

MONITORING DAN EVALUASI PERKERASAN KAKU

Ir. Ida Rumkita Sebayang.M.Eng.Sc



**KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM
BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN
PUSAT PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN JALAN DAN JEMBATAN**

Jl.A.H Nasution No.264 P.O BOX 2 Bandung 40294 Indonesia Telp (022) 7802251 Fax (022) 7802726 email: pusjatan@pusjatan.pu.go.id

MONITORING DAN EVALUASI PERKERASAN KAKU

Penulis:

Ir. Ida Rumkita Sebayang.M.Eng.Sc

Cetakan Ke-1 Desember 2013

© Pemegang Hak Cipta Pusat Penelitian
dan Pengembangan Jalan dan Jembatan

No. ISBN : 978-602-264-053-0

Kode Kegiatan : 02-PPK3-001107-G13

Kode Publikasi : IRE-TR- 124/ST/2013

Koordinator Penelitian

Ir. Nyoman Suaryana G,M.Sc

Editor

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

Prof (R) Dr.Ir. Furqon Affandi, M.Sc

Layout dan Design

Yosi Samsul Maarif, S.Sn

Penerbit :

Kementerian Pekerjaan Umum

Badan Penelitian dan Pengembangan

Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan
dan Jembatan

Jl. A.H. Nasution No. 264 Ujungberung –
Bandung 40294

Bekerja sama dengan

Djatnika Bandung (Anggota IKAPI)

Pemesanan melalui:

Perpustakaan Puslitbang Jalan dan
Jembatan

info@pusjatan.pu.go.id



PRAKATA

Naskah Ilmiah monitoring dan evaluasi perkerasan kaku ini merupakan buku hasil kajian mengenai perkerasan beton, baik perkerasan beton yang dilaksanakan dengan cara cor di tempat, maupun dengan cara pracetak. Naskah ini terutama menyampaikan kerusakan-kerusakan yang terjadi pada perkerasan beton, khususnya kerusakan sambungan pada perkerasan beton pracetak.

Kami menyadari masih banyak hal-hal terkait kinerja perkerasan beton yang belum tertuang dalam naskah ini, namun setidaknya dapat sedikit membuka wawasan mengenai penyebab kerusakan pada perkerasan beton dan saran perbaikannya.

Naskah ini diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai kinerja perkerasan beton di Indonesia, serta pembaca dapat mengambil manfaatnya dalam merencanakan dan melaksanakan perkerasan beton kedepannya. Dan kami juga mengharapkan masukan-masukan yang membangun dari para pembaca, untuk dapat menjadi perbaikan bagi perkerasan beton di Indonesia.

Bandung, Desember 2013

Penulis,

Ida rumkita sebayang



DAFTAR ISI

Prakata	iii
Daftar Isi	v
Daftar Gambar	vi
Daftar Tabel	ix
1. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
2. KAJIAN PUSTAKA	3
2.1. Perkerasan beton pracetak	3
2.2. Tegangan-tegangan yang terjadi pada suatu sistem perkerasan kaku	8
2.3. Tipikal sambungan pada perkerasan beton pracetak	9
2.3.1. Ketentuan umum sambungan pada perkerasan beton	9
2.3.2. Lebar celah sambungan ekspansi	11
2.4. Jenis-jenis kerusakan pada perkerasan beton bersambung tanpa tulangan	13
3. MONITORING KINERJA PERKERASAN BETON PRACETAK	21
3.1 Jalan Percobaan di Buntu – Jawa tengah	21
3.1.1. Metode sambungan yang digunakan pada jalan percobaan di Buntu	22
3.1.2. Perkembangan kerusakan sambungan pada perkerasan jalan percobaan	24
3.1.3. Perkembangan Retak melintang	25
3.1.4. Perkembangan Retak Memanjang	26
3.2 Jalan Tol Kanci - Pejagan	31
3.3 Jalan Pantura, ruas Ciasem – Pamanukan	38

4. PEMBAHASAN HASIL MONITORING DAN EVALUASI	45
4.1 Jalan percobaan Buntu – Jawa Tengah	45
4.2 Jalan Tol Kanci-Pejagan	47
4.3 Jalur Pantura – ruas Ciasem	48
4.4 Kinerja PPCP di luar Negeri	49
4.5 Saran-saran untuk pelaksanaan perkerasan beton pracetak prategang	51
5. MONITORING PERKERASAN BETON BERSAMBUNG TANPA TULANGAN (COR DI TEMPAT)	53
6. PENUTUP	65
6.1 Kesimpulan	65
6.2 Saran	66
DAFTAR PUSTAKA	67

