

AGREGAT SUBSTANDAR

SEBAGAI **ALTERNATIF
BAHAN
PERKERASAN
JALAN
DI PAPUA**



Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana kondisi jalan di Papua yang merupakan provinsi yang banyak memiliki daerah-daerah yang belum teraspal, serta bagaimana kondisi jalan yang sudah teraspal di Papua yang mengalami kerusakan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana kondisi jalan yang sudah teraspal di Papua yang mengalami kerusakan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana kondisi jalan yang sudah teraspal di Papua yang mengalami kerusakan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana kondisi jalan di Papua yang merupakan provinsi yang banyak memiliki daerah-daerah yang belum teraspal, serta bagaimana kondisi jalan yang sudah teraspal di Papua yang mengalami kerusakan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana kondisi jalan yang sudah teraspal di Papua yang mengalami kerusakan.

AGREGAT SUBSTANDAR SEBAGAI ALTERNATIF BAHAN PERKERASAN JALAN DI PAPUA

AGREGAT SUBSTANDAR

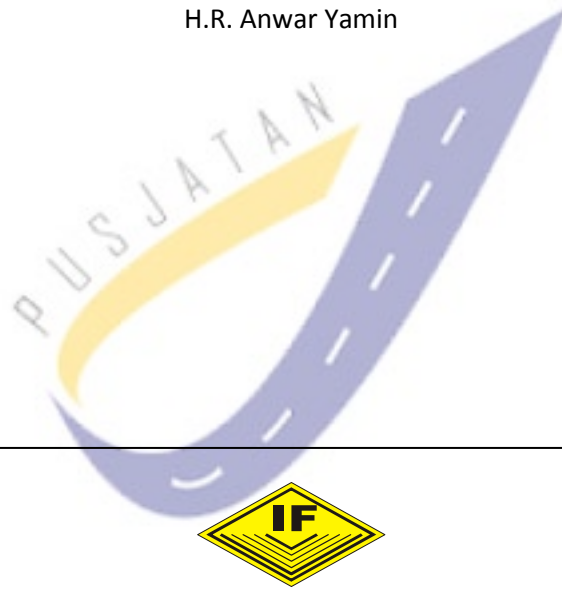
SEBAGAI **ALTERNATIF
BAHAN
PERKERASAN
JALAN
DI PAPUA**





AGREGAT SUBSTANDAR SEBAGAI ALTERNATIF BAHAN PERKERASAN JALAN DI PAPUA

H.R. Anwar Yamin



INFORMATIKA
Bandung

**AGREGAT SUBSTANDAR
SEBAGAI ALTERNATIF BAHAN PERKERASAN JALAN DI PAPUA**
Desember, 2011

Cetakan ke-1, 2011, (xii + 52 halaman)

©Pemegang Hak Cipta Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan

No. ISBN : 978-602-8758-65-9
Kode Kegiatan : 04-PPK3-01-138-11
Kode Publikasi : IRE-TR-040/ST/2011

Kata Kunci : Agregat, Substandar, Bahan Jalan, Papua

Penulis:

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

Editor:

Dr. Djoko Widayat, MSc.

Ir. Nyoman Suaryana, M.Sc.

Naskah ini disusun dengan sumber dana APBN Tahun 2011, pada paket pekerjaan Model Keruntuhan Lapisan Beraspal dan Pondasi

Pandangan yang disampaikan di dalam publikasi ini tidak menggambarkan pandangan dan kebijakan Kementerian Pekerjaan Umum, unsur pimpinan, maupun instruksi pemerintah lainnya.

Kementerian Pekerjaan Umum tidak menjamin akurasi data yang disampaikan dalam publikasi ini, dan tanggung jawab atas data dan informasi sepenuhnya dipegang oleh penulis.

Kementerian Pekerjaan Umum mendorong percetakan dan memperbanyak informasi secara eksklusif untuk perorangan dan pemanfaatan nonkomersil dengan pemberitahuan yang memadai kepada Kementerian Pekerjaan Umum. Pengguna dibatasi dalam menjual kembali, mendistribusikan atau pekerjaan kreatif turunan untuk tujuan komersil tanpa izin tertulis dari Kementerian Pekerjaan Umum.

Diterbitkan oleh:

Penerbit Informatika - Bandung

Pemesanan melalui:

Perpustakaan Puslitbang Jalan dan Jembatan
info@pusjatan.pu.go.id

TENTANG PUSLI TBANG JALAN DAN JEMBATAN

Puslitbang Jalan dan Jembatan (Pusjatan) adalah institusi riset yang dikelola oleh Badan Litbang Kementerian Pekerjaan Umum Republik Indonesia. Lembaga ini mendukung Kementerian PU dalam menyelenggarakan jalan dengan memastikan keberlanjutan keahlian, pengembangan inovasi dan nilai – nilai baru dalam pengembangan infrastruktur.

Pusjatan memfokuskan kepada penyelenggara jalan di Indonesia, melalui penyelenggaraan litbang terapan untuk menghasilkan inovasi teknologi bidang jalan dan jembatan yang bermuara pada standar, pedoman, dan manual. Selain itu, Pusjatan mengemban misi untuk melakukan advis teknik, pendampingan teknologi, dan alih teknologi yang memungkinkan infrastruktur Indonesia menggunakan teknologi yang tepat guna.

KEANGGOTAAN TIM TEKNIS DAN SUBTIM TEKNIS

TIM TEKNIS:

1. Prof (R) Dr. Ir. M. Sjahdanulirwan, M.Sc.
2. Ir. Agus Bari Sailendra. MT
3. Ir. I. Gede Wayan Samsi Gunarta, M.Appl.Sc.
4. Prof (R) Dr. Ir. Furqon Affandi, M.Sc.
5. Prof (R) Ir. Lanneke Tristanto, APU

6. Ir. GJW Fernandez
7. Ir. Soedarmanto Darmonegoro
8. DR. Djoko Widayat, MSc.

SUBTIM TEKNIS:

1. Ir. Nyoman Suaryana, M.Sc.
2. Prof (R) Dr. Ir. M. Sjahdanulirwan, M.Sc.
3. Prof (R) Dr. Ir. Furqon Affandi, M.Sc.
4. Dr. Djoko Widayat, M.Sc.
5. Ir. Kurniadji, MT.
6. Dr. Ir. Siegfried, M.Sc.
7. Dr. Ir. Anwar Yamin, M.Sc.

KEANGGOTAAN TIM TEKNIS DAN SUBTIM TEKNIS

TIM PELAKSANA

Kepala Balai Bahan &

Perkerasan Jalan

: Ir. Nyoman Suaryana, MSc

Ketua Paket Kerja

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

Sekretariat
Penelitian

: 1. Dadang Suharyana, S. Sos
2. Depi Toheri
3. Budi Irawan

Peneliti

: 1. Ir. I. Ketut Darsana, MSc.
2. Ir. Dadang, AS
3. Ir. Eddie Djunaedi Bashar
4. Iwan Riswan, ST
5. Dani Hamdani, DT
6. Sugeng T, S.Sos.
7. Willy Pravianto, ST

Pembantu Peneliti

: 1. Agus Lukman, BE
2. Rudy Sudigdiarto P, BE
3. Nyono
4. B. Muslihat
5. Triono
6. Kuro Supendi

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, selain hal di atas, penggunaan bahan setempat atau lokal perlu diprioritaskan. Namun demikian, untuk itu perlu dilakukan upaya-upaya agar bahan 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 pulau Papua.

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

Bandung,
Desember 2011



Daftar Isi

Kata Pengantar	v
Daftar Isi	vii
Daftar Tabel.....	ix
Daftar Gambar.....	xi
BAB 1. Pendahuluan	1
BAB 2. Material untuk Perkerasan	3
2.1 Agregat	3
2.1.1 Agregat Substandar	5
2.1.2 Batu Gamping.....	6
2.1.3 Batu Karang	8
2.1.4 Tanah Laterit	9
2.2 Bahan Pengikat	10
2.2.1 Pemilihan Bahan Pengikat.....	11
2.2.1.1 Bahan Pengikat Aspal	12
2.2.1.2 Bahan Pengikat Kapur dan Semen	13
2.3 Surfaktan (<i>Surfactant</i>)	16
BAB 3. Agregat Substandar dari Papua untuk Perkerasan Jalan	19
3.1 Batu Karang Kristalin dari Quarry Fak-Fak dan Sorong.....	19
a. Kelekatan Batu Karang Kristalin-Aspal	23
b. Campuran Beraspal dari Batu Karang Kristalin.....	30

3.2	Pasir Laut dari Kaimana.....	34
3.3	Pasir Bouvandigul dan Tanah Merauke.....	37
BAB 4.	Ringkasan.....	45
4.1	Batu Karang Kristalin Fak-Fak dan Sorong untuk Campuran Beraspal	45
4.2	Pasir Laut dari Kaimana untuk Latasir	46
4.3	Pasir Bouvandigul dan Tanah Merauke untuk Stabilisasi Tanah-Semen.....	47
BAB 5.	Rekomendasi	49
	Daftar Pustaka	51



Daftar Tabel

Tabel 1.	Persyaratan Laterit untuk Bahan Jalan (DHV, 1984)	10
Tabel 2.	Penentuan Perkiraan Persentase Semen yang Dibutuhkan	14
Tabel 3.	Sifat Lapis Pondasi Semen Tanah yang Disyaratkan (Bina Marga, 2010)	15
Tabel 4.	Sifat Agregat dari Quarry Fak Fak dan Sorong–Papua Barat	20
Tabel 5.	Komposisi Kimia Agregat dari Quarry Fak Fak dan Sorong – Papua Barat	21
Tabel 6.	Pengaruh Partikel Halus Aktif pada Kelekatan Agregat Quarry Batu Gantung	24
Tabel 7.	Pengaruh Surfaktan pada Kelekatan Aspal Pen 60	25
Tabel 8.	Pengaruh Surfaktan pada Sifat Aspal Pen 60	26
Tabel 9.	Pengaruh Penambahan Surfaktan 0,01% pada Sifat Aspal Pen 60.....	29
Tabel 10.	Sifat AC-BC dari Agregat Quarry Batu Gantung dengan aditif Aspal.....	31
Tabel 11.	Kandungan Garam pada Pasir Laut Kaimana Sebelum dan Setelah Pencucian	34
Tabel 12.	Sifat Latasir dari Pasir Laut Kaimana	36
Tabel 13.	Hasil Pengujian Tanah Merauke – Papua	38
Tabel 14.	Komposisi Kimia Tanah Merauke – Papua	39

Tabel 15.	Hasil Pengujian Daya Dukung Stabilisasi Tanah dengan Semen	40
Tabel 16.	Pengaruh Penambahan Kapur pada Tanah Merauke	42
Tabel 17.	Pengaruh Penambahan Semen pada Stabilisasi Tanah-Kapur	44



