



JURNAL PUSLITBANG JALAN

BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN PU
DEPARTEMEN PEKERJAAN UMUM

NO. 4 TAHUN XIII

ISSN : 0216 - 4124

FEBRUARI 1997



PELINDUNG
Patana Rantetoding

PENASEHAT
Saroso BS, Sjahdanulirwan, Irman Nurdin, GJW Fernandez,
Wawan Witarnawan, IF. Poernomosidhi

DEWAN REDAKSI
Nani Kusminingrum, Hermin Tjahyati, Hikmat Iskandar,
KA. Zamhari, Lanneke Tristanto, Salim Mahmud

PIMPINAN UMUM / PEMIMPIN REDAKSI
M. Wahyu Adjie

ANGGOTA REDAKSI
Erry Ermansyah, Yeyeh Kursiyah, Loida Dasuha
Toni Hadi Purnomo, Ade Romli

DAFTAR ISI

ALTERNATIF SPESIFIKASI BINA MARGA CAMPURAN ASPAL PANAS	1
Oleh : M. Sjahdanulirwan	
EVALUASI KEKUATAN CAMPURAN PERKERASAN BERASPAL AKIBAT PENGARUH AIR DENGAN CARA PERENDAMAN.....	11
Oleh : Furqon Affandi	
KEKUATAN STONE COLUMN.....	19
Oleh : M. Suherman	
MASALAH PADA STRUKTUR KONSTRUKSI YANG DIBANGUN DI ATAS TANAH LUNAK	26
Oleh : Hermin Tjahyati	
LAJU KOROSI SENG GALVANIS PADA RANGKA BAJA JEMBATAN.....	32
Oleh : Kgs. Ahmad Abdurrohman	

JURNAL PUSLITBANG JALAN
Diterbitkan oleh :
**PUSAT PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN JALAN
BALITBANG PU DEPARTEMEN PEKERJAAN UMUM**
Jalan Raya Timur No. 264, PO Box. 298
Telepon : 7802251-7802252-7802253
Facsimile . (022) 7802726
BANDUNG 40294

PENGANTAR REDAKSI

Pada beberapa kesempatan, pimpinan Departemen Pekerjaan Umum seringkali mengutarakan bahwa masih dijumpai suatu kesalahan yang bersifat umum (common mistakes) dalam penanganan proyek-proyek bidang ke-PU-an di Indonesia, termasuk pula proyek jalan.

Kesalahan umum tersebut, antara lain disebabkan oleh ketidaksamaan persepsi tentang masalah yang sama. Hal ini dapat terjadi karena pengalaman masing-masing individu yang berbeda.

Dalam konteks itulah maka penyebarluasan informasi, baik yang berupa produk-produk penelitian & pengembangan maupun yang berasal dari pengalaman-pengalaman lapangan berbagai pihak, sangat dirasakan keperluannya.

Jurnal Puslitbang Jalan No. 4 Tahun XIII Pebruari 1997 ini, mengetengahkan karya-karya tulis ilmiah bidang jalan berjudul :

- 1. Alternatif Spesifikasi Bina Marga Campuran Aspal Panas*
- 2. Evaluasi Kekuatan Campuran Perkerasan Beraspal akibat Pengaruh Air dengan Cara Perendaman.*
- 3. Kekuatan Stone Column*
- 4. Masalah pada Struktur Konstruksi yang dibangun di atas Tanah Lunak*
- 5. Laju Korosi Seng Galvanis pada Rangka Baja Jembatan*

Semoga bermanfaat dan terima kasih.

Pemimpin Redaksi



ALTERNATIF SPESIFIKASI BINA MARGA CAMPURAN ASPAL PANAS

M. Sjahdanulirwan

RINGKASAN

Perencanaan campuran/spesifikasi yang kurang cocok merupakan suatu kerugian karena dapat menimbulkan kerusakan pada lapis perkerasan. Perbaikan spesifikasi Bina Marga, khususnya lapis permukaan AC dan Hot Rolled serta lapis antara/pondasi atas AC, dimaksudkan guna menghindari kerugian yang tidak perlu tersebut. Alternatif spesifikasi campuran aspal panas ini disusun dengan mengingat kepraktisan serta seminimum mungkin melakukan perubahan terhadap spesifikasi yang selama ini digunakan. Konsep ini bukan yang resmi diajukan ke Bina Marga, tetapi merupakan pemikiran/konsep alternatif bagi diskusi lebih lanjut. Perubahan dan penyempurnaan mencakup antisipasi kerusakan kelelahan plastis (plastic flow), akomodasi sifat viscous elastis, faktor kondisi jalan lama, dimensi pelapisan, persyaratan lalu lintas berat, serta pemilihan parameter dan nilai Marshall yang lebih efisien dan rasional. Untuk lapis permukaan AC dilakukan penyederhanaan jumlah gradasi agregat, sedangkan untuk lapis permukaan Hot Rolled diberlakukan penentuan kadar aspal terhadap total campuran.

SUMMARY

Unsuitable mix design/specification can be treated as a loss because it can cause defects to pavement layer. Improvement of Bina Marga specification, especially on surface layers of AC (asphaltic concrete) and Hot Rolled and binder/base course of AC, is intended to avoid that unnecessary loss. This proposed alternative specification of asphalt hot mix is set up by considering the practical matters and to perform the change to the old specification as less as possible. This concept is not the one officially submitted to Bina Marga, but to represent an idea/alternative concept for further discussion. The change and improvement cover anticipation of plastic flow defects, accomodation of viscous elastic characteristics, road existing condition factor, overlay dimension, requirement for heavy traffic, and selection of more efficient and rational parameters and values of Marshall. For AC surface layer, there is a reduction in the number of aggregate gradation, while for Hot Rolled the selection of asphalt content based on total mix is proposed.

I. PENDAHULUAN

Pengamatan visual menunjukkan bahwa lapis campuran aspal panas sering mengalami kerusakan sebelum mencapai umur rencana. Sementara itu perencanaan campuran dan spesifikasi yang ada umumnya diambil dari luar negeri, yang tentunya membutuhkan pertimbangan dan modifikasi sebelum pemakaiannya, berhubung kondisi di negara asal mungkin berbeda dengan kondisi di Indonesia (Rantetoding [1984]). Kerusakan yang terjadi pada lapis perkerasan campuran aspal panas diduga diakibatkan oleh hal-hal sebagai berikut :

- Intensitas pembebanan yang meningkat
- Waktu pembebanan yang terlalu lama
- Iklim yang berubah
- Perencanaan tebal perkerasan yang kurang sesuai,
- Perencanaan campuran / spesifikasi yang kurang cocok
- Pengawasan pelaksanaan yang kurang ketat.

Dari sejumlah penyebab kerusakan tersebut, maka yang dibahas atau menjadi fokus utama makalah ini adalah perencanaan campuran/spesifikasi yang kurang cocok.

Cakupannya adalah campuran aspal panas yang umum dilaksanakan di Indonesia, yaitu beton aspal gradasi menerus (asphaltic concrete) maupun senjang (hot rolled asphalt), yang penentuan kadar aspalnya dilaksanakan dengan metode Marshall, baik lapis permukaan maupun lapis antara/pondasi atas. Isi makalah ini pada dasarnya bersumber dari studi spesifikasi campuran aspal panas di Pusat Litbang Jalan (Sjahdanulirwan [1996]).

II. KERANGKA PEMIKIRAN

2.1. Persyaratan Campuran Aspal Panas

Pada tahap persiapan syarat yang diperlukan adalah kemudahan pencampuran dan pelaksanaan penghamparan (mixability/workability). Untuk melayani lalu lintas, kekuatan (lapis permukaan dan lapis pondasi atas) dan kenyamanan/keselamatan (lapis permukaan) merupakan dua faktor utama berhubungan dengan persyaratan campuran aspal panas. Faktor tersebut jika diuraikan lebih lanjut adalah :

- Kekakuan (stiffness), untuk menahan deformasi serta mendistribusikan beban lalu lintas ke daerah yang lebih luas pada tanah dasar.
- Stabilitas, untuk menahan retak akibat pembebanan yang berulang.
- Fleksibel, untuk mengabsorbsi regangan tarik akibat deformasi/lendutan oleh beban lalu lintas.
- Keawetan (durability), untuk memper tahankan umur perkerasan dari pengaruh cuaca dan lalu lintas.
- Tahan air (impermeability), untuk melindungi perkerasan dari masuknya air dan udara (oksidasi) yang bisa memperlemah lapisan di bawahnya/tanah dasar.
- Kekesatan, untuk keselamatan pengendara.

Faktor-faktor tersebut di atas jika dikaitkan dengan penentuan gradasi/bentuk agregat, jenis dan jumlah aspal, serta penentuan rongga dalam campuran, akan menghasilkan kebutuhan yang bisa saling berlawanan, seperti tertera pada Tabel 1.

Tabel 1.
KEBUTUHAN CAMPURAN UNTUK PERKERASAN

No.	Faktor	Gradasi/bt agregat	Pen aspal	Jumlah aspal	Rongga
1.	Kemudahan (Workability)	bulat	tinggi	banyak	-
2.	Kekakuan (Stiffness)	padat	rendah	sedikit	-
3.	Stabilitas	bersudut	rendah	sedikit	besar
4.	Fleksibel	padat	-	banyak	-
5.	Keawetan (durability)	padat	-	banyak	kecil
6.	Tahan air	padat	-	banyak	kecil
7.	Kekesatan	bersudut	-	sedikit	besar

2.2. Pemilihan Parameter Marshall

Parameter Marshall yang sering digunakan tertera pada Tabel 2 berikut ini

Tabel 2.
PARAMETER MARSHALL

Sumber	Brt isi	Stabilitas	VIM	VFB	VMA	Flow	MQ	Lain-lain
01/B/1973	-	VD	VD	VD	-	VD	-	
137B/1983	-	VD	VD	VD	-	VD	-	
12/B/1983	-	VD	VD	VD	-	-	VD	
03/B/1983	-	VD	VD	VD	-	VD	-	
DGH/1986	-	VD	VD	-	-	-	VD	1)
DGH/1992	-	VD	VD	-	-	VD	-	2)
IRE/TRL/1993	-	VD	VD	-	-	VD	-	3)
Marshall	VD	V	V	-	-	V	V	
USCE	VD	VDA	VDA	VDA	-	V	-	
Shell	AV	VDA	VDA	VDA	-	V	-	
Asphalt Institute	DA	VDA	VDA	-	-	V	-	
BS 594	VD	-	-	-	VDA	-	-	
PSA	A	VDA	VDA	VDA	-	-	-	
Japan	VD	VDR	VDR	VDR	-	VDR	-	
Lees	A	VDR	VDR	VDR	V	V	VDR	
	VD							
	A-V							

Catatan :

- V : Plot grafik
 VD : Kadar aspal rencana
 VDA : Kadar aspal rencana rata-rata
 VDR : Kadar aspal rencana koridor

- Stabilitas setelah rendaman, perbandingan filler bitumen, tebal film aspal absorpsi/efektif/nyata.
- Stabilitas setelah rendaman, tebal film aspal, kadar aspal absorpsi/efektif/nyata.
- Rongga dalam campuran berdasarkan PRD (percentage refusal density), kadar aspal absorpsi/efektif/nyata.

1. Berat Isi

Kurva berat isi (terhadap kadar aspal) umumnya serupa dengan kurva untuk stabilitas, hanya kadar aspal optimum biasanya (tidak selalu) sedikit lebih besar dari pada kadar aspal optimum untuk stabilitas. Dengan pertimbangan ini maka parameter berat isi dapat dianggap telah tercakup pada parameter stabilitas.

2. Stabilitas

Pengukuran stabilitas dengan Marshall diperlukan untuk mengetahui kekuatan tekan geser dari contoh yang akan ditahan dua sisi kepala penekan (porsi tahanan kohesi lebih dominan dari porsi tahanan penguncian butir). Dengan nilai stabilitas yang cukup tinggi diharapkan perkerasan bisa menahan lalu lintas tanpa terjadi kehancuran geser.

3. VIM (Rongga dalam Campuran)

Parameter VIM digunakan untuk mengetahui besarnya rongga dalam campuran, sedemikian hingga tidak terlalu kecil (menimbulkan "bleeding") atau terlalu besar (menimbulkan oksidasi/penuaan aspal, porous).

4. VFB (Rongga terisi Aspal)

Parameter VFB diperlukan untuk mengetahui apakah perkerasan memiliki keawetan (durability) dan tahan air (impermeability) yang cukup memadai.

5. VMA (Rongga pada Campuran Agregat)

VMA adalah rongga antar butiran agregat, terdiri dari rongga udara serta aspal efektif, dinyatakan dalam prosentase volume total campuran. Bila rongga udara serta kadar aspal telah diketahui, maka hanya tingkat absorpsi agregat yang belum terungkap. Dengan pertimbangan bahwa penilaian agregat sudah diadakan pada tahap perencanaan, maka parameter VMA dapat dianggap tidak diperlukan lagi.

6. Kelelahan (Flow)

Parameter kelelahan diperlukan untuk mengetahui deformasi vertikal campuran saat dibebani hingga hancur (pada maksimum stabilitas).

Kelelahan ini biasanya meningkat dengan bertambahnya kadar aspal. Menurut Lees [1969], campuran berkadar aspal rendah lebih tahan terhadap deformasi jika ditempatkan di bagian tengah (as) jalan, sedangkan campuran berkadar aspal tinggi akan lebih tahan terhadap deformasi jika berada di bagian tepi perkerasan (tanpa tahanan samping).

7. Koefisien Marshall (MQ)

Pengukuran koefisien Marshall diperlukan untuk mengetahui kekakuan (stiffness) campuran. Pada pelapisan (overlay) tebal (≥ 5 cm) maka kekakuan yang tinggi bisa menahan deformasi serta mendistribusikan beban lalu lintas ke daerah yang lebih luas pada tanah dasar, sedangkan pada pelapisan tipis maka nilai kekakuan perlu dibatasi agar lapis tambahan tersebut tidak mudah retak. Batasan kekakuan lapis tipis perlu lebih diperketat bila lendutan yang ada (kondisi jalan lama) cukup besar (≥ 2 mm).

8. Stabilitas setelah Rendaman.

Parameter ini pada dasarnya mengukur tingkat adhesi antara agregat dan bitumen (Pell [1988]). Dengan pertimbangan bahwa penilaian agregat dan bitumen sudah diadakan pada tahap awal perencanaan (persyaratan agregat dan aspal), maka parameter stabilitas setelah rendaman dapat dianggap sudah tidak diperlukan lagi.

9. Perbandingan Filler terhadap Bitumen.

Tujuan awal filler adalah mengisi rongga dalam campuran (VIM), tidak hanya oleh bitumen tetapi material yang lebih murah (mastik filler bitumen). Pada kadar aspal konstan, penambahan filler akan memperkecil VIM. Dalam perkembangan selanjutnya terbukti filler tidak hanya mengganti (extended) fungsi bitumen mengisi rongga, tetapi juga memperkuat campuran (Edwards [1988]). Untuk suatu kadar aspal yang konstan, jumlah filler yang sedikit berakibat rendahnya koefisien Marshall (MQ) karena viskositas bitumen masih rendah dengan filler yang sedikit tersebut. Selanjutnya koefisien Marshall meningkat dengan pertambahan filler sampai nilai maksimum, kemudian menurun akibat berkurangnya kemampuan pemadatan

campuran (tanpa menimbulkan retak). Mengingat perbandingan filler terhadap bitumen ini dianggap sudah terdeteksi oleh VIM dan MQ, seperti diuraikan di atas, maka parameter ini mempunyai alasan untuk dikeluarkan dari persyaratan spesifikasi.

10. Tebal Film Aspal

Spesifikasi dengan parameter ini mensyaratkan batas atas dan batas bawah, atau batas bawah saja. Batas atas dimaksudkan agar tidak terjadi deformasi atau "bleeding". Karena tahanan deformasi dan "bleeding" ini bisa dideteksi dari parameter MQ (atau Flow) dan VIM, maka dapat dimengerti bahwa spesifikasi DGH/1986 (Hot Rolled) dan DGH/1992 (AC) hanya mensyaratkan batas bawah saja (aspek durabilitas), yaitu tebal film aspal > 8 mikron. Untuk jumlah aspal konstan maka tebal film aspal pada dasarnya dipengaruhi "surface area" agregatnya. Agregat halus memiliki surface area yang lebih besar dari pada agregat kasar. Dengan demikian gradasi campuran dengan komposisi agregat halus lebih besar akan memiliki tebal aspal yang lebih rendah, seperti tertera pada Tabel berikut ini (Nurdin [1989]).

