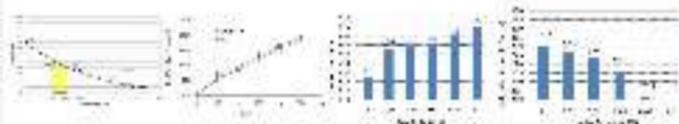


PENANGANAN DAN PEMANFAATAN AGREGAT LOKAL SUBSTANDAR UNTUK PERKERASAN JALAN

Pemertanian, sebagai produsen, akan dapat meningkatkan bahan standar yang berasal dari bahan alam secara langsung. Bahan tersebut digunakan sebagai bahan untuk lapis perkerasan jalan yang sangat erat dengan bahan pengikat, seperti aspal, beton, dan sebagainya. Agar masyarakat tidak dirugikan, pemerintah akan menetapkan (PKS) sebagai penggunaan bahan substandar (tingkat) untuk perkerasan. Namun demikian, untuk keperluan di lapangan, upaya-upaya agar bahan lokal dan substandar tersebut dapat dimanfaatkan perlu dilakukan.

Dalam kesempatan ini, salah satu hasil dari hasil penelitian dan pengembangan yang dilakukan oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Perkerasan Bank Pangsakawan tentang penggunaan agregat lokal sebagai alternatif bahan pengikat yang terdapat di Perkerasan Jalan di Wilayah, Rengas dan Pangsakawan.



PENANGANAN DAN PEMANFAATAN AGREGAT LOKAL SUBSTANDAR UNTUK PERKERASAN JALAN





**KATA SAMBUTAN
MENTERI PEKERJAAN UMUM**



Diiringi dengan rasa syukur kehadirat Allah SWT, saya menyambut baik atas penerbitan Naskah Ilmiah Bidang Jalan dan Jembatan. Melalui Naskah Ilmiah ini dapat diperoleh informasi bagi masyarakat, khususnya para pemangku kepentingan, perguruan tinggi dan para pengguna jalan.

Saya berharap kiranya Naskah Ilmiah ini dapat dijadikan sebagai sumber informasi dan pedoman atau acuan bagi para pemangku kepentingan dan pihak-pihak terkait lainnya, dalam melaksanakan pembangunan infrastruktur bidang jalan dan jembatan yang ramah lingkungan. Dengan Naskah Ilmiah ini, diharapkan para pengguna jalan dapat ikut berperan serta dalam pemanfaatan, pengoperasian dan pemeliharaan serta pengamanan infrastruktur jalan dan jembatan dengan baik, agar dapat meningkatkan manfaat pengelolaan jalan dan jembatan untuk kesejahteraan rakyat.

Jakarta, 28 November 2013
Menteri Pekerjaan Umum,

Djoko Kirmanto

**KATA SAMBUTAN
KEPALA BADAN LITBANG**



Berkat Rahmat Tuhan Yang Maha Esa dan kerja keras para Peneliti bidang Jalan dan Jembatan – Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan, telah diterbitkan Naskah Ilmiah. Naskah Ilmiah ini memberikan informasi dan data teknis kepada masyarakat, khususnya bidang jalan dan jembatan.

Semoga dengan terbit dan disebarluaskannya Naskah Ilmiah bidang Jalan dan Jembatan ini, Badan Litbang Pekerjaan Umum dapat memberikan andil penting dalam pembangunan infrastruktur jalan dan jembatan. Kepada Pusat Litbang Jalan dan Jembatan, kami sampaikan ucapan terima kasih atas upaya penelitian ini sehingga produk litbang jalan dan jembatan menjadi acuan yang dapat dimanfaatkan secara luas demi kesejahteraan rakyat dan pembangunan bangsa dan negara Indonesia.

Jakarta, 28 November 2013
Badan Litbang Pekerjaan Umum,

Ir. Grait Sutadi, M.Sc

KATA PENGANTAR
KEPALA PUSAT LITBANG JALAN DAN JEMBATAN



Pembangunan bidang jalan dan jembatan, merupakan salah satu tugas Kementerian Pekerjaan Umum, termasuk di dalamnya pengelolaan serta pengembangan jalan dan jembatan sebagai salah satu komponen yang hakiki. Oleh karena itu, pola pengembangan jalan dan jembatan terkait pada strategi yang berlingkup nasional maupun regional. Dalam program pemerintah diperlukan perhatian khusus tentang pengelolaan jalan dan jembatan, potensi lahan dan lingkungannya serta sumber daya manusia yang terkait dengan kuantitas dan kualitas jalan dan jembatan itu sendiri. Ketersediaan jalan dan jembatan untuk memenuhi kebutuhan di berbagai sektor masih menjadi masalah nasional dan menjadi tugas serta tanggung jawab kita bersama baik secara inter-Kementerian maupun antar-Kementerian. Dalam rangka menunjang program pemerintah dalam bidang IPTEK penyediaan jalan dan jembatan, PUSAT LITBANG JALAN DAN JEMBATAN, BADAN LITBANG PEKERJAAN UMUM, KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM telah berpartisipasi dalam kegiatan penelitian dan pengembangan dengan menerbitkan:

Naskah Ilmiah Bidang Jalan dan Jembatan

Atas segala bantuan dan kerja sama dari berbagai pihak, diucapkan banyak terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada Ketua Program Penelitian (KPP), Kelompok Kerja Penelitian (KKP) dan Ketua Paket Kerja (KPK) Bidang Bahan dan Perkerasan Jalan, Bidang Geoteknik Jalan, Bidang Jembatan dan Bangunan Pelengkap Jalan, Bidang Teknik Lalu Lintas dan Lingkungan Jalan.

Semoga Naskah Ilmiah Bidang Jalan dan Jembatan ini dapat bermanfaat bagi semua pihak dan menjadi bahan masukkan dalam menunjang program pemerintah untuk pengembangan pengelolaan jalan dan jembatan.

Jakarta, 28 November 2013
Kepala Pusat Litbang Jalan dan Jembatan,

Ir. Herry Vaza, M.Eng.Sc



PENANGANAN DAN PEMANFAATAN AGREGAT LOKAL SUBSTANDAR UNTUK PERKERASAN JALAN



Dr. Ir. H. R. Anwar Yamin, M.Sc. M.E.
Dr. Ir. Siegfried, M.Sc.



INFORMATIKA
Bandung

PENANGANAN DAN PEMANFAATAN AGREGAT LOKAL SUBSTANDAR UNTUK PERKERASAN JALAN

Desember 2012

Cetakan Ke-1, tahun 2012, (viii + 102 Halaman)

© Pemegang Hak Cipta Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan

No. ISBN : 978-602-1514-07-8
Kode Kegiatan : 02-PPK3-001107-H12
Kode Publikasi : IRE-TR-80/2012
Kata Kunci : Agregat, Substandar, Bahan Jalan, Sulawesi Utara, Papua

Penulis:

Dr. Ir. H. R. Anwar Yamin, M.Sc. ME

Dr. Ir. Siegfried, M.Sc.

Editor:

Dr. Djoko Widajat, M.Sc

Prof.(R) DR. Ir. M. Sjahdanulirwan, M.Sc.

Diterbitkan oleh:

Penerbit Informatika - Bandung

Anggota IKAPI Jabar Nomor : 033/JBA/99

Pemesanan melalui:

Perpustakaan Puslitbang Jalan dan Jembatan

info@pusjatan.pu.go.id

Kata Pengantar

Pembangunan konstruksi perkerasan jalan pada umumnya menggunakan bahan standar yang berasal dari bahan alam seperti batu dan pasir. Bahan tersebut digunakan sebagai bahan untuk lapis pondasi jalan yang tanpa atau dengan bahan pengikat atau untuk campuran beraspal. Agar biaya konstruksi dapat ditekan, penggunaan bahan setempat (lokal) ataupun penggunaan bahan substandar (*marginal*) perlu diprioritaskan. Namun demikian untuk itu perlu dilakukan upaya-upaya agar bahan lokal dan substandar ini dapat dioptimalkan penggunaannya.

Buku ini merupakan salah satu kontribusi dari hasil penelitian dan pengembangan yang dilakukan oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan dalam penyediaan teknologi penggunaan agregat substandar untuk perkerasan jalan khususnya yang terdapat di Propinsi Sulawesi Utara, Papua dan Papua Barat.

Semoga buku ini dapat bermanfaat bagi para praktisi, akademisi maupun pelaksana lapangan.

Bandung, Desember 2012



Daftar Isi

Kata Pengantar	v
Daftar Isi	vii
Daftar Tabel	ix
Daftar Gambar	x
BAB I AGREGAT.....	1
1.1. Agregat Alam Substandar	2
1.1.1. Batu Gamping	5
1.1.2. Batu Karang	7
1.1.3. Pasir Kuarsa	8
1.1.4. Pasir Laut	11
1.1.5. Slika Agregat	13
1.2. Tanah Laterit	20
BAB II MEKANISME DAN FAKTOR KEGAGALAN ADHESI ASPAL	
 AGREGAT.....	23
2.1. Mekanisme dan Kegagalan Adhesi pada Aspal Agregat.	23
2.1.1. Teori Detachment	24
2.1.2. Teori Displacement	25
2.1.3. Teori Konsep Reaksi Kimia	25
2.1.4. Teori Pengikisan Air	26
2.1.5. Teori Pembentukan Emulsi Secara Spontan ...	26
2.2. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Stripping	27
2.2.1. Faktor dari Sifat Agregat	27
2.2.2. Faktor dari Sifat Aspal	29
2.2.3. Faktor dari Tipe dan Sifat Campuran Beraspal	30
2.2.4. Faktor Lalu Lintas.....	30
2.2.5. Faktor Pelaksanaan.....	30
2.2.6. Faktor Lingkungan	31

BAB III	PENANGANAN AGREGAT SUBSTANDAR.....	33
3.1.	Penambahan Bahan Pengikat dan Penstabil.	33
3.1.1.	Penggunaan Modifier.....	34
3.1.2.	Metode Penyelimutan Agregat	40
3.2.	Efisiensi Penggunaan Agregat Substandar	43
3.3.	Studi Kasus Penggunaan Agregat Substandar	43
3.3.1.	Penanganan dengan Aditif Anti Stripping	47
3.3.2.	Penanganan dengan Precoated Emulsi.....	49
3.3.3.	Penanganan dengan Cement-Coated Agregat	53
BAB IV	PEMANFAATAN AGREGAT SUBSTANDAR.....	59
4.1.	Pemanfaatan Agregat Substandar Papua	59
4.1.1.	Pemanfaatan Batu Karang Kristalin Fak-fak dan Sorong untuk Campuran Beraspal	59
4.1.2.	Pemanfaatan Pasir Laut dari Kaimana untuk Latasir.....	71
4.1.3.	Penanganan Tanah Lateritis Merauke untuk Soil Cement	73
4.2.	Pemanfaatan Agregat Substandar Sulawesi Utara untuk Campuran Beraspal.....	80
BAB V	PENUTUP.....	91
	Daftar Pustaka	93
	Daftar Lampiran.....	101

Daftar Tabel

	Hal
Tabel 1.1. Gradasi yang Lapis Pondasi Pasir Aspal (TAI, 1969)	9
Tabel 1.2. Sifat Campuran Lapis Pondasi Pasir Aspal (TAI, 1969)	10
Tabel 1.3. Persyaratan Laterit untuk Bahan Jalan (DHV, 1984)	22
Tabel 3.1. Sifat Agregat dari Quarry di Sulawesi Utara	44
Tabel 3.2. Komposisi Kimia Agregat dari Quarry di Sulawesi Utara	44
Tabel 3.3. Hasil Uji Kelekatan Aspal Dengan dan Tanpa Aditif Anti Stripping	47
Tabel 3.4. Hasil Uji Kelekatan Aspal Pada ECA	51
Tabel 3.5. Hasil Uji Sifat Cement-Coated-Aggregate	54
Tabel 4.1. Komposisi Kimia Agregat dari Quarry Fak Fak dan Sorong Papua Barat	61
Tabel 4.2. Pengaruh Partikel Halus Aktif pada Kelekatan Agregat Quarry Batu Gantung	63
Tabel 4.3. Pengaruh Surfaktan pada Kelekatan Aspal Pen 60	64
Tabel 4.4. Pengaruh Surfaktan pada Sifat Aspal Pen 60	64
Tabel 4.5. Pengaruh Penambahan 0,01% Surfaktan pada Aspal Pen 60	68
Tabel 4.6. Sifat AC-BC dari Agregat Quarry Batu Gantung dengan Aditif Aspal	69
Tabel 4.7. Kandungan Garam pada Pasir Laut Kaimana Sebelum dan Setelah Pencucian	72
Tabel 4.8. Sifat Latasir dari Pasir Laut Kaimana	73
Tabel 4.9. Hasil Pengujian Tanah Merauke - Papua	74
Tabel 4.10. Komposisi Kimia Tanah Merauke - Papua	74
Tabel 4.11. Daya Dukung Tanah Hasil Stabilisasi dengan Semen	76
Tabel 4.12. Pengaruh Penambahan Kapur pada Tanah Merauke	78
Tabel 4.13. Pengaruh Penambahan Semen pada Stabilisasi Tanah-Kapur	79
Tabel 4.14. Komparasi Sifat Campuran AC-WC Agregat Substandar dan Standar	81

Daftar Gambar

	Hal
Gambar 1.1	Beberapa Jenis Batu Gamping 7
Gambar 1.2	Pengaruh Perendaman Terhadap Kadar Garam (Widajat, 2011) 13
Gambar 1.3	Slika Agregat Jenis Breksi 14
Gambar 1.4	Slika Agregat Jenis Konglomerat 15
Gambar 1.5	Slika Agregat Jenis Rijang, Kelompok Badded Chert 16
Gambar 1.6	Slika Agregat Jenis Rijang, Kelompok Nodular Chert 19
Gambar 1.7	Slika Agregat Jenis Batu Pasir 19
Gambar 1.8	Slika Agregat Jenis Shale 20
Gambar 3.1	Ilustrasi Tiga Fungsi Utama Fatty Amine dan Turunannya 37
Gambar 3.2	Contoh Agregat dari Quarry di Sulawesi Utara 46
Gambar 3.3	Tipikal Visualisasi Kelekatatan pada ECA 51
Gambar 3.4	Visualisasi Kelekatatan Aspal pada ECA Setelah Perendaman 7x 24 jam 52
Gambar 3.5	Tipikal Penampakan Fisik CCA 55
Gambar 3.6	Tipikal Visualisasi CCA-Setelah Perendaman 7 x 24 Jam dan Pemanasan 56
Gambar 3.7	Pengaruh CCA pada Perubahan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat 57
Gambar 3.8	Hasil Simulasi Pengaruh Pemanasan dan Putaran pada Proses Pengeringan Agregat 58
Gambar 4.1	Pengaruh Surfaktan terhadap Kekerasan Aspal 65
Gambar 4.2	Pengaruh Surfaktan terhadap Kekentalan Aspal 65
Gambar 4.3	Pengaruh Surfaktan terhadap LoH Aspal 66
Gambar 4.4	Pengaruh Surfaktan terhadap Titik Lembek Aspal 66
Gambar 4.5	Contoh Tanah dari Merauke - Papua 74
Gambar 4.6	Kadar Semen Vs CBR Tanah Lateritis Merauke 76
Gambar 4.7	Kadar Semen Vs Kuat Tekan Bebas Tanah Lateritis Merauke 77
Gambar 4.8	Pengaruh Penambahan Kapur Penurunan IP Tanah Selmat Munting 79
Gambar 4.9	Kekuatan Campuran dari Agregat Asli Lokon, Pen 60 dan Anti Stripping 82
Gambar 4.10	Kekuatan Campuran dari Coated Agregat Lokon dan Pen 60 83
Gambar 4.11	Pengaruh Cement Coated dan Anti Stripping pada Agregat Lokon pada Stabilitas Ssa Campuran 84
Gambar 4.12	Pengaruh Anti Stripping dan Cement Coated pada Durabilitas Campuran dari Agregat Substandar Lokon terhadap Skus Uap 86
Gambar 4.13	Kecenderungan Penurunan Stabilitas Ssa Campuran dari Agregat Asli Lokon terhadap Skus Uap 87
Gambar 4.14	Hasil Pengujian ITSR 88

Bab 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. 19985).

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 (TAI, 1993).

Berdasarkan sumbernya, agregat dapat dikelompokkan dalam tiga kelompok, yaitu agregat alam (*natural aggregates*), agregat buatan (*artificial aggregates*) dan agregat hasil pemrosesan (*by-product aggregates*). Agregat alam adalah agregat yang secara alamiah terdapat di alam. Agregat ini dapat digunakan sebagai bahan perkerasan jalan dengan atau tanpa pemrosesan. Agregat buatan adalah jenis agregat yang dibuat melalui proses kimia atau thermal, contoh dari agregat jenis ini adalah batu bata, alwa dan lain sebagainya. Agregat hasil pemrosesan adalah agregat yang dihasilkan sebagai produk sampingan (*waste materials*) dari suatu proses industri. Contoh dari agregat jenis ini adalah abu terbang (*fly ash*), slag dan lain sebagainya.

Seperti telah diuraikan di atas bahwa semua agregat dapat digunakan sebagai bahan jalan sejauh memenuhi spesifikasi. 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 (TAI, 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*).

1.1. Agregat Alam Substandar

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

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

Seperti telah disebutkan di atas bahwa ada dua sifat penting agregat yang harus diketahui SHRP (TAI, 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.

Agregat yang digunakan sebagai bahan jalan diharuskan memenuhi sifat-sifat tertentu yang disyaratkan dalam spesifikasi. Selanjutnya agregat memenuhi sifat diistilahkan sebagai agregat standar. Namun tidak semua agregat memenuhi kedua sifat tersebut di atas, terutama *source properties*-nya. Agregat yang tidak memenuhi sifat-sifat yang disyaratkan dalam spesifikasi yang digunakan disebut sebagai agregat substandar atau agregat marjinal.

Secara umum, agregat substandar atau agregat marjinal adalah agregat yang umumnya tidak digunakan untuk keperluan tertentu karena tidak memiliki atau memenuhi sifat-sifat yang disyaratkan dalam spesifikasi, tetapi agregat ini masih memiliki kemungkinan untuk bisa digunakan dengan sukses dengan cara memodifikasi desain perkerasan standar dan prosedur konstruksi (DoT, 1998) ataupun dengan mencampur agregat ini dengan bahan pengikat

sehingga membentuk campuran yang dapat terikat kuat oleh bahan pengikat.

