

**METODE PELAKSANAAN DAN EVALUASI PERBAIKAN JALAN  
BETON DENGAN INJEKSI SEMEN, COR DI TEMPAT DAN  
BETON PRACETAK  
(IMPLEMENTATION AND EVALUATION METHODS OF ROAD  
CONCRETE REPAIR USING CEMENT INJECTION, CAST IN PLACE  
AND PRECAST CONCRETE)**

A. Tatang Dachlan

Pusat Litbang Jalan dan Jembatan  
Jl. A.H. Nasution No. 264 Bandung 40294  
E-mail: atatangd@yahoo.com

Diterima : 18 Juni 2010 ; Disetujui : 10 Agustus 2010

**ABSTRAK**

*Perkerasan jalan beton untuk lalu lintas berat dan padat di Indonesia dihadapkan pada masalah tanah dasar atau pondasi yang tidak stabil dan faktor erosi drainase yang parah sehingga mengakibatkan kerusakan retak, pumping, spalling, dan faulting. Kerusakan tersebut dapat menimbulkan retak yang berkembang menjadi retak blok dan depression yang perbaikannya memerlukan pembongkaran seluruh atau sebagian segmen beton. Proses perbaikan memerlukan cara yang cepat tanpa menghambat arus lalu lintas. Kerusakan harus diidentifikasi penyebab dan kondisinya secara cermat dengan cara penilaian kondisi visual dan pemetaan, uji lendutan dengan Falling Weight Deflectometer (FWD), serta sampling dengan coredrill sebelum dilakukan perbaikan. Berdasarkan ujicoba perbaikan perkerasan beton yang mengalami pumping atau amblas setempat, penanganan dengan disuntik menggunakan cairan kental semen dan bahan tertentu berhasil mengurangi perbedaan defleksi sehingga panel stabil. Perbaikan lain adalah panel yang rusak diganti dengan beton cor di tempat menggunakan campuran beton yang diberi bahan tambah untuk mempercepat pengerasan mencapai 80% kekuatan rencana dan dalam waktu 3 x 24 jam dapat segera dibuka untuk lalu lintas. Perbaikan segmen beton dapat diganti langsung dengan beton pracetak dengan ukuran tertentu sehingga pekerjaan relatif cepat dan dapat segera dilalui lalu lintas. Pemantauan hasil perbaikan pada tahun pertama pada sambungan setelah grouting berdasarkan kriteria defleksi menunjukkan indikasi tidak ada rongga, yaitu defleksi kurang dari 0,05 mm (2 mils), serta efisiensi transfer beban lebih dari 60%. Cara kerja ini bermanfaat untuk sistem preservasi jalan beton di Indonesia.*

**Kata kunci:** perbaikan perkerasan, perkerasan beton, segmen cor di tempat, injeksi semen, panel beton pracetak.

**ABSTRACT**

*The road concrete pavements for high volume traffic load in Indonesia are mostly faced to the unstable base layer and eroded drainage factor then fallout deterioration such as irregular cracks, pumping, spalling and faulting. The effect of those factors may appear propagation cracks or depression that needs demolition of whole concrete or apart of panel for repairing. The process requires a fast way repair, without hampering the flow of traffic.. The defect must be identified causes and conditions carefully by means of visual condition assessment and mapping, deflection test with*

*Falling Weight Deflectometer (FWD), and sampling with core drill prior to repair. Based on the trials of concrete pavement suffers by pumping and depression, handling of the injected liquid cement mixed with a certain additive material, may reduce differential deflection so the slab is stable. Another repairs is the panel was removed and replaced with cast-in-place concrete using concrete mix that was given an additive to accelerate the hardening reaches 80% design strength, and within 3 x 24 hours can be immediately opened to traffic. The broken slab may also directly be replaced using precast concrete with an appropriate dimension, the process is relatively fast then the traffic may immediately be opened. Monitoring results in improvements at the end of the first year, in the joint after grouting based on deflection criteria showed no indication of voids with a deflection of less than 0.05 mm (2 mils), and load transfer efficiency of more than 60%. This perform is usefull on preservation system of concrete pavement in Indonesia.*

*Key words: pavement repairs, concrete pavement, segment cast in place, cement injection, precast concrete slab.*

## PENDAHULUAN

Perkerasan jalan beton untuk lalu lintas berat dan padat di Indonesia dihadapkan pada masalah lalu lintas yang tidak boleh ditutup terlalu lama selama perbaikan atau pemeliharaan, masalah tanah dasar atau pondasi yang tidak stabil dan faktor cuaca (hujan) yang berakibat erosi di bawah perkerasan. Kerusakan jenis retak *irregular*, *pumping*, *spalling* dan *faulting* paling sering ditemukan. Akibat faktor tersebut dapat menimbulkan retak berkembang menjadi retak blok yang perbaikannya memerlukan pembongkaran seluruh atau sebagian segmen beton. Perbaikan yang dilakukan di beberapa tempat mengalami kerusakan kembali dan pada umumnya karena penggunaan bahan yang tidak sesuai, identifikasi penyebab kerusakan tidak cermat, dan keterlambatan penanganan pada gejala awal adanya kerusakan. Perbaikannya terutama untuk lalu lintas yang padat dan berat memerlukan cara yang cepat tanpa menghambat arus lalu lintas.

Perbaikan kerusakan perkerasan jalan merupakan upaya untuk mempertahankan umur rencana atau masa pelayanan suatu jaringan jalan. Alternatif cara memperbaiki kerusakan perkerasan jalan beton semen berdasarkan beberapa literatur adalah menggunakan panel pracetak yang merupakan cara perbaikan yang relatif efektif, termasuk perbaikan cor di tempat yang diberi bahan tambah tertentu, karena dapat menyingkat waktu masa pelaksanaan perbaikan.

Hasil kajian terhadap kekuatan struktur beton pracetak di Indonesia dilaporkan bahwa pada umumnya kuat menahan beban lalu lintas yang berat, namun pelaksanaan pemasangan panel (*slab*) kurang sempurna sehingga menimbulkan kerusakan pada sambungan (Dachlan, 2009, 74).

Panel perkerasan beton semen pracetak (*precast*) adalah struktur yang terdiri atas pelat beton semen yang bersambung (tidak menerus) dan dapat dilakukan pra-tegang (*pre-stressed*) atau tanpa pra-tegang, diproduksi menggunakan cetakan berukuran tertentu sesuai dengan kebutuhan, yang dapat dikerjakan di tempat atau di unit produksi beton sesuai dengan spesifikasi khusus beton pracetak (Puslitbang Jalan dan Jembatan, 2009). Menggunakan prategang, perhitungan tebal panel menjadi lebih tipis 35% atau 40% dari pada beton konvensional pada lapisan dasar dan lalu lintas yang sama (ACI, 1988).

Hasil kajian ini meliputi jenis perbaikan di luar negeri dalam suatu percobaan lapangan yang menggunakan panel pracetak diperkenalkan dengan nama *Super Slab System* dan *Full Depth Repair (FDR) Method* masing-masing dikembangkan di *New York* dan *Michigan*, perbaikan lapisan dasar yang tidak stabil dengan penyuntikan polimer resin dikenal dengan *Uretek Method* (Luh M. Chang dan Yu-Tzu Chen (2004, 52). Dalam perkembangannya, Shiraz Tayabji *cs.* (2010) merinci cara perbaikan yang telah mereka ujicoba, termasuk di Ontario MOT (2006) dan berhasil baik.

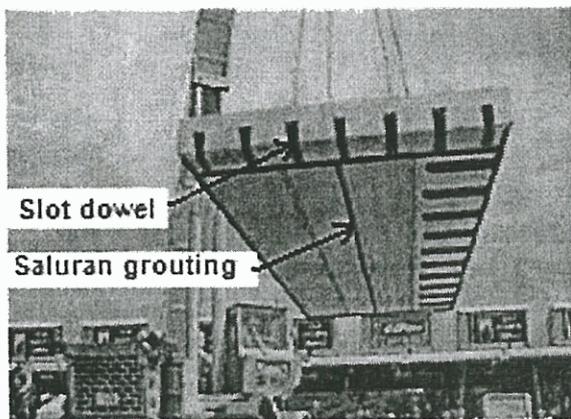
Pedoman perbaikan kerusakan jalan beton di Indonesia perlu dievaluasi dan hasil uji-coba cara perbaikan perkerasan beton di beberapa negara perlu dikembangkan dan diaplikasikan.

Tulisan ini bertujuan memberikan masukan pemilihan alternatif cara perbaikan kerusakan perkerasan beton secara cepat dengan mutu terjamin, sebagai upaya pemeliharaan selama masa pelayanan, terkait dengan perbaikan menggunakan beton pracetak dan cor di tempat.