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1	Perkerasan beton pracetak (tanpa prategang)	3
Gambar 2	Skema 3 jenis sistem PPCP	4
Gambar 3	<i>Tipikal base panel</i>	5
Gambar 4	<i>Tipikal Joint panel</i>	5
Gambar 5	<i>Tipikal central panel</i>	6
Gambar 6	Sistem pracetak prategang dengan central stressing	6
Gambar 7	Konsep tegangan pada central panel	
Gambar 8	Sistem sambungan pada perkerasan beton cor di tempat	10
Gambar 9	Sistem sambungan pada perkerasan pracetak (tanpa tegangan)	10
Gambar 10	<i>Joint panel</i> dalam proses pembuatan dan sketsa joint panel	11

Gambar 11	Detail sambungan ekspansi di McLennan County	11
Gambar 12	Perubahan celah sambungan berdasarkan waktu	12
Gambar 13	Perubahan lebar celah sambungan akibat perubahan musim, creep dan penyusutan beton	12
Gambar 14	Faulting pada sambungan melintang	13
Gambar 15	Tipikal retak akibat susut (<i>plastic shrinkage cracking</i>) (Price 1982)	15
Gambar 16	Ilustrasi terjadinya bottom up cracking pada siang hari	16
Gambar 17	Ilustrasi terjadinya top down cracking pada malam hari	17
Gambar 18	Retak melintang	18
Gambar 19	Retak memanjang dekat ke tengah	18
Gambar 20	Retak memanjang dekat ke tepi	19
Gambar 21	Retak sudut	19
Gambar 22	Denah Uji Coba Skala Penuh Beton Pracetak dan Cor Di Tempat Di Buntu-Jawa Tengah	21
Gambar 23	Detail sambungan tipe balok	23
Gambar 24	Metode sambungan pada perkerasan beton pracetak tanpa prategang	23
Gambar 25a	Perkerasan Beton Pracetak-Prategang (M4 dan M5) Umur 1 Bulan	24
Gambar 25b	Perkerasan Beton Pracetak-Prategang (M4 dan M5) Umur 5 Bulan	24
Gambar 25c	Perkerasan Beton Pracetak-Prategang (M4 dan M5) Umur 10 Bulan	25
Gambar 26	Perkembangan Retak Melintang (Maret 2010 s/d September 2012)	25
Gambar 27	Perkembangan Retak Memanjang (Maret 2010 s/d September 2012)	26
Gambar 28a	Kerusakan pada sambungan M5	27
Gambar 28b	Kerusakan sambungan pada M5	27
Gambar 29a	Kerusakan sambungan pada perkerasan M4	28
Gambar 29b	Kerusakan sambungan pada perkerasan M4	29
Gambar 30a	Kerusakan sambungan pada perkerasan M3	29
Gambar 30b	Kerusakan sambungan pada perkerasan M3	30
Gambar 31a	Kerusakan sambungan pada perkerasan M1 dowel 1 slot	30
Gambar 31b	Kerusakan sambungan pada perkerasan M1 dengan dowel 2 slot	31
Gambar 32	Detail Joint Panel Pada Ppcp Kanci-Pejagan	31
Gambar 33	Pola Prestress	32
Gambar 34	Tipikal retak pada Joint panel	32

Gambar 35	Tipikal retak pada Joint panel	33
Gambar 36	Tipikal retak pada Joint panel	33
Gambar 37	Skema penyebab kerusakan pada joint panel	34
Gambar 38	Skema Perbaikan Joint panel	34
Gambar 39	Detail Perbaikan Joint Panel dengan inverted T	35
Gambar 40	Base panel 35	
Gambar 41a	Joint panel yang telah diperbaiki dengan Inverted T	36
Gambar 41b	Detail kerusakan pada tepi joint panel	36
Gambar 41c	Detail kerusakan pada tepi joint panel	37
Gambar 42	Panel pracetak prategang yang telah dibongkar	37
Gambar 43	Tipikal perbaikan yang telah dilakukan	38
Gambar 44	Detail Joint Panel Pada Ppcp Ruas Ciasem-Pamanukan	38
Gambar 45	Pola Prestress	39
Gambar 46	Detail stressing pocket	39
Gambar 47a	Tipikal Pencatatan Kondisi Permukaan dan <i>Joint Panel</i> Beton Pracetak Nomor JP-10, (setelah 6 bulan dibuka untuk lalu lintas)	40
Gambar 47b	Tipikal Pencatatan Kondisi Permukaan dan <i>Joint Panel</i> Beton Pracetak Nomor JP-10, (setelah umur perkerasan 24 bulan)	40
Gambar 48	Lebar bukaan sambungan muai	41
Gambar 49	Faulting pada sambungan muai	41
Gambar 50	Sambungan muai	42
Gambar 51	Genangan air di dalam sambungan	42
Gambar 52	Kondisi pada tepi perkerasan	43
Gambar 53	Pemasangan panel pracetak di Buntu	46
Gambar 54a	Pemasangan panel beton secara memanjang	46
Gambar 54b	Pemasangan panel beton secara melintang	46
Gambar 55	Kondisi umum perkerasan beton pracetak	48
Gambar 56	Hasil analisa rongga di bawah sambungan (Dahlan A.T,2010)	49
Gambar 57a	Kerusakan slot dowel pada sambungan pracetak	50
Gambar 57b	Kerusakan pada slot dowel	50
Gambar 58	Kondisi bahan penutup sambungan muai	50
Gambar 59a	Pemasangan beton pracetak dengan detail sambungan slot terbuka kebawah	51
Gambar 59b	Tampak bawah detail sambungan dengan slot terbuka ke bawah	52
Gambar 60	Tipikal kondisi celah retak melintang pada jalan beton cikutra	54

