

# JURNAL LITBANG JALAN

VOLUME 21 No. 4

ISSN : 0216 – 4124

NOPEMBER 2004

## DAFTAR ISI

<b>PENGANTAR REDAKSI .....</b>	<b>i</b>
<b>INDIKATOR DAN INSPEKSI KINERJA PEMELIHARAAN JALAN PADA BENTUK PERFORMANCE BASED CONTRACT (PBC).....</b>	<b>1</b>
<i>Oleh : Djoko Widajat</i>	
<b>RESEARCH ON TRAFFIC CONGESTION AND APPROPRIATE TRAFFIC MANAGEMENT COUNTERMEASURES FOR ARTERIAL ROAD .....</b>	<b>8</b>
<i>Oleh : M. Sjahdanulirwan, Agus Bari Syailendra, Handiyana</i>	
<b>PEMELIHARAAN ASPAL UNTUK VARIASI TEMPERATUR WAKTU PEMBEBANAN</b>	<b>12</b>
<i>Oleh : Nono</i>	
<b>PERTIMBANGAN PADA LAPISAN PONDASI UNTUK PERKERASAN KAKU.....</b>	<b>19</b>
<i>Oleh : Furqon Affandi</i>	
<b>KORELASI PENGUJIAN PELAPUKAN ASPAL STIMULASI DI LABORATORIUM DENGAN ALAT THIN FILM OVEN TEST DAN ROLLING THIN FILM OVEN TEST</b>	<b>24</b>
<i>Oleh : Tjitjik W. Suroso</i>	
<b>UJI GETAR PADA JEMBATAN TOL LAYANG DENGAN BEBAN LALU LINTAS AKTUAL .....</b>	<b>31</b>
<i>Oleh : Setyo Hardono</i>	
<b>DISTRIBUSI LALU LINTAS KENDARAAN BERAT DIJALUR PANTURA.....</b>	<b>41</b>
<i>Oleh : Erwin Kusnandar</i>	
<b>PENGARUH GRADASI AGREGAT CAMPURAN BERASPAL PANAS YANG MEMOTONG DAERAH TERLARANG ( RESTRICTION ZONE ) TERHADAP KETAHANAN DEFORMASI .....</b>	<b>47</b>
<i>Oleh : Kurniadji, Nono</i>	
<b>PEMANFAATAN TAILING UNTUK LAPIS PONDASI JALAN .....</b>	<b>52</b>
<i>Oleh : Neni Kusnianti, Furqon Affandi</i>	
<b>PENGARUH TINGKAT KEPADATAN TERHADAP VOLUMETRIK CAMPURAN BETON ASPAL DENGAN ANALISIS JALUR .....</b>	<b>60</b>
<i>Oleh : Madi Hermadi, Nono</i>	



DEPARTEMEN PERMUKIMAN DAN PRASARANA WILAYAH  
BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN  
PUSAT PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN PRASARANA TRANSPORTASI

Jl. A.H. Nasution No. 264, Kotak Pos 2 Ujungberung - Bandung 40294, Telp. (022) 7802251, Fax (022) 7802726, e-mail : pusjal@melsa.net.id



# **JURNAL LITBANG JALAN**

**Volume 21 Nomor 4 Nopember 2004**

## **PELINDUNG**

Kepala Pusat Litbang Prasarana Transportasi

## **PEMIMPIN UMUM / PEMIMPIN REDAKSI**

Kepala Bidang Pelayanan IPTEK

## **DEWAN REDAKSI / DEWAN PENILAI**

Furqon Affandi, M. Sjahdanulirwan, Salim Mahmud, Heddy Rahadian,  
Saroso BS, GJW. Fernandez, Agus Bari Syailendra, Hikmat Iskandar,  
Nani Kusminingrum, Lanny Hidayat, Lanneke Tristanto, Nandang Samsudin

## **REDAKSI PELAKSANA**

Nyoman Suaryana, Tonny Hedytono, Ipah Saripah,  
Yeyeh Kursiyah, Ade Romli

## **Diterbitkan Oleh :**

**PUSAT LITBANG PRASARANA TRANSPORTASI  
BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN  
DEPARTEMEN PERMUKIMAN DAN PRASARANA WILAYAH**

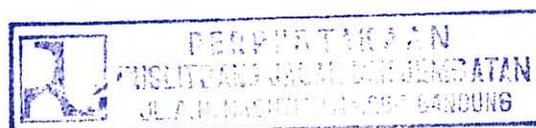
Jl. A. H. Nasution No. 264, Kotak Pos 2 Ujungberung

Telepon : (022) 7802251-7802252-7802253

e-mail : pusjal@melsa.net.id

Facsimile : (022) 7802726

**BANDUNG 40294**



## PENGANTAR REDAKSI

Para peneliti di lingkungan Badan Litbang Kimpraswil, khususnya di lingkungan Pusat Litbang Prasarana Transportasi dituntut untuk lebih mengedepankan kegiatan diseminasi, sosialisasi dan advis teknik (uji mutu) ke pelosok wilayah Indonesia.

Salah satu bentuk diseminasi yang dilakukan oleh para peneliti adalah publikasi hasil penelitian melalui kegiatan penerbitan jurnal ilmiah "Litbang Jalan", yang merupakan jurnal yang sudah terakreditasi dan tersebar ke seluruh Indonesia.

Pada penerbitan Nopember 2004, Volume : 21, nomor : 4 redaksi mengantarkan beberapa tulisan hasil penelitian yang menarik untuk dijadikan bahan referensi bagi para engineer di lapangan, peneliti, pengajar dan mungkin bagi pengambil kebijakan di bidang prasarana transportasi.

Semoga bermanfaat.

*Pemimpin Redaksi*



# INDIKATOR DAN INSPEKSI KINERJA PEMELIHARAAN JALAN PADA BENTUK PERFORMANCE BASED CONTRACT (PBC)

*Djoko Widajat, MSc*

## **RINGKASAN**

*Kriteria tentang mutu jalan pada PBC dinyatakan dengan suatu indikator kinerja yang harus dicapai selama masa pelayanan. Dalam masa tersebut inspeksi terhadap segala aset jalan secara terus menerus dilakukan untuk menjamin bahwa persyaratan indikator kinerja terpenuhi.*

*Perkerasan jalan harus memenuhi kerataan, kerusakan seminimum mungkin, lendutan dan kekesatan permukaan. Tenggang waktu penanganan ketidaksesuaian harus dipenuhi agar kondisi perkerasan tetap stabil.*

*Dalam pemeliharaan rutin kontrak konvensional penanganan ketidaksesuaian pekerjaan dinyatakan secara detail, sedang pada sistim PBC hal tersebut tidak diuraikan secara terperinci. Penanganan ketidaksesuaian dilimpahkan ke kontraktor.*

*Tulisan ini menyertakan jenis indikator kinerja untuk seluruh aset jalan yang masih perlu dikaji lebih lanjut, apabila pemeliharaan sistim PBC akan diterapkan di Indonesia.*

## **SUMMARY**

*Road criteria in PBC are shown by performance indicator, which have to be achieved during service life. During this time continue monitoring to all road asset is conducted to guarantee that performance indicator requirement performed.*

*Road pavement have to meet roughness, deterioration have to be minimise, deflection and surface skid resistance. Time allowed for treating non-compliance has to be determine to sustain the road pavement condition stable.*

*In routine maintenance contract conventional, repairing non-compliance is detailed, while in PBC system is not. The treatment is given to the contractor initiative.*

*This paper gives a type of performance indicator for road pavement asset which still to be discussed if PBC system will be implemented in Indonesia*

## **I. PENDAHULUAN**

Performance Based Contract (PBC) merupakan lumpsum kontrak jangka panjang berdasarkan kinerja. Suatu faktor fundamental dari kontrak yang berdasarkan kinerja adalah bahwa kontraktor bertanggung jawab terhadap perencanaan dan pelaksanaan pekerjaan yang perlu untuk dilakukan guna memenuhi tingkat kualitas layanan yang tercantum didalam kontrak. Pada pemeliharaan jalan, tingkat kualitas layanan yang dinyatakan dengan indikator kinerja merupakan salah satu syarat yang diajukan oleh pemilik pekerjaan dan harus dipenuhi oleh kontraktor yang mempertimbangkan tingkat kekuatan, keamanan, kenyamanan dan keawetan jalan yang juga merupakan tuntutan dari pengguna jalan. Pengawasan kinerja agar selalu dalam kondisi yang diinginkan dilakukan dengan

cara mengadakan inspeksi secara kontinu terhadap kinerja yang telah ditentukan.

Kontraktor akan memiliki suatu insentif keuangan yang kuat apabila pekerjaannya memenuhi kriteria kinerja yang ditentukan sehingga pembayaran untuk suatu bulan tertentu tidak berkurang atau bahkan ditangguhkan. Untuk memaksimalkan keuntungan, kontraktor harus dapat mengurangi aktifitasnya sampai ke kadar kemungkinan yang terkecil dari intervensi-intervensi yang dirancang secara cerdas, meskipun demikian memastikan keluaran (output/indikator kinerja) tercapai dan dipertahankan selama waktu tertentu.

Disisi lain pemilik pekerjaan mempunyai keuntungan karena ada jaminan bila terdapat ketidaksesuaian pada suatu permukaan jalan akan segera diperbaiki pada tingkat yang ditentukan yang akhirnya kondisi jalan akan tetap stabil.

Untuk penerapan sistem kontrak berbasis kinerja di Indonesia, sejumlah kriteria atau indikator kinerja aset jalan perlu ditetapkan untuk mendefinisikan kondisi minimum yang diinginkan pada suatu tingkat pelayanan. Aset jalan tersebut mencakup perkerasan jalan, bahu jalan, drainase, perlengkapan jalan dan jembatan.

## II. REVIEW TENTANG PAVEMENT BASED CONTRACT (PBC)

### 2.1 Konsep dan pemahaman PBC

Pemilik pekerjaan sering dihadapkan dengan kendala adanya kerusakan jalan yang terlalu cepat akibat mutu pekerjaan yang kurang memadai sedangkan biaya untuk memperbaikinya tidak tersedia lagi atau harus menunggu pengajuan biaya pada tahun anggaran berikutnya.

Keberhasilan sistem PBC adalah adanya pelaksana atau sektor swasta yang mempunyai kemampuan teknis yang tinggi dalam merencanakan, membuat dan memelihara jalan dengan kondisi tetap baik, serta mempunyai akuntabilitas yang baik terhadap masyarakat. Lebih lanjut, cara ini dapat lebih mengefisienkan anggaran yang tersedia serta lebih menguntungkan masyarakat. Dari uraian diatas secara garis besar konsep PBC menjanjikan adanya :

- Peningkatan pemeliharaan yang lebih efektif dan efisien
- Menjamin kinerja jalan memenuhi syarat bagi pengguna jalan
- Memperluas peran swasta

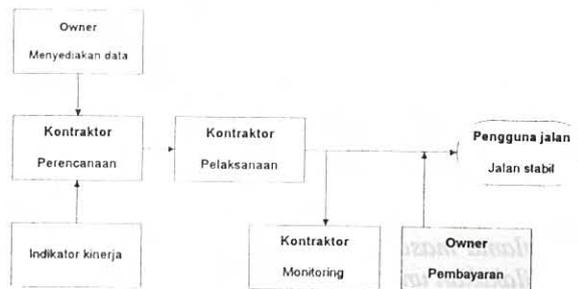
Pada pemeliharaan sistem PBC Perencanaan dan pelaksanaan pekerjaan dikerjakan kontraktor dan pemilik pekerjaan menyediakan data (lihat Gambar 1).

Sebagai data perencanaan, Pemilik pekerjaan menyediakan data perencanaan seperti histori perkerasan, data lalu lintas dan data kondisi perkerasan. Namun demikian data tersebut dapat divalidasi oleh kontraktor dan kontraktor tidak dapat mengklaim apabila terdapat kekurangan atau kesalahan data yang disediakan. Dengan demikian kebenaran data perencanaan tetap tanggung jawab kontraktor.

Pemilik pekerjaan akan menentukan indikator kinerja sebagai kriteria pelayanan yang diinginkan selama umur rencana. Monitoring yang dilaksanakan oleh kontraktor dan diverifikasi pemilik pekerjaan secara terus menerus akan menjamin bahwa perkerasan tetap dalam kondisi stabil dan pengguna jalan merasa nyaman dan aman mengendarai kendaraannya. Lebih daripada itu generasi saat ini mewariskan kondisi jalan dalam kondisi baik kepada generasi yang akan datang.

### 2.2 Keuntungan dan kendala

PBC merupakan hal baru yang mempunyai keunggulan dan kelemahan apabila diterapkan di Indonesia saat ini. Beberapa keuntungan dan kendala penerapan PBC (Rantetoding P., 2001) adalah sebagai berikut :



Gambar 1. Bagan Alir PBC

#### a) Keuntungan

- Menumbuhkan inovasi dalam teknologi dan manajemen jalan.
- Memberi dorongan kontraktor dalam penyeleksian pegawainya.
- Memberi dorongan kontraktor untuk mengembangkan SDM nya.
- Memungkinkan bagi kontraktor untuk lebih efisien dalam penggunaan peralatan konstruksi dan pemeliharaan jalan.
- Mengurangi pembengkakan pegawai yang dipekerjakan pada client.
- Menumbuhkan ke-transparan-an dan keikutsertaan publik.
- Menumbuhkan integrasi antara pengetahuan dan pengalaman.
- Menumbuhkan keikutsertaan swasta dalam pembiayaan jalan.
- Mengurangi biaya konstruksi dan pemeliharaan jalan.

#### b) Kendala

- Kesiapan kontraktor dan konsultan untuk menerima resiko yang lebih besar.
- Kesiapan kontraktor untuk mengerjakan pekerjaan jalan dengan kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan cara konvensional.
- Penetapan Indikator kinerja dan inspeksi (monitoring)
- Pengaruh terhadap sumber daya manusia
- Kurang kompetisi dalam pelelangan
- Masalah keuangan
- Masa garansi
- Alokasi resiko antara client dan kontraktor

### 2.3 Dasar hukum

PBC merupakan kontrak lumpsom jangka panjang. Ketentuan tentang kegagalan konstruksi dan lamanya suatu kontrak telah ditetapkan dalam Undang-Undang Jasa Konstruksi dan Peraturan Pemerintah. Beberapa diantaranya adalah :

a) *Undang-undang(UU) No. 18/tahun 1999, tentang Jasa Konstruksi, telah menyatakan tentang ketentuan2 kegagalan bangunan/ketidak sesuaian suatu kondisi konstruksi. Oleh karena itu upaya pencegahan dan meminimalkan terjadinya kegagalan bangunan pada pekerjaan pembangunan/pemeliharaan berkala jalan, maka sangat diperlukan suatu bentuk kontrak jangka panjang yg dpt diukur dan berhasil guna.*

b) *Peraturan pemerintah :*

- Peraturan Pemerintah No.29/tahun 2000, tentang penyelenggaraan jasa konstruksi.
- Ps.35 pertanggung jawaban atas kegagalan bangunan adalah s/d 10 tahun  
Penetapan umur konstruksi harus dinyatakan dalam kontrak
- Ps 36 Penilai kegagalan bangunan dipilih dan disepakati oleh penyedia dan pengguna jasa

### III. INDIKATOR KINERJA PERKERASAN JALAN

Sebagai indikator kinerja utama pada perkerasan aspal adalah kerusakan yang terjadi, kerataan, lendutan, dan kekesatan. Jenis indikator kinerja bervariasi pada negara-negara yang telah melaksanakan kontrak ini, beberapa negara tidak menyertakan lendutan atau kekesatan pada persyaratan mutu layanannya.

#### 3.1. Kerusakan jalan beraspal

Gambaran jenis kerusakan yang terjadi pada perkerasan beraspal merupakan faktor yang diperlukan untuk mengetahui bahwa perkerasan masih dalam kondisi yang layak untuk melayani lalu lintas selama umur rencana. Kerusakan jalan terjadi karena beberapa faktor yang mempengaruhinya yaitu faktor lalu lintas yang tidak sesuai dengan kemampuan perkerasan, faktor sifat bahan dan kekuatan perkerasan yang lemah serta faktor lingkungan seperti drainase, cuaca, geometri, bahu jalan dan lereng badan jalan.

Informasi tentang jenis kerusakan dan faktor penyebabnya dapat digunakan sebagai pertimbangan dalam mengadakan tindakan perbaikan pada pekerjaan pemeliharaan.

Kerusakan pada perkerasan beraspal dapat dikelompokkan menjadi 4 bagian yaitu :

Retak (cracks), perubahan bentuk (deformation), cacat permukaan (surface defect) dan cacat tepi (edge edge).

Pada sistim PBC, jika indikasi kerusakan terdapat pada suatu perkerasan, penanganan akan segera dilakukan oleh kontraktor sesuai dengan batas waktu yang diijinkan untuk menangani jenis ketidak sesuaian yang terjadi.

#### 3.2. Kerataan (roughness)

Sayer et.al (1986) telah mengembangkan nilai IRI untuk berbagai umur perkerasan dan kecepatan. Untuk kerataan jalan baru nilai IRI < 4 m/km yang dapat ditempuh pada kecepatan 120 km/jam dan untuk jalan lama nilai IRI < 6 km/jam dengan kecepatan sekitar 90 km/jam. Mengadaptasi dari pengembangan ini, indikator kinerja kerataan untuk jalan primer beton aspal IRI < 3 m/km dan sekunder IRI < 4 m/km dapat digunakan. Sedangkan untuk jalan yang menggunakan permukaan lapis penetrasi Mc Adam dan surface dressing ditentukan IRI < 6 m/km, dengan pertimbangan bahwa kedalaman tekstur untuk lapisan tersebut lebih besar dari beton aspal. Ketentuan nilai IRI ini bervariasi, jika diinginkan level kerataan yang tinggi maka nilai IRI dipilih yang rendah, sebaliknya jika misalnya keterbatasan biaya maka nilai IRI diperlonggar. Namun demikian hendaknya level mutu layanan dan masa pelayanan perkerasan harus sebagai dasar pertimbangan utama.

#### 3.3. Lendutan

Kontraktor diminta untuk menjamin bahwa lendutan perkerasan jalan yang tertera dalam kontrak di bawah nilai ambang batas, pada waktu tertentu selama kontrak berlangsung. Besar lendutan pada setiap ruas atau seksi jalan sangat bervariasi yang tergantung dengan besar lalu-lintas yang melewatinya. Diharapkan untuk ruas jalan yang beban lalu-lintasnya tinggi mempunyai lendutan yang kecil sehingga perkerasan dapat berumur panjang sesuai dengan umur perkerasan yang direncanakan.

#### 3.4 Kekesatan

Berdasarkan hasil pemeriksaan kekesatan dengan Mu meter pada beberapa ruas jalan selama ini, batas kekesatan permukaan jalan yang cukup aman adalah 0,33, atau bila diukur dengan pendulum (TRRL) nilai BPT minimum adalah 56 dan kedalaman tekstur 0,65 mm.

### IV. PEMELIHARAAN RUTIN DAN PENGEMBALIAN KONDISI SAAT INI

Pada Buku III Spesifikasi Umum pemeliharaan jalan cara konvensional, pemeliharaan dikelompokkan menjadi 2 (dua) katagori yaitu pekerjaan yang diklasifikasikan sebagai pekerjaan pemeliharaan rutin dan pekerjaan yang diklasifikasikan sebagai pekerjaan peningkatan atau pekerjaan pengembalian kondisi untuk perkerasan, bahu jalan, drainase, perlengkapan jalan dan jembatan. Dalam spesifikasi memuat jenis kerusakan yang terjadi

dan penanganan yang harus dilaksanakan serta tahap pekerjaan yang harus dilakukan. Pengklasifikasian ini akan menjadi pedoman bagi kontraktor dalam mengerjakan pekerjaan dan pembayaran. Bila terjadi kerusakan, tidak ada persyaratan kapan perbaikan harus dilakukan dan sejauh mana perbaikan dapat bertahan. Pada kontrak pemeliharaan cara konvensional dijelaskan tindakan penanganan suatu kerusakan atau ketidak sesuaian selama masa pemeliharaan. Hal ini tidak dijumpai pada kontrak pemeliharaan berbasis kinerja. Untuk itu perlu kiranya kontraktor mengajukan suatu proposal untuk suatu penanganan bila dijumpai kerusakan dengan menggunakan cara dan material yang bermutu tinggi sehingga mampu menahan beban lalu lintas dan dapat berumur panjang sesuai dengan umur rencana.

## V. PENURUNAN KONDISI JALAN

Prediksi tentang penurunan kondisi jalan pada masa pelayanan merupakan salah satu hal yang diperlukan guna mengetahui kondisi jalan pada periode atau tahun tertentu masa pemeliharaan. Model kerusakan yang digunakan dalam analisa manajemen perkerasan sistim tradisional kemungkinan pendekatannya berbeda dengan model yang digunakan dalam PBC (Kathryin A.Zimmerman et al, 2002). Pada sistim tradisional, perkerasan dengan karakteristik kinerja serupa, seperti lalu lintas, kondisi lingkungan dan perencanaan, dikelompokkan berdasarkan klasifikasi perkerasan dan kecenderungan dari kinerja. Dari kelompok tersebut data diplotkan guna mendapatkan persamaan dan koefisien determinasi dari kurva yang paling tepat. Hasil persamaan yang mewakili kurva kerusakan digunakan untuk semua seksi perkerasan yang mempunyai diskripsi yang sama. Pada penerapan PBC kemungkinan akan ditemui kesulitan untuk mendapatkan informasi yang diperlukan untuk mengembangkan model kerusakan sehingga kontraktor akan cenderung mengembangkan model kerusakan setiap seksi perkerasan dari pada kelompok.

## VI. KRITERIA TINGKAT PELAYANAN

### 6.1 Lapis perkerasan beraspal

#### 6.1.1. Kriteria tingkat pelayanan lapis perkerasan beraspal

- a) Perkerasan harus selalu dipelihara setiap saat sehingga kondisi pelayanan sesuai dengan kriteria tingkat pelayanan yang disyaratkan dan pedoman penilaian pada Tabel 1. Kriteria tersebut mencakup kerataan, penanganan kerusakan dan kekesatan. Selama umur rencana mutu pelayanan tidak boleh terlewat. Apabila terdapat ketidak sesuaian kontraktor harus segera melakukan perbaikan dengan tenggang waktu perbaikan sesuai Tabel 1.

- b) Kontraktor harus mengetahui penyebab dan penanganan kerusakan apabila terdapat ketidak sesuaian dengan mengajukan proposal yang disetujui Direksi pekerjaan.

**Tabel 1.**  
**Kriteria Tingkat Pelayanan-Lapis Perkerasan Beraspal**

Pengindikasi kinerja	Mutu pelayanan	Pedoman penilaian	Tenggang waktu perbaikan atau toleransi yg diijinkan
(1)	(2)	(3)	(4)
1. KERATAAN (ROUGHNESS)	Jalan primer : -Beton aspal IRI< 3 m/km Jalan sekunder : -LAPEN,asbuton IRI<6 m/km -Surface dressing IRI< 6 m/km	-NAASRA roughness meter (SNI 03-3426-1994) Kalibrasi IRI Vs.NAASRA (ND Le & BM)	Tidak ada toleransi
2. LENDUTAN	Perkerasan masih mempunyai umur sisa pelayanan yang besarnya minimum sama dengan umur rencana perkerasan	-Benkelman Beam (SNI 03-2416-91) -FWD (Dynatest Denmark)	Tidak ada toleransi
3. KERUSAKAN :			
3.1. Retak	-Lebar retak <= 3mm Pada setiap 50 m panjang, luas retak tidak > 10% luas permukaan	PCS (TRRL & PUSTRAN, 1990)	Retak >3mm harus ditutup dalam jangka waktu maksimum 7 hari setelah terjadinya kerusakan.
3.2. Deformasi :			
3.2.1. Alur	Kedalaman alur maksimum 15 mm Tidak diizinkan terdapat kedalaman alur >10 mm sebanyak >5% per km	PCS (TRRL & PUSTRAN, 1990)	Kedalaman alur melebihi batas yang diizinkan harus diperbaiki dalam jangka waktu maksimum 15 hari.
3.2.2. Ambias (depression)	Kedalaman ambias maksimum 10 mm -Tidak boleh terdapat ambias > 5 mm sebanyak > 5% per km	PCS (TRRL & PUSTRAN, 1990)	Kedalaman ambias melebihi batas yang diizinkan harus diperbaiki dalam jangka waktu maksimum 15 hari.
3.2.3. Gelombang / keriting	< 100 m2 per km	PCS (TRRL & PUSTRAN, 1990)	Gelombang melebihi batas yang diizinkan harus diperbaiki dalam jangka waktu maksimum 30 hari.
3.2.4. Sungkur	Tidak diizinkan ada sungkur	PCS (TRRL & PUSTRAN, 1990)	Sungkur harus diperbaiki dalam jangka waktu maksimum 15 hari.
3.3. Cacat permukaan			
3.3.1. Pelepasan butir	Tidak diizinkan ada pelepasan butir	PCS (TRRL & PUSTRAN, 1990)	Pelepasan butir harus diperbaiki dalam jangka waktu maksimum 30 hari.
3.3.2. Pengelupasan	< 100 m2/km	PCS (TRRL & PUSTRAN, 1990)	Pengelupasan melebihi batas yang diizinkan harus diperbaiki dalam jangka waktu maksimum 15 hari.
3.3.3. Pengausan	< 100 m2/km	PCS (TRRL & PUSTRAN, 1990)	Pengausan melebihi batas yang diizinkan harus diperbaiki dalam jangka waktu maksimum 15 hari.
3.3.4. Kegemukan	< 100 m2/km	PCS (TRRL & PUSTRAN, 1990)	Kegemukan melebihi batas yang diizinkan harus diperbaiki dalam jangka waktu maksimum 15 hari.
3.3.5. Delaminasi	< 100 m2/km	PCS (TRRL & PUSTRAN, 1990)	Delaminasi melebihi batas yang diizinkan harus diperbaiki dalam jangka waktu maksimum 7 hari.
3.3.6. Lubang	Tidak diizinkan ada lubang	PCS (TRRL & PUSTRAN, 1990)	Lubang harus diperbaiki dalam jangka waktu maksimum 3 hari.
3.3.7. Tambalan	-Tambalan harus berbentuk bujur sangkar atau persegi panjang -Kelinggian harus sama dengan permukaan sekitarnya -Bahan harus sama dengan bahan yang digunakan disekitarnya -Tidak boleh retak dengan lebar > 3 mm	PCS (TRRL & PUSTRAN, 1990)	Tambalan yang tidak sesuai dengan yang diizinkan harus diperbaiki dalam jangka waktu maksimum 3 hari.
3.3.8. Kerusakan tepi	Tidak diizinkan ada kerusakan tepi	PCS (TRRL & PUSTRAN, 1990)	Kerusakan tepi harus diperbaiki dalam jangka waktu maksimum 7 hari.
4. KEKESATAN	Koefisien kekesatan > 0.33	Mu meter SK SNI M-36-1993-03	Kekesatan melebihi batas yang diizinkan harus diperbaiki dalam jangka waktu maksimum 7 hari.

### 6.1.2 Inspeksi kinerja

Inspeksi terhadap tingkat pelayanan pada segala aspek dilakukan terhadap ruas jalan yang dikontrakkan. Inspeksi ini sangat berkaitan dengan tingkat pelayanan dan pembayaran. Monitoring atau inspeksi tingkat mutu layanan dapat dibedakan menjadi 2 macam yaitu inspeksi formal dan informal.

#### i) Inspeksi Formal

Inspeksi formal adalah dijadwalkan di muka oleh Manajer Proyek, dan dilaksanakan oleh Kontraktor (melalui Unit Pengujian) di bawah pengawasan Manajer Proyek. Tujuan utama dari inspeksi formal adalah agar Manajer Proyek mampu membuat verifikasi terhadap informasi yang disampaikan dalam Laporan bulanan Kontraktor dan menerbitkan Sertifikat Pembayaran.

#### ii) Inspeksi Informal

Proyek Manajer dapat menjalankan inspeksi informal level mutu layanan sebagai bagian dari tugasnya. Ia dapat melakukan hal tersebut atas inisiatifnya sendiri, kapan dan dimana saja di ruas jalan yang tertera dalam kontrak. Jika ia mendeteksi ruas jalan yang kriteria mutu layanannya tidak terpenuhi, ia berkewajiban untuk memberitahunya kepada Kontraktor dengan tertulis, agar kontraktor melaksanakan kegiatan perbaikan sesegera mungkin.

### 6.1.3. Peralatan yang Dipergunakan untuk Inspeksi

Dalam sistem PBC, kontraktor diharuskan mempunyai suatu unit pengujian. Peralatan fisik yang dibutuhkan untuk inspeksi disediakan oleh Kontraktor; termasuk seluruh peralatan yang

dibutuhkan sesuai dengan metodologi yang digunakan untuk Inspeksi Tingkat Mutu Pelayanan seperti kendaraan transportasi, alat pengukur lendutan, kerataan dan kekesatan.

### 6.1.4. Prosedur Inspeksi Kinerja

Inspeksi formal tingkat mutu layanan pada jalan beraspal dilaksanakan dengan prosedur sebagai berikut :

#### (a) Aspek umum jalan

Aspek umum mencakup perkerasan, bahu jalan, struktur, sistem drainase, *right-of-way* dan aspek keamanan jalan/pemasangan rambu. Aspek umum jalan dapat dievaluasi dengan peralatan sederhana, seperti inspeksi visual dan pengukuran sederhana yang tidak membutuhkan perangkat yang canggih. Kerataan jalan dan lendutan perkerasan tidak termasuk pada evaluasi aspek umum jalan.

Inspeksi formal bulanan dari aspek umum untuk tiap jalan (atau ruas jalan ) yang tertera dalam kontrak dilaksanakan berdasarkan seksi pengujian yang panjangnya satu (1) km. Setiap seksi pengujian satu-km dibagi menjadi sepuluh (10) segmen tiap 100 meter. Jika ketidak-sesuaian terjadi untuk tiap aspek yang diverifikasi (perkerasan, bahu jalan, struktur, sistem drainase, *right-of-way* dan aspek keamanan jalan /pemasangan rambu), maka proses inspeksi harus ditentukan di tiap segmen 100 meter. Tiap jenis ketidak-sesuaian menerima Faktor Berat (Word bank, 2002).

Faktor Berat ini digunakan selama inspeksi formal untuk setiap seksi satu-km yang diuji, dengan menggunakan contoh formulir isian seperti Tabel 2.

Tabel 2.

Evaluasi tingkat mutu layanan (Penentuan Koefisien pemenuhan) untuk seksi jalan sepanjang 1 (satu) km.

Contoh : Identifikasi ketidak sesuaian KM 10.000 hingga KM 11.000, ruas jalan AB.

Aspek	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Juml. segm. ketidak-sesuaian	Faktor Berat	Persentase Ketidak-sesuaian
	x) jika segmen tidak memenuhi										(1)	(2)	(3) = (1) * (2)
Perkerasan		x			x						2	10	20
Bahu jalan										x	1	9	9
Struktur						x					1	7	7
Drainase											-	8	-
Right-of-way											-	5	-
Rb. Jalan			x								1	8	8
Persentase ketidak-sesuaian Seksi Uji satu-km : (jika nilai > 100, masukkan 100)											(penjumlahan di atas)		44
Koefisien pemenuhan seksi satu-km : (=100 minus persentase ketidak-sesuaian)/100											(100 - 44)/100 = 56%		

Koefisien pemenuhan keseluruhan ruas (atau seksi jalan) pada bulan tertentu ditentukan dengan perhitungan koefisien pemenuhan rata-rata dari seluruh seksi uji pada bulan tersebut sesuai dengan jalan terkait.

#### **(b) Kerataan Jalan (Road roughness)**

Setiap 4 (empat) bulan, dan setiap kali perkerasan telah dimodifikasi melalui rehabilitasi, lapis tambah (overlay) atau pekerjaan serupa, kerataan jalan akan diukur oleh Kontraktor di bawah pengawasan Manajer Proyek.

Jika pengukuran mendapatkan nilai kekasaran jalan berada di atas ambang yang ditetapkan, Manajer Proyek akan menetapkan kerangka waktu bagi Kontraktor untuk melakukan penanganan kerusakan yang diperlukan.

Manajer Proyek akan menentukan besar denda (Liquidated Damages) per hari ketidaksesuaian per 100 m panjang ruas tiap jalur, untuk ketidaksesuaian dengan level mutu layanan pada kerataan jalan, di luar batas waktu yang telah ditentukan oleh Manajer Proyek.

#### **(c) Lendutan Jalan**

Untuk setiap jalan yang tertera dalam kontrak, Kontraktor berkewajiban untuk mengukur lendutan perkerasan setidaknya setahun sekali, sebagai bagian dari kegiatan pemantauan dan evaluasi.

Pemberi Kerja berhak menahan jaminan kinerja yang diberikan Kontraktor hingga seluruh jalan yang tertera dalam kontrak sesuai dengan kriteria lendutan perkerasan. Kriteria lendutan pada Tabel 1 menyatakan bahwa perkerasan masih mempunyai "umur sisa pelayanan" yang besarnya minimum sama dengan umur rencana perkerasan. Hal ini berarti bahwa lendutan yang terjadi harus dianalisa berdasarkan lalu lintas yang ada dan hasilnya menunjukkan bahwa perkerasan tersebut masih mempunyai umur sisa. Sanksi diberlakukan apabila terdapat ketidaksesuaian dengan kriteria lendutan.

#### **(d) Kekesatan**

Setiap 6 (enam) bulan, dan setiap kali perkerasan telah dilapis dengan lapisan baru kekesatan jalan akan diukur oleh Kontraktor di bawah pengawasan Manajer Proyek.

Jika pengamatan mendapatkan nilai kekesatan jalan berada di atas ambang yang ditetapkan, Manajer Proyek akan menentukan jadwal penanganan kerusakan yang diperlukan bagi Kontraktor.

#### **6.1.4 Mutu Material yang Dipergunakan**

Material yang digunakan harus sesuai atau melebihi kriteria mutu dan/atau norma-norma yang termuat pada persyaratan mutu sesuai dengan jenis pekerjaannya.

### **6.2. Bahu jalan, badan jalan dan ROW**

- a. Bahu jalan, badan jalan dan ROW harus selalu dipelihara setiap saat sehingga kondisi pelayanan sesuai dengan kriteria tingkat pelayanan yang disyaratkan dan pedoman penilaian yang ditentukan. Selama umur rencana mutu pelayanan tidak boleh terlewati. Apabila terdapat ketidaksesuaian kontraktor harus segera melakukan perbaikan dengan tenggang waktu perbaikan yang disyaratkan.
- b. Kontraktor harus mengetahui penyebab dan penanganan kerusakan apabila terdapat ketidaksesuaian dengan mengajukan proposal yang disetujui Direksi pekerjaan.

### **6.3. Sistem Drainase**

Secara garis besar, Kontraktor harus memastikan bahwa seluruh elemen drainase dan strukturnya tanpa gangguan yang kemungkinan mengurangi luas penampang melintang normal dan menghalangi kelancaran aliran air.

### **6.4. Perlengkapan jalan**

Kontraktor bertanggungjawab untuk memastikan bahwa seluruh pemasangan rambu horizontal dan vertikal, seperti pelindung rel (guardrails) dan perangkat keamanan jalan lainnya sepenuhnya sesuai dengan yang disyaratkan.

### **6.5. Jembatan dan struktur**

Kontraktor bertanggungjawab dalam pemeliharaan seluruh jembatan dan struktur serupa sepanjang ruas atau ruas-ruas jalan yang tertera dalam kontrak. Khususnya, ia bertanggungjawab atas tetap berfungsinya struktur yang benar (cat struktur metalik, permukaan jalan pada struktur, kondisi dan keberadaan pelindung rel/guardrails) dan keselamatan serta kenyamanan pengguna jalan saat mengendarai kendaraan melewati bangunan struktur dengan kecepatan normal. Dengan demikian, rekonstruksi dan perbaikan jembatan dan struktur serupa tidak termasuk dalam kewajiban Kontraktor, terkecuali ditentukan lain dalam Spesifikasi Teknis.

## **VII. KESIMPULAN DAN SARAN**

Dari uraian diatas dapat disimak beberapa hal, antara lain sebagai berikut :

1. Kontrak PBC adalah lump sum kontrak jangka panjang, merupakan hal baru sehingga dalam penerapannya diperlukan kesiapan semua pihak termasuk dalam penentuan indikator kinerja dan monitoringnya.
2. Indikator kinerja pemeliharaan pada sistim kontrak PBC yang mencakup segala aset jalan harus diuraikan dengan detail dalam kontrak karena akan digunakan sebagai dasar penilaian terhadap pemantauan kinerja

- yang dilakukan secara kontinyu. Hasil pemantauan kinerja dapat digunakan sebagai tolok ukur kondisi perkerasan pada waktu yang bersangkutan.
3. Perencanaan dan pelaksanaan pemeliharaan dilakukan oleh kontraktor, sehingga kontraktor dituntut untuk mempunyai SDM, peralatan, finansial dll, yang tinggi. Salah satu dasar penilaian dalam penyeleksian penyedia barang/jasa adalah dapat dengan melihat proposal yang dibuat Kontraktor dalam membuat perencanaan dan pelaksanaan pemeliharaan yang memperhatikan umur rencana perkerasan.
  4. Pada kontrak konvensional saat ini prosedur pelaksanaan pemeliharaan disediakan oleh pemberi pekerjaan, sedangkan pada kontrak PBC hal tersebut diserahkan kepada inisiatif kontraktor. Metode pengujian untuk pemantauan harus disetujui pemberi dan pelaksana kerja. Kualitas bahan yang digunakan harus memenuhi persyaratan
  5. Pada masa yang akan datang, prediksi penurunan kondisi diperlukan guna melihat sejauh mana kerusakan jalan terjadi setelah melayani lalu lintas dalam kurun waktu tertentu. Prediksi ini dapat membantu untuk membuat perkiraan biaya besarnya harga kontrak pemeliharaan.
  6. Monitoring yang tepat sangat diperlukan karena selain dapat mengefisienkan biaya, kriteria tingkat pelayanan dari segala aset tetap terjamin.
  7. Indikator kinerja dan inspeksi kinerja yang diuraikan disini masih perlu dikaji lebih lanjut dalam penerapannya.

