2	Min 10
5	Temperatur : - Persempuan (°C) - Pemadatan (°C)	153-155 143-145	-

Catatan: Temperatur pemadatan Aspal untuk PG 60 harus lebih rendah dari 145°C

Dari Tabel 3.6. dapat dilihat bahwa bila dari quari Batu Gantung ini digunakan untuk campuran beraspal dengan menggunakan aspal pen 60 sebagai bahan pengikatnya, maka walaupun campuran beraspal yang dihasilkan cukup kuat tetapi campuran ini tidak memiliki daya tahan yang baik terhadap air yang ditunjukkan dengan rendahnya nilai stabilitas Marshall sisanya (86,4%). Nilai ini berada di bawah nilai stabilitas Marshall sisa yang disyaratkan dalam Spesifikasi Umum Bina Marga 2010.

Tabel 3.6. Sifat AC-BC dari Agregat Quari Batu Gantung dengan Aditif Aspal

No	Uraian	Nilai				Spesifikasi Khusus Marga 2010
		Temperatur (°C)	Persempuan (°C)	Pemadatan (°C)	Kelembutan (°C)	
1	Perkolasi (mm)	85,2	85,2	85,2	85,2	83-113
2	Tekstur (mm)	18,1	18,1	18,1	18,1	Min 16
3	Ketahanan terhadap air (%)	86,4	86,4	86,4	86,4	Min 80
4	Kelembutan terhadap air (%)	21,2	21,2	21,2	21,2	Min 10
5	Temperatur : - Persempuan (°C) - Pemadatan (°C)	153-155 143-145	153-155 143-145	153-155 143-145	153-155 143-145	-

Penambahan aditif anti *stripping* yang disyaratkan dalam Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 sebanyak 0,2% relatif tidak menaikkan stabilitas campuran beraspal dan juga ternyata tidak banyak membantu menaikkan stabilitas Marshall sisa campuran beraspal yang dibuat dengan menggunakan agregat dari quari Batu Gantung ini. Ada dua hal yang diduga menjadi

penyebabnya, pertama bahwa aditif anti stripping tidak dapat meningkatkan daya lekat aspal pen 60 terhadap agregat memang memiliki daya lekat terhadap aspal pen 60 yang kurang baik. Kedua, tidak semua jenis agregat cocok (*compatible*) dengan aditif anti *stripping* yang digunakan.

Penggunaan agregat dari quari Batu Gantung dan dengan penambahan 0,01% surfaktan dalam aspal pen 60 yang digunakan sebagai bahan pengikat (binder) dapat menghasilkan campuran beraspal yang lebih baik dari bila menggunakan binder dari pen 60 saja. Hal ini ditunjukkan dengan naiknya nilai stabilitas Marshall dan Marshall Quotiennya. Selain itu, juga dapat menaikkan daya tanah campuran terhadap penuaan (nilai VFB) dan pengaruh air (nilai stabilitas sisa). Akibat penambahan 0,01% surfaktan ini nilai stabilitas sisa Marshallnya berubah dari 86,4% (< 90%) menjadi 98,2% (>90%). Dengan demikian, akibat penambahan 0,01% surfaktan, agregat dari quari Batu Gantung Fak Fak yang sedianya tidak diperbolehkan untuk digunakan sebagai bahan campuran beraspal karena memiliki daya lekat yang kurang baik terhadap aspal pen 60 dapat direkomendasikan untuk digunakan asalkan pada aspal yang digunakan diturunkan tegangan permukaannya terlebih dahulu yaitu dengan jalan menambahkan 0,01% surfaktan ke dalam aspal pen 60 tersebut.

Guna tetap mengikuti Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 atas penggunaan aditif anti *stripping* maka dalam penelitian ini juga dicoba penambahan 0,2% bahan tersebut ke dalam aspal pen 60 yang sudah terlebih dahulu ditambahkan 0,01% surfaktan. Campuran beraspal yang dibuat agregat dari quari Batu Gantung-Fak Fak yang notabene memiliki daya lekat terhadap aspal yang kurang baik dan bahan pengikat ini ternyata memiliki nilai stabilitas Marshall dan Marshall Quotiennya yang relatif sama dengan bila menggunakan aspal pen 60, tetapi memiliki nilai stabilitas Marshall sisa yang lebih rendah (71,2%). Rendahnya nilai stabilitas Marshall sisa ini diduga disebabkan karena kandungan surfaktan dalam aditif anti *stripping* menjadi lebih banyak (> 0,01%) atau mungkin juga ada ketidakcocokan antara kedua bahan ini sehingga kombinasinya memberikan efek negatif pada campuran beraspal khususnya pada daya tahannya terhadap air.

Dari hal tersebut di atas dapat disimpulkan bahwa penambahan 0,2% aditif anti *stripping* tidak banyak menaikkan stabilitas Marshall sisa campuran beraspal yang dibuat dengan menggunakan agregat dari quari batu Gantung yang memiliki daya lekat yang jelek terhadap aspal pen 60, kecuali mungkin bila aditif anti *stripping* tersebut mengandung cukup surfaktan. Dengan menggunakan agregat tersebut, penambahan 0,01% surfaktan dalam aspal

pen 60 dapat menghasilkan campuran beraspal dengan sifat yang memenuhi spesifikasi. Untuk mendapatkan hasil yang baik, aspal yang sudah ditambahkan surfaktan tidak direkomendasikan ditambahkan aditif anti *stripping* lagi.

3.2. Pemanfaatan Pasir Laut dari Kaimana untuk Latasir

Kandungan garam pasir laut Kaimana adalah sangat kecil, hanya 0,81%. Proses pencucian dengan cara merendam pasir laut Kaimana dalam air, baik tanpa ataupun dengan pengadukan, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.7, dapat menurunkan kadar garam pasir laut tersebut, tetapi persentase penurunannya tidak begitu signifikan. Begitu juga bila pada proses perendamannya diikuti dengan proses pengadukan. Walaupun dengan adanya pengadukan ini persentase penurunan kadar garam yang dihasilkan lebih tinggi dari pada bila dilakukan proses perendaman saja tetapi tetap saja persentase penurunan kadar garam dalam pasir laut Kaimana tersebut tidak terlalu signifikan. Penurunan kadar garam yang terjadi akibat proses kedua proses ini kurang dari 0,5%.

Tabel 3.7. Kandungan Garam pada Pasir Laut Kaimana Sebelum dan Setelah Pencucian

Kandungan Garam Pasir Laut Kaimana (%)											
Bila dilakukan tanpa pengadukan											
awal	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	akhir
0,81	0,80	0,80	0,80	0,79	0,79	0,77	0,74	0,69	0,68	0,68	0,57
Jika dilakukan dengan pengadukan											
0,81	0,55	0,55	0,55	0,48	0,41	0,35	0,31	0,30	0,30	0,26	0,26

Gradasi asli pasir laut Kaimana hanya mengandung 1,5% partikel yang lolos saringan nomor 200. Untuk memenuhi gradasi Latasir Klas A ataupun Klas B yang disyaratkan dalam spesifikasi Bina Marga 2010, perlu penambahan bahan pengisi (*filler*) sebanyak 10%. Latasir yang dibuat dengan penambahan *filler* jenis apa saja dapat memenuhi sifat Marshall yang disyaratkan spesifikasi, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.8, tetapi tidak satupun dari campuran ini memenuhi sifat Marshall rendamannya khususnya bila 10% *filler* yang digunakan adalah kapur. Penambahan 10% *filler* yang merupakan kombinasi dari 8% abu batu dengan 2% kapur atau 2% semen dapat menaikkan stabilitas sisa Latasir yang dihasilkan walaupun nilainya masih berada di bawah nilai stabilitas sisa yang disyaratkan.

Kecuali untuk Latasir yang dibuat dengan menggunakan 10% kapur, penambahan aditif anti *stripping* juga dapat menaikkan nilai stabilitas sisa Latasir yang dihasilkan tetapi masih di bawah nilai yang disyaratkan. Pengaruh aditif anti *stripping* yang paling besar terjadi pada Latasir dengan *filler* dari 8% abu batu dan 2% kapur. Walaupun begitu, nilai stabilitas sisa yang dihasilkannya sama dengan bila menggunakan *filler* dari 8% abu batu dengan 2% semen. Aditif anti *stripping* tidak memberikan pengaruh pada nilai stabilitas sisa Latasir yang dibuat dengan menggunakan 10% kapur.

Tabel 3.8. Sifat Latasir dari Pasir Laut Kaimana

No.	Bahan Campuran	Nilai Persebaran				Tingkat Stabilitas
		A	B	C	D	
1	Kapur/Kapur (10%)	7,8%	7,8%	7,8%	7,8%	
2	Kapur/Kapur (5%)	8,2%	8,2%	8,2%	8,2%	Min. 80%
3	Kapur/Kapur (2%)	8,7%	8,7%	8,7%	8,7%	75%
4	Mu. Abu Batu (8%) + Kapur (2%)	8,8%	8,8%	8,8%	8,8%	Min. 80%
5	KTM (5%)	10,5%	10,5%	10,5%	10,5%	Min. 70%
6	KTM (5%)	9,2%	9,2%	9,2%	9,2%	75% - 80%
7	KTM (5%)	8,7%	8,7%	8,7%	8,7%	Min. 75%
8	Kapur/Kapur (10%)	10,5%	10,5%	10,5%	10,5%	
9	Kapur/Kapur (5%)					
	+ Tanpa anti stripping	70%	Hasilnya	50%	60%	
	+ Dengan anti stripping	80%	Hasilnya	75%	75%	Min. 80%
Catatan		A = Persebaran 0-15% abu batu B = Persebaran 15-30% abu batu		C = Persebaran 30-45% abu batu + 1% kapur D = Persebaran 45-60% abu batu + 1% kapur		

3.3. Pemanfaatan Tanah Lateritis Merauke untuk *Soil Cement*

Sedangkan tanah dari Merauke (Gambar 3.4), dengan sifat-sifat seperti yang diberikan pada Tabel 3.9 dan Tabel 3.10, adalah tanah lempung berbutir halus dengan plastisitas tinggi, masuk dalam kelompok A-7-5. Tanah ini tidak dianjurkan untuk distabilisasi dengan semen karena selain menuntut penggunaan semen yang sangat banyak (>10%), campuran tanah-semen yang dihasilkan juga cenderung akan retak-retak.



Gambar 3.5. Contoh Tanah dari Merauke - Papua

Tabel 3.9. Hasil Pengujian Tanah Merauke – Papua

Jenis Pengujian		Tanah
Batu Ciri	(%)	64
Batu Plastik	(%)	38
Plastik (Lubrik)	(%)	38
Batu Ciri (Lubrik) Aggregat Halus		2,000
Penyerapan Agregat Halus		11,453
Batu Ciri (Lubrik) Aggregat Kasar		11,000
Penyerapan Agregat Kasar		11,000
Lubrik (Saringan No. 300) (%)		65,0
Permodalan:		
Batu Ciri (Lubrik) (%)		34
Kapasitas Maksimum (Lubrik)		1,34
Ca/Magnesium Ratio (Lubrik) (%)		10
Organic Content Compressive Strength (Lubrik) (%)		100

Dari analisa kimia yang dilakukan (Tabel 3.10) diketahui bahwa unsur-unsur kimia yang dominan terkandung dalam tanah Merauke adalah Silikon Dioksida (SiO_2) sebesar 52,42%, Ferro Oksida (Fe_2O_3) sebesar 26,05%, dan Aluminium Oksida (Al_2O_3) sebesar 8,18%. Dengan melihat perbandingan kandungan SiO_2 terhadap jumlah kandungan Fe_2O_3 dan Al_2O_3 yang terkandung

dalam tanah Merauke tersebut, yang besarnya 1,53; maka tanah dari Merauke ini dapat dikatakan bukan merupakan tanah laterit, tetapi hanya bersifat laterit (lateritis).

Tabel 3.10. Komposisi Kimia Tanah Merauke– Papua

Unsur Kimia	Kandungan (%)
- SiO_2	42,42
- Fe_2O_3	18,48
- Al_2O_3	8,18
- CaO	1,12
- MgO	1,12
- TiO_2	1,12
- Mn_2O	-
- K_2O	1,12
- Na_2O	1,12
- P_2O_5	1,12
- SO_3	1,12
- H_2O	2,08
- HCl	13,28

Dengan nilai LL (64)%, PI (28%), kepadatan 1,94 t/m³ dan nilai CBR rendaman sebesar 18%, maka menurut (DHV, 1984) tanah lateritis Merauke ini tidak dapat digunakan sebagai bahan untuk lapis pondasi atas atau bahkan untuk pondasi bawah sekalipun. Bahkan berdasarkan klasifikasi USC tersebut di atas, dengan nilai batas cair lebih besar dari 50% maka tanah ini akan memberikan kinerja yang jelek sekalipun digunakan sebagai tanah dasar.

Agar dapat digunakan sebagai tanah dasar atau bahkan sebagai bahan untuk lapis pondasi, maka tanah ini harus dimodifikasi sifatnya dan ditingkatkan daya dukungnya. Untuk tujuan tersebut, dalam studi ini, tanah lateritis Merauke ini distabilisasi dengan menggunakan semen. Hasil uji CBR dan kuat tekan bebas (*Unconfined Compressive Strength*, UCS) tanah lateritis Merauke yang distabilisasi dengan penambahan variasi kadar semen diberikan pada Tabel 3.11. Perkembangan nilai CBR dan UCS yang dihasilkan ditunjukkan Gambar 3.5 dan Gambar 3.6.

Pada Gambar 2.5 dan Gambar 2.6 dapat dilihat bahwa sampai dengan 14% penggunaan semen kekuatan SC yang dihasilkan masih belum memenuhi kekuatan yang disyaratkan oleh Spesifikasi Bina Marga 2010. Walaupun

penambahan kadar semen lebih lanjut mungkin akan menghasilkan SC dengan kekuatan yang diinginkan, tetapi dengan kadar semen yang tinggi ini SC yang dihasilkan cenderung akan retak.

Berdasarkan Austroads (1998), dengan melihat IP-nya (28%) dan persentase lolos saringan No. 200-nya (65,8%), maka tanah dari Merauke tidak cocok untuk distabilisasi dengan semen.

Tabel 3.11. Hasil Pengujian Daya Dukung Stabilisasi Tanah dengan Semen

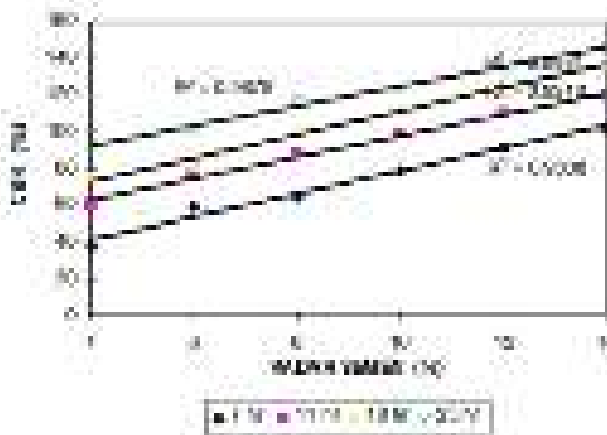
Kadar Semen (%)	Persebaran (kN/m ²)							
	T ₁		T ₂		T ₃		T ₄	
	CBR	UCS	CBR	UCS	CBR	UCS	CBR	UCS
4	47,5	13,14	48,0	13,18	49,5	13,46	50,0	13,50
6	58,5	17,4	57,0	16,44	59,0	17,44	60,0	18,77
8	68,0	18,42	67,0	18,42	68,0	18,44	69,0	18,88
10	78,5	19,77	78,7	19,78	79,0	19,88	80,0	20,13
12	88,0	21,22	88,0	21,22	89,0	21,55	90,0	21,81
14	100,0	22,74	100,0	22,74	100,0	22,74	100,0	22,74

Untuk tanah dengan plastisitas, kadar air dan kandungan partikel halus yang tinggi, OGE (2008) merekomendasikan untuk memodifikasi sifat tanah tersebut dengan stabilisasi kapur sebelum kekuatannya ditingkatkan lebih lanjut dengan melakukan stabilisasi tahap kedua dengan semen atau bahan lainnya. Berdasarkan hal ini, untuk menghindari retak dan bila tanah di daerah Merauke ini tetap dapat digunakan sebagai bahan lapis pondasi tanah semen, maka sebelum stabilisasi dengan semen dilakukan, tanah ini harus ditangani (*treatment*) terlebih dahulu untuk memodifikasi sifat-sifatnya. Penanganan ini dimaksudkan untuk menurunkan IP, kadar air dan kandungan partikel halusnya. Cara lainnya yang juga dapat dilakukan untuk tujuan sama adalah dengan mencampur tanah tersebut dengan bahan berbutir yang bersifat NP (granular, seperti agregat).