Daftar Gambar

Gambar 1.	Panjang Jalan di Indonesia dari Tahun ke Tahun (Diolah dari BPS, 2011).....	2
Gambar 2.	Beberapa Jenis Batu Gamping.....	8
Gambar 3.	Kriteria Pemilihan Bahan Pengikat (Austroad (1998.b)	12
Gambar 4.	Nomograp untuk Perkiraan Penggunaan Kapur	15
Gambar 5.	Ilustrasi Senyawa Surfaktan	17
Gambar 6.	Contoh Agregat dari Beberapa Quarry Fak Fak di Papua Barat.....	21
Gambar 7.	Contoh Agregat dari Beberapa Quarry Sorong di Papua Barat.....	22
Gambar 8.	Pengaruh Surfaktan terhadap Kekerasan Aspal.....	27
Gambar 9.	Pengaruh Surfaktan terhadap Kekentalan Aspal	27
Gambar 10.	Pengaruh Surfaktan terhadap LoH Aspal	28
Gambar 11.	Pengaruh Surfaktan terhadap Titik Lembek Aspal.....	29
Gambar 12.	Gradasi AC-BC Benda Uji yang Digunakan	31
Gambar 13.	Contoh Tanah dari Merauke - Papua	39
Gambar 14.	Hubungan Kadar Semen dengan CBR Tanah Lateritis Merauke	40

Gambar 15.	Hubungan Kadar Semen dengan Kuat Tekan Bebas Tanah Lateritis Merauke	41
Gambar 16.	Penurunan IP Tanah Selmat Munting Akibat Penambahan Kapur	43



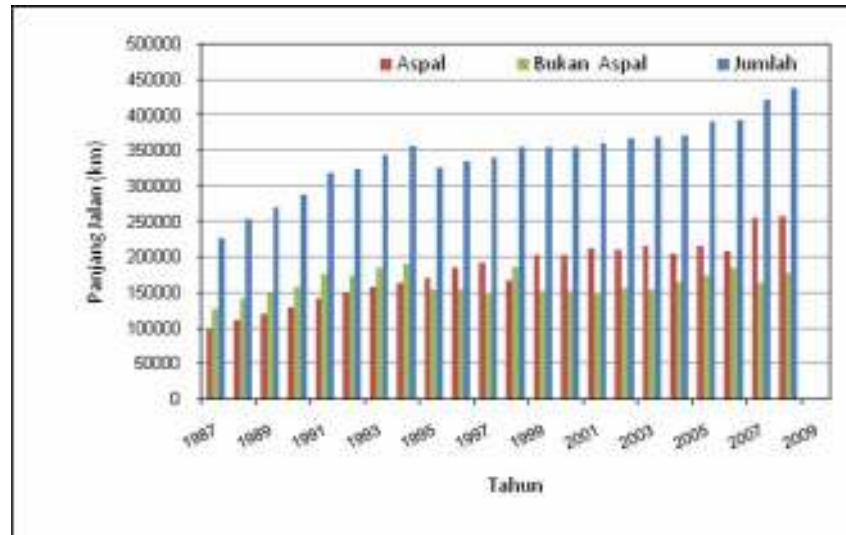
1

PENDAHULUAN

Saat ini, panjang jalan di Indonesia adalah sekitar 348.241 km yang terdiri dari jalan berlapis penutup (*paved road*) dan jalan tanpa penutup (*unpaved road*). Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1, dari tahun ke tahun panjang jalan ini terus bertambah. Di sisi lain, pekerjaan perbaikan jalan juga selalu dilakukan untuk menjaga agar jalan tersebut dapat selalu berfungsi dan selalu dalam kondisi baik. Pembangunan dan perbaikan jalan tentu saja membutuhkan bahan, sehingga kebutuhan bahan jalan setiap tahun juga meningkat.

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, selain hal di atas, penggunaan bahan setempat atau lokal perlu diprioritaskan. Akan tetapi, tidak semua daerah memiliki cadangan bahan yang mencukupi untuk digunakan sebagai bahan perkerasan pada struktur perkerasan jalan atau mutu bahan yang ada di bawah standar (*sub standard*). Selain itu, peningkatan kebutuhan bahan jalan tidak dapat diimbangi dengan ketersediaan sumber bahan, khususnya

agregat. Untuk memenuhi kebutuhan agregat di suatu daerah dengan cara mendatangkan agregat dari tempat lainnya tentu saja akan meningkatkan biaya. Untuk mengatasi hal tersebut, perlu dilakukan rekayasa teknis dalam pemanfaatan bahan sehingga bahan lokal yang substandar atau bahan buangan industri (*waste materials*) dapat dioptimalisasikan penggunaannya untuk perkerasan jalan, baik pada campuran beraspal maupun untuk lapis pondasi jalan (Fred, 1993).



Gambar 1. Panjang Jalan di Indonesia dari Tahun ke Tahun (Diolah dari BPS, 2011)

2

MATERI AL UNTUK PERKERASAN

Lapis perkerasan jalan dibuat untuk meningkatkan daya dukung tanah dasar sehingga dapat memikul beban lalu lintas yang melewatinya. Pada umumnya bahan untuk struktur perkerasan terdiri dari agregat dan bahan pengikat (*binder*).

2.1 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 semua agregat adalah partikel batuan yang dapat digunakan sebagai bahan perkerasan jalan dengan atau tanpa bahan pengikat (Collins et al. 1985).

Agregat umumnya 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% volume) bahan pembentuk campuran beraspal serta memberikan sumbangan terbesar pada daya dukung perkerasan. Oleh sebab itu, 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 (Sherwood, 1995), 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*). *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. Tidak semua agregat memenuhi kedua sifat tersebut di atas, terutama *source properties*-nya. Agregat yang tidak memenuhi sifat-sifat ini dikelompokkan sebagai agregat substandar.

2.1.1 Agregat Substandar

Pada umumnya agregat kasar yang digunakan untuk bahan jalan berasal dari batuan beku dan biasanya batuan sedimen tidak layak sebagai agregat pada konstruksi jalan, hal ini disebabkan karena struktur batuan sedimen tidak seragam, tidak memiliki kekuatan, mudah terpengaruh oleh cuaca dan mengandung bahan organik yang cukup tinggi. Walaupun begitu, karena batuan sedimen memiliki banyak variasi dan bentuk sehingga beberapa diantaranya memiliki tekstur dan penampakan seperti batuan beku dan batuan ini memiliki cukup kekuatan untuk digunakan sebagai agregat bahan jalan.

Agregat yang digunakan sebagai bahan jalan diharuskan memenuhi sifat-sifat tertentu yang disyaratkan dalam spesifikasi. Selanjutnya agregat memenuhi sifat yang disyaratkan dalam spesifikasi diistilahkan sebagai agregat standar. Sedangkan yang tidak memenuhi disebut sebagai agregat substandar. Sifat-sifat yang umumnya tidak sesuai spesifikasi yang berlaku,

antara lain adalah berat jenis, nilai plastisitas, penyerapan dan nilai abrasinya.

Agregat substandar dapat berasal dari agregat alam ataupun agregat buatan. Beberapa contoh agregat substandar dapat berasal dari agregat alam antara lain adalah batu karang, pasir laut, batu apung dan lain sebagainya. Sedangkan agregat substandar buatan dapat berupa agregat yang sengaja dibuat, contohnya alwa, batu bata, genting dan lain sebagainya, dan ada pula yang berasal dari sisa produksi (*waste*) contohnya *slag*, *tailing*.

2.1.2 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 berdasarkan cara batu ini terbentuk, penampilan atau komposisi dan faktor lainnya. Beberapa nama tersebut antara lain adalah:

a. 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 berkapur sisa-sisa organisme laut mikroskopis seperti foraminifera atau sisa-sisa kapur dari berbagai jenis ganggang laut.

b. 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.

c. Fossil Kapur

Adalah batu gamping yang secara jelas banyak mengandung fosil. Kerang dan kerangka dari organisme lainnya yang menghasilkan batu gamping.

d. Kapur Oolitic

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

e. Travertine

Adalah batu gamping yang terbentuk akibat penguapan presipitasi, sering dalam sebuah gua, untuk menghasilkan formasi seperti stalaktit, *stalagmite*, dan *flowstone*.

f. 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.

g. Tufa

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

2.1.3 Batu Karang

Batu karang termasuk batuan sedimen atau endapan yang terdapat pada umumnya disekitar kepulauan dan pantai yang mempunyai temperatur air laut tinggi sepanjang tahun. Batu karang dapat berbentuk massif (batu gunung) hingga 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 massif secara geologi disebut sebagai batuan kapur kristalin. Sedangkan batu karang terumbu (*coral reef*) akan bersifat ambyar bila dipecahkan, oleh sebab itu batuan seperti ini disebut sebagai batuan kapur koral.



Gambar 2. Beberapa Jenis Batu Gamping

2.1.4 Tanah Laterit

Tanah laterit adalah tanah hasil proses oksidasi yang terjadi pada daerah beriklim tropis. Batuan asal secara kimiawi diubah sifatnya dengan 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 berbentuk menyerupai batu atau kerikil yang keras.

Pada umumnya, dalam kondisi oksidasi iklim tropis, tanah cenderung memerah, tetapi tidak selalu menghasilkan bahan lateritis (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 hidorksidanya, 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 :

$$R_s = \text{SiO}_2 / (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3) \dots\dots\dots(1)$$

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. Untuk meningkatkan kinerja tanah laterit agar dapat digunakan sebagai bahan untuk konstruksi perkerasan, maka tanah ini perlu distabilisasi.

Tabel 1. 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)	$> 30\%$	$> 80\%$

2.2 Bahan Pengikat

Jenis bahan pengikat yang umumnya digunakan pada perkerasan jalan antara lain (Austroads, 1998.a) 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).

2.2.1 Pemilihan Bahan Pengikat

Seperti telah diuraikan diatas bahwa ada beberapa macam bahan pengikat, oleh sebab itu bahan pengikat yang cocok untuk digunakan harus ditentukan terlebih dahulu karena tidak sama bahan pengikat cocok untuk digunakan dengan material tertentu.

Jenis *stabilizer* yang digunakan tergantung pada jenis tanah dan tujuan dari stabilisasi itu sendiri. Beberapa pertimbangan teknis yang perlu diperhatikan untuk memilih jenis *stabilizer* yang cocok antara lain adalah jenis bahan yang akan distabilisasi, kekuatan dan tujuan yang ingin dicapai serta kondisi lingkungan dimana proses stabilisaasi itu akan dilaksanakan. Menurut Austroads (1998) dan Hicks, 2002), faktor-faktor yang perlu diperhatikan dalam pemilihan jenis *stabilizer* sehubungan dengan material yang akan digunakan adalah persentase lolos saringan no. 200 dan Indeks Plastisnya (IP). Gambar 3 dapat digunakan sebagai petunjuk untuk menentukan jenis bahan pengikat yang akan digunakan berkenaan dengan sifat material yang ingin ditingkatkan sifat-sifatnya.