Agregat substandar dapat memiliki satu atau lebih dari kekurangan sifat dari sifat yang diinginkan. 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 (MicroDuval abrasi), *impact*, slaking atau siklus basah-kering, ukuran pori dan kekekalan (*soundness*). Dia juga menyatakan bahwa uji abrasi dengan mesin Los Angeles dan uji kekekalan bentuk terhadap sulfat (*sulphate soundness*) tidak berhubungan dengan kinerja dari agregat tersebut. Sebaliknya Wu et al., (1998) mengatakan bahwa uji abrasi dan kekekalan terhadap magnesium sulfat

adalah pengujian yang paling cocok untuk mengetahui kinerja *weathering*-agregat untuk campuran beraspal.

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).

1.1.1. Batu Gamping

Batu gamping (*limestone*) adalah batuan sedimen organik yang terbentuk dari akumulasi kerang, karang dan alga. Unsur utama batu kapur adalah kalsium karbonat ($CaCO_3$) dalam bentuk mineral kalsit. Beberapa jenis batu kapur memiliki kekuatan yang tinggi, padat dengan ruang pori sedikit.

Ada banyak nama yang berbeda yang umumnya digunakan berkenaan dengan batu gamping. Nama-nama ini diberikan berdasarkan cara batu ini terbentuk, penampilan atau komposisi dan faktor lainnya (Gambar 1.1). Beberapa nama tersebut antara lain adalah :

1. Kapur

Adalah jenis batu gamping yang lunak dengan tekstur yang sangat halus yang biasanya berwarna putih atau abu-abu terang. Warna ini berasal dari kulit sisa-sisa organisme laut mikroskopis seperti foraminifera atau sisa-sisa kapur dari berbagai jenis ganggang laut.

2. Coquina

Adalah batu gamping dengan sifat sementasi yang rendah yang umumnya terdiri pecahan-pecahan kulit kerang. Batuan ini sering terbentuk di pantai di mana akibat gelombang laut, batuan ini akan pecah

membentuk fragmen-fragmen kulit kerang dengan ukuran yang relatif seragam.

3. Fosil Kapur

Adalah batu gamping yang secara jelas banyak mengandung fosil. Fosil kerang dan kerangka dari organisme lainnya adalah bahan utama yang membentuk batu gamping.

4. Kapur Oolitic

Adalah batu gamping yang unsur utamanya adalah oolites, yaitu butiran-butiran kecil kalsium karbonat yang terbentuk oleh pengendapan (*presipitation*) konsentris kalsium karbonat pada sebutir pasir atau fragmen *shell*.

5. Travertine

Adalah batu gamping yang terbentuk akibat penguapan dan pengendapan. Batuan ini sering terdapat dalam sebuah gua sehingga menghasilkan formasi seperti stalaktit, stalakmit dan *flowstone*.

6. Litograf Kapur

Adalah batu gamping yang padat dengan permukaan yang halus, berukuran seragam yang membentuk permukaan yang sangat halus dan butiran pada permukaannya sangat mudah untuk dipisahkan. Disebut litograf, karena batu ini sering digunakan pencetakan (litografi) gambar, relief bentuk-bentuk yang diinginkan.

7. Tufa

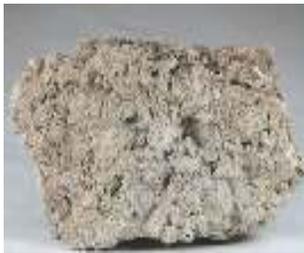
Adalah batu gamping yang dihasilkan oleh pengendapan air kalsium yang bermuatan (*calcium-ioden waters*) di sumber air panas, tepi danau atau lokasi lainnya.



a. Batu kapur



b. Batu Coquina



c. Batu Tufa



d. Fosil Kapur

Gambar 1.1. Beberapa Jenis Batu Gamping

1.1.2. Batu Karang

Batu karang termasuk batuan sedimen atau endapan yang umumnya terdapat di sekitar kepulauan dan pantai yang temperatur air lautnya tinggi sepanjang tahun. Batu karang dapat berbentuk masif (batu gunung) hingga berbentuk terumbu karang (*coral reef*) yang bersifat porus. Batu karang umumnya berupa batu kapur karena agregat yang berasal dari batuan ini memiliki kandungan kimia berupa CaO yang paling besar sehingga masuk dalam kelompok batuan kapur. Batu karang yang berupa batu kapur yang masif secara geologi disebut sebagai batuan kapur kristalin. Sedangkan batu karang terumbu bersifat ambyar bila dipecahkan, oleh sebab itu batuan seperti ini disebut sebagai batuan kapur koral.

1.1.3. Pasir Kuarsa

Pasir kuarsa (*siliceous agregat*), merupakan agregat dari jenis batuan metamorfosa yang apabila akan digunakan sebagai bahan perkerasan jalan harus mendapatkan perhatian khusus karena agregat ini memiliki sifat kelekatan terhadap aspal yang kurang baik (*stripping*). Untuk campuran beraspal, pasir kuarsa kurang cocok bila dicampur dengan bahan pengikat aspal yang bermuatan ion positif, hal ini disebabkan karena pasir kuarsa umumnya juga bermuatan ion negatif (TAI, MS-4, 1989). Karena muatannya ini, pasir kuarsa dapat diikat dengan aspal emulsi yang bermuatan positif (*cationic emulsified asphalt*). Tetapi dari beberapa *literature* diketahui bahwa ada pula deposit jenis pasir kuarsa yang bersifat negatif, dimana kandungan ion negatif sama banyak dengan positifnya. Jenis pasir kuarsa seperti ini apabila akan digunakan untuk campuran beraspal maka bahan pengikat (*binder*) yang digunakan dapat dari jenis aspal keras.

Teknologi pembuatan jalan dengan menggunakan pondasi pasir kuarsa dengan pengikat aspal emulsi (*sand base emulsion*) telah lama dikembangkan di Venezuela, Amerika Selatan. Pada proyek percobaan ini, lapisan pondasi pasir kuarsa yang bersifat non plastis (*nonplastic silicoaluminic sand*) dengan pengikat aspal emulsi (*sand base emulsion*) yang diletakan langsung di atas tanah dasar dengan ketebalan padat antara 20 – 25 cm dan pada bagian atasnya dilindungi dengan lapisan penutup berupa *slurry seal*. Dari hasil percobaan ini diketahui bahwa lapisan pondasi pasir aspal dapat memberikan kinerja yang cukup baik sebagai lapis pondasi perkerasan jalan.

The Asphalt Institute telah mengeluarkan spesifikasi yang dapat digunakan sebagai acuan untuk pembuatan

lapis pondasi pasir-aspal, yaitu spesifikasi yang tertuang dalam *Specification Series No. 1* (TAI, 1969). Dalam spesifikasi ini, gradasi agregat untuk campuran lapis pondasi pasir dengan bahan pengikat aspal panas (*hot mix sand asphalt base*) seperti ditunjukkan pada Tabel 1.1. Sedangkan sifat campuran yang disyaratkan sebagai lapis pondasi seperti ditunjukkan pada Tabel 1.2.

Di Indonesia, deposit pasir kuarsa umumnya banyak terdapat di daerah Kalimantan Tengah. Di daerah ini, deposit agregatnya termasuk dalam deposit batuan sedimen jenis alluvium yang berupa pasir kuarsa, kerikil dan bongkah yang berasal dari komponen batuan malihan, batuan bersifat granit dan pasir lepas. Pada daerah ini, deposit pasir kuarsa dapat ditemukan di banyak tempat, antara lain adalah Tumbang Samba, Tumbang Talaken, Bukit Liti, Kasongan, Gunung Batu, Sepang dan lain sebagainya. Dari segi kuantitas, pasir kuarsa dari daerah-daerah ini layak untuk tambang dan dari segi kualitas dapat digunakan untuk lapis pondasi pasir.

Tabel 1.1. Gradasi yang Lapis Pondasi Pasir Aspal (TAI, 1969)

Ukuran Ayakan (mm)	Berat Lolos (%)
19	100
9,5	85 - 100
Ukuran Ayakan (mm)	Berat Lolos (%)
2,36	60 – 85
0,600	25 - 50
0,075	0 - 15

Tabel 1.2. Sifat Campuran Lapis Pondasi Pasir Aspal (TAI, 1969)

Sifat-sifat Campuran	Syarat
Penyerapan Aspal (%)	1,7
Jumlah tumbukan per bidang	50
Rongga dalam campuran (%)	3,0 - 18,0
Rongga dalam Agregat (VMA) (%)	-
Rongga terisi aspal (%)	-
Stabilitas Marshall (kg)	Min. 200
Kelelehan (mm)	Min. 2
Marshall Quotient (kg/mm)	-
Stabilitas Sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60°C	Min. 80

Seperti halnya di Venezuela, di Indonesia penggunaan pasir kuarsa dengan pengikat aspal emulsi sebagai lapis pondasi juga sudah pernah dilaksanakan secara terbatas, yaitu pada ruas jalan antara Kasongan - Palataran di Kalimantan Tengah. Dari hasil pengujian laboratorium dan pengamatan lapangan selama dua tahun campuran ini menunjukkan kinerja yang cukup baik.

Penggunaan pasir kuarsa campuran panas sebagai lapis pondasi (*Hot Mix Sand-Base-Asphalt*, HMSBA) dengan bahan pengikat aspal keras juga sudah dilakukan di Indonesia, yaitu pada ruas jalan antara Bukit Liti – Bawan sepanjang lebih kurang 3 km (Iriansyah, 2006). Dari hasil pengamatan lapangan pada lapisan HMSBA yang berumur 18 bulan, diketahui bahwa adanya peningkatan kepadatan lapangan (2,24%) dan penurunan persentase rongga dalam campuran sebesar 1,86%. Kerusakan

seperti alur, retak atau deformasi pada lapisan *Hot Rolled Sheet* (HRS) yang dihampar diatas HMSBA relatif tidak terdapat pada umur pelayanan ini. Dengan kondisi tersebut, nilai IRI (*International Roughness Index*) yang dihasilkan berada dalam rentang (1,57- 1,59) m/km. Secara struktural, nilai rata-rata dari lendutan struktur perkerasan tersebut adalah 0,40 mm. Dengan kondisi dan nilai lendutan tersebut serta dengan memperhatikan kondisi lalu lintas yang ada, umur pelayanan ruas jalan ini diperkirakan dapat mencapai 6,5 tahun; 1,5 tahun lebih panjang dari umur rencananya (Yamin et al. 2006).

1.1.4. Pasir Laut

Indonesia adalah negara kepulauan sehingga pasir laut banyak terhampar di tepi pantai dan di daerah bekas pantai (di propinsi Papua Barat, pasir laut tidak saja terdapat di sepanjang tepi pantai tetapi juga di daerah pergunungan). Pada lokasi-lokasi yang tidak mengganggu lingkungan pasir ini mungkin dapat dimanfaatkan sebagai bahan jalan.

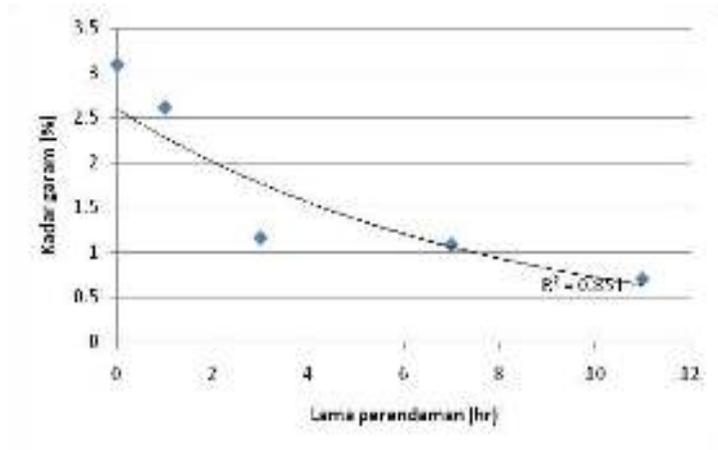
Berdasarkan mineralnya, pasir laut dapat diklasifikasi ke dalam 3 jenis utama, yaitu : pasir mineral, pasir biogenik dan pasir mineral-biogenik. Pasir mineral terdiri dari butiran mineral dan atau pecahan batu. Tipe pantai dimana jenis pasir laut ini banyak dijumpai adalah pantai dengan gelombang besar, yang membatasi pertumbuhan terumbu karang di dekatnya. Komponen umum penyusun pasir mineral ini adalah butiran kuarsa yang sangat umum dijumpai dan sangat tahan terhadap cuaca; butiran feldspar yang berwarna pink, coklat muda sampai kuning; butiran magnetite yang berwarna hitam dan bermagnet; dan butiran hornblende yang berwarna hitam dan berbentuk seperti prisma.

Sedangkan pasir biogenik terdiri dari *coral*, alga merah, skeleton *crustacean*, dan cangkang kerang. Pantai dimana banyak terdapat terumbu karang merupakan tempat dimana pasir laut jenis ini terdapat. Komponen yang biasanya dijumpai pada pasir ini adalah *coral* yang dapat diidentifikasi dari banyaknya lubang berbentuk bulat; pecahan cangkang yang dapat berasal dari kima, remis, dan kerang dengan warna yang bervariasi; dan duri bulu babi yang berbentuk batang atau pipa dengan warna yang bervariasi pula.

Pasir laut, apapun jenisnya, tidak dapat digunakan secara langsung sebagai bahan campuran beraspal karena kandungan garam yang terdapat didalamnya dapat merusak atau aspal yang berfungsi sebagai *binder* (bahan pengikat) dalam campuran ini. Selain itu karena sifatnya yang non plastis dan bentuknya yang bulat (*rounded*), pasir inipun seyogyakan tidak dapat digunakan pula sebagai agregat halus untuk lapis pondasi baik untuk lapis pondasi Klas A apalagi untuk lapis pondasi Klas B.

Untuk dapat digunakan sebagai agregat halus dalam campuran beraspal baik jenis Lataston (Lapis Tipis Aspal Beton) maupun Laston (Lapis Aspal Beton) dengan jumlah pemakaian maksimum 15% atau digunakan sebagai 100% agregat dalam campuran beraspal jenis Latasir, maka kandungan garam dalam pasir laut harus ditiadakan atau diturunkan mendekati nilai nol. Hasil penelitian yang dilakukan oleh Widayat (2011) menunjukkan bahwa kadar garam dalam pasir laut dapat diturunkan dengan cara pencucian. Dengan menggunakan pasir laut dari Pangandaran yang memiliki kadar garam sebesar 3,09%, waktu pencucian yang dibutuhkan untuk menurunkan kadar garam yang terkandung dalam pasir laut tersebut menjadi nol atau

mendekati nilai nol, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.2, adalah selama 11 hari (Widayat, 2011). Dengan menggunakan pasir laut dari Kaimana, Yamin (2011) tidak mendapatkan hubungan antara penurunan kadar garam dengan lamanya waktu pencucian baik dengan ataupun tanpa pengadukan.



Gambar 1.2. Pengaruh Perendaman Terhadap Kadar Garam (Widayat, 2011)

1.1.5. Silika Agregat

Silika agregat dapat secara alamiah terdapat di alam sebagai batuan sedimen atau dapat juga merupakan agregat hasil olahan dari limbah industri (agregat buatan). Silika agregat adalah jenis agregat yang kandungan mineralnya didominasi oleh unsur silika atau siliko dioksida (SiO_2).

Beberapa jenis agregat yang dapat dikategorikan sebagai silika agregat alami antara lain adalah breksi (*breccia*), konglomerat (*conglomerate*), rijang (*kert*), batu pasir (*sandstone*), shale dan lain sebagainya. Beberapa jenis silika agregat yang dapat dikategorikan

sebagai silika agregat buatan antara lain adalah *bottom ash*, klingker dan lain sebagainya.

A. Breksi

Breksi adalah batuan yang terbentuk dari sementasi batuan kasar runcing dan menyudut dengan ukuran 2 mm sampai 256 mm (Gambar 1.3). Breksi biasanya terbentuk pada bagian dasar lereng gunung yang mengalami sedimentasi.

B. Konglomerat

Silika agregat jenis konglomerat memiliki rupa yang mirip dengan breksi, yang membedakan agregat jenis ini dengan breksi adalah bentuk batuan penyusunnya. Pada konglomerat, batuan penyusunnya berbentuk bulat atau hampir bulat (Gambar 1.4). Bentuk bulat ini terjadi karena adanya proses pergerakan pada material-material yang menyusun bagian-bagian tersebut.



Gambar 1.3. Silika Agregat Jenis Breksi



Gambar 1.4. Silika Agregat Jenis Konglomerat

C. Rijang

Rijang (*chert*) adalah salah satu jenis dari batuan sedimen yang kaya unsur mikro kristalin silika cryptocrystalline atau microfibrous batuan sedimen yang mungkin mengandung fosil-fosil kecil. Warna rijang sangat bervariasi (dari putih menjadi hitam), tapi paling sering ditemui adalah rijang yang berwarna abu-abu, hijau coklat dan coklat keabu-abuan. Warna yang muncul pada rijang tergantung pada unsur dominan yang terdapat dalam rijang tersebut.

Berdasarkan kenampakannya secara kasar (*gross morphology*), silika agregat jenis rijang dapat dikelompokkan kedalam dua tipe, yaitu : *bedded chert* dan *nodular chert*.

- ***Bedded Chert***

Rijang Bedded, juga disebut sebagai rijang pita (*ribbon chert*) yang terdiri dari lapisan rijang interbedded dengan lapisan tipis serpih. Umumnya rijang pita terbuat dari sisa-sisa organisme yang mengandung silika seperti diatom, radiolaria, atau spikula spons.

Rijang pita terjadi pada *band* individu atau lapisan mulai dengan ketebalan dari satu sampai beberapa sentimeter atau bahkan puluhan meter (Gambar 1.5). Rijang pita sangat berkaitan dengan batuan vulkanik terutama dengan arus vulkanik bawah laut (*submarine volcanic flows*) dan *deep-water mudrocks*. Jenis-jenis agregat yang masuk dalam kelompok *bedded chert* antara lain adalah diatomaceous chert, radiolarian chert, spicular chert dan *few or non fossiliferous chert*.