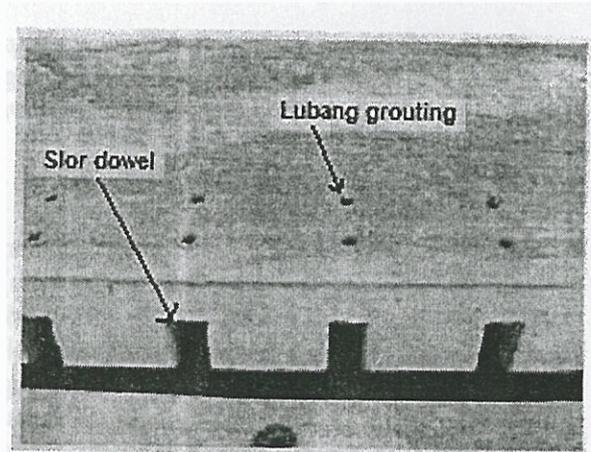
## KAJIAN PUSTAKA

### *Super Slab System*

Sistem *Super-Slab* adalah perkerasan beton dengan metode pracetak yang dipasang di atas tanah dasar. Sistem ini dirancang oleh *Fort Miller Co, Inc* tahun 2001 (FHWA, Luh M. Chang dan Yu-Tzu Chen (2004)). *Super-slab* telah dikembangkan untuk perbaikan perkerasan jalan dengan lalu lintas berat. Panel beton pracetak dilengkapi dengan slot dowel dan *tie bar* untuk mendistribusikan beban dan *interlocking* antar panel (*slab*) beton, lubang grouting dasar panel dan dowel. Lihat Gambar 1a dan Gambar 1b.

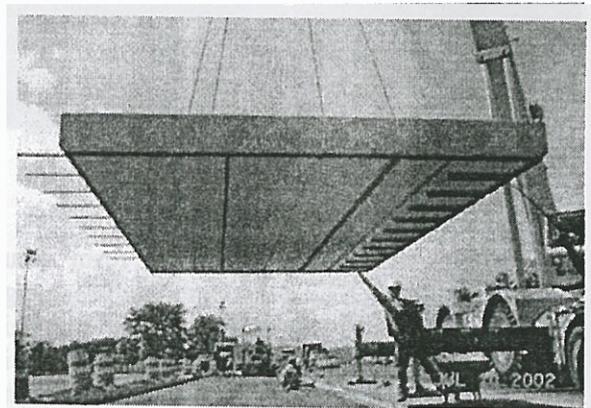


Gambar 1a. Saluran untuk grouting di bawah Panel



Gambar 1b. Lubang grouting untuk dowel

Cara pemasangan beton *Super-Slab* dibagi dalam tahap-tahap mulai pembongkaran panel lama yang rusak, penyiapan dasar panel, pembersihan dari pecahan beton, dan perataan pasir atau abu batu, pemasangan panel beton pracetak di atas hamparan abu batu yang sudah dipadatkan (Gambar 1c), serta pelaksanaan grouting dengan bahan tahan susut untuk mengisi rongga di bagian bawah panel (Gambar 1a dan Gambar 1b) sampai penuh. Setelah beberapa lama pekerjaan grouting dikontrol dengan melakukan *core drill* untuk melihat kesempurnaan grouting.



Gambar 1c. Pemasangan Panel

### *Uretak Method*

*Uretak Method* dikembangkan di *Colorado*, dan di *California* (FHWA, Luh M. Chang dan Yu-Tzu Chen (2004) dari *School Of Civil Engineering, Purdue University*). Metoda *Uretak* dibagi dalam 3 katagori yaitu *Uretak*

*Method, Stitch-in-Time Technology, dan Deep Injection Process.* Berikut ini dijelaskan tentang cara perbaikan dengan *Uretek Method dan Deep Injection Process.*

### 1) *Uretek Method*

Khusus pada *Uretek Method*, bahan polimer *high-density* (campuran resin) diinjeksikan melalui lubang bor kecil untuk dapat mengangkat dan memposisikan panel, serta mengisi rongga di bawah panel yang terpasang langsung di atas dasar pondasi bawah. Akibat resin yang mengembang maka rongga akan terisi, lapisan *subbase* bertambah kuat dan stabil. Metoda ini dapat dikerjakan untuk memperbaiki kerusakan ambles setempat dan masalah rongga di bawah perkerasan jalan raya, lapangan terbang, dan bangunan lainnya. Dalam Gambar 2a diplihatkan cara kerja metoda *Uretek*.

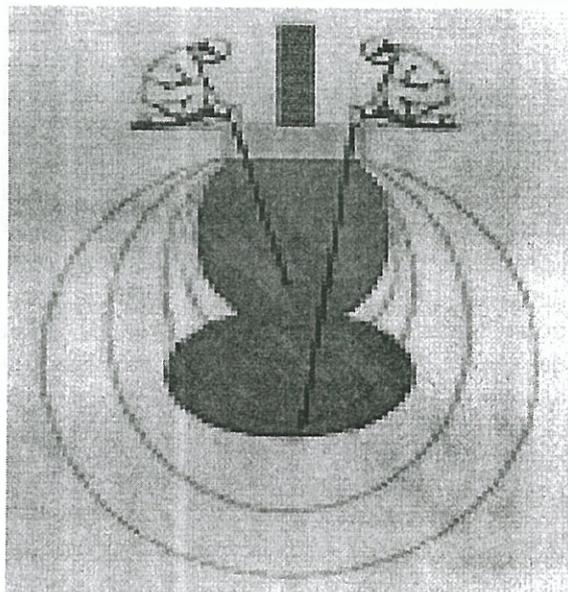


Gambar 2a. Perbaikan dengan *Metoda Uretek*

### 2) *Deep Injection Process*

Pada proses *deep injection*, resin atau cairan kental semen diinjeksikan melalui lubang bor kecil ke bawah panel atau sampai kedalaman satu meter, untuk dapat mengisi rongga, dapat memadatkan dan menstabilkan tanah yang kepadatannya rendah. Dalam Gambar 2b diplihatkan metoda *Deep Injection*

Berdasarkan pengalaman tersebut, CDOT merancang untuk mengurangi biaya produksi karena biaya tersebut relatif lebih mahal sekitar 10% sampai dengan 40% dibandingkan dengan beton cor di tempat.

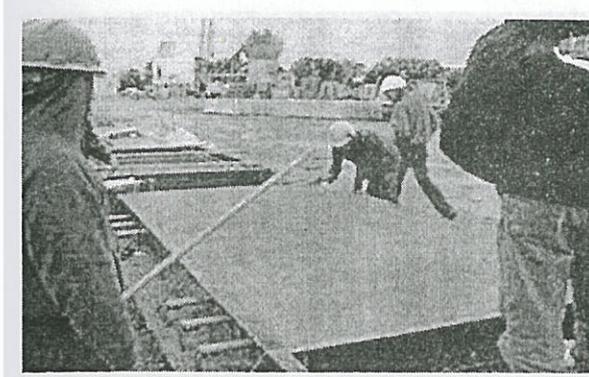


Gambar 2b. Metoda *Deep Injection*

### Full Depth Repair (FDR) Method

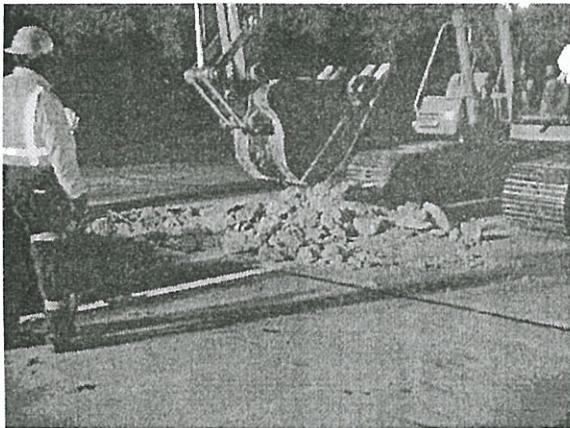
*Full depth repair (FDR)* adalah pekerjaan perbaikan dengan cara mengganti panel yang rusak dan menempatkan panel beton pracetak baru. (FHWA, Luh M. Chang dan Yu-Tzu Chen (2004, 57). Dalam FDR digunakan tiga dowel di setiap lajur jejak roda ban kendaraan sebagai transfer beban pada sambungan. *Wire mesh* dipasang di tengah tebal panel untuk menahan retak yang ditimbulkan oleh gerakan kontraksi dan pengembangan. Lihat Gambar 3a sampai dengan Gambar 3c diilustrasikan proses penyiapan cetakan, produksi panel pracetak sampai dengan pemasangan.

Tahapan proses pemasangan beton pracetak di lapangan, meliputi pembongkaran panel yang rusak, penyiapan pondasi dan penggantian pondasi lama dengan *flowable fill* antara 2,5 cm s/d 5 cm, pemotongan slot untuk dowel pada panel yang bersebelahan, pemasangan *flowable fill* sampai elevasi yang diperlukan, dan penempatan panel pracetak dari atas truk menggunakan *crane*.