Gambar 61	Retak melintang dekat ke tepi sambungan	55
Gambar 62	Penampang melintang perkerasan	56
Gambar 63	Posisi retak memanjang ditengah pelat beton	56
Gambar 64	Celah retak memanjang	57
Gambar 65	Celah retakan yang telah diperlebar dan diberi bahan pengisi	57
Gambar 66	Retak memanjang yang telah selesai diperbaiki	58
Gambar 67	Kondisi retak setelah diperbaiki	58
Gambar 68	Retak memanjang baru sepanjang 6 – 8 panel	59

DAFTAR TABEL

Tabel 1	Variasi Perkerasan Beton pada Jalan Percobaan di Buntu	22
Tabel 2	Rangkuman Kondisi Permukaan Jalan Tol Kanci-Pejagan	33
Tabel 3	Analisis Jarak Celah Sambungan Ekspansi Celah Sambungan (Dahlan,A.T,2010)	44
Tabel 4	Hasil simulasi tegangan pada perkerasan beton akibat beban kendaraan	61





1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Perkerasan kaku di Indonesia telah diaplikasikan sejak tahun 1985 dan dalam beberapa tahun terakhir ini telah berkembang dengan sangat cepat. Pemilihan perkerasan kaku sebagai perkerasan jalan umumnya dikarenakan lebih tahan terhadap beban berat serta dapat dirancang untuk dapat melayani beban lalu lintas sampai 25 tahun atau lebih. Jalan beton di Indonesia telah dilaksanakan pada jalan-jalan nasional, jalan propinsi, jalan tol, jalan kabupaten bahkan jalan-jalan perumahan. Perkerasan jalan beton semen di Indonesia pada umumnya dilaksanakan dengan cara cor di tempat (*cast in place, CIP*).

Percepatan penambahan lalu lintas dalam beberapa tahun ini, menyebabkan pelaksanaan perkerasan kaku dengan cara cor di tempat menimbulkan gangguan kemacetan yang luar biasa dalam waktu yang cukup lama. Salah satu cara yang dianggap dapat mengatasi permasalahan tersebut adalah penggunaan perkerasan beton dengan metode pracetak dalam membangun perkerasan jalan.

Pada tahun 2006 untuk pertama kali dibangun perkerasan jalan beton semen dengan bentuk panel-panel yang sudah jadi (pracetak) di Indonesia, yaitu di Jalan Cakung - Cilincing, Jakarta, sepanjang sekitar 1000 meter untuk setiap arah lalu lintas. Rancangan panel beton semen pracetak tersebut diberi tegangan pratarik dan pascatarik. Selanjutnya pada tahun 2009 metode pracetak yang diberi prategang juga dibangun pada jalan tol Kanci – Pejangan dan pada tahun yang sama Pusat Litbang Jalan juga membangun jalan percobaan dengan metode pracetak, pracetak prategang dan cor di tempat yang diberi prategang sepanjang 1100 meter di Buntu - Jawa tengah. Selain itu pada tahun 2010 dibangun pula jalan pracetak prategang di Ciasem Pantura – Jawa Barat.

Pengamatan terhadap perkerasan beton pracetak yang telah disebutkan di atas telah dilakukan sejak tahun 2009. Dari laporan hasil monitoring sebelumnya menunjukkan bahwa kinerja sambungan perkerasan beton pracetak tidak memadai, oleh karena itu kegiatan monitoring ini dilakukan untuk mengevaluasi penyebab utama kerusakan pada sambungan perkerasan pracetak pada jalan percobaan. Di samping itu dilakukan pula monitoring pada perkerasan beton bersambung tanpa tulangan, untuk mengetahui penyebab kerusakan-kerusakan yang umum terjadi.