Gambar 1.5. Silika Agregat Jenis Rijang, Kelompok Badded Chert

- **Diatomaceous Chert**

Diatomaceous chert tersusun oleh lapisan-lapisan dan lensa diatomite. Diatomaceous chert tersusun oleh semen silika padat atau

massa dasar berupa diatomite yang memadat sehingga masuk dalam golongan *siliceous rocks*. Kenampakan khas dari diatomite chert adalah warnanya yang terang, butirannya yang halus dan mudah pecah. Lapisan-lapisan dari diatomaceous *rocks* dapat membuat lapisan dengan ketebalan beberapa ratus meter yang membentuk *sedimentary sequence*. Contoh dari batuan ini dapat ditemukan di California, *Miocene Monterey Formation*.

- **Radiolarian Chert**

Radiolarian chert tersusun oleh lapisan-lapisan yang teratur. Massa dasar radiolarian chert berupa radiolarite yang berukuran mikrokristalin, bersemen siliceous yang kompak. Radiolarite merupakan batuan yang mempunyai butiran yang halus. Radiolarian chert biasanya berasosiasi dengan tuff, batuan vulkanik basa seperti basalt bantal, batu gamping pelagic, dan batu pasit turbidit sehingga dapat digunakan sebagai indikator laut dalam. Beberapa radiolarian chert juga dapat berasosiasi dengan batu gamping micritic dan batuan lain yang terdeposisi pada kedalaman 200 – 100 m

- **Spicular Chert**

Spicular chert mempunyai struktur yang keras dan padat. Spicular chert terbentuk di laut dan dapat berasosiasi dengan batu pasir glauconitic, lanau, dolomites, batu gamping argaillaceous dan phosphorites. Spicular chert tidak berasosiasi dengan batuan vulkanik. Spicular chert umumnya terendapkan di laut dangkal (beberapa ratus meter).

- **Few or Non Fossiliferous Chert**

Lapisan-lapisan pada chert ada yang sedikit mengandung siliceous organisme dan ada yang tidak sama sekali. Organisme siliceous yang terdapat di dalam chert dapat diamati melalui pengamatan mikroskopik. Few fossiliferous chert mempunyai tekstur yang dianalogikan seperti batu gamping dengan komposisi kaya akan unsur besi yang terkandung oleh hematite, magnetite, siderite, ankerite atau yang miskin alumina kaya silika.

Sedangkan untuk yang tidak mengandung skeletal atau Non Fossiliferous Chert, memiliki kesamaan dengan radiolarian chert, baik secara megaskopis maupun secara litologinya. Non Fossiliferous Chert mempunyai ukuran mikrokristalin dan bersemen siliceous yang kompak.

- **Nodular Chert**

Nodular chert berbentuk subspheroidal, tersusun atas lapisan-lapisan yang tidak teratur dengan ukuran mencapai puluhan centimeter (Gambar 1.6). Nodular chert pada umumnya tidak memiliki struktur internal, akan tetapi beberapa nodular chert tersusun oleh fosil yang kaya akan silika atau memiliki struktur *relict* seperti bedding chert. Nodular chert memiliki warna hijau gelap hingga hitam, tergolong ke dalam batuan karbonatan dan cenderung berbentuk paralel bedding.

Nodular chert biasanya berasosiasi dengan batu gamping dan dolomite karena umumnya terbentuk dari ubahan mineral karbonat dan fosil serta dapat pula berupa hasil ubahan dari

anhydrite. Jarang sekali agregat jenis ini ditemukan berasosiasi dengan batu pasir, batu lanau, sedimen lacustrine dan evaporites.



Gambar 1.6. Silika Agregat Jenis Rijang, Kelompok Nodular Chert

D. Batu Pasir

Batu pasir atau *sandstone* (Gambar 1.7) adalah batuan yang terbentuk karena proses sementasi butiran-butiran pasir (ukuran 0.0625 mm - 2 mm) yang terbawa oleh arus sungai, ombak, dan angin hingga akhirnya terakumulasi pada suatu tempat. Umumnya batu pasir terbentuk dari unsur kuarsa (*mineral silicate*) dan atau feldspar yang tersementasikan oleh kalsite (*calcite*), lempung (*clays*) ataupun silika (*silica*). Warna dari batu pasir bervariasi, tetapi warna umum dari batu ini adalah coklat, kuning, merah, abu-abu, merah jambu, putih dan hitam.



Gambar 1.7. Silika Agregat Jenis Batu Pasir

E. Shale

Batuan jenis ini (Gambar 1.8) adalah salah jenis dari batuan sedimen dengan mineral berupa lempung, kuarsa dan kalsit. Shale memiliki tekstur yang halus dengan ukuran butiran pembentuk antara 1/16 mm - 1/256 mm. Ciri utama dari shale adalah adanya bidang pecah di sepanjang lapisan yang tipis yang tebalnya kurangnya dari 1 cm. Shale dibedakan menjadi 2 tipe, yaitu batu lempung (batu serpih) dan batu lanau. Batu lempung bersifat mudah membelah dan plastis bila terkena panas, sedangkan batu lanau mempunyai butiran berukuran antara batu pasir dan batu lempung atau batu serpih. Selain itu, dikenal juga *oil shale*, *gas shale* dan lain sebagainya, yaitu shale yang sudah disusupi oleh minyak mentah, gas ataupun aspal.



Gambar 1.8. Silika Agregat Jenis Shale

1.2. Tanah Laterit

Tanah laterit adalah tanah hasil proses oksidasi yang terjadi pada daerah beriklim tropis. Batuan asal secara kimiawi berubah sifatnya karena adanya penambahan besi dan aluminium oksida

dan pelepasan kadar silika. Gambaran yang paling menonjol dari laterit yaitu adanya sesquioxides (oksida besi; Fe_2O_3 dan aluminium; Al_2O_3) dibandingkan dengan komponen kimia lainnya. Laterit mungkin berbentuk tanah lempung yang tidak keras atau dapat juga berbentuk menyerupai batu atau kerikil yang keras.

Pada umumnya, dalam kondisi oksidasi iklim tropis, tanah cenderung memerah, tetapi tanah yang warnanya merah tidak selalu mengandung bahan yang bersifat laterit (Charman, 1988). Menurutnya, laterit dalam semua bentuk adalah bahan alam yang lapuk yang sangat dipengaruhi oleh iklim. Laterit dibentuk oleh adanya konsentrasi oksida hidrat besi atau aluminium. Berdasarkan kadar hidroksidanya, Lacroix (1913) membagi laterit dalam tiga kelompok, yaitu: laterit sungguhan, silika laterit dan lempung laterit. Pengelompokan ini diperkuat lagi oleh Martin et al. (1927) dengan mengelompokkan laterit berdasarkan silika-aluminanya. Menurut Martin et al (1927) dan Alexander et al. (1962) kelateritan suatu tanah ditentukan oleh besarnya rasio silika-sesquioxide (R_s), yaitu :

$$R_s = \frac{SiO_2}{(Al_2O_3 + Fe_2O_3)} \dots\dots\dots(1)$$

Bila :

$R_s < 1,33$	Laterit
$1,33 < R_s < 2,00$	Lateritis
$R_s > 2,00$	Non-laterit

Kekakuan yang tinggi yang dihasilkan oleh laterit disebabkan karena adanya sifat sementasi dan bentuk hidrat pada kondisi pemampatan di lapangan (Gidigasu et al. 1988), akan tetapi sifat kekakuan ini sangat tergantung pada ukuran partikel, sifat dan kekakuan partikel kerikil, kepadatan tanah dan kondisi lingkungan setempat. Dengan alasan ini, walaupun tidak semua jenis laterit dapat digunakan sebagai bahan untuk konstruksi

jalan, namun di Afrika, Asia dan Amerika Selatan secara tradisional tanah laterit telah digunakan sebagai bahan jalan.

Menurut Charman (1988), dengan tidak memberikan perawatan (*untreated*) tanah laterit dapat digunakan untuk jalan minor atau untuk pondasi bawah atau atas pada jalan dengan lalu lintas tidak lebih dari 3×10^6 ESA. Sedangkan menurut DHV (1984), bila laterit akan digunakan sebagai bahan jalan maka harus memenuhi sifat seperti yang diberikan pada dalam Tabel 1.3. Untuk meningkatkan kinerja tanah laterit agar dapat digunakan sebagai bahan untuk konstruksi perkerasan, maka tanah ini dapat distabilisasi.

Tabel 1.3 Persyaratan Laterit untuk Bahan Jalan (DHV, 1984)

Spesifikasi	Bahan Pondasi	
	Bawah	Atas
Batas Cair (LL)	$\leq 50\%$	$\leq 50\%$
Plastis Indeks (PI)	$\leq 25\%$	$\leq 25\%$
Kepadatan (modifikasi Proktor)	$\geq 1,9 \text{ t/m}^3$	$\geq 1,9 \text{ t/m}^3$
CBR rendaman (4 hari)	$> 30\%$	$> 80\%$

Bab 2

MEKANISME DAN FAKTOR KEGAGALAN ADHESI ASPAL AGREGAT

2.1. Mekanisme dan Kegagalan Adhesi pada Aspal-Agregat

Kekuatan campuran beraspal berasal dari tahanan kohesi aspal-agregat, dan *interlocking* dan tahanan gesek agregat. Tahanan kohesi aspal-agregat dapat terjadi dengan sempurna apabila adanya ikatan yang baik antara aspal dengan agregat (Majidzadra et al., 1968). Bila ikatan ini baik, maka kegagalan pada campuran beraspal akan terjadi pada aspalnya. Sebaliknya bila tahanan ini jelek, pada kegagalan akan terjadi pada *interface* aspal agregat dan mungkin ini dapat menyebabkan kegagalan dini pada campuran beraspal. Ikatan aspal-agregat dapat rusak ataupun putus sebagai akibat dari pengaruh air. *Stripping* adalah permasalahan pada campuran atau lapis beraspal yang diakibatkan oleh air. *Stripping* dapat diartikan sebagai pemisahan film aspal dari permukaan agregat karena pengaruh air.

Ada beberapa teori yang menjelaskan mekanisme dan kegagalan (*failure*) adhesi aspal terhadap agregat sehubungan

ketahanannya terhadap pengaruh air (Tarrer et al. 1991), yaitu *detachment*, *displacement*, teori konsep reaksi kimia (*the chemical reaction concept*), teori pengikisan oleh air (*hydraulic scouring*) dan teori pembentukan emulsi secara spontan (*spontaneous emulsion formation*). Kelima mekanisme ini dapat terjadi sendiri-sendiri ataupun bersamaan yang menyebabkan kegagalan adhesi pada aspal-agregat.

2.1.1. Teori Detachment

Detachment adalah pemisahan film aspal dari permukaan agregat oleh lapisan tipis air tanpa adanya pemutusan yang jelas dalam film aspal itu sendiri. Bila terjadi *detachment*, film aspal akan tersapu bersih dari permukaan agregat. Hal ini menunjukkan hilangnya semua daya ikat (adhesi) aspal (TAI, 1981). *Detachment* disebabkan karena gejala termodinamika yang berhubungan dengan energi permukaan bahan yang bersangkutan, yaitu aspal dan agregat. Tegangan permukaan aspal jauh lebih besar dari tegangan permukaan air, sehingga air memiliki kemampuan pembasahan (*wetability*) terhadap agregat yang lebih besar dari pada aspal (Majidzadra et al., 1968). Oleh sebab itu, dalam sistem tiga phase : agregat, aspal dan air, keberadaan air akan menurunkan energi permukaan sistem tersebut hingga terbentuk kondisi termodinamika yang stabil pada energi permukaan yang minimum. Selain itu, agregat umumnya memiliki muatan listrik dan aspal memiliki aktivitas polar yang kecil. Oleh sebab itu, ikatan terjadi antara aspal dengan agregat disebabkan oleh gaya dispersi yang relatif lemah. Sebaliknya air memiliki aktivitas polar yang besar sehingga air akan menyerang pada agregat dengan gaya dispersi yang lebih kuat (RRL, (1962).

2.1.2. Teori Displacement

Displacement adalah *stripping* yang disebabkan oleh masuknya (penetrasi) air ke permukaan agregat melalui rekahan film aspal (TAI, 1981, Majidzadra et al., 1968, Fromm, 1974 dan Scott 1978). *Stripping* oleh *displacement* ini dapat pula dengan mudah terjadi hanya akibatnya adanya lubang kecil pada film aspal sebagai akibat dari adanya debu (clay) yang menempel pada permukaan agregat sebelum agregat tersebut diselimuti oleh aspal (Fromm, 1974). *Displacement* dapat juga disebabkan karena penyelimutan aspal ke permukaan agregat yang tidak sempurna (TAI, 1981, Majidzadra et al., 1968, RRL, 1962, Fromm, 1974). Konsep terjadinya *stripping* akibat *displacement* ini dapat dijelaskan dengan secara termodinamika seperti halnya *stripping* akibat *detachment*.

2.1.3. Teori Konsep Reaksi Kimia

Pada teori konsep reaksi kimia ini dinyatakan bahwa komponen yang bersifat asam (*acidic component*) dari aspal akan bereaksi dengan mineral agregat yang bersifat basa (*basaltic mineral*) membentuk senyawa yang tidak larut air (*water insoluble compound*). Pada saat aspal membasahi agregat, penyerapan terjadi hanya dibebberapa tempat pada *interface* aspal-agregat dan diikuti dengan reaksi kimia antara material terserap dengan konsituen dari phase padat. Agregat yang mengandung komponen basa secara berlebihan akan bersifat tidak suka air (*hydrophobic*), sedangkan agregat yang mengandung komponen asam (*acidic*) secara berlebihan akan menyukai air (*hydrophilic*). Menurut Kerbs et al. (1971), agregat hidropobik adalah agregat yang sangat suka terhadap aspal.

2.1.4. Teori Pengikisan Air

Konsep teori pengikisan oleh air (*hydraulic scouring*) diterapkan untuk *stripping* yang terjadi sebagai akibat dari aksi roda kendaraan pada permukaan perkerasan beraspal yang jenuh dengan air (Cawsey et al., 1990). Pada saat dilalui kendaraan, tekanan roda memaksa air 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 di belakang 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 mengelupas.

2.1.5. Teori Pembentukan Emulsi Secara Spontan

Menurut teori ini, kombinasi air dan aspal akan membentuk formasi *inverted-emulsion* dimana aspal akan mewakili phase yang menerus (*continuous phase*) dan air mewakili phase yang tidak menerus (*discontinuous phase*). Formasi yang menyerupai emulsi ini akan menyebabkan *stripping* dan proses ini akan dipercepat dengan adanya zat pengemulsi (*emulsifier*) seperti lempung (Cawsey et al.s 1990).

Pembentukan formasi emulsi akan spontan terjadi pada saat film aspal terendam air (Fromm, 1974). Kecepatan pembentukan formasi emulsi ini tergantung pada sifat aspal dan aditif yang terkandung di dalam aspal tersebut. Masuknya formasi emulsi ini ke dalam permukaan agregat akan menyebabkan hilangnya daya adesi antara aspal dengan agregat, tetapi menurut Fromm (1974) *stripping* yang terjadi akan hilang dengan sendirinya (*self*

healing) pada saat air pada formasi emulsi menguap dan aspal kembali ke kondisi awalnya.

2.2. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Stripping

Banyak faktor yang mempengaruhi pengelupasan aspal dari permukaan agregat. Faktor-faktor bersifat kompleks dan berhubungan dengan banyak variabel. Walaupun begitu, secara garis besar faktor-faktor ini dapat dikategorikan dalam 6 kelompok, yaitu : Sifat agregat, sifat aspal, type campuran beraspal, lalu lintas, metode pelaksanaan pencampuran dan pengaspalan serta lingkungan dimana campuran beraspal digunakan (Tarrer et al., 1991). Namun demikian, keberadaan air pada *interface* aspal-agregat merupakan faktor yang umumnya menjadi penyebab terjadinya *stripping* (HRB, 1967).

2.2.1. Faktor dari Sifat Agregat

Komposisi kimia dan mineral dari agregat merupakan faktor penting yang mempengaruhi energi permukaan dan reaktifitas kimiawi agregat. Kedua hal inilah yang menentukan kepekaan agregat terhadap *stripping* bila agregat tersebut diselimuti oleh aspal.

Berdasarkan kepekaann agregat terhadap air, agregat dapat dikelompokkan sebagai agregat hidrophobik atau agregat hidrophilik. Agregat hidrophobik adalah agregat yang secara kimia bersifat basa yang disebabkan karena rendahnya kandungan unsur silika pada agregat tersebut. Sedangkan agregat hidrophilik adalah agregat yang bersifat asam karena dominan dengan mengandung unsur silika. Umumnya, agregat hidrophobik lebih tahan terhadap pengelupasan film aspal dari pada agregat hidrophilik (Majibzadeh et al., 1968), tetapi *acidic* quarsite adalah agregat kurang peka terhadap *stripping* dibandingkan dengan *acidic* agregat lainnya (Tarrer et al., 1991). Bahkan menurut Maupin (1982), limestone lebih

sering dianggap sebagai agregat yang kebal (*immune*) terhadap *stripping*.

Tekstur permukaan agregat juga merupakan faktor penting yang turut menentukan ketahanan suatu agregat terhadap pengelupasan film aspal. Agregat dengan permukaan yang kasar cenderung akan lebih kuat menahan aspal dari pada agregat dengan permukaan yang licin, tetapi aspal akan lebih susah untuk menutupi (*coated*) agregat dengan permukaan yang kasar dari pada agregat dengan permukaan yang licin. Oleh sebab itu, dalam hal ini harus ada keseimbangan antara keduanya (Shell, 1990).

Dibandingkan dengan kedua sifat agregat di atas, porositas agregat adalah faktor yang kurang penting sehubungan dengan ketahanan terhadap *stripping*. Walaupun begitu, menurut Kerbs et al. (1971), buruknya daya adhesi antara aspal dengan agregat akan terjadi pada agregat dengan permukaan yang licin karena sangat rendahnya porositas dari agregat tersebut. Sedangkan menurut Majibzadeh et al. (1968), agregat yang porus umumnya memiliki permukaan yang kasar sehingga mekanikal *interlock* antara aspal agregat yang dihasilkannya akan memberikan daya adhesi yang baik.