Tabel 3.
HUBUNGAN GRADASI, KADAR ASPAL
(OPTIMUM) dan TEBAL FILM ASPAL

No.	Jenis Campuran	Kadar Aspal (%)	Tbl.Film Aspal (mikron)
1.	Lataston 0% agregat kasar	10.3	5.87
2.	Lataston 30% agregat kasar	7.9	6.32
3.	Lataston type III	6.1	8.85
4.	Lataston type III	6.0	9.35

Dari Tabel 3 terlihat bahwa jika ditetapkan tebal film aspal > 8 mikron, hanya sesuai untuk Lataston type III dan XI, sedangkan Lataston 0% - 30% agregat kasar akan memiliki kadar aspal tinggi sekali. Sebaliknya jika syarat tebal film aspal diubah menjadi > 5 mikron, maka persyaratan tersebut menjadi kurang berarti untuk Lataston type III dan XI. Tabel 3 juga

menunjukkan bahwa film aspal yang besar tidaklah selalu berkaitan dengan kadar aspal yang tinggi. Ketergantungan tebal film aspal terhadap komposisi agregat, serta aspek durabilitas yang sudah tercakup pada parameter VFB, memberi indikasi bahwa tebal film aspal menjadi kurang efektif dimasukkan spesifikasi.

11. Kadar Aspal Absorpsi/Efektif/Nyata.

Parameter ini disyaratkan spesifikasi DGH [1986, 1992] dan IRE-TRL [1993] karena gradasi optimum dicari dari kadar aspal yang sudah ditentukan, dan ini berbeda dengan cara Asphalt Institute yaitu kadar aspal optimum dicari dari gradasi yang sudah ditentukan. Kedua cara tersebut memiliki kelebihan dan kekurangan. Namun pada makalah ini cara Asphalt Institute dipandang lebih bermanfaat dengan pertimbangan sebagai berikut :

- Cara Asphalt Institute sudah lama digunakan oleh para perencana di Indonesia.
- Pemilihan gradasi rencana, dari sejumlah/koridor gradasi Spesifikasi, bisa disesuaikan mendekati yang tersedia (mengurangi jumlah agregat terbuang).
- Jika di lapangan perlu penyesuaian, maka mengubah kadar aspal lebih praktis dari pada mengubah gradasi (keterbatasan material, jenis pemecah batu, dsb).

12. Rongga dalam Campuran berdasarkan PRD.

Parameter ini mengantisipasi kerusakan perkerasan berupa deformasi plastis akibat lalu lintas berat. Seperti diketahui jika VIM mendekati nol, maka aspal cenderung bersifat pelumas yang memisahkan butiran agregat satu sama lain. Kondisi tersebut disimulasikan oleh pengujian pemadatan yang disebut PRD (percentage refusal density). Dengan perkataan lain rongga akibat pemadatan lalu lintas berat kira-kira sama dengan rongga akibat pemadatan PRD (Edwards and Mulyadi [1992]). Untuk mencegah deformasi plastis, maka VIM menggunakan PRD harus lebih besar dari suatu nilai terendah yang dianggap cukup aman, misalnya > 2% (Brown [1988]).

Mengingat alat PRD ini belum dikenal luas di Indonesia, serta kegunaannya terbatas, maka pemanfaatan alat yang ada, yaitu Marshall, sangat diperlukan. Ada dua alternatif yang bisa dilakukan. Pertama, membuat jumlah tumbukan pada campuran dengan alat Marshall sedemikian sehingga kepadatannya mendekati kepadatan campuran dengan alat PRD. Kedua, membuat korelasi antara VIM memakai alat Marshall (2 x 75 tumbukan, untuk lalu lintas berat) dan alat PRD, sehingga diketahui seberapa jauh selisihnya. Percobaan yang dilakukan di Pusat Litbang Jalan menunjukkan bahwa kepadatan Marshall 2 x 400 hampir sama dengan kepadatan PRD, sedangkan selisih VIM antara Marshall 2 x 75 dengan PRD adalah sekitar 1.5% untuk AC dan 3% untuk Hot Rolled.

Penggunaan Marshall 2 x 400 tumbukan membutuhkan usaha pemadatan (compactive effort) yang besar (konsekwensi biaya dan waktu) serta memungkinkan pecahnya agregat (perbedaan dengan kondisi di lapangan). Penggunaan PRD masih lebih baik dari Marshall 2 x 400, namun alat ini belum dikenal luas (aspek standarisasi) dan perlu investasi untuk pengadaan/training di laboratorium seluruh Indonesia. Untuk saat ini kriteria Marshall 2 x 75 tumbukan (untuk lalu lintas berat) dengan memperhitungkan selisih VIM terhadap PRD, merupakan solusi yang disarankan untuk perencanaan campuran aspal panas.

2.3. Penentuan Gradasi Agregat dan Jenis Aspal.

Gradasi agregat lapis permukaan AC selama ini adalah dari spesifikasi No. 13/PT/B/1983 (11 macam). Gradasi agregat spesifikasi No. 01/ST/BM/1972 (campuran A dan B) sama dengan gradasi X dan XI dari spesifikasi No. 13/PT/B/1983. Selain itu ada gradasi spesifikasi DGH/1992 (1 macam). Walaupun dari ketersediaan agregat di lapangan sangat menguntungkan, namun banyaknya gradasi (12 macam) membuka peluang melebarnya variasi kadar aspal, misalnya mulai 4% untuk gradasi kasar (VFB rendah) sampai 8.5% untuk gradasi rapat (VFB tinggi). Dari 12 gradasi yang ada, perlu dilakukan analisa atau pengujian, utamanya sifat-sifat Marshall, serta kelemahan konstruksi AC selama ini, seperti kerusakan

stripping dan ravelling akibat kadar aspal rendah (di bawah 5%).

Gradasi agregat lapis antara/pondasi atas AC yang dipakai selama ini adalah dari spesifikasi No. 03/ST/B/1983 (type I, II, dan III). Gradasi agregat spesifikasi No. 01/ST/BM/1972 adalah sama dengan gradasi type I. Gradasi type I, II dan III ini dianggap sudah cukup memadai untuk lapis antara/pondasi atas konstruksi AC.

Gradasi agregat (kasar dan halus) Hot Rolled yang dipakai selama ini adalah dari spesifikasi No. 12/PT/B/1983 dan DGH/1986. Gradasi dari kedua spesifikasi ini dianggap sudah cukup memadai untuk konstruksi Hot Rolled.

Jenis aspal keras Pen 60 atau Pen 80, yang telah biasa dipakai selama ini untuk lapis permukaan, dianggap masih tetap dapat digunakan. Persyaratan aspal keras Pen 60 atau Pen 80 tertera pada spesifikasi No. 13/PT/B/1983. Untuk lapis antara/pondasi atas persyaratan aspal keras seperti tertera pada spesifikasi No. 01/ST/BM/1972.

III. SPESIFIKASI YANG DIUSULKAN

Spesifikasi yang diusulkan disusun dengan mengingat kerangka pemikiran yang sudah diuraikan di depan, serta beberapa pertimbangan berikut ini.

3.1. Spesifikasi Lapis Permukaan AC.

1. Asumsi bahwa spesifikasi lama (Bina Marga [1992], Bina Marga [1983a], DGH [1992]) dimaksudkan untuk kecepatan lalu lintas sedang. Sebagai contoh nilai stabilitas 460 kg, 650 kg, dan 750 kg sesuai untuk kecepatan lalu lintas sedang. Untuk kecepatan pelan (jalan dalam kota) dan kecepatan tinggi (jalan bebas hambatan), penambahan dan pengurangan sebesar 20 kg dari persyaratan kecepatan sedang dianggap cukup memadai.
2. Asumsi bahwa spesifikasi lama dimaksudkan untuk jalan antar kota (tanpa tahanan tepi). Sebagai contoh, nilai maksimum kelelahan (flow) 5 mm, 4.5 mm dan 4 mm sesuai untuk perkerasan tanpa tahanan tepi. Untuk perkerasan dengan tahanan tepi (kerb) pengurangan sebesar 0.5 mm dari persyaratan tanpa tahanan tepi dianggap cukup memadai.

3. Spesifikasi lama tidak mencantumkan persyaratan koefisien Marshall untuk AC, melainkan hanya untuk Hot Rolled (Bina Marga [1983b], DGH [1986]). Selama ini persyaratan tersebut digunakan untuk HRS (< 5 cm) dengan lendutan jalan lama ≥ 2 mm. Persyaratan nilai minimum koefisien Marshall HRS adalah 100 kg/mm (kepadatan LL ringan) sampai dengan 180 kg/mm (kepadatan LL berat). Untuk AC persyaratan minimum tersebut bisa ditingkatkan menjadi 150 kg/mm (kepadatan LL ringan), 200 kg/mm (kepadatan LL sedang), dan 250 kg/mm (kepadatan LL berat). Nilai maksimum koefisien Marshall HRS 500 kg/mm dianggap berlaku juga untuk AC, namun jika lendutan < 2 mm maka kemampuan AC bisa dimanfaatkan/ditingkatkan menjadi 550 kg/mm. Untuk overlay ≥ 5 cm maka tidak diperlukan pembatasan nilai maksimum koefisien Marshall.
4. Assumsi bahwa batas minimum VIM 2% menggunakan PRD cukup aman terhadap deformasi plastis untuk kepadatan LL berat pada kecepatan sedang. Dengan demikian batas minimum VIM menggunakan Marshall 2×75 adalah : $2\% + 1.5\% = 3.5\%$. Pada kecepatan pelan, nilai minimum 4% untuk kepadatan LL berat dan 3.5% untuk kepadatan LL sedang dianggap cukup memadai. Selanjutnya jika diassumsikan bahwa nilai maksimum VIM 6% pada spesifikasi lama berlaku untuk kepadatan LL sedang dan kecepatan sedang, maka

tambahan 0.5% untuk kepadatan LL berat dan pengurangan 0.5% untuk kepadatan LL ringan, dianggap cukup memadai. Demikian pula tambahan 0.5% untuk kecepatan pelan, dan pengurangan 0.5% untuk kecepatan cepat diperkirakan cukup sesuai.

5. Pada spesifikasi lama batas bawah VFB adalah 65%, dan ini diperlukan agar perkerasan cukup tahan air (impermeable). Pemeriksaan dan pengamatan jalan Kopo - Rancabali, yang diberi lapis tambahan sekitar tahun 1990, dengan VFB rata-rata 65% dan hanya dilewati lalu lintas ringan tidak menunjukkan kerusakan retak hingga kini (1996). Dengan demikian cukup aman jika besaran 65% berlaku untuk kondisi pembebanan terbesar yaitu kepadatan LL berat dengan kecepatan pelan. Juga cukup memadai jika dilakukan tambahan 1% dari besaran minimum VFB secara kumulatif untuk kepadatan LL sedang dan ringan, serta kecepatan sedang dan cepat. Sedangkan batas atas 85% pada spesifikasi lama (agar tidak terjadi "bleeding") sesuai untuk kepadatan LL ringan dengan kecepatan cepat. Pengurangan 1% dari besaran maksimum VFB secara kumulatif untuk kepadatan LL sedang dan berat, serta kecepatan sedang dan pelan diperkirakan memadai.

Dari uraian tersebut di atas, maka diusulkan spesifikasi campuran panas lapis permukaan AC seperti tertera pada Tabel 4 berikut ini.

Tabel 4.

SPESIFIKASI LAPIS PERMUKAAN AC, PENENTUAN KADAR ASPAL

Jenis Pemeriksaan	Kepadatan LL	Ringan			Sedang			Berat		
		Pelan	Sedang	Cepat	Pelan	Sedang	Cepat	Pelan	Sedang	Cepat
Stabilitas (kg)		>480	>460	>440	>670	>650	>630	>770	>750	>730
Kelelahan (mm) :										
- Tahanan tepi (kerb)		2 - 4.5			2 - 4			2 - 3.5		
- Tanpa tahanan tepi		2 - 5			2 - 4.5			2 - 4		
Koefisien Marshall (kg/mm) :										
- Overlay ≥ 5 cm		> 150			> 200			> 250		
- Overlay < 5 cm :										
a. Lendutan ≥ 2 mm		150-500			200-500			250-500		
b. Lendutan < 2 mm		150-550			200-550			250-550		
Rongga dalam camp. (%)		3 - 6	3 - 5.5	3 - 5	3.5 - 6.5	3 - 6	3 - 5.5	4 - 7	3.5 - 6.5	3 - 6
Rongga terisi aspal (%)		67-83	68-84	69-85	66-82	67-83	68-84	65-81	66-82	67-83
Jumlah tumbukan		2 x 35			2 x 50			2 x 75		

3.2. Spesifikasi Lapis Permukaan Hot Rolled.

1. Spesifikasi yang diusulkan pada dasarnya mengikuti kerangka pemikiran lapis permukaan AC, namun besarnya berbeda mengingat perbedaan karakteristik AC dan Hot Rolled. Spesifikasi lama Hot Rolled yang menjadi pertimbangan utama adalah yang mendasarkan pemeriksaan Marshall terhadap total campuran (DGH [1986]), bukan terhadap mortar (Bina Marga [1983b]) agar lebih mewakili keadaan sebenarnya.
2. Parameter yang mencerminkan perbedaan Hot Rolled dan AC adalah stabilitas dan koefisien Marshall. Selain itu selisih VIM antara PRD dan Marshall 2 x 75 untuk Hot Rolled adalah sekitar 3%, sedangkan nilai maksimum VIM yang diterapkan untuk AC bisa diperlonggar/ditambah 0.5% mengingat sifat tahanan porous Hot Rolled lebih baik dari AC. Untuk menghindari "bleeding", maka nilai minimum yang

diterapkan untuk AC perlu diperketat/ditambah 0.5% mengingat sifat tahanan deformasi plastis Hot Rolled tidak sebaik AC.

Dari uraian tersebut di atas, maka diusulkan spesifikasi campuran panas lapis permukaan Hot Rolled seperti tertera pada Tabel 5 berikut ini

3.3. Spesifikasi Lapis Antara / Pondasi Atas AC

1. Pada dasarnya spesifikasi lapis / pondasi atas campuran panas serupa dengan lapis permukaan, namun persyaratannya lebih ringan. Spesifikasi lama yang menjadi bahan pertimbangan adalah No. 01/ST/BM/1972 (Bina Marga [1972]) dan No. 03/ST/BM/1983 (Bina Marga [1983c]).
2. Nilai minimum stabilitas spesifikasi lama dipandang masih sesuai untuk kepadatan LL ringan, sedangkan untuk kepadatan LL sedang dan berat perlu nilai minimum yang lebih tinggi.

Tabel 5.
SPESIFIKASI LAPIS PERMUKAAN HOT ROLLED,
PENENTUAN KADAR ASPAL

Jenis Pemeriksaan	Kepadatan LL			Ringan			Sedang			Berat		
	Kecepatan			Pelan	Sedang	Cepat	Pelan	Sedang	Cepat	Pelan	Sedang	Cepat
Stabilitas (kg)	>470			>450	>430	>430	>520	>500	>480	>570	>550	>530
Kelelahan (mm) :												
- Tahanan tepi (kerb)				2 - 4.5			2 - 4			2 - 3.5		
- Tanpa tahanan tepi				2 - 5			2 - 4.5			2 - 4		
Koefisien Marshall (kg/mm) :												
- Overlay $\geq$ 5 cm				> 100			> 200			> 250		
- Overlay < 5 cm :												
a. Lendutan $\geq$ 2 mm				100-450			140-450			180-		
b. Lendutan < 2 mm				100-500			140-500			450		
										180-		
										500		
Rongga dalam camp (%)	3.5-6.5			3.5-6	3.5-5.5	3.5-5.5	5-7	4.5-6.5	4-6	5.5-7.5	5-7	4.5-6.5
Rongga terisi aspal (%)	67-83			68-84	69-85	69-85	66-82	67-83	68-84	65-81	66-82	67-83
Jumlah tumbukan				2 x 35			2 x 50			2 x 75		

5. Spesifikasi Aspal yang dianggap masih dapat digunakan adalah spesifikasi No. 13/PT/B/1983 untuk aspal keras Pen 60 dan 80 bagi lapis permukaan, serta spesifikasi No. 01/ST/BM/1972 untuk aspal keras bagi lapis antara/pondasi atas.

spesifikasi baru ini seyogyanya mencakup seluruh spektrum lalu lintas (kepadatan ringan/sedang/berat dan kecepatan pelan/sedang/cepat), serta jenis penanganan (peningkatan, pembangunan jalan baru).