2. Kajian Pustaka

2.1 Perkerasan Beton Pracetak

Perkerasan beton dengan metode pracetak terdiri dari 2 tipe yaitu :

1. Perkerasan beton pracetak dengan sambungan (Jointed precast concrete pavement, JPCP)
2. Perkerasan beton pracetak prategang (Precast prestressed concrete pavement - PPCP)

Yang dimaksud dengan perkerasan beton pracetak (precast) adalah struktur yang terdiri atas pelat beton semen yang dibuat menggunakan cetakan berukuran tertentu di tempat atau di unit produksi beton. Setelah beton yang dicetak mencapai kekuatan tertentu, kemudian diangkut atau dipindahkan ketempat penyimpanan dan dipasang di atas tanah dasar atau pondasi bawah yang rata.

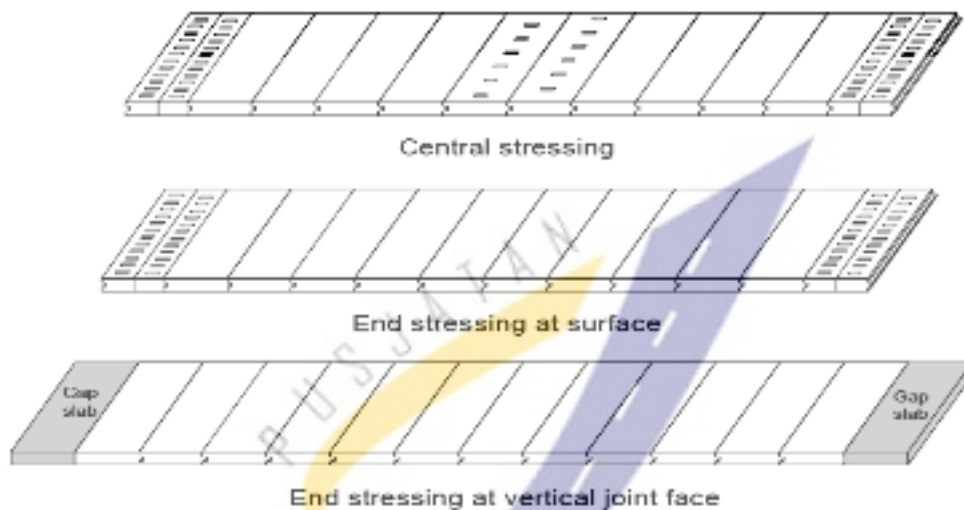


Gambar 1 - Perkerasan beton pracetak (tanpa prategang)

Perkerasan Beton Pracetak-Prategang adalah beton pracetak yang diberi tegangan sebelum mengalami pembebanan lalu lintas. Tegangan ini umumnya berupa pra-tarik yang diberikan sebelum campuran beton dicor pada arah memanjang masing-masing panel beton, kemudian setelah di pasang di lapangan diberi tegangan pascatarik yang sekaligus berfungsi untuk menyatukan panel-panel beton menjadi perkerasan menerus.

Konsep perkerasan beton pracetak prategang adalah menggabungkan prategang pada arah melintang dan memanjang dalam bentuk pratarik dan / atau pascatarik. Fungsi prategang adalah menginduksi tegangan tekan pada pelat beton, sehingga membantu mengurangi atau bahkan menghilangkan terjadinya retak, dan memungkinkan penggunaan panel beton yang lebih panjang serta tebal perkerasan yang lebih tipis. Sedangkan pemberian tegangan pascatarik selain menyediakan pratekan permanen yang diperlukan, juga berfungsi sebagai alat transfer beban antar panel beton, Merritt.D.K, Rogers R.B, Rasmussen R.O (2008).

Sistem PPCP yang telah dikembangkan sampai saat ini ada 3 (tiga) jenis, seperti ditunjukkan pada skema pada gambar 2:



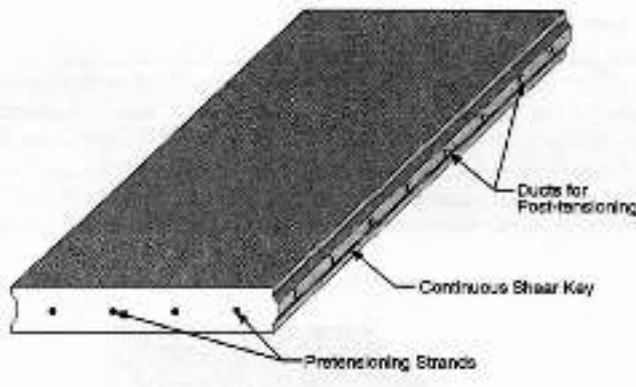
Gambar 2 - Skema 3 jenis sistem PPCP

Pada sistem pracetak prategang umumnya terdiri dari 3 jenis panel beton, yaitu : Base panel, central panel dan joint panel.