**Daftar Pustaka :**

1. Keppres No 80 (2003). Pedoman pelaksanaan pengadaan barang/jasa instansi pemerintah. Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah 2003.
2. Malcolm Frost (2001). Imperatives future road system management improved road maintenance productivity the Australian case. 14<sup>th</sup> IRF World congress. Paris. France.

3. Rantetoding P. (2001). The Advantages and Disadvantages of Performance Based Contract Implementation for Indonesia. Seminar Cum Workshop on Performance Based Maintenance Contract. Indonesian Road Development Association (IRDA) and PT Jasa Marga (Persero). Jakarta, 19 – 20 July 2001, p. 45 –63.
4. Salim Mahmud, Ir. (1995). Penelitian pengembangan model penurunan kondisi perkerasan lentur. Pusat Penelitian dan Pengembangan jalan. Badan penelitian dan Pengembangan PU. Bandung.
5. The World Bank (2002). Sample Bidding Document. Procurement of Performance-based management and maintenance of Roads. Washington, DC.
6. Transit New Zealand (2002). Performance Specified Maintenance Contract PSMC 001. TNZ Contract No.2/98-025/601. New Zealand.
7. Zietlow G. (2002). Cutting costs and improving quality through Performance-Based Road Management and Maintenance Contracts – The Latin American and OECD Experiences-. University of Birmingham (UK)/Transit New Zealand, Senior Road Executive Courses, Innovations in Road Management. Birmingham, 27 – 31, May 2002.
8. Zietlow G. and Bull A. (1999). Performance Specified Road Maintenance Contracts – The Road to the future the Latin American perspective. XXIst World Congress Kuala Lumpur, 3-9 October 1999.

**Penulis :**

*Djoko Widajat, DR., MSc, Ajun Peneliti Madya, Bidang Bahan dan Perkerasan Jalan, Pusat Litbang Prasarana Transportasi Badan Litbang Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah.*



## RESEARCH ON TRAFFIC CONGESTION AND APPROPRIATE TRAFFIC MANAGEMENT COUNTERMEASURES FOR ARTERIAL ROAD

*M. Sjahdanulirwan  
Agus Bari Syailendra  
Handiyana*

### **SUMMARY**

*Research and Development Center for Road Infrastructure undertook a research activities to investigate such a set of strategies or options to reduce traffic congestion in urban and sub urban. The project identified 2 promising unconventional strategies and investigated the key outstanding issues associated with both strategies. This project preformed investigations into the travel efficiency of the strategies. There are obviously many other key variables of concern to engineers contemplating installation of unconventional alternative, such as accident rates, acceptance by the traveling public, right-of-way costs, and construction costs. But the most important factor which engineer concerned is travel time efficiency. However, if an unconventional alternative does not reduce travel times, engineers will not consider it, and the effect on these other variables is unimportant. The effects of some of these other variables can be found in other reference (4) and need to be investigated for Indonesian condition. This paper present the results of fence and median installation and issues to be considered.*

### **RINGKASAN.**

*Pusat Penelitian dan Pengembangan Prasarana Transportasi telah melakukan aktifitas litbang untuk menyelidiki sejumlah strategi atau opsi untuk mengurangi kemacetan lalu lintas di perkotaan dan sekitar perkotaan.*

*Studi mengidentifikasi 2 strategi bukan - konvensional yang cukup menjanjikan serta menyelidiki isu isu utama yang terkait dengan strategi tersebut. Studi ini mengarah pada penyelidikan efisiensi perjalanan dari masing-masing strategi. Tentunya ada variable lain yang menjadi perhatian ahli teknik terkait alternatif bukan - konvensional, seperti tingkat kecelakaan, penerimaan pelaku perjalanan, biaya milik jalan dan biaya pembangunan. Namun faktor terpenting yang menjadi perhatian ahli teknik adalah efisiensi waktu perjalanan. Jika alternative bukan – konvensional tidak mengurangi waktu perjalananan, ahli teknik biasanya tidak tertarik, dan tentunya variable lain menjadi tidak penting. Pengaruh variable lain dapat dijumpai pada referensi yang ada (4) dan memang perlu penyelidikan untuk kondisi Indonesia. Makalah ini mengutarakan hasil-hasil penggunaan pagar dan median serta isu-isu yang terkait dengannya.*

### **Background**

Traffic congestion is a growing problem in most cities in Indonesia, especially on major urban and suburban arterials. Traffic engineers often face arterials on which:

- Nothing further can be done to relieve congestion with signal phasing, signal coordination, signal actuation, and other conventional operational techniques (at junction);
- Additional through or turn lanes are prohibitively expensive (at link);
- Grade separation at intersection is too costly and is resisted fiercely by local merchants.

There is a great need for a set of lower-cost operational and design strategies to reduce congestion at these locations.

### **EXPERIMENT DESCRIPTION**

The project team conducted two experiments on the efficiency of the strategies:

1. Fence installation along specific major arterial urban road.
2. Median installation on four-legged intersection between a four-lane arterial/toll access and a two-lane side street.

The primary purpose of the experiments was to determine whether the unconventional alternatives

showed promise of more efficient travel within the common ranges of several key variables. The project team could not model very possible combination of volumes and did not attempt to model them all. If the unconventional alternatives showed promise, engineers could create their own models to examine conditions at the specific intersection of interest to them.

Each experiment used KAJI (Kapasitas Jalan Indonesia) 2000, highway capacity software for Indonesia condition only, to compare the applicable unconventional strategies to a conventional design with direct. Kaji 2000 was the best choice for the experiment because of its ability to simulate a link or a junction for planning, designing and doing Operation mode. KAJI was developed by Directorate General of Highways, Ministry of Public Works in association with Sweroad, Sweden.

## SIMULATION RESULTS

### *First Strategy : Fence Installation*

The primary purpose of fence installation is to guide pedestrian especially at intersection area or at specific area along road link (traditional market or business center) that may obstruct and decrease road performance. The lengths of fence installation may vary; it depends on how long the road had induced by pedestrian or market activity. For this simulation, engineer installed the fence about 200 meters along the road to protect the road from roadside activity, which could degrade road performance. The road description are : 4 lane undivided, lane width 3 – 3.5 m, volume 900 – 1000 passanger car unit/lane/hour, and v/c ratio 0.7-0.8.

Figures 1 and 2 shows typical of fence installation



Figure 1. Fence Installation on link

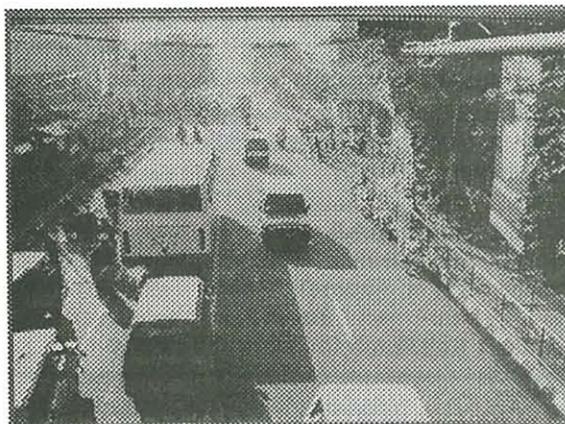


Figure 2. Fence Installation at junction

Kaji showed the result of simulation between existing condition and treatment. Vehicle speed before treatment ran between 15 km/h to 25 km/h. Vehicle speed increasing significantly up to 20 km/h or 35 km/h after treatment. This means the treatment contribute performance increasing up to 40 % effectively. In addition, volume increased to 1000 – 1100 pcu/lane/hour, and v/c ratio increased to 0.8 – 0.85.

Tabel 1 showed, Kaji simulation result for first strategy (fence installation):

Table 1.  
Kaji result for first strategy

Before	After
High Side Friction	Low Side Friction
V = 15 km/h to	V = 20 km/h to
V = 25 km/h	V = 35 km/h
Increasing V (Vehicle Speed) = 40 % effectively	

### *Second strategy : Median Installation*

The primary purpose of median installation at specific intersection is to reduce primary conflict by giving appropriate weaving length at major arterial road. At the glance it's seem like oval roundabout with vertical diameter closed to zero.

This strategy was appropriate to solve traffic congestion at intersection where there is no space available for capacity increasing.

The strategy was to install median crossing side street and serving weaving section on major road by giving u-turn where located about 600 meters from center of intersection. The major road is toll access, 4 lane divided, lane width 3,5m, volume 900 – 1000 pcu/lane/hour, and v/c ratio 1 – 2.9 (using 2 lane as 3 lane and shoulder utilization). The side street, however, have a greater volume :

1000 – 1100 pcu/lane/hour, 4 lane divided, lane width 3 m, and v/c ratio 1.9 – 3.6 (again, by utilization of lane width and shoulder). Theoretically, the v/c ratio is not more than 1, but in practice the problems are utilization of shoulder and lane width for vehicle. Figure 4 shows detail installation of strategy.

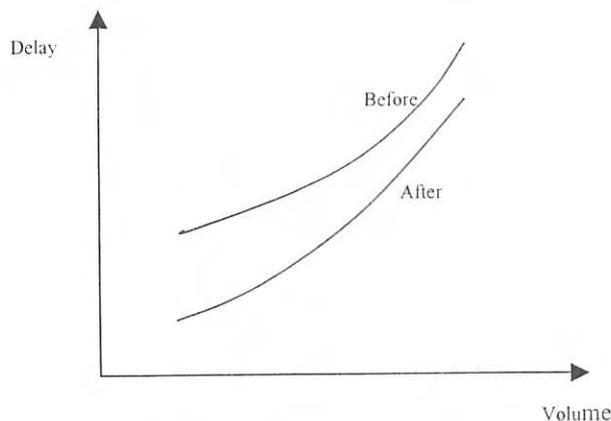
Table 2 shown, KAJI simulation result for second strategy (median installation) has shown below:

**Table 2**  
Kaji result for second strategy

Before	After
<ul style="list-style-type: none"> <li>With traffic signal (3 phase)</li> <li>KAJI simulation result: average delay at junction = 33 minutes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Without traffic signal, installation median at junction for defining length on arterial road/toll access</li> <li>KAJI simulation result: average delay at junction 19 minutes</li> </ul>
Delay reducing = 14 minutes Efficiency increasing 40 %	

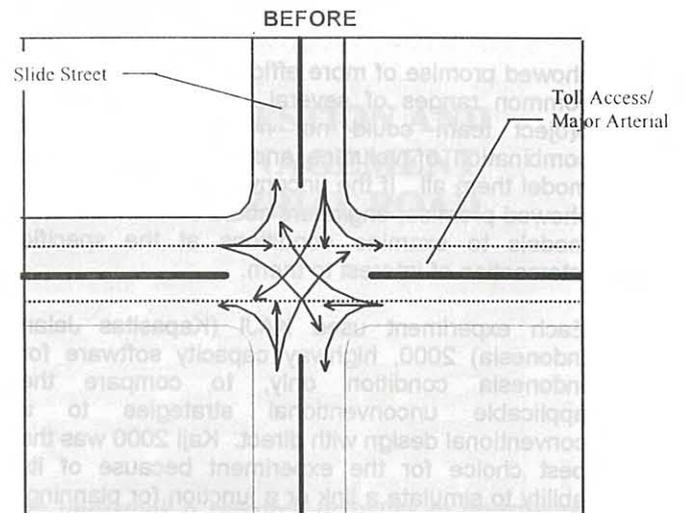
Table 2 shows that the efficiency of median installation major road increased. For the low and moderate through volumes, the treatment was the most efficient. At the highest through volume level, the median installation reduced total delay time by 40 percent over the standard configuration. It means total delay reducing approximately 14 minutes.

Figure 3 shows relationship between volume and average delay time, before and after installation.

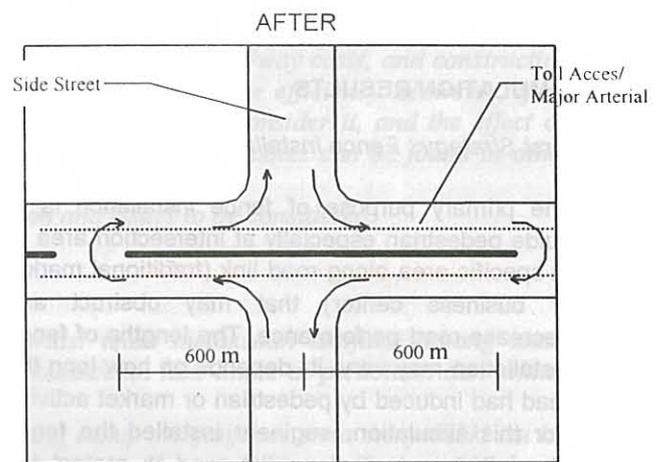


**Figure 3** Strategy effectiveness

Figure 4 and 5 shows junction condition before and after installation.



**Figure 4.** Junction condition before implementation



**Figure 5** Junction condition after implementation

#### ISSUES TO BE CONSIDERED

As mentioned above in background, there are several key issues to be considered for both strategies. Key issues should be considered are as follows :

1. Law enforcement  
Law enforcement is important to be considered. This is the tool to ensure and to protect road performance and fence effectiveness from roadside activity such as illegal market and others.
2. Safety  
Technical specification of countermeasure should consider safety, as important factor should be taken into account. For median installation, the height of median should not obstruct the view of driver.

And for fence design, should not obstruct the view of driver to the other side of the fence, some literature said as 'see through' fencing. This design ensure for driver to anticipate the activity inside the fence, such as child activity, or pedestrian crossing. Fence should be difficult to climb, with top of rail about 1 m above footway level.

## CONCLUSIONS

1. The results of the two experiments described above that unconventional alternatives have the potential to provide more efficient travel at some suburban arterial intersections. The experiments with four-legged intersections with median installed provided substantial reductions in travel time and stop, as good as fence installation.
2. Issues need to be considered are: law enforcement, to ensure countermeasure effectiveness, and appropriate countermeasure design to ensure and provide safety.

## References

1. Hummer, J.E., and J.L. Bone. Travel Efficiency of Unconventional Suburban Arterial Intersection Designs. In *Transportation Research Record* 1500, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 1995, pp.153-161
2. Kusnandar, E. Traffic congestion study in urban area. Research report, Research and Development Center for Road Infrastructure, Bandung, 2003.
3. Kaji Manual, Indonesian Highway Capacity Manual, Directorate General of Highway, Ministry of Public Works, 1997.
4. Towards Safer Roads in Developing Countries, A Guide for Planners and Engineers, Transport and Road Research Laboratory (TRRL) and Overseas Development Administration (ODA), 1<sup>st</sup> Edition, 1991

## Penulis :

1. **Dr. Ir. M. Sjahdanulirwan M.Sc.**, Ahli Peneliti Madya Bidang Teknik Jalan, dan Kepala Pusat Litbang Prasarana Transportasi, Departemen Pekerjaan Umum.
2. **Ir. Agus Bari Syailendra, M.Sc.**, Peneliti Madya Bidang Transportasi dan Lalu Lintas, dan Kepala Bidang Tata Operasional, Puslitbang Prasarana Transportasi.
3. **Ir. Handiyana**, Staff Balai Teknik Lalu Lintas dan Lingkungan Jalan, Puslitbang Prasarana Transportasi.



## PEMILIHAN ASPAL UNTUK VARIASI TEMPERATUR WAKTU PEMBEBANAN

*N o n o*

### **RINGKASAN**

*Kinerja campuran beraspal sangat tergantung terhadap kualitas agregat, kualitas aspal (kekakuan aspal) dan volumetrik campuran. Tulisan ini khusus membahas tentang pengaruh temperatur dan waktu pembebanan serta berdasarkan hasil evaluasi diharapkan sebagai bahan pertimbangan untuk pemilihan kelas aspal keras yang sesuai dengan temperatur dan waktu pembebanan yang direncanakan.*

*Berdasarkan beberapa literatur bahwa kekakuan aspal dipengaruhi waktu pembebanan dan temperatur. Hal ini dapat dipahami bahwa kekentalan aspal akan berubah sejalan dengan naiknya temperatur dan bila batas kemampuannya/kekentalannya dilampaui maka aspal tidak berfungsi lagi sebagai pengikat butiran agregat tetapi berfungsi sebagai pelumas.*

*Untuk mengevaluasi pengaruh temperatur dan waktu pembebanan pada masing-masing aspal keras pen 80, pen 60 dan pen 40, yaitu dengan mensimulasikan model Van Der Poel. Adapun hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa untuk mempertahankan kekakuan aspal (Stiffness Asphalt) sebesar 5 MPa pada waktu pembebanan yang relatif lama (0,01 detik) yang tahan terhadap temperatur yang relatif tinggi adalah Aspal Keras dengan Penetrasi yang rendah.*

### **SUMMARY**

*Performance of asphalt mixture is very much depends on properties or quality of aggregate and asphalt as well as volumetric of asphalt mixtures. This paper will specifically discuss the effect of temperature and the loading time based on the expected result of evaluation as a guide for selection of asphalt grade which appropriate to the design of temperature and loading time.*

*According to several literatures, in most ways asphalt stiffness is influenced by the time of loading and temperature. It is known that viscosity of asphalt will change in accordance with the increasing of temperature and if the viscosity of asphalt exceeded, the function of asphalt is not as a binder of aggregate but as a lubricant.*

*To evaluate the effect of temperature and loading time on each asphalt cement with 80, 60 and 40 penetration grade, Van Der Poel's Model is simulated. The result indicated that to maintain asphalt stiffness of 5 MPa on a longer loading time (0.01 second) which resistance on high temperature is asphalt cement with low penetration grade.*

## **I. PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Campuran beraspal panas didefinisikan sebagai kombinasi antara agregat yang dicampur merata dan dilapis dengan aspal keras. Untuk mengeringkan agregat dan mencairkan aspal agar mudah dicampur dan dipadatkan dengan baik maka sebelum pencampuran bahan tersebut harus dipanaskan.

Sejalan dengan sifat yang dimiliki aspal, yaitu sangat dipengaruhi oleh temperatur. Disamping itu, kekakuan aspal dipengaruhi juga oleh lamanya waktu pembebanan. Berhubung aspal merupakan bagian dari campuran beraspal yang berfungsi sebagai bahan pengikat butiran agregat maka sifat campuran pun akan mengalami perubahan sejalan

dengan berubahnya temperatur dan lamanya waktu pembebanan.

Pada penelitian ini, penulis akan mencoba mengevaluasi pengaruh variasi waktu pembebanan dan temperatur terhadap kekakuan aspal dengan menggunakan rumus Van Der Poel untuk beberapa variasi kelas aspal.

### **1.2. Pembatasan Masalah**

Sebagaimana disebutkan pada Butir 1.1 bahwa sifat aspal dipengaruhi oleh temperatur dan waktu pembebanan maka untuk pemilihan aspal adalah menggunakan model yang dibuat oleh Van Der Poel. Adapun jenis aspal yang diuji adalah hanya Aspal Keras Pen 80, Pen 60 dan Pen 40.

### 1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah mengevaluasi sifat aspal yang tepat untuk variasi temperatur dan waktu pembebanan.

## II. KAJIAN PUSTAKA

### 2.1. Aspal

Berdasarkan NAPA (1996) yang dicuplik dari Epps, J.A (1986) mengatakan bahwa aspal yang ideal yang dapat memperbaiki atau meningkatkan sifat atau karakteristik campuran dan kemudahan kerja adalah aspal yang memiliki karakteristik sebagai berikut:

- Kekakuan rendah atau viskositas yang cukup sehingga tidak memerlukan temperatur tinggi untuk pemompaan, pencampuran dan pemadatan.
- Kekakuan tinggi pada saat temperatur tinggi (musim panas) untuk menghindari alur (rutting) dan shoving.
- Kekakuan rendah pada saat temperatur rendah (musim dingin) untuk menghindari retak.
- Kelekatan terhadap agregat yang tinggi untuk menghindari stripping.

Beberapa negara telah mengembangkan model atau hubungan antara jumlah repetisi beban (umur layan) dengan karakteristik campuran, seperti model yang dikembangkan oleh Shell sebagaimana ditunjukkan pada Persamaan 1. Pada Persamaan 1 terlihat bahwa keruntuhan campuran beraspal erat kaitannya dengan volumetrik campuran dan kekakuan campuran. Sedangkan kekakuan campuran selain dipengaruhi oleh volumetrik campuran juga oleh kekakuan aspal (Persamaan 2 dan 3).

$$N = \left[ \frac{6918 - V_B + 1.08}{S_{mix}^{0.36} \mu \epsilon_h} \right]^5 \dots\dots (1)$$

dimana:

N = Jumlah repetisi beban, Esa

$V_B$  = Volume aspal, %

$\mu \epsilon_h$  = Regangan horizontal, mikrostrains

$S_{mix}$  = Kekakuan campuran, MPa

$$= S_b \left[ 1 + \frac{257.5 - 2.5VMA}{n(VMA - 3)} \right]^n \dots(2)$$

$$n = 0,83 \log_{10} \left( \frac{4 \times 10^4}{S_b} \right) \dots\dots (3)$$

dimana :

- VMA= Rongga dalam agregat, %  
(12% < VMA < 30%)

-  $S_b$  = Kekakuan aspal, Mpa > 5 MPa

Adapun model kekakuan aspal telah dikembangkan juga oleh Van Der Poel yang disajikan dengan nomograph dan rumus, model kekakuan aspal

tersebut adalah sebagai berikut (Collop A C dkk, 1994):

$$S_b = 1157 \times 10^{-7} t_1^{-0.368} 2,716^{PI^{(R)}} (T_{RB}^{(R)} - T_{asp})^5 \dots(4)$$

dimana:

$S_b$  = Kekakuan aspal (MPa)

$T_{RB}^{(R)}$  = Titik lembek setelah pemulihan (°C)

$T_{asp}$  = Temperatur lapis beraspal (°C)

$PI^{(R)}$  = Penetrasi Indeks setelah pemulihan

$t_1$  = Waktu pembebanan (detik)

Persamaan di atas hanya berlaku bila :

- 0,01 detik <  $t_1$  < 0,1 detik,
- -1,0 <  $PI^{(R)}$  < 1,0,
- 20°C < ( $T_{RB}^{(R)} - T_{asp}$ ) < 60°C.

Untuk memperoleh besaran ( $T_{RB}^{(R)}$  dan  $PI^{(R)}$ ) dapat diestimasi dengan nilai penetrasi aspal fresh/awal ( $P^{(1)}$ ), persamaannya adalah sebagai berikut:

$$P^{(R)} = 0,65 P^{(1)} \dots\dots\dots (5)$$

$$T_{RB}^{(R)} = 98,4 - 26,35 \log_{10} (P^{(R)}) \dots\dots (6)$$

$$PI^{(R)} = \frac{27 \log_{10} P^{(1)} - 21,65}{76,35 \log_{10} P^{(1)} - 232,82} \dots (7)$$

dimana:  $P^{(1)}$  = Penetrasi aspal fresh/awal

Adapun waktu pembebanan yang efektif  $t_1$  dapat diestimasi dengan rumus sebagai berikut :

$$\log_{10}(t_1) = 5 \times 10^{-4} h_{asp} - 0,2 - 0,94 \log_{10}(V) \dots(8)$$

dimana:

$h_{asp}$  = Tebal lapis beraspal (mm)

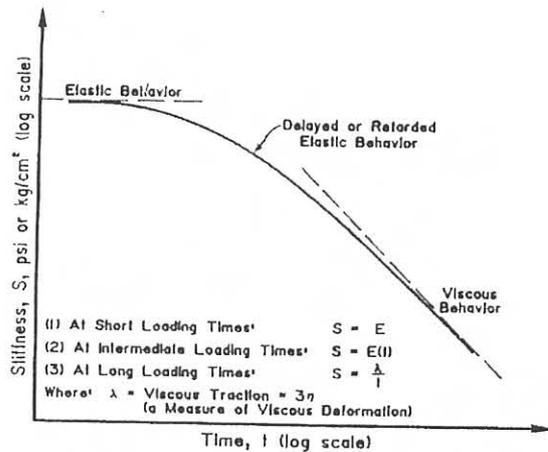
V = Kecepatan kendaraan (km/jam)

Kekakuan aspal sebagaimana ditunjukkan pada Persamaan 4 adalah sangat tergantung terhadap waktu pembebanan dan temperatur lapangan. Namun bila memperhatikan batasan-batasannya maka Persamaan 4 hanya berlaku untuk waktu pembebanan paling lama < 0,1 detik (kecepatan kendaraan > 10 km/jam) dan bila  $T_{RB}^{(R)} = 60$  °C maka hanya berlaku untuk temperatur lapangan maksimum 40 °C.

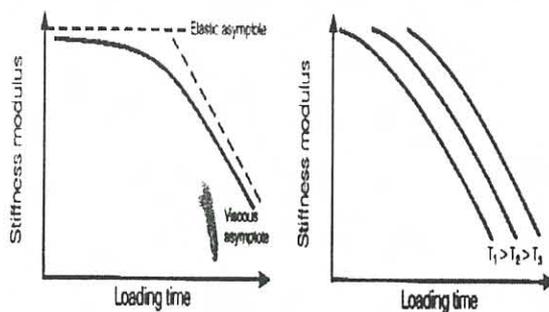
Hubungan antara kekakuan aspal dengan waktu pembebanan berdasarkan NAPA (1991) sebagaimana diilustrasikan pada Gambar 1.

Sedangkan menurut The Shell Bitumen Hand Book (1995) mengilustrasikan tentang hubungan antara kekakuan aspal dengan variasi temperatur dan waktu pembebanan, yaitu sebagaimana diilustrasikan pada Gambar 2.

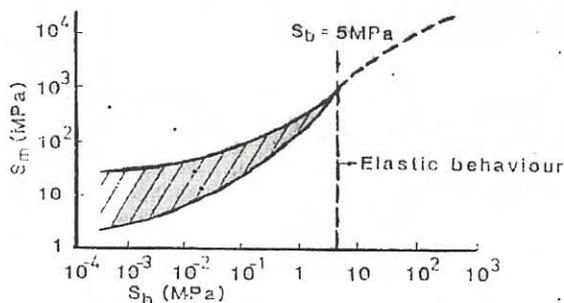
Adapun kekakuan aspal yang disarankan untuk memperoleh kekakuan campuran yang memiliki elastisitas yang diharapkan adalah sebesar 5 MPa atau sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3 (S.F. Brown- University of Nottingham).



Gambar 1. Ilustrasi hubungan antara kekakuan aspal dengan waktu pembebanan



Gambar 2. Ilustrasi hubungan antara kekakuan aspal dengan waktu pembebanan dan tempetarur



Gambar 3. Batas elastisitas atau kekakuan aspal

Berdasarkan The Asphalt Institute Manual Series No. 2 (MS-2) tahun 1993, bahwa pemilihan aspal harus disesuaikan dengan kondisi temperatur lapangan dan untuk temperatur lapangan yang panas atau temperatur udara rata-rata tahunan lebih besar atau sama dengan 24°C maka disarankan menggunakan AC-20, AR-8000 dan Aspal Keras Pen 60 atau AC-40, AR-16000 dan Aspal Keras Pen 40.

Adapun berdasarkan The Asphalt Institute Superpave Series No.1 (SP-1) tahun 1997 menyarankan bahwa untuk kecepatan kendaraan yang lambat atau waktu pembebanan yang relatif lama sebaiknya menggunakan aspal dengan PG 64. Sedangkan untuk waktu pembebanan lama (beban statis) dan temperatur lapangan tinggi, disarankan menggunakan aspal dengan PG 70.

## 2.2. Persyaratan Aspal

Sebagai acuan dalam pengujian, spesifikasi aspal yang diacu adalah RSNI S-01-2003 sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1.

## 2.3. Hipotesa

Aspal Keras yang memiliki titik leleh tinggi akan memiliki kekakuan tinggi atau lebih tahan terhadap temperatur yang lebih tinggi dan waktu pembebanan yang relatif lama.

## III. METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1. Umum

Kegiatan pengkajian ini dilakukan di laboratorium meliputi pengujian sifat aspal pada kondisi fresh dan setelah mengalami pemanasan dengan alat Thin Film Oven Test (simulasi pemanasan pada proses pencampuran).

Bahan pengikat yang digunakan adalah aspal keras Pen 40, Pen 60 dan Pen 80 yang diperoleh dari pemasok aspal.

### 3.2. Tahapan Penelitian

Untuk mencapai tujuan dari penelitian maka dilakukan tahapan kegiatan sebagai berikut:

- Melakukan pengujian sifat fisik beberapa aspal untuk ke tiga kelas aspal.
- Sebagai tahapan kegiatan akhir dari penelitian ini adalah melakukan analisa terhadap hasil pengujian beberapa aspal untuk ke tiga kelas aspal dengan menggunakan model kekakuan aspal ( $S_b$ ) yang dibuat Van Der Poel untuk variasi temperatur dan waktu pembebanan.

Tabel 1.  
Persyaratan Aspal Keras Berdasarkan Penetrasi

No.	Jenis Pengujian	Satuan	Metode	Persyaratan		
				Pen 40	Pen 60	Pen 80
1.	Penetrasi, 25 °C, 100 gr, 5 detik	0,01 mm	SNI 06-2456-1991	40 - 59	60 - 79	80 - 99
2.	Titik Lembek	°C	SNI 06-2434-1991	51 - 63	(50 - 58)	(46 - 54)
3.	Titik Nyala	°C	SNI 06-2433-1991	Min. 200	Min. 200	Min. 225
4.	Daktilitas, 25 °C	cm	SNI 06-2432-1991	Min. 100	Min. 100	Min. 100
5.	Kelarutan dalam Trichlor Etylen	% berat	SNI 06-2438-1991	Min. 99	Min. 99	Min. 99
6.	Penurunan Berat (dengan TFOT)	% berat	SNI 06-2441-1991	Max. 0,8	Max. 0,8	Max. 1,0
7.	Penetrasi setelah penurunan berat	% asli	SNI 06-2456-1991	Min. 58	Min. 54	Min. 50
8.	Daktilitas setelah penurunan berat	cm	SNI 06-2432-1991	Min. 50	Min. 50	Min. 75
9.	Berat jenis		SNI 06-2488-1991	Min. 1,0	Min. 1,0	Min. 1,0
10	Uji bintik - Standar Naptha - Naptha Xylene - Hephtane Xylene	-	AASHTO T. 102	Negatif		

Catatan :

Penggunaan pengujian spot tes adalah pilihan (optimal).

Apabila disyaratkan direksi dapat menentukan pelarut yang akan digunakan, naptha, naptha xylene atau heptane xylene

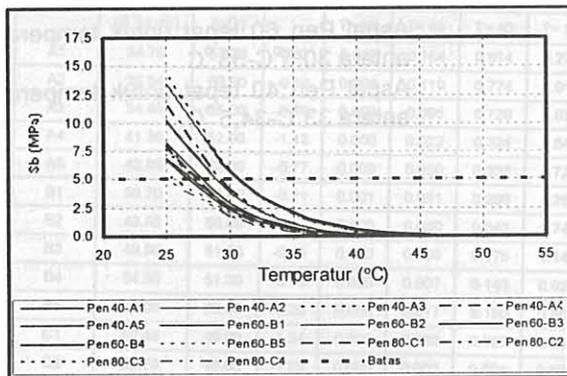
#### IV. HASIL PENGUJIAN

##### 4.1. Sifat-sifat Aspal

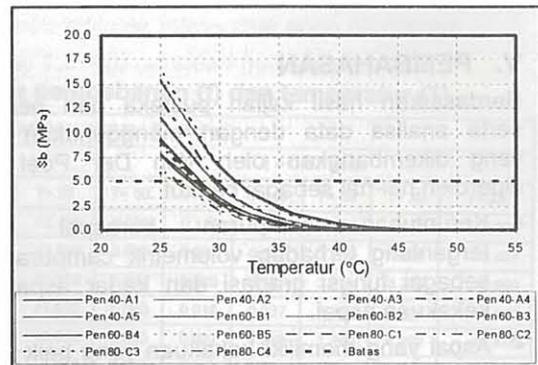
Sesuai dengan pengujian yang telah dilakukan, sifat-sifat Aspal Pen 40, Pen 60 dan Pen 80 ditunjukkan pada Tabel 2. Pada Tabel 2 terlihat bahwa semua aspal yang telah dilakukan pengujian memenuhi persyaratan.

##### 4.2. Hubungan kekakuan aspal dengan waktu pembebanan dan temperatur

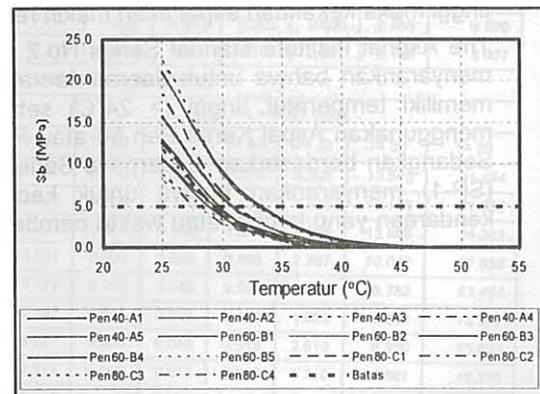
Dengan menggunakan model yang telah dikembangkan oleh Van der Poel maka untuk semua aspal diperoleh hubungan antara kekakuan aspal dengan temperatur dan waktu pembebanan. Yaitu sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 3, Gambar 4 (untuk waktu pembebanan,  $t = 0,1$  detik), Gambar 5 (untuk waktu pembebanan,  $t = 0,07$  detik), Gambar 6 (untuk waktu pembebanan,  $t = 0,03$  detik) dan Gambar 7 (untuk waktu pembebanan,  $t = 0,01$  detik).



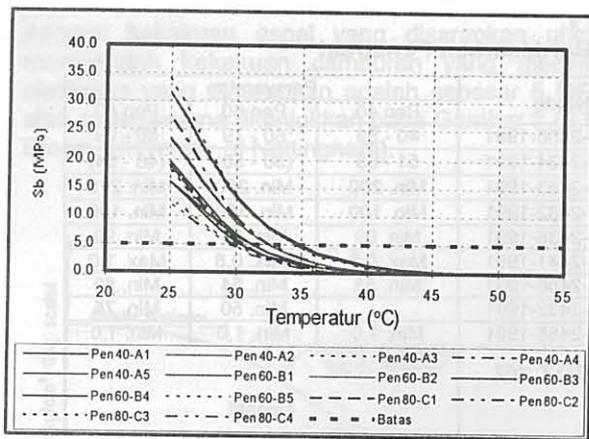
Gambar 4. Hubungan kekakuan aspal dengan temperatur untuk waktu pembebanan,  $t = 0,1$  detik



Gambar 5. Hubungan kekakuan aspal dengan temperatur untuk waktu pembebanan,  $t = 0,07$  detik



Gambar 6. Hubungan kekakuan aspal dengan temperatur untuk waktu pembebanan,  $t = 0,03$  detik



Gambar 7. Hubungan kekakuan aspal dengan temperatur untuk waktu pembebanan,  $t = 0,01$  detik

## V. PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil kajian pustaka dan pengujian serta analisa data dengan menggunakan model yang dikembangkan oleh Van Der Poel maka diperoleh hal-hal sebagai berikut :

- Keruntuhan campuran beraspal sangat tergantung terhadap volumetrik campuran atau sebagai fungsi gradasi dan kadar aspal serta kekakuan aspal.
- Aspal yang memiliki kekakuan yang baik adalah memiliki sifat tidak peka terhadap perubahan temperatur.
- Berdasarkan beberapa literatur diperoleh bahwa kekakuan aspal dipengaruhi temperatur dan waktu pembebanan sehingga bila waktu pembebanan makin lama dan temperatur makin tinggi maka kekakuan aspal akan makin rendah.
- The Asphalt Institute Manual Series No.2 (MS-2) menyarankan bahwa untuk daerah-daerah yang memiliki temperatur tinggi ( $> 24^{\circ}\text{C}$ ) sebaiknya menggunakan Aspal Keras Pen 60 atau Pen 40. Sedangkan berdasarkan Superpave Series No.1 (SP-1) menyarankan bahwa untuk kecepatan kendaraan yang lambat atau waktu pembebanan yang relatif lama menggunakan aspal dengan PG 64, sedangkan untuk waktu pembebanan lama (beban statis) dan temperatur tinggi sebaiknya menggunakan aspal dengan PG 70.
- Hasil pengujian diperoleh bahwa Aspal Keras Pen 40, Pen 60 dan Pen 80 memenuhi persyaratan sesuai dengan RSNI S-01-2003.
- Bila menggunakan batasan kekakuan aspal ( $S_b$ ) minimum 5 MPa yang dapat memberikan kekakuan campuran yang dipandang baik maka penggunaan masing-masing kelas aspal untuk variasi waktu pembebanan adalah lebih tepat untuk temperatur sebagai berikut:
  - ✓ Untuk waktu pembebanan ( $t = 0,1$  detik)
    - Aspal Pen 80 tepat untuk temperatur antara  $25^{\circ}\text{C}$ - $27^{\circ}\text{C}$ .
    - Aspal Pen 60 tepat untuk temperatur antara  $27^{\circ}\text{C}$ - $28,5^{\circ}\text{C}$ .
    - Aspal Pen 40 tepat untuk temperatur antara  $28,5^{\circ}\text{C}$ - $31^{\circ}\text{C}$ .
  - ✓ Untuk waktu pembebanan ( $t = 0,07$  detik)
    - Aspal Pen 80 tepat untuk temperatur antara  $26^{\circ}\text{C}$ - $28^{\circ}\text{C}$ .
    - Aspal Pen 60 tepat untuk temperatur antara  $28^{\circ}\text{C}$ - $29,5^{\circ}\text{C}$ .
    - Aspal Pen 40 hanya tepat untuk temperatur antara  $29,5^{\circ}\text{C}$ - $31,5^{\circ}\text{C}$ .
  - ✓ Untuk waktu pembebanan ( $t = 0,03$  detik)
    - Aspal Pen 80 tepat untuk temperatur antara  $27,5^{\circ}\text{C}$ - $29^{\circ}\text{C}$ .
    - Aspal Pen 60 tepat untuk temperatur antara  $29^{\circ}\text{C}$ - $30,5^{\circ}\text{C}$ .
    - Aspal Pen 40 tepat untuk temperatur antara  $30,5^{\circ}\text{C}$ - $33^{\circ}\text{C}$ .
  - ✓ Untuk waktu pembebanan ( $t = 0,01$  detik)
    - Aspal Pen 80 tepat untuk temperatur antara  $29^{\circ}\text{C}$ - $30,5^{\circ}\text{C}$ .
    - Aspal Pen 60 tepat untuk temperatur antara  $30,5^{\circ}\text{C}$ - $33^{\circ}\text{C}$ .
    - Aspal Pen 40 tepat untuk temperatur antara  $33^{\circ}\text{C}$ - $34,5^{\circ}\text{C}$ .