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

1. Alternatif spesifikasi baru campuran aspal panas yang diusulkan, disusun dengan beberapa penyempurnaan sebagai berikut :
 - a. Menampung hal - hal yang belum tercakup pada spesifikasi lama, seperti : sifat viscous elastis campuran (fungsi kecepatan lalu lintas), faktor kondisi jalan lama dan dimensi pelapisan (batasan kekakuan dan kelelahan), serta persyaratan untuk lalu lintas berat (antisipasi kerusakan deformasi plastis).
 - b. Pemilihan parameter Marshall yang lebih efisien, dan penentuan nilai parameter Marshall yang lebih rasional.
 - c. Penyederhanaan jumlah gradasi agregat lapis permukaan AC dari 12 buah menjadi 9 buah, serta penentuan kadar aspal terhadap total campuran untuk lapis permukaan Hot Rolled.
2. Penyusunan alternatif spesifikasi baru campuran aspal panas, yang mencakup lapis permukaan AC/Hot Rolled dan lapis antara/pondasi atas AC, pada dasarnya dilakukan tanpa membuat perubahan yang terlalu drastis terhadap spesifikasi lama yang berlaku saat ini.
3. Walaupun alternatif spesifikasi baru campuran aspal panas ini sudah didukung dengan percobaan laboratorium, namun pengujian di lapangan (pada awal konstruksi dan selama pelayanan) sangat diperlukan. Pengujian lapangan terhadap alternatif

DAFTAR PUSTAKA

1. Bina Marga (1972), "Peraturan Pembangunan Jalan Raya", No. 01/ST/BM/1972, Ditjen Bina Marga, Departemen PU.
2. Brown, S.F. (1988), "Improved asphalt pavement engineering", Seventh AAPA, International Asphalt Conference, Brisbane, August 1988, pp 35 - 48.
3. Bina Marga (1983a), "Petunjuk Pelaksanaan Lapis Aspal Beton (Laston)", No. 13/PT/B/1983, Ditjen Bina Marga, Departemen PU.
4. Bina Marga (1983b), "Petunjuk Pelaksanaan Lapis Tipis Aspal Beton Flexible (Lataston)", No. 12/PT/B/1983, Ditjen Bina Marga, Departemen PU.
5. Bina Marga (1983c), "Petunjuk Pelaksanaan Lapis Aspal Beton Pondasi Atas (Laston Atas)", No. 03/PT/B/1983, Ditjen Bina Marga, Departemen PU.
6. DGH (1986), "Specifications for high durability asphalt", IBRD Highway Betterment Programme, Central Design Office, Directorate General of Highways.
7. DGH (1992), "Specifications for dense graded asphalt (asphaltic concrete) designed by the Marshall method", Directorate General of Highways.

8. Edwards, A.C., and Mulyadi, M. (1992), "An investigation of compaction levels in Indonesian asphaltic mixes", IRE Research Report.
9. Edwards, J.M. (1988), "Design of Bituminous Mixes", Lecture K, Residential Course on Bituminous Pavements, University of Nottingham, Department of Civil Engineering.
10. IRE - TRL (1993), "A Review of Requirements for Asphalt Surfacing and Preliminary Result of the valuation of Asphalt Mixes in Laboratory Trials", Pusat Litbang jalan.
11. Lees, G. (1969), "The Influence of Binder and Aggregate in Bituminous Mixtures", The Journal of The Institution of Highway Engineering, pt. 7 - 19.
12. Nurdin, I. (1989), "Prospek Split Mastik Aspal Dengan Bahan Tambah Serat Selulosa Untuk Lapis Permukaan Perkerasan Jalan di Indonesia", Pusat Litbang Jalan.
13. Pell, P.S. (1988), "Laboratory Test Methods", Lecture E, Residential Course on Bituminous Pavements, University of Nottingham, Department of Civil Engineering.
14. Rantetoding, P. (1984), "Mix Design Untuk Indonesia", Prosiding I, Konferensi Tahunan Teknik Jalan Ke-2, Bandung, Indonesia.
15. Sjahdanulirwan, M. (1996), "Analisis Spesifikasi dan Penyusunan Spesifikasi Baru Untuk Campuran Aspal Panas", Laporan Pengembangan, Pusat Litbang Jalan.

Penulis :

*Dr. Ir. M. Sjahdanulirwan MSc. Peneliti Muda,
Kepala Bidang Penelitian, Pusat Litbang Jalan.*



EVALUASI KEKUATAN CAMPURAN PERKERASAN BERASPAL AKIBAT PENGARUH AIR DENGAN CARA PERENDAMAN

Furqon Affandi

RINGKASAN

Tulisan ini menyajikan pengembangan pengujian sensitivitas dari kerusakan akibat air (*moisture damaging MD*) untuk campuran beraspal, pada kondisi beriklim panas dan lembab. Konsep dan pengujian ini didasarkan pada karakteristik sensitivitas kerusakan akibat air dengan kurva durabilitas jangka panjang yang menyatakan variasi kekuatan sisa dengan cara perendaman panas (60°C) sampai 14 hari.

Versi awal dari pengujian ini telah dimodifikasi dengan karakteristik sensitivitas kerusakan akibat air (MD) dengan menggunakan nilai kekuatan sisa pada umur perendaman 6 hari di air panas. Kedua pengujian tersebut telah terbukti sangat baik dibandingkan terhadap pengujian Marshall tradisional dengan perendaman satu hari dalam mendeteksi sensitivitas campuran. Metode yang dimodifikasi ini lebih praktis untuk mengganti metode yang terdahulu yang berdasarkan periode perendaman yang lebih panjang (selama 14 hari) dan dengan jumlah contoh yang banyak.

SUMMARY

This paper dealt with the development of a moisture damage (MD) sensitivity test for bituminous paving mixture under hot and humid climatic condition. The concept and test are based on characterizing the moisture damage sensitivity by long term durability curves that express the variation of retained strength with hot immersion (60°C) time as long as 14 days .

The original version of the test was modified by characterizing MD sensitivity using the retained strength value at 6 days of hot water immersion. Both version of the test have been proven to be superior to the traditional 1 day Marshall immersion test in detecting sensitive mixtures. The modified version is a practical substitute for its former version that was based on longer immersion periods (up to 14 days) and a greater number of sample sets .

I. PENDAHULUAN

Pengaruh air pada penurunan sifat fisik dan perilaku mekanis dari campuran beraspal telah diketahui beberapa tahun yang silam. Untuk mengatasi masalah ini, telah banyak pengujian laboratorium yang telah dikembangkan, dimana semuanya berusaha untuk mengevaluasi sensitivitas campuran terhadap pengaruh akibat air tersebut. Pengujian yang paling umum dan praktis ialah mengukur perubahan perilaku mekanis dari contoh yang telah dipadatkan dengan setelah mengalami perendaman, dimana hasil dari pengujian tersebut dilaporkan dalam bentuk prosentase kekuatan sisa.

Untuk beberapa tahun, pengujian rendaman Marshall, adalah satu-satunya pengujian sensitivitas yang digunakan di beberapa negara, dimana pengujian ini biasanya dimasukkan dalam spesifikasi nasional dengan persyaratan stabilitas sisa akibat rendaman ialah antara 60 - 75 %.

Baru-baru ini, keraguan terhadap kemampuan pengujian untuk mendeteksi sensitivitas campuran telah muncul. Dalam beberapa hal , campuran beraspal dengan agregat yang hydrophilic, yang telah memenuhi kriteria persyaratan dalam spesifikasi, telah mengalami pelepasan butir (stripping) yang sangat cepat, tidak lama setelah penghamparan. Keraguan terhadap kualitas dari pengujian juga muncul

dari beberapa pengguna. Karena itu tujuan dari tulisan ini ialah untuk mengembangkan pengujian yang lebih baik, sedangkan maksudnya ialah untuk menguraikan temuan-temuan yang berkaitan dengan evaluasi laboratorium akibat kerusakan air (moisture damage) terhadap campuran perkerasan beraspal.

II. PENGEMBANGAN PENGUJIAN

Tuntutan dasar dari pengembangan pengujian sensitivitas di laboratorium adalah sebagai berikut :

1. Harus relatif cepat dan sederhana.
2. Produksinya cukup tinggi
3. Harus mendapatkan sesuatu yang berbeda dengan cara yang berbeda.
4. Harus mempunyai dasar analitis yang baik.
5. Peralatan pengujian harus didapatkan di pasaran laboratorium dan pengujian merupakan bagian dari prosedur rutin untuk perencanaan pada job mix formula.
6. Kerusakan akibat air (moisture) hendaknya serupa dengan tingkat kerusakan yang terjadi di lapangan.
7. Kriteria diterima dan ditolak harus didasarkan pada hasil korelasi dengan keadaan lapangan.

Usaha yang telah dibuat untuk mengembangkan dan mengadopsi pengaruh kerusakan akibat air (moisture damage) untuk kondisi lokal, dan ternyata telah terbukti lebih unggul dari pengujian rendaman Marshall ialah

pengujian Durability Index (DI), yang semula ditujukan untuk penelitian, tetapi ternyata telah terbukti baik juga untuk penggunaan lapangan.

2.1 Versi Asli Dari Durability Index (DI)

Pengujian ini didasarkan pada lima set benda uji Marshall yang direndam pada air panas 60°C sampai dengan 14 hari. Masing-masing contoh diuji, setelah direndam pada umur rendaman yang berbeda (0,1,4,7,14 hari) dan dibuatkan grafik antara kekuatan sisa dengan lamanya rendaman yang dinyatakan dengan grafik durability. (Gambar 1). Parameter kekuatan yang digunakan biasanya ialah stabilitas Marshall, dan yang lainnya ialah resilient modulus.

Kerusakan akibat air (Moisture Damage ; MD) dari suatu campuran yang diuji, dinyatakan dengan Durability Index (DI) atau Equivalent Retain Strength (ERS). DI didefinisikan sebagai harga rata-rata dari luas kekuatan yang hilang antara garis durabilitas dan garis $S_0 = 100$ persen. Dari gambar 1, DI bisa dinyatakan sebagai berikut :

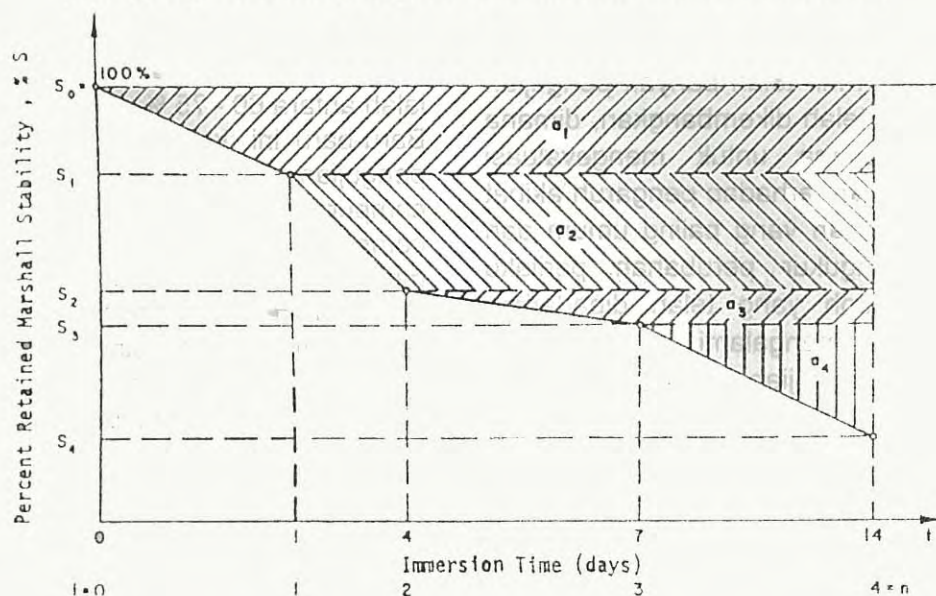
$$DI = \left(\frac{1}{tn} \right) \sum_{i=1}^n a_i = \left(\frac{1}{2tn} \right) \sum_{i=0}^{N-1} (S_i - S_{i+1}) \times [2tn - t_i + t_{i+1}] \quad (1)$$

dimana :

S_{i+1} = prosentase kekuatan sisa pada waktu $t = i + 1$.

S_i = prosentase kekuatan sisa pada saat t_i , t_{i+1} = waktu rendaman (dari awal pengujian).

Gambar 1
KURVA DURABILITAS
(Dengan parameter yang menyatakan durabilitas tersebut)



Perlu dicatat bahwa penambahan luas (ai) didefinisikan sebagai bagian horizontal, sebab hal itu menyatakan sumbangan relatif dari penambahan waktu rendaman terhadap kehilangan kekuatan total. Dalam hal ini, perbandingan relatif dari penambahan waktu awal adalah lebih besar dari penambahan waktu akhir.

DI menyatakan ekivalen dari kehilangan kekuatan 1 hari. Nilai *DI* yang positif menyatakan kehilangan kekuatan, sedangkan yang negatif menyatakan kenaikan kekuatan. Berdasarkan definisi, $DI < 100$.

Konsekwensinya, memungkinkan untuk menyatakan persentase ERS 1 hari sebagai berikut :

$$ERS = (100 - DI) \quad (2)$$

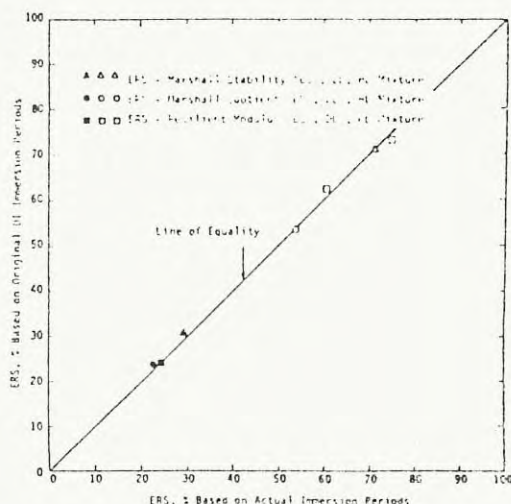
Yang perlu dicatat, meskipun lima waktu periode rendaman digunakan untuk menyatakan umur rendaman sampai dengan 14 hari, studi studi terakhir menyatakan bahwa tidak ada perubahan pada nilai ERS yang dihasilkan, walaupun periode peningkatan pengujian (sampai setiap hari , pengujian) ditambah. Lihat Gambar 2.

Pengalaman telah menunjukkan bahwa penggunaan pengujian Marshall dapat dipertanggungjawabkan untuk mendeteksi sensitivitas MD. Pengujian ini juga digunakan, sebab metode dan peralatan pengujianya umum digunakan pada teknologi perkerasan.

Akan tetapi lama perendaman dan jumlah contoh yang banyak tidak sesuai dengan tuntutan no 1 dan 5 seperti disebutkan dimuka.

Gambar 2.

EKIVALEN NILAI KEKUATAN SISA UNTUK BERBAGAI PERIODE RENDAMAN TERHADAP NILAI BERDASARKAN PROSEDUR *DI* ASLI



Karena itu usaha yang baru, harus dilakukan untuk memperbaiki keterbatasan tersebut.

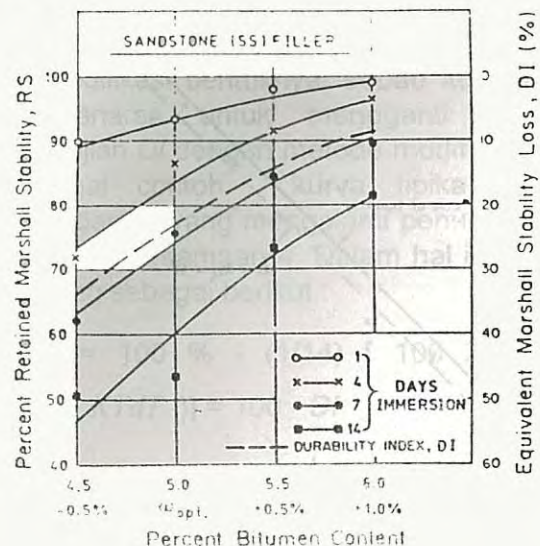
III. PENGEMBANGAN VERSI MODIFIKASI DARI DURABILITY INDEX (*DI*)

Pengumpulan dari sejumlah kurva durabilitas yang berdasarkan pada nilai stabilitas sisa Marshall yang didapat dari prosedur pengujian *DI* memperlihatkan phenomena yang sangat menarik antara umur rendaman 4 dan 7 hari. Bilamana kekuatan sisa dan kadar aspa diplotkan, terlihat bahwa kurva yang menyatakan ekivalen kehilangan kekuatan (*DI*) biasanya terletak pada daerah yang dibatasi oleh umur rendaman 4 dan 7 hari. Hal ini menimbulkan suatu ide bahwa seluruh kurva durabilitas bisa diganti dengan nilai kekuatan sisa pada umur 5 atau 6 hari. (Gambar 3).