Base panel

Base panel merupakan panel pengisi antara joint panel dengan central panel, dimana jumlah base panel bergantung pada panjang panel beton pracetak prategang yang diperlukan. Gambar 3 menunjukkan tipikal base panel pada perkerasan beton pracetak prategang.

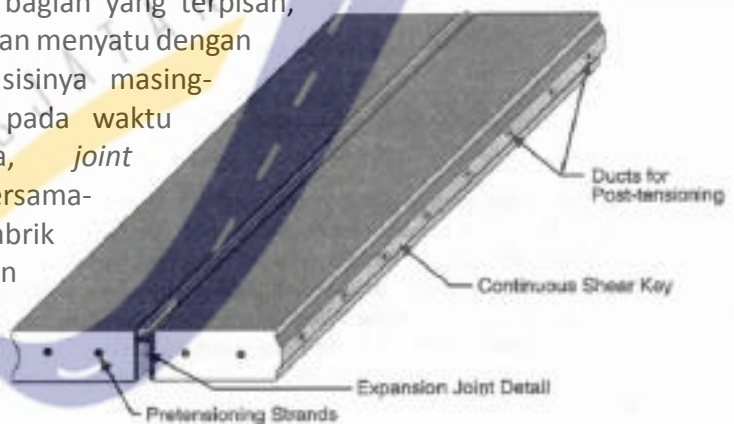
Pada gambar terlihat base panel telah dilengkapi dengan lubang saluran untuk kabel pascatarik, dan sepanjang tepi memanjangnya dibentuk shear key untuk memastikan kerapatannya pada waktu panel-panel dirangkai.



Gambar 3 - Tipikal base panel

Joint panel

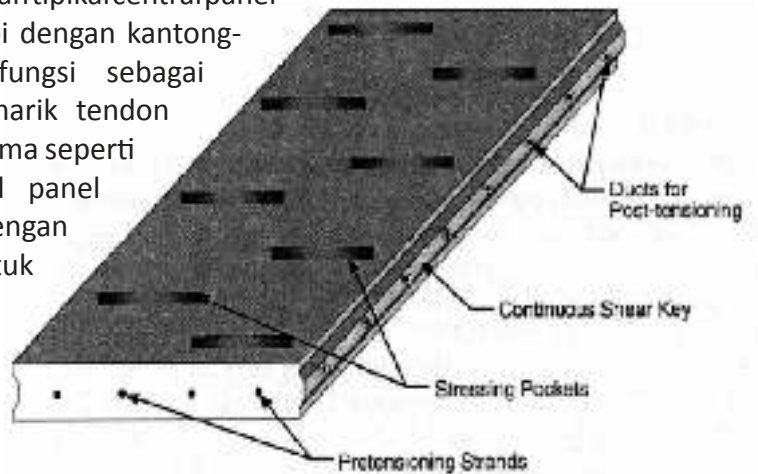
Joint panel berfungsi sebagai sambungan untuk mengakomodir terjadinya kontraksi dan ekspansi panel-panel beton yang ada dalam rangkaian. Seperti terlihat pada gambar 4, *joint panel* juga dilengkapi dengan saluran kabel pascatarik dan shear key sepanjang sisi memanjangnya. *Joint panel* merupakan dua bagian yang terpisah, dimana tiap bagian menyatu dengan panel-panel di sisinya masing-masing. Hanya pada waktu pembentukannya, *joint panel* dicetak bersama-sama di pabrik untuk menjamin ketepatannya.