**Tabel 2.**  
**Sifat Aspal Keras Pen 40, Pen 60 dan Pen 80**

JENIS PENGUJIAN	HASIL PENGUJIAN													
	Aspal Keras Pen 40					Aspal Keras Pen 60					Aspal Keras Pen 80			
	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	C1	C2	C3	C4
1. Penetrasi (0,1 mm)	44	44	46	47	51	65	65	68	70	71	82	85	88	88
2. Titik lembek (°C)	52	54	52	52	52	49	49	48	48.4	48	48	47	47.8	46
3. Daktilitas (cm)	>140	140	>140	>140	>140	>140	>140	>140	>140	>140	>140	>140	>140	>140
4. Kelarutan dlm C2HCl3 (%)	99.25	99	99.3	99.29	99.41	99.81	99.29	99	99.76	99.92	99.87	99.52	99.35	99.92
5. Titik nyala (°C)	279	274	269	299	340	287	292	328	298	285	280	297	281	264
6. Berat Jenis	1.036	1.033	1.05	1.05	1.04	1.041	1.05	1.03	1.04	1.039	1.042	1.037	1.031	1.05
PI	-1.0	-0.5	-0.9	-0.9	-0.7	-0.8	-0.8	1.0	-0.8	-0.9	-0.5	-0.7	-0.3	-0.9
7. Kehilangan berat (%)	0.237	0.144	0.126	0.146	0.057	0.349	0.139	0.02	0.197	0.184	0.184	0.219	0.191	0.135
8. Penetrasi stlh kehil. Brt. (0,1mm)	35	36	35	41	44	51	44	50	55	56	52	53	54	59
(%)	79	81	76	88	86	78	67	73.5	78	79	64	62	61	67
9. Titik Lembek stlh kehil. Brt. (°C)	57.2	56	55	52	53	54	53	51	51	53	49	49	49	52
10. Daktilitas stlh keh. brt. (cm)	>140	>140	>140	>140	>140	>140	>140	>140	>140	>140	>140	>140	125	>140
Pir	-0.4	-0.6	-0.8	-1.1	-0.8	-0.2	-0.8	1.0	-0.7	-0.2	-1.3	-1.3	-1.3	-0.3

**Tabel 3.**  
**Hubungan antara kekakuan variasi dengan waktu pembebanan (t) dan temperatur (T)**

KELAS ASPAL	Pr (0,1mm)	SPr (oC)	Pir	KEKAKUAN ASPAL, Sb (MPa)											
				t = 0,1 detik						t = 0,07 detik					
				T= 50	T= 45	T= 40	T= 35	T= 30	T= 25	T= 50	T= 45	T= 40	T= 35	T= 30	T= 25
A1	34.76	57.20	-0.37	0.008	0.105	0.587	2.102	5.805	13.496	0.009	0.120	0.669	2.397	6.619	15.390
A2	35.64	56.00	-0.56	0.004	0.076	0.497	1.935	5.629	13.565	0.004	0.087	0.567	2.206	6.419	15.467
A3	34.96	55.00	-0.81	0.002	0.061	0.462	1.947	5.942	14.786	0.002	0.069	0.527	2.220	6.776	16.860
A4	41.36	52.00	-1.13	0.000	0.014	0.208	1.186	4.303	11.982	0.000	0.016	0.237	1.352	4.907	13.662
A5	43.86	53.00	-0.77	0.000	0.019	0.217	1.105	3.764	10.064	0.000	0.022	0.248	1.260	4.292	11.476
B1	50.70	54.00	-0.21	0.000	0.020	0.180	0.827	2.659	6.849	0.000	0.022	0.205	0.943	3.032	7.810
B2	43.55	53.00	-0.79	0.000	0.019	0.221	1.122	3.823	10.222	0.000	0.022	0.251	1.280	4.359	11.656
B3	49.98	51.00	-0.95	0.000	0.005	0.113	0.733	2.854	8.304	0.000	0.006	0.128	0.836	3.255	9.469
B4	54.60	51.00	-0.75	0.000	0.004	0.092	0.596	2.323	6.758	0.000	0.005	0.104	0.680	2.649	7.705
B5	56.09	53.00	-0.20	0.000	0.011	0.122	0.622	2.118	5.663	0.000	0.012	0.139	0.709	2.415	6.457
C1	52.48	49.00	-1.34	0.000	0.001	0.061	0.554	2.553	8.208	0.000	0.001	0.069	0.632	2.911	9.360
C2	52.70	49.00	-1.33	0.000	0.001	0.060	0.549	2.528	8.131	0.000	0.001	0.069	0.626	2.883	9.271
C3	53.68	49.00	-1.29	0.000	0.001	0.058	0.527	2.425	7.797	0.000	0.001	0.066	0.600	2.765	8.890
C4	58.96	52.00	-0.31	0.000	0.006	0.092	0.524	1.902	5.294	0.000	0.007	0.105	0.597	2.168	6.037

KELAS ASPAL	Pr (0,1mm)	SPr (oC)	Pir	KEKAKUAN ASPAL, Sb (MPa)											
				t = 0,03 detik						t = 0,01 detik					
				T= 50	T= 45	T= 40	T= 35	T= 30	T= 25	T= 50	T= 45	T= 40	T= 35	T= 30	T= 25
A1	34.76	57.20	-0.37	0.012	0.164	0.914	3.274	9.041	21.020	0.018	0.246	1.370	4.906	13.545	31.494
A2	35.64	56.00	-0.56	0.006	0.119	0.774	3.014	8.768	21.127	0.009	0.178	1.159	4.515	13.136	31.653
A3	34.96	55.00	-0.81	0.003	0.095	0.720	3.033	9.255	23.029	0.004	0.142	1.078	4.544	13.866	34.503
A4	41.36	52.00	-1.13	0.000	0.022	0.324	1.847	6.702	18.661	0.000	0.033	0.485	2.767	10.042	27.958
A5	43.86	53.00	-0.77	0.000	0.030	0.338	1.721	5.862	15.674	0.000	0.045	0.507	2.578	8.783	23.484
B1	50.70	54.00	-0.21	0.001	0.031	0.280	1.288	4.141	10.667	0.001	0.046	0.419	1.929	6.204	15.982
B2	43.55	53.00	-0.79	0.000	0.030	0.343	1.748	5.954	15.921	0.000	0.045	0.515	2.619	8.920	23.853
B3	49.98	51.00	-0.95	0.000	0.008	0.175	1.141	4.446	12.934	0.000	0.013	0.263	1.710	6.661	19.378
B4	54.60	51.00	-0.75	0.000	0.007	0.143	0.929	3.618	10.525	0.000	0.010	0.214	1.392	5.420	15.769
B5	56.09	53.00	-0.20	0.000	0.017	0.190	0.968	3.299	8.820	0.000	0.025	0.285	1.451	4.942	13.215
C1	52.48	49.00	-1.34	0.000	0.002	0.095	0.863	3.975	12.784	0.000	0.002	0.142	1.294	5.956	19.154
C2	52.70	49.00	-1.33	0.000	0.002	0.094	0.855	3.938	12.664	0.000	0.002	0.141	1.282	5.900	18.973
C3	53.68	49.00	-1.29	0.000	0.002	0.090	0.820	3.776	12.143	0.000	0.002	0.135	1.229	5.658	18.194
C4	58.96	52.00	-0.31	0.000	0.010	0.143	0.816	2.962	8.246	0.000	0.014	0.214	1.222	4.437	12.354

$S_b = 1,157 \times 10^{-7} \times t^{0,368} \times 2,718^{-Pir} \times (SPr-T)^5$

A = Aspal Keras Pen 40

B = Aspal Keras Pen 60

C = Aspal Keras Pen 80

## VI. KESIMPULAN

Hasil kajian pustaka dan pengujian laboratorium serta berdasarkan model kekakuan aspal (Sb) yang dikembangkan oleh Van Der Poel dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Keruntuhan campuran beraspal sangat tergantung terhadap volumetrik campuran dan kekakuan aspal.
- Aspal yang memiliki kekakuan baik adalah memiliki sifat kekakuan yang tidak peka terhadap perubahan temperatur.
- Bila menggunakan batasan kekakuan aspal (Sb) minimum 5 MPa maka masing-masing kelas aspal untuk beberapa variasi waktu pembebanan adalah akan lebih tepat bila digunakan pada temperatur sebagai berikut:
  - ✓ Untuk waktu pembebanan (t) = 0,1 detik
    - Aspal Keras Pen 80 tepat untuk temperatur maksimum 27°C.
    - Aspal Keras Pen 60 tepat untuk temperatur maksimum 28,5°C.
    - Aspal Keras Pen 40 tepat untuk temperatur maksimum 31°C.
  - ✓ Untuk waktu pembebanan (t) = 0,07 detik
    - Aspal Keras Pen 80 tepat untuk temperatur maksimum 28°C.
    - Aspal Keras Pen 60 tepat untuk temperatur maksimum 29,5°C.
    - Aspal Keras Pen 40 hanya tepat untuk temperatur maksimum 31,5°C.
  - ✓ Untuk waktu pembebanan (t) = 0,03 detik
    - Aspal Keras Pen 80 tepat untuk temperatur maksimum 29°C.
    - Aspal Keras Pen 60 tepat untuk temperatur maksimum 30,5°C.
    - Aspal Keras Pen 40 tepat untuk temperatur maksimum 33°C.
  - ✓ Untuk waktu pembebanan (t) = 0,01 detik
    - Aspal Keras Pen 80 tepat untuk temperatur maksimum 30,5°C.
    - Aspal Keras Pen 60 tepat untuk temperatur maksimum 33°C.
    - Aspal Keras Pen 40 tepat untuk temperatur maksimum 34,5°C.

- Untuk waktu pembebanan lama (< 0,1 detik) dan temperatur lapangan tinggi sebaiknya menggunakan aspal yang memiliki titik lembek tinggi atau setara dengan PG 70.

## DAFTAR PUSTAKA

- A.C. Collop (1994). Effects of Traffic and Temperatur on Flexible Pavement Wear. Cambridge University Engineering Departement, Cambridge.
- NAPA Research and Education Foundation (1996). Hot Mix Asphalt Materials, Mixture Design and Construction, Secon Edition, Lanham, Maryland.
- RSNI S-01-2003. Spesifikasi Aspal berdasarkan penetrasi, Jakarta.
- Shell Bitumen (1995). The Shell Bitumen Industrial HandBook, London
- SHRP (1994). Superior Performing Asphalt Pavements (Superpave): The Product of the SHRP Asphalt Research Program, SHRP-A-410. National Research Council, Washington DC.
- The Asphalt Institute-Superpave Series No.1, SP-1 (1997). Performace Grade binder Specification and Testing, USA.
- The Asphalt Institute's (1993). Mix Design Methods for Asphalt Concrete and Others Hot Mix Types, Manual Series No. 2. Second Edition, USA.
- SF Brown (1980). An Introduction To The Analytical design Of Bitumeminous Pavement. University Of Nottingham, London

### Penulis :

*Ir. Nono, MEng Sc, Ajun Peneliti Muda Bidang Prasarana Transportasi, Pusat Litbang Prasarana Transportasi, Badan Litbang Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah.*



## PERTIMBANGAN PADA LAPISAN PONDASI UNTUK PERKERASAN KAKU

*Furqon Affandi*

### RINGKASAN

*Pondasi pada perkerasan kaku mempunyai pengaruh yang penting pada masa pelayanan konstruksi tersebut, walaupun secara umum lapisan pondasi pada perkerasan kaku ini bukan ditujukan untuk menaikkan daya dukung dari lapisan tersebut.*

*Hal penting yang harus dipertimbangkan dari lapisan pondasi ini ialah untuk mencegah *pumping* yang mungkin terjadi, sehingga diperlukan bahan yang dapat "meloloskan air" atau bahan yang tahan terhadap erosi air atau *pumping*.*

*Tulisan ini membahas persyaratan bahan dan gradasi untuk agregat lepas (*unbound material*) yang dipergunakan pada lapis pondasi pada perkerasan kaku serta cara penggunaannya pada konstruksi perkerasan itu sendiri.*

### SUMMARY

*Pondasi pada perkerasan kaku mempunyai pengaruh yang penting pada masa pelayanan konstruksi tersebut, walaupun secara umum lapisan pondasi pada perkerasan kaku ini bukan ditujukan untuk menaikkan daya dukung dari lapisan tersebut.*

*Hal penting yang harus dipertimbangkan dari lapisan pondasi ini ialah untuk mencegah *pumping* yang mungkin terjadi, sehingga diperlukan bahan yang dapat "meloloskan air" atau bahan yang tahan terhadap erosi air atau *pumping*.*

*Tulisan ini membahas persyaratan bahan dan gradasi untuk agregat lepas (*unbound material*) yang dipergunakan pada lapis pondasi pada perkerasan kaku serta cara penggunaannya pada konstruksi perkerasan itu sendiri.*

### I. PENDAHULUAN

Perkerasan jalan secara garis besar dapat dibedakan atas dua macam, yaitu perkerasan lentur (beraspal) dan perkerasan kaku atau beton semen. Kedua perkerasan ini pada dasarnya memerlukan lapisan pondasi yang bisa terbuat dari berbagai jenis dan komposisi material. Walaupun perkerasan kaku mempunyai pelat beton dengan tebal dan mutu yang cukup tinggi, namun lapis pondasinya tetap memerlukan perhatian pula.

Lapis pondasi ialah lapis perkerasan yang terletak antara pelat beton dengan lapisan tanah dasar, yang bisa terbuat dari batu pecah, bahan berbutir yang distabilisasi dengan semen, beton kurus atau campuran agregat dengan aspal dalam berbagai tipe.

Fungsi dari lapisan pondasi tergantung pada jenis perkerasannya, dimana pada perkerasan kaku fungsi dari lapisan pondasi ialah untuk :

- Mencegah *pumping*
- Sebagai lapisan drainase
- Mencegah perubahan volume dari tanah dasar dan
- Sebagai lantai kerja pada pelaksanaan

Untuk Mencegah *pumping* lapisan pondasi harus bersifat dapat mengalirkan air atau tahan terhadap pengaruh erosi akibat air. Untuk menyediakan sifat pengaliran air yang baik, maka lapisan pondasi mungkin bergradasi baik atau tidak, tetapi harus mengandung sedikit atau tidak mengandung material halus.

Bahan pondasi bisa juga tidak perlu bisa mengalirkan air dengan baik guna mendapatkan daya dukung yang memadai, namun bahan tersebut harus bergradasi baik dan mempunyai ketahanan yang baik pula terhadap deformasi akibat beban berulang. Agar bahan tersebut tahan terhadap deformasi, seringkali bahan tersebut harus distabilisasi dengan semen atau aspal.

## II. LAPIS PONDASI PERKERASAN JALAN

### 2.1 Lapisan pondasi untuk perkerasan kaku

Beberapa bahan lapisan pondasi banyak dipengaruhi oleh masalah *pumping* yang sering terjadi pada lapisan tanah dasar yang bersifat plastis. *Pumping* yang terjadi pada lapis pondasi berbutir sama dengan yang terjadi pada tanah yang berbutir halus. Awalnya terjadi rongga yang diakibatkan oleh pembebanan berulang pada lapisan pondasi. Rongga ini bisa diakibatkan oleh kerena pemadatan yang tidak sempurna pada lapisan pondasi dan atau lapisan tanah dasar, atau terlalu banyaknya butiran halus pada lapisan pondasi yang akan menyebabkan deformasi permanen pada bagian atas dari lapisan pondasi ini. Selanjutnya air akan masuk ke dalam rongga tersebut, dan jika material tersebut bersifat gradasi rapat, maka air tersebut akan tetap diatas lapisan pondasi yang mengalami deformasi tersebut, sampai akhirnya akan keluar akibat lendutan dari pelat. Tetapi jika bahan lapisan pondasi tersebut adalah bersifat gradasi terbuka, maka air itu akan terus mengalir, sehingga *pumping* tidak akan terjadi.

Lapisan pondasi yang mudah sekali mengalami *pumping*, selanjutnya akan mengakibatkan kerusakan struktur pada perkerasan. Hal ini biasanya adalah karena bahan tersebut bergrasi jelek sekali dan terlalu banyak mengandung bahan halus. Pengaruh butiran halus dari berbagai jenis material lapis pondasi terhadap pengaruh air *pumping* yang dihasilkan nya dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1.  
Pengaruh distribusi ukuran agregat terhadap *pumping* dari berbagai macam tipe material lapis pondasi

Tipe pondasi	Prosentase material halus lolos No 200		
	Tidak ada <i>pumping</i>	Air <i>pumping</i> jernih	Material berbutir keluar dari tepi perkerasan
Gravel	7	12	12
Batu pecah	10	14	16
Pasir	17	19	19

Dari berbagai tempat sebagaimana diperlihatkan pada Tabel 1, bahwa *pumping* itu terjadi bila prosentase bahan halus lolos saringan no. 200 antara 3 dan 4 % dari bahan yang tidak mengalami *pumping*. Selanjutnya pengalaman di beberapa tempat, menunjukkan bahwa ketinggian muka air tanah tidak terlalu berpengaruh terhadap *pumping* dari lapisan pondasi jalan tersebut. Bahan yang distabilisasi dengan semen dengan perencanaan yang baik secara umum memberikan kinerja yang cukup memuaskan terhadap pengaruh *pumping*.

### 2.2 Tipe gradasi lapis pondasi

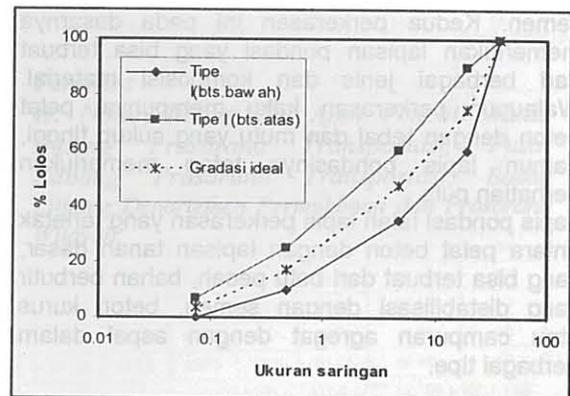
Lapisan pondasi seringkali dipergunakan pada perkerasan kaku untuk jalan raya, dimana pemilihan tipe pondasi pada umumnya tergantung pada lokasi dan faktor ekonomis dimana proyek pembangunan jalan tersebut akan dilaksanakan. Fungsi utama dari lapisan pondasi pada perkerasan kaku ialah untuk mencegah *pumping*, karenanya harus bersifat dapat mengalirkan air atau mempunyai ketahanan yang sangat kuat terhadap erosi akibat pengaruh air.

Agar pengaliran air pada lapisan pondasi dapat berjalan dengan baik, maka jumlah material halus harus sangat sedikit, atau disisi lain lapisan pondasi dengan gradasi rapat dapat digunakan asal dapat diyakini mempunyai ketahanan terhadap erosi akibat air yang cukup baik.

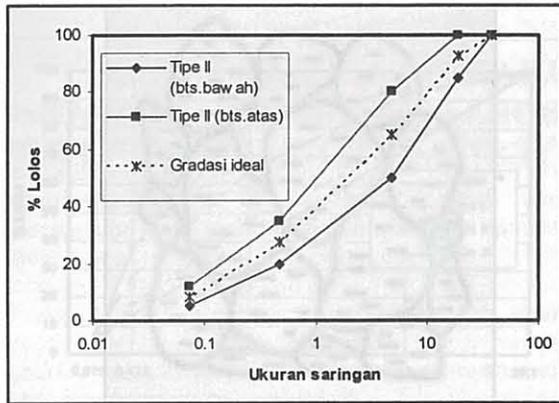
Berikut ini disajikan persyaratan dari beberapa jenis lapisan pondasi untuk perkerasan kaku, sebagaimana terlihat pada Tabel 2 dan kurva gradasinya diperlihatkan pada Gambar 1.

Tabel 2.  
Persyaratan bahan lapis pondasi untuk perkerasan kaku

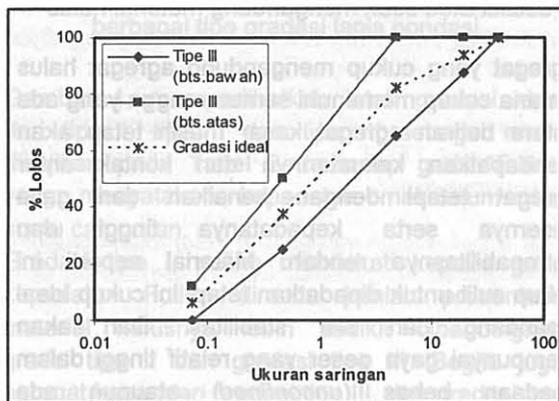
Spesifikasi	Tipe I Gradasi Terbuka	Tipe II Gradasi rapat	Tipe III Granular
Analisa saringan % lolos			
1 1/2 "	100	100	100
3/4 "	60 – 90	85 – 100	-
No 4	35 – 60	50 – 80	65 – 100
No 40	10 – 25	20 – 35	25 – 50
No 200	0 – 7	5 – 12	0 – 15
Sifat sifat tanah			
Liquid limit	25 max	25 max	25 max
Plastisitas Index	N.P	N.P	6 max



(a) gradasi terbuka (tipe I)



(b) gradasi rapat (tipe II)



(c) gradasi rapat (tipe III)

**Gambar 1.** Gradasi dari beberapa tipe lapisan pondasi untuk perkerasan kaku

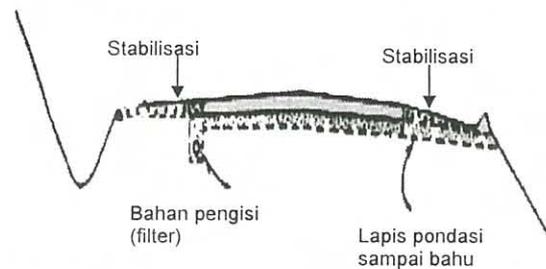
Lapisan pondasi dari bahan granular yang tidak distabilisasi dan diletakkan dibawah pelat perkerasan guna mengontrol *pumping*, harus harus memenuhi dua tuntutan, yaitu harus mencegah tanah dasar dari masalah *pumping* yang melewati lapis pondasi, serta dirinya sendiri harus tahan terhadap *pumping*. Agar bahan ini lebih tahan terhadap *pumping*, maka bahan tersebut harus sedikit sekali atau tidak mengandung material halus yang lolos saringan no 200 dan harus lebih bersifat terbuka dari pada material yang mengarah kepada sifat yang mempunyai kepadatan maksimum.

Jika tipe gradasi yang dipilih untuk lapisan pondasi perkerasan kaku ialah yang bersifat gradasi terbuka (*open graded*), maka harus dilengkapi dengan fasilitas drainase sehingga air dapat meninggalkan bagian bawah lapisan perkerasan. Hal ini dapat dilakukan dengan memperlebar lapisan pondasi sampai ke bagian luar bahu jalan, atau menyiapkan saluran tepi tergantung pada keadaan setempat dan pertimbangan masalah ekonomisnya, sebagai mana ditunjukkan pada Gambar 2.

Untuk kepentingan ketahanan terhadap *pumping* sendiri, tebal lapis pondasi cukup antara 7,5 cm sampai 15 cm saja, namun lapisan pondasi yang terlalu tipis akan menghasilkan kinerja yang kurang baik, dikarenakan sangat sulit pada waktu pelaksanaan. Bilamana tipe gradasi terbuka digunakan sebagai lapis pondasi pada perkerasan kaku, maka perlu dibuatkan lapisan perata (*leveling course*) di atasnya sebelum penempatan pelat betonnya sendiri.

Secara umum penggunaan jenis lapis pondasi berdasarkan beban lalu lintas untuk perkerasan kaku, dapat dibedakan sebagai berikut :

- Untuk lalu lintas berat, disarankan untuk menggunakan gradasi terbuka dan drainase, dimana tipikal drainase dapat dilihat pada Gambar 2. Jika untuk lalu lintas berat, bahan yang tersedia hanya gradasi rapat, maka lapis pondasi yang dipergunakan hendaknya yang distabilisasi.
- Untuk lalu lintas rendah, lapis pondasi dengan gradasi rapat bisa dipergunakan.



**Gambar 2.** Tipikal pemasangan lapis pondasi untuk jalan raya

Bilamana ada keraguan mengenai penggunaan hal tersebut, maka sebaiknya lapisan pondasi dengan gradasi terbuka serta dilengkapi dengan sistim drainase yang dipilih. Yang dimaksud dengan gradasi terbuka disini ialah lapisan pondasi yang bisa dilewati air untuk segala macam kondisi. Minimum koefisien permeabilitas dari lapisan pondasi ini ialah 310 m per hari dengan syarat bahwa sistim drainase dipasang pada perkerasan tersebut.

Penggunaan bahan lapis pondasi yang bisa dirembesi (*permeable*) air, dengan pemasangan drainase bawah tanah (*subdrain*) sangat disarankan untuk jalan dengan beban lalu lintas yang berat.

Pada saat pelaksanaan lapis pondasi dilapangan, lapisan filter harus dipasang antara lapisan gradasi terbuka dengan lapisan tanah dasar untuk mencegah intrusi kedalam lapisan gradasi terbuka. Intrusi dari lapisan tanah dasar ke lapisan gradasi terbuka sangat kritis khususnya pada masa pelaksanaan.

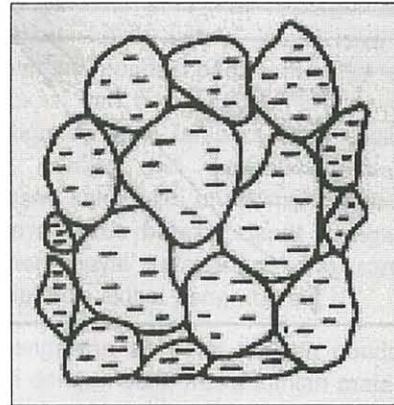
Hal lain yang perlu mendapat perhatian ialah mengenai bahu jalan, karenanya perencanaan dan pemeliharaan bahu jalan sangat harus diperhatikan. Bahu jalan yang tidak dipelihara atau pemeliharaannya kurang sempurna akan menghasilkan infiltrasi yang parah dari aliran air permukaan pada bagian tepi dari perkerasan dan selanjutnya akan mengurangi daya dukung lapisan tanah dasar, dan kemudian terjadi *pumping*. Bahu yang diperkeras atau yang distabilisasi direkomendasikan untuk kestabilan perkerasan dan juga untuk menyiapkan lahan yang stabil untuk parkir atau perbaikan kendaraan. Penggunaan bahu jalan yang diperkeras atau distabilisasi tentunya harus mempertimbangkan masalah biaya. Bahu dari beton sangat menguntungkan karena bisa mengurangi lendutan perkerasan yang selanjutnya akan mengurangi kerusakan perkerasan itu sendiri. Bahu yang terbuat dari beton bisa lebih tipis dari tebal pelat perkerasannya dan harus diikatkan kepada pelat beton yang merupakan bagian perkerasan tersebut.

### 2.3 Sifat sifat umum dari campuran agregat tanpa stabilisasi

#### 2.3.1 Kepadatan dan stabilitas

Stabilitas dari campuran antara agregat kasar dan butiran halus tergantung pada distribusi ukuran butir, bentuk partikel, gesekan dan kohesi. Material berbutir direncanakan untuk mencapai stabilitas maksimum hendaknya memiliki gesekan yang tinggi untuk menahan deformasi akibat beban. Tahanan gesek dan tahanan geser tergantung pada kepadatan, bentuk partikel, dan distribusi ukuran material. Dari faktor faktor tersebut, distribusi ukuran agregat, khususnya proporsi dari agregat halus terhadap agregat kasar dipandang merupakan faktor yang sangat penting.

Agregat yang hanya mengandung sedikit atau tidak mengandung material halus sebagai mana terlihat pada Gambar 3 mendapatkan stabilitasnya dari kontak antar agregat. Suatu agregat yang tidak mengandung agregat halus (lolos saringan no. 200) biasanya mempunyai kepadatan yang rendah, namun dapat meloloskan air (tidak kedap). Namun material seperti ini sulit ditangani pada waktu pelaksanaan sebab secara alami tidak mempunyai kohesi.



**Gambar 3.** Agregat yang hanya mengandung sedikit atau tidak mengandung material halus

Agregat yang cukup mengandung agregat halus dimana cukup memenuhi semua rongga yang ada antara butiran agregat kasar masih tetap akan mendapatkan kekuatannya dari kontak antar agregat tetapi dengan kenaikan dari gaya gesernya serta kepadatannya tinggi dan permeabilitasnya rendah. Material seperti ini cukup sulit untuk dipadatkan tetapi ini cukup ideal dipandang dari sisi stabilitas. Dan akan mempunyai gaya geser yang relatif tinggi dalam keadaan bebas (*unconfined*) ataupun ada tahanan disekelilingnya (*confined*).

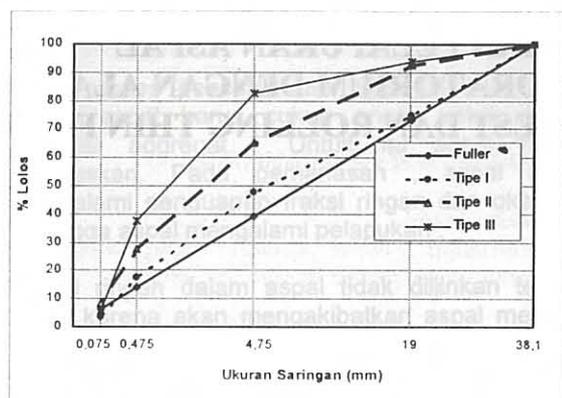
Distribusi ukuran butir dari suatu material dapat direpresentasikan dengan persamaan 1,

$$p = 100 \left( \frac{d}{D} \right)^n \dots\dots\dots (1)$$

dimana :

- d = menyatakan ukuran saringan yang dicari presentase lolosnya
- D = ukuran maksimum agregat
- p = prosentase lolos dari material pada saringan dengan ukuran d

Maksimum kepadatan dicapai bila nilai n sama dengan 0,5. Ini akan menghasilkan prosentase material yang lolos saringan no 200 sekitar 6,5 % untuk ukuran agregat maksimumnya 19,5 mm.



**Gambar 4.** Gradasi Fuller dan gradasi ideal dari berbagai tipe gradasi lapis pondasi

Gambar 4, memperlihatkan letak gradasi ideal dari tipe I, tipe II dan tipe III sebagai mana disajikan pada Tabel 2, terhadap garis "Fuller" yang menyatakan kepadatan maksimum dari suatu campuran.

Gradasi tipe I, paling mendekati kepada garis kepadatan Fuller, dimana jumlah prosentase material halus nya lebih sedikit dibandingkan gradasi tipe II dan gradasi tipe III. Begitu juga agregat kasar dari gradasi tipe III, dan gradasi tipe II, lebih sedikit dibandingkan gradasi tipe I.

### 2.3.2 Pengaruh partikel pecah dan plastisitas

Pengujian laboratorium dan lapangan menunjukkan bahwa partikel pecah secara umum lebih stabil daripada material yang bulat, hal ini disebabkan adanya penambahan saling kunci antar agregat. Selanjutnya, untuk satu gradasi tertentu dan batu pecah juga memiliki koefisien permeabilitas yang tinggi dan selanjutnya lebih mudah melakukan "pengaliran" air. Umumnya spesifikasi menuntut bahwa material untuk lapis pondasi memiliki jumlah prosentase minimum batu pecah. Kinerja dari bahan dengan batu pecah menunjukkan kinerja yang baik, sehingga umumnya sangat disukai.

Pengaruh dari bahan halus atau tanah yang bersifat mengikat mempunyai pengaruh yang besar terhadap stabilitas, khususnya bila kontak antara agregat kasar terganggu. Pengaruh plastisitas tergantung pada jumlah material halus dalam campuran. Untuk campuran dengan jumlah material halus yang sedikit, plastisitas mempunyai pengaruh yang kecil.

## III. KESIMPULAN

1. Persyaratan yang diperlukan pada suatu lapis pondasi tidak dapat diberlakukan secara umum. Karena itu hal yang perlu kita ingat ialah, maksud dari lapisan pondasi tersebut dan faktor faktor yang mempengaruhinya. Bila hal ini telah kita lakukan, maka sangat memungkinkan penggunaan berbagai bahan yang akan memenuhi keinginan akhir yang disyaratkan. Hal yang perlu mendapat perhatian ialah gradasi serta batasan plastisitas material tersebut.
2. Untuk lapis pondasi perkerasan kaku batas minimum dari prosentase agregat halus harus ditetapkan, dimana jumlah pastinya tergantung pada ukuran agregat maksimumnya. Bahan tersebut harus memenuhi sifat gradasi terbuka dimana rongganya cukup dan terjadi kontak antara agregat kasar, sehingga pada beberapa bahan gravel perlu melalui pemecahan terlebih dahulu dengan menggunakan mesin pemecah batu (*stone crusher*).
3. Pemasangan lapisan pondasi yang menerus sampai ke bahu jalan, dan dapat "mengalirkan air" serta pemasangan sistem drainase sangat disarankan, khususnya untuk jalan yang dilewati lalu lintas berat.
4. Stabilitas dari lapis pondasi tergantung pada kepadatan, sehingga pemadatan yang memadai perlu dilakukan. Tuntutan kepadatan lapis pondasi untuk perkerasan kaku sedikit lebih longgar dari lapis pondasi untuk perkerasan lentur. Keseragaman komposisi serta keseragaman kepadatan merupakan faktor penting yang perlu diperhatikan pada lapis pondasi perkerasan kaku.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Department of Scientific and Industrial Research, Road Research Laboratory; Concrete Roads, Design and Construction.
2. Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah; Pelaksanaan perkerasan jalan beton semen.
3. U.S. ARMY Engineer School – Fort Belvoir, Virginia; Concrete and Rigid Pavements, Section III.
4. Yoder & Witczak; Principles of Pavement Design

### Penulis :

**DR. Ir. Furqon Affandi, MSc.** Ahli Peneliti Madya, serta Kepala Balai Bahan dan Perkerasan Jalan, Pada Pusat Litbang Prasarana Transportasi, Badan Litbang Departemen Kimpraswil.



## KORELASI PENGUJIAN PELAPUKAN ASPAL STIMULASI DI LABORATORIUM DENGAN ALAT THIN FILM OVEN TEST DAN ROLLING THIN FILM OVEN TEST

*Tjijik Wasiah Suroso*

### **RINGKASAN**

Untuk menentukan tingkat pelapukan aspal selama pemanasan dan pencampuran di Unit Pencampur dapat dilakukan di laboratorium dengan cara simulasi yang dikenal dengan Thin Film Oven Test (TFOT). Dengan berkembangnya teknologi dilakukan dengan alat Rolling Thin Film Oven (RTFO), yang diyakini lebih mendekati kenyataan pelapukan aspal setelah keluar dari Unit pencampur aspal dilapangan,

Namun tidak semua laboratorium aspal di Indonesia tersedia alat tersebut, sehingga dilakukan penelitian untuk menentukan korelasi pelapukan aspal menggunakan alat TFOT dan RTFO. Korelasi ini dapat digunakan untuk memprediksi pelapukan aspal di Unit Pencampur aspal.

Dari hasil penelitian diperoleh hubungan antara penetrasi aspal setelah mengalami pelapukan dengan alat TFOT dan penetrasi atau titik lembek setelah mengalami pelapukan dengan alat RTFO, dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut :

Hubungan antara pen TFO dan Pen RTFO

$$Pen_{RTFO} = -0,0142 (Pen_{TFO})^2 + 1,409 X + 3,325$$

Hubungan antara Titik lembek TFO dan Titik lembek RTFO

$$TL_{RTFO} = -0,0014 (TL_{TFO})^2 + 1,195 TL_{TFO} - 5,409$$

### **SUMMARY**

The level of asphalt aging during heating and mixing in the mix plant unit can be determined in the laboratory by simulation known as Thin Film Oven Test (TFOT). The development of Rolling Thin Film Oven (RTFO), asphalt aging can be determined as soon as asphalt out of the mixing plant unit.

However, not all asphalt laboratories in Indonesia equipped by this device, so that research should be conducted to determine correlation of asphalt aging using TFOT and RTFO. The correlation can be applied to predict asphalt aging in mixing plant unit.

Research showed that correlation obtained between asphalt penetration after aging by TFOT and penetration or softening point after aging by RTFO, can be expressed by following equation :

Correlation between Pen TFO and Pen RTFO

$$Pen_{RTFO} = -0,0142 (Pen_{TFO})^2 + 1,409 X + 3,325$$

Correlation between softening point of TFO and Softening point of RTFO

$$TL_{RTFO} = -0,0014 (TL_{TFO})^2 + 1,195 TL_{TFO} - 5,409$$

## I. PENDAHULUAN :

Pada proses pencampuran agregat dan aspal keras, aspal harus cukup encer untuk dapat melapisi agregat . Untuk itu aspal harus dipanaskan. Pada pemanasan , aspal akan mengalami penguapan fraksi ringan dan oksidasi sehingga aspal mengalami pelapukan .

Fraksi ringan dalam aspal tidak diijinkan terlalu tinggi karena akan mengakibatkan aspal menjadi kaku yang pada akhirnya menyebabkan kerusakan campuran beraspal .

Pada awalnya pengujian tingkat pelapukan aspal stimulasi dilaboratorium menggunakan alat Thin Film Oven , dengan perkembangan teknologi menggunakan alat Rolling Thin Film Oven yang diyakini akan menghasilkan pelapukan yang mendekati mutu aspal setelah keluar dari Unit Pencampur Aspal.

Namun tidak semua laboratorium aspal di Indonesia mempunyai alat Rolling Thin Film, sehingga perlu dicari korelasi antara pelapukan (penurunan mutu aspal) dengan alat Thin Film Oven dan dengan alat Rolling Thin Film Oven.

## II. TINJAUAN PUSTAKA.

### 2.1 Aspal

Aspal adalah bahan yang visco elastic dimana dalam keadaan dingin bersifat padat dan dalam keadaan panas bersifat cair. Sehingga sifat inilah yang digunakan sebagai bahan jalan untuk mengikat dan melapisi agregat . Menurut Shell Bitumen Hand Book (1999) sifat, cara pembuatan dan komposisi yang ada dalam aspal , aspal dibagi menjadi tiga kelas yaitu kelas W, Kelas B dan kelas S. Masing-masing kelas aspal mempunyai sifat/ karakteristik .