Usaha yang pertama untuk mendukung anggapan ini telah dibuat tiga campuran dengan periode masa rendaman sebagaimana ditentukan pada versi aslinya, ditambah dengan tambahan pengujian setelah 5 hari perendaman. Campuran terdiri dari agregat basalt dan aspal pen 60 -70, akan tetapi variasi pada tipe filer dan prosentase rongga permeabel dalam campuran (Tabel 1) melengkapi kebutuhan variabilitas dari ketahanan MD. Kekuatan sisa sebagaimana dibutuhkan oleh versi asli *DI*, begitu juga setelah rendaman 5 hari, dihitung dengan berdasarkan tiga parameter mekanis(Marshall Stabilitas, Marshall Quotient, dan Resilient Modulus) ditunjukan pada Gambar 4.

Gambar 3

PENGARUH KADAR ASPAL TERHADAP DURABILITAS UNTUK BERBAGAI WAKTU RENDAMAN



Disebabkan semua nilai pada Gambar 4 jatuh disebelah kanan dari garis kesamaan (equality), maka hal itu semakin nyata bahwa umur perendaman 5 hari tidaklah cukup, karenanya umur rendaman 6 hari perlu dicoba.

Pertama, nilai kekuatan sisa teoritis pada rendaman 6 hari dihitung dari kurva durabilitas yang diturunkan dari berbagai studi, dengan menganggap penurunan linier dari kekuatan sisa antar 4 atau 5 hari dengan 7 hari rendaman, selanjutnya dibandingkan dengan nilai asli dari pengujian *DI*. Pada umur ini, tingkat kecocokan sangat tinggi, dengan nilai koefisien variasi 0,99 dari 36 contoh yang diselidiki, sebagaimana terlihat pada Gambar 5. Berdasarkan derajat korelasi yang tinggi tersebut, maka dibuat himpunan data dari berbagai tipe campuran, dimana pengujian durabilitas didasarkan atas versi pengujian asli

DI, dan juga modifikasi, dengan prosedur pengujian yang diperpendek menjadi 6 hari.. Pengalaman dari berbagai tipe campuran (konvensional hot mix, daur ulang campuran panas, aspal pen 60 -70, aspal emulsi HFMS 2h dll) sebagai mana terlihat pada Tabel 2 menunjukkan hasil yang cukup baik, dan karenanya diputuskan untuk mengganti nilai ERS dari pengujian asli *DI* dengan satu nilai pada rendaman 6 hari. Secara praktis hal itu berarti mengurangi jumlah pengujian dari 5 menjadi 3 (0,1 dan 6 hari rendaman), jadi mengurangi masa total perendaman dari 14 hari ke 6 hari. Nilai kekuatan sisa pada satu hari dibutuhkan untuk tujuan pengontrolan. Pemindahan terhadap versi dengan umur rendaman yang lebih pendek didukung tidak hanya dengan pengalaman, tetapi juga dengan pertimbangan teoritis.

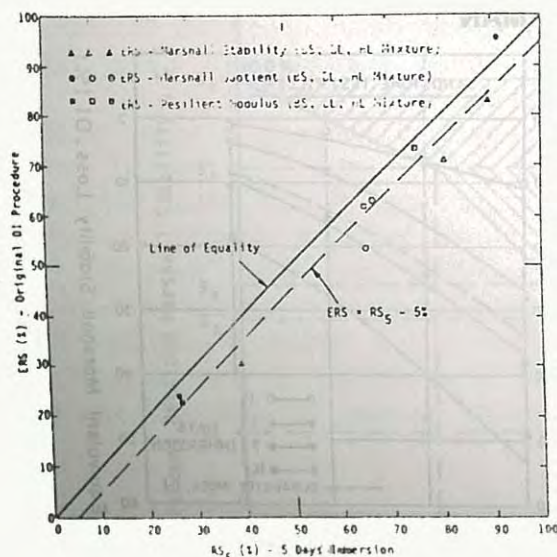
Tabel 1
SIFAT CAMPURAN YANG DIGUNAKAN

Filler Designation	Filler Type	ω_{opt}^a (%)	ω_{act}^a (%)	Mixture Density (kg/m ³)	Marshall Stability (lb)	Resilient Modulus at 25°C (kg/m ²)	Tensile Strength (psi)	Flow (1/100 in.)	Marshall Quotient (lb/in. $\times 10^{-2}$)	Air Voids (%)	Bitumen Saturation (%)	VMA (%)	Permeable Voids ^b (%)
BS	Basalt	6.0	5.5	2394	2,217	37 812	114.5	15.3	114.9	6.83	54.71	15.08	4.8
HL	Hydrated lime	7.0	6.5	2362	1,933	34 580	91.9	18.3	105.6	6.02	64.45	16.93	3.9
DL	Dolomite	5.0	5.0	2454	3,072	32 912	126.9	18.1	169.7	4.65	63.09	12.59	2.8

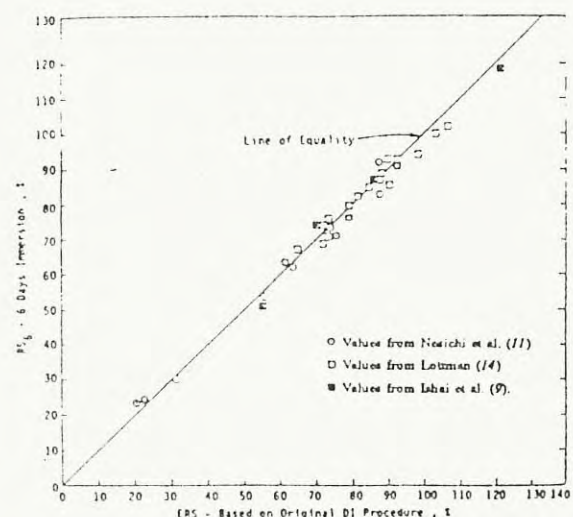
^aPercentages of total mixture weight, ω_{opt} , ω_{act} – optimum and actual bitumen contents, respectively.

^bLottman's procedures (5).

Gambar 4
EKIVALENSI NILAI KEKUATAN SISA BERDASARKAN PADA PROSEDUR ASLI *DI* DENGAN KEKUATAN SISA SETELAH 5 HARI RENDAMAN.



Gambar 5
NILAI KEKUATAN SISA SETELAH 6 HARI RENDAMAN TERHADAP NILAI KEKUATAN SISA DENGAN PROSEDUR ASLI.



Tabel 2
PERBANDINGAN ANTARA ERS DAN RS₆ UNTUK BERBAGAI CAMPURAN

Description of Mixture	ERS (%)	RS ₆ (%)	Reference
Dense-graded asphalt concrete, 5.5% 60-70 bitumen, dolomite aggregate	54	51	18
Dense-graded asphalt concrete, 7% HIFMS-2h hot emulsion, dolomite aggregate	62	63	18
Dense-graded recycled mix, 2% HIFMS-2h hot emulsion	75	74	18
Dense-graded asphalt concrete, PPA/VTB (43%/57%) bitumen, basalt aggregate	69	64	19
Dense-graded asphalt concrete, PPA/EXT (83%/17%) bitumen, basalt aggregate	53	48	19
Dense-graded asphalt concrete, PPA/EXT (85%/15%) bitumen, basalt aggregate	67	64	19
Dense-graded asphalt concrete, PPA/EXT (83%/17%) bitumen, dolomite aggregate	83	80	19
Dense-graded asphalt concrete 5% 60-70 bitumen, Israeli Specification 52 gradation	71	69	Unpublished data, 1987
Dense-graded asphalt concrete, 4.5% 60-70 bitumen, French LCPC gradation	86	85	Unpublished data, 1987

IV. MODIFIKASI PENGUJIAN *DI*, DITINJAU DARI PERTIMBANGAN TEORITIS

Salah satu gambaran yang menarik dari kurva durabilitas yang menyatakan perilaku campuran dengan pengujian versi asli (pertama) dari pengujian *DI*, bahwa itu bisa dinyatakan dengan fungsi matematik dalam bentuk sebagai berikut :

$$St = So e^{-KT} \quad (3)$$

dimana :

So = nilai kekuatan awal (pada umur rendaman nol hari) dalam satuan kekuatan atau stabilitas.

St = nilai kekuatan setelah rendaman selama T hari.

K = konstanta yang menyatakan tingkat derajat MD.

Dalam hal menyatakan kekuatan relatif (kekuatan sisa), S diganti dengan RS dan persamaan matematis disederhanakan menjadi :

$$RS_T (\%) = 100 E^{-KT} \quad (4)$$

Hal ini sangat menarik untuk dicatat, bahwa fungsi yang sama telah ditemukan untuk digunakan pada pengujian sensitivitas MD lainnya, seperti pengujian Cyclic TSR, dan

pengujian cyclic water vacuum saturation yang diikuti oleh pengujian kuat tekan.

Meskipun fungsi tersebut serupa untuk hampir semua campuran perkerasan, ada dua hal pengecualian sebagai berikut :

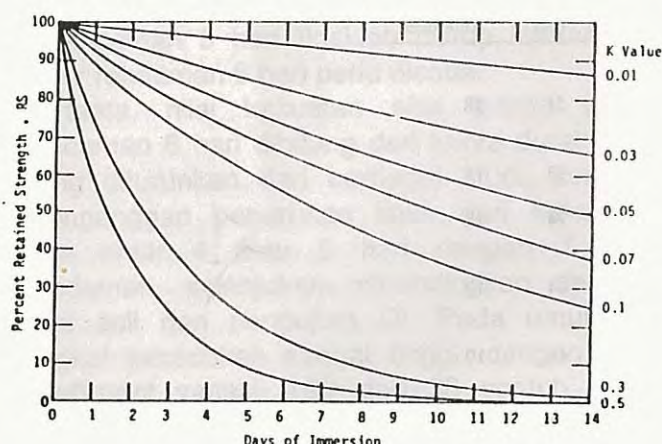
1. Campuran stabilisasi (dimana filer kapur menggantikan bagian dari campuran asli), yang akan menunjukkan perkuatan selama perendaman, dan
2. Campuran yang sangat sensitif, yang akan buyar pada rendaman kurang dari satu hari (bila glas bead filer, menggantikan bahan asli.)

Bisanya kurva durabilitas digambarkan dengan rumus 4. dimana hal tersebut adalah hal yang sangat penting untuk pengujian *DI* dan memodifikasi bentuknya, sebab itu merupakan pembenaran untuk mengganti versi asal pengujian *DI* dengan metode modifikasi lainnya. Sebagai contoh, kurva tipikal durabilitas (Gambar 6), yang mengalami penurunan sesuai dengan persamaan 4. Dalam hal ini, ERS bisa dihitung sebagai berikut :

$$ERS = 100 \% - (1/14) [100 \times 14 - 100 \{ \int_0^{14} e^{-KTdT} \}] = 100 - DI \quad (5)$$

Persamaan ini ekuivalen dengan bentuk persamaan 1 dan 2.

Gambar 6.
BERBAGAI KURVA DURABILITAS TEORITIS



Sebagaimana disinggung dimuka, dan diperlihatkan pada Gambar 5, perhitungan berdasarkan pengukuran hilangnya kekuatan harian dari contoh yang direndam terhadap perhitungan berdasarkan pengujian asli *DI* menunjukkan korelasi durabilitas yang sangat baik dari kedua prosedur tersebut.

Karenanya penggunaan persamaan 5 diakui kebenarannya. Selanjutnya nilai RS setelah perendaman 6 hari bisa dihitung sebagai berikut

$$RS_6 = 100 e^{-K_6} \quad (6)$$

Sensitivitas dari kerusakan terhadap air (moisture damage) bisa diperlihatkan dengan membandingkan hasil RS untuk berbagai nilai K (tabel 3 dan Gambar 6). Perbandingan ini menunjukkan bahwa adanya kesesuaian yang baik antara hasil yang didapat dengan cara prosedur asli dan yang telah dimodifikasi.

Deviasi yang besar pada $RS < 25\%$ tidak begitu penting sebab contoh ada dalam keadaan rusak berat.

Persamaan 4 bisa menimbulkan pandangan baru pada pengujian dan kriteria Marshall rendaman. Di beberapa negara batas penerimaan dan penolakan dari hasil pengujian ini, Tabel 3. Nilai dari *DI*, ERS, RS_6 dan RS_{14} sebagai fungsi dari K ialah $RS = 75\%$. Berdasarkan pada persamaan 4, hal ini ekuivalen dengan dengan $ERS \approx RS_6 \approx 18$ persen.

Pengalaman di Israel menyarankan bahwa nilai ini jauh dibawah dari nilai minimum yang diterima untuk ERS (atau RS_6), dimana lebih kurang sekitar 50%, (ekivalen dengan nilai $RS_1 \approx 89$ persen pada pengujian tradisional).

Anggaplah bahwa pengurangan pada kekuatan mekanis dari pengujian *DI* menyatakan perkembangan kerusakan akibat air pada keadaan kondisi lokal (panas, lembab, dan hujan), kenaikan stabilitas rendaman Marshall pada kriteria RS lebih kurang sekitar 14% akan berarti meningkatkan stabilitas sisa pada jangka panjang dengan angka 2,8 kalinya.

Kriteria ERS atau RS_6 adalah lebih baik dari kriteria 1 hari (RS_1) sebab kriteria tersebut menunjukkan perilaku keawetan jangka panjang dari suatu campuran atau bahan stabilisasi terhadap perkembangan kerusakan akibat air (kurva durabilitas). Pada RS_1 kurvanya cukup tajam dan sensitif sedangkan pada RS_6 (yang ekuivalen dengan ERS) fungsinya adalah stabil dan datar.

Tabel 3.
NILAI DARI *DI*, ERS, RS_6 DAN RS_{14} SEBAGAI FUNGSI DARI K

K	<i>DI</i>	ERS (%)	RS_6 (%)	RS_{14} (%)
0,01	6,68	93,31	94,17	86,90
0,03	18,34	81,65	83,50	65,70
0,05	28,08	71,91	74,08	49,60
0,07	36,26	63,74	65,70	37,50
0,10	46,18	53,82	54,90	24,60
0,30	76,55	23,45	16,50	1,50
0,50	85,73	14,27	4,97	0,10

V. PENGGUNAAN PRAKTIS DARI PENGUJIAN MODIFIKASI DURABILITY INDEX (DI)

Berikut ini langkah langkah yang disarankan untuk penggunaan praktis dari pengujian modifikasi durabilitas index (DI)

1. Siapkan tiga set benda uji Marshall atau yang sejenis (paling sedikit dua buah per set)
2. Uji masing masing set benda uji tersebut setelah perendaman 0,1, dan 6 hari untuk mendapatkan stabilitas Marshallnya (atau pengujian kekuatan lainnya)
3. Hitung kekuatan sisa setelah perendaman 1 dan 6 hari.
4. Gunakan persamaan :

$$K = [\ln (RS/100) / T] \quad (7)$$
 hitung nilai K untuk data yang diberikan pada tabel dibawah ini :

T (hari)	RS (%)	Tanda dari K
1	RS ₁	K ₁
6	RS ₆	K ₆
6	RS ₆₊₅	K ₆₊
6	RS ₆₋₅	K ₆₋

5. Periksa bahwa kondisinya adalah memenuhi ketentuan sebagai berikut :

$$K_6^+ < K_1 < K_6^-$$

Kondisi ini diperlukan untuk menjamin bahwa kekuatan sisa pada umur 1 dan 6 hari adalah baik. Jika kondisi ini tidak memuaskan , ulangi lagi.

6. Laporkan sensitivitas MD dari campuran adalah sebagai nilai dari kekuatan sisa setelah rendaman 6 hari.
7. Jika campuran sangat peka terhadap kerusakan akibat kadar air (RS₁ → 0) , tinggalkan langkah 4 - 6 dan laporan mengenai sensitivitas akibat MD ialah RS₁.
8. Jika campuran adalah stabilisasi (RS₁ > 100% dan RS₆ > 95%) , sensitivitas MD ialah nilai pada RS₆ dan tinggalkan langkah 4 - 7.