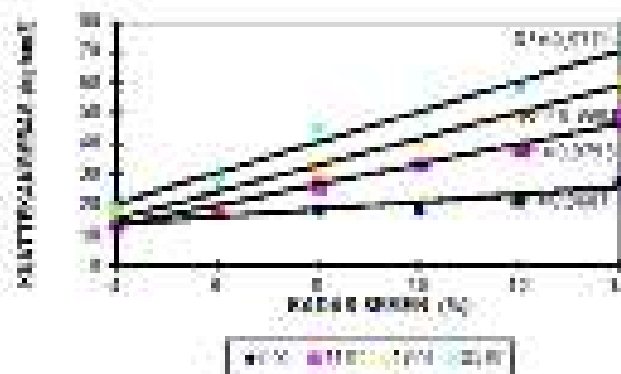
Dalam studi ini, mengingat di Merauke bahan granular adalah sesuatu yang sulit didapatkan dibandingkan dengan kapur maka sebelum proses stabilisasi semen dilakukan, tanah tersebut di-treatment terlebih dahulu dengan menggunakan kapur (*Soil Lime, SL*).

Pada Tabel 3.12 dan Gambar 3.6 dapat dilihat pengaruh penambahan Ca(OH)₂ (kapur padam) terhadap IP tanah dari Merauke. Akibat penambahan kapur, IP tanah ini akan menurun sejalan dengan kuantitas kapur yang ditambahkan. Agar dapat distabilisasi dengan semen secara efektif, IP tanah seyogyanya diturunkan terlebih dahulu sampai dibawah 10%, tetapi dari

Gambar 3.6 dapat dilihat bahwa mencapai nilai tersebut persentase kapur yang dibutuhkan akan sangat tinggi (> 25%).



Gambar 3.6. Hubungan Kadar Semen dengan CBR Tanah Lateritis Merauke



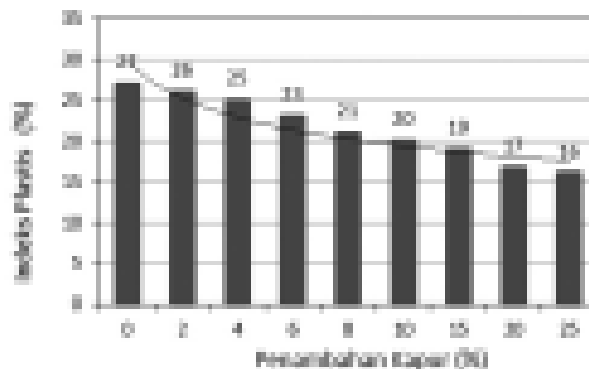
Gambar 3.7 Hubungan Kadar Semen dengan Kuat Tekan Bebas Tanah Lateritis Merauke

Tabel 3.12. Pengaruh Penambahan Kapur pada Tanah Merauke

Jenis Pengujian Menurut AASHTO	Persentase Penambahan kapur (%)									
	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18
Batas Atas	67	59	68	58	66	54	60	42	50	
Batas Bawah	32	30	36	35	36	34	34	33	33	31
Indeks Plastik	27	25	26	23	21	23	19	17	16	

Berdasarkan Austroads (1998), tanah berbutir halus (lolos saringan No. 200 > 25%) dengan IP dalam rentang 10% - 20%, walaupun masih belum cocok untuk distabilisasi dengan semen tetapi tanah dengan IP tersebut dapat dipertimbangkan untuk distabilisasi dengan semen. Untuk menurunkan IP tanah Merauke ke rentang tersebut, penurunannya dilakukan melalui stabilisasi kapur dengan kuantitas pemakaian kapur sampai dengan 15% (lihat Gambar 3.7).

Berdasarkan hal tersebut di atas, setelah IP tanah dari Merauke diturunkan dengan penambahan kapur (*Soil Lime*, SL), selanjutnya pada tanah ini baru dilakukan stabilisasi dengan semen. Pada Tabel 3.13 ditunjukkan pengaruh penambahan kapur dan semen pada tanah dari Merauke terhadap nilai kuat tekan bebasnya. Dari tabel ini dapat dilihat bahwa setelah stabilisasi dengan 8% - 10% kapur padam (stabilisasi pertama), stabilisasi selanjutnya (stabilisasi kedua) dengan penambahan 2% - 6% semen pada tanah-kapur (SL) ini sudah dapat menaikkan nilai UCS tanah yang dihasilkan (*Soil-Lime-Cement*, SLC) secara signifikan. Bila nilai UCS yang disyaratkan adalah sebesar 20 kg/cm² – 35 kg/cm², maka dengan penambahan 2% - 4% semen pada tanah yang terlebih dahulu distabilisasi dengan 8% atau 10% kapur sudah dapat memenuhi nilai yang disyaratkan tersebut. Sedangkan bila stabilisasi pertama digunakan 15% kapur, maka stabilisasi keduanya hanya membutuhkan maksimum 2% semen. stabilisasi tahap keduanya hanya membutuhkan 2% maksimum semen.



Gambar 3.8. Penurunan IP tanah Selmat Munting Akibat Penambahan Kapur

Tabel 3.13. Pengaruh Penambahan Semen pada Stabilisasi Tanah-Kapur

Pengaruh Penambahan Semen (%)								
Penambahan Kapur (%)								
0	2	4	6	8	10	12	14	16
Pengaruh Penambahan Semen (%)								
Kuat Tekan Bebas (kg/cm ²)								
18	20	22	24	26	28	30	32	34

Dalam Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 disebutkan bahwa untuk mencapai nilai UCS sebesar $20 \text{ kg/cm}^2 - 35 \text{ kg/cm}^2$, kuantitas semen yang digunakan harus dalam rentang 3% - 12% terhadap berat kering tanah. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa tanah berbutir halus dari Merauke ini dapat digunakan sebagai lapis pondasi bila dilakukan dua tahapan stabilisasi, pertama tanah tersebut distabilisasi terlebih dahulu dengan 8%-10% kapur padam sehingga menghasilkan SL, selanjutnya SL tersebut distabilisasi kembali dengan menggunakan 3% - 4% semen. Penggunaan kapur padam sebanyak 15% untuk stabilisasi pertama tanah berbutir halus dari Merauke sebaiknya dihindari karena untuk mencapai kekuatan yang disyaratkan

3.4. Pemanfaatan Agregat Substandar Sulawesi Utara untuk Campuran Beraspal

Agregat dari Sulawesi Utara khususnya dari quari Gunung Kelabat, Gunung Lokon, Tomohon, Sea Pineleng, Talaut-Pulututan dan Tateli-Kakas dapat dikategorikan sebagai agregat substandar karena memiliki daya lekat terhadap aspal kurang dari 95% dan memiliki berat jenis agregat yang kurang dari $2,5 \text{ t/m}^3$, tidak memenuhi sifat agregat sebagaimana disyaratkan dalam Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 (BM, 2010). Walaupun begitu, agregat di propinsi ini memiliki sifat natural (abrasi) yang sangat baik dengan nilai abrasi sekitar 20%, kecuali agregat dari quari Tateli-Kakas nilai abrasinya cukup tinggi yaitu sekitar 37%.

Pada Tabel 3.14 ditunjukkan sifat-sifat campuran beraspal yang dibuat dengan menggunakan agregat substandar dari quari gunung Lokon - Sulawesi Utara. Sifat campuran beraspal dalam tabel tersebut didapat dengan tanpa melakukan perbaikan sifat agregatnya. Sebagai pembanding, dalam tabel tersebut ditunjukkan juga sifat campuran beraspal yang dibuat dari agregat yang sifat-sifatnya masuk spesifikasi, yaitu agregat dari quari Tateli.

Dari tabel tersebut di atas dapat dilihat bahwa bila penggunaan agregat standar dari quari Tateli akan menghasilkan campuran beraspal dengan nilai stabilitas sisa di atas (>90%) di bawah nilai yang disyaratkan dalam Spesifikasi Umum Bina Marga (BM 2010).

Sedangkan untuk agregat quari gunung Lokon karena agregatnya dikategorikan substandar (kelekatannya tidak memenuhi syarat), maka

stabilitas sisa campuran beraspal yang dihasilkan hanya sekitar 87%,. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa walaupun campuran beraspal yang dibuat dengan menggunakan agregat substandar dari quari Lokon cukup baik dan memiliki kekuatan yang memadai, namun tanpa penggunaan aditif anti *stripping* campuran ini tidak begitu tahan akibat kombinasi beban, temperatur dan air.

Tabel 3.14. Komparasi Sifat Campuran AC-WC Agregat Substandar dan Standar

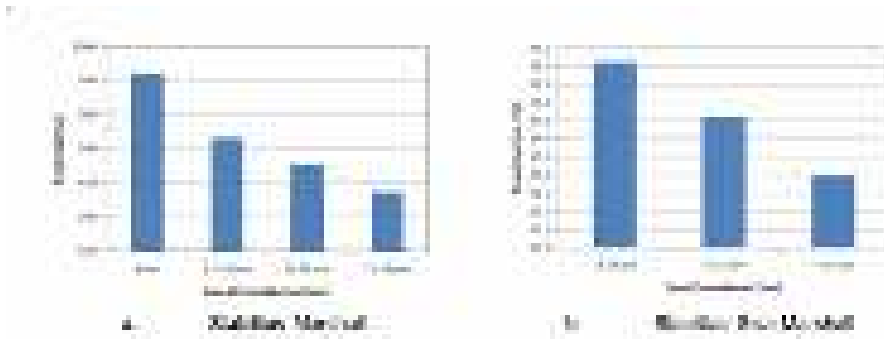
No.	Penambahan Sifat Campuran	Satuan	Nilai Pengukuran Quality Index			Spesifikasi BM 2010
			R_{10}	R_2	R_1	
1	Komposisi	%	87,3	82,9	84,6	—
2	Permeabilitas (cm/s)	%	1,1	1,2	8,054	Maks 1,2
3	WMA	%	10,4	10,2	10,8	Maks 15
4	WMA (maksimal)	%	2,04	2,03	1,1	15 – 48
5	WMA	%	10	81	10,5	Maks 25
6	Stabilitas	kg	261	264	1325	Maks 300
7	Kompaksi	mm	23	243	1,1	Maks 3
8	MA	Kal/cm	265	287	3158	Maks 200
9	Permeabilitas (mm/24 jam/60°C)	%	81,5	65	62,8	Maks 60
Referensi : R_1 = Durabilitas (durabilitas) R_2 = Kekuatan (kekuatan), temperatur			R_1 = Stabilitas			

Dengan nilai stabilitas sisa di atas 75%, maka berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga (BM 2010), durabilitas campuran beraspal terhadap air dapat ditingkatkan dengan menggunakan aditif anti *stripping*. Dengan menggunakan aditif anti *stripping* sebesar 0,3% nilai stabilitas sisa campuran beraspal yang dibuat dengan agregat substandar dari quari gunung Lokon dapat ditingkatkan dari 87% ke 96% sehingga memenuhi nilai yang disyaratkan.

Namun demikian, secara visual campuran yang dihasilkan menunjukkan adanya gejala *spontaneous emulsification* pada campuran yang dihasilkan. Hal ini mengindikasikan bahwa campuran beraspal tersebut untuk jangka panjang rentan terhadap masalah *stripping*.

Untuk mengatasi hal tersebut di atas, aditif anti *stripping* umumnya digunakan sebagai suatu solusi. Pada Gambar 3.8 ditunjukkan pengaruh penambahan aditif anti *stripping* pada kekuatan dan durabilitas campuran dibuat dengan menggunakan agregat dari Lokon-Dayana. Pada gambar ini dapat dilihat bahwa akibat perendaman pada temperatur 60°C selama 1x 24 jam campuran ini masih baik. Bahkan akibat perendaman pada temperatur

60°C selama 7 x 24 jam-pun campuran ini masih memiliki nilai stabilitas sisa Marshall di atas 90%. Dengan demikian dapat dikatakan penggunaan aditif anti *stripping* dapat mengatasi masalah durabilitas campuran dibuat dengan menggunakan agregat substandar dari quari gunung Lokon akibat pengaruh air.



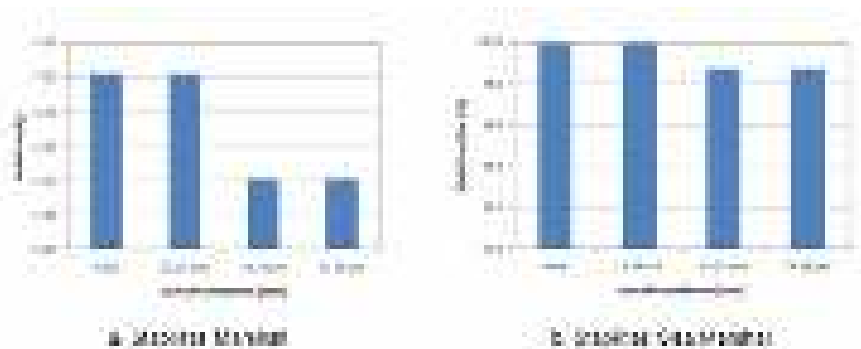
Gambar 3.9. Kekuatan Campuran dari Agregat Asli Lokon, Pen 60 dan Anti Stripping

Cara lainnya untuk meningkatkan durabilitas campuran beraspal yang dibuat dari agregat substandar dari quari gunung Lokon adalah dengan teknik penyalutan semen (*cement-coated*). Dengan teknik ini, sebelum digunakan untuk campuran beraspal agregat substandar harus diselubungi (*coated*) terlebih dahulu dengan semen sehingga menghasilkan *cement-coated-Aggregate* (CCA). Untuk menghindari penggumpalan agregat halus akibat dari penggunaan semen ini, pembuatan CCA hanya dilakukan pada agregat kasarnya saja dan banyaknya semen yang digunakan adalah 2% terhadap berat agregat kasar. Dengan kadar semen ini, seluruh permukaan agregat sudah dapat diselubungi oleh semen. Proses penyalutan semen ke agregat dilakukan sebagaimana telah dijelaskan pada Seksi 21.2.

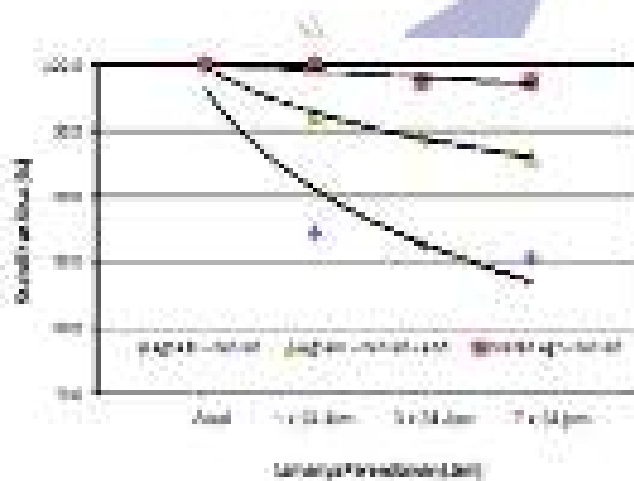
Penggunaan semen sebagai *precoated* agregat dapat meningkatkan durabilitas campuran dibuat dengan menggunakan agregat dari Lokon-Dayana akibat pengaruh air jauh lebih baik dibandingkan dengan penggunaan aditif anti *stripping*. Pada Gambar 3.9 ditunjukkan pengaruh penggunaan semen sebagai *precoated* pada agregat dari Lokon-Dayana pada kekuatan dan durabilitas campuran beraspalnya. Pada Gambar 3.8.a dapat dilihat bahwa kekuatan campuran beraspal yang dihasilkan tidak mengalami penurunan walaupun telah mengalami perendaman pada temperatur 60°C selama 1 x 24 jam. Penurunan kekuatan baru terjadi setelah campuran mengalami perendaman pada temperatur 60°C selama 3 x 24 jam dan kekuatan ini tidak mengalami penurunan lebih lanjut walaupun lamanya waktu perendaman diperpanjang menjadi 7 x 24 jam. Durabilitas campuran akibat perendaman

pada temperatur 60°C selama 7x 24 jam hanya sedikit (< 2%) mengalami penurunan.

Bila durabilitas campuran beraspal yang dibuat dari agregat substandar dari quari gunung Lokon dengan dan tanpa penambahan aditif anti stripping dan CCA dibandingkan, maka sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3.10 maka dapat disimpulkan bahwa penurunan durabilitas yang diwakili oleh nilai stabilitas sisa campuran akibat perendaman pada temperatur 60°C selama 1 (1 x 24 jam), 3 dan 7 hari untuk campuran yang menggunakan aditif anti *stripping* adalah lebih kecil dari yang dibuat tanpa menggunakan aditif anti *stripping*. Sedangkan campuran beraspal yang dibuat dengan CCA memiliki durabilitas terhadap air yang jauh lebih baik dari keduanya. Dengan demikian dapat dikatakan, penggunaan semen sebagai precoated agregat lebih superior terhadap pengaruh air dibandingkan dengan penggunaan aditif anti *stripping*.



Gambar 3.10. Kekuatan Campuran dari Coated Agregat Lokon dan Pen 60



Gambar 3.11. Pengaruh *Cement Coated* dan *Anti Stripping* pada Agregat Lokon pada Stabilitas Sisa Campuran

Pengaruh air tidak saja dalam wujud nyatanya tetapi juga dalam wujud uapnya. Dalam wujud nyata, pengaruh air pada campuran beraspal mungkin saja tidak terjadi sepanjang waktu dan dengan siklusnya tidak tetap. Sedangkan pengaruh uap air akan terjadi sepanjang waktu dengan siklus yang tetap sesuai siklus temperatur udara (siang dan malam).