#### 1) Kelas W ( Wax Bitumen ).

Aspal jenis ini terdiri dari aspal yang mempunyai kadar lilin cukup tinggi. Sehingga aspal jenis ini sangat peka terhadap perubahan temperatur. Hal ini disebabkan lilin mempunyai sifat pada temperatur rendah bersifat padat , dan dengan sedikit perubahan temperatur akan bersifat lunak sampai cair . Sehingga apabila digunaknsebagai bahan jalan maka perkerasan akan mudah mengalami deformasi.

#### 2). Kelas B ( Blown Asphalt ).

Aspal jenis ini mempunyai penetrasi yang rendah akibat proses peniupan udara sehingga fraksi ringannya rendah dan kadar asphalten meningkat , Umumnya aspal jenis ini digunakan sebagai bahan atap, damp proof dan keperluan industri lainnya.

#### 3). Kelas S.

Aspal jenis ini mempunyai kadar lilin yang relatif kecil sehingga cocok untuk keperluan jalan.

### 2.2 Pengaruh sifat/ karakteristik aspal pada perkerasan jalan.

Kinerja campuran beraspal dipengaruhi secara nyata oleh sifat rheologi atau sifat mekanis dan kecepatan oksidasi. Hal ini dipengaruhi oleh adanya panas , adanya oksidasi , dan air. Hal ini tentu saja banyak faktor yang dapat mempengaruhinya. Sifat-sifat tersebut antara lain mutu aspal dalam hal ini kecepatan pelapukan aspal akibat pemanasan dan oksidasi di unit pencampur aspal, agregat, pemadatan campuran beraspal , ketebalan film aspal yang semuanya dapat mempengaruhi keawetan perkerasan jalan.

Untuk itu dalam hal aspal sebagai bahan pengikat dan pengisi mutu harus baik salah satu adalah mengetahui tingkat pelapukan akibat pemanasan aspal.

### 2.3 Pelapukan aspal.

Uji pelapukan aspal dilaboratorium untuk mengetahui sejauh mana daya tahan aspal terhadap pengerasan selama proses produksi campuran beraspal. Pengujian ini juga perlu untuk mengetahui apakah aspal terlalu banyak fraksi yang mudah menguap atau oksidasi , sehingga mempengaruhi mutu aspal, yang dilaboratorium dilakukan uji pengaruh pemanasan dengan alat lapisan tipis atau Thin film Oven yang merupakan bagian dari uji mutu aspal untuk mengklasifikasi kan terhadap tendensi aspal mengalami pengerasan dan mengidentifikasikan apakah aspal tersebut terkontaminasi dengan minyak ringan . Kondisi pada pengujian ini menyangkut aspal selama penyimpanan dan selama pencampuran dengan agregat.

Hal yang perlu dicatat pada pengujian ini adalah perbandingan luas permukaan terhadap volume contoh terlalu rendah sehingga dapat menyebabkan terjadinya lapisan ( kulit ) pada permukaan contoh terlalu cepat..

Pengujian pelapukan dengan alat Thin Film Oven test ( ASTM. D 1754- SNI ) adalah pengujian stimulasi pelapukan dilaboratorium , pengerasan pada pencampuran aspal dan agregat pada temperatur 165 C, waktu 5 jam dan tebal 3,2 mm. Pada pengujian ini difusi panas kedalam aspal sangat kecil dan tidak mungkin memperoleh pengerasan atau pelapukan yang merata Sehingga pengujian ini sangat jauh dari ideal.

Pada tahun 1963 State of California Departement of Public Work Division Of Highway, mengembangkan pengujian stimulasi pelapukan aspal selama pencampuran yang jauh lebih baik yaitu dengan alat Rolling Thin Film Oven . Dimana pada pengujian ini menggunakan tabung gelas

berbentuk silinder, diisi aspal seberat 35 gram yang melapisi seluruh dinding tabung secara merata, kemudian dipanaskan dalam oven pada temperatur 165 C yang berputar secara vertical dengan kecepatan 5 rpm dan dialiri udara kering selama 75 menit. Aspal yang telah mengalami pelapukan dan homogen sama dengan mutu aspal setelah proses pemanasan dan pencampuran di Unit Pencampur Aspal.

### III. HYPOTESA

Aspal yang mengalami proses pemanasan dan tiupan udara ( oksidasi ) akan mengalami pelapukan atau pengerasan baik dengan alat Thin Film Oven dan dengan Rolling Thin Film. Sehingga diharapkan akan menghasilkan korelasi pelapukan / pengerasan aspal dengan alat TFO atau dengan RTFO.

### IV. METHODOLOGI:

Penelitian dilakukan secara empiris dilaboratorium dengan menggunakan beberapa contoh aspal, dilakukannya pelapukan dengan alat Thin Film Oven dan Rolling Thin Film Oven. Dilanjutkan dengan pengujian penetrasi, titik lembek, Viskositas setelah mengalami proses pelapukan dengan kedua alat tersebut.

#### 4.1 Matrik Percobaan.

Tabel 1.  
Matrik percobaan

NO	Jenis pengujian	Kode contoh aspal				
		A	B	C	D	E
	Pelapukan aspal dengan alat					
	Thin Film Oven	X	X	X	X	X
	Penetrasi TFO	X	X	X	X	X
	Titik lembek TFO	X	X	X	X	X
	Kekentalan TFO	X	X	X	X	X
	Rolling Thin Film Oven	X	X	X	X	X
	- Penetrasi RTFO	X	X	X	X	X
	- Titik Lembek RTFO	X	X	X	X	X
	- Kekentalan RTFO	X	X	X	X	X

#### 4.2 Peralatan

Peralatan yang digunakan adalah Penetrometer untuk menentukan penetrasi aspal, Ring and Ball untuk menentukan titik lembek aspal, Absolut viscometer untuk menentukan kekentalan (viskositas aspal), Oven Thin Film Oven untuk menentukan pelapukan aspal akibat pengaruh pemanasan, Rolling Thin Film Oven untuk menentukan pelapukan aspal akibat pemanasan

dan oksidasi yang disebabkan adanya udara dengan cara berputar secara vertical.

## V. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 5.1 Mutu aspal.

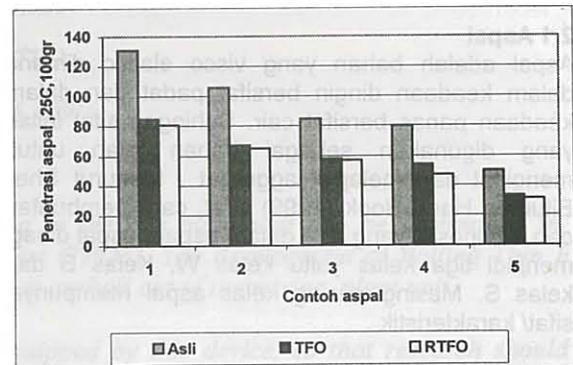
Terhadap kelima contoh aspal ditentukan kekentalan, penetrasi dan titik lembek.

Tabel 2.  
Karakteristik aspal

No	Aspal	Kekentalan (Poise)		Penetrasi 25 C, 100 g, 5 dt	Titik lembek, C
		60 C	135 C		
1	A	1037	1,8	106	45
2	B	556	1,3	131	41
3	C	1218	3,6	85	47
4	D	2142	3,4	50	49
5	E	1571	2,4	80	47

### 5.2 Hasil pengujian penetrasi aspal setelah mengalami pelapukan dengan alat TFOT dan RTFO.

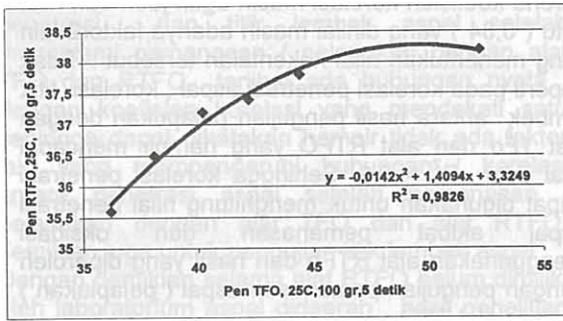
Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui penurunan mutu aspal dengan alat thin film oven dan Rolling Thin Film Oven



Gambar 1. Hubungan antara hasil penetrasi aspal setelah pelapukan aspal dengan alat TFO dan RTFO

Dari gambar 1 terlihat bahwa aspal akan mengalami pengerasan yang dapat terlihat dengan menurunnya nilai penetrasi aspal, dengan kata lain aspal akan mengalami pengerasan akibat pemanasan atau dan oksidasi. Penurunan mutu aspal dengan alat Rolling Thin Film lebih besar dari penurunan nilai penetrasi dengan alat Thin Film Oven. Hal ini disebabkan pada Rolling Thin Film selain temperatur juga adanya udara yang menyebabkan selain menguapnya fraksi ringan juga adanya oksidasi yang menyebabkan fraksi malten berubah menjadi asphalten.

Hasil ini juga dapat dianalisa korelasi antara pelapukan aspal dengan menggunakan alat Thin Film atau dengan alat Rolling Thin Film.



Gambar 2. Hubungan antara Pen RTFO dan Pen TFO

Penetrasi aspal akan turun setelah mengalami pelapukan akibat adanya pengaruh pemanasan aspal baik dengan cara Thin Film Oven maupun dengan cara Rolling Thin Film Oven yang diakibatkan menguapnya fraksi ringan dalam aspal dan oksidasi fraksi cair menjadi fraksi padat. Namun terlihat bahwa penurunan akibat pelapukan dengan Rolling Thin Film Lebih besar dari penurunan akibat pemanasan dengan alat Thin Film Oven, Hal ini disebabkan lapisan aspal pada sampel ( wadah contoh ) lebih tipis serta adanya udara yang akan memperbesar pelapukan aspal sehingga penguapan dan oksidasi pada Rolling Thin Film lebih besar dari Thin Film Oven. Untuk menentukan apakah hubungan antara penetrasi setelah TFO berbeda nyata atau tidak , dilakukan uji statistik dengan t test, dengan taraf nyata ( significance level ) sebesar 0,05

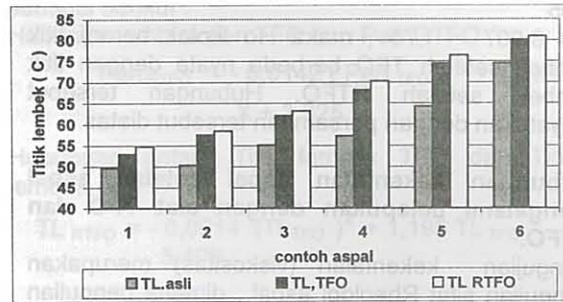
$t = 22,0 > 1,75$  berarti ada perbedaan nyata antara penetrasi aspal setelah TFO dan penetrasi aspal setelah RTFO, yang dinyatakan dengan persamaan

$$Y = -0,0142 X^2 + 1,409 X + 3,332, \text{ dengan } R^2 = 0,9826 \text{ dan } r = 0,9913$$

### 5.3 Perubahan nilai titik lelembek akibat pemanasan dengan alat TFO dan RTFO.

Akibat adanya pemanasan titik lelembek akan mengalami kenaikan yang seiring dengan menurunnya nilai penetrasi aspal yang diakibatkan oleh menguapnya fraksi ringan dalam aspal serta berubahnya fraksi cair menjadi fraksi padat akibat adanya oksidasi, sehingga meningkatkan titik lelembek aspal naik , dan titik lelembek setelah proses pelapukan dengan alat RTFO lebih besar dari titik lelembek aspal setelah proses pelapukan dengan alat TFO disebabkan oleh tebal lapisan contoh

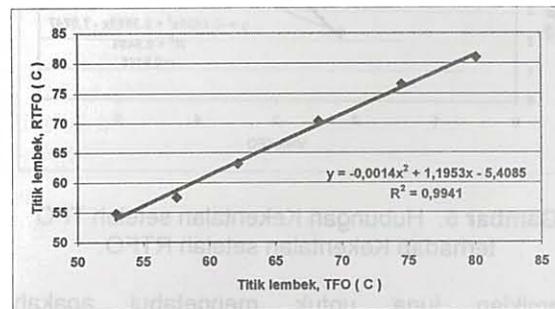
aspal pada pelapukan dengan alat RTFO lebih tipis dari pada dengan alat TFO. Nilai titik lelembek aspal setelah mengalami pemanasan dengan alat TFO dan dengan alat RTFO seperti tertera pada gambar 3.



Gambar 3. Titik lelembek aspal asli, Aspal setelah TFO , dan setelah RTFO

Dari gambar 3 terlihat bahwa titik lelembek aspal setelah proses pemanasan dengan alat RTFO lebih besar dari titik lelembek aspal setelah proses pemanasan dengan alat TFO. Hal ini sebagai konsekwensi adanya penurunan penetrasi setelah proses pemanasan dengan alat RTFO lebih besar dari penurunan penetrasi aspal setelah proses pemanasan dengan alat TFO yang diakibatkan oleh lebih tipisnya lapisan contoh aspal pada RTFO.

Hubungan titik lelembek setelah proses pemanasan dengan alat RTFO dan dengan alat TFO tertera pada gb 4, untuk menentukan apakah hubungannya nyata atau tidak serta apakah masih ada faktor lain yang mempengaruhi.



Gambar 4. Titik lelembek TFO terhadap titik lelembek RTFO

Hubungan titik lelembek aspal setelah TFO terhadap titik lelembek aspal setelah RTFO yang dinyatakan dengan persamaan :

$$Y = -0,0014 X^2 + 1,1952 X - 5,4055 , R^2 = 0,9941 \text{ dan } r = 0,997$$

Dari persamaan tersebut mempunyai Koefisien korelasi yang mendekati satu hal ini menunjukkan bahwa hubungan tersebut hampir seratus persen sempurna yang berarti tidak ada lagi faktor lain

yang mempengaruhi hubungan titik lembek setelah proses pemanasan dengan alat TFO dan RTFO .

Untuk menentukan apakah hubungan tersebut berbeda nyata atau tidak dilakukan uji t test , dengan 3 derajat kebebasan, dan tingkat nyata 0,05

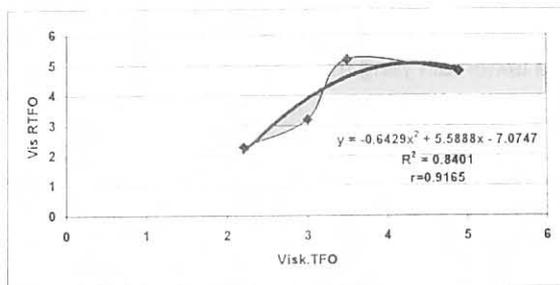
$t = 8,997 > 1,75$  , maka  $H_0$  ditolak berarti titik lembek setelah TFO berbeda nyata dengan titik lembek setelah RTFO. Hubungan tersebut dinyatakan dengan persamaan tersebut diatas.

**Hubungan kekentalan aspal setelah aspal mengalami pelapukan dengan alat TFO dan RTFO.**

Pengujian kekentalan (viskositas) merupakan pengujian sifat Rheologi aspal , dimana pengujian ini hampir sama dengan maksud pengujian penetrasi aspal

Seperti halnya dengan pengaruh pemanasan / pelapukan dengan alat RTFO dan TFO menguapnya fraksi ringan akan menyebabkan makin kentalnya aspal / kekentalan atau viskositas aspal akan naik . Demikian juga pengaruh oksidasi akan merubah fraksi liquid menjadi kecil karena berubah menjadi fraksi padat.

Sehingga pengujian dengan kedua alat ini untuk menntukan apakah atau seberapa besar hubungan (korelasi) antara kekentalan aspal setelah mengalami pemanasan dengan alat TFO dan alat RTFO, seperti tertera pada gambar 5.



**Gambar 5.** Hubungan Kekentalan setelah TFO terhadap Kekentalan setelah RTFO.

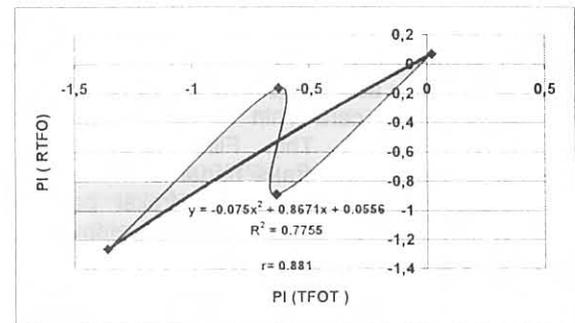
Demikian juga untuk mengetahui apakah kekentalan aspal setelah TFO dan kekentalan setelah RTFO berbeda nyata pada tingkat nyata ( significance level ) 0,05 dilakukan uji t, Hasil yang diperoleh  $t = 6,325$  berarti antara kekentalan setelah TFO dan kekentalan setelah RTFO berbeda nyata karena  $t > 1,75$

Dari hasil uji regresi diperoleh korelasi atau hubungan antara kekentalan aspal setelah TFO dan setelah RTFO yang pada kenyataan nilai kekentalan makin meningkat akibat adanya pemanasan dan oksidasi. Hubungan tersebut dinyatakan dengan persamaan

$$Y = 0,842X^2 + 5,58X - 7,075 \text{ dengan } R^2 = 0,8461 \text{ dan } r = 0,9165$$

Hubungan Nilai kekentalan aspal yang diperoleh dengan alat TFO dan alat RTFO kurang sempurna karena koefisien korelasi masih agak jauh dari nilai satu ( 0,84 ) yang dinilai masih adanya faktor2 lain yang menentukan nilai kekentalan tersebut . Tidak seperti pada korelasi penetrasi aspal , korelasi titik lembek antara hasil pengujian pelapukan dengan alat TFO dan alat RTFO yang hampir mencapai nilai satu  $R^2 = 0,9$ . Sehingga korelasi penetrasi dapat digunakan untuk menghitung nilai penetrasi aspal akibat pemanasan dan oksidasi menggunakan alat RTFO dari hasil yang diperoleh dengan pengujian pemanasan aspal ( pelapukan ) dengan alat TFO.

**5.4. Penetrasi Indeks aspal setelah TFO dan Penetrasi Indeks aspal setelah RTFO.**



**Gambar 6.** Hubungan Penetrasi Indeks aspal setelah TFO terhadap Penetrasi Indeks aspal setelah RTFO.

Dari hasil pengujian dan pembahasan penetrasi setelah pemanasan/ pelapukan dengan alat TFO dan RTFO, serta hasil pengujian dan pembahasan pengujian titik lembek dengan alat TFO dan RTFO menunjukkan adanya hubungan erat ( significant ). Apakah hubungan erat tersebut diikuti pula oleh hasil pengujian / perhitungan kepekaan aspal terhadap temperatur ( Penetrasi Indeks ) . Hasil perhitungan Penetrasi Indeks seperti tertera pada gambar 5.

Dari grafik regresi hubungan Penetrasi Indeks aspal setelah TFO terhadap Penetrasi Indeks aspal setelah RTFO yang mempunyai koefisien korelasi yang paling besar adalah dinyatakan dengan persamaan :

$$Y = 0,07 X^2 + 0,8671 X + 0,0556 \text{ dengan } R^2 = 0,7755 \text{ dan } r = 0,881$$

Untuk mengetahui apakah Penetrasi Indeks aspal setelah TFO dan Penetrasi Indeks setelah RTFO berbeda nyata pada tingkat nyata ( significance level ) 0,05 dilakukan uji t, Hasil yang diperoleh  $t = 3,71$  berarti antara kekentalan setelah TFO dan kekentalan setelah RTFO berbeda nyata karena  $t > 1,75$

## VI. PEMBAHASAN,

Dari hasil pengujian dan analisa terhadap penetrasi dan titik lembek aspal setelah mengalami pemanasan / pelapukan dengan alat TFO dan RTFO terlihat ada hubungan nyata, dengan koefisien korelasi yang mendekati satu sehingga dapat dikatakan hampir tidak ada faktor lain yang mempengaruhi hubungan / korelasi antara penetrasi aspal setelah pemanasan / pelapukan dengan alat TFO dan alat RTFO, demikian juga untuk pengujian titik lembek aspal. Dengan demikian selama alat RTFO belum dimiliki oleh laboratorium aspal didaerah, hasil penelitian ini dapat digunakan untuk memprediksi / menentukan penetrasi aspal setelah pemanasan dengan alat RTFO sehingga dapat ditentukan seberapa besar pelapukan aspal / penurunan mutu aspal di Unit pencampur aspal.

### Kesimpulan :

Dari analisa regresi diperoleh koefisien korelasi, baik untuk penetrasi maupun untuk titik lembek mendekati satu ( $R^2$  mendekati satu = 0,99), maka baik hubungan atau korelasi antara pen RTFO terhadap Pen TFO maupun titik lembek RTFO terhadap Titik lembek TFO, Namun untuk pengujian Kekentalan dengan menggunakan peralatan TFO dengan menggunakan RTFO walaupun berbeda nyata namun masih banyak faktor lain yang mempengaruhi. Hal ini terlihat dari koefisien korelasi yang masih berkisar 0,88. Sehingga apabila suatu laboratorium belum mempunyai peralatan Rolling Thin Film Oven,

maka penentuan penetrasi aspal setelah mengalami pelapukan dapat menggunakan peralatan Thin Film Oven kemudian dilakukan perhitungan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

Hubungan antara pen TFO dan Pen RTFO

$$\text{Pen}_{\text{RTFO}} = -0,0142 (\text{Pen}_{\text{TFO}})^2 + 1,409 X + 3,325$$

Hubungan antara Titik lembek TFO dan Titik lembek RTFO

$$\text{TL}_{\text{RTFO}} = -0,0014 (\text{TL}_{\text{TFO}})^2 + 1,195 \text{TL}_{\text{TFO}} - 5,409$$

### DAFTAR PUSTAKA

1. SNI 06-2456-1999 : *Pengujian penetrasi aspal* "
2. SNI 06-2434-1991 ; *Pengujian titik lembek aspal dengan cara Ring and Ball* "
3. SNI : *Pengujian kekentalan aspal hampa udara absolut* "
4. SNI 06-2441-1991 : *Pengujian penurunan berat dengan cara lapisan tipis aspal.*"
5. Pd-M-06-1999-03 *Pengujian penurunan berat aspal dengan cara tabung perputar* "
6. The Shell Bitumen Hand Books ( 1990 ) : *Aging Test* " Hal 74,75 dan 133

### Penulis :

*Ir. Tjitjik W. Suroso, Ahli Peneliti Muda, Pada Pusat Litbang Prasarana Transportasi, Badan Litbang, Departemen Kimpraswil.*

LAMPIRAN

1. Mutu aspal.  
Terhadap kelima contoh aspal ditentukan kekentalan, penetrasi dan titik lembek.

**Tabel 3.**  
**Karakteristik aspal**

No	Aspal	Kekentalan(Poise)		Penetrasi 25 C,100 g,5 dt	Titik lembek, C
		60 C	135 C		
1	A	1037	1,8	106	45
2	B	556	1,3	131	41
3	C	1218	3,6	85	47
4	D	2142	3,4	50	49
5	E	1571	2,4	80	47

2. Pengujian dengan penetrasi alat TFO

**Tabel 4.**  
**Hasil pengujian mutu aspal setelah TFO**

No	Aspal	Kekentalan(Poise)		Penetrasi 25C,100g, 5 dt	Titik lembek, C	L.o.h ( % )
		60 C	135 C			
1	A	2712	4,9	67	52	0,01
2	B	900	1,6	85	44	0,74
3	C	1338	2,2	58	47	0,46
4	D	3210	3,5	33	53	0,44
5	E	2064	2,6	54	50	0,64

3. Penurunan mutu aspal dengan alat RTFO.

**Tabel 5.**  
**Hasil pengujian mutu aspal setelah RTFO.**

No	Aspal	Kekentalan(Poise)		Penetrasi 25C,100g ,5 dt	Titik lembek, C	L.o.h ( % )
		60 C	135 C			
1	A	2497	4,8	65	52	0,14
2	B	965	1,6	81	46	1,1
3	C	1700	2,3	57	50	0,6
4	D	3653	3,2	31	54	0,57
5	E	3413	5,2	47	53	0,71



# UJI GETAR PADA JEMBATAN TOL LAYANG DENGAN BEBAN LALU LINTAS AKTUAL

*Setyo Hardono*

## **RINGKASAN**

Tujuan utama penelitian ini adalah untuk mengukur getaran aktual dari suatu jembatan layang tol akibat beban eksitasi getaran dari lalu lintas aktual. Pengukuran getaran dilakukan pada kondisi dimana tidak memungkinkan untuk dilakukan penyetopan lalu lintas. Posisi alat pendeteksi getaran (accelerometer) diletakkan pada bagian yang diprediksi bergetar secara dominan. Pada pier head, akselerometer ditempatkan pada ujung kantilever untuk merekam getaran arah vertikal dan dipasang ditengah bentang untuk gelagar. Getaran yang terjadi direkam secara real time dan simultan. Data tersebut kemudian diolah untuk memperoleh, intensitas getar, frekuensi getar yang tereksitasi dan mode shape. Contoh hasil pengukuran getaran dan evaluasinya disajikan dalam tulisan ini. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metoda yang dipakai dalam pengujian ini dapat digunakan untuk mengukur getaran jembatan layang tol dengan baik meskipun tanpa dilakukan penyetopan lalu lintas.

## **SUMMARY**

The main goal of this research is to measure actual vibration of fly over toll bridge due to vibration excitation of actual traffic. Measurement of vibration conducted at condition where do not enable to be stopping of the traffic. Position of the vibration instrument (accelerometer) put at a part of predicted vibrating dominantly. On the pier head, accelerometer placed at the end of cantilever to record vertical vibration and attached in the middle of span for the beam. Vibration is that occurred recorded in a real time and simultaneously. Then, data vibrations will be process to obtain intensity, excited frequency and mode shape. Sample results and evaluation of vibrations are also presented in this paper. The research indicate that method in this testing can be used to measure vibration of fly over toll bridge in a good result though disable to be stopping of the traffic.

## **I. PENDAHULUAN**

Jembatan sebagai struktur yang dilewati beban lalu lintas akan bergetar sebagai akibat beban hidup yang bekerja bersifat dinamis pula. Apalagi bila dilihat pada jembatan jalan layang tol dengan beban lalu lintas tiada henti maka jembatan layang tersebut akan bergetar terus menerus.

Uji getar pada jembatan layang ini dimaksudkan untuk mendapatkan respons getar aktual yang diakibatkan oleh beban lalu lintas. Dari respon yang timbul maka akan dievaluasi mengenai perilaku getar.

### **1. 2. Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan respons getar dari jembatan yang didasarkan atas beban lalu lintas aktual sehingga akan didapat karakteristik struktur jembatan layang akibat beban lalu lintas.

### **1. 3. Pembatasan Masalah**

Tulisan ini ditekankan pada pengukuran getaran jembatan tol layang akibat beban lalu lintas aktual. Sebagai obyek penelitian adalah jembatan tol layang ruas Cawang – Tanjung Priok khususnya dibagian Sunter Steel Bridge.

## **II. DASAR TEORI**

Sistem getaran jembatan layang dapat dimodelkan sebagai sistem getaran SDOF (Single Degree of Freedom System) atau dimodelkan sebagai sistem getaran MDOF (Multi Degree of Freedom System). Dalam hal ini baik sebagai sistem getaran SDOF maupun MDOF maka asumsi dasar yang digunakan adalah ruas jembatan layang yang merupakan obyek ukur ini merupakan sistem getaran yang linear. Dengan menggunakan asumsi ini maka total respon getaran di suatu titik ukur merupakan superposisi masing-masing respon

getaran di titik ukur tersebut oleh masing gaya eksitasi getaran yang terjadi pada ruas jembatan layang pada waktu pengukuran getaran berlangsung. Dalam kasus ini gaya eksitasi getaran berasal dari gaya dinamik akibat melintasnya suatu kendaraan di ruas jembatan yang menjadi obyek ukur.

Pernyataan di atas dapat dikemukakan dalam bentuk model matematik sistem getaran MDOF sebagai berikut :

$$\frac{X_j}{F_k}(\omega) = \alpha_{jk}(\omega) = \sum_{r=1}^N \frac{(\psi_j)_r (\psi_k)_r}{(k_r - m_r \omega^2) + i(\omega c_r)} \quad (1)$$

Dimana :

- $X_j$  : simpangan getaran di titik ukur j.
- $F_k$  : Gaya eksitasi getaran di titik k.
- $\alpha_{jk}(\omega)$  : Fungsi respon frekuensi (FRF) dalam bentuk *Receptance*.
- N : jumlah modus getar
- $\psi_j$  : adalah bentuk modus getar (*mode shape*) pada modus getar ke r di titik ukur j.
- $k_r$  : kekakuan modal pada modus getar ke r.
- $m_r$  : massa modal pada modus getar ke r.
- $c_r$  : redaman modal pada modus getar ke r.
- $\omega$  : frekuensi angular (rad/s)
- f : frekuensi (Hz)

Dalam pengukuran di lapangan sensor getaran yang digunakan adalah *accelerometer* sehingga perumusan FRF di atas adalah berupa *Inertance* yang notasinya adalah  $A(\omega)$ . Hubungan antara  $A(\omega)$  dengan  $\alpha(\omega)$  adalah sebagai berikut :

$$A_{jk}(\omega) = \frac{\ddot{X}_j}{F_k}(\omega) = -\omega^2 \alpha_{jk}(\omega) \quad (3)$$

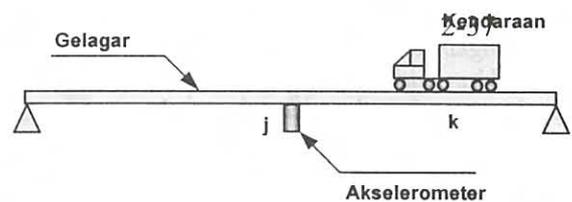
Bila diasumsikan bahwa getaran gelagar jembatan yang dideteksi oleh *accelerometer* yang terpasang di titik ukur j di tengah gelagar diakibatkan hanya oleh gaya dinamik kendaraan di bagian gelagar pada titik k maka besar percepatan getaran yang dideteksi oleh *accelerometer* di titik ukur j adalah :

$$\ddot{X}_j(\omega) = F_k(\omega) A_{jk}(\omega) \quad (4)$$

atau 
$$\ddot{X}_j(\omega) = -\omega^2 F_k(\omega) \alpha_{jk}(\omega) \quad (5)$$

Dalam hal ini baik  $A_{jk}(\omega)$  maupun  $\alpha_{jk}(\omega)$  merupakan karakteristik dinamik gelagar sebagai suatu sistem getar. Gambar 1 menunjukkan

visualisasi konsep yang telah diuraikan di atas. Roda kendaraan yang melewati titik k pada salah satu gelagar jembatan memberikan gaya eksitasi getaran kepada gelagar tempat melintasnya kendaraan dan getaran gelagar dideteksi oleh *accelerometer* di j. Dalam praktek, besar getaran yang dideteksi oleh *accelerometer* di j adalah merupakan kombinasi berbagai gaya eksitasi yang berasal dari posisi roda kendaraan sewaktu melintasi gelagar.



Gambar 1 Model kendaraan melintas sepanjang gelagar

Untuk mendapatkan respons frekuensi getaran pada titik uji maka data dalam bentuk percepatan dalam domain waktu ditransformasikan dengan fungsi Fourier sehingga didapat dalam domain frekuensi. Transformasi Fourier untuk fungsi kontinyu dapat dilihat pada Persamaan (6) dan (7).

$$X(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) e^{-j\omega t} dt \quad (6)$$

$$x(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} X(\omega) e^{j\omega t} d\omega \quad (7)$$

Dalam penerapannya,  $x(t)$  dikenal hanya untuk interval waktu tertentu atau panjang data T, sehingga persamaan diatas menjadi :

$$X(\omega) = \int_0^T x(t) e^{-j\omega t} dt \quad (8)$$

$$x(t) = \frac{1}{2\pi} \int_0^T X(\omega) e^{j\omega t} d\omega \quad (9)$$

Pada umumnya, data untuk analisis dalam bentuk diskrit. Sehingga total data adalah N yang setara dengan banyaknya interval waktu  $\Delta t$  dan  $\Delta t = T/N$ . Sebagai konsekuensi teori Shannon maka  $\Delta t \leq \frac{1}{2f_{\max}}$ , dan  $f_{\max}$  adalah frekuensi maksimum sehingga  $\omega_{\max} = 2\pi f_{\max}$ .

Pada domain waktu dan domain frekuensi besaran diskrit dalam bentuk sebagai berikut :

Diskrit waktu varian :

$$t_n = n\Delta t = \frac{nT}{N}, \quad n = 0, 1, 2, \dots, N-1$$

Diskrit waktu sinyal :

$$\hat{x}(t_n) = \hat{x}(n\Delta t) = \hat{x}(n)$$

Diskrit frekuensi varian :

$$\omega_m = m\Delta\omega = \frac{2\pi m}{T}, \quad m = 0, 1, 2, \dots, N-1$$

Diskrit frekuensi sinyal :

$$\hat{X}(m) = \hat{X}(m\Delta\omega) = \hat{X}(m)$$

Sehingga diskrit transformasi Fourier (Discrete Fourier Transform – DFT), yang sama dengan persamaan 4 dan 5 menjadi :

$$\hat{X}(m) = \Delta t \sum_{n=0}^{N-1} \hat{x}(n) e^{-j2\pi mn/N} \quad (10)$$

$$\hat{x}(n) = \frac{1}{N\Delta t} \sum_{m=0}^{N-1} \hat{X}(m) e^{j2\pi mn/N}$$

dan bentuk akhir DFT adalah :

$$\hat{X}(\omega_m) = \sum_{n=0}^{N-1} \hat{x}(t_n) e^{-j2\pi mn/N} \quad (11)$$

$$\hat{x}(t_n) = \frac{1}{N} \sum_{m=0}^{N-1} \hat{X}(\omega_m) e^{j2\pi mn/N}$$

### III. PERALATAN PENGUJIAN

Untuk mendapatkan informasi yang menyeluruh tentang respon getaran jembatan layang yang menjadi obyek ukur ini, maka dilakukan pengukuran getaran pada *pier head* dan gelagar secara simultan.

#### 3.1. Akselerometer

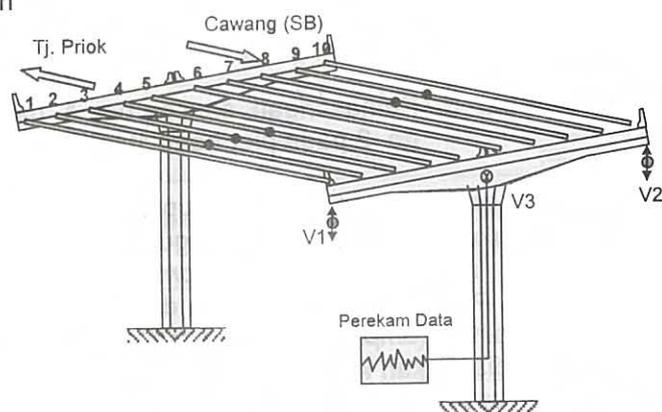
Analisis struktur diperlukan untuk menentukan pola deformasi getar (*mode shape*) yang mungkin terjadi. Dari hasil tersebut ditentukan posisi akselerometer. Pada *pier head* ditempatkan di ujung kantilever untuk merekam getaran arah vertikal dan dipasang pula di tengah *pier head* untuk merekam getaran longitudinal (searah lalu lintas).

Tiga gelagar pada ruas jembatan arah Tanjung Priok dipasang masing masing sebuah

*accelerometer* di bagian tengah gelagar dalam arah vertikal. Dua buah gelagar pada ruas jembatan layang arah Cawang, masing-masing dipasang *accelerometer* di tengah gelagar dalam arah vertikal.

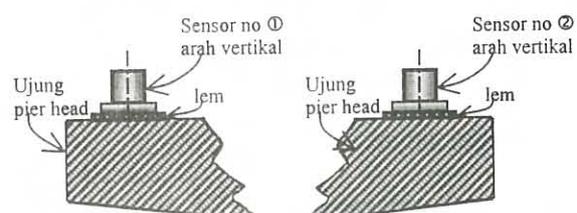
Sehingga dengan demikian terpasang sejumlah lima *accelerometer* pada lima gelagar dan tiga *accelerometer* pada *pier head* dan kolom. Getaran gelagar akibat kendaraan yang melintas dalam arah Tanjung Priok terutama dideteksi oleh tiga *accelerometer* sedang getaran gelagar akibat kendaraan yang melintas dalam arah Cawang diukur oleh dua *accelerometer*.

Skema pengujian pengukuran getaran pada *pier head* dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Skema alat ukur getaran pada pier head standar

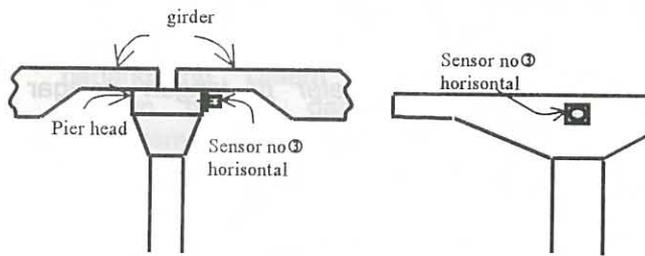
Sensor no. 1 dan no. 2 dipasang pada ujung pier head yang secara detail dapat dilihat pada gambar berikut.



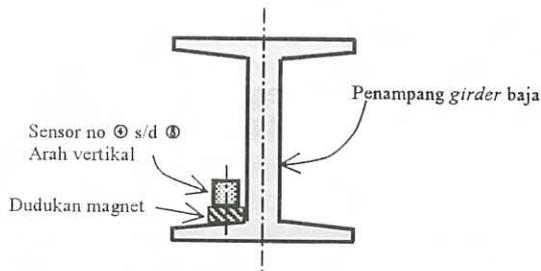
Gambar 3. Pemasangan sensor no. 1 dan no. 2 pada pier head standar

Pemasangan sensor no. 3 dapat dilihat pada Gambar 4. Girder jembatan layang Sunter *steel bridge* terbuat dari baja sehingga pemasangan sensor no. 4 sampai no. 8 dilekatkan dengan menggunakan kedudukan

magnet seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 4 Pemasangan sensor no. 3 pada pier head.