VI. KESIMPULAN dan SARAN

Kesimpulan

1. Konsep dan pengujian didasarkan pada sensitivitas kerusakan akibat kadar air yang dinyatakan dengan kurva durabilitas yang menyatakan variasi kekuatan sisa akibat rendaman (pada 60 C) sampai dengan 14 hari, yang selanjutnya dimodifikasi dengan masa rendaman pada air panas selama 6 hari.
2. Kedua versi pengujian tersebut di atas telah terbukti lebih baik dari pengujian tradisional dengan rendaman satu hari untuk mengetahui sensitivits campuran .
3. Versi modifikasi lebih praktis dari pada metoda yang biasa, dimana metoda yang biasa tersebut memerlukan waktu perendaman sampai 14 hari serta contoh yang lebih banyak.
4. Hasil pengembangan versi baru ini, didukung oleh percobaan laboratorium dan lapangan , begitu juga dengan pendekatan teoritis.

Saran

1. Pengujian dengan Marshall, sebaiknya diganti dengan pengujian lain yang sifatnya lebih fundamental seperti: resilient modulus, kuat tarik langsung, yang juga akan menghasilkan jumlah contoh yang lebih sedikit.
2. Usahakan untuk mendapatkan masa rendaman yang lebih singkat lagi, misalnya dengan penambahan pemakuman pada saat perendaman. Hal ini akan mempercepat pengembangan MD, dan mungkin hasil MD yang sama akan dicapai dalam waktu yang lebih singkat lagi.
3. Diperlukan pengembangan kualiti kontrol standar berdasarkan statistik untuk digunakan sebagai kriteria batas penerimaan atau penolakan suatu campuran.

Daftar Pustaka.

1. A.D Dow. Discussion of Application and Present Status of the Immersion - Compression Test by J.T and J.F Goode, Proc., Association of Asphalt Paving Technologist, Vol.16,1974,p 392
2. Engineering and Design - Flexible Airfield Pavements - Airforce, Em 1110 - 45 - 302 . US Army Corps of Engineers, Augs. 1978, Appendix V
3. Ilan Ishai and Simon Nesichi. Laboratory Evaluation of Moisture Damage to Bituminous Paving Mixtures by Long Term Hot Immersion, Transportation Research Record 1171, 1988
4. Craus, I. Ishai, and A. Sides. Durability of Bituminous Paving Mixture as Related to Filler Type and Properties, Proc., Association of Asphalt Paving Technologist, Vol 50, 1981, pp. 291 - 316.
5. R.J Schmidt and P.E.Graf. The Effect of Water on Resilient Modulus of Asphalt Treated Mixes . Proc., Association of Asphalt Paving Technologist, Vol 41, 1972, pp. 118 - 162.
6. S.Nesichi , I. Ishai, M. Livneh, and J. Craus. Investigation of Durability Properties of Bituminous Concrete for Highway and Airport. Research Report 85 - 68 . Transportation Research Institute, June 1985.

Penulis :

Ir. Furqon Affandi, Msc. Peneliti Muda Bidang Perkerasan Jalan, Pusat Litbang Jalan.



KEKUATAN STONE COLUMN

M. Suherman

RINGKASAN

Prinsip dari percobaan pembebanan stone column adalah menekan column bagian atas dengan suatu gaya tekan yang menyebabkan penembusan pada tanah sampai terjadi keruntuhan.

Tujuan dari metode ini untuk menentukan besarnya beban batas dari stone column dan penurunannya.

Stone column merupakan suatu perbaikan tanah terdiri dari lobang vertikal dalam tanah yang diisi dengan batu pecah dan membentuk penyangga atau tiang yang terasmi oleh tanah.

Fungsi dari stone column dalam perbaikan tanah lembek merupakan tulangan dalam perkuatan tanah dan juga bertindak sebagai drainase vertikal agar konsolidasi dapat lebih cepat akibat pembebanan di atasnya.

Karena modulus dari stone column relatif lebih tinggi, maka beban vertikal pada tanah, bagian yang lebih besar akan diterima oleh tiang batu pecah.

SUMMARY

The principal of stone column loading test is to compress a column top with the compressive force to cause its to penetrate the soil until failure occurs. The aim of this method is to determine the ultimate load on stone column and settlement.

Stone column is a soil improvement consists in forming vertical holes in the ground which are filled with rock to form columns or piles confined by the soil.

The function of stone column in soft soil improvement is to provide strength reinforcement to the soil and they act as vertical drains to enable consolidation to occur quickly under surface loading.

Because of the relatively high modulus of the columns, a large proportion of the vertical load applied to the ground surface is transferred to the columns.

I. PENDAHULUAN

Perbaikan tanah lembek yang sering dilakukan pada pembuatan timbunan badan jalan merupakan suatu upaya untuk mendapatkan konstruksi jalan yang mantap. Tujuan utama dari perbaikan tanah lembek ini adalah agar setelah pembangunan jalan tersebut selesai diharapkan tidak menimbulkan masalah yang berkaitan dengan amblesan atau longsoran.

Tanah kohesip seperti lempung atau lanau dalam kondisi jenuh air akan mempunyai sifat daya dukung rendah serta kompresibilitas tinggi, sehingga tanah ini tidak mampu mendukung beban timbunan yang tinggi dan penurunan yang terjadi cukup besar.

Untuk mengatasi masalah daya dukung dan penurunan maka salah satu teknik perbaikan

tanah adalah dengan menggunakan "Stone column" yaitu tiang kerikil atau batu pecah yang ditanam secara tegak dalam tanah lembek. Cara ini dapat berfungsi untuk meningkatkan daya dukung tanah dan juga sebagai media pengalir air pori dalam mempercepat proses penurunan konsolidasi.

Stone column sebagai fungsi untuk meningkatkan daya dukung tanah dasar harus mampu mendukung beban timbunan yang berada di atasnya tanpa terjadi deformasi yang berarti. Oleh karena itu maka perlu untuk diketahui kemampuan dari setiap individu stone column secara nyata di lapangan, sehingga perencanaan perbaikan tanah tersebut akan lebih efisien.

Untuk mengetahui kekuatan dari stone column ini maka telah dilakukan percobaan pembebanan terhadap tiang batu pecah yang terpasang pada lokasi rencana jalan toll Padalarang - Cileunyi. Percobaan pembebanan terhadap stone column tunggal ini dilakukan pada bulan Agustus 1989.

Teknik perbaikan tanah dengan vertikal drain ini dipadukan dengan teknik kompresi yaitu dengan memberikan beban tambahan agar tanah dasar lebih dahulu mengalami penurunan konsolidasi sebelum konstruksi sesungguhnya diterapkan.

II. STONE COLUMN

Stone column sebagai perbaikan tanah lembek dapat menambah daya dukung tanah dasar, disebabkan bahwa material kerikil mempunyai sudut geser dalam yang lebih besar dari sudut geser tanah dasar.

Dengan terpasangnya stone column dalam tanah lembek maka beban timbunan yang tadinya dipikul oleh satu komponen tanah dasar, sekarang menjadi dua komponen yaitu stone column dan tanah dasar.

Tekanan yang diakibatkan dari beban timbunan dan beban lainnya akan dipikul bersama, namun besarnya beban yang diterima masing - masing komponen tidak sama besar dan tergantung dari modulus deformasi dari bahan tersebut.

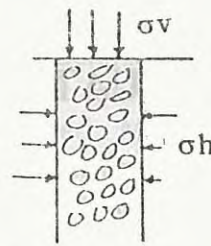
2.1. Prinsip Dasar

Stone column dapat berdiri tegak apabila tanah di sekelilingnya mampu menopang tiang batu pecah ini, kekuatannya pun akan tergantung dari parameter kohesi (c_u) tanah pendukung dan parameter sudut geser dalam (θ) dari stone column tersebut.

a. Daya Dukung Stone Column

Daya dukung untuk stone column harus didisain terhadap besarnya beban yang akan diterimanya, sehingga tegangan kritis dari individu konstruksi tersebut tidak terlampaui.

Persamaan daya dukung stone column tunggal dapat dinyatakan sebagai berikut :



$$\sigma_v = k_{pc} \times \sigma_h$$

$$K_{pc} = \frac{1 + \sin \theta_c}{1 - \sin \theta_c}$$

dimana :

σ_v = tegangan stone column (t/m^2)

σ_h = tegangan tanah di sekelilingnya (t/m^2)

K_{pc} = koefisien tekanan pasip stone column

θ_c = sudut geser dalam stone column

b. Waktu Penurunan

Waktu yang dibutuhkan untuk proses penurunan konsolidasi pada tanah lembek akan tergantung dari jarak tempuh air pori dan harga koefisien pemampatan.

Pengaliran air pori tanpa vertikal drain biasanya menempuh ke arah vertikal, sedangkan setelah dipasang stone column menjadi ke arah radial (horisontal).

Lamanya waktu dari proses konsolidasi tanah dengan adanya stone column, dapat dinyatakan dalam persamaan di bawah ini :

$$t = \frac{Tr. (1/2De)^2}{Cr}$$

dimana :

t = waktu konsolidasi (th)

De = jarak tempuh air pori (m)

Tr = faktor waktu arah radial

Cr = koefisien konsolidasi radial (m^2/th)

2.2 Pola Pemasangan

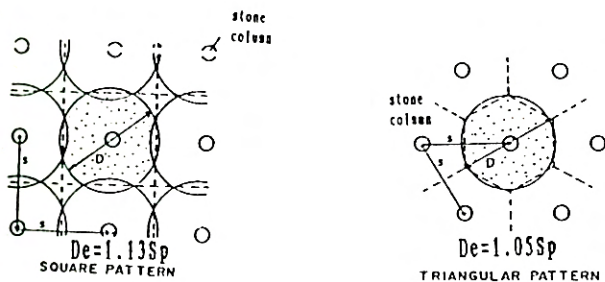
Cara penempatan konstruksi dari stone column ini sama dengan cara vertikal drain lainnya, yaitu dapat berbentuk pola segitiga (triangular pattern) ataupun pola segi empat (square pattern).

Bentuk pola ini akan berpengaruh terhadap diameter ekuivalen dari jarak tempuh air pori sewaktu proses konsolidasi berlangsung.

Diameter ekuivalen untuk pola segitiga $De = 1.05 Sp$, sedangkan untuk pola segi empat $De = 1.13 Sp$, dimana Sp adalah jarak antar column.

Macam dari pola pemasangan stone column serta daerah pengaruhnya dapat dilihat seperti gambar di bawah ini.

Gambar 1.
POLA DAN DAERAH PENGARUH
VERTIKAL DRAIN



III. PENYELIDIKAN TANAH

Tanah dasar yang akan ditempati oleh stone column perlu diketahui sifat teknik dan sifat fisiknya, sehingga penyelidikan tanah di lokasi ini perlu sekali untuk dilakukan.

Penyelidikan tanah yang telah dilakukan meliputi penyelidikan lapangan dan pengujian laboratorium. Penyelidikan lapangan meliputi: penyondiran, pemboran tangan dan pengambilan contoh tanah, sedangkan pengujian laboratorium meliputi: uji kekuatan dan klasifikasi.

Adapun uraian kegiatan penyelidikan tanah adalah sebagai berikut :

3.1. Penyondiran

Penyelidikan tanah dengan alat sondir menggunakan sondir ringan serta alat penetrasi bikonus yang dapat menghasilkan data kekuatan tanah dan hambatan lekatnya.

Penyondiran ini mencapai kedalaman 30.00 meter di bawah muka tanah setempat, dan sampai kedalaman tersebut masih belum dijumpai lapisan tanah keras.

Penyondiran yang telah dilakukan sebanyak 2 titik sondir.

3.2. Pemboran tangan

Pemboran tanah secara manual telah dilakukan dengan menggunakan mata bor. Pemboran mencapai kedalaman 10.00 meter di bawah permukaan tanah, yang ditempatkan dekat titik penyondiran.

Dengan adanya hasil pemboran ini, maka susunan lapisan tanah di lokasi ini dapat diketahui jenis dan konsistensinya. Pemboran yang telah dilakukan sebanyak 2 titik lobang bor.

3.3. Pengambilan contoh

Pengambilan contoh tanah sebagai sampel terhadap obyek yang diteliti, maka tempat contoh yang diambil mewakili dari populasi untuk penelitian.

Contoh tanah yang telah diambil dengan menggunakan tabung sebanyak 2 contoh yaitu dari kedua lobang pemboran.

3.4. Pengujian laboratorium

Pengujian laboratorium terhadap contoh tanah yang diambil dari lapangan meliputi triaxial, pemampatan, saringan berat isi dan atterberg.

3.5. Hasil penyelidikan

Dari kegiatan tersebut di atas, maka penyelidikan tanah di lapangan dan pengujian di laboratorium memberikan hasil sebagai berikut :

Kedalaman (M)	Jenis Tanah	Nilai Sondir (Kg/cm ²)	Hasil Laboratorium
0.00 - 1.50	tanah timbunan	10 - 30	c=0.28.52kg/cm ² θ=10° - 13° Cc=0.42 - 2.90 Cv=2.78-3.55cm ² / dt lolos#200=90-93 %
1.50 - 4.00	lempung lanau hitam	3 - 10	
4.00 - 10.00	lanau lempungan abu-abu hitam	1 - 4	
10.0 - 12.00	-	4 - 10	
12.0 - 18.00	-	2 - 4	
18.0 - 22.00	-	10 - 25	
22.0 - 30.00	-	4 - 6	

IV. PERCOBAAN PEMBEBANAN

4.1. Pemasangan Stone Column

Stone column yang dipasang pada lokasi rencana jalan toll Padalarang-Cileunyi yaitu di bawah timbunan oprit jembatan antara lintasan jalan raya dengan jalan kereta api tepatnya pada Sta 41+840.

Batu pecah yang digunakan dalam perbaikan tanah ini berukuran 2.00 - 7.00 cm yang dimasukan ke dalam tanah lembek dengan

peralatan crane yang dilengkapi dengan alat pemadat getar (vibroflot).

Jarak antara tiang - tiang batu pecah yang satu dengan yang lainnya adalah $S_p = 2.00$ meter untuk rencana tinggi timbunan $H = 4.00$ meter, sedangkan untuk tinggi timbunan $H = 6.00$ meter jarak antar column $S_p = 1.80$ meter dengan pola pemasangan dibuat secara segitiga.

Setelah dilakukan pemasangan, maka diameter stone column yang terjadi sebesar $\phi = 0.90$ meter, dengan mencapai kedalaman 18.00 meter di bawah muka tanah setempat.

Susunan pemasangan dari stone column dapat dilihat pada gambar 4

4.2. Pembebanan

Pembebanan ini dimaksudkan untuk mengetahui kemampuan stone column secara individu dalam menahan beban yang akan dipikulnya nanti, karena apabila kekuatan stone column ini dilampaui oleh beban timbunan dan beban lainnya yang berada di atasnya, maka keruntuhan akan terjadi.

a. Peralatan

Alat pemberi beban yang digunakan berupa hydarulic jack yang dilengkapi dengan pompa dan manometernya. Kapasitas kekuatan pikul dari jack dan alat baca pengukur besarnya beban (manometer) mempunyai kemampuan sebesar 180 ton.

Alat pengukur penurunan atau penetrasi yang digunakan adalah dial gauge sebanyak 2 buah dengan panjang tangkai masing masing 7.50 cm dan 10.00 cm, yang mempunyai ketelitian 0.001 inchi.

b. Beban Kontra

Sebagai penahan di atas jack telah dibuatkan beban kontra yang terdiri dari besi - besi profil WF 30 cm sebanyak 8 buah. Profil ini disusun sedemikian rupa sehingga membentuk meja beban, yang di atasnya ditumpuk secara teratur balok beton berukuran $0.5 \times 0.5 \times 0.5$ m³ sebagai pemberat.

c. Sistem Pembebanan

Dalam percobaan pembebanan ini digunakan sistem bertahap yaitu beban diberikan secara sedikit demi sedikit agar dapat mengetahui perilaku dari stone column pada setiap tahapan pembebanan.

Tahapan pembebanan yang diberikan adalah : 4, 8, 12, 16, 20, 24, 28, 32, 36, 40, 44, dan 46 ton.

Setiap tahap pemberian beban, penurunan yang terjadi pada dial gauge selalu dibaca dan dicatat pada setiap interval waktu tertentu.

Beban kemudian ditambahkan apabila penurunan pada pembebanan sebelumnya telah berhenti atau dianggap berhenti karena perbedaan penurunan yang sangat kecil.

Begitulah selanjutnya sampai pembebanan yang terakhir.

Sistem pembebanan dan konstruksi beban kontra seperti tampak pada gambar 3.