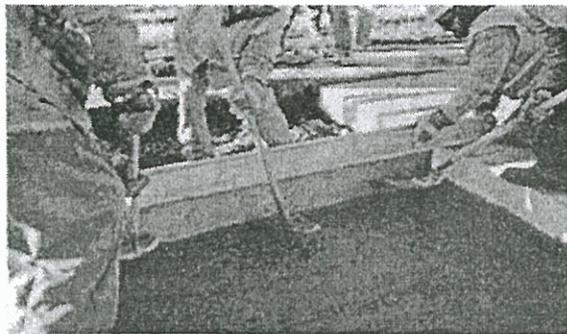


Gambar 3a. Proses Pabrikasi Panel Beton Pracetak (Pencetakan, Pengecoran dan *Finishing*)

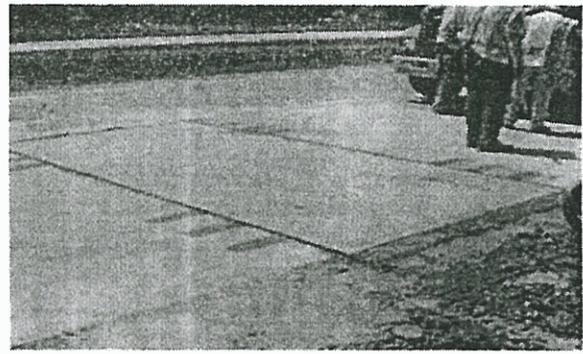
Hasil percobaan perbaikan perkerasan beton pracetak dengan sistem *Full Depth* ini juga dipublikasikan pula oleh Neeraj (FHWA, 2007).



Gambar 3b. Pembongkaran dengan *Jack-hammer* dan *Excavator*



Gambar 3c. Pemasangan Mortar dan Pemasangan Panel



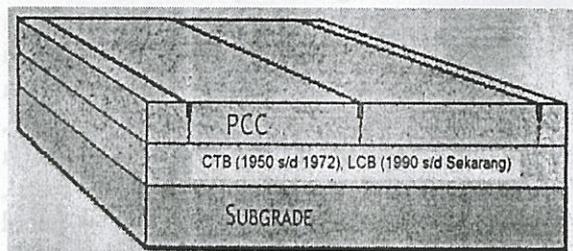
Gambar 3c. Pemasangan Mortar dan Pemasangan Panel (lanjutan)

#### *Four-By-Four Method*

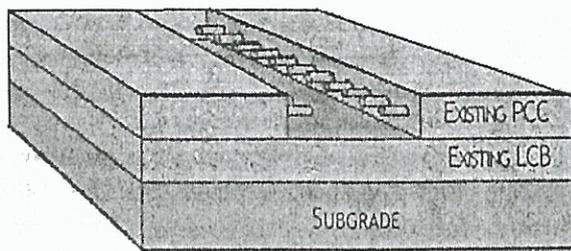
*Caltrans (California Transportation)* telah mengembangkan metoda perbaikan jalan beton secara cepat pada perkerasan beton yang berumur lebih dari 20 tahun (1950-1992). (FHWA, Luh M. Chang dan Yu-Tzu Chen (2004)

Dalam Gambar 4a diperlihatkan tipikal lapisan perkerasan beton dan sebagian lapisan *Cement Treated Base (CTB)* yang rusak diganti dengan *Lean Concrete Base (LCB)*. Pemasangan panel dilakukan cor di tempat dengan mutu beton tertentu.

*Four-by-four method* dimaksudkan mencapai kuat tekan 4000 psi atau 280 kg/cm<sup>2</sup> dalam waktu 4 jam sejak pembetonan. *Caltrans* menambahkan minimum kuat tarik beton (*flexural strength*) sebesar 400 psi atau 28 kg/cm<sup>2</sup> untuk mencegah segmen baru tidak patah.



Gambar 4a. Tipikal Lapis Jalan Beton

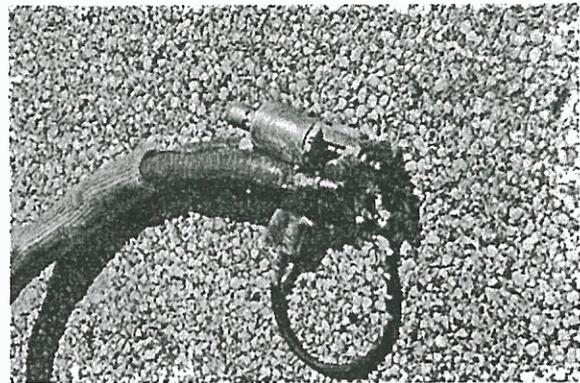


Gambar 4b. Penggantian Panel dan CTB atau Panel

Penggantian panel beton dapat dilakukan terhadap panel saja atau panel dan pondasi bawah diperlihatkan dalam Gambar 4b. Metoda pemasangan dilakukan mulai dari perencanaan campuran beton yang dapat setting dalam waktu pendek, identifikasi panel yang rusak dan tandai yang harus dipotong, penyiapan pondasi dengan *Cement Treated Base (CTB)* atau *Lean Concrete*, pemboran untuk pemasangan dowel sepanjang sambungan melintang, pemasangan bond breaker dan tuangkan beton, serta terakhir pembersihan permukaan beton dan siap dilalui lalu lintas kendaraan.

#### ***Busa Poliuretan Padat (High Density Polyurethane Foam)***

Lynn Evans, Tom Pyle, Walid Tabet (2005) dalam laporannya, *Evaluation of Polyurethane Foam Supporting Existing Rigid Concrete Pavement Slabs*, menginformasikan bahwa sejak tahun 1932 Amerika menggunakan *High Density Polyurethane (HDP) foam* yang diinjeksikan ke bawah panel untuk menstabilkan segmen perkerasan beton menggunakan alat injeksi seperti ditunjukkan dalam Gambar 5. HDP dapat mengisi rongga di bawah segmen beton, antara segmen beton dengan tanah dasar atau perkerasan beraspal, dan telah dipatenkan tahun 1979. Metoda Uretek<sup>TM</sup> digunakan untuk menaikan panel, mengisi rongga bagian bawah di antara panel dengan perkerasan aspal lama atau tanah dasar. Uretek 486 secara tipikal diformulasikan bahwa dalam waktu 15 menit, diperoleh kepadatan akhir dan kuat tekan 90 %.



Gambar 5. Alat Injeksi (*Injection Gun*)

## **HIPOTESIS**

Perbaikan kerusakan perkerasan beton berupa pumping dapat dilakukan secara cepat dengan injeksi semen yang ditambah *additive* tertentu, serta panel yang rusak dapat diganti dengan beton cor di tempat atau atau penggantian dengan beton pracetak.

## **METODE PENELITIAN DAN EVALUASI**

### ***Umum***

Garis besar metode evaluasi sebelum dilakukan perbaikan meliputi, pengumpulan data primer/sekunder, survai penilaian kondisi dan pemetaan kerusakan, serta pengukuran defleksi vertikal pada perkerasan beton.

- **Penilaian Kondisi Visual dan Pemetaan (*Visual Distress and Mapping*)**

Survai secara visual termasuk identifikasi dan mengukur retak dilakukan untuk mengevaluasi kestabilan panel beton. Survai ini harus dilakukan sebelum dan sesudah beberapa waktu dilakukan perbaikan. Pemetaan kerusakan dilakukan secara rinci dengan memplotkan jenis kerusakan dan lokasi yang tepat, lengkap dengan posisinya sesuai dengan titik acuan yang ada.

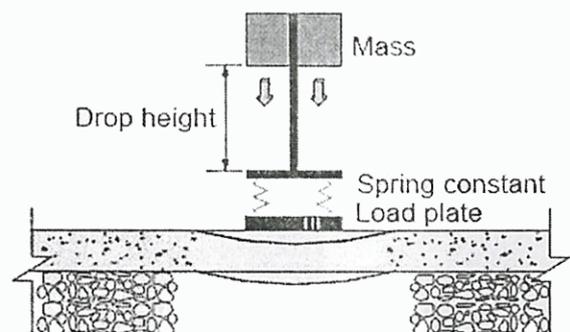
Adanya formasi retak permukaan perkerasan sebelum injeksi dapat diindikasikan hilangnya daya dukung dan atau tegangan dalam beton, atau disebabkan masalah kestabilan panel karena masalah pada saat pemasangan atau karena beban lalu lintas. Peningkatan *faulting* dalam beberapa tahun sebagai indikasi adanya erosi bahan pondasi. *Spalling dan rocking* diindikasikan karena mutu bahan atau kerataan tepi sambungan yang karena internal *post-tension* pada sambungan yang terlalu kuat atau karena beban kendaraan yang berat. Pumping diindikasikan adanya voids di bawah panel atau sambungan yang memerlukan tindakan korektif seperti *undersealing* dengan suntikan semen kental atau aspal panas.

• Uji Defleksi dengan *Falling Weight Deflectometer (FWD)*

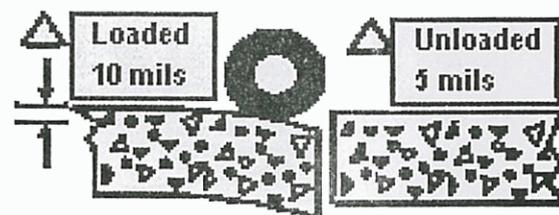
Berdasarkan hasil penilaian kondisi, titik-titik yang dirigai terdapat kerusakan seperti pumping, getaran atau lendutan yang dapat dilihat secara kasat mata pada saat kendaraan truk berat melintasi sambungan atau panel perlu dilanjutkan dengan pengujian defleksi dengan alat *Falling Weight Deflectometer (FWD)*. FWD dapat mengukur lendutan vertikal pada sambungan antara panel beton, di sudut panel dan di tengah panel. Alat tersebut mengukur lendutan perkerasan akibat beban yang dijatuhkan di atas permukaan. Dalam Gambar 6a diperlihatkan mekanisme pembebanan dan lendutan yang dapat dicatat komputer.