Gambar 5. Pemasangan sensor no. 1 dan no. 2 pada pier head standar

Respons getaran yang terukur berupa percepatan yang diukur dengan alat pengukur getaran frekuensi rendah yaitu *accelerometer* buatan *wilcoxon*. Pada instrumen getaran dipasang juga penguat sinyal (*amplifier*) yang selanjutnya sinyal tersebut disalurkan ke data logger.

### 3. 2. Data Akuisisi

Secara konseptual peralatan dan instrumentasi yang digunakan untuk pengukuran respon getaran jembatan layang di lapangan diperlihatkan dalam Gambar 2 dan Gambar 6. Sinyal getaran yang dideteksi oleh masing-masing *accelerometer* dikondisikan oleh *power unit & amplifier*. Kedelapan sinyal getaran langsung direkam secara simultan dan *real time* pada *data-recorder* dalam media pita magnetik sebagai sinyal analog.

### 3. 3. Kendaraan Uji

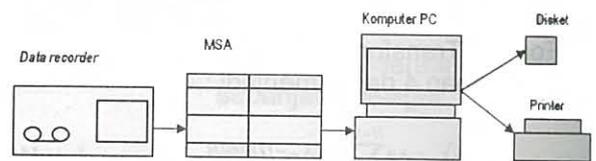
Mengingat jalan layang merupakan jalan tol, tidak memungkinkan menggunakan kendaraan uji tunggal, maka digunakan kendaraan aktual sebagai beban uji. Pengujian dilakukan pada kondisi lancar, macet dan sepi, dimana kondisi sepi ini diharapkan terjadi sinyal sinusoidal pada masing-masing *channel* sehingga akan didapat frekuensi ( $f$ ) dan rasio redaman ( $\xi$ ).

### 3. 4. Pengolahan Data Getaran secara Off Line

Pita-pita kaset hasil rekaman respon getaran dibawa ke Laboratorium untuk pengolahan data secara *off line*. Masing kaset diputar ulang pada *instrument data recorder* dan kedelapan luarannya dimasukkan secara simultan kedalam MSA (*Multi-channel Spectrum Analyzer*) seperti yang diperlihatkan dalam Gambar 6.

Data yang diperoleh berupa data dasar data dasar yang luarannya dalam format berikut :

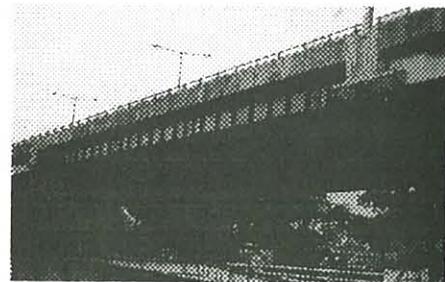
1. *Waveform* getaran dalam domain waktu, dilengkapi dengan data digital dalam format ASCII.
2. Spektrum frekuensi yang merupakan hasil konversi data domain waktu (*waveform*) kedalam domain frekuensi.



Gambar 6. Pengolahan data dasar getaran jembatan layang

## IV. DATA DAN ANALISIS DATA

Contoh respons getar struktur akibat beban lalu lintas truk tangki ke arah Tanjung Priok pada pukul 13.30 WIB disajikan pada gambar berikut.

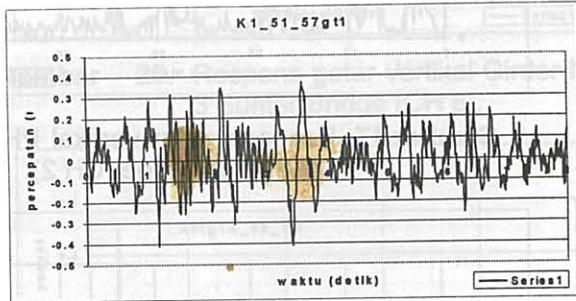


Gambar 7 Jembatan Sunter Steel Bridge Sebagai Obyek Penelitian

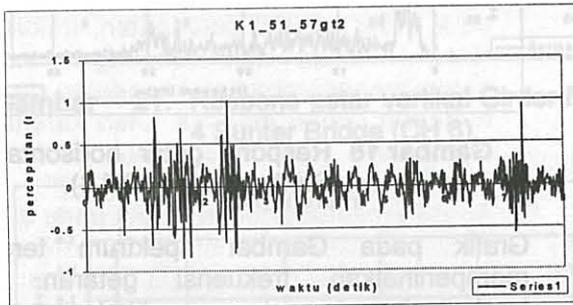
### 4.1. Getaran Pier Head dalam Time Domain

Gambar 8 dan Gambar 9 memperlihatkan respon getar vertikal ujung pier head yang terekam secara simultan. *North Bound* (NB) berarti sisi arah dari Cawang ke Tanjung Priok dan *South Bound* (SB) berarti sisi arah dari Tanjung Priok ke Cawang.

Perilaku getar berupa getaran acak yang mana disebabkan oleh banyaknya eksitasi yang bekerja pada pier head. Eksitasi tersebut dapat berupa beban langsung diatas pier head atau dari sistem interaksi struktur. Percepatan maksimum yang tercatat pada ujung pier head sebesar  $1.009 \text{ m/s}^2$ .

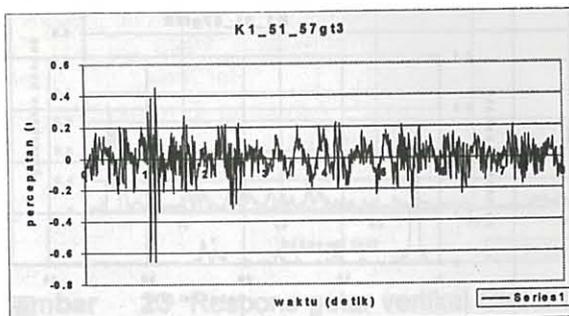


**Gambar 8** Respons getar vertikal PH Sunter Bridge sisi NB (CH 1)

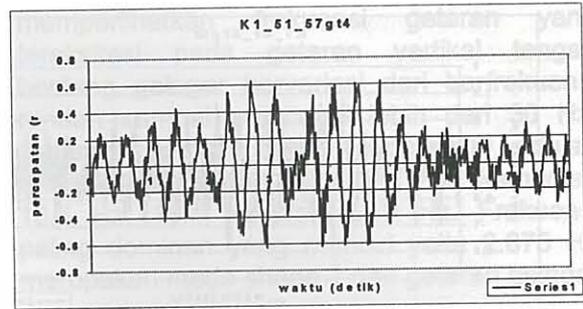


**Gambar 9.** Respons getar vertikal PH Sunter Bridge sisi SB (CH 2)

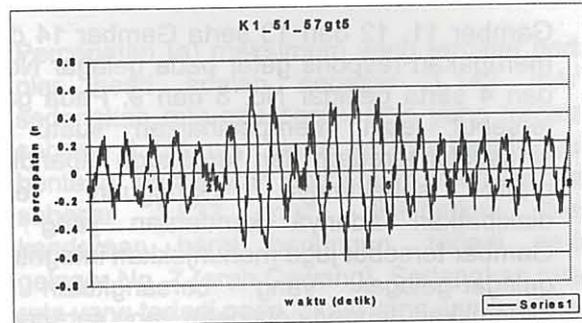
Gambar 10 memperlihatkan respon getar horisontal pada pier head. Pola getar juga terlihat acak sebagai akibat dari banyaknya eksitasi. Data ini juga memperlihatkan terdapat gerak longitudinal pada pier head. Pada kondisi normal percepatan yang terjadi cukup kecil yaitu sekitar  $0.175 \text{ m/s}^2$  dan terdapat puncak percepatan sebagai akibat beban rem.



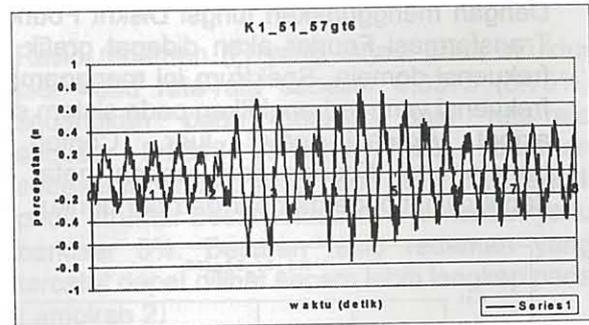
**Gambar 10** Respons getar horisontal PH Sunter Bridge sisi SB (CH 3)



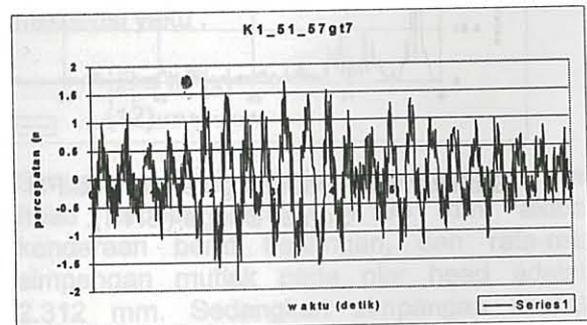
**Gambar 11** Respons getar vertikal girder No. 2 Sunter Bridge (CH 4)



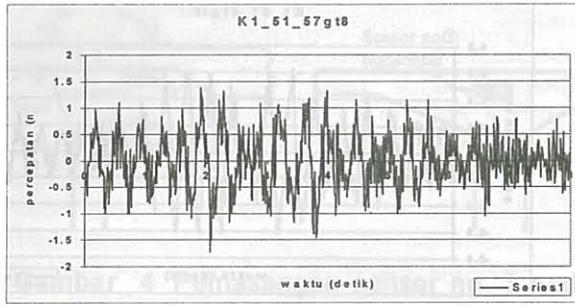
**Gambar 12** Respons getar vertikal girder No. 3 Sunter Bridge (CH 5)



**Gambar 13.** Respons getar vertikal girder No. 4 Sunter Bridge (CH 6)



**Gambar 14** Respons getar vertikal girder No. 8 Sunter Bridge (CH 7)

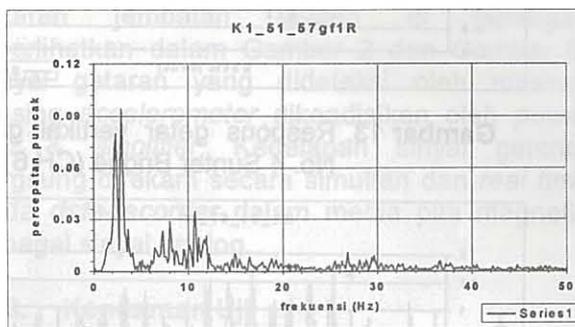


**Gambar 15** Respons getar vertikal girder No. 9 Sunter Bridge (CH 8)

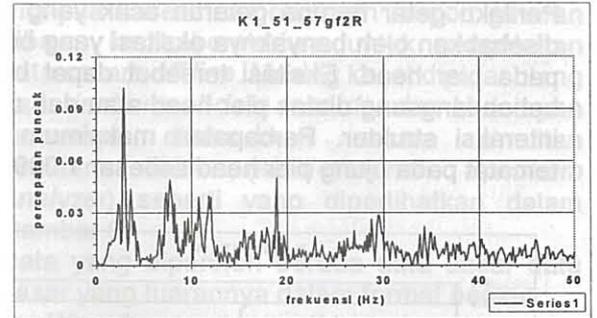
Gambar 11, 12 dan 13 serta Gambar 14 dan 15 merupakan respons getar pada gelagar No. 2, 3 dan 4 serta gelagar No. 8 dan 9. Pada gambar tersebut lebih memperlihatkan suatu grafik sinusoidal teredam dan terganggu dibandingkan grafik sebelumnya. Gangguan tersebut diakibatkan adanya kendaraan yang lewat. Gambar tersebut juga menunjukkan integritas dari gelagar-gelagar yang bersangkutan yang ditunjukkan dengan pola getar yang seragam.

#### 4.2. Getaran Pier Head dalam Frekuensi Domain

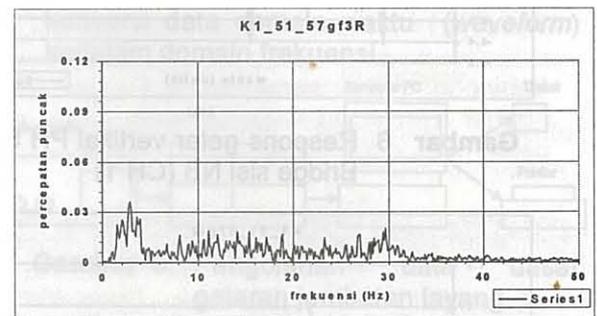
Dengan menggunakan fungsi Diskrit Fourier dan Transformasi Fourier akan didapat grafik dalam frekuensi domain. Spektrum ini menggambarkan frekuensi yang terbangkitkan pada sistem struktur akibat eksitasi gaya luar. Contoh hasil transformasi Fourier dari respon getar diatas dapat dilihat pada gambar-gambar berikut.



**Gambar 16** Respons getar vertikal PH sisi NB Sunter Bridge (CH 1).

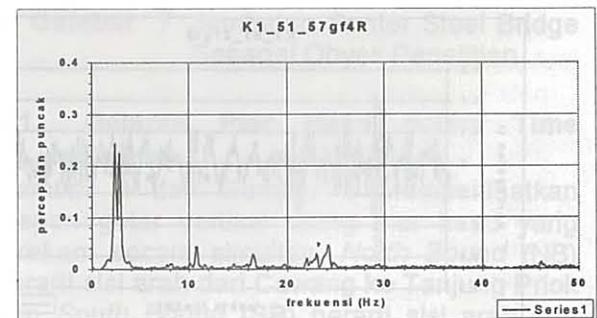


**Gambar 17** Respons getar vertikal PH sisi SB Sunter Bridge (CH 2).

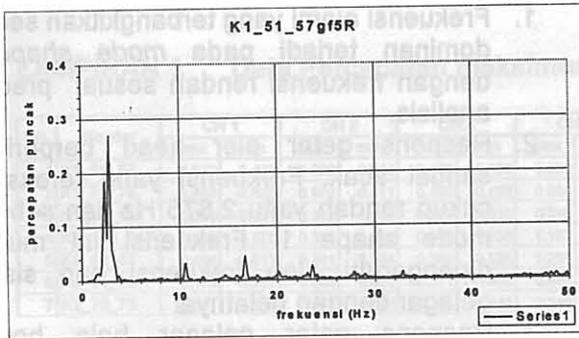


**Gambar 18** Respons getar horisontal PH Sunter Bridge (CH 3).

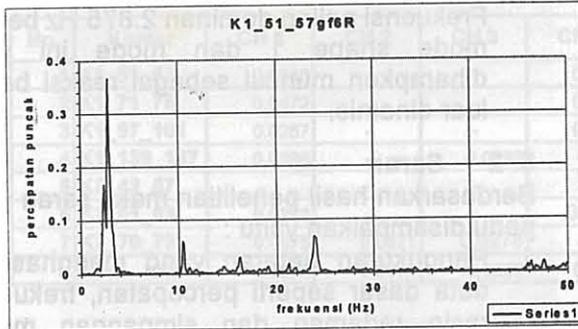
Grafik pada Gambar spektrum tersebut memperlihatkan frekuensi getaran yang tereksitasi pada getaran vertikal ujung pier head bervariasi dari berfrekuensi rendah sampai tinggi. Hal ini dikarenakan getaran yang terjadi berupa getaran acak seperti yang telah diuraikan sebelumnya. Meskipun demikian frekuensi yang dominan terjadi adalah frekuensi rendah, yaitu sekitar 2.875 Hz. Hal ini juga terjadi pada getaran pier head arah longitudinal. Gejala ini nampaknya akibat pengaruh dari getaran yang terjadi pada gelagar.



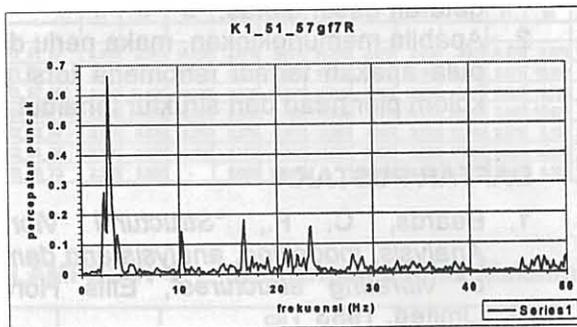
**Gambar 19** Respons getar vertikal Girder No. 2 Sunter Bridge (CH 4).



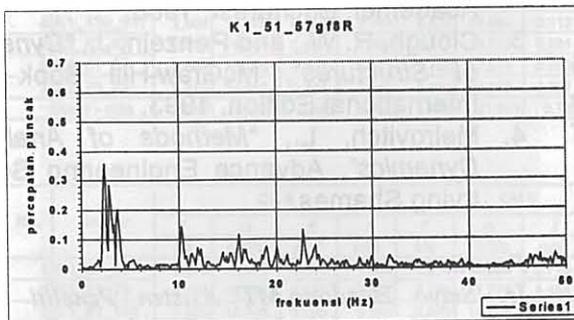
Gambar 20. Respons getar vertikal Girder No. 3 Sunter Bridge (CH 5).



Gambar 21. Respons getar vertikal Girder No. 4 Sunter Bridge (CH 6).



Gambar 22. Respons getar vertikal Girder No. 8 Sunter Bridge (CH 7).



Gambar 23 Respons getar vertikal Girder No. 9 Sunter Bridge (CH 8).

Grafik pada Gambar spektrum untuk gelagar (Gambar 19 sampai Gambar 23) juga memperlihatkan frekuensi getaran yang tereksitasi pada getaran vertikal tengah bentang gelagar bervariasi dari berfrekuensi rendah sampai mencapai lebih dari 30 Hz. Getaran yang paling dominan adalah berfrekuensi rendah yaitu 2.875 Hz kemudian 10.5 Hz, 16.5 Hz dan 23.5 Hz. Frekuensi paling dominan yang muncul yaitu 2.875 Hz merupakan mode shape 1 dari getaran gelagar dan mode ini yang diharapkan muncul sebagai reaksi dari beban luar dinamis. Besaran frekuensi yang tercatat dapat dilihat secara lebih lengkap pada Lampiran 3

Percepatan (a) maksimum yang tercatat pada pier head adalah sebesar  $1.142 \text{ m/s}^2$ , sedangkan rata-rata percepatan yang tercatat sebesar  $0.734 \text{ m/s}^2$ . Untuk gelagar baja tengah bentang, percepatan maksimum yang tercatat sebesar  $1.833 \text{ m/s}^2$ , diakibatkan oleh kendaraan berat beriringan, terjadi pada gelagar No. 7 (arah Cawang). Sedangkan rata-rata yang terjadi pada lokasi yang sama adalah  $1.312 \text{ m/s}^2$ . Besaran percepatan yang tercatat dapat dilihat secara lebih lengkap pada Lampiran 1.

Rasio redaman ( $\xi$ ) yang terjadi pada struktur pier head rata-rata sebesar 0.0375 (3.75%) sedangkan pada gelagar baja rata-rata sebesar 0.0318 (3.18%). Rasio redaman sebesar itu seperti yang pada umumnya terjadi pada struktur besar khususnya jembatan yaitu berkisar 5%. Besaran rasio redaman yang tercatat dapat dilihat secara lebih lengkap pada Lampiran 2.

Simpangan mutlak struktur pada saat bergetar didapat dari hubungan percepatan dan frekuensi yaitu :

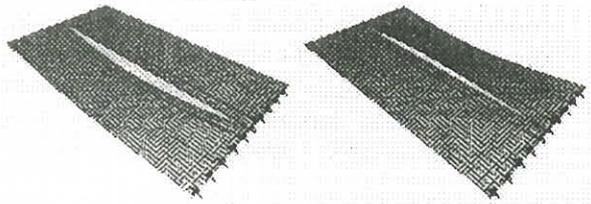
$$|\ddot{x}| = \omega^2 |x| \quad (12)$$

Simpangan mutlak pada ujung kantilever pier head terbesar adalah 4.198 mm, akibat kendaraan berat beriringan, dan rata-rata simpangan mutlak pada pier head adalah 2.312 mm. Sedangkan simpangan mutlak terbesar pada gelagar adalah 7.745 mm yang terjadi pada tengah bentang gelagar baja.

Besaran simpangan mutlak yang tercatat dapat dilihat secara lebih lengkap pada Lampiran 4

#### 4.3. Mode Shape

Seperti yang diuraikan sebelumnya, untuk keperluan pemasangan akselerometer dan sebagai kalibrasi hasil pengujian lapangan dilakukan analisis FEM. Mode getar pada jembatan layang dapat dilihat pada gambar-gambar berikut :



a. Mode 1 (lentur)

b. Mode 2 (torsi)

**Gambar 24** Mode getar pelat lantai jembatan layang Sunter Steel Bridge.

Seperti pada hasil analisis, mode shape 1 yang terjadi pada struktur pelat lantai merupakan perilaku lentur dengan frekuensi cukup rendah yaitu 2.875 Hz. Mode shape 1 ini yang diharapkan terjadi sebagai respons getaran struktur akibat beban lalu lintas. Sedangkan mode shape 2 merupakan perilaku puntir, dan sedapat mungkin dihindari pada struktur karena perilaku tersebut lebih berbahaya.

Pengujian dilakukan dilapangan diantaranya adalah untuk membuktikan mode shape yang mana yang dominan terjadi. Untuk itu diperlukan analisis pada akselerometer di channel 4,5 dan 6 atau pada gelagar 2,3 dan 4. Pada channel tersebut dievaluasi apakah terdapat perbedaan fasa getar dari masing-masing channel. Bila terjadi mode shape 1 maka perbedaan fasa dari channel-channel tersebut adalah  $0^\circ$ . Sebaliknya, bila terjadi mode shape 2 maka perbedaan fasa yang terjadi  $180^\circ$ .

Evaluasi yang dilakukan terhadap channel 4, 5 dan 6 ternyata tidak terdapat perbedaan fasa  $180^\circ$ , yang berarti perilaku getar aktual struktur lantai jembatan adalah mode shape 1.

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengukuran getaran aktual jembatan layang, *Sunter steel bridge*, dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Frekuensi alami yang terbangkitkan secara dominan terjadi pada *mode shape* 1 dengan frekuensi rendah sesuai prediksi analisis.
2. Respons getar pier head berperilaku sangat acak. Frekuensi yang tereksitasi cukup rendah yaitu 2.875 Hz dan sebagai mode shape 1. Frekuensi ini muncul dipengaruhi oleh frekuensi dari sistem gelagar dengan pelatnya.
3. Respons getar gelagar baja berupa frekuensi rendah yaitu sekitar 2.875 Hz kemudian 10.5 Hz, 16.5 Hz dan 23.5 Hz berbentuk harmonik teredam terganggu. Frekuensi paling dominan 2.875 Hz berupa mode shape 1 dan mode ini yang diharapkan muncul sebagai reaksi beban luar dinamis.

### 5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian maka saran yang perlu disampaikan yaitu :

1. Pengukuran getaran yang menghasilkan data dasar seperti percepatan, frekuensi, rasio redaman dan simpangan mutlak belum menggambarkan keandalan struktur terhadap beban dinamis. Oleh karena itu diperlukan analisis lanjutan dari data getaran dasar diatas.
2. Apabila memungkinkan, maka perlu diukur pula apakah terjadi fenomena torsi pada kolom pier head dari struktur tersebut.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Beards, C. F., "*Structural Vibration Analysis, modelling, analysis and damping of vibrating structures*", Ellis Horwood Limited, 1983
2. Buzdugan, Gh., Mihăilescu, Elena., Radeş, Mircea., "*Vibration Measurement*", Martinus Nijhoff Publisher, Dordrecht and Editura Academiei, Bucharest, 1986.
3. Clough, R. W., and Penzein. J., "*Dynamics of Structures*", McGraw-Hill Book Co., International Edition, 1993.
4. Meirovitch, L., "*Methods of Analytical Dynamics*", Advance Engineering Series, Irving Shames.

### Penulis :

*Ir. Setyo Hardono, MT* Asisten Peneliti Muda bidang Konstruksi Jalan, Puslitbang Prasarana Transportasi Badan Litbang Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah.

**LAMPIRAN 1 Data Percepatan maksimum Sunter Steel Bridge**

No.	Konter	CH 1		CH 2		CH 3		CH 4		CH 5		CH 6		CH 7		CH 8		Kendaraan
		max	min															
1	K1_51_57	0.372	-0.413	1.009	-0.844	0.452	-0.658	0.630	-0.626	0.621	-0.641	0.743	-0.776	1.785	-1.819	1.382	-1.725	Truk Tangki Gas
2	K1_71_75	0.468	-0.628	0.972	-0.811	0.428	-0.496	0.964	-1.113	0.943	-1.052	1.188	-1.109	1.833	-1.662	1.589	-1.590	Kend. Beriringan
3	K1_97_101	0.359	-0.321	0.922	-1.142	0.428	-0.510	0.616	-0.668	0.544	-0.708	0.555	-0.248	1.565	-1.572	1.540	-1.654	Lalin Padat
4	K1_139_147	0.486	-0.578	0.312	-0.218	0.463	-0.635	1.187	-1.336	1.150	-1.360	1.602	-1.644	0.758	-0.843	0.650	-0.747	Lalin Padat
5	K2_42_57	0.484	-0.617	0.361	-0.334	0.389	-0.525	1.251	-1.513	1.443	-1.169	1.597	-1.287	0.960	-0.879	0.903	-0.917	T. Tangki + Macet
6	K2_61_65	0.179	-0.207	0.684	-0.893	0.371	-0.402	0.444	-0.396	0.426	-0.391	0.481	-0.411	1.321	-1.002	1.363	-1.325	Kontainer + Sepi
7	K2_70_73	0.321	-0.270	0.877	-0.675	0.264	-0.348	0.246	-0.259	0.238	-0.242	0.258	-0.297	0.962	-0.763	0.857	-0.839	Trailer + Sepi

**LAMPIRAN 2 Damping Ratio Getaran Sunter Steel Bridge**

No.	Konter	CH 1	CH 2	CH 3	CH 4	CH 5	CH 6	CH 7	CH 8	Kendaraan
1	K1_51_57	0.0346	-	-	0.0448	0.0428	0.0312	0.0426	0.0520	Truk Tangki Gas
2	K1_71_75	0.0472	-	-	0.0293	0.0519	0.0407	0.0509	0.0308	Kend. Beriringan
3	K1_97_101	0.0287	-	-	0.0291	0.0247	0.0270	-	-	Lalin Padat
4	K1_139_147	0.0395	-	0.0299	-	0.0301	0.0227	0.0161	0.0217	Lalin Padat
5	K2_42_57	-	-	-	-	0.0336	-	-	0.0203	T. Tangki + Macet
6	K2_61_65	0.0293	-	-	0.0245	0.0151	0.0235	-	-	Kontainer + Sepi
7	K2_70_73	0.0475	0.0371	0.0278	-	0.0235	0.0218	-	-	Trailer + Sepi
	Rata - rata	0.0378	0.0371	0.0288	0.0319	0.0317	0.0278	0.0365	0.0311	

**LAMPIRAN 3 Frekuensi (f) Getaran Sunter Steel Bridge**

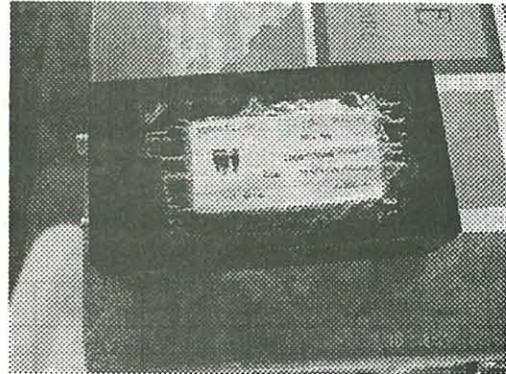
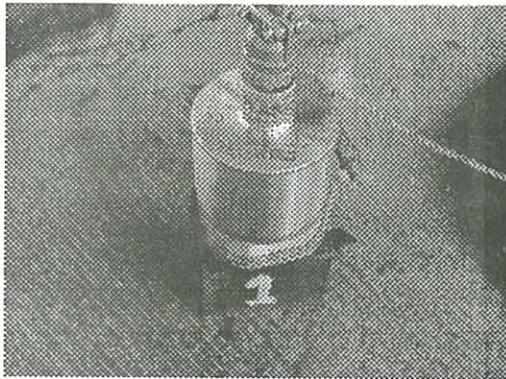
No.	Konter	CH1			CH2			CH3			CH4			CH5			CH6			CH7			CH8			Kendaraan		
		f1	f2	f3																								
1	K1_51_57	2.875	2.375	10.750	2.875	2.375	10.750	2.875	2.000	3.625	2.375	2.875	10.750	2.875	2.375	10.875	2.875	2.375	10.500	2.875	2.375	10.250	2.375	2.875	10.250	2.875	10.250	Truk Tangki Gas
2	K1_71_75	2.250	9.750	11.000	2.875	11.375	16.000	2.500	16.000	24.625	2.375	16.500	10.750	2.625	10.500	20.250	2.750	10.375	16.125	2.500	23.375	10.250	2.375	10.250	16.250	16.250	16.250	Kend. Beriringan
3	K1_97_101	2.500	11.125	10.375	2.625	11.250	16.750	2.500	16.250	16.750	2.500	10.750	16.750	2.500	23.500	10.625	2.500	10.375	16.125	2.500	10.250	23.375	2.500	12.000	16.500	16.500	16.500	Lalin Padat
4	K1_139_147	2.500	10.500	16.000	2.875	11.125	19.625	3.875	16.375	20.125	2.500	10.625	16.500	2.875	10.625	16.750	2.750	10.375	16.250	2.875	10.250	23.750	2.500	10.375	12.000	12.000	12.000	Lalin Padat
5	K2_42_57	2.875	9.375	19.250	2.375	4.875	9.250	4.000	2.375	13.750	2.375	5.125	9.625	2.375	16.750	23.500	2.375	10.500	21.250	2.375	5.875	10.250	2.375	10.375	16.125	16.125	16.125	T. Tangki + Macet
6	K2_61_65	2.500	8.625	10.750	2.750	8.625	17.625	2.625	4.000	17.625	2.625	10.750	16.875	2.625	16.750	10.750	2.750	10.500	15.500	2.500	10.250	16.750	2.500	10.375	12.000	12.000	12.000	Kontainer + Sepi
7	K2_70_73	2.375	8.000	-	8.000	15.250	-	4.000	8.375	15.750	2.500	8.375	16.625	2.875	10.625	16.625	2.875	10.375	16.125	2.375	8.250	10.250	2.375	8.250	10.375	10.375	10.375	Trailer + Sepi

**LAMPIRAN 4 Simpangan Mutlak Maksimum Sunter Steel Bridge**

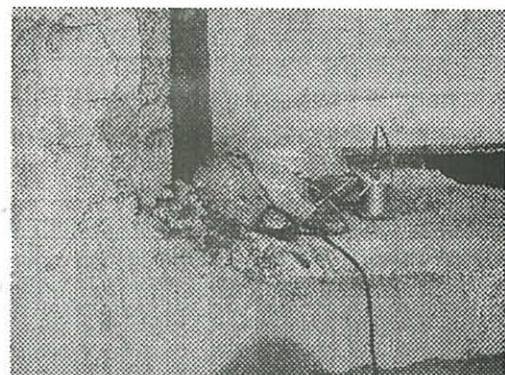
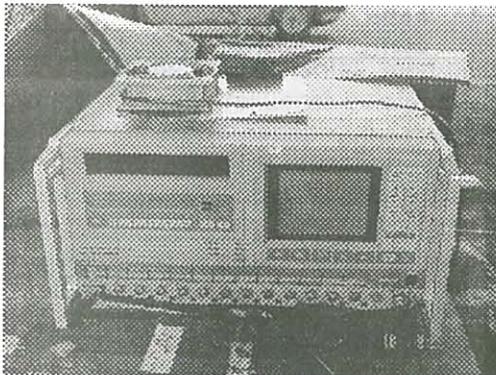
No.	Konter	CH 1				CH 2				CH 3				CH 4				Jenis Kendaraan
		f	$\omega$	$\ddot{x}$	X													
1	K1_51_57	2.875	18.064	0.413	1.266	2.875	18.064	1.009	3.093	2.875	18.064	0.658	2.016	2.375	14.923	0.630	2.827	Truk Tangki Gas
2	K1_71_75	2.250	14.137	0.628	3.143	2.875	18.064	0.972	2.979	2.500	15.708	0.496	2.012	2.375	14.923	1.113	4.998	Kend. Beriringan
3	K1_97_101	2.500	15.708	0.359	1.457	2.625	16.493	1.142	4.198	2.500	15.708	0.510	2.069	2.500	15.708	0.668	2.708	Lalin Padat
4	K1_139_147	2.500	15.708	0.578	2.344	2.875	18.064	0.312	0.956	3.875	24.347	0.635	1.071	2.500	15.708	1.336	5.413	Lalin Padat
5	K2_42_57	2.875	18.064	0.617	1.890	2.375	14.923	0.361	1.622	4.000	25.133	0.525	0.831	2.375	14.923	1.513	6.793	T. Tangki + Macet
6	K2_61_65	2.500	15.708	0.207	0.837	2.750	17.279	0.893	2.990	2.625	16.493	0.402	1.478	2.625	16.493	0.444	1.631	Kontainer + Sepi
7	K2_70_73	2.375	14.923	0.321	1.441	8.000	50.265	0.877	0.347	4.000	25.133	0.348	0.551	2.500	15.708	0.259	1.051	Trailer + Sepi
	Rata - rata	2.554	16.045	0.446	1.788	3.482	21.879	0.795	2.312	3.196	20.084	0.511	1.433	2.464	15.484	0.852	3.632	

No.	Konter	CH 5				CH 6				CH 7				CH 8				Kendaraan
		f	$\omega$	$\ddot{x}$	X													
1	K1_51_57	2.875	18.064	0.641	1.964	2.875	18.064	0.776	2.377	2.875	18.064	1.819	5.573	2.375	14.923	1.725	7.745	Truk Tangki Gas
2	K1_71_75	2.625	16.493	1.052	3.867	2.750	17.279	1.188	3.979	2.500	15.708	1.833	7.427	2.375	14.923	1.590	7.142	Kend. Beriringan
3	K1_97_101	2.500	15.708	0.708	2.668	2.500	15.708	0.555	2.249	2.500	15.708	1.572	6.371	2.500	15.708	1.654	6.703	Lalin Padat
4	K1_139_147	2.875	18.064	1.360	4.168	2.750	17.279	1.644	5.508	2.875	18.064	0.843	2.585	2.500	15.708	0.747	3.027	Lalin Padat
5	K2_42_57	2.375	14.923	1.443	6.482	2.375	14.923	1.597	7.172	2.375	14.923	0.960	4.310	2.375	14.923	0.917	4.119	T. Tangki + Macet
6	K2_61_65	2.625	16.493	0.426	1.566	2.750	17.279	0.481	1.610	2.500	15.708	1.321	5.354	2.500	15.708	1.363	5.524	Kontainer + Sepi
7	K2_70_73	2.875	18.064	0.242	0.740	2.875	18.064	0.297	0.911	2.375	14.923	0.962	4.320	2.375	14.923	0.857	3.847	Trailer + Sepi
	Rata - rata	2.679	16.830	0.839	3.094	2.696	16.942	0.934	3.401	2.571	16.157	1.330	5.134	2.429	15.259	1.265	5.444	

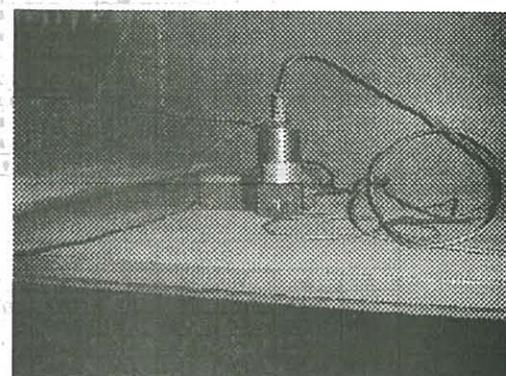
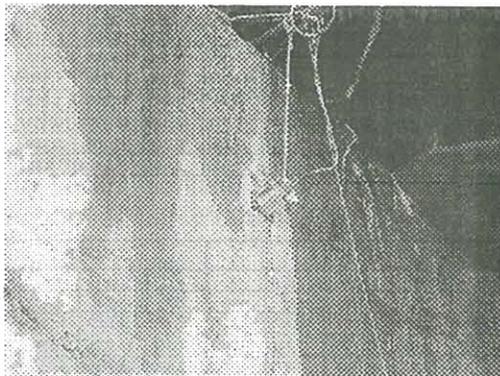
LAMPIRAN 5 Foto-foto kegiatan



Akselerometer dan amplifler



Data logger dan Pemasangan Akselerometer di PH



Pemasangan Akselerometer pada tengah Pier Head dan tengah girder baja



## DISTRIBUSI LALU LINTAS KENDARAAN BERAT DI JALUR PANTURA

*Erwin Kusnandar*

### **RINGKASAN**

*Beban lalu lintas sebagai salah satu parameter disain perkerasan jalan. Ketidak tepatan dalam menetapkan parameter disain seperti, beban/ekivalen standar axle dan distribusi beban lalu lintas lajur rencana akan mengakibatkan penurunan kondisi jalan dengan lebih cepat. Distribusi tersebut pada lajur rencana sudah ditetapkan seperti, untuk jalan satu lajur dua arah kendaraan berat sebesar 70% dari lalu lintas yang ada, lintasan tersebut akan terjadi di lajur lambat/kiri.*

*Dalam tulisan ini, akan digambarkan bahwa besaran ditribusi lalu lintas kendaraan berat pada lajur rencana bisa berubah, terutama jika jalur jalan tersebut memiliki karakteristik lingkungan sisi jalan dan perilaku lalu lintas yang secara signifikan berpengaruh pada distribusi beban lalu lintas. Dari hasil penelitian di lapangan yang dalam hal ini di jalur Pantura bahwa, distribusi lalu lintas kendaraan berat tersebut berada di lajur cepat/kanan sebesar 81%.*

### **SUMMARY**

*Traffic load is one of parameter for road design. In-accuracy in determining design parameter such as load/equivalent of standar axle load and distribution of traffic load in design lane mostly will cause the decrease of road condition become faster. That distribution usually has been setted such as, for one carriageway, two lane, each lane has 70% of traffic volume, and it happer on left lane (slow lane).*

*In this paper it describes that the portion of heavy vehicle of traffic in design lane can change easily, generally if that lane has characteristic of road side and the traffic significantly give impact to the traffic distribution. From this paper base on field observation in North corridor, the portion of heavy vehicle is 81% on fast lane (middle lane).*

### **I. PENDAHULUAN**

Data lalu lintas kendaraan sangatlah penting perannya dalam perencanaan prasarana transportasi jalan seperti untuk disain, ekonomi, maupun program investasi. Berkaitan dengan perencanaan disain perkerasan jalan, di mana salah satu parameter design adalah beban lalu lintas (beban standar axle dan distribusi lintasan rencana), karena kumulatif beban kendaraan tersebut yang akan dipikul oleh jalan selama umur rencana.