Indeks Plastis	Lolos # No. 200 > 25%			Lolos # No.200 < 25%		
	IP ≤ 10	10 < IP < 20	IP ≥ 20	IP ≤ 6 IP x % P200 ≤ 60	IP ≤ 10	IP > 10
Bahan Stabilisasi						
Semen	Cocok	Meragukan	Tidak Cocok	Cocok	Cocok	Cocok
Kapur	Meragukan	Cocok	Tidak Cocok	Meragukan	Meragukan	Cocok
Aspal	Cocok	Meragukan	Tidak Cocok	Cocok	Cocok	Cocok
Kombinasi	Cocok	Meragukan	Tidak Cocok	Cocok	Cocok	Cocok
Aspal/semen	Cocok	Meragukan	Tidak Cocok	Cocok	Cocok	Cocok
Kimia Lain	Meragukan	Cocok	Tidak Cocok	Meragukan	Meragukan	Cocok
Keterangan  Cocok  Meragukan  Tidak Cocok						

Gambar 3. Kriteria Pemilihan Bahan pengikat (Austroad, 1998.b)

2.2.1.1 Bahan Pengikat Aspal

Selain digunakan sebagai bahan pengikat pada campuran beraspal, aspal juga dapat digunakan sebagai bahan penstabilisasi. Stabilisasi dengan menggunakan aspal merupakan salah satu cara yang efektif baik untuk meningkatkan kekuatan ataupun ketahanan bahan yang distabilisasi terhadap air. Jenis aspal yang dapat digunakan untuk tujuan ini adalah aspal emulsi. Aspal cair (*cut back*) tidak dapat dikelompokkan sebagai *stabilizer* karena proses penyebaran (dispersi) aspalnya relatif sama dengan yang terjadi pada campuran dingin (*cold mix*). Stabilisasi dengan aspal emulsi akan menghasilkan bahan yang bersifat lebih fleksibel dibandingkan bila menggunakan semen, tetapi kekuatan yang dihasilkannya jauh dibawah kekuatan stabilisasi dengan menggunakan semen.

Stabilisasi pada material yang marjinal (sub-standar) dengan menggunakan aspal kebanyakan akan dihasilkan bahan dengan nilai kuat tekan ataupun modulus rendaman yang sangat rendah. Untuk menaikkan nilai ini,

penambahan filler aktif (*active filler*) dapat dilakukan, misal dengan penambahan semen atau kapur dan lain-lain. penambahan filler aktif akan meningkatkan nilai kuat tekan ataupun modulus rendaman secara signifikan dengan tanpa memberikan pengaruh negatif pada ketahanan fatiganya. Selain itu, filler aktif juga berfungsi sebagai *breaking promote* pada aspal emulsi sehingga kekuatan awal dapat diperoleh dengan lebih cepat.

Pekerjaan stabilisasi dengan bitumen tidak mengikuti kaidah campuran beraspal, di mana pada campuran beraspal semua agregatnya harus terselimuti oleh aspal dan aspal berfungsi sebagai adesif kontak (*contact adhesive*). Pada pekerjaan stabilisasi dengan aspal, aspal yang digunakan sebagai *stabilizer* akan terdispersi dan setelah pemadatan lapisan padat yang diperoleh agak bersifat porus karena persentase rongga udara yang dihasilkan umumnya masih di atas 10%. Oleh sebab itu, material yang distabilisasi dengan menggunakan bitumen hanya cocok digunakan sebagai bahan untuk lapis pondasi perkerasan jalan.

2.2.1.2 Bahan Pengikat Kapur dan Semen

Kapur, semen dan campuran kedua bahan ini dengan abu terbang, *slag* atau material pozolanik lainnya adalah jenis *stabilizer* konvensional yang umumnya digunakan pada proses stabilisasi. Fungsi utama dari bahan ini adalah untuk menaikkan kekuatan bahan yang distabilisasi, yaitu dengan menaikkan tahanan gesernya.

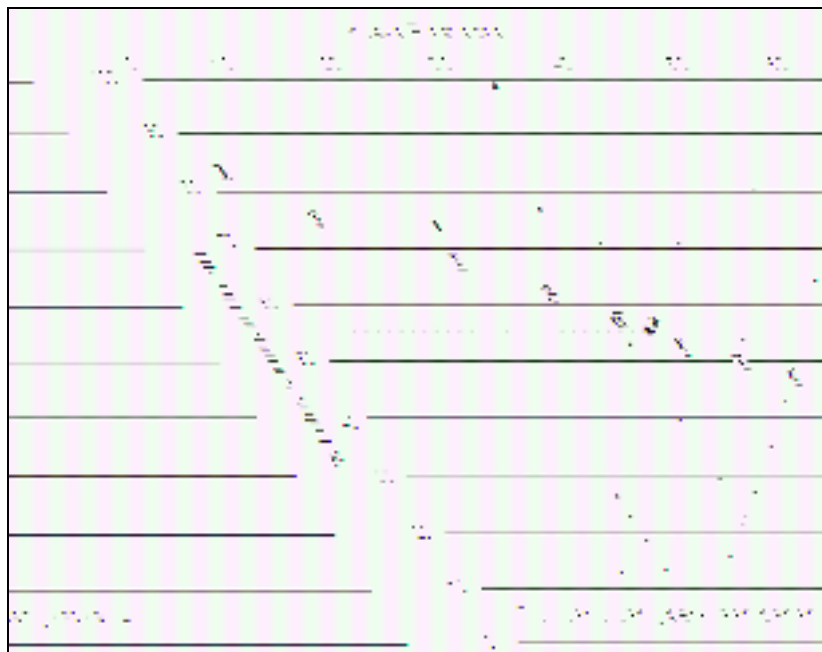
Semen merupakan jenis *stabilizer* yang dapat digunakan hampir pada semua jenis tanah khususnya untuk material granular tetapi kurang cocok untuk tanah yang memiliki sifat plastisitas tinggi ($IP > 10\%$). Sedangkan kapur atau campuran kapur dengan bahan pozolanik lainnya cocok digunakan untuk material yang memiliki plastisitas tinggi. Selain dapat menurunkan nilai plastisitas tanah, penambahan kapur pada tanah juga akan meningkatkan workabilitas dan kekuatan serta mengurangi sifat kembang susut tanah (Hary, 2010).

Material yang distabilisasi dengan menggunakan semen atau kapur akan bersifat semi kaku atau bahkan cenderung getas, semakin tinggi persentase pemakaian semen atau kapur, semakin getas bahan yang dihasilkan, sehingga bahan yang distabilisasi memiliki daya tahan terhadap retak yang tidak begitu baik. Walaupun stabilisasi semen atau kapur sama-sama akan menaikkan kekakuan bahan, tetapi nilai kekakuan bahan yang dihasilkan dengan stabilisasi semen lebih tinggi dari yang dihasilkan oleh stabilisasi kapur.

Kuantitas penggunaan semen untuk stabilisasi dapat diperkirakan dengan melihat jenis tanah, yaitu dengan menggunakan Tabel 2 (Bina Marga, 1994). Untuk kapur, kuantitas penggunaan diperkirakan dengan menggunakan nomogram seperti yang diberikan pada Gambar 4 (Bina Marga, 1994). Berapapun jumlah semen yang digunakan, sifat akhir dari tanah-semen (*Soil Cement, SC*) yang dihasilkan harus memenuhi sifat seperti yang disyaratkan dalam Tabel 3 (Bina Marga, 2010).

Tabel 2. Penentuan Perkiraan Persentase Semen yang Dibutuhkan

Klasifikasi Tanah Menurut AASTHO	Rentang Minimum Kadar Semen yang Diperlukan (% Berat)	Perkiraan Kadar semen untuk Uji Pemadatan (% Berat)
A-1.a	3 – 8	5
A-1.b	5 – 8	6
A-2	5 – 9	7
A-3	7 – 11	9
A-4	7 – 12	10
A-5	8 – 13	10
A-6	9 – 15	12
A-7	10 -16	13



Gambar 4. Nomograp untuk Perkiraan Penggunaan Kapur

Keterangan:

- ①, ②,, dan seterusnya adalah kadar kapur;
- Grafik ini tidak diperbolehkan untuk material yang lolos saringan No.40 lebih kecil 10% dan pada material pasir (Indeks Plastisitasnya kurang dari 3%);
- Grafik ini berlaku untuk kapur yang kandungan kalsium (Ca) dan magnesium (Mg) $\geq 90\%$ dan butiran yang lolos saringan No. 200 $\geq 85\%$.

Tabel 3. Sifat Lapis Pondasi Semen Tanah yang Disyaratkan (Bina Marga, 2010)

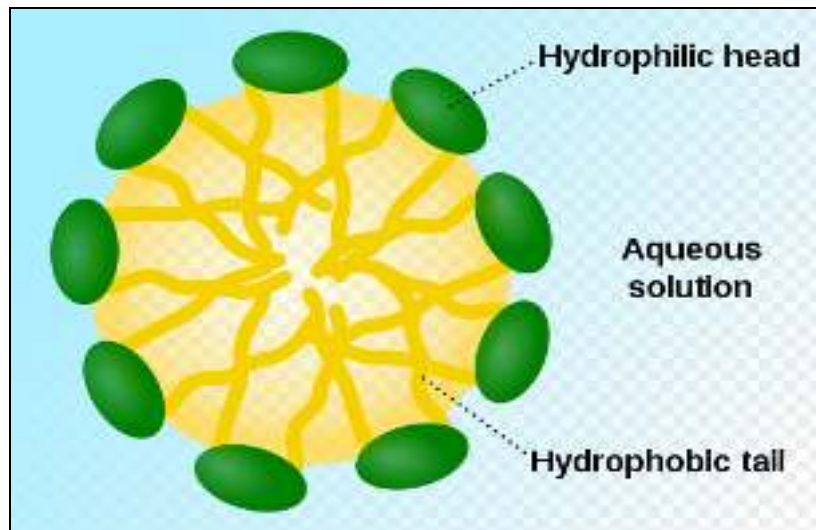
Jenis Pengujian	Batas Sifat Setelah Perawatan 7 hari		
	Min.	Target	Maks.
Unconfined Compressive Strength (UCS), kg/cm ²	20	24	35
California Bearing Ratio (CBR) %	100	120	200

2.3 Surfaktan (*Surfactant*)

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 dispersan (Jean, 2002). Istilah lain yang biasa digunakan sebagai pengganti kata surfaktan adalah *tensioaktif* (Perancis), *tenside* (Jerman) ataupun *tensioactivo* (Spanyol).