Gambar 4 - Tipikal Joint panel

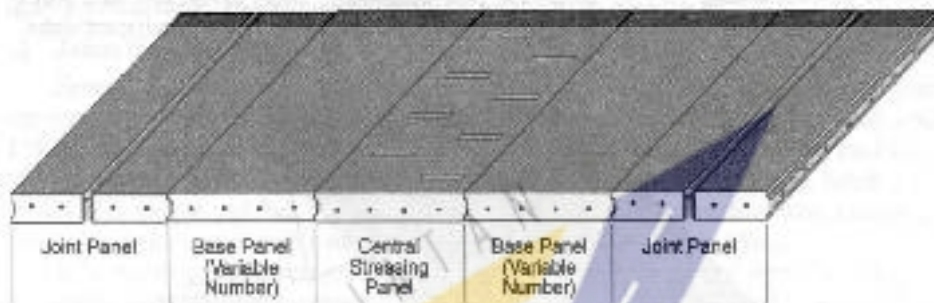
Central panel

Gambar 5 menunjukkan tipikal central panel yang telah dilengkapi dengan kantong-kantong yang berfungsi sebagai tempat untuk menarik tendon (kabel) pascatarik. Sama seperti base panel, central panel juga dilengkapi dengan lubang saluran untuk kabel pascatarik dan shear key sepanjang tepinya.



Gambar 5 - Tipikal central panel

Salah satu sistem pracetak prategang yang paling sering digunakan adalah sistem dengan central stressing, seperti ditunjukkan pada gambar 6 di bawah ini. Pada gambar 7 ditunjukkan konsep tegangan yang terjadi pada central panel.



Gambar 6 - Sistem pracetak prategang dengan central stressing



Gambar 7 - Konsep tegangan pada central panel

Perbedaan utama dari perkerasan beton cor di tempat dengan perkerasan beton pracetak, terutama adalah pada metode pelaksanaannya. Sedangkan setelah perkerasan beton pracetak dipasang pada tempatnya, maka sistem perkerasan tersebut akan mempunyai karakteristik seperti perkerasan beton dengan cara cor di tempat.

Adapun beberapa kelebihan perkerasan beton pracetak dibandingkan perkerasan kaku cor di tempat adalah:

- Kualitas beton lebih terjamin; karena proses pencetakan dilakukan di pabrik dengan pengawasan yang ketat terhadap rancangan campuran dan curing.
- Alat transfer beban dapat dipasang lebih tepat dan sesuai ketentuan.
- Pelaksanaan lebih cepat, sehingga dapat dibuka untuk lalu lintas segera setelah dihampar
- Bagian bawah panel lebih rata, sehingga mengurangi gesekan dengan permukaan lapis pondasi
- Jarak sambungan lebih panjang (untuk pracetak prategang)
- Tebal perkerasan lebih tipis (untuk pracetak prategang)

Metode perhitungan tebal beton pracetak (tanpa prategang) adalah sama dengan perhitungan tebal beton secara konvensional atau beton cor di tempat. Sedangkan beton pracetak prategang akan menghasilkan perhitungan tebal yang lebih tipis dibandingkan dengan beton pracetak tanpa prategang atau beton cor di tempat. Sedangkan perkerasan beton pracetak dengan prategang, tebal beton pracetak dapat menjadi lebih tipis 50% daripada perkerasan beton konvensional (*American Concrete Institute, ACI 325.7R-88*).

Menurut Merrit et al (2008) meskipun tebal perkerasan beton pracetak prategang lebih tipis dari perkerasan beton konvensional, tetapi tebal perkerasan beton harus mencukupi sebagai penutup tulangan (selimut beton) dan perangkat-perangkat lainnya (seperti angker) yang terdapat di dalam panel pracetak.

2.2 Tegangan-tegangan yang terjadi pada suatu sistem perkerasan kaku

Tegangan yang terjadi pada panel perkerasan kaku yang disebabkan oleh beban lalu lintas, tergantung pada posisi beban lalu lintas tersebut. Contohnya jika beban tersebut terletak pada bagian dalam atau bagian tengah bentang panel, jauh dari sisi sudut manapun, maka besarnya tingkat tegangan yang ditimbulkan rendah.

Rumus-rumus tegangan yang ditampilkan di bawah ini pertama kali di rumuskan oleh Westergaard, dan selanjutnya diadaptasi oleh Ioannides et al.:

Tegangan interior :

$$\sigma_i = \frac{0.316P}{D^2} \left[4 \log \left(\frac{\ell}{b} \right) + 1.069 \right] \dots\dots\dots(1)$$

Tegangan sudut:

$$\sigma_c = \frac{3P}{D^2} \left[1 - \left(\frac{c}{\ell} \right)^{0.72} \right] = \frac{3P}{D^2} \left[1 - \left(\frac{1.772a}{\ell} \right)^{0.72} \right] \dots\dots\dots(2)$$

Tegangan tepi :

$$\sigma_e = \frac{0.803P}{D^2} \left[4 \log \left(\frac{\ell}{a} \right) + 0.666 \left(\frac{\ell}{a} \right) - 0.034 \right] \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan :

- D = tebal perkerasan
- l = radius relative stiffness
- c = panjang sisi persegi kontak area
- a = jari-jari lingkaran kontak area
- b = a, jika $a \geq 1,724 D$; atau $b = (1,6 a^2 + D^2)^{1/2} - 0,675 D$

Menurut Mark B. Snyder (2008), dalam menggunakan rumus-rumus Westergaard di atas harus dipahami asumsi-asumsi yang digunakan, yaitu;

- berlaku untuk pelat beton tunggal lapis pondasi seragam
- lapis bawah hanya satu lapis
- beban tunggal

- panjang pelat beton yang terbatas
- semi *infinite foundation*, sehingga dalam penerapannya pada perkerasan beton seharusnya ada penyesuaian ataupun koreksi.

2.3 Tipikal sambungan pada perkerasan beton pracetak

Menurut Chang, L. M., Y. Chen, and S. Lee (2004), sambungan melintang pada suatu sistem perkerasan beton pracetak harus memenuhi ketentuan-ketentuan sbb:

- Mampu mengakomodir pergerakan ujung panel beton,
- Mampu mentransfer beban antar panel beton
- Mampu menahan beban lalu lintas dan tegangan tanpa defleksi yang berarti
- Celah sambungan harus ditutup dengan bahan penutup yang sesuai untuk mencegah masuknya air atau kotoran.
- Mempunyai detail yang kompatibel dengan metode prategang yang digunakan (khusus untuk beton pracetak prategang).

Pada perkerasan beton pracetak(tanpa tegangan) pada sambungan harus diberi dowel sebagai alat transfer beban antar panel beton, dikarenakan pada antar muka vertikal sambungan tidak ada interlocking agregat. Sedangkan pada perkerasan beton pracetak prategang, sambungan yang aktif terdapat pada joint panel.

2.3.1 Ketentuan umum sambungan pada perkerasan beton

1. Sambungan pada perkerasan beton dengan cara cor di tempat:

- Pada sambungan diberi **dowel** sebagai alat transfer beban antar pelat beton, yang terbuat dari besi polos dengan ukuran dan panjang tertentu. Dowel ditempatkan pada dudukannya, dengan satu sisi diberi bahan untuk mencegah perlekatan dengan beton.
- Setelah dicor dan kondisi beton cukup keras,sambungan kemudian digergaji dengan kedalaman $\frac{1}{4}$ - $\frac{1}{3}$ tebal panel beton.
- Kemudian celah sambungan diberi bahan penutup yang sesuai untuk mencegah masuknya benda-benda padat yang dapat mengganggu kinerja sambungan pada waktu proses membuka dan menutup. Bahan penutup juga berguna untuk mencegah infiltrasi air ke dalam sambungan.



Gambar 8 - Sistem sambungan pada perkerasan beton cor di tempat

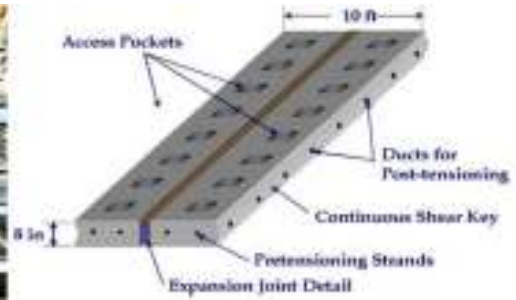
2. Sambungan pada perkerasan pracetak (tanpa prategang) :

Pada satu sisi panel beton setengah bagian panjang dowel ditanam dan dicor di pabrik. Sedangkan panel lain yang direncanakan akan di tempatkan di sebelahnya, pada waktu dicetak di pabrik telah disiapkan slot untuk dudukan bagian dowel setengah bagian lagi. Setelah panel-panel beton pracetak dipasang di lapangan dan dihubungkan, kemudian *slot dowel* dicor dengan campuran beton.

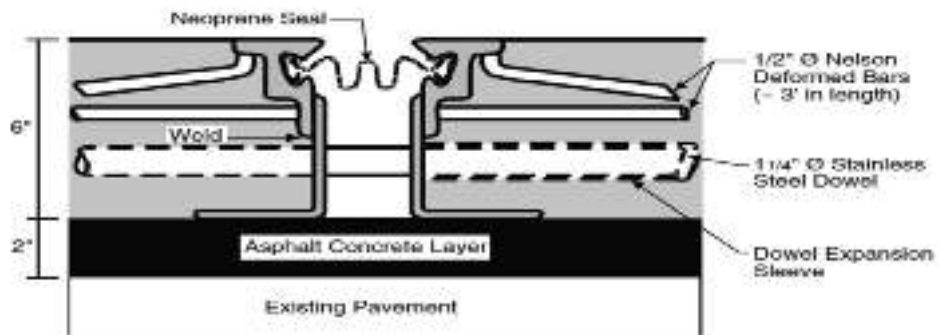


Gambar 9 - Sistem sambungan pada perkerasan pracetak (tanpa tegangan)