Beban lalu lintas dalam perencanaan perkerasan jalan dinyatakan dalam beban lintasan ekivalen persatuan waktu, melalui penetapan besaran beban pada distribusi lajur rencana. Besaran distribusi beban pada lajur rencana ditentukan dengan menggunakan koefisien distribusi kendaraan, SKBI-2.3.26. 1987, UDC : 625.37 (02) yaitu, petunjuk penetapan lintasan ekivalen atau disebut pada lajur rencana, dengan asumsi distribusi volume lalu lintas kendaraan berat terbesar akan terjadi pada lajur

tersebut. Distribusi prosentase lintasan kendaraan berat pada jalan bertipe 4 lajur 2 arah (4/2-UD), ditetapkan sebesar 70% dari lalu lintas yang ada, dengan asumsi akan terjadi pada lajur lambat/kiri sedangkan lajur cepat/kanan dipergunakan hanya untuk mendahului.

Ada dugaan penetapan 70% dan asumsi tersebut di atas sudah mengalami pergeseran. Sering ditemui di lapangan dimana lintasan kendaraan berat berkecenderungan berada di lajur cepat/kanan.

Dari uraian latar belakang permasalahan tersebut di atas, maka dalam tulisan ini dirumuskan suatu hipotesa bahwa telah terjadi dominasi penggunaan jalur cepat oleh kendaraan berat dan ringan secara kontinu dan mantap. Penulis akan mencoba mengevaluasi kenapa terjadi dugaan perilaku lalu lintas kendaraan berat berada di lajur cepat/kanan dan apa pengaruhnya terhadap perkerasan jalan.

Lokasi ruas jalan yang diangkat sebagai sampel penelitian adalah jalan bertipe empat lajur dua arah terbagi.

## II. METODOLOGI

Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini menyangkut ;

### 1) Metoda pengukuran

Untuk mendapatkan distribusi lalu lintas kendaraan dalam setiap lajur, pencacahan dilakukan dalam variasi 1 x 24 jam, metoda yang dilakukan dengan cara manual.

### 2) Metoda analisa

Pendekatan metoda analisa didasarkan pada adanya dugaan bahwa pengemudi kendaraan berat dan ringan, khususnya di dalam penggunaan lajur lebih mempertimbangkan keselamatan dan kemudahan bagi pergerakan kendaraannya. Untuk menguji hipotesa yang diajukan di atas, maka dominasi kendaraan yang bersifat kontinu dan mantap akan diuji melalui uji kenormalan data, dalam hal ini volume kendaraan secara statistik. Asumsi ini didasarkan bahwa apabila perubahan perilaku pengemudi dalam memilih lajur pengemudi hanya karena faktor kebetulan semata, maka distribusi volume kendaraan selama varian 1 x 24 jam tidak akan berdistribusi normal.

Statistik yang digunakan untuk menguji hipotesis adalah Uji Shapiro-Wilks (Conover, 1980).

3) Kriteria lokasi yaitu jalan bertipe empat lajur dua arah, maka lokasi kasus jalan adalah jalur Pantura Jawa Barat, tepatnya di ruas jalan Cikampek – Lohbener.

## III. KARAKTERISTIK LALU LINTAS

### 3.1 Perilaku Pengemudi

Kejadian secara empiris bahwa di jalan perilaku pengemudi saat melintas di jalan akan mengalami beberapa fase, yaitu fase dimana kendaraan dengan bebas bergerak menurut yang dikehendaki tanpa halangan dan tidak mengganggu kendaraan lain (freeflow), fase lain dimana kondisi lingkungan dan kendaraan lain mulai mempengaruhi, pada fase kedua itu mulai terjadi tekanan pada pengemudi saat menjalankan kendaraan, yang pada akhirnya pengemudi mengambil tindakan, tindakan tersebut dengan pertimbangan tentunya pilihan yang paling menguntungkan buat dirinya dan pergerakan kendaraannya. Pilihan tindakan yang pertama kali dilakukan oleh pengemudi umumnya dengan menurunkan kecepatan atau merubah arah pergerakan (pemilihan lajur).

### 3.2 Hambatan Samping

Selain dari pada faktor geometrik jalan yang memberikan dampak sebagai peubah kinerja jalan ke arah lebih buruk adalah faktor hambatan samping. Hambatan samping merupakan aktivitas yang ada di samping jalan seperti :

- Pejalan kaki yang berada di badan jalan
- Pedagang kaki lima (PKL)
- Kendaraan lambat (Takbermotor)
- Parkir di jalan
- Keluar masuk kendaraan dari/ke akses jalan/lahan
- Naik turun penumpang angkutan umum (Angkot).

Variabel tersebut sebagai dampak dari intensitas aktivitas guna lahan di sisi jalan, dimana guna lahan yang berpotensi pembangkit aktivitas adalah guna lahan seperti komersial dan jasa.

Kemudahan aksesibilitas dan mobilitas menjadi kan guna lahan pada suatu area berubah menjadi suatu daerah terbangun dengan cepat, ketidakjelasan peruntukan lahan dan pengawasan, menjadikan perubahan tersebut cenderung tidak terkendali. Daerah sisi jalan merupakan daerah yang mendapat kemudahan tersebut paling tinggi. Potensi tersebut biasanya mendorong lahan lahan pertanian berubah menjadi lahan perumahan atau komersial.

Dari laporan hasil penelitian penyebab kemacetan lalu lintas di jalan Pantura Jawa Barat, yang dilakukan oleh Pusat litbang Prasarana Transportasi (Thn. 2002), mengindikasikan bahwa penyebab kemacetan lalu lintas yang utama karena faktor tingginya hambatan samping.

### 3.3 Parameter Disain Perkerasan Jalan

Disain perkerasan jalan untuk bisa memenuhi masa layanan sesuai dengan umur rencana jalan tentunya harus didukung oleh input parameter disain yang tepat, kegagalan dalam menetapkan parameter disain akan mengakibatkan penurunan kondisi jalan dengan lebih cepat, dan konsekwensinya terhadap biaya yang dikeluarkan dari aspek prasarana dan sarana transportasi menjadi meningkat seperti, biaya pembangunan, biaya operasi kendaraan, nilai waktu, dan biaya kecelakaan. Oleh karena itu penetapan parameter disain menjadikan sesuatu hal yang sangat penting dalam disain perkerasan jalan. Parameter disain perkerasan jalan meliputi :

- Daya dukung tanah dasar
- Faktor regional
- Beban lalu lintas
- Distribusi lintasan rencana
- Indek permukaan.

Beban lalu lintas atau LER pada lajur rencana merupakan salah satu parameter disain yang bisa berubah-ubah, sangat bergantung pada karakteristik lalu lintas, jenis muatan, dan penegakan hukum.

### 3.3.1 Ekuivalen Standar Axle

Konstruksi perkerasan jalan akan mengalami penurunan indek permukaan sekecil apapun jika dilintasi kendaraan, sesuai dengan beban yang dilimpahkan melalui roda kendaraan, konfigurasi sumbu, dan bidang kontak antara roda dengan perkerasan jalan, dengan demikian apek dari masing-masing jenis kendaraan terhadap dampak penurunan indek permukaan yang ditimbulkan tidaklah sama. Untuk itulah perlunya ekuivalensi ke beban standar.

Beban standar merupakan beban sumbu tunggal/ganda seberat 8,16 ton, jadi angka ekuivalen kendaraan adalah angka yang menunjukkan jumlah lintasan dari sumbu tunggal beban standar yang akan menyebabkan penurunan indek permukaan yang sama apabila kendaraan tersebut lewat satu kali. Secara empiris faktor daya rusak kendaraan (Vehicle Damaging Faktor = VDF. Satuan yang digunakan dalam mengukur faktor daya rusak tersebut adalah Equivalent Standar Axke (ESA), formulanya cara Bina Marga adalah sebagai berikut ;

$$\begin{aligned} \text{sumbu tunggal ESA} &= \left[ \frac{P}{8,16} \right]^4 \\ \text{sumbu tandem ESA} &= 0,086 \times \left[ \frac{P}{8,16} \right]^4 \\ \text{sumbu tripple ESA} &= 0,053 \times \left[ \frac{P}{8,16} \right]^4 \end{aligned}$$

dimana P adalah beban sumbu.

Sebagai gambaran perbandingan jika kendaraan ringan/penumpang satu kali lewat akan menimbulkan penurunan indek permukaan sebesar 0,0004 sedangkan jika kendaraan truk bisa menimbulkan penurunan indek permukaan sebesar 5,0264.

### 3.3.2 Distribusi Lintasan Lalu lintas

Lintasan Ekuivalen Rencana (LER) merupakan parameter disain untuk perkerasan jalan, yang didapat dari volume lalu lintas persatuan waktu dikalikan dengan ekuivalennya. Berikut ini koefisien distribusi untuk kendaraan ringan dan berat yang lewat pada lajur rencana ditentukan menurut daftar di Tabel 1. bawah ini.

Tabel 1.  
Koefisien distribusi kendaraan

Jumlah Lajur	Kendaraan Ringan		Kendaraan Berat	
	1 arah	2 arah	1 arah	2 arah
1 lajur	1,00	1,00	1,00	1,00
2 lajur	0,60	0,50	0,70	0,50
3 lajur	0,40	0,40	0,50	0,475
4 lajur	-	0,30	-	0,45
5 lajur	-	0,25	-	0,425
6 lajur	-	0,20	-	0,40

Sumber SKBI-2.3.26. 1987

Untuk jalan 2 lajur 1 arah LER kendaraan ringan 60% dan kendaraan berat 70%.

### 3.4 Manajemen Lalu Lintas

Tata cara berlalu lintas di jalan raya, menyuplik dari Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 43 Tahun 1993, Tentang Prasarana dan Lalu Lintas jalan, Pasal 61, tersurat Pada jalur yang memiliki dua atau lebih lajur searah, kendaraan yang berkecepatan lebih rendah dari padakendaraan lain harus mengambil lajur sebelah kiri/lambat.

## IV. PRESENTASI DATA

### 4.1 Lokasi Survai

Jalan Pantura adalah jalan arteri sitem primer, membentang di Pulau Jawa yang dimulai dari sebelah barat yaitu kota Merak hingga ke timur yaitu kota Banyuwangi, berfungsi arteri primer dan strategis letaknya menjadi ruas jalan tersebut sebagai tulang punggung kegiatan perekonomian regional dan nasional, mempunyai volume lalu lintas yang tinggi dengan proporsi kendaraan besar/berat jenis truk dan bus cukup tinggi. Dengan kondisi seperti tersebut, menjadikan jalur Pantura sebagai kasus litbang yang perlu diperhatikan, lokasi yang menjadi pengamatan berada pada ruas jalan antara Cikampek sampai dengan Lohbener (Jawa Barat), bertipe jalan 4 lajur 2 arah terbagi (4/2-D).

### 4.2 Hambatan Samping

Kawasan di daerah jalur Pantura menjadi suatu kawasan terbangun yang pesat, tetapi karena kurang jelasnya peruntukan guna lahan yang dituju dan lemahnya pengawasan menjadikan perkembangan tersebut cenderung tidak terkendali. Fanomena pembangunan yaitu berubahnya peruntukan guna lahan seperti, dari lahan beraktivitas rendah (pertanian) ke lahan beraktivitas tinggi (perumahan atau komersial), perubahan tersebut cukup signifikan dari waktu ke waktu (*Ribbon Development*). Guna lahan beraktivitas tinggi cenderung bisa membangkitkan

lalu lintas yang selanjutnya akan diikuti dengan kegiatan lain seperti pejalan kaki, parkir, pedagang kaki lima, keluar masuk kendaraan (hambatan sampig).

Beberapa laporan studi yang telah dilakukan oleh Pusat Litbang Prasarana Transportasi mengindikasikan banyaknya segmen jalan dimana pengemudi tidak bisa mengembangkan kecepatan kendaraannya sesuai dengan ketentuan minimal kecepatan di jalan arteri, bahkan pada segmen jalan tertentu sampai dengan kondisi macet lalu lintas,

### 4.3 Berat Kendaraan

Departemen Perhubungan telah menetapkan beberapa ketentuan teknis angkutan barang jenis truk, bahwa jenis kendaraan truk dikelompokkan dalam klasifikasi, konfigurasi sumbu, dengan muatan sumbu terberat (MST) 8 ton, dimana berat yang diijinsk untuk single adalah 8 ton, untuk tandem 15 ton, dan untuk triple 20 ton. Dengan beban yang diijinkan tersebut maka akan didapat nilai ESA teoritis untuk masing-masing klasifikasi kendaraan.

Beberapa laporan studi empiris yang telah dilakukan oleh Pusat Litbang Prasarana Transportasi di beberapa ruas jalan alternatif dan jalan tol mengindikasikan bahwa jenis kendaraan truk memperlihatkan nilai ESA empiris lebih besar dari nilai ESA teoritis, artinya kendaraan jenis truk yang operasional di lapangan (eksisting) mengalami kelebihan muatan (overloading).

### 4.4 Distribusi Lalu Lintas Kendaraan Berat

Ditinjau dari aspek muatan dan ukuran yang dimiliki, perbedaan antara jenis kendaraan ringan dengan kendaraan berat secara teoritis jenis kendaraan ringan akan bergerak lebih cepat dari pada jenis kendaraan berat. Secara empiris di lapangan menunjukkan bahwa baik secara visual maupun dari hasil penelitian (Studi kemacetan lalu lintas, Pustran, 2003) jenis kendaraan ringan secara umum lebih cepat.

Ciri-ciri lalu lintas pada jaringan jalan antar kota (sistem primer) yang sangat menonjol di antaranya adalah ;

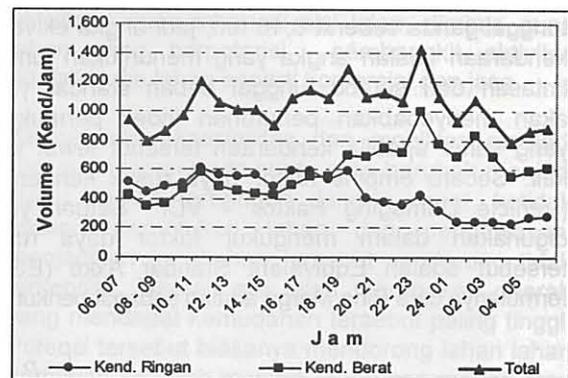
- Volume lalu lintas lebih rendah dari perkotaan
- Kecepatan kendaraan tinggi
- Jenis moda lebih banyak kendaraan dengan tujuan jarak jauh
- Beban muatan kendaraan relatif berat.

Jalan pantura sebagai kasus studi mempunyai tipe jalan empat lajur dua arah terbagi (4/2-D), jadi masing-masing arah mempunya dua lajur yaitu, lajur cepat/kanan dan lajur lambat/kiri, dimana lajur cepat

diperuntukan kendaraan yang relatif lebih cepat atau untuk keperluan menyiapkan.

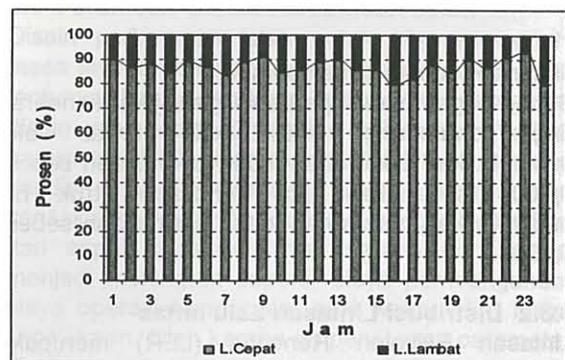
Dalam perencanaan disain perkerasan jalan dimana kendaraan dikelompokkan dalam dua bagian yaitu, kendaraan ringan yang terdiri atas jenis jeep, sedan, pick-up, mini bus sedang, dan kendaraan berat yang terdiri atas jenis truk dan bus besar. Dari hasil pengukuran untuk mengetahui distribusi penggunaan lajur dalam setiap arahnya, klasifikasi jenis kendaraan yang digunakan terdiri atas dua kelas yaitu, kelompok kelas kendaraan ringan dan berat.

Dari hasil pengukuran lalu lintas (traffic counting) dalam variasi 1 x 24 jam, menunjukkan bahwa volume lalu lintas berfluktuasi dalam setiap jamnya, adanya tiga waktu jam puncak volume yaitu, pagi, sore, dan malam, lihat Gambar 1.

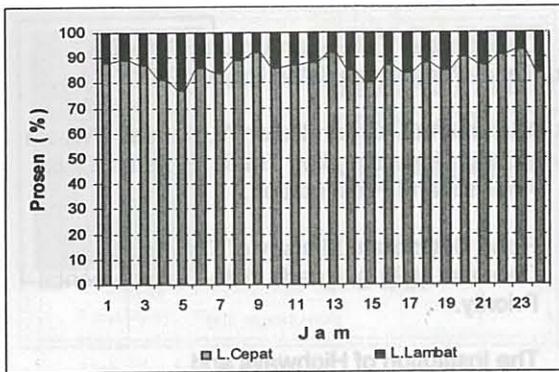


Gambar 1. Fluktuasi volume lalu lintas variasi 1x24 Jam (dua arah)

Data volume lalu lintas terdistribusi atas masing-masing lajur (cepat dan lambat), pada Gambar 2 dan Gambar 3 grafik distribusi lintasan kendaraan berat masing masing arah.

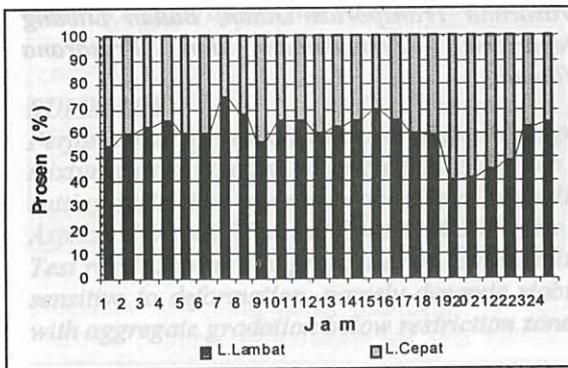


Gambar 2. Distribusi volume kend. Berat (arah ke Pamanukan)

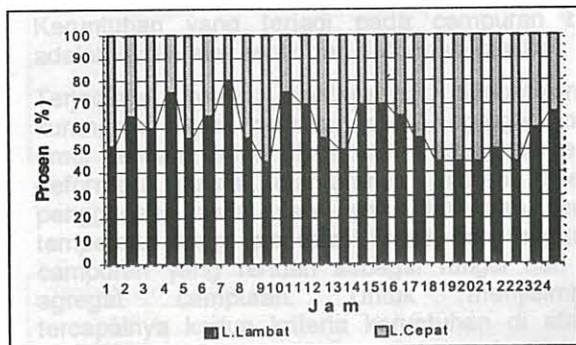


Gambar 3. Distribusi volume kend. Berat (arah ke Cikampek)

Dan pada Gambar 4 dan Gambar 5 distribusi lintasan kendaraan ringan masing masing arah.

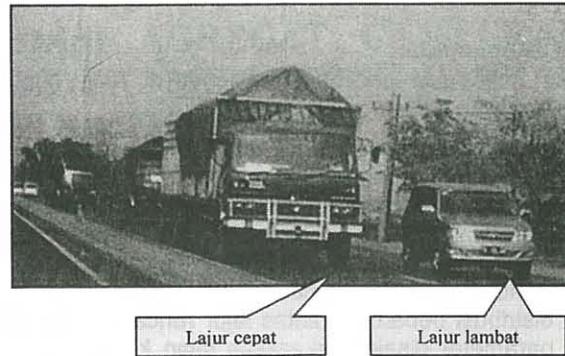


Gambar 4. Distribusi volume kend. ringan (arah ke Pamanukan)



Gambar 5. Distribusi volume kend. ringan (arah ke Cikampek)

Berikut ini pada Gambar 6, ilustrasi dari lintasan kendaraan di jalur Pantura, dimana kendaraan berat berada di lajur cepat dan kendaraan ringan berada di lajur lambat.



Gambar 6. Lajur cepat yang digunakan kend. lambat

## V. PEMBAHASAN

Fluktuasi volume lalu lintas dalam variasi 1 x 24 jam, terjadinya tiga waktu puncak yaitu waktu puncak pagi hari yang jatuh berkisar antara jam 11, dan jam puncak sore hari yaitu jatuh berkisar jam 19, dan jam puncak malam yaitu terjadi jatuh berkisar jam 24.

Ditinjau dari aspek distribusi lintasan lalu lintas (cepat dan lambat) dari ke 4 kelompok volume lalu lintas dalam setiap jenis kendaraan baik kendaraan ringan dan kendaraan berat masing-masing arah menunjukkan bahwa, semua volume lalu lintas jenis kendaraan secara statistik "*menyebar secara normal*". Pada Tabel 2 di bawah ini proporsi rata-rata distribusi lintasan dari masing-masing kelompok jenis kendaraan.

Tabel 2.  
Proporsi distribusi kendaraan

Kendaraan	Prosen (%)	
	Lajur Cepat	Lajur Lambat
Ringan	41	59
Berat	81	19

Ini menunjukkan bahwa perubahan perilaku pengemudi dalam menentukan pilihan lajur bukan lagi faktor kebetulan semata, akan tetapi lebih disebabkan oleh faktor kemudahan dan keselamatan bagi dirinya, karena berjalan pada lajur lambat akan selalu behadapan dengan faktor hambatan samping yang mempunyai resiko gangguan. Dengan demikian faktor hambatan samping dapat dikatakan sebagai salah satu faktor yang menyebabkan pengemudi angkutan berat merubah penggunaan lajur dari yang seharusnya berada di lajur lambat ke lajur cepat sebagai suatu keputusan yang permanen.

## VI. KESIMPULAN dan SARAN

### 6.1 Kesimpulan

Dari urai hasil penelitian tersebut di atas dapat disimpulkan bahwa ;

1. Pada jalur jalan Pantura telah terjadi perubahan perilaku pengemudi kendaraan berat secara kontinu dan mantap untuk menggunakan lajur cepat/kanan.
2. Perlunya mempertimbangkan lagi komposisi distribusi beban lalu lintas lajur rencana, sebagai parameter disain perkerasan jalan khususnya di jalur jalan Pantura.
3. Faktor hambatan samping yang memberi andil perubahan perilaku pengemudi kendaraan berat memilih lintasan di lajur cepat/kanan.

### 6.2 Saran

Saran yang bisa disampaikan adalah ;

1. Penelitian ini masih dalam taraf peninjauan karena dilakukan hanya pada segmen jalan tertentu, oleh karena itu penelitian lebih lanjut perlu dilakukan dengan lokasi segmen jalan lebih banyak.

## DAFTAR PUSTAKA :

- 1) Departemen Pekerjaan Umum, Petunjuk Tebal Perkerasan Jalan Raya, 1987.
- 2) Michael A.P. Taylor, Peter W. Bonsall, William Young. Understanding Traffic Systems, Data, Analysis and Presentation.
- 3) Road Directorate Ministry of Transport Denmark (1983), Roads With Environmental Priority.
- 4) The Institution of Highways and Transportation UK (1986), Roads and Traffic in Urban Areas.

### *Penulis :*

*Ir. Erwin Kusnandar, Ajun Peneliti Muda, Bidang Teknik Lalu Lintas, Pusat Litbang Prasarana Transportasi Jalan, Badan Litbang Departemen Perumahan dan Prasarana Wilayah.*



# PENGARUH GRADASI AGREGAT CAMPURAN BERASPAL PANAS YANG MEMOTONG DAERAH TERLARANG (RESTRICTION ZONE) TERHADAP KETAHANAN DEFORMASI

*Kurniadji  
Nono*

## **RINGKASAN**

*Kinerja campuran beraspal tergantung terhadap sifat aspal, sifat agregat dan besaran volumetrik campuran sebagai fungsi gradasi agregat. Tulisan ini menguraikan tentang pengaruh gradasi agregat memotong daerah terlarang pada sifat campuran beraspal. Campuran beraspal yang dikaji adalah Laston lapis permukaan (AC-WC) dengan menggunakan aspal keras Pen 60.*

*Hasil pengujian menunjukkan bahwa sifat campuran beraspal dengan gradasi agregat memotong daerah terlarang lebih rentan terhadap terjadinya deformasi, yaitu memiliki stabilitas dinamis 40% dari stabilitas dinamis campuran dengan gradasi dibawah daerah terlarang.*

## **SUMMARY**

*Performance of asphalt mixtures depends on properties of asphalt, aggregate, and volumetric of asphalt mixtures as a function of aggregate gradation. This paper discusses effect of aggregate gradation which cutting restriction zone to properties of asphalt mixtures. Type of asphalt mixtures used in the research is Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC) by using Asphalt Cement with Penetration Grade of 60.*

*Test result shown that properties of asphalt mixtures with aggregate gradation to cut restriction zone is so sensitive to deformation, namely dynamic stability of 40% from the dynamic stability of asphalt mixtures with aggregate gradation below restriction zone.*

## **I. PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Keruntuhan yang terjadi pada campuran beraspal adalah terdiri atas retak dan deformasi plastis.

Terjadinya retak diantaranya disebabkan oleh kurangnya aspal, penuaan aspal, agregat kotor dan umur rencana telah dilampaui. Sedangkan terjadinya deformasi plastis diantaranya adalah disebabkan penggunaan aspal yang peka terhadap perubahan temperatur tinggi (penetrasi tinggi) dan rongga dalam campuran yang rendah sebagai fungsi dari gradasi agregat campuran. Untuk menyeimbangkan tercapainya kedua kriteria keruntuhan di atas, yaitu sangat tergantung terhadap sifat aspal, sifat agregat serta besaran volumetrik campuran. Besaran volumetrik adalah tergantung pada pemilihan gradasi agregat campuran, dimana gradasi agregat campuran menentukan besar kecilnya rongga dalam agregat (VMA).

Pada tulisan ini akan mengevaluasi pengaruh gradasi agregat campuran beraspal panas yang memotong daerah terlarang terhadap ketahanan deformasi. Tipe gradasi agregat campuran tersebut kemungkinan menghasilkan rongga dalam campuran yang relatif rendah.

### **1.2. Pembatasan Masalah**

Pada pelaksanaan penelitian ini untuk mengkaji pengaruh gradasi agregat campuran yang memotong daerah terlarang terhadap ketahanan deformasi adalah membandingkan dengan sifat campuran beraspal panas dengan gradasi agregat campuran yang memotong kurva fuller atau di bawah daerah terlarang. Jenis campuran beraspal yang dievaluasi adalah campuran Laston lapis permukaan (AC-WC) dengan menggunakan agregat dan aspal yang sama.

### **1.3. Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengkaji sifat campuran beraspal dengan gradasi agregat gabungan yang memotong daerah terlarang akan mengalami perubahan ketahanan terhadap deformasi.

## **II. KAJIAN PUSTAKA**

### **2.1. Campuran beraspal**

Spesifikasi campuran beraspal panas yang menjadi acuan dalam pembangunan dan pemeliharaan/ peningkatan perkerasan lentur

adalah Spesifikasi Campuran Beraspal Panas sesuai Seksi 6.3 Buku 3 yang diterbitkan oleh Departemen Perumahan dan Prasarana Wilayah tahun 2003. Spesifikasi ini sebagian merujuk pada Spesifikasi Superpave.

Adapun tujuan di perkenalkannya spesifikasi Superpave tersebut adalah untuk mengatasi deformasi permanen, kelelahan retak dan retak pada temperatur rendah, yaitu melalui karakteristik campuran yang mempunyai :

- o Kadar aspal yang cukup untuk keawetan, yakni dengan rongga terisi aspal (VFB) yang tepat;
- o Rongga dalam agregat (VMA) dan rongga dalam campuran (VIM) yang cukup;
- o Kemudahan pengerjaan yang cukup; dan
- o Kinerja yang memuaskan selama umur rencana perkerasan

Untuk mendapatkan karakteristik campuran yang diharapkan Superpave menganjurkan menggunakan aspal dan perencanaan sesuai dengan kondisi lapangan serta memperkenalkan persyaratan gradasi agregat campuran dibatasi dengan titik control dan daerah larangan (restriction zone).

Untuk membuat gradasi agregat gabungan berpedoman pada kurva Fuller (untuk kepadatan tertinggi dengan nilai  $n=0,45$ ) akan tetapi gradasi yang direncanakan harus sejauh mungkin dari kurva Fuller, namun diijinkan memotong satu kali dan dianjurkan tidak boleh memotong daerah larangan (restriction zone).

Daerah larangan (restriction zone) mempunyai dua tujuan (SHRP-A-410), yaitu :

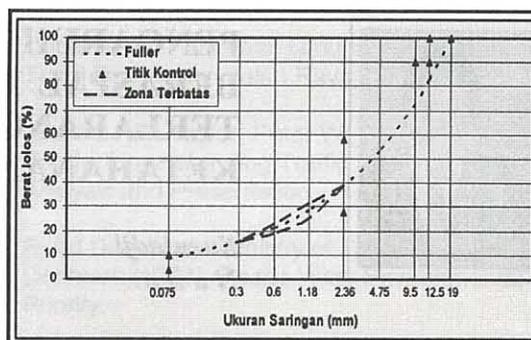
- o Membatasi penggunaan pasir alam yang banyak yang dapat menyebabkan gradasi menjadi bongkok pada rentang 600  $\mu\text{m}$ .
- o Untuk menghindari gradasi jatuh atau berimpit dengan kurva Fuller (garis kepadatan maximum) yang dapat mengakibatkan ketidak cukupan rongga dalam agregat (VMA).

Contoh persyaratan gradasi agregat gabungan untuk Laston lapis permukaan (AC-WC) ditunjukkan pada Gambar 1.

## 2.2. Spesifikasi Yang Diacu

Sebagai acuan dalam pengujian sifat bahan dan sifat campuran, pada penelitian ini spesifikasi yang diacu adalah Spesifikasi Kimpraswil (Buku III, Seksi 6.3) Tahun 2003.

Persyaratan aspal ditunjukkan pada Tabel 1, Persyaratan agregat ditunjukkan pada Tabel 2, Persyaratan gradasi pada Tabel 3 dan persyaratan campuran pada Tabel 4.



Gambar 1. Contoh gradasi AC-WC

Tabel 1.  
Persyaratan sifat fisik aspal

JENIS PENGUJIAN	PERSYARATAN ASPAL PEN 60
• Penetrasi, 0,1 mm	60-79
• Titik lembek, °C	48-58
• Daktilitas, cm	min. 100
• Kelarutan dlm C <sub>2</sub> HCl <sub>3</sub> , %	min. 99
• Titik nyala, °C	min. 200
• Kehilangan berat, %	maks. 0,8
• Penetrasi stlh keh. brt., %	min. 54
• Daktilitas stlh keh. brt., cm	min. 50
• Berat Jenis, gr/cm <sup>3</sup>	min. 1,0

Tabel 2.  
Persyaratan Agregat

No.	Jenis Pengujian	Persyaratan
1.	Berat Jenis	
	Curah	>2,5
	Jenuh	>2,5
	Semu	>2,5
	Penyerapan, %	< 3%
2.	Abrasi	< 40%
3.	Setara Pasir	> 50%
4.	Pipihan dan Lonjong	< 10%
5.	Kelekatan terh. aspal	> 95%

Tabel 3.  
Persyaratan Gradasi

UKURAN SARINGAN (mm)	PERSYARATAN (% berat lolos)			
	Titik Kontrol		Daerah Larangan	
	min	max	min	max
19	100	100		
12,5	90	100		
9,5		90		
4,75				
2,36	28	58	39,1	39,1
1,18			25,6	31,6
0,6			19,1	23,1
0,3			15,5	15,5
0,075	4	10		

**Tabel 4.**  
**Persyaratan Campuran**

Sifat-sifat Campuran	Persyaratan
• Penyerapan kadar aspal	Maks. 1,7
• Jumlah tumbukan per bidang	75
• Rongga dalam campuran (%)	3,5-5,5
• Rongga dalam Agregat (VMA) (%)	Min. 15
• Rongga terisi aspal (%)	Min. 65
• Stabilitas Marshall (kg)	Min. 800
• Kelelahan (mm)	Min. 3
• Marshall Quotient (kg/mm)	Min. 250
• Stabilitas Marshall Sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60 °C	Min. 75
• Rongga dalam campuran (%) pada	
• Kepadatan membal (refusal)	Min. 2,5

### 2.3. Hipotesa

Gradasi agregat campuran yang mendekati kurva Fuller atau masuk/memotong daerah terlarang memiliki rongga dalam agregat (VMA) dan rongga dalam campuran (VIM) yang rendah yang kemungkinan memiliki ketahanan terhadap deformasi yang rendah pula.

## III. METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1. Umum

Kegiatan pengkajian ini dilakukan di laboratorium meliputi pengujian sifat agregat, sifat bahan pengikat (aspal) dan sifat campuran beraspal.

Bahan pengikat yang digunakan adalah Pen Aspal Pen 60 yang diperoleh dari pemasok. Sedangkan agregat dan pasir alam yang digunakan pada penelitian ini berasal dari sumber material dari Sumedang.

Dalam rangka pengkajian di atas, lingkup pengujian campuran beraspal yang dilakukan meliputi pengujian :

- Marshall
- Wheel Tracking Machine (WTM)

Pengujian deformasi dengan Wheel Tracking Machine (WTM) ditujukan untuk mensimulasi deformasi yang terjadi pada perkerasan akibat lintasan kendaraan.

### 3.2. Tahapan Penelitian

Untuk mendapatkan tujuan pengkajian, penelitian yang dilakukan dibagi menjadi beberapa tahapan yaitu :

- Melakukan pengujian mutu agregat dan bahan pengikat.
- Pembuatan 2 (dua) tipe campuran beraspal panas, yaitu dengan gradasi memotong daerah terlarang dan gradasi yang memotong kurva Fuller atau di bawah daerah terlarang.
- Melakukan pengujian Marshall, dan stabilitas dinamis dengan alat Wheel Tracking Machine

(WTM) untuk campuran beraspal dengan kedua jenis gradasi agregat campuran yang digunakan.

- Melakukan evaluasi hasil pengujian campuran beraspal.

## IV. HASIL PENGUJIAN

### 4.1. Sifat-sifat Agregat dan Bahan Pengikat

Sesuai dengan pengujian yang telah dilakukan, sifat-sifat Aspal Pen 60 pada Tabel 5. Sedangkan sifat agregat ditunjukkan pada Tabel 6.

**Tabel 5.**  
**Sifat-sifat Aspal Pen 60,**

Jenis Pengujian	Hasil Pengujian
✓ Penetrasi pada 25°C, 100 gr. 5 detik, 0,1 mm	64,8
✓ Titik lembek, °C	48,7
✓ Daktilitas pada 25°C, 5 cm/menit, Cm	> 140
✓ Kelarutan dalam C <sub>2</sub> HCL <sub>3</sub> , %	99,71
✓ Titik nyala (COC), °C	310
✓ Berat jenis, gr/ml	1,054
✓ Kehilangan berat (TFOT), %	0,033
✓ Penetrasi setelah TFOT, % asli	56,4
✓ Daktilitas setelah TFOT, Cm	> 140
✓ Titik lembek setelah TFOT, °C	53,8

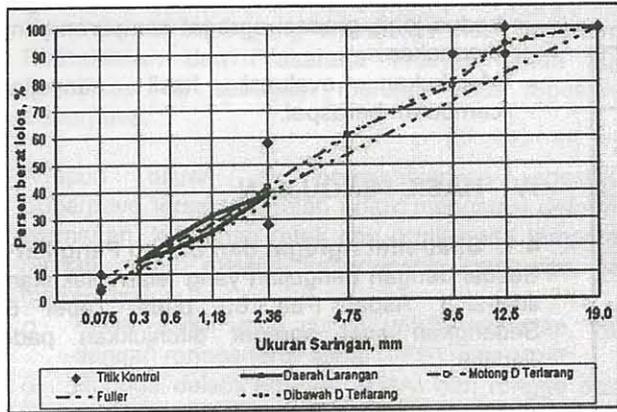
**Tabel 6.**  
**Sifat Agregat**

No	Jenis Pengujian	Hasil Pengujian Agregat				
		Kasar	Sedang	A. Batu	Pasir	
1.	Berat Jenis	Curah	2,659	2,600	2,665	2,746
		Jenuh	2,697	2,662	2,709	2,809
		Semu	2,763	2,733	2,804	2,930
	Penyerapan, %	1,410	2,405	1,999	2,291	
2.	Abrasi	19,51	-	-	-	
3.	Setara Pasir	-	-	54,50	62,10	
4.	Pipih dan Lonjong	9,74	-	-	-	
5.	Kelekatan terh. aspal	95+				

Dari Tabel 5 dan Tabel 6 terlihat bahwa agregat dan bahan pengikat yang digunakan memenuhi persyaratan Spesifikasi Kimpraswil (buku 3) tahun 2003 sehingga baik agregat maupun bahan pengikat layak digunakan untuk perkerasan jalan.

### 4.2. Sifat-sifat campuran

Dalam pembuatan rancangan campuran, gradasi agregat gabungan yang digunakan adalah di bawah kurva Fuller dan yang memotong daerah terlarang sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.

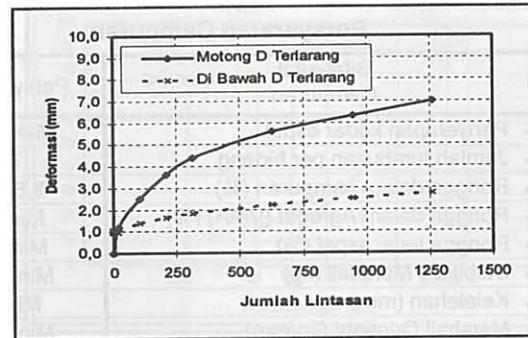


Gambar 2. Gradasi agregat campuran

Sifat campuran hasil pengujian Marshall dan dengan Wheel Tracking Machine (WTM) ditunjukkan pada Tabel 7. Disamping pada Tabel 7 untuk ketahanan campuran terhadap deformasi adalah ditunjukkan pada Gambar 3.