Surfaktan umumnya berupa senyawa organik yang bersifat amphiphilic (Jean, 2002). Ini berarti bahwa surfaktan mengandung kelompok hidrofobik (ekor) dan kelompok hidrofilik (kepala mereka), seperti yang diilustrasikan pada Gambar 5. Oleh karena itu, molekul surfaktan mengandung bahan yang tidak larut dalam air (*water insoluble*) tetapi larut dalam minyak (*soluble*).

Surfaktan dapat menurunkan tegangan permukaan air pada *interface* antara cair-gas. Penurunan tegangan permukaan tergantung pada jumlah molekul terabsorpsi per satuan luas yang diistilahkan sebagai kelebihan permukaan. Hubungan yang menghubungkan tegangan permukaan dan kelebihan permukaan dikenal sebagai isoterm Gibbs.



Gambar 5. Ilustrasi Senyawa Surfaktan (Jean, 2002)

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

Surfaktan dapat diklasifikasi berdasarkan komposisi jumlah atomnya atau berdasarkan komposisi dari ekornya ataupun berdasarkan komposisi dari kepalanya. Berdasarkan jumlah atomnya, surfaktan dapat dikelompokkan sebagai surfaktan yang monoatomik (inorganik) dan poly atomik (organik). Berdasarkan ekornya, surfaktan dapat memiliki satu atau dua buah ekor. Ekor dari surfaktan dapat berupa sebuah rantai hidrokarbon seperti hidrokarbon aromatik (Arenes), alkana (alkil), alkena, sikloalkana, alkuna base, atau berupa sebuah rantai alkil eter ataupun sebuah rantai

fluorocarbon ataupun sebuah rantai *siloxane*. Berdasarkan muatan yang di kepalanya, surfaktan dapat diklasifikasikan sebagai surfaktan non-ionik atau ionik. Surfaktan yang non-ionik tidak memiliki muatan di kepala. Kepala dari surfaktan yang bermuatan ion negatif disebut anionik dan jika muatan positif disebut kationik. Jika surfaktan memiliki kepala yang mengandung dua ion sekaligus, maka surfaktan ini disebut *amphoteric* atau *zwitterionic*.

Pada perkerasan jalan, surfaktan dapat digunakan sebagai aditif untuk aspal yang dapat berfungsi untuk menurunkan tegangan permukaan aspal, menaikkan efek pembasahan pada aspal ataupun untuk mengubah muatan ion dari pada aspal. Dengan penambahan surfaktan pada aspal, diharapkan aspal tersebut akan lebih mudah melekat pada agregat dan ikatan antar keduanya akan lebih kuat.



3

AGREGAT SUBSTANDAR DARI PAPUA UNTUK PERKERASAN JALAN

3.1 Batu Karang Kristalin dari Quarry Fak-Fak dan Sorong

Sampel agregat yang diambil dari masing-masing deposit di Fak-fak dan Sorong Provinsi Papua Barat berupa bongkahan, agregat kasar ataupun halus tergantung jenis agregat yang terdapat dan berpotensi akan digunakan sebagai bahan jalan di daerah tersebut. Sifat agregat dari masing-masing daerah diberikan pada Tabel 4 dan Tabel 5. Penampakan visual dari agregat yang diambil seperti yang diberikan pada Gambar 6 dan Gambar 7.

Dari Tabel 4, diketahui bahwa agregat-agregat dari Papua, baik yang berasal dari *quarry* Fak Fak ataupun *quarry* Sorong adalah sangat keras (dengan nilai abrasi 20% – 37%). 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. 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.

Tabel 4. Sifat Agregat dari Quarry Fak Fak dan Sorong – Papua Barat

No	Jenis Pengujian	Hasil Pengujian					Satuan
		Quarry Fak Fak			Quarry Sorong		
		Mabunibuni	Batu Gantung	Sakartemen	KM. 14	KM. 86	
1	Berat jenis halus						
	Berat jenis (Bulk)	2.661	2.667	2.663	-	-	
	Berat jenis SSD	2.677	2.677	2.680	-	-	
	Berat jenis Apparent	2.704	2.693	2.710	-	-	
	Penyerapan	0.597	0.361	0.658		-	%
2	Berat jenis kasar						
	Berat jenis (Bulk)	2.581	2.524	2.543	2.639	2.468	
	Berat jenis kering perm. jenuh	2.618	2.584	2.595	2.689	2.538	
	Berat jenis semu (Apparent)	2.680	2.687	2.681	2.778	2.652	
	Penyerapan	1.440	2.412	2.023	1.890	2.812	%
3	Abrasi	20.40	22.97	25.88	22.99	23.22	%
4	Kelekatan	< 95	< 95	< 95	< 95	< 95	%
5	Batas Atterberg				-	-	
	Batas Cair (LL)	NP	NP	NP	-	-	%
	Batas Plastis (PL)	NP	NP	NP	-	-	%
	Inderks Plastis (IP)	NP	NP	NP	-	-	%

Dari analisis kimia (Tabel 5) yang dilakukan pada agregat Fak Fak dan beberapa agregat Sorong diketahui bahwa agregat dari *quarry-quarry* ini dominan dengan mineral kapur. Agregat-agregat ini bersifat massif dan tidak ambyar pada saat dipecahkan. Berdasarkan hal tersebut, maka agregat dari *quarry-quarry* ini dapat dikelompokkan sebagai kapur kristalin.

Tabel 5. Komposisi Kimia Agregat dari Quarry Fak Fak dan Sorong – Papua Barat

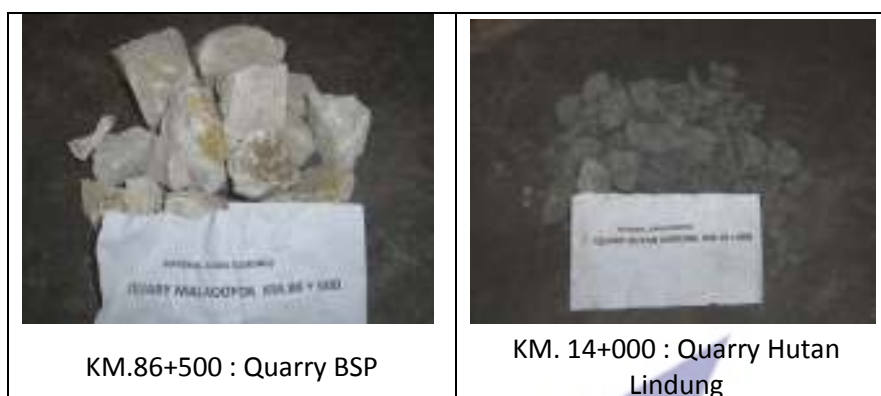
Parameter Kimia	Nama Quarry					Satuan
	Fak Fak			Sorong		
	Batu Gantung	Mabunibuni	Sakartemen	KM. 14	KM.86	
SiO ₂	0.98	4.72	10.41	3.85	0.59	%
Al ₂ O ₃	0.34	0.40	0.814	2.31	0.18	%
Fe ₂ O ₃	0.18	0.43	0.54	7.56	0.10	%
CaO	53.19	51.03	47.63	45.27	53.57	%
MgO	0.74	0.83	1.31	1.19	0.89	%
Na ₂ O	0.01	0.00	0.03	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	%



Gambar 6. Contoh Agregat dari Beberapa Quarry Fak Fak di Papua Barat

Dari Tabel 4 dapat dilihat bahwa agregat dari *quarry* Fak Fak dan Sorong memiliki sifat natural (*natural properties*) yang sangat baik dengan nilai abrasi antara 20 – 37% dan berat jenis bulk berkisar antara 2-2,5 dan penyerapan kurang dari 1%. Namun demikian agregat dari *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. Dari sifat-sifat ini dapat disimpulkan bahwa agregat dari tiga *quarry* yang terdapat di Fak Fak sangat baik digunakan untuk lapis pondasi Klas A tetapi tidak boleh digunakan sebagai agregat untuk campuran beraspal. Namun demikian, mengingat sifat-sifat yang tidak terpenuhi tersebut bukan *natural properties* dari agregat, maka usaha-usaha untuk memperbaiki sifat-sifat tersebut dengan melakukan rekayasa bahan di laboratorium dapat dilakukan.



Gambar 7. Contoh Agregat dari Beberapa Quarry Sorong di Papua Barat

Dari susunan komposisi kimia agregat seperti yang ditunjukkan pada Tabel 5, 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 absorpsinya yang terlampau kecil sehingga aspal sulit untuk melekat.

a. Kelekatan Batu Karang Kristalin-Aspal

Kelekatan agregat terhadap aspal adalah suatu sifat yang masuk dalam kategori konsensus 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, dalam penelitian ini akan digunakan bahan tambah yang dapat menaikkan kandungan ion positif pada agregat, yaitu dengan menggunakan kapur, semen ataupun *mill powder*. Bila cara ini tidak berhasil, alternatif lainnya yang dapat dilakukan adalah dengan menurunkan tegangan permukaan atau meningkatkan daya lekat aspal, yaitu dengan penambahan *surfactant*, aditif *adhesive promotor* ataupun kombinasi dari keduanya pada aspal.

Penambahan kapur, semen ataupun *mill powder* pada agregat untuk meningkatkan kelekatannya terhadap aspal dibatasi hanya maksimum 2% saja. Hal ini bertujuan apabila kelekatannya dapat ditingkatkan dengan penambahan bahan ini, campuran beraspal yang dihasilkan nantinya tidak begitu kaku sehingga cenderung tidak akan getas karena adanya penambahan bahan ini. Pembatasan ini juga sejalan dengan spesifikasi Bina Marga seksi 6.3 (Bina Marga, 2010), dimana untuk campuran aspal panas penambahan *filler* aktif seperti kapur, semen ataupun *fly ash* maksimum hanya 2% terhadap berat agregat.

Dalam penelitian ini, 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 kondisi jenuh kering permukaan, 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 6.

Tabel 6. 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

Dari Tabel 6 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, kemudian 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 lebih (*pretreatment*) dengan pencampuran agregat tersebut dengan air semen.