Agregat dengan berat jenis yang rendah dan penyerapan terhadap air yang tinggi akan memberikan kinerja yang buruk. Oleh sebab itu, berat jenis dan penyerapan agregat terhadap air dapat digunakan sebagai indikator untuk mengetahui baik buruknya (*substandard*) suatu agregat. Kedua indikator tersebut ini dapat juga digunakan untuk mengetahui apakah agregat yang bersangkutan telah mengalami pelapukan atau tidak.

Menurut Tarrer et al. (1991), agregat yang sudah mengalami penuaan (*aged*) atau pelapukkan (*weathered*) memiliki *stripping resistance* yang lebih tinggi dari pada agregat pecah yang masih segar (*fresh churning aggregate*). Pada temperatur ruang, agregat pecah yang masih segar akan menyerap beberapa lapisan molekul air (*water molecular layers*) hanya dalam sekejap (Lewis et al., 1955) dan lapisan molekul air ini akan terikat kuat pada permukaan agregat tersebut sebagai hasil dari reaksi elektro-kimia (Tarrer et al., 1991). Selama proses *aging* atau *weathering*, lapisan ini secara parsial akan digantikan atau diselimuti (dengan ketebalan 50-200 molekul) oleh unsur-unsur organik yang terdapat di udara seperti fatty acid dan minyak ringan sehingga potensi *stripping* pada agregat tersebut akan menurun (TAI, 1981).

2.2.2. Faktor dari Sifat Aspal

Viskositas aspal selama masa pelayanannya (*in service*) adalah sifat aspal yang paling penting sehubungan dengan ketahanan lapis beraspal terhadap pengelupasan film aspal. Aspal dengan viskositas yang tinggi akan lebih tahan terhadap pengelupasan film aspal dibandingkan dengan aspal dengan viskositas yang rendah (Shell, 1990). Dalam teori pembentukan emulsi secara spontan, Fromm (1974) mengatakan bahwa aspal dengan viskositas yang tinggi dapat menahan aksi tarikan yang terjadi di sepanjang *interface* antara air-udara. Walaupun begitu, aspal dengan viskositas rendah lebih disukai karena penyelimutan film aspal dapat lebih merata dan mempermudah proses pencampuran serta pelaksanaan di lapangan (Majibzadeh et al., 1968).

2.2.3. Faktor dari Type dan Sifat Campuran Beraspal

Type campuran beraspal juga memberikan pengaruh pada masalah pengelupasan film aspal. Campuran beraspal bergradasi terbuka dan semua campuran beraspal yang bersifat tidak kedap air (persentase rongga udara dalam campuran beraspal lebih besar dari 5%, Hughes et al., 1989) mudah sekali mendapat serangan air. Oleh sebab itu, campuran beraspal seperti ini sangat rentan pada masalah pengelupasan film aspal. Pengelupasan aspal umumnya bukan merupakan masalah pada campuran beraspal bergradasi rapat kecuali bila campuran tersebut kekurangan aspal dan atau memiliki kepadatan yang kurang memadai.

2.2.4. Faktor Lalu lintas

Pengaruh lalu lintas pada masalah pengelupasan aspal belum dapat dimengerti dengan baik (Ramaswamy et al., 1990). Walaupun begitu, mereka menyimpulkan bahwa beban lalu lintas akan mempercepat dan memperparah kerusakan lapisan beraspal yang disebabkan oleh penuaan dan pengelupasan film aspal. Sedangkan menurut Cawsey et al. (1990), lalu lintas memberikan kontribusi pada pengelupasan film aspal dari agregat. Menurutnya, siklus tekan-tarik pada pori-pori di permukaan lapisan beraspal dapat menyebabkan lepasnya ikatan antara aspal dengan agregat yang berada tepat di bawah jejak roda.

2.2.5. Faktor Pelaksanaan

Pemadatan mungkin adalah faktor pelaksanaan yang paling krusial yang menentukan keawetan perkerasan jalan. Dengan pemadatan, bahan-bahan pembentuk campuran beraspal menjadi kompak dan padat. Pada campuran beraspal yang belum selesai proses

pemadatannya, air yang mengenai campuran tersebut akan menggantikan posisi aspal. Hal ini disebabkan karena viskositas aspal pada campuran tersebut masih dalam kondisi sangat rendah (Tunncliff et al., 1984). Bila campuran beraspal mendapatkan pemadatan tidak memadai, campuran beraspal yang dihasilkan akan memiliki rongga udara yang tinggi, lapisan beraspal yang dihasilkan tidak kedap sehingga berpotensi untuk mengalami pengelupasan film aspal. Menurut Hughes et al. (1989), kerusakan lapis beraspal sebagai akibat dari pengaruh air dapat dieliminasi bila rongga udara dalam campuran tersebut antara 3% - 5%. Hal senada juga diungkapkan oleh Cabrera et al. (1990) dimana mereka mengatakan bahwa kinerja lapis beraspal sangat dipengaruhi oleh porositas dari lapisan tersebut.

2.2.6. Faktor Lingkungan

Lingkungan merupakan faktor yang dominan yang menentukan apakah film aspal pekerasan beraspal akan mengalami pengelupasan atau tidak. Variasi kondisi lingkungan, seperti basah dan kering atau naik turunnya temperatur udara merupakan faktor penting yang harus diperhatikan sehubungan dengan pengelupasan film aspal. Hasil studi yang dilakukan oleh Ramaswamy et al. (1990) menunjukkan bahwa kondisi basahnya pekerasan beraspal merupakan faktor utama yang memberikan kontribusi pada pengelupasan film aspal.

Pada cuaca dingin (temperatur rendah), aspal akan berperilaku sebagai benda padat (*rigid substance*) dan ikatan antara aspal dengan agregat mungkin rusak akibat kegetasannya (Majidzadeh et al., 1968). Sedangkan perubahan temperatur akan menyebabkan perubahan kelembaban udara dan perubahan ini menyebabkan terjadinya hidrogenesis, yaitu perpindahan air dari

struktur perkerasan dalam bentuk uap air selama cuaca panas akan menyebabkan terjadinya kondensasi pada bagian bawah lapis beraspal selama cuaca dingin. Akibatnya, pengelupasan film aspal akan terjadi hanya dalam beberapa bulan setelah lapis beraspal tersebut selesai dipadatkan.



Bab 3

PENANGANAN AGREGAT SUBSTANDAR

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.

3.1. 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), menggunakan aspal modifikasi sebagai bahan pengikat akan memberikan efek positif yang penting pada peningkatan kinerja campuran beraspal yang dihasilkannya. 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 pengikat cocok dengan jenis tanah atau agregat yang digunakan. Oleh karena itu, bahan pengikat yang cocok untuk digunakan harus ditentukan terlebih dahulu .

3.1.1. 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-sifat tersebut antara lain adalah *stripping resistance*, degradasi dan penyerapan.

Adhesi aspal terhadap agregat adalah fenomena permukaan yang berhubungan dengan *physicochemical properties* dari pada aspal dan agregat. Oleh sebab itu,

adhesi yang terjadi pada *interface* antara aspal dengan agregat ditentukan oleh sifat aspal dan agregat itu sendiri (Ishai et al., 1977). Hilangnya adhesi dari kedua bahan ini pada campuran beraspal akan menyebabkan ketidakstabilan yang dapat menjerumuskan 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 adhesi aspal-agregat dapat dilakukan baik dari sisi aspal ataupun dari sisi agregatnya.

a. Modifier Aspal

Dari sisi aspal, peningkatan adhesi 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 (pada ekor mereka) dan kelompok hidrofilik (pada kepala mereka). Oleh karena itu, molekul surfaktan mengandung bahan yang tidak larut dalam air (*water insoluble*) tetapi larut dalam minyak (*oil soluble*).

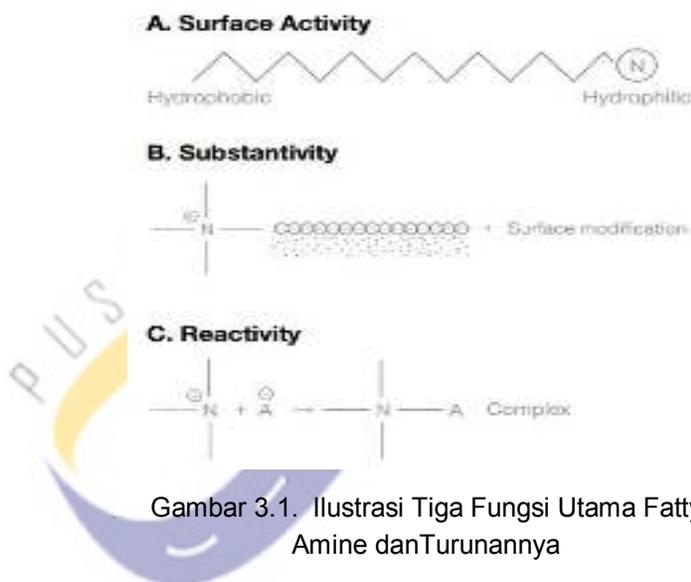
Molekul surfaktan akan terdifusi (menyebarkan) dalam air dan terserap pada *interface* antara udara dan air atau antara minyak dan air dalam campuran air-minyak. Kelompok hidrofobik (kelompok ekor) dari surfaktan yang tidak larut dalam air akan memperpanjang dirinya hingga keluar dari fase air ke arah 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 (kationik) 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 3.1.



Gambar 3.1. Ilustrasi Tiga Fungsi Utama Fatty Amine dan Turunannya

Sifat kimia dari fatty amine dapat berubah dengan mengubah 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 adhesinya (*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 (hidrofilik) sedangkan group hidrokarbonnya yang merupakan mineral hidrofobik akan bereaksi aspal. Dengan demikian, fatty amine dapat berfungsi sebagai jembatan antara permukaan hidrofilik (agregat) dengan permukaan hidrofobik (aspal) sehingga dihasilkan ikatan yang kuat antara aspal dengan agregat tersebut (Stefan, 1983). Beberapa contoh *anti-stripping* yang berbasis fatty amine 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 adhesi 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 dicampur dengan aspal pada temperatur 150°-180° C. Saat ini, jenis *anti-stripping* yang tahan terhadap panas (*heat stability*) juga sudah ada dipasaran, namun penggunaannya tetap saja harus hati-hati karena pada prinsipnya fatty amine adalah senyawa yang tidak tahan panas.

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 adhesi tetapi juga *internal friction* dari agregat tersebut.

3.1.2. Metode Penyalutan Agregat

Penyalutan agregat dengan kapur ataupun semen dapat menghasilkan penyalutan eksternal ataupun internal (Cady et al., 1979). Pada penyalutan 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 pada 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 akan 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 kemungkinan besar tidak dapat 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), metode penyelimutan agregat dengan semen ataupun kapur dapat diterapkan pada agregat substandar. Penggunaan agregat substandard sebagai bahan perkerasan jalan akan memberikan hasil yang baik bila agregat tersebut ditangani (*treatment*) terlebih dahulu 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 dibandingkan bila penambahannya dilakukan pada kombinasi gradasi

agregat. Dengan metode ini, penggunaan semen atau kapur yang dianjurkan adalah sebanyak 3% - 5% dengan W/C optimum sebesar 0,55 dan lamanya masa *curing* agregat yang telah diselimuti semen atau kapur minimum selama 24 jam (Bayomi, 1992).

3.2. 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 lebih efektif bila dibandingkan dengan mendatangkan agregat standar dari tempat lain. Analisa finansial saja tidak cukup dijadikan acuan untuk penggunaan agregat substandar, untuk tujuan ini analisa ekonomi harus dijadikan pertimbangan.

3.3. Studi Kasus Penanganan Agregat Substandar

Studi kasus penanganan agregat substandar telah dilakukan oleh Yamin (2012) pada agregat dari Sulawesi Utara. Agregat substandar yang digunakan berasal dari beberapa lokasi, yaitu di Kabupaten Tomohon, Kabupaten Minahasa Induk, Kabupaten Minahasa Utara dan Kabupaten Talaut. Sifat-sifat agregat dari daerah ini seperti yang diberikan pada Tabel 3.1 dan Tabel 3.2. Penampakan visual dari agregat-agregat substandar ini seperti yang diberikan pada Gambar 3.2.

Tabel 3.1. Sifat Agregat dari Quarry di Sulawesi Utara

Sifat Agregat	Quarry					
	A	B	C	D	E	F
Abrasi	17	21	15	19	19	37,4
Berat Jenis (BJ)						
- BJ Bulk	2.522	2.339	2.202	2.471	2.723	2.314
- BJ Kering Permukaan	2.611	2.356	2.254	2.474	2.775	2.333
- BJ Semu	2.771	2.379	2.323	2.479	2.871	2.358
Penyerapan	3.564	0.730	2.366	0.132	1.886	0.813
Sand Equivalent	-	88	54	71	88	71
Kelekatan	95-	95-	95-	95-	95-	95-
A = Gunung Kelabat		D = Sea Pineleng				
B = Gunung Lokon		E = Talaut-Pulututan				
C = Tomohon		F = Tateli-Kakas				

Tabel 3.2. Komposisi Kimia Agregat dari Quarry di Sulawesi Utara

Parameter Kimia	Nama Quarry						Satuan
	A	B	C	D	E	F	
SiO ₂	54,89	65,87	66,33	66,98	44,96	66,75	%
Al ₂ O ₃	17,66	14,87	14,69	14,61	12,82	14,56	%
Fe ₂ O ₃	9,94	5,88	5,53	5,18	8,66	5,31	%
CaO	9,54	3,97	3,95	3,86	9,49	3,99	%
MgO	2,65	1,08	1,09	0,97	17,17	0,97	%
TiO ₂	0,87	0,71	0,73	0,69	0,46	0,70	%
Na ₂ O	2,76	4,41	4,39	4,37	1,25	4,27	%
K ₂ O	1,04	2,77	2,83	2,91	0,14	2,93	%
MnO	-	-	-	-	-	0,15	%
P ₂ O ₅	0,18	0,20	0,21	0,18	0,04	0,19	%
SPO ₃	-	-	-	-	-	-	%
H ₂ O	0,02	0,10	0,10	0,03	0,10	0,02	%
HD	0,22	0,07	0,11	0,12	4,86	0,19	%
Keterangan :		A = Gunung Kelabat		D = Sea Pineleng			
		B = Gunung Lokon		E = Talaut-Pulututan			
		C = Tomohon		F = Tateli-Kakas			

Dari data-data agregat disajikan pada Tabel 3.1, diketahui bahwa masalah yang umumnya terjadi pada agregat dari *quarry* yang ada di propinsi Sulawesi Utara ini adalah kurangnya daya lekat agregat (< 95%) terhadap aspal dan berat jenis agregat yang kecil (< 2,5). Walaupun begitu, agregat di propinsi ini memiliki sifat natural (abrasi) yang sangat baik dengan nilai abrasi sekitar 20%, kecuali agregat dari *quarry* Tateli-Kakas nilai abrasinya cukup tinggi yaitu sekitar 37%.

Dengan sifat natural agregat seperti yang diberikan pada Tabel 3.1 dapat disimpulkan bahwa agregat dari semua *quarry* dalam studi ini dapat digunakan sebagai bahan untuk lapis pondasi Klas A tetapi harus melalui proses pemecahan (*crushing*) terlebih dahulu agar gradasi klas A yang disyaratkan dapat dipenuhi. Walaupun begitu, agregat dari *quarry* tersebut di atas tidak dapat digunakan tidak memenuhi sifat-sifat agregat untuk campuran beraspal sebagaimana yang disyaratkan dalam Spesifikasi Umum Bina Marga 2011 (Bina Marga, 2011). Dengan demikian, *quarry* Gunung Kelabat, Gunung Lokon, Tomohon, Sea Pineleng, Talaut-Pulututan dan Tateli-Kakas dapat dikategorikan sebagai agregat substandar untuk digunakan sebagai bahan untuk campuran beraspal.

Walaupun begitu, berdasarkan hasil uji sifat naturalnya ini, agregat substandar tersebut di atas masih memungkinkan untuk digunakan sebagai bahan campuran beraspal asalkan sifat konsesusnya (*concecus properties*), yaitu kelekatan dan berat jenis dapat diperbaiki terlebih dahulu sehingga juga dapat memenuhi persyaratan spesifikasi yang digunakan (Spesifikasi Umum Bina Marga 2011).

Dari Tabel 3.2 dapat dilihat bahwa unsur mineral yang dominan yang terkandung dalam agregat dari *quarry* tersebut adalah silika (SiO_2). Kandungan SiO_2 dalam agregat tersebut rata-rata lebih besar dari 50% kecuali agregat dari *quarry* Talaut-Pulututan dimana kandungan silikanya hanya 44,96%. Unsur kedua yang dominan adalah aluminat (Al_2O_3). Berdasarkan unsur yang dominan ini, agregat dari dapat dikelompokkan sebagai *acidic-aggregate* dari jenis silika-agregat.



a.



b.



c.



d.



e.



f.

Gambar 3.2. Contoh Agregat dari Quarry di Sulawesi Utara

Kedua unsur dominan tersebut di atas (SiO_2 dan Al_2O_3) adalah pozzolan aktif yang dapat bersifat sementasi seperti halnya kapur oksida (CaO). Silika yang merupakan unsur paling dominan dalam agregat-agregat tersebut merupakan unsur yang bersifat asam. Oleh sebab itu, agregatnya bersifat asam pula (*acidic*). Menurut Tarrer et al. (1991), besarnya kandungan SiO_2 dalam agregat adalah faktor penting yang sangat mempengaruhi sifat adhesi agregat tersebut terhadap aspal.

Berdasarkan sensitivitasnya terhadap air, agregat yang dominan dengan unsur silika adalah agregat yang bersifat suka air (hidrofilik). Agregat hidrofilik umumnya lebih rentan terhadap masalah pengelupasan film aspal apabila agregat tersebut digunakan sebagai bahan untuk campuran beraspal. Masalah ini

akan lebih parah lagi bila aspal yang digunakan adalah aspal konvensional bukan aspal modifikasi. Hal ini disebabkan karena aspal konvensional adalah bahan pengikat yang bersifat acidic karena adanya kelompok *acidic (acidic group)* dalam aspal tersebut. *Acidic group* dalam aspal ini dapat menimbulkan masalah adesi pada acidic atau silika agregat seperti kuarsit dan granit. Oleh sebab itulah, mengapa agregat dari *quarry* Gunung Kelabat, Gunung Lokon, Tomohon, Sea Pineleng dan Talaut-Pulututan yang notabene masuk dalam kelompok silika-agregat memiliki kelekatan terhadap aspal konvensional (Pen 60) yang kurang baik dengan nilai kelekatan kurang dari 95% sebagaimana yang telah ditunjukkan sebelumnya pada Tabel 3.1.