Tabel 7. Sifat Campuran

NO.	SIFAT CAMPURAN	HASIL PENGUJIAN	
		Motong Daerah Terlarang	Di bawah Daerah Terlarang
I	<b>Pengujian Marshall</b>		
1.1.	Kadar Aspal, (%)	6,0	5,58
1.2.	Kepadatan, (t/m <sup>3</sup> )	2,297	2,313
1.3.	VFB (%)	70,53	69,68
1.4.	VMA (%)	17,67	18,07
1.5.	VIM Marshall (%)	5,22	5,49
1.6.	Stabilitas, (kg)	1463	1329
1.7.	Pelelehan, (mm)	4,62	3,88
1.8.	MQ (kg/mm)	312	345
1.9.	Stabilitas Sisa (%)	90,9	94,3
1.10	VIM PRD (%)	3,3	3,7
II	<b>Pengujian dengan WTM pada temp 60°C</b>		
2.1.	Alur (pada lintasan):		
	0	0	0
	21	1,20	0,97
	105	2,50	1,41
	210	3,60	1,65
	315	4,38	1,83
	630	5,58	2,22
	945	6,35	2,50
	1260	6,99	2,76
2.2.	Deformasi Awal (mm)	2,56	1,72
	Stabilitas Dinamis (lint/mm)	984	2423
	Kecepatan Deformasi, (mm/mnt)	0,043	0,020



Gambar 3. Ketahanan campuran terhadap deformasi

## V. PEMBAHASAN

- Sifat aspal keras Pen 60 yang digunakan sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 5 memenuhi persyaratan. Begitu juga sifat-sifat agregat, baik agregat kasar, sedang, abu batu dan pasir alam sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 6 memenuhi persyaratan.
- Sifat campuran beraspal dengan menggunakan kedua tipe gradasi sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 7 memenuhi persyaratan campuran Laston lapis permukaan (AC-WC).
- Bila membandingkan kedua sifat campuran maka diperoleh hal-hal sebagai berikut :
  - ✓ Rongga dalam agregat (VMA) dan rongga dalam campuran (VIM) untuk campuran dengan gradasi yang memotong daerah terlarang lebih rendah dibandingkan kekakuan campuran dengan gradasi yang tidak memotong daerah terlarang. Yaitu berturut-turut lebih rendah sebesar 0,4% dan 0,27%.
  - ✓ Kekakuan campuran yang dicerminkan dengan besaran hasil bagi Marshall (MQ) maka kekakuan campuran dengan gradasi yang memotong daerah terlarang lebih rendah dibandingkan kekakuan campuran dengan gradasi yang tidak memotong daerah terlarang, yaitu lebih rendah sebesar 0,4%.
  - ✓ Kecepatan deformasi dan deformasi awal untuk campuran dengan gradasi yang memotong daerah terlarang lebih tinggi dibandingkan kekakuan campuran dengan gradasi yang tidak memotong daerah terlarang, yaitu sebesar 2 kali dan 1,5 kali lebih tinggi.

- ✓ Ketahanan terhadap deformasi antara kedua campuran dengan gradasi yang berbeda menunjukkan bahwa ketahanan deformasi campuran dengan gradasi campuran yang memotong daerah terlarang jauh lebih rendah, yaitu sebesar 41 % dari campuran dengan gradasi tidak memotong daerah terlarang. Fakta diatas bahwa menunjukkan bahwa makin rendah VMA dan VIM maka campuran makin rentan terhadap deformasi.

## VI. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian di laboratorium terhadap sifat bahan dan kedua sifat campuran Laston lapis permukaan (AC-WC) dengan menggunakan 2 (dua) gradasi maka dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut :

- Sifat bahan yang digunakan pada pengkajian ini, baik aspal Pen 60 maupun agregat kasar, sedang dan pasir alam memenuhi persyaratan.
- Sifat campuran beraspal, baik yang gradasi memotong daerah terlarang maupun yang tidak memotong memenuhi persyaratan campuran Laston lapis permukaan (AC-WC).
- Bila memperhatikan hasil pengujian ketahanan terhadap deformasi yang disimulasikan dengan pengujian menggunakan alat Wheel Tracking Machine (WTM) maka campuran yang gradasinya memotong daerah terlarang lebih rentan terhadap terjadinya deformasi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Kimpraswil (2003). Spesifikasi Campuran Beraspal Panas, Seksi 6.3 Buku 3, Jakarta.
- NAPA Research and Education Foundation (1996). Hot Mix Asphalt Materials, Mixture Design and Construction, Secon Edition, Lanham, Maryland.

- STTM, Bandung (2003). Arief Risnandar: Pengaruh gradasi agregat camp.beraspal panas memotong daerah terlarang terhadap deformasi permanen.
- SHRP (1994). Superior Performing Asphalt Pavements (Superpave): The Product of the SHRP Asphalt Research Program, SHRP-A-410. National Research Coubcil, Washington DC.
- The Asphalt Institute's (1997). Mix Design Methods for Asphalt Concrete and Others Hot Mix Types, Manual Series No. 2. Sixth Edition, USA.
- The Asphalt Institute's (1994). Mix Design Methods for Asphalt Concrete and Others Hot Mix Types, Manual. USA
- The Asphalt Institute's (1997). Performance Grade Asphalt Binder Specification and Testing, Superpave Series No.1 (SP-1). USA.
- The Asphalt Institute's (1997). Performance Grade Asphalt Binder Specification and Testing, Superpave Series No.2 (SP-2). USA.

### Penulis :

- *Ir. Kurniadji, MT, Peneliti Madya Bidang Prasarana Transportasi, Pusat Litbang Prasarana Transportasi Badan Litbang Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah.*
- *Ir. Nono, MEng Sc, Ajun Peneliti Muda Bidang Prasarana Transportasi, Pusat Litbang Prasarana Transportasi, Badan Litbang Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah.*

# PEMANFAATAN TAILING UNTUK LAPIS PONDASI JALAN

*Neni Kusnianti  
Furqon Affandi*

## **RINGKASAN**

*Banyak tipe lapis pondasi jalan dan salah satu diantaranya ialah lapis pondasi jalan dari bahan berbutir lepas tanpa bahan pengikat (unbound material).*

*Lapis pondasi jalan pada perkerasan lentur mempunyai fungsi untuk menyebarkan beban roda ke lapisan dibawahnya, sedemikian rupa sehingga tegangan yang terjadi pada tanah dasar tidak melebihi tegangan yang dapat dipikul oleh tanah itu sendiri. Untuk itu lapisan pondasi harus memenuhi persyaratan-persyaratan teknis seperti gradasi, indeks plastisitas, daya dukung (CBR).*

*Pada tulisan ini, diuraikan pengaruh penambahan tailing sebagai bahan sampingan dari pengolahan tembaga/perak di PT Freeport, Irian Jaya, terhadap bahan standar, agar bahan campuran tersebut memenuhi persyaratan untuk LPA, LPB. Pemanfaatan tailing ini pada bahan jalan akan ikut mengurangi pengaruh limbah tersebut terhadap lingkungan.*

## **SUMMARY**

*One of different types of road (bases) foundations is road foundation using unbond materials. Foundation layers in flexible pavement have a function to distribute wheel loads to underneath layers so that the stresses occurred on the subgrade not more than stresses that can be loaded, on it.*

*Therefore, foundation should meet the technical requirements such as gradation, plasticity index and CBR. The paper describes the effect of the addition of tailing, waste material of coal/silver production of PT. Freeport, Irian Jaya to standard materials in order to meet the requirement for base and subbase. The usage of tailing as road material will reduce the impact of waste on environment.*

## **I. PENDAHULUAN**

Struktur perkerasan jalan lentur (beraspal) terdiri dari beberapa lapisan, yang secara umum terdiri atas lapis pondasi bawah, lapis pondasi, serta lapisan beraspal. Masing masing lapisan tersebut mempunyai fungsinya sendiri sendiri, dimana lapis pondasi dan lapis pondasi bawah merupakan lapisan yang berfungsi untuk menahan beban lalu lintas yang lewat di atasnya serta menyebarkan beban ke lapisan tanah dasar dibawahnya sedemikian rupa sehingga tegangan yang terjadi pada tanah dasar tidak melebihi kemampuan daya dukung dari tanah dasar tersebut.

Lapis pondasi dan lapis pondasi bawah bisa terbuat dari bermacam macam bahan, mulai dari bahan berbutir tanpa pengikat (granular materials), stabilisasi tanah, stabilisasi bahan berbutir dengan semen yang dikenal sebagai *Cement Treated Subbase (CTSB)* dan *Cement Treated Base*

(CTB). Bahan berbutir tanpa pengikat ialah jenis lapis pondasi dan pondasi bawah yang paling umum dipergunakan di Indonesia, dimana terbuat dari campuran batu pecah dengan ukuran butir maksimum sekitar 1½ " dan 2 " sampai ke ukuran butiran pasir dan ukuran material saringan no. 200 (0,074 mm) dengan perbandingan tertentu. Material halus untuk lapis pondasi dan lapis pondasi bawah ini umumnya terbuat dari pasir alam yang banyak terdapat di sungai dan gunung-gunung.

Di beberapa tempat, seperti di Timika – Papua terdapat material halus seukuran pasir dalam jumlah yang sangat banyak yang merupakan limbah dari produksi pengolahan bijih besi dan tembaga dari PT Freeport yang dikenal dengan sebutan "tailing", dimana jumlahnya terus dan terus bertambah yang sampai saat ini belum termanfaatkan secara optimal, bahkan menjadikan

hal yang mengganggu lingkungan. Di satu sisi untuk keperluan pembuatan lapis pondasi jalan diperlukan material halus yang biasanya didapat dari sungai atau pasir gunung, sedang disisi lain ada material buangan yang serupa dan belum termanfaatkan.

Sejak tahun 1970 P.T Freeport Indonesia telah melakukan penambangan di titik lokasi Ertzberg Open Pit dan East Ertzberg Underground propinsi Irian Jaya dengan kapasitas produksi bijih tembaga yang semakin meningkat dari 8.000 – 10.000 ton/hari di awal tahun 1970 an menjadi 20.000 – 22.000 ton/hari di akhir tahun 1980 an. Peningkatan kapasitas produksi ini makin meningkat lagi menjadi 125.000 ton/ hari sejak ditemukannya The Huge Grasberg Gold Bearing Cooper pada awal tahun 1990 an. Hingga saat ini jutaan ton bijih telah diolah menjadi konsentrat tembaga yang mengandung emas dan perak. Sisa pengolahan ini berupa pasir halus yang diklasifikasikan sebagai "Cooper Tailing". Penimbunan "Cooper Tailing" di daratan rendah sepanjang sungai Aghawagon – Otomona Timur – Ajkwa telah menyebabkan masalah lingkungan, terutama terhadap hutan tropis di daratan rendah dan juga pengotoran air sungai Ajkwa. Tailing berwujud material berbutir halus (partikulat) sebagai hasil hancuran batuan bijih yang diendapkan pada saat proses pemisahan bijih dari tembaga, emas dan perak.

## II. KAJIAN PUSTAKA

### 2.1 Tailing

Tailing yang terdapat di Timika sebagai limbah P.T Freeport merupakan bahan buangan dari proses penambangan dan pengolahan bijih besi dan tembaga. Bahan buangan ini mempunyai ukuran butir maksimum sekitar 2,38 mm sampai butiran halus 0,149 mm. Sebagai bagian dari bahan tambang bijih besi dan tembaga, tailing ini mempunyai sifat non plastis atau bersifat lepas yang tidak mempunyai ikatan antara butirannya sendiri.

Dilihat dari susunan kimia yang terkandung didalamnya, dengan menggunakan analisa kimia yang dilengkapi dengan metoda *Grain Counting* telah menunjukkan bahwa komposisi " Cooper Tailing" terdiri dari komponen silikat dengan fraksi-fraksi  $\text{Na}_2\text{O}_3 = 0,0094$ ,  $\text{FeO} = 0,3980$ ,  $\text{MgO} = 0,0900$ ,  $\text{MnO} = 0,0036$ ,  $\text{CaO} = 0,1260$ ,  $\text{K}_2\text{O} = 0,0139$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 0,0683$ .

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan sebelumnya, Tailing ini mempunyai berat jenis jenuh kering permukaan berkisar antara 2,48 sampai 2,86 dengan kepadatan gembur sekitar 1,23 – 1,79 kg/l. Hasil uji Soundness berkisar antara 2 – 8 %. Pengamatan secara mikroskopis

menggunakan mikroskop *Binocular Stereographic* memperlihatkan bahwa "Cooper Tailing" memiliki komposisi *quartzite* 75 % volume, oksida besi ( *magnetite*, *pyrite*, *hematite*) 23 %, *mica* dan *feldspar* 2%.

Dengan mempertimbangkan asal muasal terbentuknya "Cooper Tailing" serta hasil analisa fisik dan kimia terhadap "Cooper Tailing" diperoleh suatu hipotesa bahwa *Cooper Tailing* termasuk material *Puzzolanic* berkadar MgO cukup tinggi, dimana material ini dapat dimanfaatkan sebagai bahan konstruksi sipil dalam bentuk komposit partikulat atau mortar dengan sistim pengikatan matriks secara khusus yaitu menggunakan matriks semen tipe V atau matriks kombinasi semen – polimer.

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan oleh laboratorium pengendalian dampak lingkungan diperoleh hasil seperti tertera pada Tabel 1.

**Tabel 1.**  
Hasil pengujian "tailing" oleh laboratorium pengendalian dampak lingkungan

No	Parameter	Satuan	Metoda analisis	Hasil analisis	
				A	B
	<b>Uji karakteristik:</b>				
1	pH	µg/g	Elektrometri	8,30	9,40
2	Sulfida, S <sub>2</sub> , Sianida, CN	µg/g	Spektrofometri	2,63	1,47
3	Uji TCLP		Spektrofometri	2,50	3,50

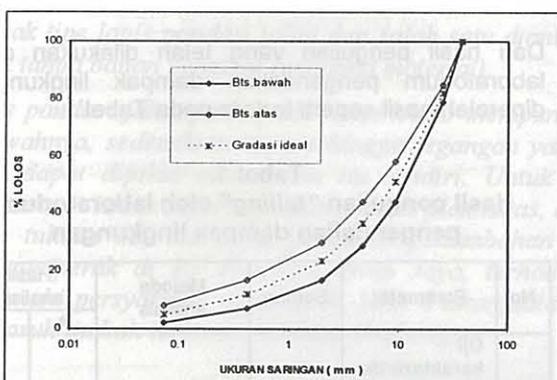
### 2.2 Lapis pondasi jalan

Lapis pondasi jalan merupakan bagian dari perkerasan jalan yang fungsi utamanya untuk menahan beban lalu lintas serta menyalurkannya ke bagian dibawahnya. Pada perkerasan lentur, lapis pondasi berbutir terdiri dari dua lapis, yaitu lapis pondasi bawah (LPB) yang terletak langsung diatas lapisan tanah dasar serta lapis pondasi (LPA) yang terletak diatasnya LPB. LPB maupun LPA mempunyai persyaratan pembagian ukuran butir (gradasi) yang berbeda, begitu juga persyaratan teknis lainnya. Persyaratan LPA lebih ketat dari persyaratan LPB sesuai dengan letaknya pada susunan lapis perkerasan, dimana lapis atas harus menerima tekanan yang lebih besar dibandingkan lapis dibawahnya.

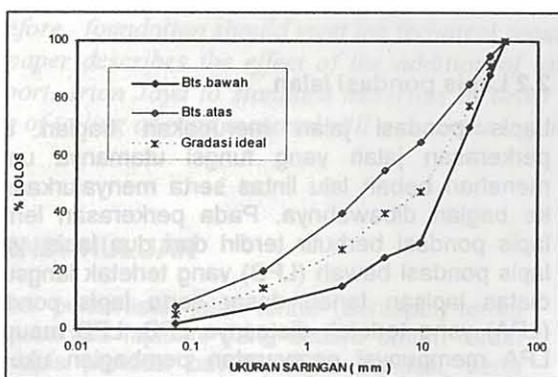
Persyaratan gradasi untuk LPA dan LPB yang dipergunakan di Indonesia oleh Departemen Kimpraswil ialah sebagaimana diperlihatkan pada Tabel 2 serta digambarkan seperti terlihat pada Gambar 1 untuk gradasi LPA dan Gambar 2 untuk gradasi LPB.

**Tabel 2.**  
**Gradasi Lapis Pondasi**

Ukuran saringan		Persen berat lolos	
inci	mm	LPA	LPB
2	50	-	100
1½	37,5	100	88 – 95
1	25,0	79 – 85	70 – 85
¾	19,0	44 – 58	30 – 65
No 4	4,75	29 – 44	25 – 55
No 10	2,0	17 – 30	15 – 40
No 40	0,425	7 – 17	8 – 20
No 200	0,075	2 – 8	2 – 8



**Gambar 1.** Grafik pembagian butir Lapis pondasi atas ( LPA )



**Gambar 2.** Grafik pembagian butir Lapis pondasi bawah (LPB)

Bahan lapis pondasi untuk agregat halus dan kasar serta bagian-bagian yang lunak maupun kekuatan setelah dicampur dan dipadatkan ditunjukkan pada Tabel 3.

**Tabel 3.**  
**Persyaratan sifat-sifat bahan dan campuran lapis pondasi**

Sifat sifat	Lapis Pondasi		Pengujian
	Kelas A	Kelas B	
Abrasi agregat kasar ,%	Maks 40	Maks 40	SNI 03-2417-1990
Indeks Plastisitas ,PI, %	Maks 6	4 – 10	SNI -03-1966-1990
Hasil kali PI dengan % material lolos Ayakan No 200	Maks 25	-	-
Batas Cair, %	Maks 25	Maks 35	SNI 03-1967-1990
Bagian yang lunak, %	Maks 5	Maks 5	SK-SNI M-01-1994-03
CBR, %	Min 90	Min 35	SNI 03-1744-1989

### III. PERENCANAAN PENGUJIAN CAMPURAN LPA DAN LPB MENGGUNAKAN BAHAN TAMBAH TAILING

#### 3.1 Bagan alir penelitian

Untuk mendapatkan properties Campuran LPA maupun LPB dengan menggunakan bahan Tailing, maka dalam studi ini dilakukan dahulu alur kegiatan yang akan dilakukan. Alur kegiatan yang akan dilakukan disajikan pada Gambar 3 dibawah ini.

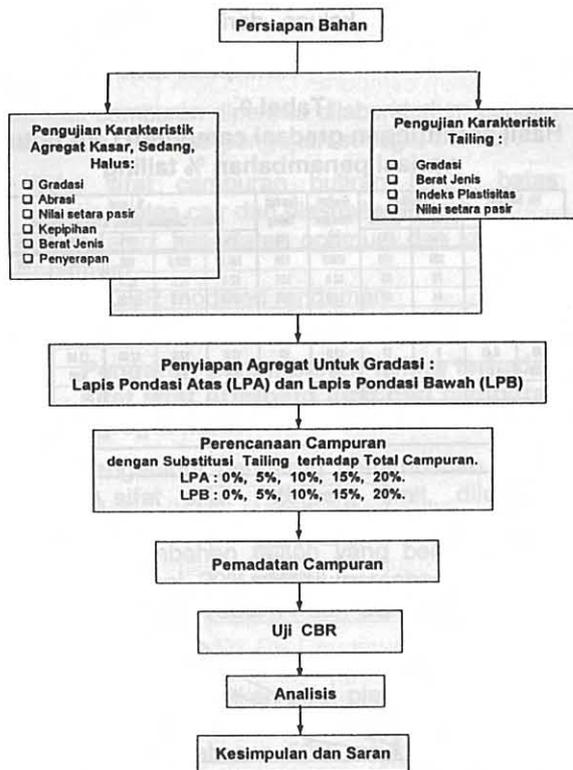
#### 3.2 Percobaan laboratorium

Percobaan laboratorium dilakukan untuk melihat sifat sifat tailing dan juga sifat sifat campuran yang telah dicampur tailing. Pengujian ini dilakukan terhadap bahan yang tidak ditambah tailing serta bahan yang telah ditambah tailing, sehingga dengan demikian dapat dilihat pengaruh penambahan tailing ini terhadap sifat sifat bahan, baik untuk LPA maupun untuk LPB, sekaligus melihat batas maksimum penambahan tailing yang masih dimungkinkan.

Percobaan laboratorium ini meliputi perencanaan campuran, pemeriksaan sifat Atterberg, kepadatan dan kekuatan campuran yang dinyatakan dengan CBR.

##### 3.2.1 Pengujian karakteristik tailing

Contoh tailing yang diambil dari Timika, telah dilakukan pengujian fisik-nya seperti analisa pembagian butir dengan saringan, berat jenis, angularitas dan setara pasir (*sand equivalent*). Hasil pengujian diperlihatkan pada Tabel 4 Tabel 5 dan Tabel 6. Berat jenis tailing adalah 2,76.



**Gambar 3.** Bagan Alir Pelaksanaan Penelitian untuk Perencanaan Campuran Lapis Pondasi Lepas (LPA dan LPB)

**Tabel 4.** Gradasi butir Tailing PT Freeport

Ukuran Saringan		Lolos saringan (%berat)
ASTM	Metrik	Tailing
No 4	4,76	100
No 8	2,38	99,9
No 30	0,595	98,8
No 50	0,297	88,2
No 100	0,148	49,5
No 200	0,047	20,3

Analisa komposisi kimia dari Tailing ini ditunjukkan pada Tabel 5.

Hasil pengujian angularitas dari pasir Tailing dan beberapa pasir alam lainnya ditunjukkan pada Tabel 6.

**Tabel 5.** Komposisi Kimia Tailing dari PT. Freeport (Timika – Papua)

Unsur Kimia	Hasil Pengujian (%)	
	PUSTRAN	ITB
SiO <sub>2</sub>	64,77	60
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,25	15
CaO	8,28	5
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,07	20
MgO	2,66	
Na <sub>2</sub> O	1,06	
K <sub>2</sub> O	2,49	
TiO <sub>2</sub>	0,27	
MnO	0,05	
H <sub>2</sub> O	0,07	
LOI	2,99	

**Tabel 6.** Perbandingan nilai angularitas dari beberapa sumber pasir

Jenis Pasir	Nilai Angularitas	Persyaratan
Tailing (PT Freeport)	49,89	Min. 45%
Pasir Cimalaka	47,45	
Pasir Garut	45,80	
Pasir Galunggung	46,78	

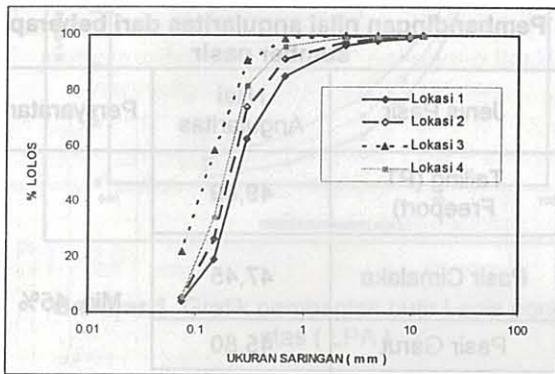
**Tabel 7.** Hasil Pengujian Fisik Tailing dari PT. Freeport

No	Karakteristik Agregat	Hasil pengujian
1.	Sand Equivalent, %	81,30
2.	Berat jenis agregat halus:	
	- Bulk	2,76
	- SSD	2,80
	- Apparent	2,82
3.	Penyerapan, %	
	- Agregat halus	0,48

Ukuran butir tailing berdasarkan analisa saringan yang dilakukan di Puslitbang Prasarana Transportasi adalah sebagaimana disajikan pada Tabel 8 dan Gambar 4 dibawah ini.

**Tabel 8.**  
Hasil analisa saringan butiran Tailing dari beberapa sumber di Timika

Ukuran Saringan		Lolos Saringan (% berat)			
Inci	mm	Lokasi 1	Lokasi 2	Lokasi 3	Lokasi 4
½	12,50	100	100	100	100
3/8	9,50	98,87	99,35	100	99,73
No.4	4,76	98,03	98,61	100	99,60
No. 8	2,38	96,11	97,58	99,84	99,16
No.30	0,595	85,27	91,21	98,66	96,02
No. 100	0,148	19,31	26,62	58,42	34,34
No. 200	0,074	3,19	5,16	22,17	5,89



Gambar 4. Grafik pembagian butir Tailing dari beberapa lokasi

### 3.3 Perencanaan Campuran

Untuk melihat pengaruh dari tambahan Tailing pada material batu pecah yang akan dipergunakan untuk LPB maupun LPA, maka penambahan Tailing dilakukan dengan berbagai variasi mulai dari 5% sampai 20% , dengan interval setiap 5%. Hal ini pertama untuk melihat sampai seberapa besar prosentase Tailing yang dapat ditambahkan, dengan hasil akhir gradasi campuran tersebut masih tetap dalam batas batas gradasi yang diperbolehkan.

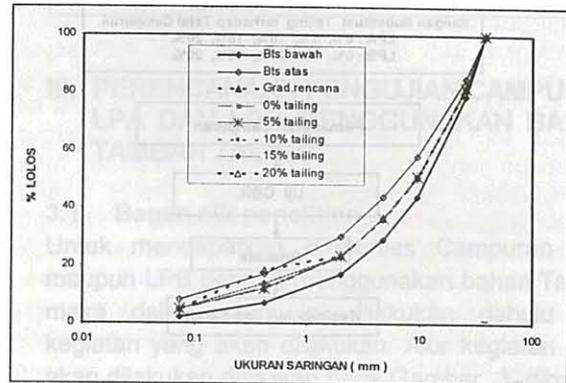
Perhitungan gradasi campuran LPA dan LPB untuk berbagai prosentase tailing diperlihatkan pada Tabel 9 dan Gambar 5 untuk LPB serta Tabel 10 dan Gambar 6 untuk LPA.

Percobaan ini dibatasi sampai penambahan Tailing sebanyak 20% baik untuk LPB maupun untuk LPA, dikarenakan penambahan yang melebihi dari 20% untuk LPB dan LPA memberikan gradasi

campuran yang keluar dari batas-batas yang dipersyaratkan.

**Tabel 9.**  
Hasil perhitungan gradasi campuran LPA untuk variasi penambahan % tailing

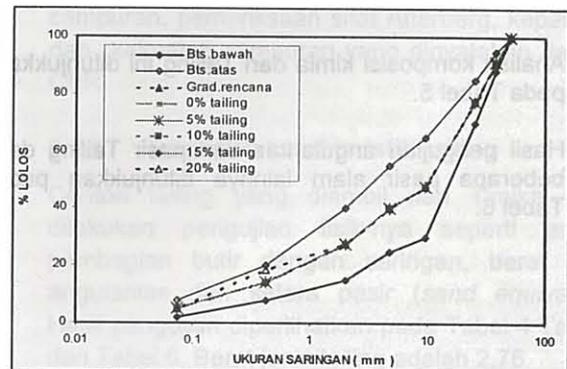
No. Saringan	Spesifikasi		Gradasi Rencana (%)	Gradasi Tailing (%)	% Lovat				
	bts bawah (%)	bts atas (%)			Gradasi Campuran (variasi %Tailing + agregat)				
inci	mm				0%	5%	10%	15%	20%
1.5"	38.1	100	100	100.0	100	100.0	100	100	100
1"	25.4	79	85	82.0	100	82.0	82.0	82.0	82.0
3/8"	9.52	44	58	51.0	100	51.0	51.0	51.00	51.00
# 4	4.76	29	44	36.5	100	36.5	36.5	36.50	36.50
# 10	2.0	17	30	23.5	99.5	23.5	23.5	23.50	23.50
# 40	0.42	7	17	12.0	93	12.0	12.0	12.00	13.95
# 200	0.074	2	8	5.0	20.3	5.0	5.0	5.00	5.00



Gambar 5. Gradasi campuran LPA untuk variasi penambahan % tailing

**Tabel 10.**  
Hasil perhitungan gradasi campuran LPB untuk variasi penambahan % tailing

No. Saringan	Spesifikasi		Gradasi Rencana (%)	Gradasi Tailing (%)	% Lovat				
	bts bawah (%)	bts atas (%)			Gradasi Campuran (variasi %Tailing + agregat)				
inci	mm				0%	5%	10%	15%	20%
2"	50.8	100	100	100	100	100	100	100	100
1.5"	38.1	88	95	91.5	100	91.5	91.5	91.5	91.5
1"	25.4	70	85	77.5	100	77.5	77.5	77.5	77.5
3/8"	9.52	30	65	47.5	100	47.5	47.5	47.5	47.5
# 4	4.8	25	55	40.0	100	40.0	40.0	40.0	40.0
# 10	2.0	15	40	27.5	99.5	27.5	27.5	27.5	27.5
# 40	0.42	8	20	14.0	93	14.0	14.0	14.0	18.6
# 200	0.074	2	8	5.0	20.3	5.0	5.0	5.0	5.0



Gambar 6. Gradasi campuran LPB untuk variasi penambahan % tailing

### 3.4 Sifat sifat campuran

Sifat-sifat campuran diperiksa dilaboratorium dengan melakukan berbagai pengujian sebagai berikut :

- Sifat sifat campuran butiran halus: batas plastis, batas cair dan plastisitas indeks.
- Kepadatan: kepadatan optimum dan kadar air optimum
- CBR : CBR modified rendaman

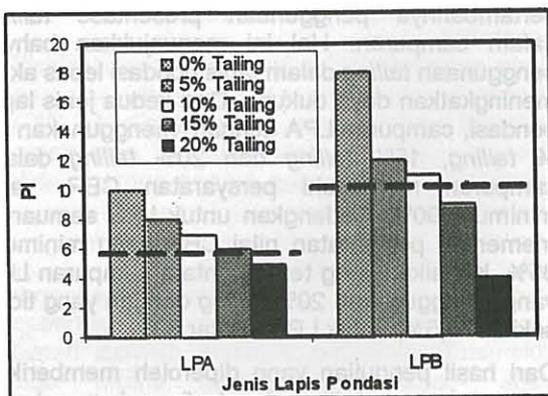
#### 3.4.1 Pengaruh penambahan tailing terhadap sifat sifat Atterberg limit dari campuran agregat halus

Untuk mengetahui pengaruh penambahan tailing terhadap sifat sifat Atterberg limit, dilakukan percobaan terhadap dua macam agregat dasar dengan penambahan tailing yang berbeda beda dari 5% sampai 20%. Hasil percobaan tersebut dapat dilihat pada Tabel 11 dan Gambar 7.

Dari gambar tersebut terlihat bahwa penambahan tailing akan menurunkan sifat plastisitas material. Penambahan tailing 20% akan menurunkan plastisitas index sebesar 50% untuk LPA dan 78% untuk LPB. Material LPB dan LPA yang mempunyai sifat plastisitas indeks lebih besar dari yang disyaratkan, bisa diturunkan dengan menambahkan bahan tailing tersebut.

Tabel 11.  
Hasil pengujian sifat-sifat Atterberg limit LPA dan LPB

Sifat-sifat Campuran	Hasil Pengujian					
	Variasi penambahan % Tailing					Pereya-ratan
	0%	5%	10%	15%	20%	
Lapis Pondasi Atas (LPA)						
Batas Cair	25	23	22	21	20	0 - 25
Batas Plastis	15	15	15	15	15	-
Indeks Plastisitas	10	8	7	6	5	0 - 6
Lapis Pondasi Bawah (LPB)						
Batas Cair	37	33	31	30	19	0 - 35
Batas Plastis	19	21	20	21	15	-
Indeks Plastisitas	18	12	11	9	4	0 - 10



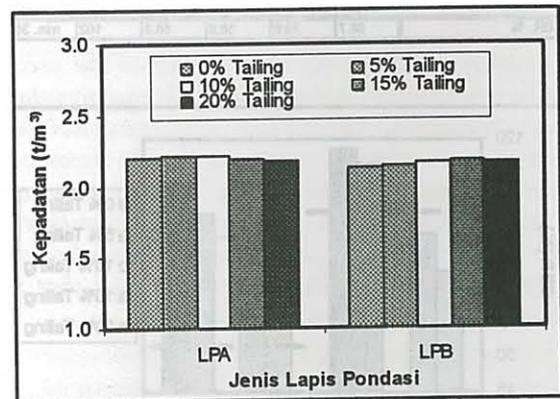
Gambar 7. Pengaruh penambahan tailing pada sifat-sifat Atterberg limit LPA dan LPB

#### 3.4.2 Pengaruh penambahan tailing terhadap kepadatan dan kadar air optimum

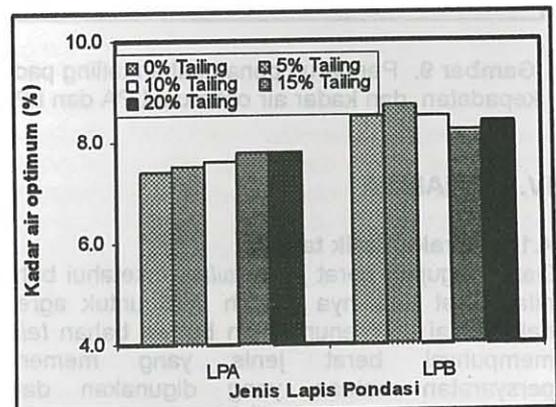
Hasil pengujian kepadatan dan kadar air optimum dengan variasi penambahan tailing antara 5% sampai 20% baik untuk campuran LPA maupun LPB, dapat dilihat pada Tabel 12 dan Gambar 8. Dari hasil pengujian tersebut menunjukkan bahwa peningkatan penambahan % tailing pada campuran LPA dan LPB untuk nilai kepadatan dan kadar air optimum mempunyai nilai yang relatif sama baik untuk LPA maupun untuk LPB, sehingga dapat dikatakan bahwa penambahan tailing tidak berpengaruh banyak terhadap nilai kepadatan dan kadar air optimum.

Tabel 12.  
Hasil pengujian kepadatan dan kadar air optimum LPA dan LPB

Sifat-sifat Campuran	Hasil Pengujian					Pereya-ratan
	Variasi penambahan % Tailing					
	0%	5%	10%	15%	20%	
Lapis Pondasi Atas (LPA)						
Kepadatan, t/m <sup>3</sup>	2.20	2.21	2.22	2.19	2.17	-
Kadar air optimum, %	7.40	7.50	7.60	7.80	7.80	-
Lapis Pondasi Bawah (LPB)						
Kepadatan, t/m <sup>3</sup>	2.13	2.14	2.16	2.18	2.17	-
Kadar air optimum, %	8.50	8.7	8.5	8.2	8.4	-



(a)



(b)

Gambar 8. Pengaruh penambahan tailing pada kepadatan dan kadar air optimum LPA dan LPB

### 3.4.3 Pengaruh penambahan tailing terhadap nilai CBR campuran LPB dan LPA

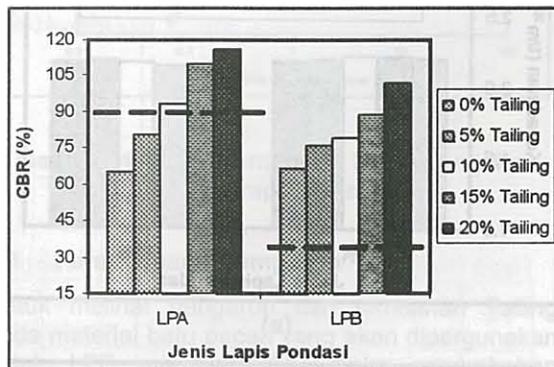
Nilai CBR merupakan salah satu parameter yang sangat penting dalam campuran lapis pondasi, oleh karena itu disini akan dilihat sejauh mana pengaruh penambahan tailing pada nilai CBR untuk campuran LPA dan LPB.

Hasil pengujian ditunjukkan dalam Tabel 13 dan Gambar 9.

Nilai CBR seperti ditunjukkan pada Gambar 9, akan meningkat seiring dengan bertambahnya penggunaan % *tailing* dalam campuran. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan *tailing* dalam lapis pondasi lepas akan meningkatkan daya dukung. Kenaikan yang terjadi antara campuran LPA yang menggunakan 20% *tailing* dengan yang tidak sekitar 78,5%, untuk LPB sekitar 53%.

Tabel 11.  
Hasil pengujian CBR campuran LPA dan LPB

Sifat-sifat Campuran	Hasil Pengujian					Persyaratan
	Variasi penambahan % Tailing					
	0%	5%	10%	15%	20%	
Lapis Pondasi Atas (LPA)						
CBR, %	65.0	80.6	93.3	110.0	116.0	min. 90
Lapis Pondasi Bawah (LPB)						
CBR, %	66.7	75.6	88.9	88.9	102	min. 35



Gambar 9. Pengaruh penambahan tailing pada kepadatan dan kadar air optimum LPA dan LPB

## IV. ANALISA

### 4.1 Karakteristik tailing

Dari pengujian berat jenis *tailing* diketahui bahwa nilai berat jenis-nya adalah 2,76 untuk agregat halus, nilai ini menunjukkan bahwa bahan *tailing* mempunyai berat jenis yang memenuhi persyaratan batuan yang digunakan dalam campuran yaitu minimum 2,5.

Berdasarkan hasil pengujian analisa saringan pada Tabel 4 terlihat bahwa *tailing* dapat digunakan dalam campuran untuk lapis pondasi. Penggunaan

*tailing* dalam campuran untuk Lapis pondasi, *tailing* dapat digunakan sebagai substitusi agregat sedang dan halus.

Dari hasil pengujian angularitas pada Tabel 6, terlihat bahwa semakin tinggi nilai angularitas maka material tersebut semakin baik dari segi *interlocking* antar agregatnya. Pasir *tailing* mempunyai nilai angularitas yang tertinggi dibanding dengan jenis pasir lainnya, hal ini menunjukkan bahwa *tailing* mempunyai sifat *interlocking* yang baik.

### 4.2 Perencanaan campuran

Untuk melihat pengaruh penambahan tailing pada material batu pecah yang akan dipergunakan untuk LPB maupun LPA, maka penambahan Tailing dilakukan dengan berbagai variasi mulai dari 5% sampai 20% , dengan interval setiap 5%. Penambahan Tailing pada campuran lapis pondasi baik itu LPA maupun LPB dibatasi sampai 20%, hal ini disebabkan penambahan tailing yang melebihi 20% pada campuran LPA dan LPB memberikan gradasi campuran yang keluar dari batas-batas yang disyaratkan, seperti ditunjukkan pada Gambar 5 dan Gambar 6.