Perawatan untuk meningkatkan kelekatan agregat terhadap aspal dengan cara di atas mungkin saja dapat menimbulkan kesulitan dalam penerapannya di lapangan. Oleh sebab itu, untuk mencapai tujuan yang sama dicoba cara lain yaitu dengan menurunkan tegangan permukaan aspal agar aspal tersebut memiliki keenceran yang memadai sehingga pada saat bertemu dengan permukaan agregat partikel aspal dapat pecah dan menutupi permukaan agregat dengan luasan yang lebih besar. Penurunan tegangan permukaan aspal dapat dilakukan dengan penambahan bahan pengencer berupa surfaktan. Pada Tabel 7 dapat dilihat juga 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 seperti yang ditunjukkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Pengaruh Surfaktan pada Kelekatan Aspal Pen 60

Quarry Agregat	Kadar Surfaktant 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 mengubah sifat reologi aspal, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 8 dan Gambar 8 sampai Gambar 11.

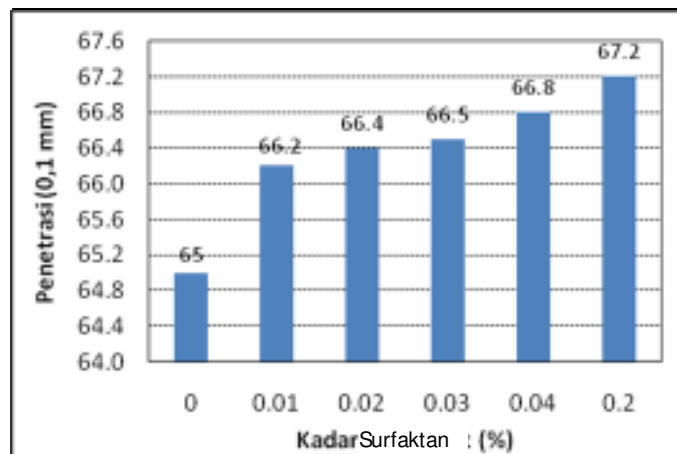
Pada Gambar 8 dapat dilihat bahwa penambahan surfaktan dalam aspal Pen 60 akan menurunkan tingkat kekerasan aspal, semakin banyak surfaktan yang ditambahkan semakin lembek aspalnya yang ditunjukkan dengan semakin besarnya nilai penetrasi aspal tersebut. Bila aspal Pen 60 memiliki syarat batas rentang antara 60 – 70 (Bina Marga, 2010), maka penambahan surfaktan sampai dengan 0,2% ke dalam aspal minyak Pen 60 tidak mengubah klasifikasi dari aspal tersebut. Dengan semakin encernya aspal, semakin mudah aspal tersebut pecah pada saat bertemu dengan

permukaan agregat dan semakin luas pula permukaan agregat yang dapat diselimutinya. Dengan demikian akan semakin kuat dapat melekat antara keduanya.

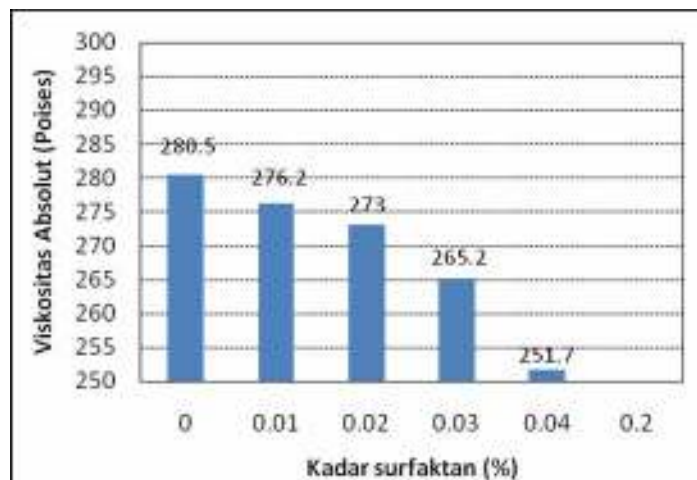
Tabel 8. Pengaruh surfaktan pada sifat aspal Pen 60

No.	Kadar <i>Surfactant</i> Dalam Aspal (%)	Penetrasi (dmm)	Titik Lembek (°C)	LOH (%)	Viskositas (Poises)
1.	0,00	65,0	49,0	0.0130	280,5
2.	0.01	66.2	48.1	0.0185	276,2
3.	0.02	66.4	47.9	0.0147	273,0
4.	0.03	66.5	47.5	0.0153	265,2
5.	0.04	66.8	47.2	0.0203	251,7
6.	0.20	67.2	47.8	0.0434	-

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 9 ditunjukkan pengaruh penambahan surfaktan pada viskositas aspal. Pada gambar ini dapat dilihat bahwa kekentalan aspal akan semakin menurun sejalan dengan persentase penambahan surfaktan dalam aspal tersebut.



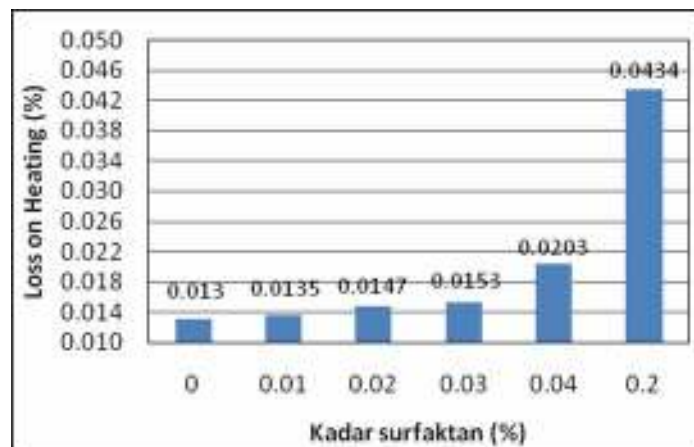
Gambar 8. Pengaruh Surfaktan terhadap Kekerasan Aspal



Gambar 9. Pengaruh Surfaktan terhadap Kekentalan Aspal

Penambahan surfaktan dalam aspal tentu saja akan menaikkan kandungan fraksi minyak ringan dalam aspal tersebut sehingga akan menaikkan tingkat kehilangan berat aspal (*Loss on Heating*, LoH) pada saat pemanasan. Pada Gambar 10 dapat dilihat bahwa menaikkan penambahan surfaktan dari 0,01% ke 0,2% akan menaikkan persentase LoH aspal dari 0,013% ke

0,043%. Bila batas LoH dalam spesifikasi adalah 0,8% (Bina Marga, 2010), maka penambahan surfaktan sampai dengan 0,2% ke dalam aspal minyak Pen 60 masih dapat diterima.

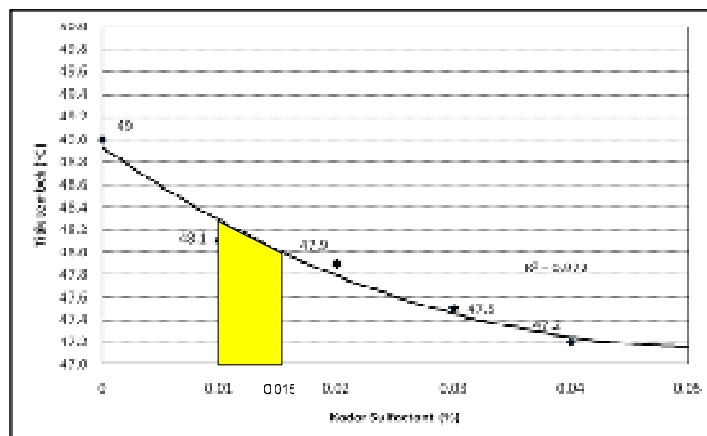


Gambar 10. Pengaruh Surfaktan terhadap LoH Aspal

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 11 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 2010 dan karena penambahan surfaktan kurang dari 0,01% adalah sangat sulit dilakukan

maka penambahan surfaktan yang direkomendasikan untuk tujuan penelitian ini adalah antara 0,01% -0,015%. Sifat-sifat aspal yang dihasilkan akibat dari penambahan surfaktan sebesar 0,01% ini diresumekan dari tabel sebelumnya seperti yang diberikan pada Tabel 9. 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, 2010 sebagai aspal Pen 60.



Gambar 11. Pengaruh Surfaktan terhadap Titik Lembek Aspal

Tabel 9. Pengaruh Penambahan Surfaktan 0,01% pada Sifat Aspal Pen 60

No	Sifat	Nilai	Syarat
1.	Penetrasi (dmm)	66.2	60 - 70
2.	Titik Lembek (°C)	48,1	Min 48
3.	Kehilangan Berat (LoH, %)	0,0185	< 0,8
4.	Viskositas 135°C, poise	276,2	-
5	Temperatur : Pencampuran (°C)* Pemadatan (°C)*	153-159 141-146	-

Catatan:

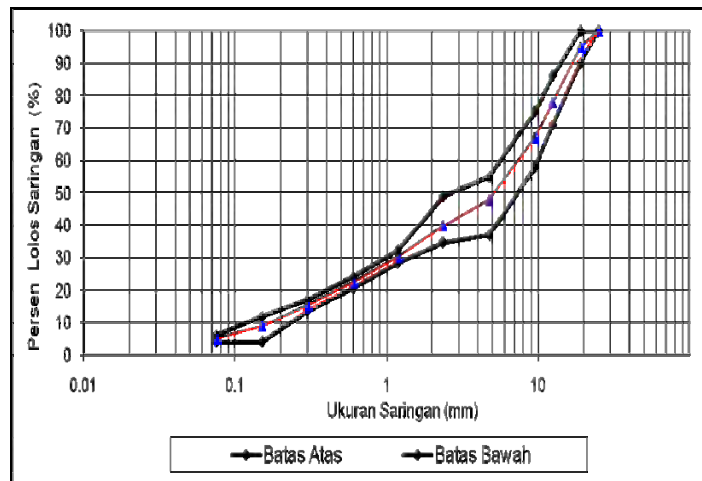
* Temperatur pencampuran dan pemadatan 5°C lebih rendah dari aspal Pen 60 original

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

b. Campuran Beraspal dari Batu Karang Kristalin

Setelah daya lekat antara agregat dengan aspal dapat ditingkatkan dengan penambahan 0,01% surfaktan ke dalam aspal Pen 60, selanjutnya dalam penelitian ini akan dilihat juga apakah penambahan surfaktan ini juga masih dapat menghasilkan campuran beraspal panas dengan sifat-sifat yang disyaratkan. Untuk itu, benda uji campuran beraspal dibuat dengan menggunakan aspal yang diencerkan dengan menggunakan 0,01% surfaktan dan diuji sifat-sifat campurannya. Dalam penelitian ini, campuran beraspal dengan menggunakan aspal original (Pen 60) dan aspal yang menggunakan bahan aditif anti *stripping* (sebanyak 0,2%) dan kombinasinya dengan 0,01% surfaktan digunakan sebagai pembanding,

Benda uji campuran beraspal yang digunakan dibuat dengan menggunakan agregat dari *quarry* Batu Gantung dan aspal-aspal seperti yang disebutkan di atas. Benda uji dibuat dengan gradasi agregat dalam batasan yang sesuai dengan gradasi AC-BC Bina Marga (Bina Marga, 2010) seperti yang diberikan pada Gambar 12. Untuk mendapatkan gradasi ini, agregat dari *quarry* Batu Gantung harus dipecahkan lagi di laborarorium. Benda uji Marshall campuran beraspal dibuat dengan menggunakan 75 tumbukan pada temperatur pemadatan seperti yang diberikan pada Tabel 10.