3.3.1. Penanganan Dengan Aditif *Anti-Stripping*

Ada dua cara untuk meningkatkan adesi aspal-agregat, yaitu dengan mengubah sifat aspal atau mengubah sifat alami dari permukaan agregat. Ada tiga upaya yang dapat dilakukan untuk mengubah sifat aspal agar adhesi aspal-agregat dapat ditingkatkan, yaitu dengan menurunkan viskositas atau tegangan permukaan aspal dan dengan mengubah polaritas dan orientasi molekul aspal atau kombinasi dari keduanya.

Tabel 3.3. Hasil Uji Kelekatan Aspal Dengan dan Tanpa Aditif *Anti Stripping*

Dosis Aditif	Quarry Agregat					
	A	B	C	D	E	F
<i>Anti Stripping</i>						
0%	95-	95-	95-	95-	95-	95-
0,2%	95+	95-	95+*	95-	95+	95-
0,3%	-	95+*	-	95+*	-	95+
Keterangan :	A = Gunung Kelabat B = Gunung Lokon C = Tomohon			D = Sea Pineleng E = Talaut-Pulututan F = Tateli-Kakas		

Catatan * = Aspal masih menutupi semua permukaan agregat tetapi film aspal secara visual menipis. Khusus untuk C, penambahan 0,2% aditif penipisan film aspal menyebabkan bayang-bayang warna asli agregat terlihat.

Penanganan agregat substandar untuk meningkatkan daya lekat aspal yang dilakukan dalam studi kasus ini adalah dengan kombinasi kedua teknik tersebut di atas, yaitu dengan menambahkan aditif *anti-stripping* yang dapat menurunkan tegangan permukaan aspal dan mengubah muatan ion aspal. Hal ini dilakukan berdasarkan pertimbangan bahwa agregat substandar yang digunakan tidak memiliki nilai penyerapan yang tinggi dan bersifat *acidic*. Dengan penambahan aditif ini, tegangan permukaan aspal akan turun sehingga aspal tersebut akan dapat dengan mudah menyelimuti agregat.

Pada Tabel 3.3. ditunjukkan pengaruh penambahan aditif *anti-stripping* pada agregat dari *quarry* Gunung Kelabat, Gunung Lokon, Tomohon, Sea Pineleng, Talaut-Pulututan dan Tateli-Kakas. Dari tabel ini dapat dilihat bahwa penambahan 0,2% aditif *anti-stripping* (terhadap berat aspal Pen 60) sudah dapat menaikkan nilai kelekatan aspal-agregat untuk agregat dari *quarry* Gunung Kelabat, Tomohon dan Talaut-Pulututan tetapi tidak untuk agregat *quarry* Gunung Lokon, Sea Pineleng dan Tateli-Kakas. Untuk tiga *quarry* terakhir ini, *quantitas* aditif *anti-stripping* yang dibutuhkan untuk menghasilkan kelekatan 95%⁺ adalah 0,3%.

Untuk agregat dari *quarry* Tomohon, walaupun penambahan 0,2% aditif *anti-stripping* sudah dapat menaikkan nilai kelekatan tetapi pada agregat ini timbul masalah baru yang juga berhubungan dengan kelekatan, yaitu terjadinya gejala *spontaneous emulsification*. Gejala ini juga masih terjadi pada agregat dari *quarry* Gunung Lokon dan Sea Pineleng walaupun penggunaan aditif *anti-stripping* sudah sebesar 0,3%.

Penambahan 0,2% aditif *anti-stripping* akan menurunkan tegangan permukaan (*surface energy*) aspal sehingga aspal menjadi sangat encer. Adanya air, akan mengubah sistem dua phase menjadi sistem tiga phase (air-aspal-agregat). Untuk agregat dari *quarry* Tomohon, dengan nilai penyerapan yang cukup tinggi (2,366%), film aspal yang

dihasilkan oleh 5,5% kadar aspal akan sangat tipis. Kombinasi air dan aspal pada permukaan agregat ini akan membentuk formasi *inverted-emulsion* dimana aspal akan mewakili phase yang menerus (*continuous phase*) dan air mewakili phase yang tidak menerus (*discontinuous phase*). Terbentuknya formasi *inverted-emulsion* ini akan menyebabkan terjadinya *stripping* aspal pada agregat walaupun belum sampai menyebabkan lepasnya ikatan aspal dari agregat (permukaan agregat terekspos). Sedangkan pada agregat *quarry* Gunung Lokon, Sea Pineleng dan Tateli-Kakas, dengan nilai penyerapannya yang kecil (<1%), gejala *spontaneous emulsification* baru terlihat pada penambahan 0,3% aditif *anti-stripping*.

Berdasarkan hal tersebut di atas, penambahan aditif *anti-stripping* untuk menaikkan daya lekat aspal agregat pada agregat dari *quarry* Tomohon, Gunung Lokon, Sea Pineleng dan Tateli-Kakas tidak direkomendasikan meskipun pada jangka pendek hanya menyebabkan *spontaneous emulsification* tetapi pada panjang masalah *stripping* berpotensi besar untuk terjadi.

Selain penambahan aditif *anti-stripping* pada aspal, perbaikan daya lekat aspal-agregat dapat juga dilakukan dengan memperbaiki sifat agregat. Perbaikan ini dapat dilakukan dengan penambahan *modifier* pada agregat tersebut. Dalam studi kasus ini, perbaikan sifat agregat dilakukan dengan cara menyelimuti agregat yang digunakan (*coated aggregate*) dengan *modifier*. Dengan alasan mudah didapat dan memiliki sifat yang standar, maka jenis *modifier* yang digunakan dalam studi kasus ini adalah aspal emulsi dan semen.

3.3.2. Penanganan Dengan *Precoated* Emulsi

Aspal emulsi dapat digunakan untuk memperbaiki daya lekat aspal-agregat, yaitu dengan menyelimuti permukaan agregat dengan menggunakan aspal emulsi yang muatan ionnya berlawanan dengan muatan ion agregat. Dengan viskositasnya yang rendah (*encer*), aspal emulsi mampu

menutupi permukaan agregat secara menyeluruh walaupun dengan kuantitas pemakaian yang sangat kecil, yaitu sekitar 1% sampai 2% terhadap berat agregat.

Seperi diketahui sebelumnya bahwa agregat substandar yang digunakan dalam studi kasus ini adalah agregat yang bersifat asam (*acidic*). Agregat semacam ini memiliki muatan ion negatif. Oleh sebab itu, aspal emulsi yang digunakan untuk memperbaiki sifat permukaan agregat dari segi daya lekatnya terhadap aspal adalah aspal emulsi yang bermuatan positif (*cationic*). Dalam studi kasus ini, jenis aspal emulsi kationik yang digunakan adalah jenis *Cationic Rapid Setting* (CRS).

Penambahan aspal emulsi CRS pada agregat dari *quarry* Gunung Lokon (B), Tomohon- (C), Sea-Pineleng (D), dan Tateli-Kakas (F) dilakukan secara bervariasi untuk mengetahui dosis minimum masih dapat memberikan penyelimutan pada permukaan agregat secara menyeluruh dan dosis maksimum yang dapat menghasilkan *Emulsi-Coated-Agregat* (ECA) dengan nilai kelekatan terhadap aspal Pen 60 lebih besar 95% (95+) dengan tanpa menyebabkan *drain off* pada aspal tersebut. Kelekatan aspal-agregat yang dihasilkan dengan teknik penyelimutan aspal emulsi ini yaitu seperti yang diberikan pada Tabel 3.4 dan visualisasi kelekatanannya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.3.

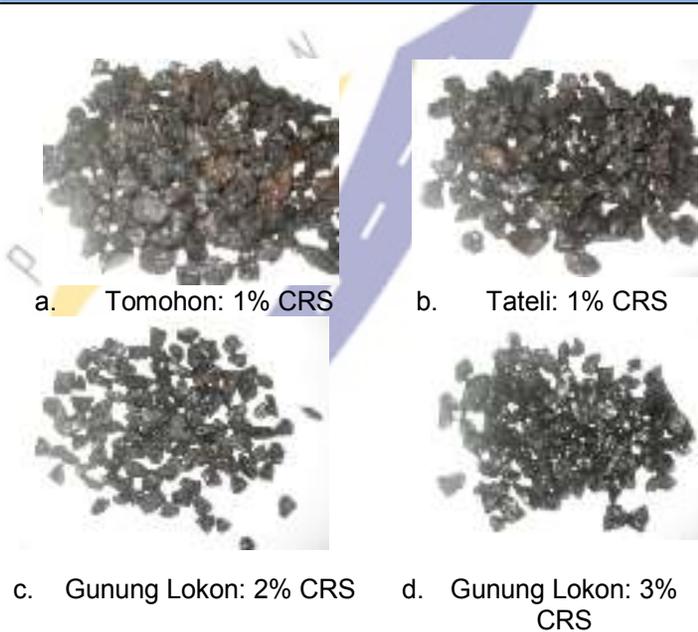
Dari Tabel 3.4 ini dapat dilihat bahwa metode ECA dengan dosis penggunaan aspal emulsi sebesar 1% sudah dapat menyelimuti seluruh permukaan agregat dan dapat meningkatkan kelekatan agregat dari *quarry* Sea-Pineleng tetapi tidak dapat meningkatkan kelekatan aspal-agregat untuk agregat dari *quarry* Gunung Lokon dan Tomohon. Walaupun dapat meningkatkan kelekatan agregat substandar dari *quarry* Sea-Pineleng, namun demikian, gejala *spontaneous emulsification* tetap saja masih terjadi pada agregat tersebut Hal ini mungkin disebabkan karena kecil dosis aspal emulsi yang digunakan sehingga film aspal yang dihasilkannya pun sangat kecil.

Tabel 3.4. Hasil Uji Kelekatan Aspal Pada ECA

Dosis Aspal Emulsi CRS	Quarry Agregat		
	B	C	D
0%	95-	95-	95-
1%	95-	95-	95+*
2%	95+*	95+*	95+*
3%	95+*	95+*	95+*

Keterangan :
 B = Lokon
 C = Tomohon
 D = Sea Pineleng

Catatan * = Aspal masih menutupi semua permukaan agregat tetapi film aspal secara visual menipis. Pada beberapa agregatnya sudah terlihat bayang-bayang warna asli agregat terlihat.

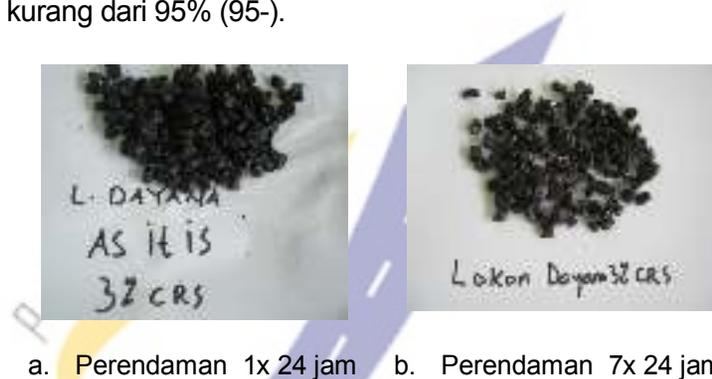


Gambar 3.3. Tipikal Visualisasi Kelekatan pada ECA

Peningkatan penggunaan dosis aspal emulsi yang lebih tinggi (2%) ternyata dapat meningkatkan kelekatan agregat substandar dari *quarry* Gunung Lokon dan

Tomohon dan tentu saja juga agregat dari *quarry* Sea-Pineleng. Walaupun begitu, masalah gejala *spontaneous emulsification* masih juga terjadi. Meskipun tidak begitu signifikan, masalah ini masih tetap terjadi untuk penggunaan aspal emulsi dengan dosis 3%.

Seperti dikatakan di atas, bahwa peningkatan dosis aspal emulsi dapat meningkatkan kelekatan agregat dan pada dosis 3% masalah *spontaneous emulsification* tidak begitu signifikan, tetapi akibat perendaman selama 7 x 24 jam pengelupasan aspal pada ECA tetap terjadi (Gambar 3.4). Setelah perendaman selama waktu tersebut, kelekatan aspal-ECA substandar dari ketiga *quarry* tersebut menjadi kurang dari 95% (95-).



Gambar 3.4. Visualisasi Kelekatan Aspal pada ECA Setelah Perendaman 7x 24 jam

Metode ECA yang menggunakan aspal emulsi dengan dosis sebesar 4% tidak dilakukan dalam studi kasus ini dengan alasan bahwa dengan dosis ini atau dengan dosis yang lebih tinggi lagi, masalah *spontaneous emulsification* diperkirakan sudah dapat diatasi tetapi dikhawatirkan akan timbul masalah lain, yaitu terjadinya penggumpalan sebagai akibat dari film aspal pada ECA yang cukup tebal. Penggumpalan ini dapat menghambat proses produksi di *Asphalt Mixing Plant* (AMP). Selain itu, dengan dosis

pemakaian yang tinggi dikhawatirkan juga akan terjadi *drain down* atau *drain off* aspal emulsi pada ECA sewaktu proses pemanasan di AMP.

3.3.3. Penanganan Dengan **Cement-Coated-Aggregate**

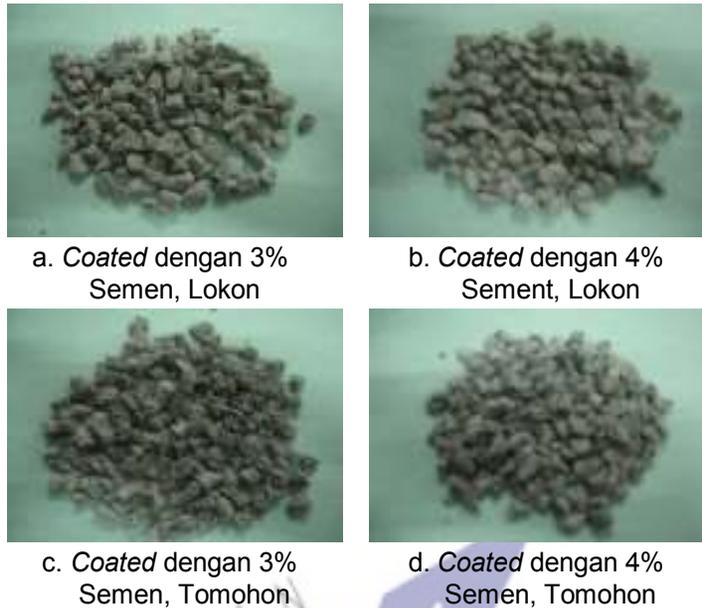
Teknik penambahan semen pada agregat untuk menghasilkan *Cement-Coated-Aggregate* (CCA) sudah lama dikenal. Seperti yang telah diuraikan sebelumnya, pada proses pembuatan CCA secara garis besar ada dua cara penambahan semen yang dapat dilakukan, yaitu penambahan pada individual agregat kasar dan penambahan pada gradasi gabungannya. Studi yang dilakukan oleh keduanya menyimpulkan bahwa penambahan semen pada individual agregat lebih disukai karena tidak mengubah gradasi agregat gabungan (Fromm, 1974 dan TAI, 1981). Oleh sebab itu, dalam studi kasus ini penambahan semen dilakukan hanya pada agregat kasarnya saja.

Pada proses pembuatan CCA, sebelum penambahan 2% ataupun 3% semen (terhadap berat agregat), agregat substandar yang digunakan dibasahi terlebih dahulu dengan air. Banyaknya air yang digunakan adalah sesuai dengan nilai penyerapan air oleh masing-masing agregat ditambah dengan 0,55 terhadap berat semen untuk proses hidrasi semen. CCA akan terbentuk setelah permukaan agregat tertutup oleh semen. Untuk menjamin terjadinya ikatan yang permanen antara semen dengan agregat, CCA yang dihasilkan harus dirawat (*curing*) selama minimum 24 jam sebelum digunakan. Sifat CCA dengan agregat substandar dari *quarry* Gunung Lokon, Tomohon dan Sea Pineleng hasil penanganan (*treatment*) dengan cara ini seperti yang diberikan pada Tabel 3.5. Tipikal penampakan fisiknya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.5.

Tabel 3.5. Hasil Uji Sifat Cement-Coated-Aggregate

Sifa Agregat	Quarry		
	B	C	D
Berat Jenis			
- BJ <i>Bulk</i>	2,275	2,219	2,390
- BJ Kering Permukaan	2,286	2,268	2,400
- BJ Semu	2,299	2,332	2,414
Penyerapan (<i>Absorption</i>)	0,45	2,17	0,4
Kelekatan, 24 jam perendaman	100	100	100
Kelekatan, 7 x 24 jam perendaman	100	100	100
Kelekatan, 7 x 24 jam perendaman, dididihkan	100	100	100
Berat Jenis			
- Berat Jenis (<i>Bulk</i>)	2,313	2,262	2,491
- Berat Jenis Kering Permukaan (<i>SSD</i>)	2,323	2,301	2,474
- Berat Jenis Semu (<i>Apparent</i>)	2,337	2,332	2,450
Penyerapan (<i>Absorption</i>)	0,45	2,17	0,3
Kelekatan	100	100	100
Kelekatan, 7 x 24 jam perendaman	100	100	100
Kelekatan, 7 x 24 jam perendaman, dididihkan	100	100	100

Keterangan: B = Gunung Lokon
 C = Tomohon
 D = Sea Pineleng



Gambar 3.5. Tipikal Penampakan Fisik CCA

Dari Gambar 3.5 dapat dilihat bahwa pada kuantitas semen yang sama, luas permukaan agregat yang mampu ditutupinya belum tentu sama karena tergantung pada porositas dan ukuran agregat. Sampai pada kuantitas semen tertentu, semakin porus agregat semakin kecil luas permukaan agregat tersebut yang dapat ditutupi oleh semen. Hal ini disebabkan karena sebagian semen yang ditambahkan akan masuk mengisi rongga dalam agregat tersebut dan sisanya baru akan menyelimuti permukaan agregat.