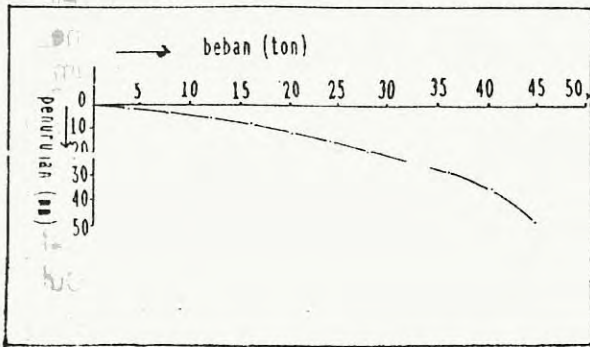
4.3. Hasil Pengujian

Hasil pengamatan penurunan dari setiap tahapan pemberian beban dan lamanya waktu pembacaan, disajikan seperti tabel di bawah ini.

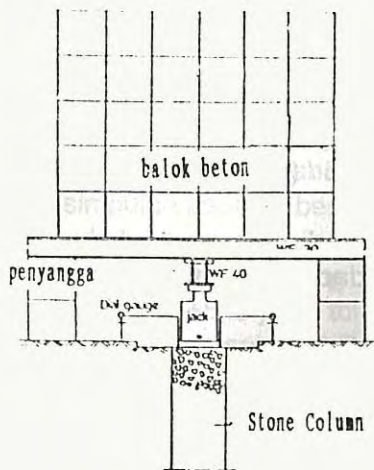
Beban (ton)	Penurunan (mm)	Waktu (jam)
4	1.15	3
8	3.50	4
12	5.48	4
16	8.46	7
20	10.47	5
24	12.93	7
28	16.07	4
32	20.18	4
36	23.69	5
40	28.94	4
44	43.36	11
46	44.93	3

Dari hasil pengamatan di atas, maka dibuat suatu grafik untuk mengetahui perilaku hubungan antara beban dan penurunan.

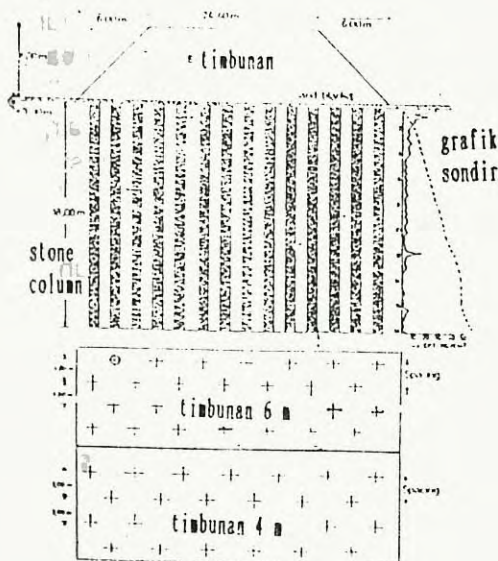
Gambar 2
GRAFIK HUBUNGAN BEBAN - PENURUNAN



Gambar 3
PERCOBAAN PEMBEBANAN



Gambar 4
STONE COLUMN DI BAWAH TIMBUNAN DAN SITUASINYA



V. ANALISIS DAN EVALUASI

Stone column yang ditempatkan di bawah timbunan didisain untuk memikul beban dari timbunan dan beban lainnya. Di samping berfungsi sebagai peningkatan daya dukung tanah dasar, juga berfungsi sebagai drainase untuk mengalirkan air pori ke luar dari dalam tanah. Untuk itu maka analisis dan evaluasi dititik beratkan kepada masalah kekuatan dan penurunan.

Berdasarkan hasil percobaan pembebanan di atas, maka selanjutnya digambarkan dalam bentuk grafik hubungan antara beban dan penurunan.

5.1. Modulus Deformasi

Dari grafik ini, terlihat bahwa sampai beban sebesar $P = 28$ ton, penurunan yang terjadi sebesar $s = 16 \text{ mm} = 0.016 \text{ m}$.

$$E_c = \frac{P}{s \times d} = \frac{28}{0.16 \times 0.90} = 1944 \sim 2000 \text{ t/m}^2$$

dimana :

E_c = modulus deformasi stone column (t/m^2)
 P = beban (ton)
 s = penurunan (m)
 d = diameter pelat (m)

Modulus deformasi tanah didasarkan dari hasil sondir, yaitu :

$$E_s = 2 q_c = 2 \times 100 = 200 \text{ t/m}^2$$

Maka perbandingan antara modulus deformasi stone column dan tanah di sekelilingnya :

$$R = E_c / E_s = 2000 / 200 = 10$$

5.2. Pembagian Beban

Beban timbunan yang berada di atas stone column dan tanah dasar akan didistribusikan menurut besarnya modulus deformasi dari masing-masing bahan pendukungnya.

Persamaan daya dukung :

$$q \cdot A = P_s \cdot A_s + P_c \cdot A_c$$

$$\frac{P_s}{q} = \frac{1}{1 + A_c/A \cdot (R-1)}$$

Diameter stone column $D = 0.90 \text{ m}$

Jarak antar column $S_p = 1.80 \text{ m}$

Diameter equivalen $D_e = 1.05 \times 1.80 = 1.89 \text{ m}$

Luas equivalen $A = 2.805 \text{ m}^2$

Luas stone column $A_c = 0.636 \text{ m}^2$

Luas tanah dasar $A_s = 2.805 - 0.636 = 2.169 \text{ m}^2$

$$A_c/A = 0.636/2.805 = 0.227$$

$$\frac{P_s}{q} = \frac{1}{1 + 0.227(10-1)} = \frac{1}{3}$$

- Untuk beban timbunan setinggi $H_t = 6.00 \text{ m}$:

$$q = t \times H_t = 1.8 \times 6.00 = 10.80 \text{ t/m}^2$$

Tekanan yang diterima tanah dasar

$$P_s = 1/3 \times 10.80 = 3.60 \text{ t/m}^2$$

$$Q_s = 2.169 \times 3.60 = 7.808 \text{ ton}$$

Tekanan yang diterima stone column

$$P_c = R \times P_s = 10 \times 3.60 = 36.00 \text{ t/m}^2$$

$$Q_c = 0.636 \times 36.00 = 22.89 \text{ ton}$$

$$Q_c = 22.89 / (10.8 \times 2.805) = 0.755$$

Dari hasil load test ternyata pada beban sebesar 46 ton stone column masih mampu menahan.

$$\text{Faktor keamanan } F = 46.00 / 22.89 = 2.01$$

- Untuk beban timbunan setinggi $H_t = 4.00 \text{ m}$:

Dengan cara yang sama seperti di atas, maka didapat beban yang diterima stone column sebesar $Q_c = 17.217 \text{ ton}$.

$$Q_c = 17.217 / (7.2 \times 3.46) = 0.69$$

$$\text{Faktor keamanan } F = 46 / 17.217 = 2.67$$

5.3. Daya Dukung Stone Column Tunggal

Tiang batu pecah ini dapat berdiri tegak disebabkan adanya penyangga di sekeliling tiang, sehingga daya dukung dari stone column tergantung dari harga sudut geser dalam dan kuat geser tanah sekelilingnya.

Persamaan daya dukung :

$$\sigma_v = K_{pc} \times \sigma_{sh}$$

$$\sigma_{sv} = K_{pc} \times C_u \times N_c = K_{pc} \times N_c \times C_u$$

$$K_{pc} \times N_c \text{ diumpamakan} = a$$

$$\sigma_v = a \times C_u$$

Berdasarkan dari load test beban dianggap maksimum sebesar $P = 46 \text{ ton}$, dengan kuat geser tanah dasar $C_u = 2.8 \text{ t/m}^2$ (hasil laboratorium), persamaan di atas menjadi :

$$46 / 0.636 = a \times 2.80$$

$$a = 46 / (0.636 \times 2.80) = 25.83$$

Dari hasil di atas maka kekuatan stone column tunggal dapat diestimasi :

$$\sigma_v = 25 C_u$$

dimana:

$$\sigma_v = \text{daya dukung stone column (t/m}^2\text{)}$$

$$C_u = \text{kuat geser undrained (t/m}^2\text{)}$$

5.4. Waktu Penurunan

Di samping meningkatkan daya dukung tanah dasar, stone column juga berfungsi sebagai vertikal drain untuk mempercepat penurunan. Lamanya penurunan dapat dipercepat dengan memper pendek jarak pengaliran air, yaitu minimal sama dengan jarak spacing antar stone column. Harga koefisien konsolidasi $C_v = 2.78 \text{ cm}^2/\text{dt} = 8.76 \text{ m}^2/\text{th}$.

Perbandingan antara jarak tempuh air dan jari-jari stone column :

$$R_e/r_w = 0.90 / 0.45 = 2$$

Tabel untuk mendapatkan harga T_r :

Ur %	Re / re		
	5	10	5
90	0.27	0.455	0.567
99	0.539	0.907	1.135

Dari tabel didapat minimal $Re / re = 5$
 Untuk tingkat konsolidasi t 90% , $T_r = 0.27$
 Harga $C_r = C_h$

$$t = \frac{0.27 \times (0.90)}{8.76} = 0.025 \text{ tahun}$$

VI. KESIMPULAN

Bedasarkan hasil percobaan pengujian kekuatan stone column di lapangan serta analisisnya, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- Stone column yang dipasang pada oprit jembatan di Sta : 41 +840 jalan tol Padaleunyi mempunyai kekuatan sebesar $P = 46.00$ ton dengan penetrasi $S = 4.50$ cm.
- Dengan terpasangnya stone column ini, maka beban timbunan dipikul sebagian besar oleh column. Untuk jarak antar column $S_p = 1.80$ m, beban timbunan sebesar 75% dipikul oleh stone column dan 25% oleh tanah dasar, sedangkan untuk jarak $S_p = 2.00$ m, sebesar 69% oleh stone column dan 31% oleh tanah dasar.
 Dengan demikian stone column dapat meningkatkan daya dukung tanah dasar.

- Stone column sebagai fungsi drainase, akan mempercepat proses konsolidasi tanah lembek, karena jarak tempuh air pori akan lebih pendek yaitu ke arah horisontal sejauh jarak antar column.
- Untuk sementara dari hasil percobaan pembebanan ini, maka dalam menentukan besarnya daya dukung stone column tunggal dapat diestimasi dari kuat geser tanah undrained yaitu sebesar $\sigma_v = 25 C_u$.

DAFTAR PUSTAKA

- Edward William Brand and Rolf Peter Brownner : Soft Clay Engineering, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, 1981.
- Greenwood and K.Kirsch : Specialist Ground by Vibratory and Dinamic Method, 1983.
- Manfred G Bayer The Vibrocompaction and Vibro displacement Processes, 1971.
- Narvac DM 7 : Design Manual Soil Mecanics Foundations and Earth Structures , 1971.
- Soemartono M, Percobaan Pembebanan Tiang Pusat Litbang Jalan, 1977.
- Suherman.M, Laporan Load test Stone column Pusat Litbang Jalan, 1989.

Penulis :

Drs. M. Suherman, Ajun Peneliti Madya Bidang Geoteknik, Pusat Litbang Jalan.



MASALAH PADA STRUKTUR KONSTRUKSI YANG DIBANGUN DI ATAS TANAH LUNAK

Hermin Tjahyati

RINGKASAN :

Subjek dari penulisan ini adalah tanah dasar yang lunak dengan kompresibilitas yang besar yang banyak tersebar di wilayah Kepulauan Indonesia ini. Tanah ini terdiri dari tanah lempung lunak non organik dan tanah organik yang dikenal dengan tanah gambut. Tanah seperti ini tebalnya bervariasi antara 0,5 meter sampai dengan >20 meter. Kadar air sangat tinggi bahkan muka air sampai mencapai permukaan seperti di daerah rawa gambut. Jenis tanah rawa ini mempunyai pori tanah yang besar, kompresibilitas yang tinggi dan daya dukung yang rendah yang harus menjadi pertimbangan yang utama dalam membuat desain bangunan di atasnya.

Untuk mendapatkan desain yang baik maka mekanisme geoteknik yang terjadi seperti gaya geser, gaya angkat (uplift), squeezing, penurunan yang besar, deformasi horisontal dan gaya geser negatif harus diperhitungkan dalam evaluasi kestabilan bangunannya.

SUMMARY :

The highly compressible subsoil is the subject of this paper, where this soil is the large parts of Indonesian archipelago. It consists of soft non organic clay and organic soils such as peaty soils. In Indonesia, the layers vary from 0.5 metres to >20 metres below ground level; the ground water level is high and in many cases comes almost up to ground level. Due to the manner of which they were formed these layers have been found to contain a relatively large percentage of pores.

The behaviour of soil layers of low bearing capacity and high compressibility as a basis for the building of earth structures is so important for the design and construction of these structures.

For a good design, geotechnical mechanisms may be involved and which methods of calculation are needed to evaluate stability and deformation such as : shearing, uplift, squeezing, settlement, horizontal deformation and negative skin friction.

I. PENDAHULUAN

Indonesia sebagai negara dengan iklim tropis yang terdiri dari ribuan pulau mempunyai deposit tanah yang sangat bervariasi.

Salah satu diantaranya adalah deposit tanah lunak, baik sebagai tanah lunak lempung biasa maupun tanah lunak lempung organik (peaty soils). Tanah lunak ini tersebar di beberapa pulau yang cukup besar, antara lain: sebelah Utara dan Timur P. Sumatera, Kalimantan, Sulawesi dan Irian Jaya.

Pada sebagian besar daerah ini terutama terdiri dari tanah lunak yang dikenal sebagai tanah gambut (peaty soils).

Dalam masalah teknik jalan, tanah lunak ini merupakan material subgrade yang sangat jelek karena daya dukungnya yang sangat rendah dan kompresibilitasnya sangat besar.

Untuk mengevaluasi kemungkinan-kemungkinan dalam pembangunan konstruksi jalan, maka sangat diperlukan prediksi dari sifat-sifat serta parameter dari tanah lunak tersebut, dengan demikian batasan-batasan yang harus dipenuhi suatu konstruksi pada tanah lunak ini dapat ditentukan.

Konstruksi ini benar-benar harus direncanakan dengan tepat karena menyangkut biaya yang cukup besar dalam pelaksanaannya serta

hubungannya dengan pemeliharaan dan keamanan serta waktu pelayanan rencana (life time)

II. KOMPRESIBILITAS TANAH LUNAK

Tanah lunak terutama yang organik mempunyai porositas yang cukup besar. Sebenarnya karena berat lapisan atas yang membebani lapisan bawahnya, porositas seharusnya menurun setiap tahunnya.

Tetapi lapisan ini tetap tidak padat yang disebabkan oleh komposisi deposit itu serta tingginya air tanah yang menyebabkan butir-butir tanah seakan-akan ringan terapung. Sehingga apabila dibebani dengan material yang lebih berat misalnya pasir, maka akan menurun sebagai ciri bahwa lapisan terkompresi karena beban-beban pasir tadi.

Dengan adanya sifat kompresibilitas yang besar tadi maka tanah ini diklasifikasikan sebagai "high compressible". Itu berarti sifat-sifat konsolidasi (pemampatan) dari tanah sangat erat kaitannya dengan batas keruntuhan yang terjadi yang juga merupakan batasan shear stress-nya (kuat geser).

Sifat "high compressible" pada umumnya juga mencerminkan rendahnya daya dukung. Karakteristik lainnya dari tanah ini adalah permeabilitas yang relatif rendah. Bila diberi beban maka tekanan pori akan menurun dan kepadatan tanah meningkat sehingga ketahanan terhadap keruntuhan dan deformasi pun meningkat. Bila beban diangkat maka tekanan pori naik, kepadatan tanah menurun dan tanah menjadi lunak.

Proses drainase dan konsolidasi di bawah pembebanan dikenal sebagai "primary consolidation process"

III. STRUKTUR KONSTRUKSI PADA TANAH LUNAK

Struktur konstruksi pada tanah lunak dibagi dalam dua tipe, yaitu :

1. Struktur yang membebani tanah di bawah permukaan (subsoil).

2. Struktur yang mengharuskan pemindahan tanah/penggalan.

3.1. Struktur yang membebani bawah permukaan

Dalam hal ini dapat dilihat sebagai contoh struktur bangunan dam, pondasi jalan, timbunan, dan sebagainya.

Apabila beban diberikan di atas lapisan highly compressible yang berupa suatu beban timbunan, tekanan air tanah meningkat karena yang pertama-tama serentak terjadi adalah beban ditekan oleh air pori. Dalam periode ini tekanan efektif belum berubah secara signifikan sehingga tahanan geser juga belum banyak berubah. Jika air telah terdrainase maka tekanan efektif akan meningkat dan tanah berkonsolidasi. Proses drainase ini memerlukan waktu yang cukup lama sehubungan dengan tebalnya lapisan tanah lunak.