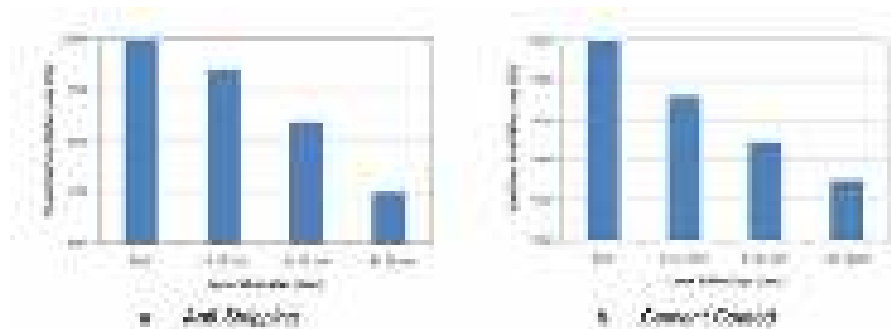
Campuran beraspal dengan kandungan rongga yang rendah (<10%) bersifat kedap terhadap masuknya air dari permukaan relatif tidak ada karena tidak adanya gaya kapiler dalam campuran tersebut. Sedangkan pengaruh uap air pada campuran beraspal yang sangat kedap sekalipun masih tetap ada yang disebabkan karena adanya perbedaan temperatur udara antara siang dan malam. Di bawah lapisan perkerasan jalan, pergerakan uap terjadi ke semua arah tetapi hanya pergerakan ke atas yang umumnya menyebabkan masalah yang lebih serius khususnya pada struktur perkerasan jalan (Oglesby et al., 1982).

Siklus uap air yang dialami oleh campuran beraspal akibat penguapan air dapat menyebabkan pelunakan pada campuran beraspal. Pelunakan campuran terjadi sebagai akibat dari berkurangnya ikatan aspal terhadap agregat. Menurut Skog et al. (1963) salah satu faktor penyebab bergelombangnya permukaan jalan adalah turunnya nilai stabilitas campuran beraspal sebagai akibat dari siklus uap air yang dialaminya.

Menurut Craus et al. (1981), metode stabilitas sisa Marshall tidak selalu memberikan informasi yang representatif mengenai durabilitas campuran untuk masa perendaman yang lebih lama (lebih dari satu hari). Hal senada juga diungkapkan oleh Siswosoebrotho (1990) dimana dalam penelitiannya mengenai pengaruh air pada campuran beraspal yang dibuat dengan menggunakan berbagai macam bahan pengisi disimpulkan bahwa makin lama waktu perendaman benda uji makin bervariasi nilai sisa stabilitas Marshallnya. Untuk mengetahui durabilitas campuran untuk masa perendaman yang lama, pengujian siklus uap seperti yang dilakukan oleh Yamin et al. (2003) dan Isran et al. (2006) dapat digunakan.

Pengujian pengaruh siklus uap dimaksudkan untuk mensimulasikan pengaruh basah kering lapis permukaan akibat siklus uap air yang berada di bawahnya. Pada uji ini, tingkat keawetan campuran beraspal di uji dengan cara intrusi uap air melalui suatu alat. Pada pengujian ini, uap air yang terjadi akibat pemanasan akan masuk ke dalam tubuh benda uji melalui permukaan bawah dan sekeliling benda uji kemudian keluar kembali lewat permukaan atas benda uji.

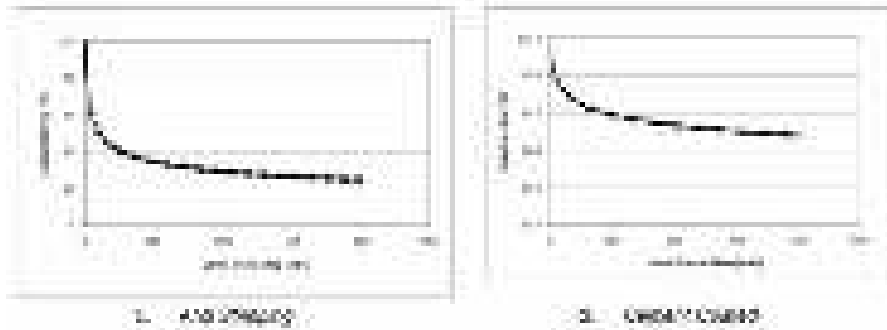
Siklus pengaruh uap air di laboratorium dilakukan melalui proses intrusi uap selama 12 jam dan dilanjutkan dengan proses kondensasi pada temperatur ruang selama 12. Siklus dilakukan berulang kali untuk mensimulasikan kejadian sebenarnya di lapangan. Pada Gambar 3.11 ditunjukkan pengaruh dari lamanya siklus pengaruh uap air terhadap durabilitas campuran beraspal yang dibuat dengan menggunakan anti stripping ataupun CCA. Dalam hal ini, durabilitas campuran yang diwakili oleh parameter nilai stabilitas sisa campuran tersebut.



Gambar 3.12. Pengaruh *Anti Stripping* dan *Cement Coated* pada Durabilitas Campuran dari Agregat Substandar Lokon terhadap Siklus Uap

Dari Gambar 3.11.a. dapat dilihat bahwa akibat satu siklus uap, penggunaan anti *stripping* masih dapat memberikan durabilitas yang baik pada campuran beraspal yang dibuat dengan agregat substandar dari quari gunung Lokon (stabilitas sisa > 90%), tetapi untuk siklus uap lebih dari satu siklus nilai stabilitas sisanya sudah lebih kecil dari 90% dan bahkan dengan tujuh siklus uap nilai stabilitas sisanya sudah lebih kecil dari 70%. Sedangkan campuran beraspal dengan *cement-coated-aggregate* (Gambar 3.11.b) masih memberikan durabilitas yang baik dengan nilai stabilitas sisa di atas 90% walaupun telah mengalami 7 siklus uap.

Bila penurunan stabilitas sisa akibat pengaruh siklus uap tersebut di atas diregresi untuk menggambarkan kecenderungan penurunannya, maka akan didapat kecenderungan penurunan stabilitas sisa seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.12. Dari gambar ini dapat dikatakan bahwa untuk durabilitas jangka panjang penggunaan semen sebagai *cement-coated-aggregate* pada agregat substandar dari quari gunung Lokon untuk campuran beraspal adalah jauh lebih baik dibandingkan dengan penggunaan aditif anti *stripping*.



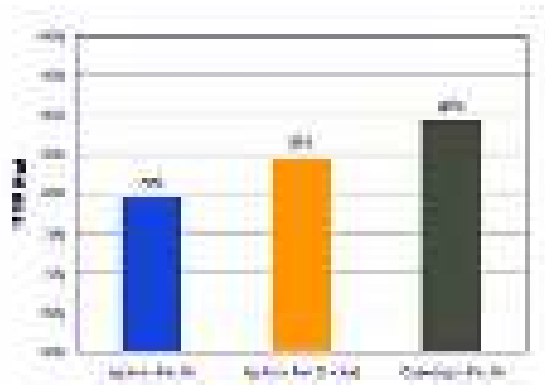
Gambar 3.13. Kecenderungan Penurunan Stabilitas Sisa Campuran dari Agregat Asli Lokon terhadap Siklus Uap

Pengelupasan aspal dari agregat pada campuran beraspal tidak saja disebabkan oleh pengaruh air statis dan siklus uap air tetapi juga oleh pengaruh air dinamis (gerakan air). Pada perkerasan jalan, air dinamis karena adanya interaksi antara roda kendaraan dengan air yang terdapat pada permukaan lapisan beraspal.

Pada saat dilalui, tekanan roda kendaraan akan memaksa air yang terdapat pada permukaan lapisan beraspal untuk masuk ke dalam rongga (pori) pada permukaan yang berada tepat di depan roda dan sesegera setelah itu air tersebut akan dipaksa keluar dari permukaan perkerasan yang berada tepat dibelakang roda oleh tarikan roda tersebut. Aksi ini menyebabkan terjadinya siklus tekan-tarik (*compression-tension action*) pada pori-pori di permukaan lapisan beraspal sehingga aspal yang mengikat agregat pada lapisan tersebut akan terkikis sedikit demi sedikit sehingga memperlemah ikatan antara aspal dengan agregat pada lapisan beraspal dan pada akhirnya akan menyebabkan kehancuran lapisan tersebut.

Simulasikan aksi tekan-tarik air akibat laju roda kendaraan dapat dilakukan melalui uji kuat tarik tak langsung sisa (*Indirect Tensile Retained Strength, ITSR*) dengan vacuum. Pada uji ini, sebelum pengujian kekuatan dilakukan, benda uji tersebut dimasukkan ke dalam labu yang berisi air sampai terendam, kemudian labu ditutup dan selanjutnya divacum selama 10 menit. Setelah proses pemvacuman selesai, benda uji untuk selanjutnya dikondisikan dalam bak penangan air pada temperature 60o C selama 2 jam, baru sesegera setelah itu diuji ITSR-nya.

Pada Gambar 3.13 ditunjukkan hasil uji ITSR campuran beraspal yang dibuat dengan menggunakan agregat substandar dari quari gunung Lokon dengan dan tanpa agregatnya dilapisi terlebih dahulu dengan semen (CCA).



Gambar 3.14. Hasil Pengujian ITSR

Dari Gambar 3.13 dapat dilihat, bahwa akibat aksi tekan-tarik air dalam benda uji campuran beraspal, kekuatan (stabilitas) masing-masing campuran tersebut akan menurun. Penurunan kekuatan paling tinggi dialami oleh campuran beraspal tanpa menggunakan aditif anti *stripping*, yaitu sebesar 21%. Akibat penurunan ini, kekuatan sisa campuran hanya mencapai 79%, nilai ini sudah dibawah nilai yang disyaratkan (80%). Untuk campuran yang menggunakan aditif anti *stripping*, dengan penurunan kekuatan yang mencapai 16% maka kekuatan sisa campuran masih baik, yaitu di atas nilai yang disyaratkan (>80%). Sedangkan campuran yang dibuat dengan menggunakan *coated-aggregate*, dengan penurunan kekuatan yang hanya mencapai 11%, sisa kekuatan yang masih adalah 89%. Nilai sisa kekuatan campuran terakhir ini adalah lebih baik dari kedua campuran sebelumnya.

Kondisi fisik semua benda uji yang telah uji ITSR masih utuh, tidak terbelah. Untuk pengamatan lebih lanjut, pembebanan terus dilanjutkan sampai benda uji terbelah. Dari hasil pengamatan visual pada bidang belah benda uji, diketahui bahwa akibat siklus tekan-tarik air terjadi pengelupasan aspal dari agregat yang terdapat pada bagian dalam benda uji. Secara visual persentase pengelupasan yang terjadi untuk benda uji campuran beraspal tanpa dan dengan menggunakan aditif anti *stripping* serta yang dibuat dengan menggunakan CCA masing-masing adalah 10%, 5% dan 2%. Hal ini berarti bahwa akibat aksi tekan-tarik air, campuran beraspal yang dibuat dengan menggunakan CCA memberikan ketahanan terhadap aksi tekan-tarik air yang lebih baik dibandingkan dengan campuran beraspal yang menggunakan aditif anti *stripping*. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa dari sudut pandang ketahanan terhadap akibat aksi tekan-tarik air, penggunaan semen sebagai *coated-aggregate* substandar dariquari gunung Lokon untuk campuran beraspal, adalah lebih baik dari pada penggunaan aditif anti *stripping*.

3.5. Pemanfaatan Domato Substandar Agregat Melongguane-Sulawesi Utara

Siegfried et. al., (2014) telah melakukan studi laboratorium penggunaan agregat substandar dari kabupaten Talaud sebagai bahan jalan. Studinya ini menggunakan agregat yang berasal dari beberapa quari, antara lain yaitu Melong, Beo dan Rainis. Bahan dari quari tersebut memiliki nilai abrasi lebih besar dari 40%, bersifat plastis dan dengan bentuk fisik sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 3.14. Masyarakat setempat mengenal agregat dengan sifat fisik seperti ini dengan sebutan Domato.



Gambar 3.15. Visualisai Umum Agregat dari Beberapa Quari di Talaud

Berdasarkan sifat tersebut di atas, Siegfried et. al., (2014) menyimpulkan bahwa bahan dari quari Melong, Beo dan Rainis tidak dapat digunakan sebagai bahan untuk campuran beraspal, Lapis Pondasi Atas (LPA), Lapis Pondasi Bawah (LPB), maupun sebagai bahan untuk bahu jalan (Klas S), karena dikategorikan sebagai agregat substandar berdasarkan Spesifikasi Bina Marga 2010 karena dalam spesifikasi ini nilai abrasi agregat baik untuk campuran beraspal apapun.

Berdasarkan sifat yang dimilikinya, domato akan memberikan daya dukung dan durabilitas yang memadai bila distabilisasi dengan semen. Dengan penambahan 3% – 7% semen, domato dapat menghasilkan nilai UCS dalam rentang antara 20 kg/cm² - 35 kg/cm². Menurut Purbi et al. (2011), dengan tanpa melihat jenis dan sifat bahan yang digunakan, bahan yang distabilisasi dengan semen yang menghasilkan kekuatan minimum 17,5 kg/cm² dapat digunakan sebagai lapisan pondasi jalan untuk lalu lintas rendah sampai sedang dan bila kekuatannya dapat mencapai 28 kg/cm² - 35 kg/cm², dapat digunakan sebagai lapisan pondasi jalan untuk lalu lintas berat. Berdasarkan pendapat ini dan dengan melihat kekuatan yang dihasilkan, dapat dikatakan bahwa domato-semen dapat digunakan sebagai lapisan pondasi jalan tidak saja untuk lalu lintas rendah sampai sedang tetapi juga untuk lalu lintas berat.

BAB 4

UJI COBA PEMANFAATAN AGREGAT SUBSTANDAR SEBAGAI BAHAN PERKERASAN JALAN PADA SKALA PROYEK



4.1. Uji Coba Substandar Agregat Biak untuk Lapis Beraspal

Sampel agregat yang diambil dari Biak-Papua berupa bongkahan, agregat kasar dan halus yang terdapat dan berpotensi akan digunakan sebagai bahan jalan di daerah tersebut. Sifat fisik dan kimia dari agregat tersebut seperti yang diberikan pada Tabel 4.1 dan penampakan visualnya seperti yang diberikan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1. Visualisasi Agregat dari Biak

Tabel 4.1. Sifat Sifik Agregat Biak-Papua

No	Sifat Agregat	Nilai
1	Aliran (70°)	150
2	Adhesi (20°)	100
	- Berat Jenis (20-24)	100
	- Berat Jenis (Berat Jenis Maksimum 2500 kg/m³)	100
	- Berat Jenis Penuh (2500 kg/m³)	100
3	Penyerapan (20-24)	100
4	Kandungan Pasir (20-24)	100
5	Kandungan Pasir (20-24)	100

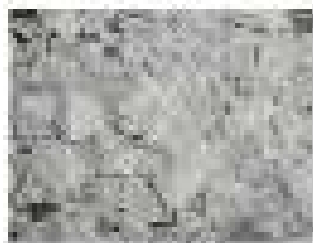
Data Tabel 4.1 dapat diketahui bahwa agregat dari Biak memiliki sifat, yaitu berat jenis dan kelekatan terhadap aspal, yang tidak memenuhi sifat agregat untuk campuran beraspal berdasarkan Spesifikasi Bina Marga Umum 2011. Oleh sebab itu, agregat ini dapat disebut sebagai agregat substandar. Kesubstandaran agregat ini berasal dari sifat konsesusnya, oleh sebab itu, agregat ini masih dimungkinkan untuk digunakan sebagai bahan jalan khususnya untuk campuran beraspal asalkan sifatnya diintervensi terlebih dahulu yaitu dengan cara meningkatkan berat jenis dan khususnya kelekatan terhadap aspal.

Dilihat dari sifat kimianya, sebagaimana yang diberikan pada Tabel 4.2, unsur kimia yang dominan dalam agregat dari Biak ini adalah Karbonat. Berdasarkan unsur ini, agregat tersebut dapat dikategorikan sebagai agregat basa (*basaltic aggregate*) berupa batu kapur kristalin dan masuk dalam kelompok karbonat agregat. Kelompok agregat ini bersifat hydropilik dan bermuatan positif.

Dilihat dari sifat-sifat dan visualisasi agregat Biak tersebut di atas, sifat agregat dari Biak ini mirip atau dapat dikatakan sama dengan sifat batu kapur kristalin dari Fak-Fak dan Sorong (lihat Tabel 4.3 dan Gambar 4.2). Oleh sebab itu, agar dapat digunakan sebagai bahan untuk campuran beraspal, penanganan agregat ini dapat dilakukan dengan cara yang sama seperti halnya penanganan yang dilakukan pada batu kapur kristalin dari Fak-Fak dan Sorong, yaitu dengan penambahan surfaktan penurun tegangan pada aspal yang digunakan untuk campuran beraspal (lihat Yamin, 2012).