Bila sifat CCA pada Tabel 3.5 dibandingkan dengan sifat asli agregat sebagaimana diberikan pada Tabel 3.1 maka dapat ditarik kesimpulan bahwa penambahan semen sebagai modifier pada agregat ternyata dapat mengubah berat jenis, tekstur dan kelekatan agregat tersebut terhadap aspal. Dengan penambahan semen untuk *coated-aggregate* ini, kelekatan aspal agregat dari *quarry* Gunung Lokon, Tomohon dan Sea Pineleng menjadi 100%. Kelekatan aspal-CCA sebagai akibat dari penambahan semen ini tidak berubah (tetap 100%)

walaupun telah mengalami masa perendaman dalam air selama 7 hari dan juga tidak beubah sebagai akibat dari proses pemanasan (100° C selama 30 menit). Penampakan kelekatan aspal-CCA setelah mengalami proses perendaman 7 x 24 jam dan setelah proses pemanasan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.6.



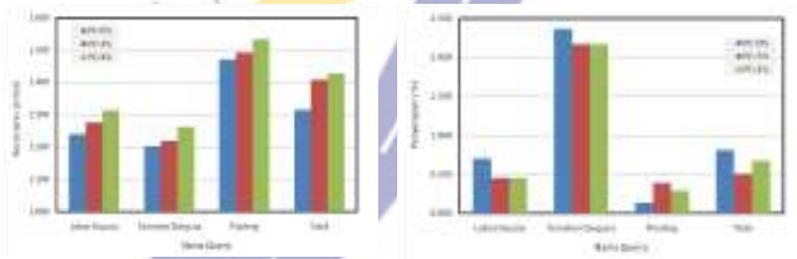
Gambar 3.6. Tipikal Visualisasi CCA - Setelah Perendaman 7 x 24 Jam dan Pemanasan

Adanya semen yang masuk ke dan melekat kuat dalam pori-pori agregat akan menyebabkan naiknya berat jenis, tetapi tidak begitu berpengaruh pada penyerapan sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3.7. Sebagai Contohnya, penambahan 3% semen pada agregat dari *quarry* Tomohon akan menaikkan berat jenisnya dari $2,202 \text{ t/m}^3$ ke $2,219 \text{ t/m}^3$; dan akan naik menjadi $2,262 \text{ t/m}^3$ untuk penambahan 4% semen. Semakin banyak semen yang digunakan untuk menutupi permukaan agregat, semakin luas permukaan agregat yang dapat ditutupi oleh semen. Oleh sebab itu, dengan teknik *coated-aggregate*, semakin banyak semen yang digunakan semakin banyak (luas) pula terbentuknya situs kalsium pengikat (*calcium binding sites*) aspal pada permukaan agregat sehingga adesi aspal-CCA akan meningkat.

Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa semakin banyak semen yang digunakan pada teknik *coated-aggregate* ini, semakin besar pula perubahan sifat yang terjadi. Dengan teknik *coated-aggregate*, penambahan 3% semen sudah dapat

mengubah sifat konsensus (*concecus properties*); berat jenis dan kelekatan, agregat substandar menjadi seperti sifat agregat standar (memenuhi spesifikasi yang digunakan). Sehingga dengan teknik ini, agregat substandar dari *quarry* Gunung Lokon dan Tomohon sudah dapat digunakan sebagai bahan untuk campuran beraspal.

Di lapangan, penggunaan semen sebagai *coated* agregat mungkin saja dapat tidak mencapai tujuan yang diharapkan yaitu bila ikatan semen dengan agregat yang sudah dianggap permanen setelah melalui masa pemeraman satu hari terlepas kembali akibat proses pengeringan dan pemanasan di unit pengering (*drier*) AMP (*Asphalt Mixing Plant*). Pada Gambar 3.8 ditunjukkan hasil pengujian Los Angeles (LAAV) yang dilakukan tanpa menggunakan bola baja pada CCA yang telah dipersiapkan dan dipanaskan pada temperatur 160°C terlebih dahulu. Pengujian ini dilakukan sebagai simulasi proses pengeringan agregat di unit pencampur aspal.



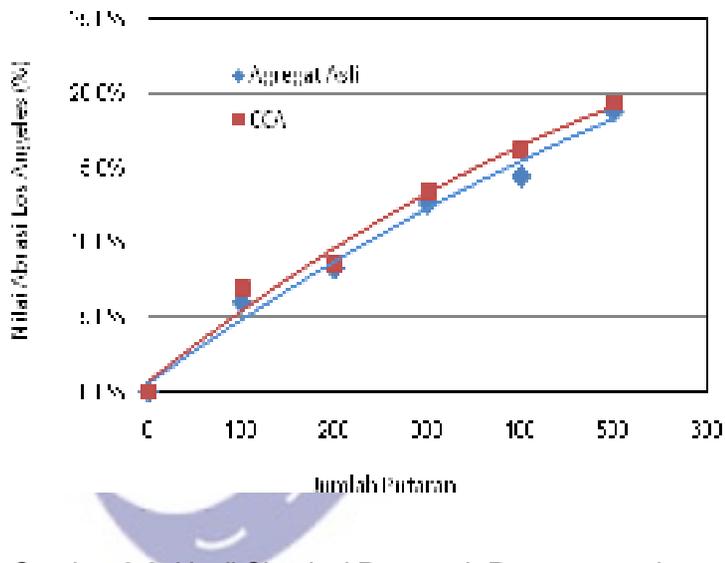
a. Berat Jenis Agregat

b. Penyerapan Agregat

Gambar 3.7. Pengaruh CCA pada Perubahan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat

Dari Gambar 3.8 tersebut dapat dilihat bahwa ada perubahan LAAV antara agregat asli (tanpa *cement-coated*) dengan CCA. Bila diasumsikan perbedaan LAAV ini diakibatkan karena adanya semen yang terlepas, maka pada jumlah putaran sampai dengan 200, semakin banyak jumlahnya,

semakin banyak pula semen yang terlepas. Jumlah semen yang terlepas pada putaran ke 200 adalah sekitar 0,3% terhadap berat agregat. Dari gambar ini dapat dilihat juga bahwa jumlah semen yang terlepas relatif tidak bertambah lagi untuk jumlah putaran di atas 200. Hal ini ditunjukkan dengan relatif sejajarnya garis LAAV untuk agregat asli dan CCA. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa, akibat proses pengeringan dan pemanasan di *drier* AMP, jumlah semen yang terlepas dari ikatan dengan agregat diperkirakan hanya setitar 0,3%.



Gambar 3.8. Hasil Simulasi Pengaruh Pemanasan dan Putaran pada Proses Pengeringan Agregat

Bab 4

PEMANFAATAN AGREGAT SUBSTANDAR

4.1. Pemanfaatan Agregat Substandar Papua

Yamin (2011) telah melakukan studi penggunaan atau pemanfaatan agregat lokal dari beberapa *quarry* di Propinsi Papua dan Papua Barat, yaitu *quarry* yang terdapat di Kabupaten Merauke, Kabupaten Kaimana, Kabupaten Fak Fak dan Kabupaten Sorong. Uraian berikut ini adalah hal-hal yang dapat disimpulkan dari studinya tersebut.

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

Agregat dari *quarry* 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 t/m³ dan penyerapan kurang dari 1%. Namun demikian, agregat dari *quarry-quarry* 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 *quarry-quarry* 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 *quarry* yang terdapat di Fak Fak sangat baik digunakan untuk lapis pondasi Klas A hanya dengan melalui proses pemecahan (*crushing*) 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 4.1, diketahui bahwa agregat dari *quarry* 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 terserap dan melekat.

Tabel 4.1. Komposisi Kimia Agregat dari *Quarry* Fak Fak dan Sorong – Papua Barat

Parameter Kimia	Nama Quarry					Satuan
	Fak Fak			Sorong		
	Batu Gantung	Mabuni Buni	Sakartemen	KM. 14	KM. 86	
SiO ₂	0.98	4.72	10.41	3.85	0.59	%
Al ₂ O ₃	0.34	0.40	0.814	2.31	0.18	%
Fe ₂ O ₃	0.18	0.43	0.54	7.56	0.10	%
CaO	53.19	51.03	47.63	45.27	53.57	%
MgO	0.74	0.83	1.31	1.19	0.89	%
Na ₂ O	0.01	0.00	0.03	0.02	0.01	%
K ₂ O	0.06	0.07	0.08	0.23	0.01	%
TiO ₂	0.06	0.06	0.10	0.19	0.05	%
MnO	0.01	0.01	0.01	0.02	0.00	%
P ₂ O ₅	0.02	0.01	0.03	0.01	0.01	%
SPO ₃	0.02	0.02	0.03	0.16	0.01	%
H ₂ O	0.26	0.36	0.58	0.34	0.14	%
HD	42.95	41.52	38.53	40.03	43.85	%

Kelekatan agregat terhadap aspal adalah suatu sifat yang masuk dalam katagori konsesus propertis (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 menaikan 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 *surfactant*, *aditif adhesive* promotor ataupun kombinasi dari keduanya pada aspal.

Penambahan kapur, semen ataupun *mill powder* pada agregat untuk meningkatkan kekekatannya terhadap aspal dibatasi hanya maksimum 2% saja. Hal ini bertujuan apabila kekekatannya 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, 2011), 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 *quarry* 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 4.2

Dari Tabel 4.2 ini dapat diketahui bahwa penggunaan kapur, semen ataupun *mill powder* yang dicampurkan secara kering ataupun pada agregat dari *quarry* 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 *quarry* 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.

Tabel 4.2. Pengaruh Partikel Halus Aktif pada Kelekatan Agregat *Quarry* Batu Gantung

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

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 (*surfactant*). Pada Tabel 4.3 dapat dilihat bahwa penambahan surfaktan dapat menaikkan kelekatan antara agregat dari *quarry* Batu Gantung Fak Fak dengan aspal dari lebih kecil dari 95% menjadi lebih besar dari 95%. Peningkatan ini tidak saja terjadi pada agregat dari *quarry* Batu Gantung Fak Fak tetapi juga terjadi pada agregat dari *quarry* Sorong lainnya.

Tabel 4.3. Pengaruh Surfaktan pada Kelekatan Aspal Pen 60

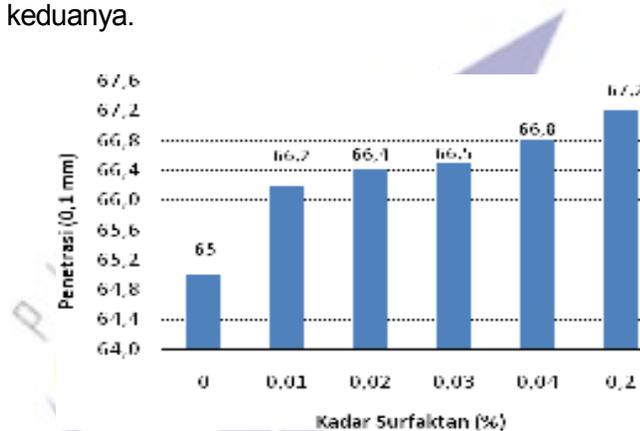
Quarry Agregat	Kadar Surfaktan Dalam Aspal			
	0%	0,05%	0,1%	0,2%
	Persentase Kelekatan			
Batu Gantung	< 95%	> 95	> 95	> 95
KM 14	< 95%	> 95	> 95	> 95

Walaupun surfaktan dapat meningkatkan kelekatan antara agregat dengan aspal, Surfaktan juga ternyata dapat mengubah sifat reologi aspal, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.4 dan Gambar 4.1 sampai Gambar 4.4.

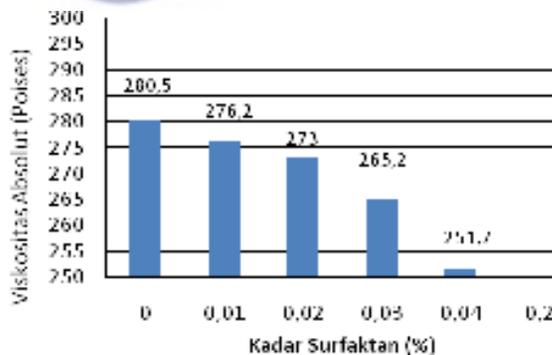
Tabel 4.4. Pengaruh Surfaktan pada Sifat Aspal Pen 60

Kadar Surfaktan Dalam Aspal (%)	Penetrasi (dmm)	Titik Lembek (°C)	Kehilangan Berat (%)	Viskositas (Poises)
0,00	65,0	49,0	0.0130	280,5
0.01	66.2	48.1	0.0185	276,2
0.02	66.4	47.9	0.0147	273,0
0.03	66.5	47.5	0.0153	265,2
0.04	66.8	47.2	0.0203	251,7
0.20	67.2	47.8	0.0434	-

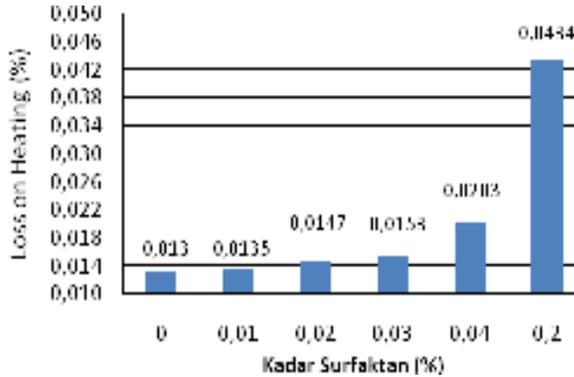
Pada Gambar 4.1 dapat dilihat bahwa penambahan surfaktan dalam aspal Pen 60 akan menurunkan tingkat kekerasan aspal, semakin banyak surfaktan yang ditambahkan semakin lembek aspalnya yang ditunjukkan dengan semakin besarnya nilai penetrasi aspal tersebut. Bila aspal Pen 60 memiliki syarat batas rentang antara 60 – 70 (Bina Marga, 2011), maka penambahan surfaktan sampai dengan 0,2% ke dalam aspal minyak Pen 60 tidak mengubah klasifikasi dari aspal tersebut. Dengan semakin enceranya 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 kelekatan antara keduanya.



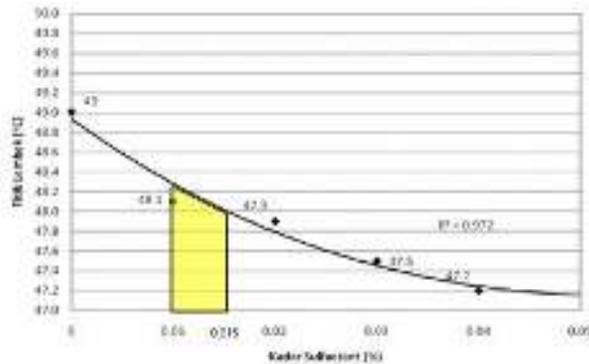
Gambar 4.1. Pengaruh Surfaktan terhadap Kekerasan Aspal



Gambar 4.2. Pengaruh Surfaktan terhadap Kekentalan Aspal



Gambar 4.3. Pengaruh Surfaktan terhadap LoH Aspal



Gambar 4.4. Pengaruh Surfaktan terhadap Titik Lembek Aspal

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 4.2 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.

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 4.3 dapat dilihat bahwa 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, 2011), 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 4.4 dapat dilihat bahwa penambahan dari 0,01% sampai 0,04% akan menurunkan titik lembek aspal menjadi 48,2° C sampai 47,2° C. Bila batasan titik lembek aspal Pen 60 yang disyaratkan dalam spesifikasi adalah 48,° C maka penambahan surfaktan sampai dengan 0,015% masih dapat diterima.

Seperti yang telah dibuktikan di atas bahwa penambahan surfaktan dapat mengubah sifat rheologi aspal, agar perubahan sifat aspal pen 60 yang terjadi akibat penambahan surfaktan masih masuk rentang sifat yang disyaratkan dalam Spesifikasi Umum Bina Marga 2011, dan karena penambahan surfaktan kurang dari 0,01% adalah sangat sulit dilakukan maka penambahan surfaktan yang direkomendasikan untuk meningkatkan kelekatan aspal-agregat adalah antara 0,01% -0,015%. Sifat-sifat aspal yang dihasilkan akibat dari penambahan surfaktan sebesar 0,01% ini yang diresumekan dari tabel sebelumnya seperti yang diberikan pada Tabel 4.5. Dari tabel ini dapat dilihat bahwa, penambahan surfaktan 0,01% ke dalam aspal pen 60 relatif menghasilkan aspal yang sifat-sifatnya masih memenuhi persyaratan Spesifikasi Bina Marga 2011 sebagai aspal pen 60.

Untuk penambahan surfaktan 0,01% ini, temperatur pencampuran dan pemadatan campuran yang masing-masing terjadi 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.

Tabel 4.5. Pengaruh Penambahan 0,01% Surfaktan pada Aspal Pen 60

Sifat	Nilai	Syarat
Penetrasi (dmm)	66.2	60 - 70
Titik Lembek (°C)	48,1	Min 48
Kehilangan Berat (LoH, %)	0,0185	< 0,8
Viskositas 135°C, poise	276,2	-
Temperatur :		-
- Pencampuran (°C)*	153-159	
- Pemadatan (°C)*	141-146	

Campuran beraspal yang dibuat dari agregat *quarry* 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 2011 kecuali nilai stabilitas Marshall sisa (Tabel 4.6), tetapi campuran yang menggunakan pen 60 ditambah 0,01% surfaktan dapat memenuhi seluruh sifat yang disyaratkan.

Dari Tabel 4.6. dapat dilihat bahwa bila dari *quarry* 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 2011.