Bentuk lendutan maksimum perkerasan di tengah bentang panel dan tebalnya dapat digunakan untuk memperkirakan kekuatan lapisan. Tebal panel harus diukur secara tepat. Lendutan diukur di setiap tepi sambungan dan dihitung perbandingan besar defleksinya baik pada sambungan melintang atau memanjang. Lynn Evans, Tom Pyle dan Walid Tabet (2005) dari *The California Department of Transportation (Caltrans)* memberikan contoh dalam Gambar 6b. Lendutan maksimum dengan beban bervariasi pada sudut-sudut panel dan tepi dapat memperkirakan besarnya rongga di bawah perkerasan beton atau pondasi. Bila tepi panel tidak secara langsung didukung oleh

tanah dasar pada saat belum dibebani, maka lendutan maksimum dengan besar beban yang lain berbeda pada lendutan tepi lainnya. Bila ada indikasi lendutan pada sambungan lebih besar dari 0,05 mm (2 mils) maka merupakan indikasi bahwa di bawah panel terdapat rongga dan kurangnya daya dukung pondasi bawah atau tanah dasar.



Gambar 6a. Mekanisme Pengukuran Lendutan dengan FWD



**Load Transfer Efficiency:  $5/10 = 50\%$**

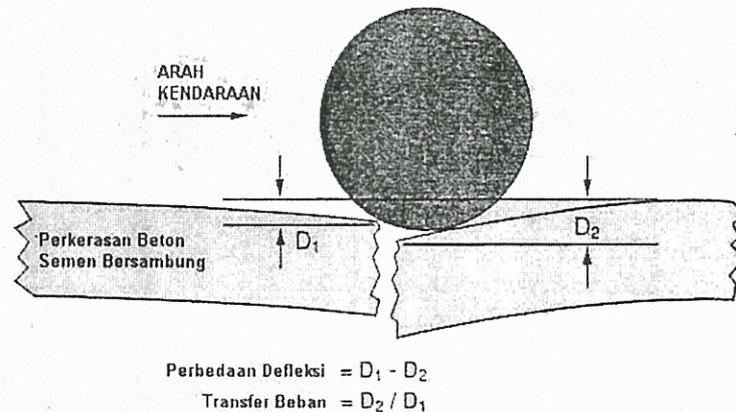
Gambar 6b. Perhitungan Transfer Beban

- **Metoda Evaluasi dan Kriteria Defleksi** (*The Asphalt Institute, MS-17*)

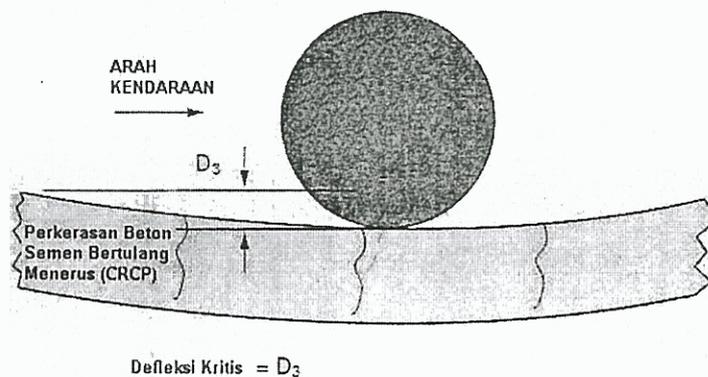
*The Asphalt Institute* (2000, 11-1) memberikan prosedur menghitung tebal pelapisan tambah campuran beraspal panas (*Hot Mix Asphalt, HMA*) di atas Perkerasan kaku. Nilai lendutan balik (*Rebound Deflection*) perkerasan jalan dibatasi sesuai dengan kriteria yang diberikan dalam Tabel 1 dan Tabel 2. Bila defleksi dalam Gambar 7a dan Gambar 7b sebelum *overlay* menunjukkan nilai lebih besar dari pada ketentuan dalam Tabel 1 dan rasio defleksi atau transfer beban  $D_2/D_1$  dalam Tabel 2 kurang dari 0,6 merupakan indikasi bahwa panel (*slab*) tidak stabil, terjadi *pumping* dan kerusakan lainnya, maka tindakan korektif

seperti *undersealing slab* harus dilakukan. AASHTO (1993) dan *The Asphalt Institute* merekomendasikan pengukuran voids di bawah panel seperti ditunjukkan dalam Gambar 7c.

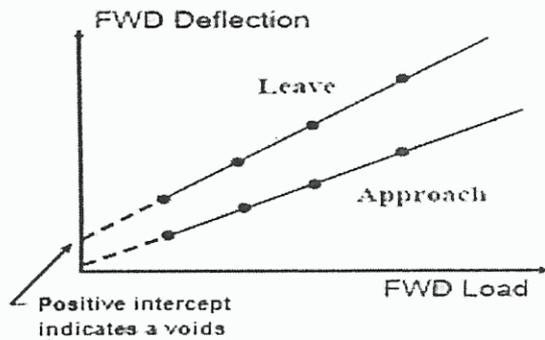
Untuk evaluasi kondisi defleksi sebelum perbaikan dilakukan survei pengukuran lendutan sesuai dengan parameter data pada Tabel 1 dan Tabel 2. Dengan data tersebut sudah cukup dapat mengidentifikasi kondisi rongga dan efisiensi transfer beban. Untuk evaluasi selanjutnya setelah dilakukan perbaikan, dilakukan kembali pengukuran lendutan menggunakan tiga variasi beban dan digunakan kriteria defleksi sesuai dengan Gambar 7c.



Gambar 7a. Perhitungan transfer beban



Gambar 7b. Defleksi pada Perkerasan Bertulang Menerus



Gambar 7c. Identifikasi Rongga di bawah Perkerasan

• **Sampling dengan Contoh Inti (Core Drill)**

Untuk mengidentifikasi tebal, sebaran grouting, kondisi grouting, dan kestabilan pondasi, dilakukan pemboran dengan alat *core drill*. Metode evaluasi ini tidak hanya menunjukkan tebal setiap lapisan tetapi juga mengidentifikasi kondisi rongga yang masih ada dan tebal bahan yang diinjeksikan.

Tabel 1. Kriteria Defleksi Maksimum (*The Asphalt Institute MS-17*)

No.	Kriteria	Defleksi Maksimum (mm)	
		B.Beam	FWD
A	Perkerasan Beton Bersambung		
a.	Perbedaan defleksi ( $D_2 - D_1$ )	0,05	0,08
b.	Nilai tengah defleksi $(D_2 + D_1)/2$	0,36	0,57
B	Perkerasan Beton Bertulang Menerus ( $D_3$ )	0,27	0,44

Tabel 2. Transfer Beban (*The Asphalt Institute MS-17*)

Rasio $D_2/D_1$	Efisiensi Transfer Beban
$> 0,75$	Baik
$0,6 - 0,75$	Cukup
$< 0,60$	Buruk

Tabel 3. Lokasi dan Hasil Uji Defleksi Rata-rata dengan Alat FWD

No Joint	Leave, mikron		App, mikron	Dm.CP mikron	Diff Defl, $D_1 - D_2$ ; Maks 0,08 mm	Mean; Maks 0,57m m	LTE.tai; $D_2/D_1$ ; Min=0,6	Defl, CP, TAI, Maks 0,44 mm	D <sub>0</sub> pada Tiga Variasi Beban		Void Det: $D_{iv} - D_{sp}$ ; Maks 50 mic	Indikasi Voids D1
	D1	D2	D1						D <sub>sp</sub> (mic)	D <sub>iv</sub> (mic)		
1	330,10	106,90	181,20	142,70	0,22	0,22	0,32	0,14	-3,3	-0,8	0	YY
2	331,30	164,60	261,50	132,70	0,17	0,25	0,50	0,13	20,5	7,9	0	YY
3	372,10	202,70	364,60	161,80	0,17	0,29	0,54	0,16	38,5	43,8	0	YY
4	199,80	180,80	404,70	273,20	0,02	0,19	0,90	0,27	1,7	103,5	102	Y

<sup>2)</sup> Indikasi voids: makin banyak "y" menunjukkan indikasi kuat terdapat void di bawah panel.

## CARA PERBAIKAN DENGAN INJEKSI SEMEN

### Kondisi Perkerasan Beton

Hasil penilaian kondisi secara visual ditandai titik-titik atau sambungan yang bergetar atau dicurigai terdapat rongga di bawah sambungan atau panel.