Tabel 4.2. Kuantitas Unsur Kimia Agregat Biak-Papua

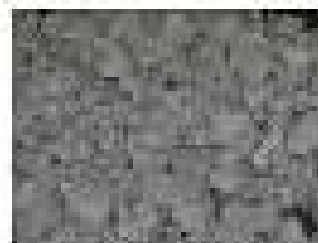
Parameter Kimia	Nilai (%)
SiO ₂	0,1322
Al ₂ O ₃	0,0008
Fe ₂ O ₃	0,0007
CaO	47,10
MgO	0,0011
K ₂ O	0,0000
TiO ₂	0,0008
Na ₂ O	3,123
P ₂ O ₅	—
MnO ₂	—
F ₂ O ₃	0,0008
SO ₃	—
H ₂ O	—
Loss	10,755



a. Agregat Biak



b. Agregat Fak-Fak



c. Agregat Sorong

Gambar 4.2. Agregat Biak Vs Agregat Fak-Fak dan Sorong

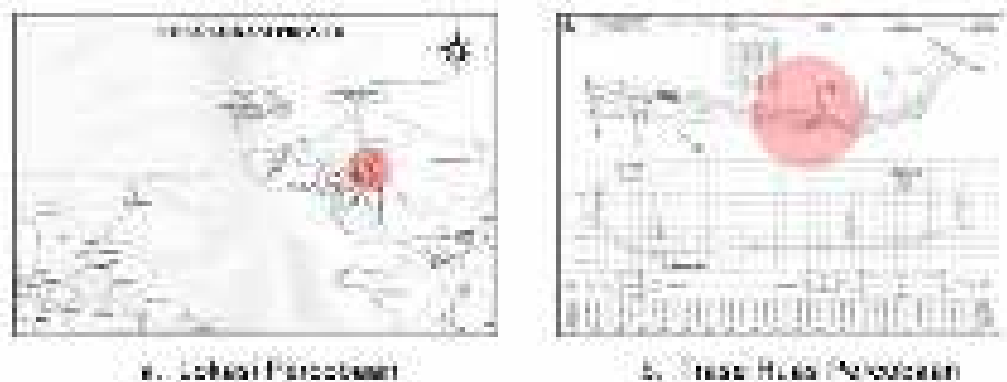
Dari hasil penelitian sebelumnya diketahui bahwa penanganan agregat dari quari Sorong yang berupa batu karang massif ini tidak dapat dilakukan dengan intervensi pada agregatnya baik yang dilakukan dengan precoated kapur ataupun millpowder tetapi sifatnya hanya dapat diubah dengan *precoated* semen.

Karbonat agregat dari quari ini dapat juga digunakan apa adanya (*as it is*) untuk campuran beraspal tetapi dengan aspal yang memiliki tegangan permukaan yang rendah. Salah satu cara untuk menurunkan tegangan permukaan aspal adalah dengan penggunaan surfaktan. Dari

studi sebelumnya diketahui bahwa penambahan surfaktan sampai dengan 0,2% dapat menurunkan tegangan permukaan aspal tetapi dengan tidak menyebabkan perubahan secara signifikan pada sifat rheologi aspal tersebut sehingga sifat aspalnya masih memenuhi sifat aspal sebagaimana disyaratkan dalam Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi-2.

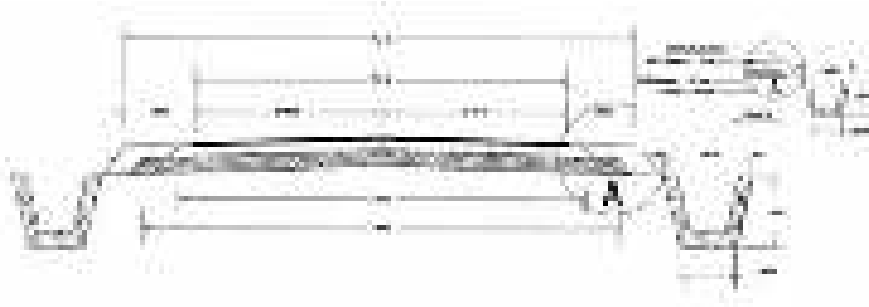
Seperti dikatakan sebelumnya, bahwa karbonat agregat dari quari yang terdapat di Sorong adalah berupa batu karang massif yang memiliki sifat natural (natural properties) yang sangat baik dengan nilai abrasi antara 20% – 37% dengan penyerapan kurang dari 1% tetapi memiliki kelekatan terhadap aspal lebih kecil dari 95%, lebih kecil dari nilai minimum kelekatan yang disyaratkan dalam spesifikasi (> 95%) sehingga agregat dapat dikelompokkan sebagai agregat substandar bila akan digunakan sebagai bahan untuk campuran beraspal.

Uji coba skala kecil campuran beraspal yang menggunakan agregat substandar berupa karbonat agregat dari quari Sorong dilakukan di kabupaten Maybrat provinsi Papua Barat, yaitu pada ruas jalan Ayamaru/Ayawasi – Kebar, yaitu pada STA 11+095 sampai STA 11+000 (STA 0+000 berada pada KM 229 dari Sorong) sepanjang 95 meter arah Ayamaru. Letak dan trase ruas percobaan ini sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.3. Pada uji coba ini, *pretreatment* untuk meningkatkan kelekatan agregat terhadap aspal dengan cara *precoated* semen tidak dapat dilakukan di lapangan karena keterbatasan alat. Oleh sebab itu, penanganan dilakukan dengan cara menurunkan tegangan permukaan aspal dengan menggunakan surfaktan.



Gambar 4.3. Lokasi dan Trase Ruas Percobaan Karbobat Substandar Agregat dari Quari Sorong

Jenis campuran beraspal yang digunakan HRS-WC. Campuran ini dihampar di atas lapis pondasi tanah-semen (*soil cement*). Tebal padat lapisan beraspal direncanakan sebesar 3,5 cm. Pada Gambar 4.4 ditunjukkan potongan penampang melintang konstruksi ruas jalan dimana percobaan ini dilakukan.



Gambar 4.4. Tipikal Penampang Melintang Konstruksi Ruas Jalan Percobaan Karbobat Substandar Agregat Sorong

Aspal yang digunakan untuk percobaan ini adalah aspal Pen 60 dengan sifat-sifat seperti yang diberikan pada Tabel 4.3. Sedangkan bahan aditif yang digunakan sebagai modifier aspal adalah surfaktan dengan dosis pemakaian sebesar 0,1% dan 0,15% dan anti-stripping dengan dosis pemakaian sebesar 0,2%. Kadar aspal optimum campuran beraspal yang digunakan adalah sebesar 6%. Sifat campuran beraspal untuk masing-masing campuran tersebut pada kadar aspal optimumnya adalah sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4.4.

Pada ruas uji coba ini, campuran beraspal yang mengandung 0.10% dan 0,15% surfaktan masing-masing dihampar dan dipadatkan pada STA 11+095 - STA 11+077 dan STA 11+077 - STA 11+056 dan arah Ayamaru. Sedangkan campuran beraspal yang mengandung 0.20% aditif anti-*stripping* dihampar dan dipadatkan pada STA 11+095 – STA 11+000. Pada uji coba skala terbatas ini, agregat lokal substabdar yang digunakan, pengujian laboratorium, proses pemasukan aditif, pemadatan dan hasil akhir lapis permukaan yang sudah dihampar sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.5

Tabel 4.3. Sifat Aspal Pen 60 yang Digunakan

No.	Jenis Pengujian	Hasil Pengujian		
		Spesifikasi	Standar	Nilai
1.	Penetration pada 25°C (100 g, 5 detik)	≤ 70	≤ 70	68
2.	Viskositas pada 130°C	+	≥ 100	108
3.	Titik nyala	≥ 250	≥ 250	250
4.	Distillasi residu (25°C, 5 cm kolom)	≥ 140	≥ 150	148
5.	Titik nyala (100 g)	≥ 250	≥ 250	250
6.	Polas (aspal + 2,5% D.O)	≤ 0,02	≤ 0,02	0,01
7.	Flow (jamak)	1.300	≥ 1.200	1.300
8.	Ketahanan terhadap TRST	≥ 300	≥ 300	300
9.	Penetration residu TRST	≤ 2,5	≤ 2,5	2,5
10.	Titik nyala residu TRST	≥ 250	≥ 250	250
11.	Distillasi residu TRST	≥ 140	≥ 150	148

*) Spesifikasi Umum Pekerjaan Perbaikan dan Pemeliharaan APDN TA 2010 (Pasal 42)

Tabel 4.4. Sifat Campuran dengan Bahan Tambah yang Berbeda:

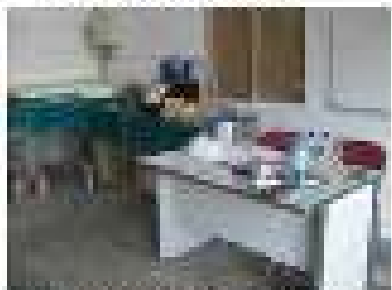
No.	Bahan Tambahan	Jenis Campuran (HRSS Base)		
		Jenis Aspalting		
		0,2%	0,4%	0,6%
1.	Spesifikasi (mm)	2,155	2,180	2,180
2.	Nilai perantara maksimum (%)	2,405	2,488	2,488
3.	Nilai perantara maksimum (%)	17,05	15,34	15,34
4.	Nilai perantara maksimum (%)	8,15	7,89	7,79
5.	Nilai perantara maksimum (%)	78,14	74,88	74,14
6.	Modulus (kg)	787,1	747,1	747,8
7.	Ketahanan (jam)	8,15	4,79	4,87
8.	Modulus (kg)	787,1	747,1	747,8
9.	Modulus (kg)	84,5	87,8	88,7



a. Sumber Agregat



b. Pilewa Pengaliran



c. Pembuatan Extruder Lem



d. Pembuatan Arsitek AWP



e. Pengapakan Campuran



f. Pemasangan



g. Visual Permukaan Lapangan



h. (Has) Cure (H)

Gambar 4.5. Proses Produksi dan Pelaksanaan Penghamparan Campuran Berasapal

4.2. Uji Coba Substandar Agregat Manado untuk Lapis Beraspal

Untuk tujuan uji coba skala terbatas yang dilakukan dalam studi ini, agregat dari Manado yang digunakan adalah agregat dari quari Kakaskasen1. Hal ini disebabkan karena agregat dari tersebut akan digunakan pada proyek pembangunan dan Peningkatan Jalan Sulawesi Utara pada Tahun Anggaran 2013 ini.

Bahan yang digunakan pada uji coba ini memiliki sifat sebagaimana diberikan pada Tabel 4.5 sampai Tabel 4.7. Campuran beraspal yang digunakan adalah AC-WC berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2011. Campuran dibuat berdasarkan gradasi penampung dingin. Hal ini dilakukan karena metode penyalutan agregat (*coated aggregate*) tidak dapat dilakukan pada agregat di tampungan panas.

Tabel 4.5. Sifat Sifik Agregat Kakaskasen-1

No	Sifat Agregat	Nilai
1	Aspal	70%
2	Residu kasar	
	- Berat Jarak (Du%)	± 0% (1 m ³)
	- Berat Jarak Kurang (Partikel > 0,075 mm)	1,40% (1 m ³)
	- Berat Jarak Sempit (Partikel < 0,075 mm)	2,40% (1 m ³)
3	Penampung (Penampung)	1,10% (1 m ³)
4	Sand Equivalen	70%
5	Kedalaman	30%

Precoated agregat dilakukan pada fraksi agregat kasar dari penampung dingin. Banyaknya semen yang digunakan adalah sebanyak 2% terhadap berat agregat. Sebelum dicampuran semen, agregat diaduk kering lalu ditambahkan air sebagian-sebagian dengan jumlah berat air adalah sebanyak besarnya nilai penyerapan agregat ditambah 0,55 terhadap berat semen yang digunakan. Sifat volumetrik dan Marshall yang didapat dari studi ini adalah seperti yang diberikan pada Tabel 4.8. Pada tabel ini juga diberikan juga sifat campuran yang menggunakan agregat asli tanpa di-*precoated*.

Untuk pengamatan lebih lanjut pada benda uji yang telah di uji dengan ITSR, pembebanan dilanjutkan sampai benda uji terbelah. Dari hasil

pengamatan visual bidang belah benda uji, diketahui bahwa akibat siklus tekan-tarik air terdapat pengelupasan aspal dari agregat yang terdapat pada bagian dalam benda uji. Secara visual seperti yang terlihat pada Gambar 4.6. Secara visual, persentase pengelupasan yang terjadi untuk benda uji campuran beraspal dengan agregat substandar (Gambar 4.6.a) dan campuran yang dibuat dengan menggunakan CCA 2% masing-masing adalah 8% dan 1%. Hal ini menunjukkan bahwa kemampuan ketahanan terhadap *stripping* pada campuran dapat ditingkatkan dengan penyelimutan agregat dengan semen.

Tabel 4.6. Kuantitas Unsur Kimia Agregat Kakaskasen-1

Unsur Kimia	Nilai (%)
SiO ₂	68,78
Al ₂ O ₃	14,94
Fe ₂ O ₃	4,03
CaO	3,17
MgO	0,413
SO ₃	0,000
TiO ₂	0,402
Na ₂ O	0,02
K ₂ O	2,43
MnO	0,009
P ₂ O ₅	0,113
SPC ₂	-
ZrO	0,004
LOI	-

Uji coba skala kecil campuran beraspal yang menggunakan agregat substandar yang telah diintervensi sifatnya dengan menggunakan semen sebagai precoated agregat (*Cement Coated Aggregate*) dilakukan sepanjang lebih kurang 100 meter pada ruas jalan Kema Rumbia, Kabupaten Minahasa. Propinsi Sulawesi Utara. Panjang ruas segmen percobaan adalah 118,5 m yang terletak pada STA 1+108,8 sampai STA 1+227,5 dengan STA 0+000 terletak di km 183+500 dari Manado. Tipikal bentuk alaiemen dan potongan melintang penampang jalan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.7 dan Gambar 4.8.

Tabel 4.7 Sifat Aspal yang Digunakan

No.	Aspal yang digunakan	Spesifikasi	Hasil Uji
1	Pemeriksaan 25°C (kebasah)	83-10	85
2	Viskositas 135°C (cSt)	<300	426.9
3	Titik Lampaui 10	<40	42.7
4	Indeks Penetrasi	>10	10.7
5	Ductility pada 25°C (cm)	>100	>100
6	Titik Nyala (°C)	>232	324
7	Kandungan air Terkandung dalam (%)	<0.09	0.09
8	Solubilitas	<1.0	1.04
Pemeriksaan Mutu Aspal RT/PC (340-40-2440) 135°C dan RT/PC (340-40-2440) 200°C			
9	Baras yang Hilang (%)	<0.8	0.02
10	Pemeriksaan pada 25°C (%)	<84	85
11	Indeks Penetrasi	>10	10.7
12	Ductility pada 25°C (cm)	>100	>100

Agregat yang digunakan pada percobaan ini berasal dari quari Kakaskasen-1 yang ditreatmen (*precoated*) dengan menggunakan semen dan aspal emulsi bermuatan positif (CSS). Banyaknya semen dan aspal emulsi yang digunakan adalah 2% terhadap berat agregat. Seyogyanya, precoated semen ataupun aspal emulsi dilakukan pada agregat kasarnya saja, namun dengan pertimbangan proses pelaksanaan di lapangan, precoated dilakukan pada fraksi agregat kasar, yaitu agregat yang di *coldbin* 1. Proses precoated agregat baik dengan semen ataupun dengan aspal emulsi dilakukan di luar *coldbin* dengan menggunakan beton mollen (Gambar 4.9). Agregat yang sudah dicoated selanjutnya di *curing* selama 24 jam (Gambar 4.10). Visualisasi agregat Kakaskasen-1 sebelum dan sesudah di treatment seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.11. Baru setelah itu agregat tersebut dimasukkan ke dalam *cold bin* dan siap untuk digunakan.