Tabel 4.6. Sifat AC-BC dari Agregat *Quarry* Batu Gantung dengan Aditif Aspal

Sifat Campuran	Nilai				Spesifikasi Bina Marga 2011
	Bahan Pengikat				
	Penetrasi 60	Penetrasi 60 + S	Penetrasi 60 + AS	Penetrasi 60 + S + AS	
Kadar aspal, (%)	5,5	5,5	5,5	5,5	
Stabilitas, kg	1075	1271	1111	1075	Min. 800
Kelelahan, mm	4,3	4,7	3,6	5,3	Min. 3
MQ kg/mm	250	270	312	206	Min. 250
VMA, %	14,1	17,7	17,8	14,7	Min. 14
VIM, %	3,6	3,6	3,6	4,6	3,5 – 5,0
VFB, %	66,4	68,9	69,2	62,5	Min. 63
Kepadatan, kg/m ³	2,4	2,4	2,4	2,3	-
Stabilitas sisa, %	86,4	98,2	88,2	71,2	Min. 90

Penambahan aditif *anti-stripping* yang disyaratkan dalam Spesifikasi Umum Bina Marga 2011 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 *quarry* 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 *quarry* 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 dan bahkan lebih baik dibandingkan dengan bila aspalnya ditambah aditif *anti-stripping*. 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 *quarry* 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 2011 atas penggunaan aditif *anti-stripping* maka penambahan 0,2% bahan tersebut ke dalam aspal pen 60 yang sudah terlebih dahulu ditambahkan 0,01% surfaktan juga dicoba. Campuran beraspal yang dibuat agregat dari *quarry* Batu Gantung-Fak Fak yang 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* ternyata tidak banyak menaikkan stabilitas Marshall sisa campuran beraspal yang dibuat dengan menggunakan agregat dari *quarry* 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.

4.1.2. Pemanfaatan Pasir Laut dari Kaimana untuk Latasir

Pasir laut di Kabupaten Kaimana umumnya terdeposit di daerah perbukitan yang jauh dari laut. Pasir ini memiliki kandungan garam sangat kecil, yaitu hanya $0,81\%$. Walaupun kecil tetapi karena mengandung garam, pasir ini dikenal dengan sebutan pasir laut.

Proses pencucian dengan cara merendam pasir laut Kaimana dalam air, baik tanpa ataupun dengan pengadukan, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.7, 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 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%.

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 Umum Bina Marga 2011, perlu penambahan bahan pengisi (*filler*) sebanyak 10%. Latasir yang dibuat dengan penambahan *filler* jenis apa saja dapat memenuhi sifat Marshall yang disyaratkan dalam spesifikasi tersebut, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.8, tetapi tidak satupun dari campuran ini memenuhi sifat Marshall rendamannya khususnya bila 10% *filler* tambahan adalah kapur (B). Penambahan 10% *filler* yang merupakan kombinasi dari 8% abu batu dengan 2% kapur (C) atau 2% semen (D) dapat menaikkan stabilitas sisa Latasir yang dihasilkan walaupun nilainya masih berada di bawah nilai stabilitas sisa yang disyaratkan tetapi sudah jauh lebih baik dari sifat awalnya yang hanya menggunakan abu batu sebagai *filler*-nya (A).

Tabel 4.7. Kandungan Garam pada Pasir Laut Kaimana Sebelum dan Setelah Pencucian

Kandungan Garam Pasir Laut Kaimana (%)											
Waktu Perendaman Tanpa Pengadukan											
Asli	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,81	0,76	0,72	0,81	0,73	0,72	0,72	0,75	0,68	0,70	0,68	0,72
Waktu Perendaman Dengan Pengadukan											
0,81	0,58	0,53	0,53	0,46	0,71	0,51	0,35	0,53	0,58	0,49	0,36

Tabel 4.8. Sifat Latasir dari Pasir Laut Kaimana

Sifat Campuran	Nilai Parameter Dengan Variasi <i>Filler</i>				Spesifikasi BM 2010
	A	B	C	D	
Kadar aspal, (%)	7,00	7,00	7,0	7,75	
Stabilitas, kg	432	487	329	362	Min. 200
Kelelahan, mm	2.75	2,20	2,41	2,22	2 - 3
MQ kg/mm	157	221	147	164	Min. 80
VMA, %	45.9	35,0	32,8	35,5	Min. 20
VIM, %	5,25	3,67	4,00	3,78	3,0 – 6,0
VFB, %	87,7	89,5	87,8	90	Min. 75
Kepadatan, kg/m ³	1,833	1,852	1,826	1,854	-
Stabilitas sisa, %					
- Tanpa anti <i>stripping</i>	36%	Hancur	50	60%	Min. 90
- Dengan anti <i>stripping</i>	49%	Hancur	75%	75%	
A = Penambahan 10 % Abu batu		C = Penambahan 8% abu batu + 2% kapur			
B = Penambahan 10% kapur		D = Penambahan 8% abu batu + 2% semen			

4.1.3. Pemanfaatan Tanah Lateritis Merauke untuk *Soil Cement*

Tanah dari Merauke (Gambar 4.5), adalah tanah lempung berbutir halus dengan plastisitas tinggi. Sifat-sifat tanah ini seperti yang diberikan pada Tabel 4.9 dan Tabel 4.10. Berdasarkan sifat tersebut, tanah dari Merauke ini masuk dalam kelompok A-7-5 (Klasifikasi AASHTO) atau MH (Klasifikasi USCS).



Gambar 4.5. Contoh Tanah dari Merauke - Papua

Tabel 4.9. Hasil Pengujian Tanah Merauke - Papua

Jenis Pengujian	Tanah
Batas Cair (%)	64
Batas Plastis (%)	36
Plastisitas Indek (%)	28
Berat Jenis (Bulk) Agregat Halus	2,892
Penyerapan Agregat Halus	11,433
Berat Jenis (Bulk) Agregat Kasar	2,600
Penyerapan Agregat Kasar	6,260
Lolos Saringan No. 200 (%)	65,8
Pemadatan:	
– Kadar Air Optimum (%)	14
– Kepadatan Maksimum (t/m^3)	1,94
<i>California Bearing Ratio</i> , CBR (%)	18
<i>Unconfined Compressive Strength</i> , UCS (kg/cm^2)	9,92

Tabel 4.10. Komposisi Kimia Tanah Merauke - Papua

Unsur-unsur Kimia	Kandungan (%)
– SiO ₂	52,42
– Fe ₂ O ₃	26,05
– Al ₂ O ₃	8,18
– CaO	1,15
– MgO	0,30
– TiO ₂	0,95
– Mn ₂ O	-
– K ₂ O	0,25
– Na ₂ O	0,02
– P ₂ O ₅	0,05
– SO ₃	0,03
– H ₂ O	2,08
– HD	10,29

Dari analisa kimia yang dilakukan (Tabel 4.10) diketahui bahwa unsur-unsur kimia yang dominan yang 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 bukan merupakan tanah laterit, tetapi hanya bersifat laterit (lateritis).

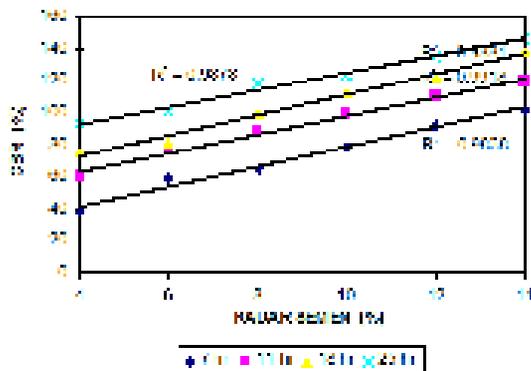
Dengan nilai LL (64)%, PI (28%), kepadatan 1,94 t/m³ dan nilai CBR rendaman sebesar 18%, maka menurut (DHV, 1984) tanah lateritis Merauke ini tidak dapat digunakan sebagai bahan untuk lapis pondasi atas atau bahkan untuk pondasi bawah sekalipun. Bahkan berdasarkan klasifikasi USCS tersebut di atas, dengan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

Tanah dengan sifat-sifat seperti tersebut di atas tidak dianjurkan untuk distabilisasi dengan semen (*Soil Cement*, SC) karena menuntut penggunaan semen yang sangat banyak (>10%). Pada Tabel 4.11, Gambar 4.6 dan Gambar 4.7 ditunjukkan perkembangan daya dukung yang diwakili oleh CBR dan kuat tekan bebasnya (*Unconfined Compressive Strength*, UCS). Pada Gambar 4.6 dan Gambar 4.7 dapat dilihat bahwa sampai dengan 14% penggunaan semen kekuatan SC yang dihasilkan masih belum memenuhi kekuatan yang disyaratkan oleh Spesifikasi Bina Marga 2011. 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 sehingga akan memberikan pengaruh negatif pada kinerja SC tersebut dan juga pada lapisan di atasnya. Oleh sebab itu, 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.

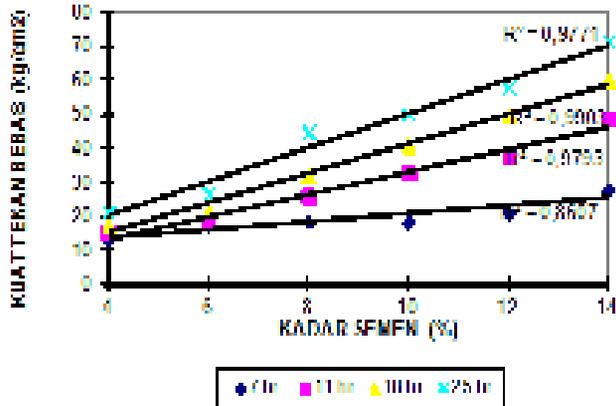
Tabel 4.11. Daya Dukung Tanah Hasil Stabilisasi dengan Semen

Kadar Semen (%)	Pemeraman (hari)							
	7		11		18		25	
	CBR	UCS	CBR	UCS	CBR	UCS	CBR	UCS
4	37,5	13,1	60,0	15,1	75,3	17,5	93,0	21,1
6	58,8	17,4	77,0	18,4	81,0	21,4	101,0	26,8
8	65,0	18,5	87,5	25,9	99,8	31,9	118,0	44,9
10	78,5	18,4	98,7	32,8	112,0	40,9	123,0	50,1
12	92,0	21,2	110,0	37,8	122,0	49,9	135,0	57,8
14	102,0	27,7	119,5	48,9	137,5	60,0	145,0	71,4

Agar dapat digunakan sebagai tanah dasar atau bahkan sebagai bahan untuk lapis pondasi, maka tanah ini harus dimodifikasi sifatnya dan ditingkatkan daya dukungnya. Tetapi, seperti telah diuraikan di atas bahwa peningkatan daya dukung tanah lateritis Merauke dengan semen akan menuntut penggunaan semen yang cukup tinggi dan memberikan efek negatif (retak) pada SC itu sendiri. Untuk tanah dengan plastisitas, kadar air dan kandungan partikel halus yang tinggi seperti tanah lateritis Merauke ini, 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.



Gambar 4.6. Kadar Semen Vs CBR Tanah s Merauke



Gambar 4.7. Kadar Semen Vs Kuat Tekan Bebas Tanah Merauke

Berdasarkan hal tersebut di atas, 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-sifat dengan menggunakan kapur (*lime*). 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).

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 4.12 dan Gambar 4.8 dapat dilihat pengaruh penambahan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (kapur padam) terhadap IP tanah lateritis dari Merauke. Akibat penambahan kapur, IP tanah lateritis ini akan menurun sejalan dengan kuantitas kapur yang ditambahkan. Agar dapat distabilisasi dengan semen

secara efektif, IP tanah lateritis Merauke ini seyogyanya diturunkan terlebih dahulu sampai dibawah 10%, tetapi dari Gambar 4.8 dapat dilihat bahwa untuk mencapai nilai tersebut persentase kapur yang dibutuhkan akan sangat tinggi (> 25%).

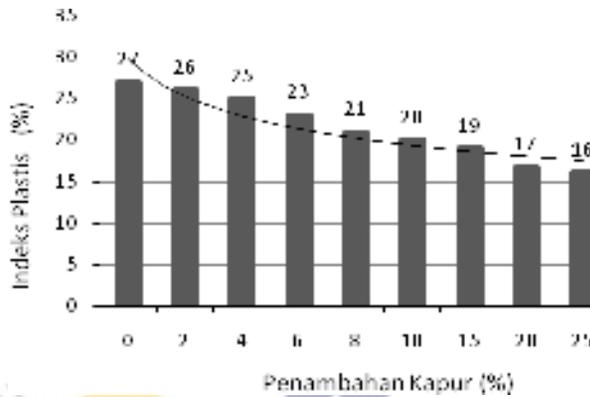
Berdasarkan Austroads (1998), untuk tanah berbutir halus (lolos saringan No. 200 > 25%) dengan IP dalam rentang 10% - 20%, walaupun masih belum cocok untuk distabilisasi dengan semen tetapi tanah dengan IP tersebut dapat dipertimbangkan untuk distabilisasi dengan semen. Bertitik tolak dari hal tersebut, penurunan IP tanah lateritis Merauke dilakukan melalui stabilisasi kapur dengan kuantitas pemakaian kapur sampai dengan 15% (lihat Gambar 4.8).

Tabel 4.12. Pengaruh Penambahan Kapur pada Tanah Merauke

Jenis Pengujian	Persentase Penambahan kapur (%)								
	0	2	4	6	8	10	15	20	25
Batas Atterberg	0	2	4	6	8	10	15	20	25
Batas Cair	57	58	58	58	56	56	50	42	30
Batas Plastis	30	32	33	35	35	36	31	23	11
Indeks Plastis	27	26	25	23	21	20	19	17	16

Berdasarkan hal tersebut di atas, setelah IP tanah lateritis Merauke diturunkan dengan penambahan kapur (*Soil Lime*, SL), selanjutnya pada tanah ini baru dilakukan stabilisasi dengan semen. Pada Tabel 4.13 ditunjukkan pengaruh penambahan kapur dan semen pada tanah lateritis Merauke terhadap nilai kuat tekan bebasnya. Dari tabel ini dapat dilihat bahwa setelah stabilisasi dengan 8% - 10% kapur padam (stabilisasi pertama) sehingga menghasilkan campuran tanah kapur (*Soil-Lime*, SL), stabilisasi selanjutnya (stabilisasi kedua) dengan penambahan 2% - 6% semen pada SL ini sudah dapat menaikkan nilai UCS tanah yang dihasilkan (*Soil-Lime-Cement*, SLC) secara

signifikan. Bila nilai UCS yang disyaratkan dalam Spesifikasi Umum Bina Marga 2011 adalah sebesar $20 \text{ kg/cm}^2 - 35 \text{ kg/cm}^2$, 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.



Gambar 4.8. Pengaruh Penambahan Kapur Penurunan IP Tanah Lateritis Merauke

Tabel 4.13. Pengaruh Penambahan Semen pada Stabilisasi Tanah-Kapur

Persentase Penambahan Kapur (%)								
8			10			15		
Persentase Penambahan Semen (%)								
2	4	6	2	4	6	2	4	6
Kuat Tekan Bebas (kg/cm^2)								
23	33	39	28	29	45	35	37	38

Dalam Spesifikasi Umum Bina Marga 2011 disebutkan bahwa untuk mencapai nilai UCS sebesar $20 \text{ kg/cm}^2 - 35$

kg/cm², kuantitas semen yang digunakan harus dalam rentang 3% - 12% terhadap berat kering tanah. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa tanah lateritis 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 kuantitas semen yang dibutuhkan sangat kecil, yaitu kurang dari 2%.

4.2. Pemanfaatan Agregat Substandar Sulawesi Utara untuk Campuran Beraspal

Agregat dari Sulawesi Utara khususnya dari *quarry* 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 t/m³, tidak memenuhi sifat agregat sebagaimana disyaratkan dalam Spesifikasi Umum Bina Marga 2011. Walaupun begitu, agregat di propinsi ini memiliki sifat natural (abrasi) yang sangat baik dengan nilai abrasi sekitar 20%, kecuali agregat dari *quarry* Tateli-Kakas nilai abrasinya cukup tinggi yaitu sekitar 37%.

Pada Tabel 4.14 ditunjukkan sifat-sifat campuran beraspal yang dibuat dengan menggunakan agregat substandar dari *quarry* 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 *quarry* Tateli.

Tabel 4.14. Komparasi Sifat Campuran AC-WC Agregat Substandar dan Standar

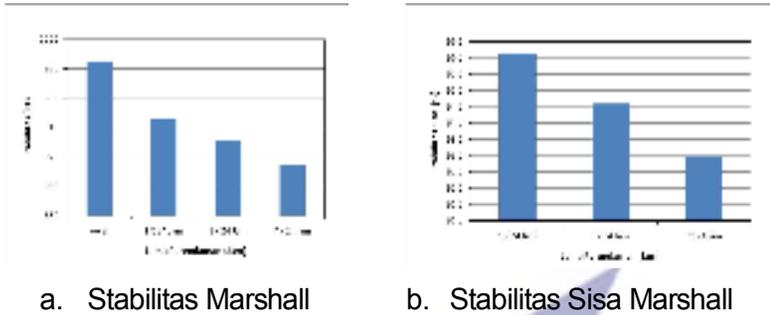
Parameter Sifat Campuran	Satuan	Hasil Pengujian Quarry Agregat			Spesifikasi BM-2011
		B ₁	B ₂	F	
Kadar Aspal	%	6,30	6,20	6,40	-
Penyerapan Aspal	%	1,1	1,2	0,93	Maks. 1,2
VMA	%	15,3	16,2	15,9	Min 15
VIM-Marshall	%	3,65	3,23	4,4	3,5 – 5,0
VFB	%	82	87	72,5	Min. 65
Stabilitas	kg	961	984	1625	Min. 800
Kelelahan	mm	3,3	3,43	3,1	Min. 3
MQ	Kg/mm	263	287	515,8	Min. 250
Stabilitas Sisa, 24 jam 60° C	%	87,3	96,1	92,6	Min 90
B ₁ = Gunung Lokon, tanpa aditif		F = Tateli-Kakas			
B ₂ = Gunung Lokon, dengan aditif					

Dari Tabel 4.14 tersebut dapat dilihat bahwa bila penggunaan agregat standar dari *quarry* Tateli akan menghasilkan campuran beraspal (F) dengan nilai stabilitas sisa di atas (> 90%), nilai ini memenuhi persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2011.

Sedangkan untuk agregat *quarry* Gunung Lokon karena agregatnya dikategorikan sebagai agregat substandar (kelekatannya tidak memenuhi syarat), maka stabilitas sisa campuran beraspal (B₁) yang dihasilkan hanya sekitar 87%,. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa walaupun campuran beraspal yang dibuat dengan menggunakan agregat substandar dari *quarry* Gunung 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.