### Identifikasi Voids dengan alat Falling Weight Deflectometer (FWD)

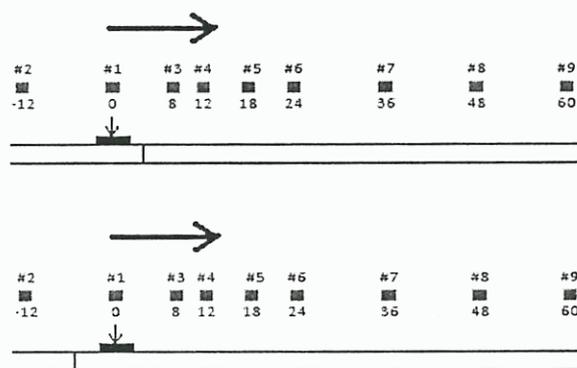
Untuk mendeteksi voids sebagai penyebab pumping, diperlukan data defleksi perkerasan jalan menggunakan alat *Falling Weight Deflectometer (FWD)*. Dalam Tabel 3 disajikan data lendutan vertikal pada tepi kedua sambungan dengan tiga variasi beban yang dipasang pada pengukuran lendutan. Beban yang diaplikasikan adalah 450 kPa, 600 kPa (Normal) dan 750 kPa.

Dalam Gambar 8a ditunjukkan posisi sensor FWD diatur jaraknya dan diawali dari titik 0 pada sensor #1. Alat FWD bergerak dari arah kiri ke kanan. Pelat beban diletakkan pada sensor #1, sedang sambungan berada di antara sensor #1 dan #3. Pada saat beban pertama dijatuhkan pada *approach edge*, maka sensor #1 akan mencatat defleksi  $D_1$  pada panel di depannya (*approach edge slab*) sedang pada sensor #3 sejauh 8 inci akan mencatat defleksi  $D_3$  pada *leave edge slab*. Pada saat beban kedua dijatuhkan pada *leave edge slab*, defleksi  $D_1$  akan dicatat sensor #1 pada *leave edge slab* sedang defleksi  $D_2$  sejauh 12 inci ke sebelah kiri akan dicatat sensor #2 pada *approach edge slab*.

Bila akan digunakan defleksi oleh approach edge slab, maka digunakan defleksi  $D_1$  dan  $D_3$ . Defleksi yang akan diukur dianggap lebih besar ada pada *leave edge slab*, sehingga defleksi yang digunakan adalah  $D_1$  dan  $D_2$  edge slab seperti ditunjukkan dalam Tabel 3.  $D_1$  approach slab digunakan untuk mendeteksi pemenuhan terhadap defleksi maksimum.

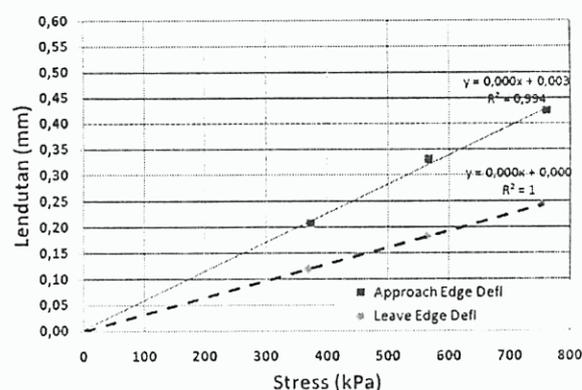
Data tersebut adalah lendutan rata-rata dan digunakan untuk menghitung perbedaan defleksi antara panel pada sambungan ( $D_2 - D_1$ ), lendutan maksimum di tengah bentang, nilai tengah lendutan, *Load Transfer Efisiensi (LTE<sub>D</sub>)* =  $D_2/D_1$ , dan rongga yang teridentifikasi di bawah panel (*Voids intercept*). *Voids intercept* dapat dilihat secara tipikal dalam Gambar 8b, 8c, 8d dan 8e.

Kondisi Joint No.1, No.2, dan No.3 dalam Tabel 3, perbedaan defleksi  $D_3-D_1$  lebih besar dari 0,08 mm dan LTE kurang dari 0,6 sehingga diperkirakan terdapat voids di bawah sambungan, walaupun nilai tengah kurang dari 0,57 mm dan berdasarkan uji defleksi dengan 3 variasi beban menunjukkan selisih defleksi lebih kecil dari 0,05 mm. Lihat Gambar 8b, 8c dan 8d. Hal ini mungkin *sleeve* dowel tidak sempurna membungkus batang dowel sehingga terjadi gerakan defleksi yang besarnya berbeda dengan panel yang berhadapan. Pemeliharaan perlu dilakukan dengan *sealant* yang cukup agar tidak terjadi penetrasi air ke dalam *sleeve* dowel. Defleksi di tengah panel kurang dari pada 0,44 mm menunjukkan tidak ada voids di bawah bentang panel.

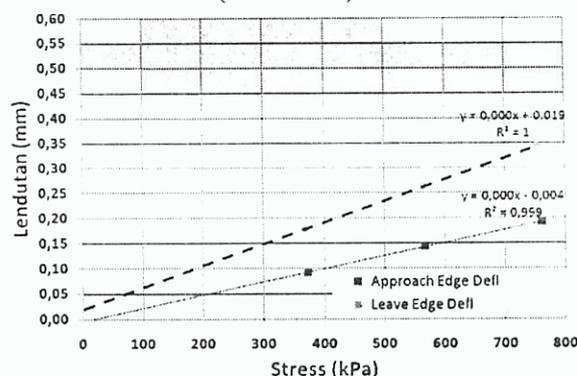


Gambar 8a. Posisi Sambungan, sensor FWD dan Pelat beban FWD (Jarak dalam satuan inci).

Kondisi LTE pada sambungan No.4 relatif tinggi sesuai dengan ketentuan dalam Tabel 2, kuat menahan transfer beban, tetapi terjadi *voids intercept* sebesar 0,102 mm lebih besar dari 0,05 mm sehingga diindikasikan terdapat rongga di bawah sambungan yang harus dilakukan *under-sealing* dengan injeksi semen. LTE tinggi artinya dowel pada sambungan bekerja bersama-sama tetapi menghasilkan defleksi yang tidak memenuhi ketentuan dalam Tabel 1.



Gambar 8b. Indikasi Tidak Ada Rongga di Bawah Joint (Joint No. 1)



Gambar 8c. Indikasi Tidak Ada Rongga di Bawah Joint (Joint No. 2)

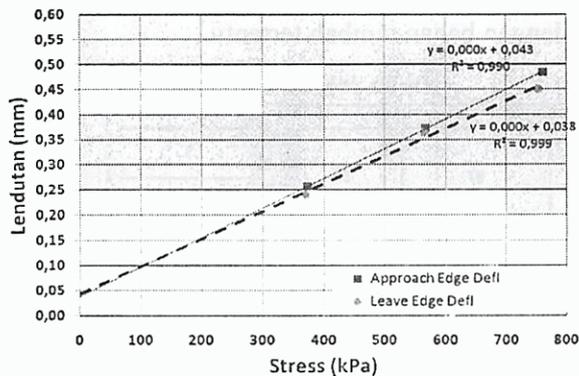
### Tahap-tahap Cara Perbaikan dengan Injeksi Semen

Cara perbaikan dengan injeksi yang dicoba adalah mengacu pada *Uretex Method*, tetapi menggunakan cairan semen kental yang diberi bahan tambah (*additive*) tertentu. Berikut ini tahap-tahap pekerjaan cara perbaikan dengan injeksi semen.

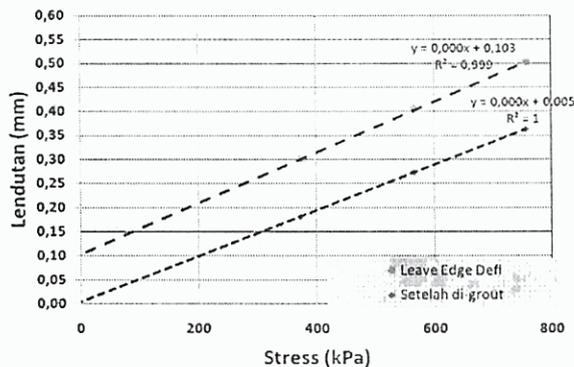
Tahap 1 : Tandai titik-titik yang akan dibor dan titik-titik bor yang digunakan sebagai kontrol.

Tahap 2 : Siapkan mesin injeksi dan bahan semen termasuk *additive* yang akan diinjeksikan.

Tahap 3 : Bahan diinjeksikan melalui lubang bor kecil untuk dapat mengisi rongga di bawah panel yang terpasang langsung di atas dasar pondasi bawah. Akibat tekanan cairan semen di bawah panel, maka rongga akan terisi cairan semen, lapisan *subbase* bertambah kuat dan stabil.



Gambar 8d. Indikasi Tidak Ada Rongga di Bawah Joint (Joint No. 3)



Gambar 8e. Tipikal rongga di bawah Joint No. 4

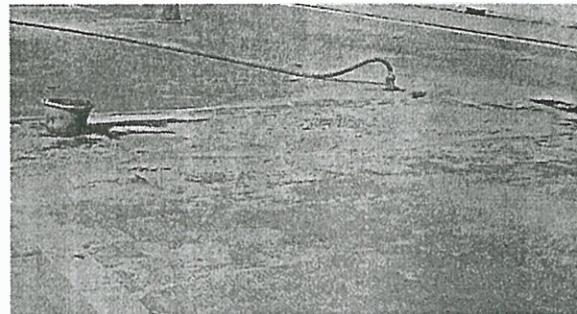
Tahap 4 : Bila titik kontrol sudah terlihat mengeluarkan cairan semen maka injeksi di *stop*.