Tabel 4.8. Sifat Campuran pada Kadar Aspal Optimum

Parameter	Campuran dengan Substandar		Satuan
	Untreated Aggregate	Cement Treated Aggregate	
MC	8,35	8,34	%
Porositas	20,81	21,04	1/100
VTB	62,85	70,27	%
VTB Marshall	5,18	4,37	%
VTB F-01	2,1	1,81	%
Flow	11,4	15,68	%
Stabilitas	471	408	kg
Perubahan	1,88	2,28	mm
Pertambahan Berat	591	254	kg/m ³
Stabilitas per	37	50	%
Aspal F-01	1,38	1,27	%
ISIR	75	60	%

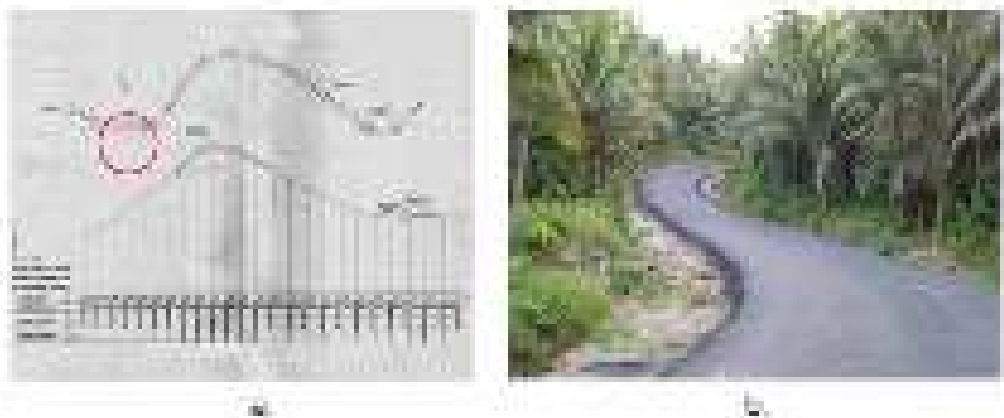


a. Campuran dengan Substandar



b. Campuran dengan CCA

Gambar 4.6. Pengaruh Cement Coated Pada Agregat Substandar Dari Uji ITSr



Gambar 4.7. Bentuk Aleimen Segmen Percobaan CCA-Agregat Kakaskasen 1-Manado



Gambar 4.8. Potongan Melintang Jalan Segmen Percobaan CCA Kakaskasen 1-Manado

Dalam percobaan ini, jenis campuran beraspal yang digunakan adalah AC-WC. Kadar aspal optimum campuran mengacu pada kadar optimum campuran beraspal yang dibuat dari agregat Kakaskasen-1 yang tidak ditreatment, yaitu sebesar 6,2%. Sifat-sifat campuran pada kadar aspal tersebut yang diambil dari hasil produksi AMP adalah seperti yang diberikan pada Tabel 4.9.



Gambar 4.9. Proses Precoated dengan Menggunakan Beton Mollen



a. Precoated Gravel

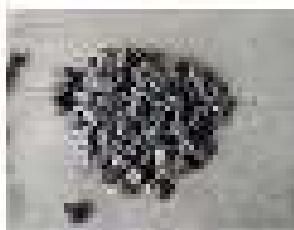


b. Precoated Sand

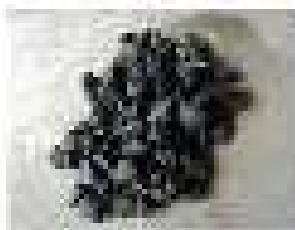
Gambar 4.10. Treatment Agregat Substandar Kakaskasen-1 di Base Camp



a. Before Treatment



b. Gravel Coated Treatment



c. Sand Coated Treatment

Gambar 4.11. Visualisasi Agregat Kakaskasen-1 Sebelum dan Sesudah di-treatment

Campuran beraspal yang digunakan dalam uji coba ini diproduksi dan dipadatkan di lapangan masing-masing dilakukan pada temperatur 150°C dan (120-130)°C. Segmen percobaan tersebut di atas dibagi menjadi dua subsegmen, yaitu 40,5 m (STA 1+108,8 – STA 1+149,3) digunakan untuk penghamparan AC-WC yang agregatnya di-precoated dengan semen (CCA) dan 78,5 m (STA 149,3 – STA 1+227,5) untuk AC-WC yang agregatnya di-precoated aspal emulsi kationik (ECA). Sebagai kontrol, campuran AC-WC yang agregatnya digunakan secara langsung dengan tanpa melalui proses treatment juga dihampar pada segmen sebelum dan sesudah segmen uji coba ini. Untuk masing-masing campuran, penghamparan hanya dilakukan pada setengah badan jalan, yaitu pada jalur arah Rumbia (Gambar 4.12). Hal ini dilakukan mengingat lalu lintas yang melalui ruas jalan ini baik kearah Buyat maupun Rumbia adalah relatif sama. Hasil penghamparan uji coba skala terbatas ini sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.13.

Tabel 4.9. Sifat-sifat Campuran AC-WC pada Kadar Aspal 6,2%

Parameter	Nilai			Spesifikasi	Satuan
	Campuran dibuat dari agregat				
	Unreated	CCA	ECA		
FAO	6,23	6,43	6,8	-	%
Porositasi	2,170	1,3	2,58	-	(%)
CFB	64	68	72,98	≥ 65	%
VMA Minimum	6,3	2,28	4,11	3-6	%
VMA	17,98	14,90	14,40	≥ 14	%
VMA Filler	11,7	13,5	13,3	≥ 8	%
Skat 0,075	8,10	8,70	8,07	≤ 8,00	(%)
Porositasi	2,28	1,3	2,58	≤ 3	(%)
Porositasi dengan Filler	108,3	2,8	2,10	≤ 200	(g/m ³)
Stabilitas	50	67	64	≥ 50	%



a. Pembubaran Tack Coat



b. Penghamparan

Gambar 4.12. Pelaksanaan Uji Coba Skala Terbatas Pada Lajur Lalu Lintas Arah Rumbia



Gambar 4.13. Hasil Penghamparan Uji Coba Skala Terbatas Agregat Substandar Kakaskasen-1, Sulawesi Utara

4.3. Uji Coba Domato Substandar Agregat Talaud Sebagai Lapis Pondasi

Berdasarkan studi yang dilakukan oleh Siegfried et. al., (2014) seperti yang telah diuraikan sebelumnya pada seksi 2.5, penggunaan domato sebagai agregat lokal substandar dari kabupaten Talaud dicobakan pada skala proyek sebagai lapis pondasi proyek Rekonstruksi/Peningkatan Struktur Jalan Beo – Esang, Talaud. Domato yang digunakan pada uji coba ini berasal dari quari Batumbalango. Secara visual, agregat dari quari ini mirip dengan agregat yang berasal dari quari Melong, Beo dan Rainis yang digunakan oleh Siegfried et. al., (2014). Sifat Domato yang digunakan sebelum distabiliasi dengan semen sebagaimana diberikan pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10. Sifat Domato dari Quari Batumbalango Kabupaten Talaud

Parameter	Standar Pengujian	Hasil
Abrasi (%)	SM 2417 : 2009	63
Indeks Plastik	SM 00 : 1966 : 1966	N.P.
Kepadatan (gram/cm ³)	SM 03-1743 : 1989	1,776
Kadar Air Optimum	SM 00 : 1742 : 1966	11,1
CBR (%)	SM 00-1744 : 1966	>100

Berdasarkan sifat fisiknya, batuan dari quari Batumbalango ini dapat digolongkan sebagai batuan karang pasir (*sand reef*). Apabila dipecahkan, batuan ini akan membentuk agregat yang dominan dengan butiran berukuran pasir. Sedangkan dari sudut pandang mineraloginya, agregat dari quari Batumbalango ini masuk dalam kelompok karbonat agregat, bermuatan ion positif dan bersifat hydrophobik.

Berdasarkan hasil pengujian sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4.10 dapat disimpulkan bahwa agregat dari quari Batumbalango dapat dikategorikan sebagai agregat substandar (abrasi > 40%) karena tidak memenuhi sifat agregat untuk lapis pondasi maupun bahu jalan sebagaimana disyaratkan oleh Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi-2 (BM, 2010). Pada kadar air optimumnya (11,5%) dapat menghasilkan daya dukung dengan nilai CBR di atas 100% (lebih besar dari yang disyaratkan untuk LPA), namun berdasarkan nilai kekerasannya (abrasi) agregat dari quari ini tidak dapat digunakan sebagai LPA. Selain itu, juga tidak dapat digunakan sebagai LPB ataupun bahan untuk bahu jalan karena nilai abrasi dan bersifat NP.

Walaupun digolongkan sebagai agregat substandar, berdasarkan sifat fisik, kimia dan batas Atterbergnya, agregat Domato dari quari Batumbalango ini masih dapat digunakan sebagai bahan jalan dengan penambahan semen (cement stabilization). Dari hasil percobaan laboratorium (Tabel 4.11) diketahui bahwa penambahan semen sebanyak 4,4% - 6,8% pada agregat Domato dapat dihasilkan Domato-semen dengan nilai UCS antara 20 kg/cm² – 35 kg/cm². Nilai ini sesuai dengan persyaratan SC sebagaimana disyaratkan dalam Seksi 5.4 dari Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi-2 (BM, 2010). Namun demikian, walaupun penambahan semen lebih lanjut masih dapat menaikkan nilai UCS-nya, namun agregat dari quari ini tidak dapat digunakan sebagai material untuk CTB maupun CTSB (Seksi 5.5 dari spesifikasi yang sama) karena tidak memenuhi persyaratan agregat Klas A dan Klas B (lihat Tabel 4.10).

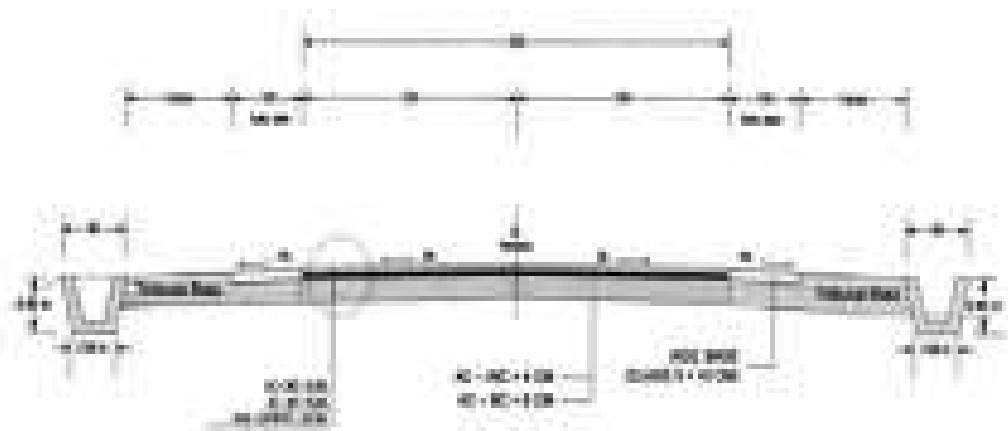
Tabel 4.11. Sifat Domato-Semen

Parameter	Standar Pengujian	Nilai
Kuat Tekan Batuan (kg/cm ²)		
+ Kadar Semen 4,4%	SNV 00-8807 : 2002	20
+ Kadar Semen 5,2%	SNV 00-8807 : 2002	24
+ Kadar Semen 6,8%	SNV 00-8807 : 2002	35

Berdasarkan hal tersebut di atas dan dengan mengacu pada persyaratan SC, bila target nilai UCS direncanakan sebesar 24 kg/cm², maka jumlah semen yang dibutuhkan oleh agregat Domato adalah sebesar 5,2%. Untuk kondisi ini, kadar air optimum yang dibutuhkan adalah dalam rentang 11% - 12%. Besarnya nilai UCS ini ekuivalen dengan nilai CBR sebesar 143%. Nilai CBR ini lebih besar dari nilai CBR LPA yang disyaratkan oleh Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi-2 (BM, 2010) sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4.10. Dengan demikian, lapisan Domato-semen diasumsikan dapat digunakan sebagai lapis pondasi perkerasan jalan.

Menurut Purbi et al. (2011) bila kekuatan bahan yang distabilisasi dengan semen dapat menghasilkan kekuatan minimum 17,5 kg/cm², maka bahan tersebut dapat digunakan sebagai lapis pondasi jalan untuk lalu lintas rendah sampai sedang dan bila kekuatannya 28 kg/cm² - 35 kg/cm², dapat digunakan untuk lalu lintas berat. Bertitik tolak dari pendapat ini dan berdasarkan hasil laboratorium tersebut di atas, dalam uji coba ini campuran Domato-semen diaplikasikan sebagai lapis pondasi untuk jalan yang melayani lalu lintas ringan sampai berat.

Berdasarkan hal tersebut, pada uji ini, domato semen digunakan sebagai lapis pondasi ruas jalan Beo – Esang. Pada proyek ini tebal total Domato-semen yang digunakan sebagai lapis pondasi adalah 30 cm (2 x 15 cm) sepanjang 8,84 km dan di atasnya ditutup dengan lapisan beraspal AC-BC (6 cm) dan AC-WC (4 cm). Struktur dan dimensi perkerasan yang digunakan sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.14.



Gambar 4.14. Struktur dan Dimensi Perkerasan Ruas Beo – Esang, Talaud

Untuk memenuhi persyaratan ukuran, agregat Domato yang digunakan harus dipecahkan terlebih dahulu sebelum proses stabilisasi dilaksanakan. Pada Domato-semen lapis pertama (15 cm), agregat dari quari Bantumbalango dipadatkan terlebih dahulu pada badan jalan yang akan distabilisasi dengan menggunakan vibrating roller dengan frekuensi getaran yang tinggi sebelum pemberian semen dilakukan. Pemadatan ini dimaksudkan untuk memecahkan agregat Domato yang merupakan sand reef agregat menjadi bahan berbutir dengan ukuran maksimum 7,5 mm dan 50%-nya lolos saringan 200 sehingga memenuhi sifat bahan untuk SC. Dengan cara ini, pekerjaan dapat dilakukan dengan cepat dengan volume mencapai 150 m³/hari. Setelah itu, lapisan digemburkan kembali dan dicampur dengan semen sebanyak 5,2%. Setelah campuran merata dan diperiksa kadar airnya, penambahan air mungkin dibutuhkan untuk mencapai kadar air optimumnya. Selanjutnya campuran diaduk kembali, dibentuk dan dipadatkan.

Lapisan Domato-semen lapis ke 2 (15 cm) dilakukan setelah Domato-semen lapis pertama telah berumur paling tidak 7 hari. Untuk mencegah rusaknya lapis pertama, penghalusan agregat tidak dilakukan di lapangan sebagaimana yang dilakukan sebelumnya pada lapis pertama tetapi dilakukan

di quari dengan menggunakan *crushher*. Setelah didapatkan agregat dengan ukuran butiran yang sesuai, selanjutnya agregat ini dibawa ke lapangan dan dihampar. Selanjutnya, komposisi semen, kadar air, metode pencampuran, pengadukan, dan pemadatan Domato-semen lapis ke 2 ini dilakukan dengan cara yang sama sebagaimana dilakukan pada Domato-semen lapis pertama. Dengan cara ini, kerusakan lapis pertama dapat dihindari, namun kecepatan pekerjaan menurun dengan volume hanya mencapai 120 m³/hari. Urutan pekerjaan Domato-semen lapis pertama dan kedua yang dilakukan di lapangan sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.15.

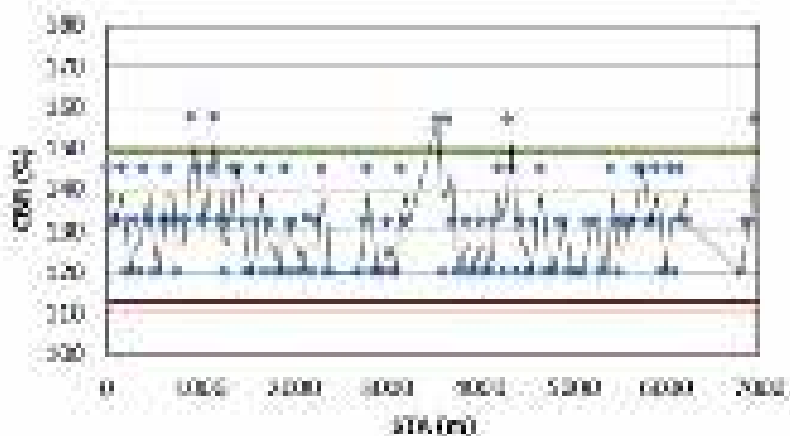


Gambar 4.15. Tahapan Pelaksanaan

Untuk mengetahui kekuatan dan keseragaman Domato-semen yang dihasilkan di lapangan, pengujian DCP dilakukan pada setiap lapisan yang telah berumur 7 hari. Hasil pengujian sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.16. Dari pengujian ini diketahui bahwa nilai CBR rata-rata Domato-semen yang dihasilkan di lapangan adalah sebesar 130% dengan standar deviasi sebesar 11%. Dengan nilai rata-rata ini dan pada tingkat kepercayaan 95% dapat disimpulkan bahwa Domato-semen yang dihasilkan di lapangan memiliki keseragaman daya dukung yang sangat baik.

Bila rasio antara nilai CBR rata-rata yang diperoleh dari pengujian lapangan dengan nilai CBR laboratorium dinyatakan sebagai Faktor Efisiensi (FE) alat pencampur dan pengaduk pada pekerjaan treated cement di lapangan, maka alat yang digunakan pada proyek ini (rotovator pertanian) memiliki nilai FE sebesar 91%.

Penggunaan agregat lokal substandar yang terdapat di suatu daerah, seperti agregat Domato, belum tentu memberikan keuntungan dari segi finansial dibandingkan dengan bila menggunakan agregat standar yang didatangkan dari daerah lain. Untuk itu perlu dilakukan kajian finansial sebelum diambilnya keputusan penggunaan agregat lokal substandar tersebut. Dalam studi ini kajian finansial hanya dilakukan dengan melihat biaya awal (*Initial Cost, IC*) dan biaya siklus hidup (*Life Cycle Cost, LCC*) dari penggunaan agregat Domato sebagai agregat lokal substandar kabupaten Talaud.