Gambar 12. Gradasi AC-BC Benda Uji yang Digunakan

Tabel 10. Sifat AC-BC dari Agregat *Quarry* Batu Gantung dengan Aditif Aspal

No	Sifat Campuran	Nilai				Spesifikasi BM 2011
		Pen 60	Pen 60+S	Pen 60+AS	Pen 60+S+AS	
1.	Kadar aspal, (%)	5,5	5,5	5,5	5,5	
2.	Stabilitas, kg	1075	1271	1111	1075	Min. 800
3.	Kelelehan, mm	4,3	4,7	3,6	5,3	Min. 3
4.	Marshall Quotient, kg/mm	250	270	312	206	Min. 250
5	VMA, %	14,1	17,7	17,8	14,7	Min. 14
6	VIM, %	3,6	3,6	3,6	4,6	3,5 - 5,0
7	VFB, %	66,4	68,9	69,2	62,5	Min. 63
8	Kepadatan, kg/m ³	2,4	2,4	2,4	2,3	-
9	Stabilitas sisa, %	86,4	98,2	88,2	71,2	Min. 90

Selanjutnya benda uji ini diuji sifat-sifatnya untuk mengetahui apakah *quarry* Batu Gantung-Fak Fak yang sesungguhnya memiliki sifat yang baik tetapi hanya memiliki sifat kelekatan terhadap aspal yang kurang baik

(<95%, lihat Tabel 6) dapat digunakan sebagai bahan untuk campuran beraspal panas hanya dengan menambahkan 0,01% surfaktan ke dalam aspal yang akan digunakan atau masih memerlukan lagi penambahan aditif anti *stripping*. Sifat campuran beraspal yang dihasilkan dari bahan-bahan tersebut seperti yang diberikan pada Tabel 10. Dalam tabel ini diberikan juga sifat campuran yang dibuat dengan menggunakan aspal Pen 60 original dan yang mengandung sebanyak 0,2% aditif anti *stripping* serta yang menggunakan bahan tambah kombinasi, yaitu 0,01% surfaktan dan 0,2% aditif anti *stripping*.

Dari Tabel 10 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 2010.

Penambahan aditif anti *stripping* yang disyaratkan dalam Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 sebanyak 0,2% relatif tidak menaikkan stabilitas campuran beraspal dan juga ternyata tidak banyak membantu menaikkan stabilitas Marshall sisa campuran beraspal yang dibuat dengan menggunakan agregat dari *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 dapat menghasilkan campuran beraspal yang lebih baik dari bila menggunakan bahan pengikat dari Pen 60 saja. Hal ini ditunjukkan dengan

naiknya nilai stabilitas Marshall dan Marshall Quotiennya. Selain itu, juga dapat menaikkan daya tanah campuran terhadap penuaan (nilai VFB) dan pengaruh air (nilai stabilitas sisa). Akibat penambahan 0,01% surfaktan ini nilai stabilitas sisa Marshallnya berubah dari 86,4% (< 90%) menjadi 98,2% (>90%). Dengan demikian, akibat penambahan 0,01% surfaktan, agregat dari *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, 2010 atas penggunaan aditif anti *stripping* maka dalam penelitian ini juga dicoba penambahan 0,2% bahan tersebut ke dalam aspal Pen 60 yang sudah terlebih dahulu ditambahkan 0,01% surfaktan. Campuran beraspal yang dibuat agregat dari *quarry* Batu Gantung-Fak Fak yang sesungguhnya memiliki daya lekat terhadap aspal yang kurang baik dan bahan pengikat ini ternyata memiliki nilai stabilitas Marshall dan Marshall *Quotien*-nya 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 *surfactant* dalam aditif anti *stripping* menjadi lebih banyak (> 0,01%) atau mungkin juga ada ketidakcocokan antara kedua bahan ini sehingga kombinasinya memberikan efek negatif pada campuran beraspal khususnya pada daya tahannya terhadap air.

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

yang memenuhi spesifikasi. Untuk mendapatkan hasil yang baik, aspal yang sudah ditambahkan surfaktan tidak direkomendasikan ditambahkan aditif anti *stripping* lagi.

3.2 Pasir Laut dari Kaimana

Pasir laut di Kabupaten Kaimana umumnya mengandung garam walaupun kebanyakan terdeposit di daerah perbukitan yang jauh dari laut. Di kabupaten ini, untuk pekerjaan campuran beraspal, pasir laut tersebut umumnya digunakan sebagai bahan untuk pembuatan Latasir. Informasi yang didapat dari masyarakat setempat diketahui bahwa kinerja Latasir yang dihasilkan tidak begitu baik, Latasir yang dihasilkan hanya dapat bertahan selama kurang dari setahun, rusak akibat terkena hujan yang frekuensinya cukup tinggi dalam setahun.

Dari studi ini diketahui bahwa pasir laut dari deposit Kaimana memang mengandung garam tetapi dengan persentase yang sangat kecil, yaitu sekitar 0,81% dari berat total pasir tersebut. Dalam studi ini, pencucian dilakukan untuk menghilangkan kandungan garam dalam pasir tersebut. Pencucian dilakukan dengan dua cara, yaitu pertama hanya dengan merendam pasir tersebut dan yang kedua adalah dengan melakukan perendaman dan pengadukan. Selanjutnya pasir yang telah dicuci selama waktu diuji kandungan garamnya. Hasil dari pengujian ini diberikan pada Tabel 11.

Tabel 11. 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 Tanpa 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

Dari Tabel 11 di atas menunjukkan bahwa proses pencucian dengan cara merendam pasir laut Kaimana dapat menurunkan kadar garam pasir laut tersebut, tetapi persentase penurunannya tidak begitu signifikan. Begitu juga bila pada proses perendamannya dilakukan Pengadukan. Walaupun dengan adanya pengadukan ini penurunan persentase garam yang dihasilkan lebih tinggi dari pada bila dilakukan perendaman saja tanpa pengadukan tetapi tetap saja persentase penurunan kadar garam dalam pasir laut Kaimana tersebut tidak terlalu signifikan. penurunan kadar garam yang terjadi akibat proses ini kurang dari 0,5%. Pada studi ini kecenderungan garis (*trendline*) hubungan antara lamanya waktu pencucian dengan penurunan kadar garam tidak dapat diperoleh. Hal ini mungkin disebabkan karena ketelitian pengujian yang dilakukan mengingat bahwa kadar garam awal pasir laut Kaimana ini sangat kecil (0,81%) atau dapat juga disebabkan karena proses pencucian yang dilakukan tidak dapat menghilangkan 100% kandungan garam dalam pasir laut tersebut.

Untuk pekerjaan campuran beraspal di Kaimana, pasir laut ini umumnya digunakan untuk campuran beraspal jenis Latasir. Untuk itu, pada studi ini, Pengujian karakteristik Latasir yang dibuat dengan pasir laut inipun juga dilakukan. Pada pembuatan benda uji, proses pencucian pasir laut yang digunakan tidak dilakukan, karena seperti dikatakan di atas bahwa proses pencucian yang dilakukan hanya menghilangkan kandungan garamnya dengan jumlah yang tidak signifikan (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 Bina Marga 2010, dilakukan penambahan bahan pengisi (*filler*) sebanyak 10%. Dalam studi ini, jenis *filler* dibuat bervariasi dengan kuantitas total 10%, yaitu abu batu (10%), kapur (10%), abu batu + kapur (8%+2%) , dan abu batu + semen (8%+2%). Pada Tabel 9 ditunjukkan sifat Latasir yang dibuat dengan pasir laut Kaimana dengan variasi jenis filler yang ditambahkan. Pada tabel ini, pengaruh penambahan aditif anti *stripping* juga ditunjukkan.

Tabel 12. Sifat Latasir dari Pasir Laut Kaimana

No	Sifat Campuran	Nilai Parameter dengan Variasi Filler				Spesifikasi BM 2011
		A	B	C	D	
1.	Kadar aspal, (%)	7,00	7,00	7,0	7,75	
2.	Stabilitas, kg	432	487	329	362	Min. 200
3.	Kelelehan, mm	2.75	2,20	2,41	2,22	2 - 3
4.	Marshall Quotient, kg/mm	157	221	147	164	Min. 80
5	VMA, %	45.9	35,0	32,8	35,5	Min. 20
6	VIM, %	5,25	3,67	4,00	3,78	3,0 - 6,0
7	VFB,%	87,7	89,5	87,8	90	Min. 75
8	Kepadatan, kg/m ³	1,833	1,852	1,826	1,854	-
9	Stabilitas sisa, % Tanpa anti <i>stripping</i> Dengan anti <i>stripping</i>	36% 49%	Hancur Hancur	50 75%	60% 75%	Min. 90

Catatan

A = Dengan penambahan 10 % Abu batu

B = Dengan penambahan 10% kapur

C = Dengan penambahan 8% abu batu + 2% kapur

D = Dengan penambahan 8% abu batu + 2% semen

Dari Tabel 12 dapat dilihat bahwa sifat Marshall yang dihasilkan oleh campuran Latasir dengan penambahan *filler* jenis apa saja dapat memenuhi sifat Marshall yang disyaratkan spesifikasi, tetapi tidak satupun dari campuran ini memenuhi sifat Marshall rendamannya. Artinya walaupun Latasir yang dihasilkan dengan penambahan 10% *filler* ini kuat menahan beban lalu lintas tetapi tidak cukup awet akibat pengaruh kombinasi dari air, panas dan beban khususnya bila *filler* yang digunakan adalah 10% kapur.

Penambahan aditif anti *stripping* juga dapat menaikkan nilai stabilitas sisa Latasir yang dihasilkan, tetapi nilainya juga masih berada di bawah nilai yang disyaratkan. Dari semua Latasir yang dihasilkan dengan variasi *filler* ini, pengaruh aditif anti *stripping* yang paling besar terjadi pada Latasir dengan *filler* dari 8% abu batu dan 2% kapur. Walaupun begitu, nilai stabilitas sisa yang dihasilkannya sama dengan bila menggunakan *filler* dari 8% abu batu dengan 2% semen. Dari studi ini dapat diketahui juga bahwa, aditif anti *stripping* tidak memberikan pengaruh pada nilai stabilitas sisa Latasir yang dibuat dengan menggunakan 10% kapur.