Cara ini cocok untuk memperbaiki kerusakan amblas setempat di bawah perkerasan jalan raya, lantai bangunan dan lapangan terbang. Dalam Gambar 9a

diperlihatkan pengeboran dengan mata bor kecil dan Gambar 9b cara kerja injeksi semen dengan tekanan 5 Bar.

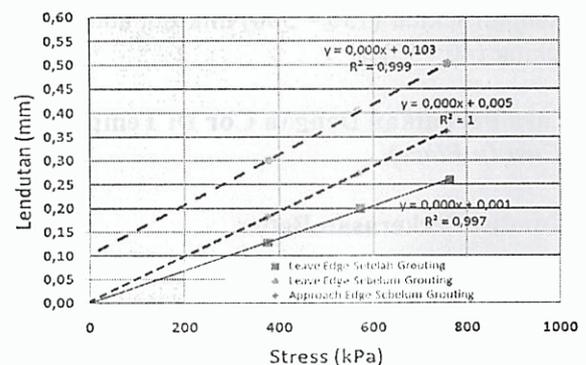


Gambar 9a. Pemboran dengan Mata Bor Kecil (diameter 20 mm)



Gambar 9b. Injeksi Cairan Semen Kental dengan Tekanan 5 Bar

Perlu diperhatikan bahwa diperlukan waktu minimum 4 sampai dengan 6 jam sebelum lokasi tersebut dilalui lalu lintas kendaraan agar cairan kental semen dapat *setting* pada akhir periode tersebut. Sambungan yang sudah diinjeksi menghasilkan defleksi yang relatif kecil seperti ditunjukkan dalam Gambar 9c dan Gambar 9d.



Gambar 9c. Kondisi defleksi setelah Grouting Joint No.4.

Cara serupa dengan metoda *Urettek* adalah dengan proses *deep injection*. Cairan semen kental diinjeksikan melalui lubang bor kecil sampai kedalaman satu meter, mengisi rongga dan menghasilkan kepadatan yang tinggi, serta dapat memadatkan dan menstabilkan tanah yang kepadatannya rendah. Bahan injeksi menggunakan bahan yang dirancang sebagai bahan yang bersifat *hydrophobic*, dipasang pada bermacam jenis kerusakan melalui lubang bor kecil. Proses ini dapat diterapkan pada jalan raya, jalan pendekat *jembatan*, serta pada panel beton yang mempunyai masalah penurunan dan kepadatan pondasi.



Gambar 9d. Joint No.4 (setelah di-grouting dan diisi *Sealant*)

Berdasarkan pengamatan setelah dilakukan grouting atau injeksi cairan semen kental, kondisi sambungan tidak bergetar dan menunjukkan defleksi yang sangat kecil. Dengan proses grouting yang memadai, penurunan defleksi dari (300 – 500) mikron menjadi sekitar (130 – 300) mikron, atau sekitar sekitar (40 - 55)%.

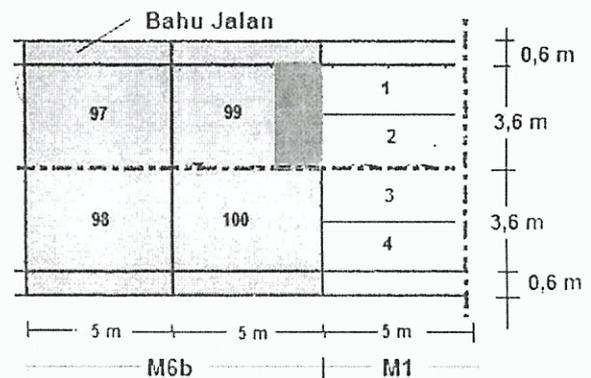
#### Cara Perbaikan Dengan Cor Di Tempat (*Cast In Place*)

##### Kondisi Perkerasan Beton

Pengambilan contoh diambil dari lokasi Uji coba skala penuh di Buntu Km. 197+000 Semarang, Provinsi Jawa Tengah pada tahun 2009 dan beberapa lokasi jalan beton di jalan pantai utara (Pantura) Jawa Barat. Data tersebut

merupakan bagian kajian lapangan untuk bahan penelitian beton pracetak di Indonesia. (Dachlan, 2009).

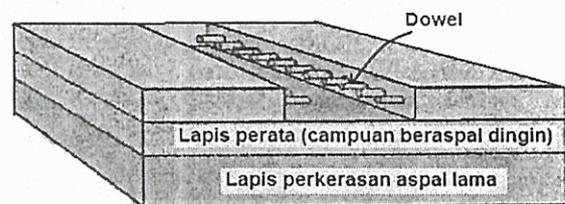
*Lay out* perkerasan beton ditunjukkan dalam Gambar 10a yaitu sebagian segmen nomor panel M6b-99. Segmen tersebut adalah beton konvensional cor di tempat dengan segmen ukuran 5 m x 3,6 m x 0,28 m. Jenis sambungan antar segmen dipasang dowel sebanyak 12 buah untuk lebar perkerasan 3,6 m. Di bagian kanan segmen tersebut seluas 2 m x 3,6 m kosong karena untuk memberi ruang pada pemasangan beton pracetak di sebelah kanan (M1). Bagian seluas 7,2 m<sup>2</sup> tersebut ditutup menggunakan beton konvensional dengan bahan tambah tertentu.



Gambar 10a. Kondisi Segmen M6b No. 99 dan Bagian yang akan Diperbaiki

#### Tahap-tahap Perbaikan Cor Di Tempat

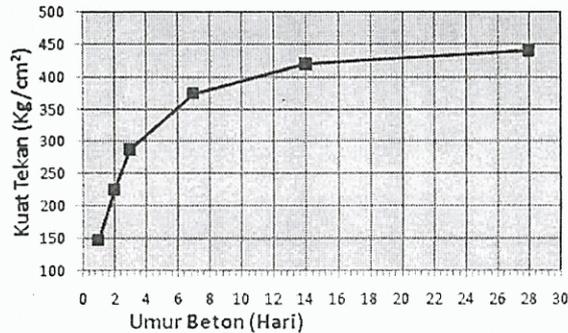
Dalam Gambar 10b diperlihatkan tipikal penyiapan lapisan perkerasan beton dan sebagian lapisan campuran beraspal dingin sebagai lapis perata. Pemasangan panel dilakukan cor di tempat menggunakan beton yang disiapkan dengan bahan tambah tertentu.



Gambar 10b. Penyiapan dasar Segmen untuk Beton Cor di tempat

Cara pemasangan terbagi dalam 6 tahap.

Tahap 1 : Perencanaan campuran beton K-400 untuk mengganti panel yang rusak. Campuran dirancang dengan campuran beton yang dapat *setting* dalam waktu pendek (*Proprietary Cement Mixes*). Dalam Gambar 10c diperlihatkan kuat tekan campuran beton M6b dalam waktu 3 hari mencapai kekuatan 290 kg/cm<sup>2</sup>.



Gambar 10c. Hasil Uji Kuat Tekan

Tahan 2 : Posisi permukaan dasar segmen yang akan dicor diidentifikasi, ditandai, diratakan dan dipotong bila diperlukan.

Tahap 3 : Penyiapan pondasi dengan lapisan campuran beraspal dingin atau dapat pula dengan *lean concrete* sebagai lapis perata dan dipadatkan menggunakan *baby roller* atau *hand tamper*. Bila kondisi bagian bawah rusak, diperlukan waktu yang cukup untuk membongkar dan mengganti lapisan perkerasan lama sebagai pondasi yang diperlukan. Di atas lapis perata dihamparkan plastik sebagai *bond-breaker* untuk mengurangi gesekan akibat gerakan lapisan di atasnya.

Tahap 4 : Pemasangan dowel setelah penyiapan pondasi selesai, di sepanjang sambungan melintang. Lubang dowel dapat dibor secara horizontal. Jumlah dowel sesuai dengan yang diperlukan, dipasang dengan jarak spasi 30 cm. Lubang dowel dibersihkan dengan kompresor udara.

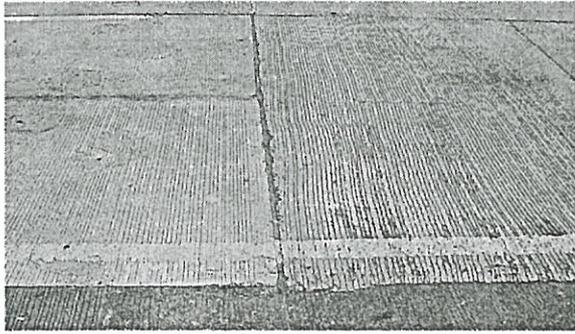
Tahap 5 : Pemasangan beton setelah dicek kesiapan *bond-breaker* dan dowel, kemudian tuangkan beton, cek temperatur dan bagian-bagian semen yang tidak tercampur. Setelah dibeton, lakukan *texturing* arah melintang. Permukaan beton disemprot dengan *curing compound* dan tutup dengan plastik untuk memperoleh *curing* yang baik.