Gambar 4.16. Nilai CBR Domato-Semen di Lapangan Hasil Uji DCP

Dari analisa harga satuan diketahui bahwa harga Domato-semen di Talaud adalah Rp 700 ribu/m³. Sedangkan di tempat yang sama, harga agregat Klas A adalah sebesar Rp 1 juta/m³. Untuk struktur perkerasan yang menggunakan Domato-semen sebagai lapis pondasi sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 4.14, harga konstruksi lapisan perkerasan sampai dengan lapis beraspalnya adalah sebesar Rp. 419 ribu/m². Sedangkan bila lapis pondasinya dibuat dengan menggunakan agregat Klas A, dengan tebal yang sama harga konstruksi meningkat menjadi Rp 509 ribu/m². Dengan demikian, untuk tebal yang sama, IC konstruksi yang menggunakan Domato-semen adalah 18% lebih murah dibandingkan dengan bila menggunakan agregat Klas A. Sedangkan

untuk kekuatan yang sama (*Structural Number* yang sama), IC konstruksi yang menggunakan Domato-semen adalah 25% lebih murah.

Struktur perkerasan yang menggunakan lapis pondasi Domato-semen sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 4.14, dapat melayani lalu lintas sebanyak 1.222.440 kendaraan sebelum jalan tersebut mencapai kondisi jelek dengan indeks pelayanan akhir (IPT) sebesar 2. Sedangkan untuk kondisi yang sama, struktur perkerasan yang menggunakan agregat Klas A sebagai lapis pondasinya hanya dapat melayani lalu lintas sebanyak 852.286 kendaraan. Berdasarkan hal ini, dapat dikatakan bahwa untuk tebal yang sama penggunaan Domato-semen sebagai lapis pondasi memiliki LCC lebih kecil 43% dibandingkan dengan penggunaan agregat Klas A. Sedangkan untuk kekuatan yang sama, LCC-nya adalah 75% terhadap harga lapis pondasi agregat Klas A.

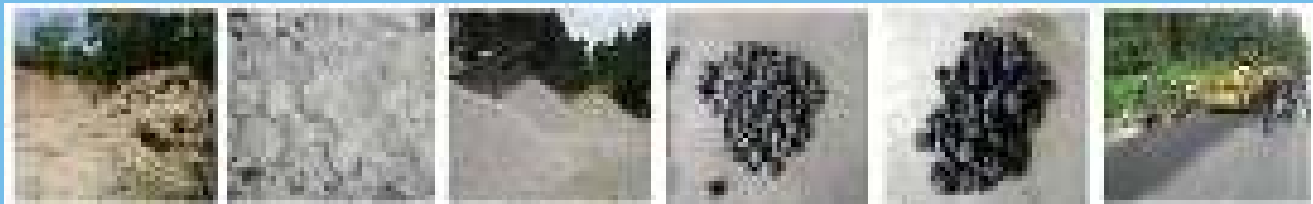
Pada Tabel 4.12 ditunjukkan resume dari analisa finansial sebagaimana telah diuraikan di atas. Dari tabel ini dilihat secara jelas bahwa penggunaan Domato yang distabiliasi dengan semen sebagai lapis pondasi memberikan keuntungan finansial baik dari sudut pandang IC maupun LCC dibandingkan dengan penggunaan agregat Klas A. Untuk tebal yang sama, IC dan LCC struktur perkerasan Domato-semen masing-masing adalah 82% dan 57% terhadap harga dari penggunaan agregat Klas A sebagai lapisan pondasinya. Sedangkan untuk kekuatan struktural yang sama, nilai IC dan LCC-nya adalah 75% terhadap harga dari penggunaan agregat Klas A.

Tabel 4.12. Harga Konstruksi Penggunaan Domato-Semen Vs Agregat Klas A Sebagai lapis Pondasi

Parameter	Harga Konstruksi Domato-Semen Sebagai Lapis Pondasi	
	Membandingkan Agregat Klas A	
	Indikator Struktur Jenis Lapis Pondasi	
	Tebal Sama	SN Sama
Initial Cost	82%	75%
Life Cycle Cost	57%	75%

BAB 5

EVALUASI KINERJA Uji GELAR PENGGUNAAN AGREGAT SUBSTANDAR



5.1. Evaluasi Kinerja Hasil Uji Gelar Penggunaan Agregat Substandar di Manado

Untuk mengetahui kinerja agregat substandar hasil penghamparan di Manado sebagaimana disebutkan pada bab sebelumnya, dilakukan evaluasi kinerja lapisan dan durabilitas campuran. Evaluasi ini dilakukan setelah lapisan beraspal tersebut melayani lalu lintas selama 12 dan 18 bulan. Evaluasi yang dilakukan adalah pengukuran kuantitas kerusakan yang telah terjadi pada segmen percobaan penggunaan agregat substandar baik yang di-treatment dengan menggunakan semen (*Cement Coated Aggregate*, CCA), aspal emulsi (*Emulsion Coated Aggregate*, ECA) dan yang treatment dengan menggunakan Aditif Anti *Stripping* berbasis Amine (AS_A) yang digunakan sebagai kontrol. Evaluasi mencakup pengukuran luas retak, lubang, alur, deformasi dan pelepasan butir. Kondisi permukaan perkerasan jalan saat ini (umur 18 bulan) sebagaimana ditunjukkan pada gambar dalam Lampiran-1. Selanjutnya dilakukan pengambilan benda uji inti pada masing-masing segmen percobaan tersebut. Koordinat titik pengambilan ditentukan secara acak untuk masing-masing segmen (Lampiran-2). Benda uji inti ini nantinya akan diuji modulus dan durabilitasnya terhadap air. Benda uji yang sudah diuji selanjutnya diekstraksi untuk diuji tingkat penuaan aspalnya. Hasil evaluasi ini sebagaimana diberikan pada Tabel 5.1 dan Tabel 5.2 serta Gambar 5.1 dan Gambar 5.2.

Dari evaluasi visual terhadap jenis dan kuantitas kerusakan yang terjadi di lapangan sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 5.1, dapat dilihat bahwa kinerja lapis beraspal yang dibuat menggunakan agregat substandar yang di-*treatment* terlebih dahulu baik dengan CCA ataupun ECA lebih *superior* dari pada lapis beraspal yang dibuat menggunakan agregat substandar yang di-*treatment* dengan AS_A (kontrol). Pada umur pelayanan 18 bulan, campuran beraspal kontrol sudah mengalami kerusakan berupa lubang dengan luas total sebesar 1%, keretakan sebesar 2% dan pelepasan butir sebesar 3%. Sedangkan pada permukaan lapis beraspal dengan CCA dan ECA pada umur yang sama belum terdapat kerusakan jenis apapun. Hal ini menunjukkan *treatment* CCA ataupun ECA memberikan pengaruh yang positif pada kinerja lapis beraspal dan hasil yang lebih dari pada yang di-*treatment* dengan AS_A .

Tabel 5.1. Jenis dan Kuantitas Kerusakan Segmen Percobaan di Manado, Umur 18 Bulan

Parameter	Segmen pada Rambu Percobaan			Saluran
	Kontrol	CCA	ECA	
Lubang	1	0	0	%
Keretakan	2	0	0	%
Pelepasan Butir	3	0	0	%
Pemrosesan ulang	0	0	0	%
Luas Permukaan Rusak akibat Pelepasan Butir, Keretakan, dan Lubang	24	0	0	%
Indeks Integritas	aspal 0,00	aspal 100	aspal 100	

Saluran kontrol = 22,22 m, aspal 0,00 m, CCA = 22,22 m, ECA = 22,22 m.

Walaupun pada umur pelayanan 12 bulan campuran beraspal yang agregatnya di-*treatment* dengan semen (CCA) ataupun dengan aspal emulsi (ECA) sama-sama belum menunjukkan kerusakan, namun di permukaan lapisan beraspal CCA terdapat spot-spot permukaan yang basah setelah permukaan sekitarnya telah kering dari air hujan yang jatuh di atasnya, sedangkan di lapisan beraspal ECA hal ini tidak terjadi. Kondisi ini menunjukkan bahwa lapisan beraspal dengan *treatment* ECA memiliki permukaan yang lebih kedap dari lapisan beraspal dengan *treatment* CCA walaupun kedua campuran ini memiliki kadar aspal optimum yang sama (5,9%). Penggunaan aspal emulsi mungkin dapat membantu workabilitas lapisan beraspal dengan *treatment*

ECA sehingga lapisan beraspal yang dihasilkan lebih homogen. Namun demikian, bila dibandingkan dengan lapisan beraspal kontrol yang memiliki luas total spot-spot basah sebesar 50%, maka dapat dikatakan lapisan beraspal dengan *treatment* CCA masih memiliki homogenitas permukaan yang lebih baik dengan luas total spot-spot yang basah yang lebih kecil (10%). Penggunaan AS_A sebanyak 0,2% pada aspal untuk campuran beraspal kontrol terbukti kurang mampu menaikkan kinerja lapisan tersebut. Dengan menggunakan agregat substandar yang sama, *treatment* dengan semen ataupun aspal emulsi lebih efektif dan memberikan hasil yang lebih baik.

Pada Tabel 5.2 dapat kita lihat bahwa bila pengujian Marshall pada benda uji ini diperbolehkan untuk melihat ketahanan campuran beraspal di lapangan, maka dapat dikatakan bahwa *treatment* yang dilakukan dapat menghasilkan lapisan beraspal yang memiliki durabilitas terhadap air yang lebih baik yang ditunjukkan oleh lebih tingginya nilai stabilitas Marshall sisa dari campuran dengan agregat yang di-*treatment* dibandingkan dengan yang di-*treatment* dengan AS_A (kontrol). Walaupun campuran yang di-*treatment* dengan CCA ataupun ECA memiliki kadar aspal sedikit lebih kecil dan rongga udara sedikit lebih besar dari campuran kontrol, campuran beraspal yang dihasilkan masih memberikan durabilitas terhadap air yang lebih baik dibandingkan dengan campuran kontrol. Hal ini menunjukkan bahwa *treatment* dengan CCA ataupun ECA memberikan pengaruh positif pada durabilitas campuran yang dibuat dengan menggunakan agregat substandar dari pada *treatment* dengan AS_A . Namun demikian, dalam hal ini, *treatment* dengan ECA adalah lebih baik dari pada CCA.

Kekakuan campuran beraspal (modulus) merupakan sifat campuran beraspal yang dapat digunakan untuk melihat ketahanan campuran terhadap kerusakan berupa alur dan deformasi plastis. Semakin kaku campuran beraspal, semakin tinggi ketahanannya terhadap kerusakan tersebut. Sebagai campuran yang menggunakan bahan pengikat yang bersifat viskoelastis (aspal), sifat kekakuan campuran beraspal sangat ditentukan oleh perubahan sifat aspal akibat temperatur. Sensitivitas perubahan sifat kekakuan campuran terhadap perubahan temperatur dapat dilihat dari perubahan nilai modulusnya. Pada Gambar 5.1 ditunjukkan perubahan nilai modulus dari waktu ke waktu, sedangkan pada Tabel 5.3 ditunjukkan sensitivitas perubahan nilai modulus akibat perubahan temperatur pada campuran yang dibuat dari aspal yang sama tetapi menggunakan agregat substandar baik yang di-*treatment* dengan semen atau aspal emulsi dan yang di-*treatment* AS_A .

Tabel 5.2. Sifat Campuran AC-WC Menggunakan Agregat Substandar Manado, Umur 18 Bulan

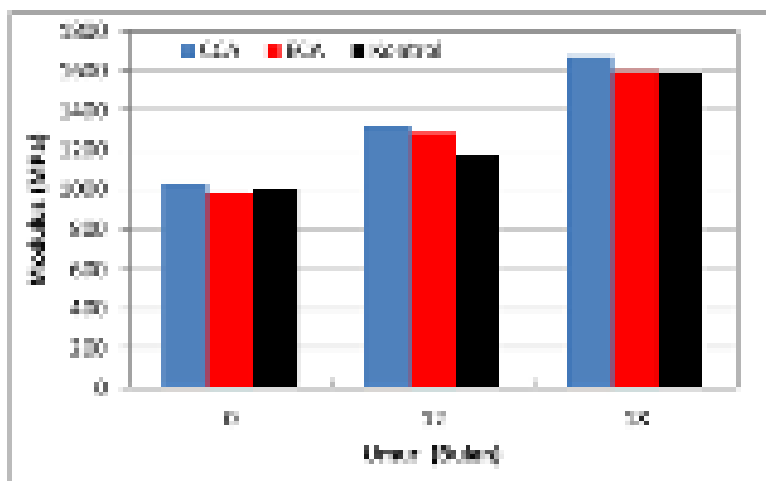
Parameter	Nilai			Satuan
	Campuran dengan 21% aspal			
	Kontrol	CCA	ECA	
KAD	8,0	8,0	8,0	%
Kebatuhan	2,643	2,038	2,038	cm ³
Densitas Maksimum	2,400	2,318	2,209	g/cm ³
Void-ratio	11,20	11,08	11,79	%
Modulus Rata	26,5	26,2	26,7	kg
Modulus modulus				
- Temperatur 25°C	1471	1749	1488	MPa
- Temperatur 35°C	518	640	650	MPa
- Temperatur 45°C	212	335	343	MPa

Sumber: Data dari UPTD AC-WC menggunakan 21% aspal

Dari Gambar 5.1 dapat dilihat bahwa akibat *treatment* yang dilakukan, terjadi perubahan modulus campuran beraspal. Penggunaan agregat substandar yang di *treatment* dengan semen menghasilkan campuran beraspal dengan modulus yang lebih tinggi dari pada yang *treatment* AS_A. Kenderungan ini terus terjadi sejalan dengan waktu. Hal ini mungkin disebabkan pengerasan semen yang terus berlanjut. Sedangkan agregat substandar yang di-*treatment* dengan aspal emulsi menghasilkan campuran beraspal dengan kadar aspal yang lebih kecil tetapi dengan modulus yang lebih rendah. Penuaan aspal yang terjadi menyebabkan modulus campuran beraspal yang di-*treatment* dengan CCA ataupun ECA menjadi lebih besar dari pada campuran beraspal yang di-*treatment* AS_A. Pada Tabel 6 dapat dilihat bahwa campuran beraspal yang agregatnya di-*treatment* dengan CCA ataupun ECA memiliki rasio modulus pada temperatur 35°C dan 45°C terhadap modulusnya pada temperatur 25°C lebih besar dari campuran beraspal yang agregatnya di-*treatment* dengan AS_A. Hal ini menunjukkan bahwa selain menghasilkan campuran beraspal dengan nilai modulus yang lebih tinggi, *treatment* dengan CCA ataupun ECA pada agregat substandar untuk campuran beraspal ini juga dapat menyebabkan turunnya sensitifitas campuran beraspal tersebut terhadap perubahan temperatur.

Tabel 5.3. Rasio Penurunan Modulus Kekakuan Campuran Percobaan di Manado Umur 18 Bulan

Jenis <i>Treatment</i> Pada Campuran Beraspal	Rasio Modulus Kekakuan Terhadap Torsi pada 20%		
	Temperatur (°C)		
	25	30	40
CCA	1	1.442	0.290
ECA	1	1.437	0.242
Kontrol	1	1.435	0.295



Gambar 5.1. Perubahan Modulus Campuran Beraspal dari Agregat Substandar Manado Akibat Penuaan Jangka Panjang

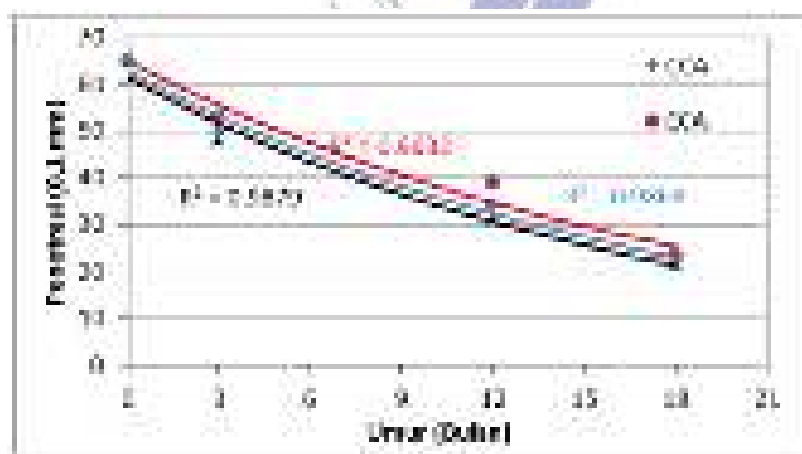
Dari segi bahan, *treatment* agregat substandar dengan semen ataupun aspal emulsi sedikit merubah sifat rheologi aspal akibat penuaan. Akibat *treatment* ini, penuaan aspal yang dilihat dari sudut pandang penurunan nilai penetrasi aspal dapat diperlambat (lihat Tabel 5.4). Namun demikian, perlambatan ini tidak mengubah kecenderungan (*trend*) dari kecepatan penuaan yang terjadi (Gambar 5.2). Bila secara *rule of thumb*, nilai penetrasi 20 adalah nilai penetrasi akhir dimana aspal dianggap habis masa pelayanannya, maka umur aspal yang digunakan pada campuran beraspal yang menggunakan agregat substandar ini, baik yang di-*treatment* dengan semen (CCA) ataupun aspal emulsi (ECA) dan yang di-*treatment* dengan AS_A (kontrol) diprediksi masing-masing sekitar 22,8 bulan, 23,5 bulan dan 22,3 bulan. Hal ini kembali menunjukkan bahwa *treatment* dengan CCA ataupun ECA memberikan pengaruh yang positif pada kinerja lapis beraspal. *Treatment* dengan CCA

ataupun ECA memberikan umur aspal yang lebih panjang. *Treatment* menggunakan aspal emulsi memberikan umur aspal yang lebih panjang dari pada dengan semen.