3.3 Pasir Bouvandigul dan Tanah Merauke

Pasir dari quarry Bouvandigul adalah pasir halus yang lebih dari 95% lolos saringan ukuran 2,36 mm. Pasir dari quarry ini bersifat Non Plastis (NP) dengan berat jenis yang sangat baik ($>2,5$). Berdasarkan klasifikasi AASHTO, pasir dari daerah ini diklasifikasikan sebagai pasir halus dan masuk dalam kelompok A-3. Dengan sifatnya yang NP, pasir ini dapat digunakan sebagai bahan untuk campuran beraspal ataupun sebagai bahan pondasi tanah semen (*soil cement*). Berdasarkan kelompoknya (A-3), bila pasir ini akan digunakan sebagai bahan tanah semen, maka semen yang diperlukan berkisar antara 6% -11%.

Sedangkan hasil pengujian laboratorium tanah Merauke seperti yang diberikan pada Tabel 13. Pada tabel ini diberikan juga nilai daya dukung asli tanah tersebut. Pada Tabel 14 diberikan hasil pengujian analisis kimia unsur pembentuk tanah Merauke. Bentuk fisik tanah tersebut seperti yang ditunjukkan Gambar 13.

Dari data analisa pembagian butir dan batas Atterberg (Tabel 13), dapat diketahui bahwa tanah Merauke dapat diklasifikasikan masuk A-7-5 menurut sistim klasifikasi AASHTO dan menurut sistim *Unified Soil Classification* (USC) tanah ini diklasifikasikan sebagai MH.

Dari analisis kimia yang dilakukan (Tabel 14) 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 berdasarkan Persamaan 1 tanah dari Merauke ini bukan merupakan tanah laterit, tetapi hanya bersifat laterit (lateritis).

Tabel 13. 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
Gradasi (% Lolos)	
No. 4	100
No. 8	86,5
No. 10	74,1
No. 30	72,4
No. 50	71,6
No. 100	70,0
No. 200	65,8
Pemadatan:	
Kadar Air Optimum (%)	14
Kepadatan Maksimum (t/m^3)	1,94
California Bearing Rasio, CBR (%)	18
Unconfined Compressive Strength, UCS (kg/cm^2)	9,92

Tabel 14. 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

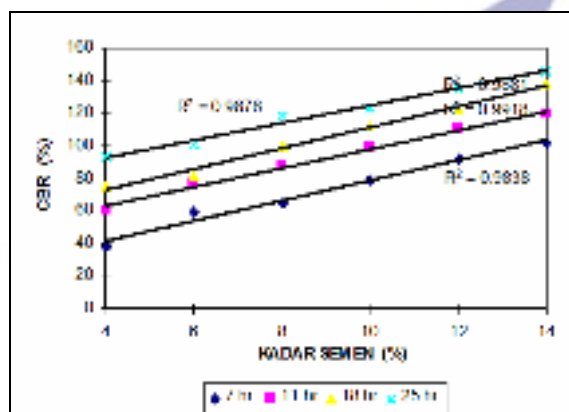
**Gambar 13. Contoh Tanah dari Merauke - Papua**

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

Agar dapat digunakan sebagai tanah dasar atau bahkan sebagai bahan untuk lapis pondasi, maka tanah ini harus dimodifikasi sifatnya dan ditingkatkan daya dukungnya. Untuk tujuan tersebut, dalam studi ini, tanah lateritis Merauke ini distabilisasi dengan menggunakan semen. Hasil uji CBR dan kuat tekan bebas (*Unconfined Compressive Strength*, UCS) tanah lateritis Merauke yang distabilisasi dengan penambahan variasi kadar semen diberikan pada Tabel 15. Perkembangan nilai CBR dan UCS yang dihasilkan ditunjukkan Gambar 14 dan Gambar 15.

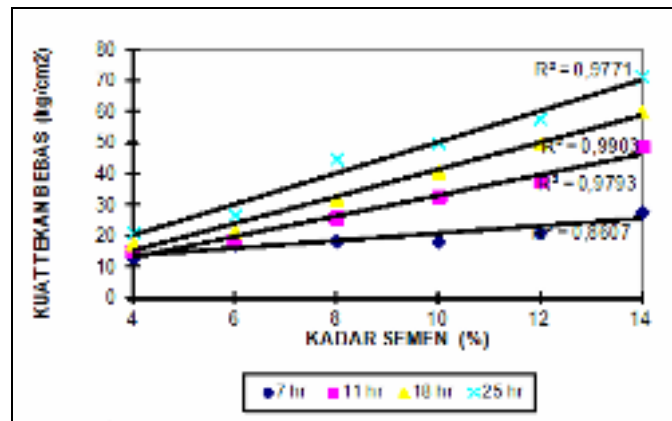
Tabel 15. Hasil Pengujian Daya Dukung Stabilisasi Tanah dengan Semen

Kadar Semen (%)	Pemeraman (hari)							
	7		11		18		25	
	CBR	UCS	CBR	UCS	CBR	UCS	CBR	UCS
4	37,5	13,14	60,0	15,19	75,3	17,45	93,0	21,08
6	58,8	17,4	77,0	18,44	81,0	21,44	101,0	26,77
8	65,0	18,53	87,5	25,90	99,8	31,94	118,0	44,86
10	78,5	18,41	98,7	32,76	112,0	40,89	123,0	50,12
12	92,0	21,22	110,0	37,75	122,0	49,89	135,0	57,83
14	102,0	27,74	119,5	48,85	137,5	59,95	145,0	71,40



Gambar 14. Hubungan Kadar Semen dengan CBR Tanah Lateritis Merauke

Untuk distabilisasi dengan semen, karena dalam pengelompokan AASHTO, tanah dari Merauke ini masuk dalam kelompok A-7-5, berdasarkan Tabel 1, perkiraan jumlah semen yang dibutuhkan adalah dalam rentang 10% - 16%.



Gambar 15. Hubungan Kadar Semen dengan Kuat Tekan Bebas Tanah Lateritis Merauke

Pada Gambar 14 dan Gambar 15 dapat dilihat bahwa sampai dengan 14% penggunaan semen kekuatan SC yang dihasilkan masih belum memenuhi kekuatan yang disyaratkan oleh Spesifikasi Bina Marga 2010. Walaupun penambahan kadar semen lebih lanjut mungkin akan menghasilkan SC dengan kekuatan yang diinginkan, tetapi dengan kadar semen yang tinggi ini SC yang dihasilkan cenderung akan retak. Berdasarkan Austroads (1998), dengan melihat IP-nya (28%) dan persentase lolos saringan no. 200-nya (65,8%), maka tanah dari Merauke tidak cocok untuk distabilisasi dengan semen.

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

tujuan sama adalah dengan mencampur tanah tersebut dengan bahan berbutir yang bersifat NP (granular, seperti agregat).

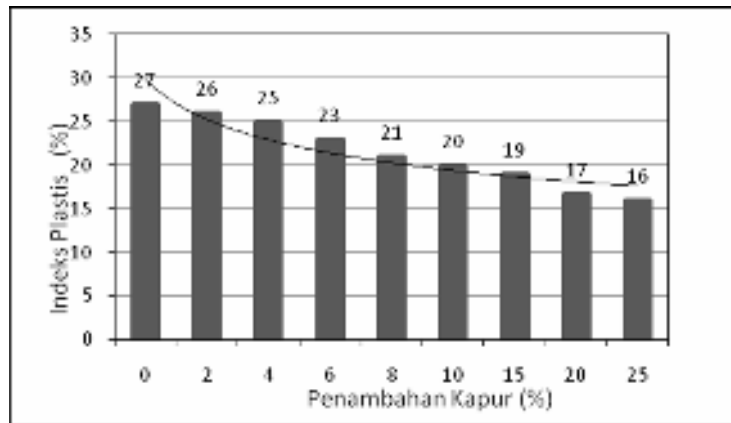
Dalam studi ini, mengingat di Merauke bahan granular adalah sesuatu yang sulit didapatkan dibandingkan dengan kapur maka sebelum proses stabilisasi semen dilakukan, tanah tersebut di-*treatment* terlebih dahulu dengan menggunakan kapur (*Soil Lime*, SL).

Pada Tabel 16 dan Gambar 16 dapat dilihat pengaruh penambahan Ca(OH)_2 (kapur padam) terhadap IP tanah dari Merauke. Akibat penambahan kapur, IP tanah ini akan menurun sejalan dengan kuantitas kapur yang ditambahkan. Agar dapat distabilisasi dengan semen secara efektif, IP tanah seyogyanya diturunkan terlebih dahulu sampai di bawah 10%, tetapi dari Gambar 16 dapat dilihat bahwa mencapai nilai tersebut persentase kapur yang dibutuhkan akan sangat tinggi (> 25%).

Berdasarkan Austroads (1998), tanah berbutir halus (lolos saringan No. 200 > 25%) dengan IP dalam rentang 10% - 20%, walaupun masih belum cocok untuk distabilisasi dengan semen tetapi tanah dengan IP tersebut dapat dipertimbangkan untuk distabilisasi dengan semen. Untuk menurunkan IP tanah Merauke ke rentang tersebut, penurunannya dilakukan melalui stabilisasi kapur dengan kuantitas pemakaian kapur sampai dengan 15% (lihat Gambar 16).

Tabel 16. Pengaruh Penambahan Kapur pada Tanah Merauke

Jenis Pengujian Batas Atterberg	Persentase Penambahan kapur (%)								
	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



Gambar 16. Penurunan IP tanah Selmat Munting Akibat Penambahan Kapur

Berdasarkan hal tersebut di atas, setelah IP tanah dari Merauke diturunkan dengan penambahan kapur ((*Soil Lime*, SL), selanjutnya pada tanah ini baru dilakukan stabilisasi dengan semen. Pada Tabel 17 ditunjukkan pengaruh penambahan kapur dan semen pada tanah dari Merauke terhadap nilai kuat tekan bebasnya. Dari tabel ini dapat dilihat bahwa setelah stabilisasi dengan 8% - 10% kapur padam (stabilisasi pertama), stabilisasi selanjutnya (stabilisasi kedua) dengan penambahan 2% - 6% semen pada tanah-kapur (SL) ini sudah dapat menaikkan nilai UCS tanah yang dihasilkan (*Soil-Lime-Cement*, SLC) secara signifikan. Bila nilai UCS yang disyaratkan adalah sebesar $20 \text{ kg/cm}^2 - 35 \text{ kg/cm}^2$, 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.