Tahap 6 : Setelah 3 x 24 jam, permukaan beton dibersihkan, disapu dan siap dilalui lalu lintas kendaraan.

Beton konvensional yang cor di tempat (M6b) dalam Gambar 10c, dapat dikendalikan mutunya dengan memberikan bahan tambah yang sesuai, sehingga dicapai mutu beton 80% kekuatan rencana dalam waktu 3 x 24 jam, dan dapat dibuka untuk lalu lintas. Sampai umur satu tahun, kondisi jalan beton cor di tempat tersebut masih baik. Berdasarkan hasil pengukuran uji lendutan dengan FWD pada *approach edge* dan *leave edge* menghasilkan lendutan masing-masing dalam Tabel 4. Kondisi permukaan ditunjukkan dalam Gambar 10c. (Dachlan, 2009, 57). Penggunaan mortar cepat *setting* dalam waktu 4 jam relatif mahal sekitar Rp. 3,5 juta per m<sup>3</sup> atau enam kali lipat harga beton konvensional. Hal ini masih dilakukan pengembangan bahan yang lebih kompetitif.

Tabel 4. Hasil Uji Defleksi dengan Alat FWD pada perbaikan dengan Beton Pracetak

No Joint	Leave, mikron		App, mikron	Dm. CP mikron	Diff Defl, D1-D2; Maks 0,08 mm	lean; Maks 0,57mm	LTE.tai; D2/D1; Min=0,6	Defl, CP, TAI, Maks 0,44 mm	D <sub>0</sub> pada Tiga Variasi Beban		Void Det: D <sub>iv</sub> - D <sub>ap</sub> , Maks 50 mic	Indikasi Voids D1
	D1	D2	D1						D <sub>ap</sub> (mic)	D <sub>iv</sub> (mic)		
1	161,00	143,70	361,20	356,70	0,02	0,15	0,89	0,36	4,1	-4,1	0	-



Gambar 10c. Perbaikan Segmen M6b No.99 yang sudah Selesai

## Cara Perbaikan Dengan Beton Pracetak

### Kondisi perkerasan Beton

Hasil penilaian kondisi permukaan menunjukkan bagian-bagian yang retak, bergetar dan defleksi relatif tinggi sehingga perlu dibongkar dan diganti dengan segmen beton pracetak baru.

### Tahap-tahap Cara Perbaikan dengan Beton Pracetak

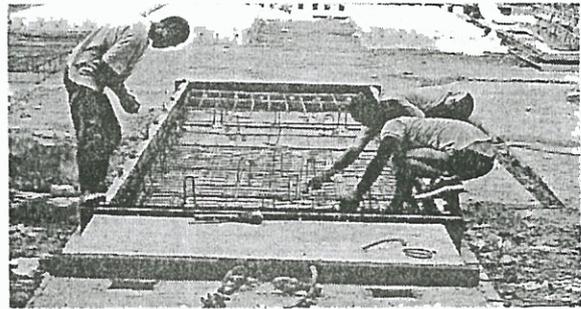
Cara perbaikan dengan beton pracetak mengacu pada metoda *Super Slab* atau *Full Depth Repair* (FDR), yaitu perbaikan dengan cara mengganti panel yang rusak dan menempatkan panel beton pracetak baru. Dalam FDR digunakan jumlah dowel yang cukup sesuai dengan rencana di sepanjang sambungan melintang sebagai transfer beban pada sambungan. Dalam Gambar 11a sampai dengan Gambar 11d ditunjukkan proses penyiapan lokasi dan dasar panel, produksi panel pracetak, pemasangan plastik, dan setelah pemasangan panel pracetak. Berikut ini tahapan proses pemasangan beton pracetak di lapangan.

Tahap 1 : Pencatatan lokasi beton yang akan dibongkar, diidentifikasi dan ditandai.

Tahap 2 : Pembuatan beton pracetak dengan dimensi yang sesuai dengan ukuran segmen yang akan dibongkar. Lihat Gambar 11a.

Tahap 3 : Pembongkaran panel yang rusak yang sudah diidentifikasi dan ditandai. Bagian tepi panel yang rusak dipotong, panel yang rusak dibuang menggunakan crane atau loader dan

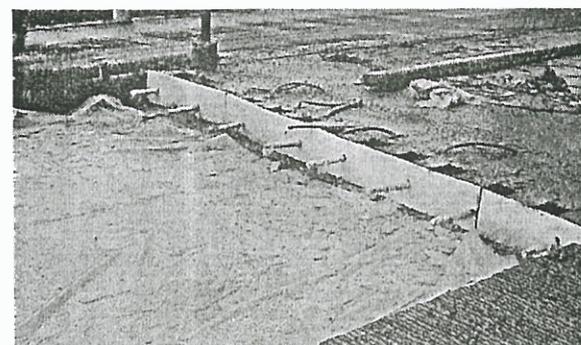
dasar segmen dibersihkan. Lihat Gambar 11b. Penyiapan pondasi dengan penggalian lapisan pondasi lama dan diganti dengan lapisan perata setebal (2,5 - 5,0) cm. Lapis perata dapat menggunakan campuran beraspal dingin, dipadatkan dan diratakan.



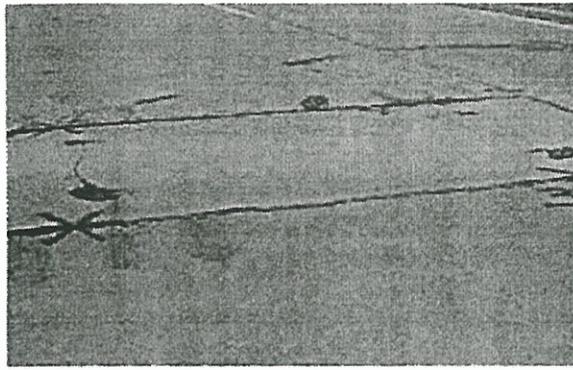
Gambar 11a. Pencetakan Panel



Gambar 11b. Penyiapan Lokasi dan Dasar Panel



Gambar 11c. Persiapan Dasar Panel



Gambar 11d. Panel Terpasang



Gambar 11e. Kondisi panel dan sambungan umur satu tahun

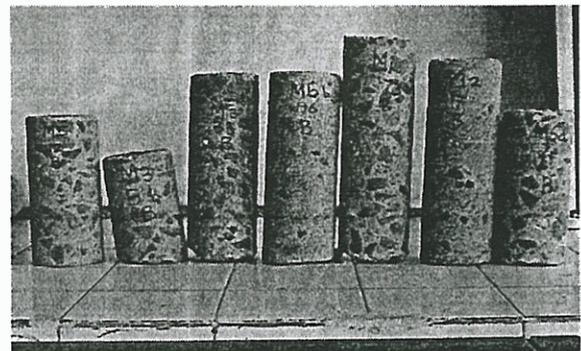
- Tahap 4 : Pemasangan slot dowel disiapkan sampai kedalaman yang diperlukan. Slot dowel yang terpotong dibersihkan dan di-sandblasted.
- Tahap 5 : Pemasangan lapis perata mencapai elevasi panel yang diperlukan.
- Tahap 6 : Penempatan panel pracetak dari atas truk *flat bed* menggunakan *crane* atau *front-end loader* dan diturunkan ke tempat lokasi panel yang sudah disiapkan. Setelah

dicapai elevasi yang benar, slot dowel dicor dengan beton tahan susut dan sambungan ditutup dengan sealant.

Berdasarkan hasil uji lendutan dengan alat FWD diperoleh defleksi seperti terlihat dalam Tabel 5. Dalam tabel tersebut menunjukkan bahwa tidak ditemukan indikasi void di bawah sambungan. Efisiensi transfer beban 0,93 lebih besar dari pada 0,6 dan lendutan maksimum 0,28 mm lebih kecil dari pada 0,57 mm. Kondisi permukaan sampai berumur satu tahun menunjukkan kondisi yang stabil. Lihat Gambar 11e.

### Hasil Bor Inti

Hasil uji dengan bor-inti menunjukkan hasil grouting yang cukup baik, ditandai dengan tidak terdapat rongga antara permukaan bawah panel dengan lapisan perata campuran beraspal dingin seperti diperlihatkan dalam Gambar 12. Dalam gambar tersebut tidak terlihat lapisan perata karena lepas pada saat dilakukan pemboran.