Dengan nilai stabilitas sisa di atas 75%, maka berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2011, 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 (B₂) yang dibuat dengan agregat substandar dari *quarry* Gunung Lokon dapat ditingkatkan

dari 87% ke 96% sehingga memenuhi nilai yang disyaratkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2011. 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*.



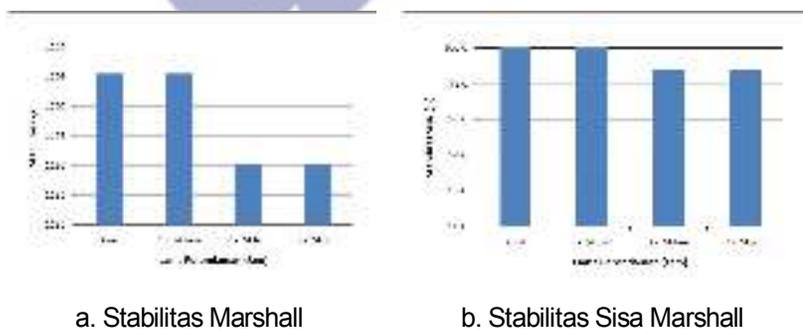
Gambar 4.9. Kekuatan Campuran dari Agregat Asli Lokon, Pen 60 dan *Anti-Stripping*

Untuk jangka panjang masalah *stripping* tidak dapat dideteksi melalui pengujian stabilitas sisanya. Hal ini disebabkan karena pada pengujian ini pengkondisian benda uji untuk melihat pengaruh air pada campuran beraspal ini bersifat statis. Pada Gambar 4.9 ditunjukkan pengaruh penambahan aditif *anti-stripping* pada kekuatan dan durabilitas campuran dibuat dengan menggunakan agregat dari Gunung Lokon. 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 *quarry* gunung Lokon akibat pengaruh air statis, tetapi belum tentu *durable* akibat pengaruh air dinamis.

Cara lainnya untuk meningkatkan durabilitas campuran beraspal yang dibuat dari agregat substandar dari *quarry* Gunung Lokon adalah dengan teknik penyelimutan semen (*cement-coated*). Dengan teknik ini, sebelum digunakan untuk campuran beraspal

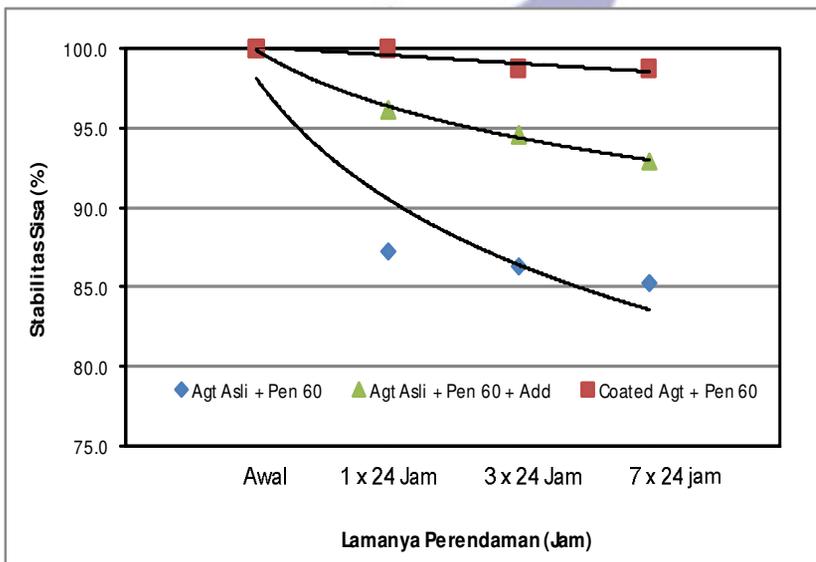
agregat substandar harus diselimuti (*coated*) terlebih dahulu dengan semen sehingga menghasilkan *Cement-Coated-Aggregate* (CCA). Untuk menghindari penggumpalan agregat halus akibat dari penggunaan semen ini, pembuatan CCA hanya dilakukan pada agregat kasarnya saja dan banyaknya semen yang digunakan adalah 2% terhadap berat agregat kasar. Dengan kadar semen ini, seluruh permukaan agregat sudah dapat diselimuti oleh semen. Proses penyelimutan semen ke agregat dilakukan sebagaimana telah dijelaskan pada Seksi 3.3.3.

Pengunaan semen sebagai *precoated* agregat dapat meningkatkan durabilitas campuran dibuat dengan menggunakan agregat dari Gunung Lokon akibat pengaruh air statis jauh lebih baik dibandingkan dengan penggunaan aditif *anti-stripping*. Pada Gambar 4.10 ditunjukkan pengaruh penggunaan semen sebagai *precoated* pada agregat dari Gunung Lokon pada kekuatan dan durabilitas campuran beraspalnya. Pada Gambar 4.9.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.



Gambar 4.10. Kekuatan Campuran dari *Coated* Agregat Lokon dan Pen 60

Bila durabilitas terhadap air statis campuran beraspal yang dibuat dari agregat substandar dari *quarry* gunung Lokon dengan dan tanpa penambahan aditif *anti-stripping* dan CCA dibandingkan, maka sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.11 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 statis dibandingkan dengan penggunaan aditif *anti-stripping*.



Gambar 4.11. 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 air, 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).

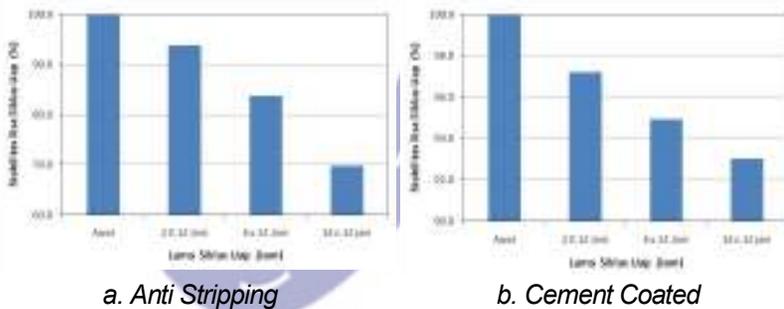
Siklus uap air yang dialami oleh campuran beraspal akibat penguapan air dapat menyebabkan pelunakan pada campuran beraspal. Pelunakan campuran terjadi sebagai akibat dari berkurangnya ikatan aspal terhadap agregat. Menurut Skog et al. (1963) salah satu faktor penyebab bergelombangnya permukaan jalan 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 Marshalnya. 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 dibawahnya. Pada uji ini, tingkat keawetan campuran beraspal diuji dengan cara intrusi uap air melalui suatu alat, seperti yang diilustrasikan pada Lampiran-1. 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 4.12 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.

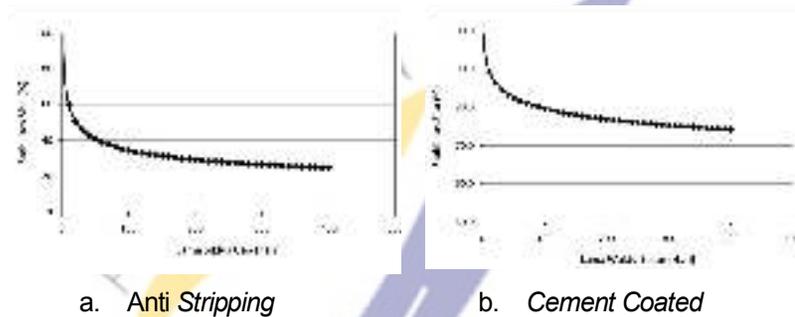


Gambar 4.12. Pengaruh *Anti-Stripping* dan *Cement Coated* pada Durabilitas Campuran dari Agregat Substandar Lokon terhadap Siklus Uap

Dari Gambar 4.12.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 *quarry* 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 CCA (Gambar 4.12.b) masih memberikan durabilitas yang baik dengan nilai stabilitas sisa di atas 90% walaupun telah mengalami 7 siklus uap.

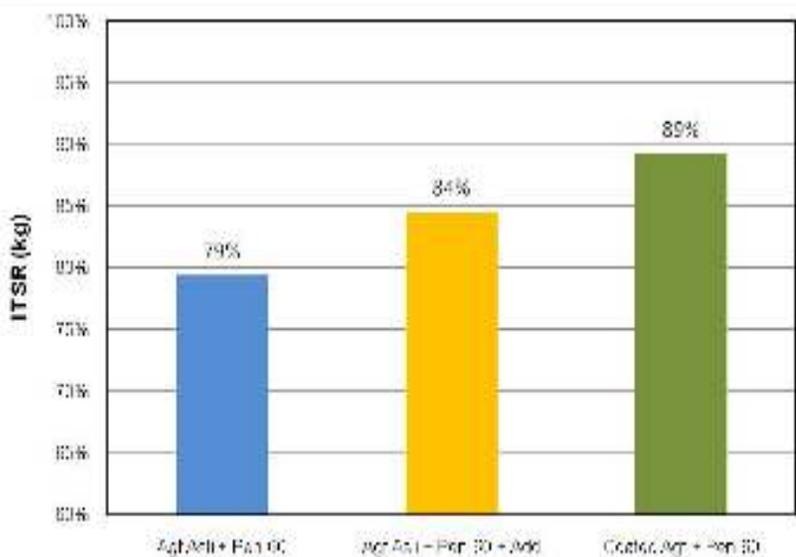
Bila penurunan stabilitas sisa akibat pengaruh siklus uap tersebut di atas diregresi untuk menggambarkan kecenderungan penurunannya, maka akan didapat kecenderungan penurunan stabilitas sisa seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.13. Dari gambar ini dapat dikatakan bahwa untuk durabilitas jangka panjang, penggunaan semen sebagai CCA pada agregat dari *quarry* Lokon untuk campuran beraspal adalah jauh lebih baik dibandingkan dengan penggunaan aditif *anti-stripping*.



Gambar 4.13. Kecenderungan Penurunan Stabilitas Sisa Campuran dari Agregat Asli *Quarry* Gunung 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 dimanis (gerakan air). Pada perkerasan jalan, gerakan air terjadi 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.



Gambar 4.14. Hasil Pengujian ITSr

Simulasikan aksi tekan-tarik air akibat laju roda kendaraan dapat dilakukan melalui uji kuat tarik tak langsung sisa (*Indirect Tensile Retained Strength*, ITSr) dengan vacum. Pada uji ini, sebelum pengujian kekuatan sisa dilakukan, benda uji dimasukan ke dalam labu yang berisi air sampai terendam, kemudian labu ditutup dan selanjutnya divacum dengan tekanan 25 – 66 cmHg selama 10 menit. Setelah proses pemvacuman selesai, benda uji untuk selanjutnya dikondisikan

dalam bak penangas air pada temperatur 60° C selama 2 jam, baru sesegera setelah itu diuji ITSR-nya.

Pada Gambar 4. 14 ditunjukkan hasil uji ITSR campuran beraspal yang dibuat dengan menggunakan agregat substandar dari *quarry* Gunung Lokon dengan dan tanpa dan agregatnya dilapisi terlebih dahulu dengan semen (CCA).

Dari Gambar 4.14 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 di bawah 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 disaratkan (>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 dari *quarry* Gunung Lokon untuk campuran beraspal, adalah lebih baik dari pada penggunaan aditif *anti-stripping*.



Bab 5

PENUTUP

Agregat adalah partikel batuan yang dapat digunakan sebagai bahan perkerasan jalan dengan atau tanpa bahan pengikat. Tidak ada batasan khusus material apa yang dapat digunakan sebagai bahan jalan. Agregat yang sifat-sifatnya memenuhi persyaratan spesifikasi diistilahkan sebagai agregat standar. Sebaliknya, agregat yang sifat-sifatnya tidak memenuhi persyaratan spesifikasi yang digunakan disebut sebagai agregat substandar atau agregat marjinal.

Agregat substandar dapat berasal dari agregat alam ataupun agregat buatan. Agregat alam substandar dapat berupa tanah ataupun batuan. Agregat yang dikelompokkan sebagai agregat substandar karena sifat konsesusnya (contohnya *stripping resistance*, berat jenis dan penyerapan) yang tidak memenuhi spesifikasi dapat ditingkatkan mutunya mendekati atau ekuivalen dengan sifat agregat standar melalui intervensi pada sifat konsesusnya. Namun apabila sifat naturalnya (contohnya kekerasan dan keawetan) yang tidak sesuai dengan spesifikasi maka agregat tersebut tidak bisa ditangani. Untuk kasus seperti ini, mau tidak mau batasan sifat-sifat agregat yang terdapat spesifikasi yang digunakan tersebut yang harus diturunkan (*downgrade*).

Intervensi pada sifat konsesusnya dapat dilakukan dengan banyak cara. Cara atau metode mana yang dipilih tergantung dengan sifat konsesus yang mana yang akan diintervensi. Penambahan bahan pengikat dan atau penstabil dapat dilakukan untuk meningkatkan daya dukung yang dapat dihasilkan oleh agregat substandar. Untuk tujuan ini, bahan pengikat yang umumnya digunakan antara lain adalah bahan-bahan organik non-bituminus (seperti semen dan kapur), garam, bahan turunan dari minyak bumi dan polimer.

Dalam hal kelekatan agregat terhadap aspal yang ingin diintervensi, penggunaan modifier dapat dilakukan. Untuk tujuan ini, intervensi dapat dilakukan pada aspal ataupun pada agregatnya. Penggunaan surfaktan dan fatty amine base ataupun iron naphthene dapat dilakukan untuk meningkatkan *stripping resistance* aspal-agregat. Untuk tujuan yang sama perbaikan sifat agregat dapat dilakukan. Perbaikan ini dapat dilakukan dengan penambahan *modifier* pada agregat seperti aspal emulsi, kapur dan semen. Metode ini disebut sebagai metode *coated-aggregate*, baik sebagai *Emulsion-Coated-Aggregate* (ECA), *Lime-Coated-Aggregate* (LCA) ataupun *Cement-Coated-Aggregate* (CCA) tergantung jenis modifier yang digunakan.

Penggunaan modifier aspal dapat meningkatkan *stripping resistance* aspal-agregat dari agregat substandar akibat pengaruh kombinasi beban, temperatur dan air dalam jangka pendek. Namun untuk jangka panjang, masih rentan terhadap masalah *stripping*.

Dibandingkan dengan penggunaan aditif *anti-stripping*, penggunaan semen sebagai *precoated* agregat (CCA) pada agregat substandar memberikan ketahanan yang lebih superior terhadap pengaruh air statis, siklus uap ataupun terhadap siklus tekan-tarik air (*compression-tension action of water*) baik untuk pengaruh jangka pendek ataupun jangka panjang.

Daftar Pustaka

- AASHTO, (1995), Standard No M 145-91, 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.
- Austrroads 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.
- Bina Marga, (2011), Spesifikasi Umum Buku III, Direktorat Jenderal Bina Marga Kementerian Pekerjaan Umum.
- 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 and Transportation, No. 7.
- Charman, J.H, (1988), *Laterite in Road Pavements*, Overseas Development Administration, London; Transport and Road Research Lab., Crowthome; 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 propeties*, Proc. of the Ass. of Asphalt Paving Tech. Vol. 50.
- Day, D.E., and Schaffer, R., (1994), *Glaspalt Paving Handbook*, University of Missouri-Rolla; Department of The Army, The Navy, and The Air Force, 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.
- Djunaedie Edie dan Yamin R. Anwar, (2008.a), Uji Coba Pemanfaatan Tailing untuk Bahan Jalan, Kolokium Hasil penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan
- Djunaedie 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-IRISSelection 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.
- Jean Louis Salager, (2002), Surfactants, Types and Uses, Laboratory of Formulation, Interfaces Rheology and Processe, 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. M u s . 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.

- Majdzadeh, 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 Virginia, 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., Bszmadia, 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.
- 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., (1978), Adhesion and Disbonding Mechanisms of Asphalt Used in Highway Construction and Maintenance, Proc. Assoc. of Asphalt Paving Technologists, Vol. 47, 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.
- 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 Association 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.
- Tunnickliff, 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, Jumal 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.

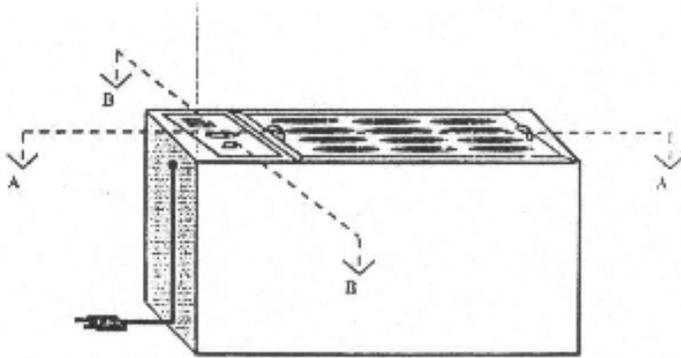
Yamin H. R. Anwar, (2012), Teknologi Bahan Lokal dan Bahan Substandar dari Sulawesi, Naskah Ilmiah – Laporan Akhir Penelitian Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan, Bandung .

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.

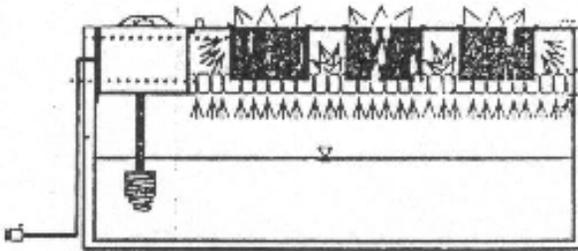


Daftar Lampiran

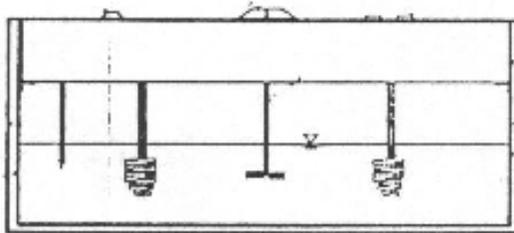
LAMPIRAN-1



a) Alat Uji Penguapan-Pengembunan Berulang



b) Potongan A – A dari Alat Uji



c) Potongan B – B dari Alat Uji

Gambar L-1. Alat Uji Pengaruh Uap pada Campuran Beraspal