Penimbunan biasanya dilakukan secara bertahap dengan rentang waktu yang ditentukan dilihat dari kestabilan tekanan air pori yang terjadi sebagai eksese dari penimbunan.

Apabila setelah penimbunan terjadi hal-hal yang tidak diharapkan sehubungan dengan kualitas subsoilnya maka diperlukan suatu teknik alternatif, misalnya :

- Meningkatkan kualitas subsoil sehingga tidak terlalu sensitif terhadap efek kompresi dan keruntuhan. Ini dapat dilakukan dengan cara soil replacement ataupun stone column.
- Mengurangi beban terhadap subsoil, misalnya dengan cara memberi timbunan menggunakan bahan ringan.
- Mendrainasekan lapisan tersebut baik dengan sistem drainase vertikal ataupun drainase horisontal. Yang paling umum digunakan adalah drainase vertikal.

Konstruksi Jalan :

Untuk konstruksi pondasi jalan, fungsi utamanya adalah bagaimana mentransfer beban lalu lintas pada subsoil sehingga tidak menimbulkan deformasi serta penurunan diferensial dalam arah transversal maupun longitudinal.

Dalam hal ini lapisan permukaan (sub grade) harus mempunyai daya dukung yang cukup baik sehingga dengan demikian penyebaran beban dapat diserap oleh lapisan ini sehingga yang sampai kepada subsoil adalah penyebaran yang telah tereduksi.

Untuk pondasi jembatan sehubungan dengan beban yang harus dipikul, maka jenis pondasi harus dipilih yang sesuai dengan beban dan kedalaman tanah lunak.

Konstruksi Timbunan :

Secara umum untuk mendapatkan suatu lahan (area) yang merupakan suatu area dengan tanah timbunan, baik itu untuk gedung, perumahan, maupun jalan serta lokasi-lokasi untuk bangunan industri, maka pekerjaan penimbunan harus dilakukan secara ekstensif. Material timbunan dapat berupa pasir atau material tanah yang sesuai dengan spesifikasi sebagai bahan timbunan yang diperlukan.

Apabila suatu timbunan terletak diatas tanah yang "high compressible subsoil" maka daya dukungnya yang rendah harus dipertimbangkan untuk memastikan stabilitas timbunan.

Berbagai percobaan lapangan harus dicoba untuk memastikan kondisi drainase, pondasi tiang ataupun perkerasan yang akan dibangun di atasnya, sehingga tidak akan terjadi hal-hal yang tidak diharapkan karena adanya settlement.

Pada tahap pertama sebaiknya dibuat timbunan dengan tinggi tertentu sebagai temporary preloading. Selain itu drainase vertikal atau perbaikan tanahpun (soil improvement) harus dicoba untuk mendapatkan suatu solusi dalam mereduksi penurunan pada konstruksi timbunan.

3.2. Struktur yang mengharuskan pemin- dahan/ penggalian tanah. (Soil replacement)

Ekskavasi atau penggalian baik untuk saluran (kanal), saluran drainase jalan atau pelabuhan dan pekerjaan sipil lainnya sering dilakukan. Pekerjaan galian ini harus memperhitungkan kondisi tanah aslinya terutama pada tanah lunak, alat gali (dredging equipment) harus benar-benar diperhitungkan.

Tanggul pada berm-berm jalan dibuat sampai di atas muka air (water level) untuk melindungi efek dari erosi gelombang atau riak air saluran.

Erosi di bawah/di dasar konstruksi saluran dicegah dengan memasang berbagai konstruksi pelindung atau dengan teknik-teknik tertentu.

Penggalian pada daerah soft soil jangan hanya memperhitungkan settlement pada bangunan di atasnya saja, tetapi juga harus memperhatikan kondisi yang mungkin ikut rusak di sekelilingnya.

IV. MEKANISME GEOTEKNIK

Perencanaan struktur konstruksi pada tanah lunak harus didasarkan pada mekanisme geoteknik serta metoda perhitungan sehubungan dengan stabilitas serta deformasi-deformasi yang mungkin terjadi.

Mekanisme geoteknik pada umumnya meliputi:

1. geseran (shearing)
2. gaya tekan keatas/gaya angkat (uplift)
3. squeezing
4. penurunan (settlement)
5. deformasi horisontal
6. negative skinfriction

1. Geseran (Shearing)

Kehilangan keseimbangan akan terjadi pada tanah dengan daya dukung yang rendah di bawah ujung timbunan dan galian.

Dalam beberapa hal gaya geser tanah tidak cukup kuat untuk mencegah pergerakan yang kontinyu dari elemen-elemen tanah di sepanjang bidang gelincirnya. Mekanisme seperti inilah yang dikenal dengan "shearing".

Pergerakan geseran tanah asli selalu terjadi karena berat tanahnya itu sendiri. Untuk keadaan lereng yang terjal, risiko kehilangan keseimbangan akan terjadi lebih besar bila dibandingkan dengan kemiringan lereng yang berangsur-angsur landai, karena pada lereng yang landai tahanan geser akan terakumulasi pada bidang geser yang cukup panjang sehingga tahanannya menjadi cukup besar.

Bidang gelincir yang merupakan bidang tahanan geser dapat berbentuk macam-macam, tetapi

secara umum disederhanakan menjadi bentuk suatu kurva yang besar tahananannya disepanjang bidang gelincir tersebut dapat dihitung dengan berbagai metoda. Risiko kehilangan keseimbangan akibat kecilnya gaya geser dapat diantisipasi dengan mengkonsolidasikan subsoil, membuat lereng lebih landai, menggunakan bahan timbunan ringan (light weight materials) atau memperkuat berm. Stabilitas dapat juga ditingkatkan dengan menurunkan muka air tanah.

2. Gaya angkat (Uplift)

Apabila lapisan lempung atau tanah organik dengan daya dukungnya yang rendah serta tidak kedap air berada di atas lapisan pasir dengan tekanan air pori yang relatif besar maka akan terjadi situasi yang tidak stabil pada lapisan lempung tersebut yang disebabkan oleh adanya perbedaan tekanan pori.

Tekanan pori pada lapisan tidak kedap air ini mungkin saja lebih kecil daripada tekanan pori lapisan pasir sekalipun lapisan ini telah didrainasekan atau dipompa sehubungan dengan struktur bangunan yang dibangun diatasnya ataupun karena adanya penggalian.

Perbedaan tekanan air pori mungkin pula terjadi karena kenyataan yang ada di lapangan dimana muka air lapisan pasir ditentukan oleh permukaan air yang karena faktor external adalah lebih tinggi. Dalam beberapa kasus tekanan air pori dibawah lapisan tidak kedap air akan menyebabkan lapisan di atasnya mengembang atau merekah karena kecilnya berat jenis lapisan lempung/organik.

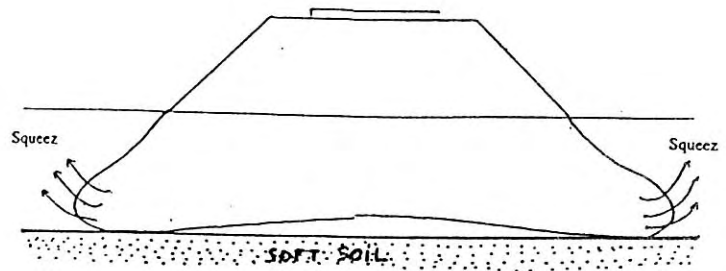
Fenomena di atas tadi menggambarkan terjadinya suatu tekanan keatas yang disebut uplift dan dapat pula diamati pada lapisan atas sewaktu penggalian atau di sekitar tembok penahan suatu polder.

3. Squeezing

Jika tanah lunak yang daya dukungnya sangat rendah berada di atas lapisan pasir padat ditimbun oleh suatu timbunan, maka tanah lunak itu akan terdorong ke arah samping kiri dan kanan.

Sehingga tanah timbunan akan menggantikan tempat lapisan tanah lunak tersebut. Setelah lapisan tanah lunak habis terdorong ke luar maka timbunan akan stabil. Peristiwa terdorongnya tanah lunak tersebut dikenal dengan "Toothpaste effect" atau squeezing.

Gambar 1.
SQUEEZING



4. Penurunan (Settlement)

Material seperti lempung lunak atau tanah organik sering dikonsolidasikan (dipadatkan) dengan cara penimbunan untuk mempercepat penurunan pada lapisan atas yang akan mendukung struktur.

Proses pengkompresian tanah yang jenuh air ini sering berlangsung dalam 3 phase, antara lain :

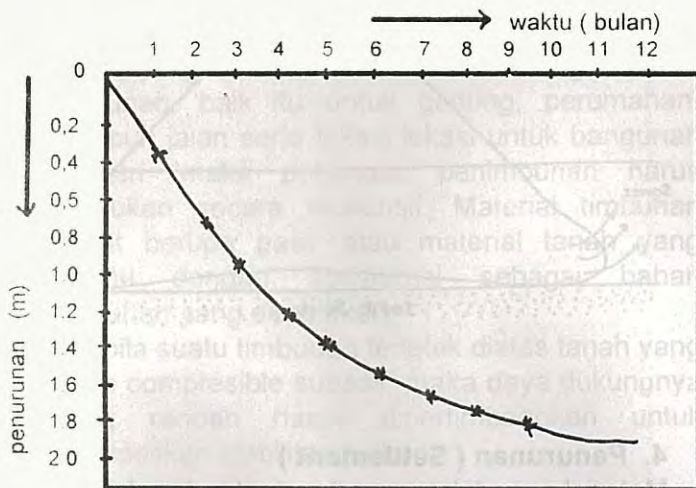
1. Initial settlement, yang terjadi seketika/atau selama aplikasi pembebanan waktu penimbunan.
2. Consolidation settlement (penurunan karena konsolidasi), dimana terjadinya adalah secara bertahap sejalan dengan pengeluaran air pori.

Sebenarnya tekanan air pori yang menyebabkan keluarnya air pori langsung terjadi karena pembebanan timbunan tersebut, tetapi karena rendahnya permeabilitas dan panjangnya jalan drainase relatif terhadap waktu pembebanan, maka pelepasan air pori terjadi secara bertahap dan penurunan yang diantisipasi dikenal dengan nama penurunan konsolidasi.

3. Secondary settlement atau juga dikenal dengan istilah creep.

Penurunan yang berlanjut perlahan, sejalan dengan waktu dimana dalam grafik penurunan biasanya terlihat dalam kurva yang asimptotis yang menuju titik nol.

Gambar 2.
HUBUNGAN ANTARA PENURUNAN DAN WAKTU



Tanah lempung non organik maupun lempung organik dalam proses settlement ini mempunyai ciri tersendiri sehubungan dengan beban timbunannya. Untuk mengurangi penurunan dapat pula digunakan bahan timbunan yang merupakan lightweight filling materials.

5. Deformasi Horisontal

Pada tepi timbunan dan galian, tegangan horisontal terjadi pada lapisan yang kompresibilitasnya besar, yang merupakan awal dari deformasi horisontal. Selama lapisan ini masih dapat memobilisasi tekanan tanah pasif, maka deformasi horisontal ini dapat ditandai dan diamati sampai 10 meter ke arah depan dari kaki (toe) lereng.

Deformasi horisontal ini dapat menjadi beban horisontal terhadap elemen pondasi (rigid

foundation element) seperti dinding basement, pondasi tiang, dan sebagainya. Beban seperti ini yang sering tidak terdeteksi, dapat menyebabkan kerusakan yang serius pada konstruksi.

6. Negative Skin Friction

Sebagai hasil pengkompresian lapisan tanah gambut atau lempung lunak, tahanan geser vertikal akan berpengaruh pada elemen fondasi seperti dinding basement atau pondasi tiang.

Tahanan geser dari tanah timbunan, pada umumnya lebih besar dari tahanan lapisan tanah yang kompresibilitasnya besar. Semakin tebal tanah timbunan semakin besar total tahanan geser vertikalnya pada elemen pondasi. Tahanan vertikal ini disebut tahanan geser negatif (negative skin friction). Mekanisme ini dipertimbangkan sebagai pengurangan daya dukung yang diijinkan dari pondasi.

Tetapi hal lainnya adalah bahwa negative skin friction dapat pula meningkatkan tegangan normal pada pondasi tiang, dan selain itu tambahan deformasi dari elemen pondasi akan mempengaruhi settlement dan differential settlement dari konstruksi.

7. Mekanisme lainnya

Harus diperhatikan adanya perubahan tingkat tahanan geser, misalnya karena akibat beban dinamis atau adanya lapisan pasir jenuh ataupun lapisan lanau. Perlemahan seperti ini juga dikenal sebagai liquefaction, yang menggambarkan terjadinya kehilangan stabilitas secara mendadak (sudden loss of stability) dari massa tanah dalam jumlah yang sangat besar, sehingga dapat menyebabkan gradual slopes yang ekstrim.

Hal-hal lainnya yang juga berperan dalam ketidak stabilan tanah lunak adalah: swelling, piping dan erosi.

Tabel di bawah ini memperlihatkan mekanisme geoteknik yang harus diperhatikan pada struktur bangunan di atas tanah lunak:

Mechanism	STRUCTURE FROM FILL				STRUCTURE IN EXCAVATION			
	DAMS	ROAD AND RAILWAY BEDS	GENERAL FILLS (1)	SOIL AND OTHER DUMPS	DITCHES PORTS, ETC.	ROAD AND RAILWAY CUTTING	BLDNG EXCAVATIONS	TRENCHES
Shearing	*	*	-	*	*	*	*	*
Uplift	(*)	-	-	-	*	*	*	*
Squeezing	*	*	-	*	-	-	*	-
Settlement	*	*	*	*	(*)	*	*	*
Horizontal def.	*	*	-	*	(*)	(*)	*	*
Negative skin friction	*	*	*	*	-	-	-	-

Note :

* Mechanism of importance for design

(*) Mechanism of possible importance for the design

- Mechanism of no importance for design

V. PENUTUP

Mengakhiri tulisan ini beberapa informasi mengenai mekanisme geoteknik yang akan terjadi karena perilaku tanah lunak, dapatlah kiranya menjadi pertimbangan yang mendasar sebelum kita melakukan perencanaan dan pekerjaan struktur bangunan di atas tanah lunak. Tergantung dari ketebalan tanah lunaknya maka cara-cara seperti penggantian tanah (soil replacement), mengurangi berat beban timbunan dengan menggunakan bahan timbunan ringan ataupun mempercepat proses konsolidasi subsoil dengan drainase vertikal, adalah merupakan upaya yang dapat membantu terlaksananya pekerjaan struktur bangunan dengan baik. Mengatasi tanah lempung lunak menggunakan bahan timbunan ringan atau mengkonsolidasikan menggunakan drainase vertikal, sudah banyak dilakukan. Tetapi khusus tanah lunak organik/gambut, berbagai kendala masih harus dipikirkan lebih jauh, karena lingkungan rawa disekelilingnya yang tidak memungkinkan memasang drainase vertikal untuk mengompresikan tanah tersebut, akan menyebabkan tanah dalam kondisi yang kompresibilitasnya tetap tinggi.

Sehingga untuk tanah gambut ini selain dipasang tiang pancang sampai tanah keras, maka konstruksi lain yang sifatnya hanya mengandalkan pada tahanan geser tanah saja hanya dapat memikul beban yang kecil, misalnya untuk lalu lintas rendah dan ringan.

DAFTAR PUSTAKA :

1. Baron, R.A. Consolidation of fine-grained soils, by drain wells
2. Lambe, T.W. and R.v. Whitman, Soil Mechanics, John Wiley & Sons 1969
3. Gibson, R.E., A Theory of Consolidation For Soils exhibiting Secondary Compression, 1960.
4. Cur, A.A. Balkema, Building On Soft Soils, 1996
5. Daud, S. Penelitian Tanah gambut, Puslitbang Jalan PU.

Penulis :

Ir. Hermin Tjahyati, Msc, Peneliti Muda, Bidang Geoteknik Jalan, Pusat Litbang Jalan.



LAJU KOROSI SENG GALVANIS PADA RANGKA BAJA JEMBATAN

Kgs. Ahmad Abdurrohman

RINGKASAN

Untuk mengetahui laju korosi komponen rangka baja bangunan atas jembatan, maka telah dilakukan penelitian pada beberapa lokasi korosif yang dianggap mewakili, yaitu : lokasi pantai diwakili oleh pantai Karang Bolong daerah Banten Jawa Barat, lokasi industri diwakili oleh kawasan industri Pulogadung DKI Jakarta dan lokasi pegunungan diwakili oleh Kamojang daerah sumber gas alam Jawa Barat.