Gambar 12. Contoh Bor Inti

Tabel 5. Uji Defleksi dengan Alat FWD Hasil Perbaikan Beton Pracetak

No Joint	Leave, mikron		App, mikron	Dm.CP mikron	Diff Defl, D1-D2; Maks 0,08 mm	Mean; Maks 0,57mm	LTE.tai; D2/D1; Min=0,6	Defl, CP, TAI, Maks 0,44 mm	D <sub>0</sub> pada Tiga Variasi Beban		Void Det: D <sub>iv</sub> -D <sub>ap</sub> , Maks 50 mic	Indikasi Voids *)
	D1	D2	D1						D <sub>ap</sub> (mic)	D <sub>iv</sub> (mic)		
1	285,10	266,50	335,00	317	0,02	0,28	0,93	0,32	21,8	4,9	0	-

## PEMBAHASAN

### • Perbaikan dengan Injeksi Semen

Perlu diperhatikan untuk mendapat hasil yang memadai diperlukan waktu yang cukup sekitar 6 jam sebelum lokasi tersebut dilalui lalu lintas kendaraan agar grouting semen dapat mengeras dengan cukup. Sambungan yang sudah diinjeksi menghasilkan defleksi kurang dari 0,05 mm (2 mils) berdasarkan uji defleksi tiga variasi beban dan efisiensi transfer beban 0,9 lebih besar dari 0,6. Penurunan defleksi dapat terjadi secara drastis sampai sekitar 55%. Beberapa hal yang perlu diperhatikan selama grouting adalah tekanan pompa yang cukup dan menerus sekitar 4 Bar dan pipa saluran penghubung harus segera ditutup dengan mortar semen-pasir agar lubang *grouting* tertutup rapat dan rata dengan permukaan di sekitarnya.

### • Perbaikan dengan Beton Cor di Tempat

Mutu beton cor di tempat dapat dikendalikan dengan memberikan bahan tambah yang sesuai, dan dengan perawatan yang memadai dapat dicapai mutu beton 80% kekuatan rencana dalam waktu 3 x 24 jam, sehingga perkerasan dapat dibuka segera untuk lalu lintas. Sampai umur satu tahun, kondisi jalan beton cor di tempat tersebut masih baik. Berdasarkan hasil pengukuran uji lendutan dengan FWD setelah dilakukan perbaikan pada *approach edge* dan *leave edge* seluruhnya memenuhi kriteria dalam Tabel 1 dan Tabel 2.

Cara perbaikan cor di tempat menggunakan beton semen yang mampu mencapai kuat tekan 4000 psi atau 280 kg/cm<sup>2</sup> dalam waktu 4 jam sejak pembetonan masih terus dikembangkan dengan bahan yang kompetitif karena masalah harga yang relatif tinggi.

### • Perbaikan dengan panel beton pracetak

Hasil uji lendutan dengan alat FWD menunjukkan bahwa tidak ditemukan indikasi void di bawah sambungan setelah perbaikan berumur satu tahun. Efisiensi transfer beban relatif tinggi (> 0,6) dan pada kondisi 3 variasi beban kurang dari 0,05 mm (2 mils). Kondisi

permukaan sampai beumur satu tahun menunjukkan kondisi yang stabil.

Keuntungan yang diperoleh antara lain mutu beton sesuai dengan harapan dan dalam waktu 6 jam dapat segera dibuka untuk lalu lintas. Yang perlu dipertimbangkan adalah spasi sambungan harus relatif besar atau sekitar 10 mm untuk mempermudah pemasangan panel dan posisi yang harus tegak lurus selama penempatan panel. Pertimbangan lebih lanjut antara lain sulitnya proses pemotongan slot untuk dowel, terutama bila perbaikan dilaksanakan pada jalan yang relatif panjang.

Hal-hal yang perlu diperhatikan pada cara perbaikan dengan panel pracetak antara lain penyiapan lapisan dasar yang cukup rata untuk mengurangi rongga yang besar di bawah panel. Faktor lainnya adalah memerlukan persiapan yang memadai seperti ruang manuver lengan alat *Crane* untuk memindahkan, menaikkan, menurunkan panel perlu ruang bebas vertikal (ketinggian) yang cukup dan bebas dari jaringan kabel listrik, telepon dan pohon pinggir jalan, serta radius horizontal yang cukup dan pengamanan yang memadai selama manuver lengan *Crane*.

### • Contoh Bor Inti

Hasil uji dengan bor-inti dapat menunjukkan kondisi lapisan *grouting*, apakah bahan *grouting* sudah mencapai lapisan atau rongga yang terdeteksi ada di bawah panel.

Pengambilan contoh dengan bor ini adalah cara yang relatif merusak, karena itu perlu diperhatikan posisi *strand* dan baja tulangan yang ada. Untuk menghindari terpotongnya baja tulangan struktur yang ada, perlu melihat gambar pelaksanaan dan gunakan alat pendeteksi logam pada perkerasan beton.

## KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan kajian dan hasil uji-coba cara perbaikan perkerasan beton dapat diambil kesimpulan dan saran sebagai berikut:

## Kesimpulan

1. Cara perbaikan kerusakan perkerasan jalan beton semen berdasarkan beberapa literatur relatif banyak alternatif dan dapat diterapkan dengan memperhatikan penyebab kerusakan yang terjadi, persyaratan-persyaratan bahan dan peralatan, lapisan dasar (fondasi bawah), lingkungan (ruang kerja, cuaca), cara pelaksanaan, dan pengawasan yang memadai.
2. Keuntungan perbaikan dengan injeksi semen yang ditambah dengan *additive* tertentu adalah cukup baik antara lain, rongga di bawah panel atau tanah dasar dapat dikurangi atau dihilangkan, dan lapisan yang kurang padat dapat distabilkan sehingga defleksi yang terjadi relatif kecil dan tidak menyebabkan *pumping*.
3. Perbaikan dengan injeksi semen ini terbukti dapat menurunkan defleksi secara drastis sampai sekitar 55%. Hal yang harus diperhatikan selama menyuntikan cairan kental semen adalah kontinuitas *grouting*, kontrol kerataan permukaan untuk menghindari jembulan permukaan yang sulit diperbaiki, dan penutupan lubang *grouting* dengan mortar padat.
4. Perbaikan panel perkerasan beton konvensional dengan cara cor di tempat dapat dikendalikan mutunya dengan memberikan bahan tambah yang sesuai sehingga dalam waktu 3 x 24 jam mutu beton sudah mencapai 80% kuat tekan rencana dan dapat dibuka segera untuk lalu lintas.
5. Perbaikan perkerasan beton yang telah berumur lama dapat diperbaiki dengan mengganti panel yang rusak dan menempatkan panel beton pracetak baru (*Full Depth Repairs*). Dimensi segmen yang harus diperbaiki dapat disiapkan sesuai dengan dimensi yang direncanakan, mutu beton lebih terjamin, dapat distok untuk cadangan perbaikan, dapat dipasang pada cuaca bervariasi, pemasangan relatif cepat sehingga gangguan terhadap lalu lintas sekecil mungkin.
6. Cara perbaikan dengan panel pracetak memerlukan persiapan yang memadai antara lain ruang manuver lengan alat *Crane* untuk memindahkan, menaikkan, menurunkan panel perlu ruang bebas vertikal (ketinggian) dan bebas dari jaringan kabel listrik, telepon dan pohon pinggir jalan, serta radius yang cukup.

## Saran

1. Pedoman perbaikan perkerasan beton secara cepat dengan mutu terjamin di Indonesia saat ini diperlukan untuk perbaikan perkerasan jalan beton di lokasi dengan lalu lintas berat dan padat.
2. Cara perbaikan beton cor di tempat yang dapat mencapai kuat tekan sampai 280 kg/cm<sup>2</sup> dalam waktu 4 jam saat ini relatif mahal dan perlu dilakukan penelitian bahan lebih lanjut agar lebih kompetitif.

## DAFTAR PUSTAKA

- American of State Highway and Transportation Officials. 1993. *AASHTO Guide for Pavement Structures*. Washington, DC.: AASHTO
- American Concrete Institute. 1998. *Recommendation for Designing Prestressed Concrete Pavements*. ACI 325.7R-88. Farmington Hills: ACI.
- Asphalt Institute. 2000. *Asphalt Overlays for Highway and Street Rehabilitation*. MS-17. Lexington: ACI
- Dachlan, A. Tatang. 2009. *Laporan Pengkajian dan Pengawasan Uji Coba Skala Penuh Teknologi Perkerasan Beton dengan Metode Pracetak*. Laporan Akhir. Bandung: Pusjatan.
- Luh, M. Chang et al. 2004. Using Precast Concrete Panels for Pavement Construction in Indiana. Purdue

- University.  
<http://rebar.ecn.purdue.edu/>
- Lynn, Evans, Tom Pyle and Walid Tabet. 2005. *Evaluation of polyurethane Foam Supporting Existing Rigid Concrete Pavement Slabs*. Report No. Caltrans-05-XXX. California: Transportation Office of Rigid Pavement and Structural Concrete
- Neeraj, Buch. 2007. *Precast Concrete Panel Systems for Full-Depth Pavement Repairs*. Publication No. FHWA-HIF-07-019. Washington, DC: FHWA. <http://www.fhwa.dot>.
- Ontario MOT. 2006. *Precast Concrete Pavement Slab Repairs*. <http://id.search.yahoo.com/>
- Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan. 2009. *Spesifikasi Khusus Beton Pracetak*. Bandung: Pusjatan.
- Syiraz, Tayabji and Kathleen Hall. 2010. *Precast Concrete Panels for Repair and Rehabilitation of Jointed Concrete Pavements*. FHWA-IF-09-003. Washington, DC: FHWA. <http://www.fhwa.dot.gov/pavement/>