### 4.3 Karakteristik campuran

Gambar 7, menggambarkan nilai PI yang terus menurun seiring dengan meningkatnya penggunaan % *tailing*, hal ini menunjukkan bahwa *tailing* dapat menurunkan nilai plastisitas tanah. Penambahan tailing 20% akan menurunkan plastisitas index sebesar 50% untuk LPA dan 78% untuk LPB

Dari Gambar 8, nilai kadar air optimum dan kepadatan campuran dengan atau tanpa tailing mempunyai nilai yang relatif sama baik untuk LPA maupun untuk LPB.

Untuk nilai CBR seperti ditunjukkan pada Gambar 9, nilai CBR meningkat seiring dengan bertambahnya penggunaan prosentase *tailing* dalam campuran. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan *tailing* dalam lapis pondasi lepas akan meningkatkan daya dukung. Dari kedua jenis lapis pondasi, campuran LPA dengan menggunakan 10 % *tailing*, 15% *tailing* dan 20% *tailing* dalam campuran memenuhi persyaratan CBR, yaitu minimum 90%. Sedangkan untuk LPB semuanya memenuhi persyaratan nilai CBR yaitu minimum 35%. Kenaikan yang terjadi antara campuran LPA yang menggunakan 20% *tailing* dengan yang tidak sekitar 78,5%, untuk LPB sekitar 53%.

Dari hasil pengujian yang diperoleh memberikan indikasi bahwa *tailing* dapat digunakan sebagai substitusi agregat untuk lapis pondasi lepas, yang memberikan nilai CBR yang jauh lebih tinggi jika dibandingkan dengan lapis pondasi yang tidak menggunakan *tailing*.

## V. KESIMPULAN

Dari hasil percobaan sebagaimana diuraikan sebelumnya dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

- a. *Tailing* mempunyai berat jenis yang memenuhi persyaratan batuan, yaitu sekitar 2,76, nilai angularitas yang tinggi sekitar 49.9 dan dari distribusi butirannya *tailing* dapat dapat digunakan sebagai substitusi agregat sedang dan halus untuk LPA dan LPB.
- b. Penambahan *tailing* yang melebihi dari 20% untuk LPB dan LPA memberikan gradasi campuran yang keluar dari batas-batas yang dipersyaratkan.
- c. *Tailing* dapat menurunkan nilai plastisitas tanah. Penambahan *tailing* 20% akan menurunkan plastisitas index sebesar 50% untuk LPA dan 78% untuk LPB.
- d. *Tailing* dapat digunakan sebagai substitusi agregat untuk lapis pondasi lepas, yang memberikan nilai CBR yang jauh lebih tinggi jika dibandingkan dengan lapis pondasi yang tidak menggunakan *tailing*, yaitu sekira 78,5% untuk LPA dan 53% untuk LPB pada penggunaan 20% *tailing* dalam campuran.
- e. *Tailing* dapat ditambahkan pada bahan LPA dan LPB, sehingga bahan yang semula tidak memenuhi persyaratan menjadi memenuhi persyaratan yang ditentukan.

## DAFTAR PUSTAKA

SNI-03-6388-2000 *Spesifikasi Agregat Lapis Pondasi Bawah. Lapis Pondasi Atas. dan Lapis Permukaan*

Suraatmadja D, Munaf DR, Lationo B, 1998. *Copper Tailing Sebagai Bahan Substitusi Parsial Semen Untuk Material Beton.*

Direktorat Prasarana Wilayah, 2003. *Spesifikasi Umum Pembangunan Jalan, Divisi 5 Perkerasan Berbutir*

### Penulis :

- **Ir. Neni Kusnianti**, Staf Balai Bahan dan Perkerasan Jalan, Pada Pusat Litbang Prasarana Transportasi, Badan Litbang Departemen Kimpraswil.
- **DR. Ir. Furqon Affandi**, MSc. Ahli Peneliti Madya, serta Kepala Balai Bahan dan Perkerasan Jalan, Pada Pusat Litbang Prasarana Transportasi, Badan Litbang Departemen Kimpraswil.



# PENGARUH TINGKAT KEPADATAN TERHADAP VOLUMETRIK CAMPURAN BETON ASPAL DENGAN ANALISIS JALUR

*Madi Hermadi*

*N o n o*

## **RINGKASAN**

Kinerja campuran beraspal selain tergantung pada sifat bahan yang digunakan juga tergantung pada besaran volumetrik yang direncanakan. Besaran volumetrik ini dapat tercapai apabila tidak terjadi penyimpangan tingkat kepadatan. Ada beberapa hal yang mengakibatkan tingkat kepadatan campuran tidak tercapai, yaitu diantaranya: proporsi kadar aspal tidak tepat, temperatur pemadatan rendah, terjadi segregasi dan jumlah lintasan pemadatan tidak sesuai serta alat pemadat tidak sesuai ketentuan. Pada tulisan ini, penulis telah mengevaluasi pengaruh penyimpangan tingkat kepadatan terhadap besaran volumetrik campuran skala laboratorium dan untuk menganalisa data digunakan Path Analysis (analisis jalur) menggunakan program SPSS. Hasil pengujian menunjukkan bahwa menurunnya tingkat kepadatan mengakibatkan rongga dalam campuran (VIM) dan rongga dalam agregat (VMA) meningkat. Sedangkan pengaruhnya terhadap rongga terisi aspal (VFB) adalah menurun dengan signifikan. Hal tersebut, menunjukkan bahwa dengan meningkatnya VIM dan VMA serta menurunnya VFB kinerja campuran beraspal menjadi rendah sehingga rentan terhadap terjadinya pelepasan butir dan retak.

## **SUMMARY**

Performance of asphalt mixtures depend on the used of material properties level and design volumetric. To achieving volumetric of asphalt mixtures appropriate with design is depend on level of compaction. Many factors caused the decreasing of compaction level are asphalt content, compaction temperature, segregation, number of passing and type of compactor. This paper is based on research on the effect of compaction level to volumetric of asphalt mixture at laboratory scale and for data analysis used Path Analysis by SPSS program. Test result shown that the decreasing of compaction level on asphalt mixture caused the increasing of void in mix (VIM) and void in mineral aggregate (VMA) and the decreasing of void filled bitumen (VFB). These are illustrated that performance of asphalt mixtures is low so sensitive to raveling and cracking.

## **I. PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Volumetrik campuran beton aspal sangat menentukan kinerja campuran beraspal. Yang dimaksud besaran volumetrik campuran beraspal antara lain rongga dalam campuran (VIM), rongga di antara agregat (VMA) dan rongga terisi aspal (VFB). Perubahan besaran volumetrik campuran beraspal tersebut berpengaruh langsung terhadap kinerja campuran (SHRP, 1994). Berkaitan dengan hal-hal tersebut lembaga penelitian Asphalt Institute, yaitu SHRP, telah mengembangkan penentuan kinerja campuran beraspal dengan hanya mempertimbangkan besaran volumetrik campurannya saja dan bukan besaran stabilitas atau parameter Marshall lainnya.

Besaran volumetrik campuran beraspal yang direncanakan dapat terjadi penyimpangan terutama

jika pemadatan yang kurang optimal, baik selama pelaksanaan pemadatan di laboratorium ataupun di lapangan pada saat konstruksi.

Pada penelitian ini, akan dicoba mengevaluasi pengaruh penyimpangan volumetrik campuran beraspal untuk lapis permukaan (AC-WC) sebagai akibat pelaksanaan pemadatan campuran beraspal yang kurang optimal untuk skala di laboratorium.

### **1.2. Pembatasan Masalah**

Pada penelitian ini untuk mengetahui pengaruh kurang optimalnya pemadatan terhadap volumetrik campuran beraspal dibatasi hanya pada campuran beraspal untuk lapis permukaan (AC-WC) dengan menggunakan agregat yang bersumber dari Tomo dan aspal yang digunakan adalah aspal keras Pen 60 ex Pertamina.

### 1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah mengevaluasi besarnya pengaruh penyimpangan pemadatan, sehingga terjadi variasi tingkat kepadatan, terhadap penyimpangan besaran volumetrik campuran beraspal (VIM, VMA dan VFB).

## II. KAJIAN PUSTAKA

### 2.1. Campuran beraspal

Secara umum campuran beraspal panas didefinisikan sebagai kombinasi antara agregat yang dicampur merata dan dilapis dengan aspal keras. Untuk mengeringkan agregat dan mencairkan aspal agar mudah dicampur dan dipadatkan dengan baik maka sebelum pencampuran bahan tersebut harus dipanaskan.

Berdasarkan definisi di atas, ada tiga faktor utama yang mempengaruhi kinerja campuran beraspal, yaitu mutu aspal; mutu agregat; dan mutu campuran (sifat volumetrik dan sifat mekanis campuran).

Ke tiga faktor tersebut merupakan syarat utama yang harus dipenuhi agar diperoleh suatu campuran beraspal panas yang awet, kuat, memiliki kelenturan yang cukup, tahan terhadap retak, kedap air dan mudah dalam pelaksanaannya (TAI, 1985).

Berdasarkan TAI Manual Series 2, 1993, bahwa kinerja campuran beraspal tergantung dari rongga dalam campuran (VIM) dan Stabilitas Marshall. Kedua parameter tersebut akan mempengaruhi kinerja campuran beraspal. Pengaruh variasi besarnya rongga dalam campuran dan Stabilitas Marshall adalah sebagai berikut:

- o Bila VIM rendah dan Stabilitas cukup

Kinerja campuran beraspal kurang baik atau tidak stabil sehingga setelah melayani lalu lintas pada periode waktu tertentu atau mengalami pemadatan tambahan oleh lalu lintas maka akan terjadi deformasi plastis atau sungkur.

- o Bila VIM tinggi dan Stabilitas rendah

Rongga dalam campuran tinggi mengakibatkan campuran memiliki permeabilitas tinggi. Apabila permeabilitas tinggi maka sirkulasi udara dan air terjadi pada campuran beraspal tersebut. Hal demikian dapat mengakibatkan aspal lebih cepat mengalami penuaan sehingga pada campuran tersebut kemungkinan terjadi pelepasan butir atau retak.

Ada beberapa hal yang kemungkinan dapat mempengaruhi tingkat kepadatan sehingga volumetrik campuran beraspal tidak sesuai dengan rencana, diantaranya adalah :

- o Proporsi kadar aspal yang tidak sesuai dengan rencana.

- o Temperatur pemadatan rendah.
- o Lintasan pemadatan atau jumlah tumbukan tidak sesuai ketentuan.
- o Alat pemadat tidak sesuai dengan yang ditetapkan.
- o Terjadinya segregasi.

Untuk mengatasi terjadinya perbedaan kepadatan dilaboratorium misalnya saat pembuatan formula campuran rancangan, maka untuk benda uji yang telah dipadatkan tingginya melebihi 1,5 mm dari 63,5 mm (untuk berat benda uji 1.200 gram) maka tidak boleh digunakan (BS 594, 1973).

SHRP telah melakukan penelitian campuran beraspal untuk mengontrol kinerja campuran yaitu dengan mengutamakan besaran volumetrik dan penggunaan bahan sesuai dengan kondisi lapangan (temperatur dan lalu lintas). Adapun hasil penelitian SHRP ini dikenal dengan Spesifikasi Superpave. Tujuan dari pembuatan spesifikasi tersebut adalah untuk mengatasi deformasi permanen, deformasi plastis, kelelahan retak dan retak pada temperatur rendah, yaitu melalui karakteristik campuran yang mempunyai :

- o Kadar aspal yang cukup untuk keawetan;
- o Rongga dalam agregat (VMA) dan rongga dalam campuran (VIM) yang cukup;
- o Kemudahan pengerjaan yang cukup; dan
- o Kinerja yang memuaskan selama umur rencana perkerasan
- o Persyaratan gradasi agregat gabungan dibatasi dengan titik control dan tidak boleh memotong daerah hitam atau daerah larangan (restriction zone). Untuk membuat gradasi agregat gabungan berpedoman pada kurva Fuller (untuk kepadatan tertinggi dengan nilai  $n = 0,45$ ) dan untuk memperoleh rongga yang cukup maka gradasi yang direncanakan harus sejauh mungkin dari kurva Fuller.

### 2.2. Spesifikasi Yang Diacu

Pada penelian ini semua persyaratan mengacu pada spesifikasi Kimpraswil (Divisi 6.3 Buku III tahun 2003).

Adapun persyaratan aspal dan agregat masing-masing ditunjukkan pada Tabel 1 dan Tabel 2. Sedangkan persyaratan gradasi agregat gabungan untuk AC-Wearing Course sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 3 dan Gambar 1.

**Tabel 1.**  
**Persyaratan sifat fisik aspal**

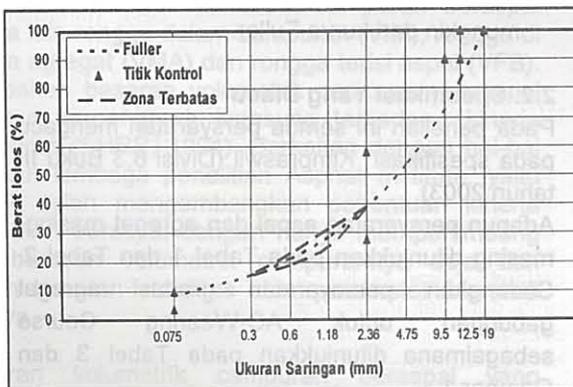
JENIS PENGUJIAN	PERSYARATAN ASPAL PEN 60
• Penetrasi, 0,1 mm	60-79
• Titik lembek, °C	48-58
• Daktilitas, cm	min. 100
• Kelarutan dlm C <sub>2</sub> HCl <sub>3</sub> , %	min. 99
• Titik nyala, °C	min. 200
• Kehilangan berat, %	maks. 0,8
• Penetrasi stlh keh. brt., %	min. 54
• Daktilitas stlh keh. brt., cm	min. 50
• Berat Jenis, gr/cm <sup>3</sup>	min. 1,0

**Tabel 2.**  
**Persyaratan Agregat**

No	Jenis Pengujian	Persyaratan
1.	Berat Jenis	>2,5
	Curah	
	Jenuh	
	Semu	
	Penyerapan, %	< 3%
2.	Abrasi	< 40%
3.	Setara Pasir	> 50%
4.	Kepipihan	-
5.	Kelekatan terh.aspal	> 95%

**Tabel 3.**  
**Persyaratan Gradasai**

UKURAN SARINGAN (mm)	PERSYARATAN (% berat lolos)			
	Titik Kontrol		Daerah Larangan	
	min	max	min	max
19	100	100		
12,5	90	100		
9,5		90		
4,75				
2,36	28	58	39,1	39,1
1,18			25,6	31,6
0,6			19,1	23,1
0,3			15,5	15,5
0,075	4	10		



**Gambar 1.** Contoh gradasi AC-WC

Persyaratan campuran mengacu pada persyaratan campuran untuk Laston dengan bahan pengikat aspal keras Pen 60. Spesifikasi ditunjukkan pada Tabel 4.

**Tabel 4.**  
**Persyaratan Campuran**

Sifat-sifat Campuran	Persyaratan
• Penyerapan kadar aspal	Maks.1,7
• Jumlah tumbukan per bidang	75
• Rongga dalam campuran (%)	3,5-5,5
• Rongga dalam Agregat (VMA) (%)	Min.15
• Rongga terisi aspal (%)	Min. 65
• Stabilitas Marshall (kg)	Min. 800
• Kelelahan (mm)	Min. 3
• Marshall Quotient (kg/mm)	Min. 250
• Stabilitas Marshall Sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60 °C	Min. 75
• Rongga dalam campuran (%) pada kepadatan membal (refusal)	Min. 2,5

### 2.3. Hipotesa

Penyimpangan tingkat kepadatan campuran beraspal mempengaruhi besaran volumetrik campuran yang dapat mengurangi kinerja campuran beraspal.

## III. METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1. Umum

Kegiatan pengkajian ini dilakukan di laboratorium meliputi pengujian sifat agregat, sifat bahan pengikat dan sifat campuran beraspal.

Bahan pengikat yang digunakan adalah aspal keras Pen 60 ex Pertamina yang diperoleh dari pemasok. Sedangkan agregat yang digunakan pada penelitian ini berasal dari mesin pemecah batu yang berada di Tomo Kabupaten Sumedang.

Dalam rangka pengkajian di atas, dilakukan pembuatan campuran beraspal dengan 8 (delapan) variasi gradasi dan pengujian yang digunakan adalah alat Marshall dan PRD.

### 3.2. Tahapan Penelitian

Untuk mendapatkan tujuan penelitian telah dilakukan tahap-tahap kegiatan sebagai berikut

- Melakukan pengujian mutu agregat dan bahan pengikat.
- Pembuatan campuran beraspal. dengan 4 (empat) variasi gradasi diatas kurva Fuller dan di atas aerah hitam (restriction zone) dan 4 (empat) variasi gradasi lagi memotong kurva Fuller dan di bawah daerah hitam.

- Melakukan pengujian Marshall dan PRD untuk menentukan kadar aspal optimum dan besaran volumetrik serta parameter Marshall lainnya.
- Pada kadar aspal optimum untuk masing-masing variasi gradasi dibuatkan benda uji dengan beberapa variasi tingkat kepadatan. Selanjutnya untuk masing-masing benda uji yang dibuat dengan tingkat kepadatan yang diperoleh pada setiap gradasi, dihitung besaran volumetriknya
- Sebagai tahapan kegiatan akhir dari penelitian ini adalah melakukan analisa data terhadap pengaruh tingkat kepadatan dengan besaran volumetrik campuran beraspal. Metoda analisa yang digunakan adalah secara statistik dengan menggunakan analisis jalur (path analysis).

**Tabel 6.**  
**Sifat Agregat**

No.	Jenis Pengujian	Hasil Pengujian Agregat			
		Kasar 1	Kasar 2	Sedang	A.Batu
1.	Berat Jenis				
	Curah	2,575	2,597	2,539	2,591
	Jenuh	2,638	2,659	2,616	2,662
	Semu	2,750	2,770	2,752	2,789
	Penyerapan, %	2,482	2,611	2,824	2,733
2.	Abrasi	29,07	29,76	-	-
3.	Setara Pasir	-	-	-	51
4.	Pipih dan Lonjuong				
5.	Kelekatkan terh.aspal	95+	95+	-	-

#### IV. HASIL PENGUJIAN

##### 4.1. Sifat-sifat Agregat dan Bahan Pengikat

Sesuai dengan pengujian yang telah dilakukan, sifat-sifat Aspal Pen 60 pada Tabel 5. Sedangkan sifat agregat ditunjukkan pada Tabel 6.

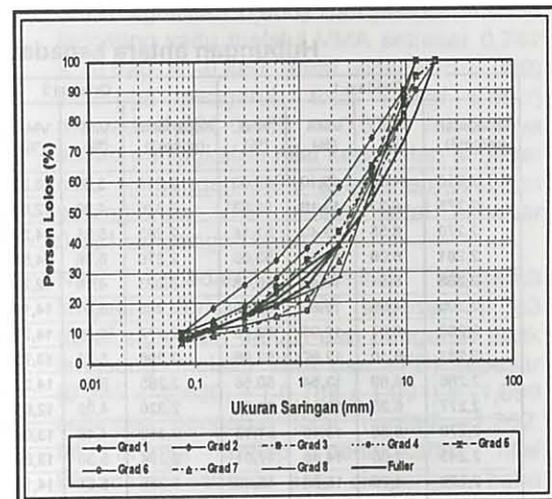
Dari Tabel 5 dan Tabel 6 terlihat bahwa agregat dan bahan pengikat yang digunakan memenuhi persyaratan Spesifikasi Kimpraswil (buku III-2003).

Dalam pembuatan rancangan campuran, gradasi agregat gabungan yang digunakan adalah didasarkan atas berat pada setiap ukuran saringan (by size) atau tidak berdasarkan penggabungan dengan formula tertentu untuk masing-masing fraksi agregat.

Variasi gradasi yang digunakan adalah sebagai mana ditunjukkan pada Gambar 2.

**Tabel 5.**  
**Sifat-sifat Aspal Pen 60**

Jenis Pengujian	Hasil Pengujian
✓ Penetrasi pada 25°C, 100 gr, 5 detik, 0,1 mm	63
✓ Titik lembek, °C	48,5
✓ Daktilitas pada 25°C, 5 cm/menit, Cm	> 140
✓ Kelarutan dalam C <sub>2</sub> HCL <sub>3</sub> , %	99,87
✓ Titik nyala (COC), °C	310
✓ Berat jenis, gr/ml	1,032
✓ Kehilangan berat (TFOT), %	0,092
✓ Penetrasi setelah TFOT, % asli	87,3
✓ Daktilitas setelah TFOT, Cm	> 140
✓ Titik lembek setelah TFOT, °C	50,1
✓ Temperatur pencampuran, °C	161
✓ Temperatur pemadatan, °C	148



**Gambar 2.** Gradasi agregat gabungan

##### 4.2. Sifat campuran

Sifat campuran yang diperoleh berdasarkan hasil pengujian dengan alat Marshall dan PRD, yaitu pada kadar aspal optimum ditunjukkan pada Tabel 7. Sedangkan besaran volumetrik campuran, yaitu rongga dalam campuran (VIM), rongga dalam agregat (VMA) dan rongga terisi aspal (VFB) ditunjukkan pada Tabel 8.

Tabel 7.  
Sifat Campuran

NO	SIFAT CAMPURAN	HASIL PENGUJIAN							
		Grad 1	Grad 2	Grad 3	Grad 4	Grad 5	Grad 6	Grad 7	Grad 8
1.	Kadar Aspal, (%)	6,25	6,25	6,17	5,80	6,45	6,35	6,35	6,25
2.	Kepadatan, (t/m <sup>3</sup> )	2,310	2,311	2,305	2,309	2,289	2,280	2,280	2,296
3.	VFB (%)	69,00	70,0	71,0	71,0	68,0	69,0	70,5	70,0
4.	VMA (%)	15,10	16,3	16,8	17,8	16,5	17,0	17,4	15,4
5.	VIM Marshall (%)	4,6	5,0	4,9	5,1	5,2	5,1	5,2	4,8
6.	VIM PRD (%)	3,0	2,6	2,9	2,9	2,9	2,7	2,8	2,9
7.	Stabilitas, (kg)	1330	1450	1450	1470	1390	1210	1220	1320
8.	Pelelehan, (mm)	3,9	3,3	3,9	3,4	4,0	3,7	3,6	3,8
9.	MQ (kg/mm)	341	439	372	432	348	327	339	347
10.	Stabilitas Sisa (%)	91,10	88,26	87,92	84,48	93,81	86,67	83,33	96,67

Tabel 8.  
Hubungan antara kepadatan dan volumetrik campuran beraspal

Gradasi 1				Gradasi 2				Gradasi 3				Gradasi 4			
Kepadatan (gr/cm <sup>3</sup> )	VIM (%)	VMA (%)	VFB (%)	Kepadatan (gr/cm <sup>3</sup> )	VIM (%)	VMA (%)	VFB (%)	Kepadatan (gr/cm <sup>3</sup> )	VIM (%)	VMA (%)	VFB (%)	Kepadatan (gr/cm <sup>3</sup> )	VIM (%)	VMA (%)	VFB (%)
2,310	4,60	15,10	69,00	2,311	5,00	16,30	70,00	2,305	4,90	16,80	71,00	2,309	5,10	17,80	71,00
2,275	6,33	13,19	52,03	2,320	4,30	12,88	66,64	2,303	5,09	13,68	62,78	2,291	5,62	15,47	63,65
2,270	6,55	13,40	51,14	2,283	5,81	14,29	59,37	2,293	5,53	14,09	60,75	2,268	6,53	16,30	59,93
2,281	6,08	12,95	53,06	2,270	6,36	14,81	57,05	2,290	5,64	14,19	60,28	2,261	6,85	16,60	58,70
2,268	6,64	13,48	50,78	2,323	4,18	12,77	67,26	2,312	4,72	13,33	64,60	2,278	6,14	15,94	61,49
2,308	4,96	11,89	58,25	2,288	5,61	14,10	60,25	2,295	5,45	14,01	61,12	2,268	6,56	16,32	59,84
2,282	6,07	12,95	53,10	2,272	6,26	14,72	57,44	2,296	5,41	13,98	61,29	2,300	5,21	15,09	65,45
2,281	6,10	12,97	52,98	2,298	5,21	13,73	62,06	2,280	6,08	14,60	58,38	2,297	5,34	15,21	64,88
2,266	6,69	13,54	50,56	2,285	5,73	14,22	59,69	2,305	5,02	13,61	63,13	2,304	5,05	14,94	66,19
2,277	6,25	13,11	52,36	2,326	4,05	12,65	67,98	2,268	6,56	15,06	56,40	2,277	6,19	15,99	61,27
2,270	6,55	13,40	51,13	2,316	4,46	13,03	65,76	2,232	8,03	16,43	51,11	2,284	5,89	15,71	62,51
2,243	7,66	14,46	47,01	2,294	5,38	13,89	61,25	2,233	7,98	16,38	51,27	2,246	7,47	17,17	56,47
2,228	8,26	15,03	45,06	2,288	5,61	14,11	60,21	2,288	5,74	14,28	59,83	2,275	6,26	16,05	61,02
2,255	7,17	14,00	48,74	2,289	5,59	14,08	60,33	2,252	7,21	15,66	53,94	2,290	5,66	15,50	63,47
2,264	6,79	13,63	50,18	2,295	5,32	13,83	61,56	2,270	6,48	14,98	56,73	2,276	6,21	16,01	61,18
2,250	7,38	14,19	48,00	2,286	5,69	14,18	59,86	2,330	4,00	12,66	68,39	2,274	6,28	16,07	60,91
2,254	7,20	14,02	48,65	2,288	5,62	14,11	60,19	2,325	4,22	12,87	67,20	2,249	7,35	17,06	56,89

Tabel 8.  
Hubungan antara kepadatan dan volumetrik campuran beraspal (lanjutan)

Gradasi 5				Gradasi 6				Gradasi 7				Gradasi 8			
Kepadatan (gr/cm <sup>3</sup> )	VIM (%)	VMA (%)	VFB (%)	Kepadatan (gr/cm <sup>3</sup> )	VIM (%)	VMA (%)	VFB (%)	Kepadatan (gr/cm <sup>3</sup> )	VIM (%)	VMA (%)	VFB (%)	Kepadatan (gr/cm <sup>3</sup> )	VIM (%)	VMA (%)	VFB (%)
2,289	5,20	16,50	68,00	2,280	5,10	17,00	69,00	2,280	5,20	17,40	70,50	2,296	4,80	15,40	70,00
2,270	8,04	13,49	40,43	2,254	6,86	14,99	54,28	2,219	8,01	16,52	51,55	2,239	7,43	14,47	48,64
2,265	8,24	13,68	39,80	2,265	6,40	14,56	56,07	2,207	8,52	17,00	49,89	2,275	5,96	13,07	54,41
2,268	8,10	13,55	40,22	2,285	5,56	13,78	59,63	2,200	8,81	17,27	49,00	2,258	6,66	13,74	51,52
2,288	7,29	12,76	42,91	2,281	5,76	13,96	58,76	2,192	9,11	17,56	48,09	2,255	6,76	13,84	51,11
2,252	8,74	14,17	38,32	2,275	6,01	14,20	57,69	2,232	7,48	16,03	53,34	2,275	5,96	13,07	54,42
2,271	8,00	13,45	40,55	2,295	5,15	13,40	61,52	2,193	9,07	17,52	48,21	2,230	7,81	14,83	47,33
2,251	8,81	14,24	38,12	2,294	5,19	13,43	61,34	2,209	8,44	16,92	50,15	2,260	6,59	13,67	51,80
2,270	8,04	13,49	40,41	2,222	8,19	16,25	49,59	2,221	7,94	16,46	51,78	2,258	6,64	13,72	51,60
2,220	10,05	15,44	34,90	2,285	5,59	13,81	59,51	2,188	9,27	17,70	47,63	2,241	7,35	14,40	48,92
2,301	6,77	12,26	44,79	2,285	5,56	13,78	59,65	2,191	9,14	17,58	48,01	2,249	7,04	14,10	50,07
2,262	8,33	13,78	39,51	2,277	5,89	14,09	58,18	2,209	8,42	16,91	50,19	2,262	6,48	13,57	52,23
2,283	7,51	12,98	42,14	2,291	5,33	13,56	60,72	2,201	8,75	17,22	49,16	2,289	5,39	12,53	57,01
2,265	8,21	13,66	39,88	2,305	4,77	13,04	63,41	2,192	9,13	17,57	48,05	2,258	6,64	13,72	51,61
2,263	8,31	13,75	39,59	2,257	6,76	14,90	54,66	2,202	8,70	17,17	49,33	2,283	5,64	12,77	55,82
2,251	8,78	14,20	38,22	2,283	5,66	13,87	59,19	2,186	9,36	17,79	47,38	2,259	6,61	13,69	51,72
2,302	6,72	12,22	44,97	2,274	6,02	14,21	57,64	2,223	7,83	16,36	52,13	2,262	6,48	13,57	52,23

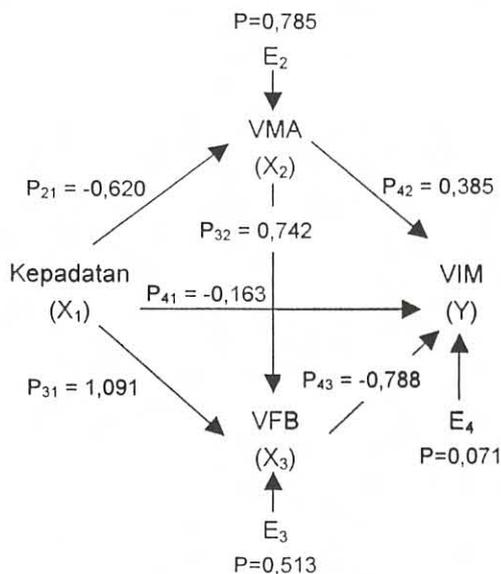
## V. PEMBAHASAN

Analisa korelasi parsial dari kepadatan, VMA, VFB dan VIM pada Tabel 8 disajikan pada Tabel 9 berikut.

**Tabel 9.**  
Hasil Analisa Korelasi Parsial

	Kepadatan	VMA	VFB
<b>VMA :</b>			
➤ Pearson Correlation	-0,620		
➤ Sig (2-tailed)	0,000		
➤ N	136		
<b>VFB :</b>			
➤ Pearson Correlation	0,630	0,066	
➤ Sig (2-tailed)	0,000	0,444	
➤ N	136	136	
<b>VIM :</b>			
➤ Pearson Correlation	-0,898	0,434	-0,865
➤ Sig (2-tailed)	0,000	0,000	0,000
➤ N	136	136	136

Hasil analisa korelasi parsial pada Tabel 9 menunjukkan bahwa kepadatan memiliki pengaruh nyata sebesar -0,620 terhadap VMA, sebesar 0,630 terhadap VFB dan sebesar -0,898 terhadap VIM. VMA memiliki pengaruh nyata sebesar 0,434 terhadap VIM sedangkan terhadap VFB pengaruhnya tidak nyata. FVB memiliki pengaruh nyata sebesar -0,865 terhadap VIM. Besarnya masing-masing pengaruh ini sebenarnya masih mengandung pengaruh palsu (*Spurious*) atau pengaruh yang disebabkan oleh faktor penyebab yang sama sehingga untuk mendekomposisi pengaruh tersebut dilakukan analisis jalur (*Path Analysis*) dengan model dan hasil analisis sebagaimana disajikan pada Gambar 3 berikut.



**Gambar 3.** Model Hubungan Pengaruh Kepadatan terhadap Volumetrik Campuran

Dari Gambar 3 di atas dapat diketahui pengaruh masing-masing variabel yang terdiri dari pengaruh langsung (*Direct Effect*), pengaruh tidak langsung (*Indirect Effect*), pengaruh palsu (*Spurious*) dan pengaruh yang tidak dapat dianalisis. Pengaruh-pengaruh tersebut yaitu sebagai berikut :

- Nilai kepadatan memiliki pengaruh langsung terhadap VMA sebesar -0,620 dengan signifikan karena memiliki taraf signifikan 0,000 atau lebih kecil dari batas maksimum 0,01. Ini artinya secara signifikan setiap peningkatan nilai kepadatan sebesar satu simpangan baku akan menyebabkan penurunan VMA sebesar 0,620 simpangan baku.
- Nilai kepadatan memiliki pengaruh langsung terhadap VFB sebesar 1,091 (taraf signifikan 0,000) dan pengaruh tidak langsung yaitu melalui VMA sebesar  $0,742 \times -0,620 = -0,460$  (taraf signifikan 0,000) sehingga pengaruh total (*Total Effect*) menjadi  $1,091 - 0,460 = 0,631$ . Ini artinya setiap peningkatan nilai kepadatan sebesar satu simpangan baku akan menyebabkan peningkatan VFB secara total sebesar 0,631 simpangan baku.
- Nilai kepadatan memiliki pengaruh langsung terhadap VIM sebesar -0,163 (taraf signifikan 0,000) dan pengaruh tidak langsung (melalui VMA dan VFB) sebesar  $(0,385 \times -0,620) + (-0,788 \times 1,091) = -1,099$  sehingga pengaruh total menjadi -1,262. Ini artinya setiap peningkatan nilai kepadatan sebesar satu simpangan baku akan menyebabkan penurunan VIM secara total sebesar 1,262 simpangan baku.
- Nilai VMA memiliki pengaruh langsung terhadap VFB sebesar 0,742 (taraf signifikan 0,000) dan pengaruh palsu (*Spurious*) sebesar  $1,091 \times -0,620 = -0,676$ . Sehingga pengaruh total tetap 0,742. Ini artinya setiap peningkatan nilai VMA sebesar satu simpangan baku akan menyebabkan peningkatan VFB secara total sebesar 0,742 simpangan baku.
- Nilai VMA memiliki pengaruh langsung terhadap VIM sebesar 0,385 (taraf signifikan 0,000), pengaruh tidak langsung (melalui VFB) sebesar  $-0,788 \times 0,742 = -0,585$  dan pengaruh palsu sebesar  $(-0,163 \times -0,620) + (-0,788 \times 1,091 \times -0,620) = 0,432$ . Dengan demikian maka pengaruh total sebesar  $0,385 - 0,585 = -0,200$ . Ini artinya setiap peningkatan nilai VMA sebesar satu simpangan baku akan menyebabkan penurunan VIM secara total sebesar 0,200 simpangan baku.
- Nilai VFB memiliki pengaruh langsung terhadap VIM sebesar -0,788 (taraf

signifikan 0,000) dan pengaruh palsu sebesar  $(0,385 \times 0,742) + (-0,163 \times 1,091) + (0,385 \times -0,620 \times 1,091) = -0,152$ . Dengan demikian maka pengaruh total sebesar -0,788. Ini artinya setiap peningkatan nilai VFB sebesar satu simpangan baku akan menyebabkan penurunan VIM secara total sebesar 0,788 simpangan baku.

- g) Pengaruh yang tidak teranalisis adalah terhadap VMA sebesar 0,785 simpangan baku, terhadap VFB sebesar 0,513 simpangan baku dan terhadap VIM sebesar 0,071 simpangan baku.

Dengan adanya pengaruh yang signifikan antara kepadatan dengan volumetrik campuran maka penyimpangan tingkat kepadatan campuran akan merubah volumetrik campuran beraspal. Makin tinggi penyimpangan kepadatan (kepadatan makin rendah) menyebabkan VIM dan VMA makin tinggi namun VFB makin rendah. VIM tinggi dapat menyebabkan penetrasi air dan udara ke dalam campuran lebih tinggi sehingga campuran mudah mengalami penuaan (akibat oksidasi) dan pada saat hujan air akan terperangkap diantara rongga yang tersedia serta pada saat beban lalu-lintas akan terjadi pemompaan yang kemungkinan terjadinya pelepasan butir atau retak.

## VI. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium dan analisa data dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut :

- Sifat bahan yang digunakan pada pengkajian ini, baik aspal Pen 60 maupun agregat kasar, sedang dan agregat halus memenuhi persyaratan.
- Sifat campuran beraspal untuk ke delapan variasi gradasi memenuhi persyaratan campuran Laston lapis permukaan (AC-WC).
- Dari hasil analisis data dengan menggunakan analisis jalur dapat diketahui bahwa secara signifikan Kepadatan memiliki pengaruh total terhadap VMA sebesar -0,620, terhadap VFB sebesar 0,631 dan terhadap VIM sebesar -1,262. Secara signifikan VMA memiliki pengaruh total terhadap VFB sebesar 0,742 dan terhadap VIM sebesar -0,200. Secara signifikan VFB memiliki pengaruh total terhadap VIM sebesar -0,788.

- Dengan adanya pengaruh yang signifikan antara kepadatan dengan volumetrik campuran maka tampak penyimpangan tingkat kepadatan campuran akan merubah volumetrik campuran beraspal yang selanjutnya akan berpengaruh pula pada potensi kerusakan berupa penuaan, deformasi, retak atau lepas-lepas pada perkerasan jalan.

## DAFTAR PUSTAKA

- British Standard Specification (1973). Rolled Asphalt (hot process) for roads and Other Paved Areas, BS 594. United Kingdom.
- Kimpraswil (2004). Spesifikasi Campuran Beraspal Panas, Seksi 6.3 Buku 3, Jakarta.
- NAPA Research and Education Foundation (1996). Hot Mix Asphalt Materials, Mixture Design and Construction, Second Edition, Lanham, Maryland.
- SHRP (1994). Superior Performing Asphalt Pavements (Superpave): The Product of the SHRP Asphalt Research Program, SHRP-A-410. National Research Council, Washington DC.
- The Asphalt Institute's (1985). The Asphalt Institute Handbooks, Manual Series No. 4. The Asphalt Institute. USA
- The Asphalt Institute's (1994). Mix Design Methods for Asphalt Concrete and Others Hot Mix Types, Manual Series No. 2. Second Edition, USA.
- The Asphalt Institute's (1994). Mix Design Methods for Asphalt Concrete and Others Hot Mix Types, Manual. USA.
- Soehartono I, 2003, "Analisis Jalur (*Path Analysis*) dengan SPSS", Lemlit Unpas Press, Bandung.

## Penulis :

- *Drs. Madi Hermadi, SSI, Ajun Peneliti Madya bidang Prasarana Transportasi di Puslitbang Prasarana Transportasi.*
- *Ir. Nono, MEng Sc, Ajun Peneliti Muda, Pusat Litbang Prasarana Transportasi*