Tabel 5.4. Penurunan Nilai Penetrasi Aspal Akibat Penuaan Jangka Panjang Campuran Beraspal yang Menggunakan *Treated* dan *Untreated* Agregat Substandar Manado

Usia Lapis Beraspal (Tahun)	Rata-rata Nilai Penetrasi Aspal		
	CCA	ECA	Kontrol
1	66	65	65
2	62	63	65
17	34	33	31
18	22.2	23.9	21.5

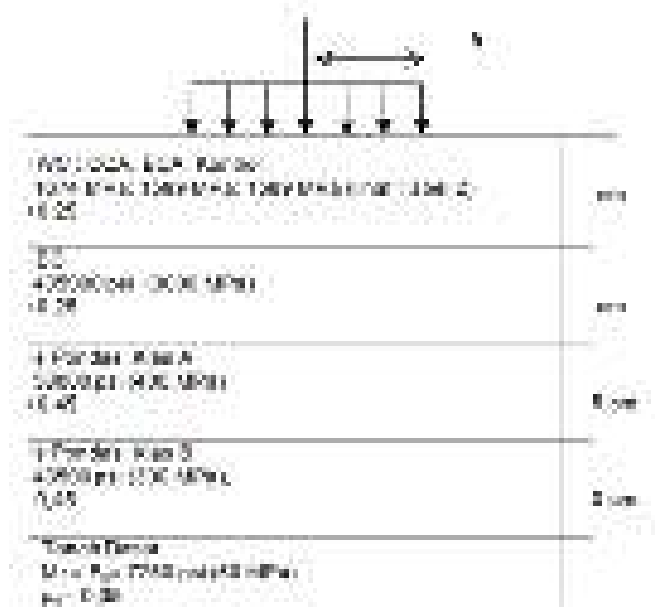
Dari evaluasi struktural dengan program KENLAYERS yang dilakukan pada dimensional ruas percobaan sebagaimana diilustrasikan pada Gambar 5.3 dan menggunakan lalu lintas rencana sebanyak 5 juta ESA, diketahui bahwa umur sisa dan kriteria keruntuhan dari masing-masing segmen percobaan yaitu sebagaimana diberikan pada Tabel 5.5. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa *treatment* dengan CCA dan ECA yang dilakukan dapat memperpanjang umur pelayanan lapis beraspal. *Treatment* yang dilakukan dengan menggunakan semen tidak menghasilkan campuran beraspal yang terlalu kaku karena kriteria keruntuhan yang terjadi pada campuran beraspal yang agregat di-*treatment* dengan CCA, ECA ataupun dengan AS_A adalah sama.



Gambar 5.2. Penurunan Nilai Penetrasi Aspal Akibat Penuaan Jangka Panjang Campuran Beraspal yang Menggunakan *Treated* dan *Untreated* Agregat Substandar Manado

5.2. Evaluasi Kinerja Hasil Uji Gelar Penggunaan Agregat Substandar di Papua

Seperti halnya yang dilakukan untuk mengetahui kinerja agregat substandar hasil penghampar di Manado, evaluasi kinerja lapisan dan durabilitas campuran beraspal juga dilakukan untuk lapisan beraspal yang menggunakan agregat substandar yang dihampar di Papua. Evaluasi ini dilakukan setelah lapisan beraspal tersebut melayani lalu lintas selama 20 bulan. Evaluasi yang dilakukan adalah pengukuran kuantitas kerusakan yang telah terjadi pada segmen percobaan penggunaan agregat substandar yang diikat dengan menggunakan aspal yang menggunakan bahan tambah berupa anti-*stripping* baik yang berbasis amine (AS_A) ataupun surfaktan (AS_S) ataupun yang tidak menggunakan bahan tambah apapun pada aspalnya. Evaluasi mencakup pengukuran luas retak, lubang, alur, deformasi dan pelepasan butir. Kondisi permukaan perkerasan jalan saat ini (umur 20) sebagaimana ditunjukkan pada gambar dalam Lampiran-3. Pengambilan benda uji inti pada masing-masing segmen percobaan tersebut dilakukan untuk pengujian di laboratorium berupa uji modulus dan durabilitasnya terhadap air. Benda uji yang sudah diuji selanjutnya akan diekstraksi untuk diuji tingkat penuaan aspalnya. Hasil evaluasi ini sebagaimana diberikan pada Tabel 5.6 dan Tabel 5.7 serta Gambar 5.4 dan Gambar 5.5.



Gambar 5.3. Ilustrasi Struktur Perkerasan Segmen Jalan Percobaan di Manado

Dari evaluasi visual di lapangan terhadap jenis dan kuantitas kerusakan yang terjadi sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 5.6, dapat dilihat bahwa kinerja lapis beraspal yang menggunakan AS_A maupun AS_S adalah relatif lebih baik dari pada lapisan yang campuran beraspalnya tidak menggunakan bahan tambah (kontrol). Walaupun pada umur 20 bulan kondisi permukaan lapis beraspal masih dalam kondisi sangat baik, yang ditunjukkan dengan tidak adanya lubang, alur dan retak, namun pada lapis beraspal kontrol telah terjadi pelepasan butir sebesar lebih kurang 5% dari luas permukaan lapisan beraspalnya.

Tabel 5.5. Hasil Analisa Tegangan dan Regangan Struktur Perkerasan Segmen Jalan Percobaan di Manado Menggunakan Program Kenlayer

Parameter	Nilai dari Hasil Analisa		
	CCM	CCA	Kontrol
Umur	2.63 10 ³ EBA	2.13 10 ³ EBA	2.03 10 ³ EBA
Modul Komutasi	Aspal kontrol	Aspal kontrol	Aspal kontrol

Tabel 5.6. Jenis dan Kuantitas Kerusakan Segmen percobaan HRS-WC Menggunakan Agregat Substandar Papua, Umur 20 Bulan

Parameter	Segmen pada Road Percobaan				Seluruh
	Kontrol	0.1% AS_S	0.1% AS_A	0.15% AS_S	
Lubang	0	0	0	0	0
Retak	0	0	0	0	0
Alur	0	0	0	0	0
Pelepasan Butir	0	0	0	0	0
Luas (m ²)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

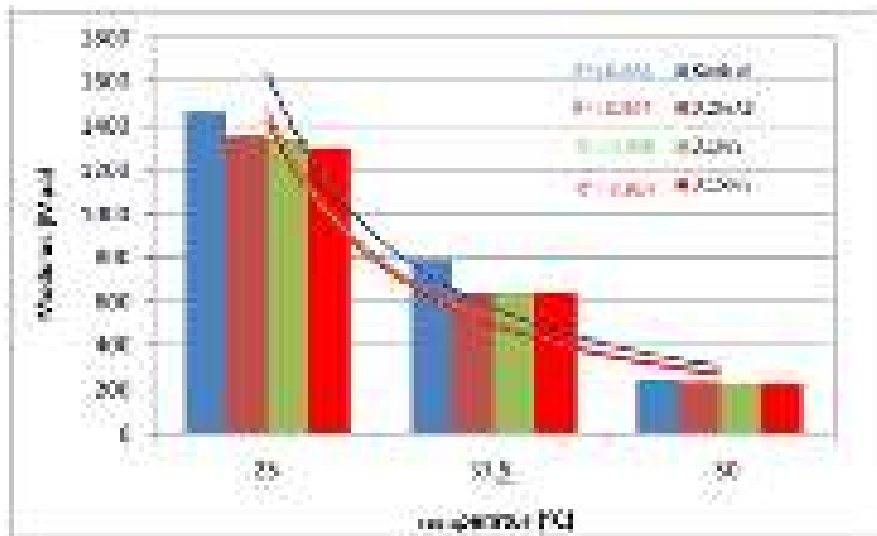
Dari Tabel 5.7 dapat dilihat bahwa dengan kadar aspal yang relatif sama, campuran beraspal yang menggunakan bahan tambah, baik AS_A maupun AS_S memiliki rongga udara (VIM) yang lebih kecil dari pada campuran kontrol yang tidak menggunakan bahan tambah. Hal ini merupakan indikasi bahwa penggunaan bahan tambah pada aspal dapat menurunkan viskositas aspal sehingga aspal dapat dengan mudah menyelimuti agregat, mengisi rongga

antar agregat dan mengikat agregat tersebut. Selain itu, dapat juga menaikkan ketahanan campuran beraspal terhadap air yang ditunjukkan dengan lebih tingginya nilai stabilitas Marshall sisanya. Dalam hal ini, penggunaan AS_s lebih efektif dibandingkan dengan penggunaan AS_A . Dengan demikian dapat dikatakan bahwa penggunaan AS_s sebagai penurun tegangan permukaan memberikan pengaruh positif terhadap ketahanan campuran beraspal terhadap pengaruh air. Namun demikian, penggunaan AS_A maupun AS_s dapat memberikan pengaruh negatif karena akan menurunkan modulus kekakuan campuran beraspalnya.

Tabel 5.7. Sifat Campuran HRS-WC Menggunakan Agregat Substandar Papua, Umur 20 Bulan

Parameter	HRS				Referensi
	Campuran Homogendung				
	Kontrol	0,27% AS_s	0,1% AS_A	0,15% AS_A	
Massa Ragi	1,4	5,0	5,9	6,6	%
Kesakitan	2,140	2,493	2,476	2,526	(kg)
Gesekan Maksimum	2,535	2,932	2,948	2,987	(kg)
Waktu Pengaliran	6,7	4,0	6,1	5,7	%
Saluran Sisa	98,9	94,3	97,7	98,4	%
Modulus Kekakuan					(MPa)
• Temperatur 25°C	1486	1348	1437	1255	
• Temperatur 37,8°C	108	813	810	807	
• Temperatur 50°C	229	238	231	231	

Pada Gambar 5.4 dapat dilihat bahwa pada semua variasi temperatur pengujian, modulus kekakuan campuran beraspal yang menggunakan AS_A maupun AS_s selalu lebih rendah dari campuran beraspal yang tidak menggunakan kedua bahan tersebut. Dari gambar ini dapat dilihat juga bahwa pengaruh AS_A maupun AS_s pada modulus kekakuan campuran beraspal adalah relatif sama. Namun demikian, penggunaan AS_A maupun AS_s pada campuran beraspal relatif tidak membuat campuran tersebut menjadi lebih sensitif terhadap perubahan temperatur (lihat Tabel 5.8).



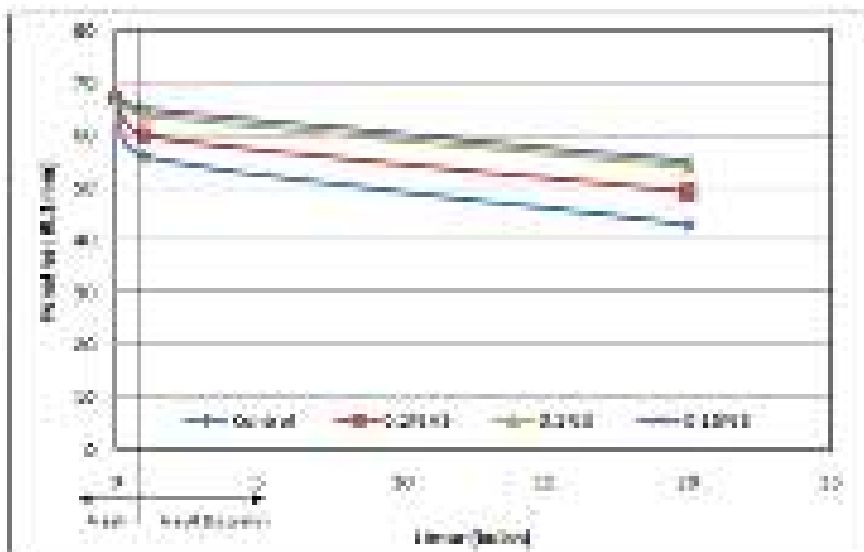
Gambar 5.4. Perubahan Modulus Campuran Beraspal dari Agregat Substandar Papua Akibat Perubahan Temperatur

Tabel 5.8. Sensitifitas Perubahan Modulus Kekakuan Campuran Percobaan di Papua Akibat Perubahan Temperatur

Jenis Bahan Tambahan Pada Campuran Beraspal	Rasio Modulus Kekakuan Terhadap Temperatur 37°C		
	Temperatur (°C)		
	25	37.5	50
Kontrol	1	0.470	0.160
0.0% AS	1	0.476	0.174
0.1% AS	1	0.474	0.171
0.16% AS	1	0.487	0.175

Dari segi bahan, penambahan AS_A maupun AS_S pada aspal dapat memperlambat penuaan aspal. Pada Gambar 5.5 dapat dilihat bahwa akibat proses pembuatan campuran beraspal di AMP, aspal akan mengalami penuaan yang ditunjukkan dengan naiknya tingkat kekerasan aspal (turunnya nilai penetrasi aspal). Penurunan nilai penetrasi aspal yang tidak menggunakan bahan tambah dari nilai penetrasi awalnya adalah lebih besar dari yang terjadi pada aspal yang menggunakan bahan tambah baik berupa AS_A maupun AS_S . Namun untuk hal ini, penggunaan AS_S lebih efektif dari pada AS_A dan semakin

banyak tinggi dosis AS_s digunakan semakin kecil kehilangan nilai penetrasi yang dihasilkannya. Kecenderungan yang sama masih terjadi pada aspal yang berumur 20 bulan. Hampir sejajarnya garis penurunan nilai penetrasi aspal mengandung AS_A maupun AS_s terhadap garis penurunan nilai penetrasi aspal yang tidak mengandung bahan tambah dapat mengindikasikan bahwa sampai dengan umur 20 bulan pengaruh AS_A maupun AS_s masih ada.



Gambar 5. Penurunan Nilai Penetrasi Aspal Akibat Penuaan Jangka Panjang Campuran Beraspal Agregat Substandar Papua Akibat Bahan Tambah pada Aspal



DAFTAR PUSTAKA

- AASHTO, (1995), Standard No M 145-91, USA
- AI, (1993), Mix design Methods – For Asphalt Concrete and Other Hot Mix, The Asphalt Institute, USA.
- AI, (1996), Superpave Mix Design, SHRP - Superpave Manual Series No.2, The Asphalt Institute, USA.
- Alexander L. T. and Cady J. G., (1962), Genesis and Hardening of Latérite in Soils, USDA Techn. Bull. 1282.
- A.S.A, 2002, A Guide to the Use of Iron and Steel Slag in Roads, Aust. Slag Ass., Wollongong, Australia
- Affandi F., (2004), Pengkajian Pemanfaatan Tailing Sebagai Bahan Perkerasan Jalan, Laporan Penelitian Puslitbang Prasarana Transportasi.
- ASTM D 4791 – 95, Standard test method for flat particles, elongated particles, or flat and elongated particles in coarse aggregate
- AUSTROAD, (1998), “Guide to Stabilization in Road works”, Austroad Inc. First Edition, Sydney.
- Austroads Incorporated, (1998), Guide to Stabilization in roadworks. Australia.
- Bartley, F.G., Harvey, C.C. Bignall, G. Christie, A. B., Reyes, A., Soong, A., Faure, K., (2007), Clay Mineralogy of Modified Marginal Aggregates, Land Transport New Zealand Research Report No 318
- Bayomi, F. M., 1992, Development and Analysis of Cement-Coated Aggregates for Asphalt Mixtures, Effect of Aggregates and Minerals Fillers n Asphalt Mixture Performance. ASTM STP 1147, Philadelphia.
- BM, (2010), Spesifikasi Umum 2010 Revisi-2, Direktorat Jenderal Bina Marga, Jakarta.
- BS-1047, (1983), Air-cooled Blastfurnace Slag Aggregate for Use in Construction, British Standard Inst., London.
- Cady, P. D., P. R. Blankenhorn and D. E. Kline, (1979), Upgrading of low Quality Aggregates for PCC and Bituminous Pavements. NCHRP Program, Report 207, TRB, Washington, D. C.
- Cabrera, J. G., A. Ridley and E. Fekpe, , (1990), lab Design and Field Compaction of Bituminous Macadam. Highway & Transportation, No. 7.