Dalam Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 disebutkan bahwa untuk mencapai nilai UCS sebesar $20 \text{ kg/cm}^2 - 35 \text{ kg/cm}^2$, kuantitas semen yang digunakan harus dalam rentang 3% - 12% terhadap berat kering tanah. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa tanah berbutir halus dari Merauke ini dapat digunakan sebagai lapis pondasi bila dilakukan dua

tahapan stabilisasi, pertama tanah tersebut distabilisasi terlebih dahulu dengan 8%-10% kapur padam sehingga menghasilkan SL, selanjutnya SL tersebut distabilisasi kembali dengan menggunakan 3% - 4% semen. Penggunaan kapur padam sebanyak 15% untuk stabilisasi pertama tanah berbutir halus dari Merauke sebaiknya dihindari karena untuk mencapai kekuatan yang disyaratkan, stabilisasi tahap keduanya hanya membutuhkan 2% maksimum semen.

Tabel 17. 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



4

RINGKASAN

4.1 Batu Karang Fak-Fak dan Sorong untuk Campuran Beraspal

Agregat dari *quarry* yang terdapat di Fak Fak dan Sorong sangat baik digunakan untuk lapis pondasi Klas A tetapi tidak boleh digunakan sebagai agregat untuk campuran beraspal karena memiliki kelekatan terhadap aspal yang tidak begitu baik.

Preblended agregat Fak Fak secara kering ataupun dalam kondisi kering jenuh permukaan (SSD) dengan kapur, semen ataupun *mill powder* tidak meningkatkan daya lekatnya terhadap aspal. *Preblended* agregat dengan larutan semen (1 semen : 5 air) dapat meningkatkan daya lekatnya terhadap aspal.

Penambahan surfaktan ke dalam aspal Pen 60 dapat mengubah sifat reologi aspal tersebut, tetapi penambahan dalam jumlah yang sangat kecil (0,01% - 0,015%) perubahan sifat reologi aspal yang dihasilkannya masih masuk dalam rentang spesifikasi aspal Pen 60. Penambahan surfaktan hanya 0,01% ke dalam aspal Pen 60 dapat memperbaiki kelekatan (> 95%) antara agregat *quarry* Batu Gantung-Fak Fak dan Sorong dengan aspal tersebut.

Temperatur pencampuran dan pemadatan campuran beraspal akibat dari penambahan 0,01% surfaktan masing-masing adalah 5°C lebih rendah dari temperatur untuk aspal Pen 60 original, yaitu dalam rentang 153°C – 159°C dan 141°C – 146°C.

Campuran beraspal yang dibuat dari agregat *quarry* Batu Gantung-Fak Fak dan aspal Pen 60 ataupun aspal Pen 60 ditambah dengan 0,2% aditif anti *stripping* memiliki sifat yang masuk Spesifikasi Umum Bina Marga, 2010 kecuali nilai stabilitas Marshall sisa (< 90%), tetapi campuran yang menggunakan Pen 60 ditambah 0,01% surfaktan dapat memenuhi seluruh sifat yang disyaratkan.

Stabilitas Marshall sisa campuran beraspal yang dibuat dengan menggunakan agregat yang memiliki daya lekat kurang baik belum tentu dapat lebih besar dari 90% walaupun pada aspal Pen 60 yang digunakan sudah ditambahkan 0,2% aditif anti *stripping*, kecuali mungkin bila aditif anti *stripping* tersebut mengandung cukup surfaktan.

Agregat dari *quarry* Batu Gantung-Fak Fak yang sedianya tidak diperbolehkan untuk digunakan sebagai bahan campuran beraspal dapat direkomendasikan untuk digunakan asalkan pada aspal Pen 60 yang digunakan ditambahkan 0,01% surfaktan. Untuk mendapatkan hasil yang baik, aspal yang sudah ditambahkan surfaktan tidak direkomendasikan untuk ditambahkan aditif anti *stripping* lagi.

4.2 Pasir Laut dari Kaimana untuk Latasir

Kandungan garam pasir laut Kaimana adalah sangat kecil, hanya 0,81%. Proses pencucian dengan cara merendam pasir laut Kaimana dalam air, baik tanpa ataupun dengan pengadukan dapat menurunkan kadar garam pasir laut tersebut tetapi dengan jumlah yang tidak signifikan (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 Bina Marga 2010, perlu penambahan bahan pengisi (*filler*) sebanyak 10%. Latasir yang dibuat dengan penambahan *filler* jenis apa saja dapat memenuhi sifat Marshall yang disyaratkan spesifikasi, tetapi tidak satupun dari campuran ini memenuhi sifat Marshall rendamannya khususnya bila 10% *filler* yang digunakan adalah kapur. Penambahan 10% *filler* yang merupakan kombinasi dari 8% abu batu dengan 2% kapur atau 2% semen dapat menaikkan stabilitas sisa Latasir yang dihasilkan walaupun nilainya masih berada di bawah nilai stabilitas sisa yang disyaratkan.

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

4.3 Pasir Bouvandigul dan Tanah Merauke untuk Stabilisasi Tanah-Semen

Pasir halus dari Bouvandigul bersifat Non Plastis (NP) dan masuk dalam kelompok A-3 dapat digunakan sebagai bahan untuk campuran beraspal ataupun sebagai bahan pondasi tanah semen.

Sedangkan tanah lempung Merauke adalah tanah berbutir halus berplastisitas tinggi dan masuk dalam kelompok A-7-5 (AASHTO) atau MH (USC). Berdasarkan oksida pembentuknya, tanah lempung Merauke bukan merupakan tanah laterit, tetapi hanya bersifat laterit (*lateritis*).

Berdasarkan sifat-sifatnya, tanah lateritis Merauke ini tidak dapat digunakan sebagai bahan untuk lapis pondasi atas atau bahkan untuk pondasi bawah. Bahkan akan memberikan kinerja yang jelek bila digunakan sebagai tanah dasar.

Tanah lempung Merauke tidak dianjurkan distabilisasi dengan semen karena menuntut penggunaan semen yang sangat banyak (>14%) sehingga lapisan SC yang dihasilkan juga cenderung akan retak.

Ada dua cara yang dapat dilakukan tanah lempung dari Merauke agar tetap dapat digunakan sebagai bahan lapis pondasi tanah semen, dengan mencampurkan tanah lempung berbutir halus dari Merauke ini dengan bahan berbutir yang bersifat NP (granular, seperti agregat) atau dengan mencampurnya terlebih dahulu dengan kapur.

Tanah lempung Merauke dapat digunakan sebagai lapis pondasi bila dilakukan dua tahapan stabilisasi; stabilisasi pertama dengan kapur padam dan stabilisasi kedua dengan semen. Stabilisasi tahap pertama pada tanah lempung Merauke ini dilakukan dengan penambahan 8%-10% Ca(OH)_2 (kapur padam) dan stabilisasi keduanya dilakukan dengan menggunakan 3% - 4% semen. Penggunaan kapur sebanyak 15% untuk stabilisasi pertama sebaiknya dihindari. Pada stabilisasi dua tahap ini, penggunaan kapur dan semen dengan kuantitas dapat menghasilkan tanah-kapur-semen dengan nilai dalam rentang nilai yang disyaratkan Spesifikasi Bina Marga 2010, yaitu (2,1 MPa – 2,8 MPa).

5

REKOMENDASI

Rekayasa laboratorium yang dilakukan untuk mengoptimalkan penggunaan agregat substandar dari *quarry* Fak Fak dan Sorong sebagai bahan untuk campuran beraspal belum terbukti secara skala proyek, begitupun dengan pasir Kaimana dan tanah dari *quarry* Merauke.

Agar agregat lokal dari Papua dan Papua Barat khususnya Batu Karang Kristalin Fak Fak, pasir laut Kaimana dan tanah Merauke dapat digunakan sebagai bahan perkerasan jalan, maka perlu diberlakukan spesifikasi khusus. Selain itu, sebelum spesifikasi ini diberlakukan secara luas, disarankan untuk melakukan uji coba terlebih dahulu (*pilot project*) atas spesifikasi khusus tersebut. Hasil dari uji coba ini dapat digunakan untuk penyempurnaan draft spesifikasi khusus ini.



DAFTAR PUSTAKA

- Alexander L . T . and Cady J. G ., (1962), Genesis and Hardening of Latérite in Soils, USDA Techn. Bull. 1282.
- Austrroads Incorporated, (1998.a), *Guide to Stabilization in roadworks*. Australia.
- Austrroads, (1998.b), "Guide to Stabilization in Road works", Austroad Inc. First Edition, Sydney.
- Bina Marga, (1994), Pedoman Perencanaan Stabilisasi Tanah engan Bahan Serbuk Pengikat untuk Konstruksi Kalan, *SN/ 03-3437-1994*.
- Bina Marga, (2010), Spesifikasi Umum Buku III, Direktorat Jeneral Bina Marga Kementrian Pekerjaan Umum.
- Charman, J.H, (1988), *Laterite in Road Pavements*, Overseas Development Administration, London; Transport and Road Research Lab., Crowthorne; Construction Industry Research and Information Association (CIRIA), London.
- 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.
- DHV, (1984), *Laterite and Laterite Stabilization, Laboratory Results*, Publisher(s), DHV, Consulting Engineers, Amersfoort.

- Fred Waller, (1993), *Use of Waste Materials in Hot Mix Asphalt*, ASTM STP-1193.
- Gidigas, 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.
- Hary Christady H, (2010),,, Stabilisasi Tanah untuk Perkerasan Jalan, Universitas Gajah Mada, Gajah Mada University Press
- Ingles, O. G and Metcalf, J. B., (1972). Soil Stabilization, Principles and Practice, Butterworths, Sydney-Melbourne-Brisbane.
- Jean Louis Salager, (2002), Surfactants, Types and Uses, Laboratory of Formulation, Interfaces Rheology and Processe, Universidad De Los Andes, Venezuela.
- Lacroix, A, (1913), Les latérites de Guinée et les produits d'altération qui leur sont associés, *Nouv. Arch. Mus. Hist. Nat.*, vol. V.
- Martin F. J. and H. C. Doynes, (1927), Laterite and lateritic soils in Sierra Leone, *The Journal of Agricultural Science* Vol. 17, Cambridge University Press
- Please A. and Pike D.C., (1968), "The Demand of Road Aggregates", Transport and Road research Laboratory, Crowthorne, UK, RL. 185.
- Sherwood, P.T., (1995), *Alternative Materials in Road Construction*, Thomas Telford Publication, London
- The Asphalt Institute, (1996), Superpave Mix design, SHRP - Superpave Manual Series No.2.
- The Asphalt Institute, (1993), "Mix design Methods – For Asphalt Concrete and Other Hot Mix.
- www.bps.go.id/tab_sub/view.php?tabel=1&id_subyek=17¬ab=11