Pengamatan dilakukan dengan membuat beberapa benda uji pelat baja yang digalvanis dan dipajang pada lokasi korosif. Pada setiap periode tertentu diukur kehilangan lapis galvanisnya. Pengamatan ini dilakukan sekitar 4,5 tahun, sehingga dapat diperkirakan laju korosi lapis seng galvanis sebagai berikut : lokasi pantai 5,5 $\mu\text{m}/\text{tahun}$, lokasi industri 7,0 $\mu\text{m}/\text{tahun}$ dan lokasi gunung dekat gunung berapi 7,5 $\mu\text{m}/\text{tahun}$.

SUMMARY

To know the corrosion rate of the galvanizing steel component of superstructure truss bridge, the research has been conducted in some corrosive location which were assumed to be representative of coastal, industrial and mountaneous areas, namely in Karang Bolong Beach, Banten, West Java, in industrial area Pulogadung, DKI Jakarta, and in the mountaneous location in Kamojang, West Java.

Investigation was made by making some specimens of galvanized steel plate which were exposed in corrosive locations. In a certain periodical time, each specimen was observed the loss of galvanized thickness. This investigation was done about 4.5 years, so that it can be indicated that corrosion rate of galvanizing coating steel as follow: beach location is 5.4 $\mu\text{m}/\text{year}$, industrial location is 7.0 $\mu\text{m}/\text{year}$, mountaneous location is 7.5 $\mu\text{m}/\text{year}$.

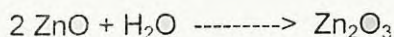
I. PENDAHULUAN

1.1 Uraian Umum

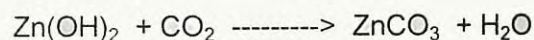
Seng galvanis yang berada di udara akan mengalami reaksi kimia.



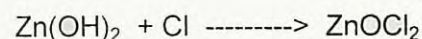
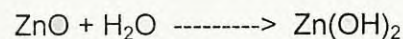
Dalam keadaan kering maka ZnO ini merupakan lapis pelindung dari seng galvanis. Tetapi cuaca udara berubah menjadi lembab (pada malam hari) atau genangan air hujan, maka ZnO yang semula sebagai lapis pelindung akan menjadi karat yaitu Zn_2O_3 .



Karat dapat juga terjadi dalam lingkungan industri yang udaranya banyak kandungan CO_2 hasil pembakaran, yaitu karat ZnCO_3 .



Pada lingkungan pantai, udaranya banyak kandungan garam Chlorida, sehingga menghasilkan karat ZnOCl_2 .



Pada lingkungan gunung terutama yang berdekatan dengan lokasi gunung berapi atau

sumber gas alam, dimana udara banyak mempunyai kandungan SO_2 yang dapat menurunkan nilai pH menjadi lebih kecil dari 3 sehingga terjadi proses korosi. Proses korosi akan terhenti bila terbentuk lapis karbonat atau sulfur. Tetapi proses korosi akan terbangkit lagi bila kadar SO_2 meningkat yang menyebabkan turunnya pH menjadi lebih kecil dari 3.

Demikianlah proses korosi yang merupakan gejala alam ini akan berlangsung terus menerus yang menggerogoti komponen baja jembatan rangka yang tersebar di beberapa lingkungan korosif. Daya pengrusakannya perlu diketahui untuk setiap lingkungan korosif, sehingga dapat diprogramkan usaha pencegahannya dengan program pengecatan.

1.2 Latar Belakang

Jembatan rangka yang telah dibangun oleh Bina Marga, sejak tahun 1970 sampai sekarang berjumlah lebih dari 50.000 buah tersebar di seluruh kepulauan Indonesia. Walaupun rangka baja jembatan sudah digalvanis, tetapi pengaruh lingkungan dapat juga menurunkan sifat kedap seng galvanis ini sehingga pada suatu waktu menembus sampai ke permukaan baja. Bila hal ini terjadi maka laju korosi baja lebih cepat sehingga komponen baja ini akan putus. Secara keseluruhan dapat mengakibatkan keruntuhan jembatan. Kerugian akibat pengrusakan korosi ini meliputi kerugian langsung dan tidak langsung. Termasuk ke dalam kerugian langsung yaitu diantaranya biaya mengganti komponen baja yang rusak, biaya perbaikan; sedangkan kerugian tidak langsung diantaranya biaya terganggunya transportasi, program pengembangan ekonomi.

Dari penelitian-penelitian diperoleh angka bahwa antara 25 % sampai 30 % produksi baja dunia ternyata digunakan untuk mengganti baja yang terkorosi. Perkiraan kerugian korosi dunia lebih kurang 40 miliar dolar Amerika per tahun. Dalam tahun 1977, penelitian di Indonesia menunjukkan kerugian ekonomi karena korosi lebih kurang 300 juta dolar Amerika per tahun.

II. KERANGKA PEMIKIRAN

Semua logam yang mempunyai harga potensial elektroda standar lebih kecil dari 0, akan terkorosi pada lingkungan korosif yaitu lingkungan pantai, lingkungan industri dan lingkungan gunung dekat gunung berapi. Di antara logam yang masuk katagori ini adalah besi, baja dan seng. Banyak jembatan yang dibangun Bina Marga adalah rangka baja yang dilapisi dengan seng galvanis yang berlokasi di lingkungan korosif.

Proses korosi adalah gejala alam yang merupakan reaksi kimia atau elektro kimia dari unsur kimia logam, dengan unsur kimia lingkungan dan dapat berlangsung terus menerus sampai hancur. Dengan melakukan penelitian laju korosi seng galvanis pada lokasi-lokasi korosif, maka dapat diperiksa laju korosi lapis penutup seng galvanis rangka baja jembatan sehingga kecepatan daya rusak seng galvanis korosi dapat diperkirakan, yang merupakan masukan program pemeliharaan yaitu menghambat kehancuran rangka baja jembatan dengan cara pengecatan.

III. METODE PENELITIAN

Untuk memperoleh gambaran laju korosi rangka baja jembatan yang tersebar di seluruh kepulauan Indonesia, maka dipilih tiga lokasi korosif yang dianggap mewakili yaitu pantai Karang Bolong mewakili lokasi pantai, Pulogadung mewakili lokasi industri dan Kamojang mewakili lokasi gunung dekat gunung berapi. Sebagai benda uji, dipajang sejumlah pelat baja yang telah digalvanis dengan ukuran (150 x 100 x 3) mm. Sebelum dipajang, setiap pelat baja diberi tanda identitas dan ditimbang dengan tingkat ketelitian 0,01 gram. Setiap periode tertentu masing-masing benda uji ini ditimbang kembali.

IV. HASIL PENGAMATAN

Untuk memperoleh gambaran kehilangan tebal seng galvanis akibat korosi, maka selisih berat benda uji setiap periode berturut dibagi dengan

luas permukaan benda uji yang terpajang. Hasil pengamatan pada lokasi korosif terdapat pada tabel 1. Untuk memperoleh gambaran sifat korosif dari masing-masing lingkungan, juga dilakukan pengamatan terhadap lingkungan, sebagaimana terlihat pada tabel 2.

Dari hasil pengamatan pada tabel 1, dibuat grafik hubungan waktu dan kehilangan tebal lapis seng galvanis. Selanjutnya dibuat garis regresi, (grafik 1, grafik 2, grafik 3).

Dari grafik 1, dapat dihitung laju korosi rata-rata pertahun :

Tahun ke 1 (dari 0 bulan s.d. 12 bulan), kehilangan tebal seng galvanis sebesar $12\mu m$.

Tahun ke 2 (dari 12 bulan s.d. 24 bulan), kehilangan tebal seng galvanis sebesar $17,5\mu m$.

Tahun ke 3 (dari 24 bulan s.d. 36 bulan), kehilangan tebal seng galvanis sebesar $23\mu m$.

Tahun ke 4 (dari 36 bulan s.d. 48 bulan), kehilangan tebal seng galvanis sebesar $29\mu m$.

Selanjutnya dapat dihitung laju korosi pertahun yaitu :

Selisih kehilangan tebal seng galvanis tahun ke 2 dan tahun ke 1 = $17,5\mu m - 12\mu m = 5,5\mu m$.

Selisih kehilangan tebal seng galvanis tahun ke 3 dan tahun ke 2 = $23\mu m - 17,5\mu m = 5,5\mu m$.

Selisih kehilangan tebal seng galvanis tahun ke 4 dan tahun ke 3 = $29\mu m - 23\mu m = 6\mu m$.

Jadi rata-rata laju korosi lokasi pantai pertahun $5,5\mu m$.

Dari grafik 2, dengan cara yang sama dapat dihitung laju korosi lokasi industri pertahun yaitu sebesar $7\mu m$.

Dari grafik 3, dengan cara yang sama dapat dihitung laju korosi lokasi gunung dekat gunung berapi pertahun yaitu sebesar $7,5\mu m$.

V. PEMBAHASAN

1. Hasil pengamatan laju korosi dari ketiga lokasi korosif, ternyata laju korosi pegunungan dekat gunung berapi lebih besar dibandingkan dengan dua lokasi korosif lainnya. Hal ini

dapat dilihat dari data lingkungan yaitu curah hujan lebih tinggi, kelembaban relatif lebih rendah, temperatur lebih rendah serta intensitas sinar lebih rendah. Disamping keempat faktor di atas, juga pengaruh SO_2 produk gas gunung berapi yang menurunkan pH menjadi lebih kecil dari 3.

2. Bila dibandingkan laju korosi lokasi pantai dengan lokasi industri, ternyata lokasi industri lebih besar dari lokasi pantai. Di samping keempat faktor di atas yang dominan mempercepat laju korosi, juga pengaruh CO_2 dan SO_2 yang terus menerus dari hasil limbah pabrik. Pada lingkungan pantai yang dominan adalah pengaruh Cl uap air laut. Tetapi pengaruh ini tergantung dari hembusan angin laut yang arahnya selalu berubah-ubah.
3. Sebagai ilustrasi dapat dihitung unsur lapis seng galvanis untuk komponen jembatan rangka baja yang umumnya mempunyai tebal $85\mu m$, sebagai berikut :
 - Pada lokasi pantai, laju korosi pertahun $5,5\mu m$, berarti $85\mu m$ akan habis setelah $85/5,5$ tahun = 15,5 tahun.
 - Pada lokasi industri, laju korosi pertahun $7\mu m$, berarti $85\mu m$ akan habis setelah $85/7$ tahun = 12 tahun.
 - Pada lokasi gunung dekat gunung berapi, laju korosi pertahun $7,5\mu m$, berarti $85\mu m$ akan habis setelah $85/7,5$ tahun = 11 tahun.
4. Mengingat letak komponen rangka baja beragam, yaitu ada yang horizontal, tegak, miring, hal ini berhubungan dengan bidang kontak yang terkorosi akan bervariasi dari korosi berat sampai korosi ringan. Karena itu disarankan dalam program pemeliharaan kerusakan akibat korosi, perhitungan tebal lapis seng galvanis disisakan 30 mm; Jadi program pemeliharaan dengan pengecatan dimulai setelah tebal seng galvanis hilang $(85\mu m - 30\mu m) = 55\mu m$. Berarti program pengecatan dimulai setelah jembatan rangka baja berumur :

- Pada lokasi pantai, $55/5,5 = 10$ tahun.
- Pada lokasi industri, $55/7 = 8$ tahun.
- Pada lokasi gunung dekat gunung berapi, $55/7,5 = 7$ tahun.

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

1. Walaupun pengamatan ini tidak mencakup data yang diambil menurut bilangan tahun yang lama, tetapi dengan pendekatan secara statistik dapat diperoleh data yang cukup wajar yaitu,
 - Lokasi pantai sebesar $5,5 \mu\text{m}/\text{tahun}$,
 - Lokasi industri sebesar $7,0 \mu\text{m}/\text{tahun}$,
 - Lokasi gunung dekat gunung berapi sebesar $7,5 \mu\text{m}/\text{tahun}$.

Sebagai pembandingan dapat dicantumkan laju korosi negara Thailand yaitu $2 \mu\text{m}/\text{tahun}$ pada lokasi kampung dan $15 \mu\text{m}/\text{tahun}$ pada lokasi pantai.

2. Mengingat banyak faktor dominan tergantung data lingkungan yang sangat mempengaruhi laju korosi dari suatu lokasi korosif, maka angka di atas bukan angka mati tetapi cukup wajar sebagai masukan dalam program pengecatan.

6.2 Saran

Type jembatan yang pertama kali dibangun oleh Bina Marga yaitu rangka baja CH yang diperkirakan sudah berumur di atas 15 tahun.

Mengacu kepada perhitungan teoritis dengan laju korosi 6 sampai dengan $7 \mu\text{m}/\text{tahun}$, maka lapis seng galvanis sudah habis; berarti sudah terjadi laju korosi bajanya sendiri yang kecepatannya lebih besar. Karena itu disarankan untuk segera melakukan tindakan pengamanan yaitu dengan pengecatan seluruh komponen rangka baja jembatan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Shreir L.L., Corrosion Volume I, Edition, Newnes Butterworth London, 1976.
2. Gosta Wranglen, An Introduction to Corrosion and Protection of Metals, 1985.
3. Mc. Kenzie M, The Corrosion Performance of Weathering Steel in Highway Bridges, 1985.
4. L. Chotimangkal et al/Thailand, Asean - Japan Project on Atmospheric Corrosion Organic Coating, 1992.
5. R. H. Tular, Laporan Penelitian Penurunan Nilai Struktur Komponen Baja Jembatan Akibat Pengaruh Lingkungan Korosif, 1988.
6. Mc. Kenzie M, Monitoring The Corrosion Performance of Galvanized Steel Truss Bridges, 1992.

Penulis :

Ir. Kgs. Ahmad Abdurrohm, Ajun Peneliti Bidang Konstruksi Bangunan Pelengkap Jalan, Pusat Litbang Jalan.

TABEL 1
HASIL PENGAMATAN KEHILANGAN
TEBAL SENG GALVANIS

NO.	PERIODE PENGAMATAN (BULAN)	PANTAI KARANG BOLONG		GUNUNG KAMOJANG		INDUSTRI PULOGADUNG	
		KEHILANGAN BERAT (gr)	KEHILANGAN TEBAL (m)	KEHILANGAN BERAT (gr)	KEHILANGAN TEBAL (m)	KEHILANGAN BERAT (gr)	KEHILANGAN TEBAL (m)
1	2.25	141.75	2.7	288.75	5.5	204.75	3.9
2	4.25	273.00	5.2	462.00	8.8	336.00	6.4
3	6.25	551.25	10.5	756.00	14.4	393.75	7.5
4	9.25	656.25	12.5	882.00	16.8	477.75	9.1
5	12.00	761.25	14.5	997.50	19.0	577.50	11.0
6	15.00	787.50	15.0	1102.50	21.0	603.75	11.5
7	17.50	813.75	15.5	1149.75	21.9	630.00	12.0
8	20.50	892.50	17.0	1181.25	22.5	724.50	13.8
9	26.50	1008.00	19.2	1223.25	23.3	803.25	15.3
10	28.50	1039.50	19.8	1244.25	23.7	960.75	18.3
11	32.00	1055.25	20.1	1270.50	24.2	1155.00	22.0
12	34.50	1118.25	21.3	1323.00	25.2	1207.50	23.0
13	37.50	1155.00	22.0	1391.25	26.5	1265.25	24.1
14	40.50	1380.75	26.3	1438.50	27.4	1386.00	26.4
15	43.50	1496.25	28.5	1480.50	28.2	1485.75	28.3
16	45.50	1548.75	29.5	1580.25	30.1	1596.00	30.4
17	51.00	1685.25	32.1	1806.00	34.4	1706.25	32.5
18	54.00	1706.25	33.5	1895.25	36.1	1785.00	34.0

TABEL 2
DATA LINGKUNGAN LOKASI KOROSIF

LOKASI PENGAMATAN	PANTAI KARANG BOLONG	GUNUNG KAMOJANG	INDUSTRI PULOGADUNG
1. Curah hujan pertahun (mm)	1242	2849	1242
2. Kelembaban relatif 80%	45	39	22
3. Temperatur rata-rata	28	21	27
4. Intensitas sinar	70	43	65
5. Kandungan Cl rata-rata (mg/100cm/hari)	1.7		
6. Kandungan SO3 rata-rata (mg/100cm/hari)		0.345	0.266