- Charman, J.H, (1988), Laterite in Road Pavements, Overseas Development Administration, London; Transport and Road Research Lab., Crowthorne; Construction Industry Research and Information Association (CIRIA), London.
- Castano, N., P. Ferre., F. Fossas and A. Punet, (2004), A Real Heat Stable Bitumen Antistripping Agent, Proc. The 8th Conf. Of Asphalt Pavement for South Africa, Document Transformation Technologies, South Africa.
- Cawsey, D. C. and R. K. Raymond William, (1990), Stripping of Macadams : Performance Tests with Different Aggregates, The Journal of the Inst. of Highways and Transportation, No. 7
- Collins, I and Fox, R. A., (1985), "AGGREGATES : Sand, Gravel and Crushed Rock Aggregates for Construction Purposes", Geological Society, Engineering Geology, No. 1. Special Publication, England.
- Collins, R. J. and S. K. Cielieski, (1994), Recycling and Use of Waste Materials and By-Products in Highway Construction. National Cooperative Highway Research Program Synthesis of Highway Practice 199, Transportation Research Board, Washington.
- Craus, J., Ishai, I. and Sides, A., (1981), Durability of Bituminous Paving Mixtures as Related to Filler Type and properties, Proc. of the Ass. of Asphalt Paving Tech. Vol. 50.
- Day, D.E., and Schaffer, R., Glasphalt Paving Handbook, University of Missouri-Rolla;
- Department of The Army, The Navy, and The Air Force, (1994), Soil Stabilization for Pavements
- Departemen Pekerjaan Umum, (2002), Spesifikasi Umum Pembangunan Jalan dan Jembatan, Buku 3.
- Departemen Pekerjaan Umum, Badan Penelitian dan Pengembangan, (2006), Spesifikasi Khusus Campuran Panas Tailing Aspal.
- Departemen Pekerjaan Umum, Badan Penelitian dan Pengembangan, (2006), Spesifikasi Khusus Lapis Pondasi Tailing.
- Departemen Pekerjaan Umum, Badan Penelitian dan Pengembangan, (2004), Pengkajian Pemanfaatan Tailing Sebagai Bahan Perkerasan Jalan,
- DHV, (1984), Laterite and Laterite Stabilization, Laboratory Results, Publisher(s), DHV, Consulting Engineers, Amersfoort.
- Djnaedie Edie dan Yamin R. Anwar, (2008.a), Uji Coba Pemanfaatan Tailing untuk Bahan Jalan, Kolokium Hasil penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan

- Djnaedie Edie, Syailendra Agus Bari dan Yamin R. Anwar, (2008.b), Pemanfaat Tailing untuk Bahan Jalan (Pilot project di Timika – Papua), Konf Regional TEKNIK JALAN KE – 10, November 2008
- DoT, (1998), Marginal Aggregates in Flexible Pavements: Field Evaluation, U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration, DOT/FAA/AR-97/5, Office of Aviation Research Washington, D.C.
- Fromm, H. J., (1974), The Mechanisms of Asphalt Stripping from Aggregate Surfaces, Proc. AAPT. Vol. 43.
- Fred Waller, (1993), Use of Waste Materials in Hot Mix Asphalt, ASTM STP-1193.
- Gidigasu, M. D. and Benneh, G., (1988), Stabilization Characteristics of Selected Ghanaian Soils, Technical paper, Building and Road Research Institute Council for Science and Industrial Research, Kumasi, Ghana.
- Gutt, W., P. J. Nixon, M. A. Smith, W. H. Harrison, and A. D. Russell., (1974), A Survey of the Locations, Disposal and Prospective Uses of the Major Industrial Byproducts and Waste Materials. CP 19/74, Building Research Establishment, Watford, U.K.
- Huang Yang, H., (1993), Pavement Analysis and Design, Prentice Hall, Inc. New Jersey.
- Hughes, M. L. and T. A. Halliburton, (1973), Use of Zinc Smelter Waste as Highway Construction Material, Highway Research Record No. 430.
- Hughes, C. S. and G. W. Maupin, (1989), Factors Influence Moisture Damage in Asphaltic Pavements. Implication of Aggregates in the Design. Construction and Performance of Flexible Pavements. ASTM STP 1016.
- HWB, 1967, .Results of the Questionnaire on Effects of Water and Moisture on Bituminous Mires, I-IRIS Selection 3P31 203837 and Highway Res. Circular, Highway Research Board, 1967Hwy. Res. Board, No. 67
- Ingles, O. G and Metcalf, J. B., (1972). Soil Stabilization, Principles and Practice, Butterworths, Sydney-Melbourne-Brisbane.
- Iriansyah, (2006), Uji Coba Skala Penuh Lapis Pondasi Pasir Aspal (Sand Base) di Kalimantan Tengah, Laporan Penelitian, Puslitbang Jalan dan Jembatan, Bandung.
- Ishai, I and J. Craus, (1977), Effect of the Filler on Aggregate-Bitumen Adhesion Properties in Bituminous Mixtures, Procc AAPT Vo. 46.
- Isran Ramli Muhammad, Hustim Muralia dan Yamin R. Anwar, (2006), Durabilitas Campuran Beton Aspal dengan Slag Nikel Sorolako sebagai Agregat Kasar CANTILEVER, Jurnal Penelitian dan Kajian Bidang Teknik Sipil, Vol. 1. No.3 Nov. 2006.

- Jean Louis Salager, (2002), *Surfactants, Types and Uses*, Laboratory of Formulation, Interfaces Rheology and Processes, Universidad De Los Andes, Venezuela.
- Kerbs, R. D. and R. D. Walker, (1971), *Highway Materials*, McGraw-Hill Book Company, New York
- LAPI-ITB, (2003), *Pemanfaatan Cooper Tailing dari P.T Free Port Indonesia untuk Bahan Konstruksi*, Laporan Penelitian LAPI-ITB.
- Lacroix, A, (1913), *Les latérites de Guinée et les produits d'altération qui leur sont associés*, *Nouv. Arch. Mus. Hist. Nat.*, vol. V.
- Lewis, D.W. and Dolch, W.L., (1955), *Porosity and Absorption*, American Society for Testing and Materials, Special Technical Publication No. 169
- Malisch, W.R., Day, D.E., and Wixson B.G., (1975), *Use of Domestic Waste Glass for Urban Paving*, Summary Report, National Environmental Research Center, Office of RnD, U.S. Environmental Protection Agency, Report EPA-670/2-75-053.
- Majidzadra, K. and Brovold, F.N. , (1968), *State of the Art: Effect of Water on Bitumen-Aggregate Mixtures*, HRB, Special Rept. 98.
- Majidzadeh, K and F. N. Brovold, (1968), *State of The Art : Effect of Water on Bitumen Aggregate Mixture*. HRB, Special Report 98, Washington, D. C.
- Martin F. J. and H. C. Doyne, (1927), *Laterite and lateritic soils in Sierra Leone*, *The Journal of Agricultural Science* Vol. 17, Cambridge University Press
- Material and Test Division Indianapolis, (2002), *Design procedures for Soil Modification or Stabilization*, Indiana.
- Maupin, G.W. , (1982), *The Use of Antistripping Additives in Virgin/asphalt*, Paper Presented at 51st Annual Meeting, Assoc. of Asphalt Paving Technologists, Kansas City.
- McConnoughay, K. E., (1971), *Making a Paving Composition Using a Bituminous Binder Containing an Adhesion Promoter*, South African Pat. 7008. South Africa
- Neni K. dan Affandi F., (2004), *Pemanfaatan Tailing untuk Lapis Pondasi Jalan*, *Jurnal Litbang Jalan*, Vol, 21 No. 4.
- Neni K, (2005), *Pemanfaatan Tailing Untuk Campuran Lapis Tipis Aspal Pasir (Latasir) pada Perkerasan Jalan*, *Jurnal Litbang Jalan*, Vol, 22 No. 1.
- Nicholls, J. C., (1998), *Asphalt Surfacing*, Cambridge Univ. Press. U. K.
- OGE, (2008), *Design Procedure for Soil Modification and or Stabilization*, Production Division Office of Geotechnical Engineering, Indianapolis, Indiana.

- Olegsby, C. H and Hicks, R. G., (1982), Highway Engineering, Fourth Ed. John Willey and Son Inc. New York.
- Please A. and Pike D.C., (1968), " The Demand of Road Aggregates", Transport and Road research Laboratory, Crowthorne, UK, RL. 185.
- Portland Cement Association, (1992), Soil-Cement Laboratory Handbook.
- Porubszky, I., Bsizmadia, M. and Szebenyl, E., Dobozy, O. and Michael, s., (1969), Bitumen Adhesion to Stones, Chi,. Phys. Appl. Prat. Ag. Surface, C. R. Congr. Int. Daterg, 5th
- Prevost Hubbard, 1938, Adhesion of Asphalt to Aggregates in the Presence of Water, Highway Research Board Vol. 18, Proc. 18th Annual Meeting.
- Purbi Sen, Mukesh and Mahabir Dixit, (2011), Evaluation of Strength Characterisrics of Clayey Soil by Adding Soil Stabilizing Additives, International Journal of Earth Sciences and Engineering. Vol. 04, No 06.
- Ramaswamy, S. D. and E. W. Low, (1990), The Effect of Amino Anti-strip Additive on Stripping of Bituminous Mixes, Highways and Transportation, Vol. 3.
- Rogers, C., (1995), Ontario Ministry of Transportation, Personal Communication.
- RRL, (1962), Bituminous Materials in Road Construction, Department of Scientific and Industrial Research, Road Research Laboratory, Her Majesty's Stationery Office, London
- Scott, J.A.N. Adhesion and Disbonding Mechanisms of Asphalt Used in Highway Construction and Maintenance, Proc. Assoc. of Asphalt Paving Technolo_sts, Vol. 47, 1978, pp. 19-48.
- Shell, (1990), Shell Bitumen Hand Book, Shell Bitumen United Kingdom, Chertsey, Surrey.
- Sherwood, P.T., (1995), Alternative Materials in Road Construction, Thomas Telford Publication, London
- Siswosoebrotho, B. I., (1990), Durabilitas Campuran Aspal untuk bahan Perkerasan Jalan, KTTJ ke-4, Vol. 2, Pemeliharaan Jalan, Jakarta.
- Siegfried, Yamin H. R. Anwar, Silvester Fransisko (2014), Optimalisasi Pemanfaatan Agregat Lokal Kabupaten Talaud sebagai bahan Perkerasan Jalan, Kolokium Jalan dan Jembatan 2014, Puslitbang Jalan dan Jembatan, Bandung.
- Skog and Zube (1963), New Test Method for Studying the Effect of Water Action on Bituminous Mixtures, Proc. of the Ass. of Asphalt Paving Tech. Vol. 32.

- Stefan Gessler, 1983, Anti Stripping Agent of Fatty Amine : Function and Application, 4th Conf. Road Engineering Asociacion of Asia Australia, Jakarta.
- Suraatmadja D, Munaf DR, Lationo B, (1998), Copper Tailing Sebagai Bahan Substitusi Parsial Semen Untuk Material Beton.
- Taisei, (----), Nickel Slag Pavement, Product Literature Provided by Taisei Road Construction Co. Ltd., Tokyo, Japan.
- Tarrer, A. R., and Vinay Wagh, (1991), The Effect of the Physical and Chemical Characteristics of the Aggregate on Bonding, SHRP-A/UIR-91-507 Auburn University, Auburn, Alabama.
- TAI, (1989), The Asphalt Institute Handbook, Manual Series No. 4 (MS-4), USA.
- TAI, (1969), Construction Specification for Asphalt Concrete and Other Plant-Mix Types, Specification Series No.1. (SS-1).Maryland.
- TAI, (1996), "Superpave Mix design", SHRP - Superpave Manual Series No.2.
- TAI, (1993), "Mix design Methods – For Asphalt Concrete and Other Hot Mix
- TAI, 1981, Cause and Prevention of Stripping in Asphalt Pavements, Edtn. Series No. 10, The Asphalt Institute, College Park, MD, 1981.
- Tunncliffe, D. G and R. E. Root, (1984), Use of Antis-tripping Additive in Asphaltic Concrete Mixtures Laboratory Phase, National Cooperative Highway Research program, Report 274. TRB. Washington, D. C.
- Yamin R. Anwar, M. Isran Ramli, Alizar dan Bagus Setiadji, (2003), Durabilitas Campuran Aspal Panas Akibat Siklus Uap, PUSLITBANG JALAN, Jurnal No.2. Vol. 20. Juni 2003
- Yamin, H. R. Anwar, Herman dan Soedin Muchtar, (2005), Bitumen-Expanded-Tailing Untuk Campuran Beraspal, Prosiding Simposium VIII FSTPT, Unsri, Palembang
- Yamin H. R. Anwar, Iriansyah dan Agus Bari Sailendra., (2006), Pemanfaatan Pasir Kuarsa Kalimantan Tengah Sebagai Hot-Mix-Sand-Base-Asphalt, Konf Regional TEKNIK JALAN KE – 9, Juli 2006. Makassar.
- Yamin H. R. Anwar, Iriansyah dan Agus Bari Sailendra., (2008), Kinerja Lapangan Hot-Mix-Sand-Base-Asphalt, Konf Regional TEKNIK JALAN KE – 10, November 2008, Surabaya.
- Yamin H. R. Anwar dan Aschuri Imam, (2010), Pemanfaatan By Product-Waste Materials Pada Konstruksi Perkerasan Jalan, Simposium XIII FSTPT, Universitas Katolik Soegijapranata Semarang, 8-9 Oktober 2010
- Yamin H. R. Anwar dan Siegfried, (2012), Penanganan dan Pemanfaatan Agregat Lokal Substandar untuk Perkerasan Jalan, Puslitbang Jalan dan Jembatan, Informatika-Bandung.

LAMPIRAN-1 :
DOKUMENTASI KEGIATAN SURVEY LAPANGAN
MONITORING PENGGUNAAN AGREGAT
SUBSTANDAR DI SULAWESI UTARA



Gambar L-1.1. Lokasi Uji Coba Penggunaan Agregat Substandar di Sulawesi Utara



Gambar L-1.2. Lokasi Segmen Uji Coba CCA



Gambar L-1.3. Lokasi Segmen Uji Coba ECA



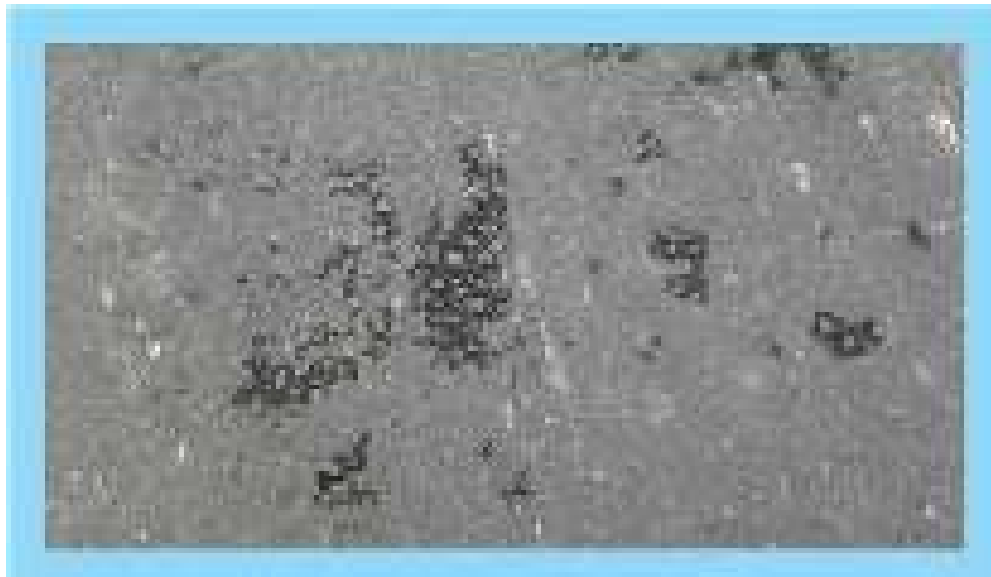
Gambar L-1.4. Lokasi Segmen Kontrol



Gambar L-1.5. Tekstur Permukaan Lapis Beraspal dengan CCA



Gambar L-1.6. Tekstur Permukaan Lapis Beraspal dengan ECA



Gambar L-1.7. Tekstur Permukaan Lapis Beraspal Kontrol



Gambar L-1.8. Pengambilan Benda Uji Inti pada Segmen Uji Coba CCA



Gambar L-1.9. Pengambilan Benda Uji Inti pada Segmen Uji Coba ECA



Gambar L-1.10. Penyaiapan Campuran Beraspal untuk Penutupan Lubang



Gambar L-1.11. Penutupan Lubang Bekas Pengambilan Benda Uji Inti



LAMPIRAN-2 : POSISI PENGAMBILAN SAMPEL

Kondisi	CGA			PCA		
	Ha	z	YABTA	z	YABTA	YABTA
1	1	0.00	$1.00(1+0.00)$	2.0	$1.0(1+0.00)$	$1.0(1+0.00)$
2	2.2	0.00	$1.0(1+1.00)$	1.0	$1.0(1+0.00)$	$1.0(1+0.00)$
3	0.7	0.00	$1.0(1+0.00)$	2.0	$1.0(1+0.00)$	$1.0(1+0.00)$
4	1.0	0.00	$1.0(1+0.00)$	0.7	$1.0(1+0.00)$	$1.0(1+0.00)$

Catatan: $Y =$ hasil dari $z \times 1 +$ hasil dari awal nomor awal, kemudian $z \times 1$