3. *Tipikal joint panel* pada perkerasan kaku dengan metode pracetak prategang :



Gambar 10 - *Joint panel* dalam proses pembuatan dan sketsa *joint panel*



Gambar 11 - Detail sambungan ekspansi di McLennan County

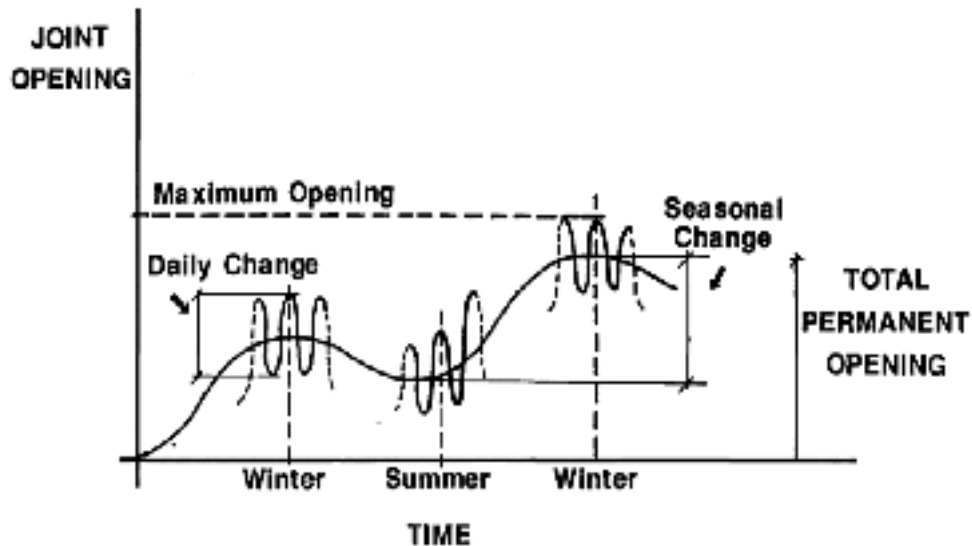
2.3.2 Lebar celah sambungan ekspansi

Salah satu faktor yang penting dari perkerasan beton pracetak prategang adalah besarnya celah sambungan. Besarnya celah sambungan dipengaruhi oleh 6 faktor (khususnya untuk negara dengan 4 musim) yaitu :

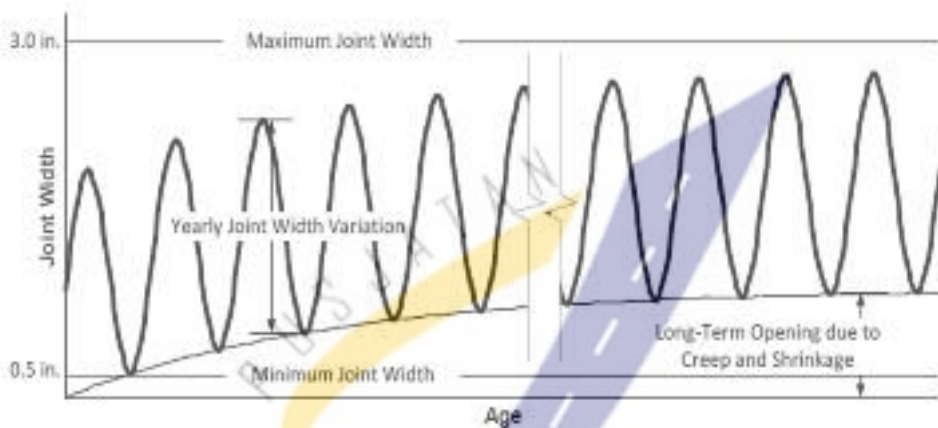
- penyusutan beton
- faktor *creep* beton
- *elastic shortening of concrete*
- lamanya perubahan musim
- perubahan temperatur harian selama musim dingin
- perubahan temperatur harian selama musim panas

Faktor-faktor tersebut dapat menyebabkan sambungan mengalami perubahan lebar celah secara permanen seperti ditunjukkan gambar 10 dan gambar 11. Gambaran lebih detail terlihat pada gambar 11, dimana lebar

celah sambungan dapat berubah dari 0,5 in menjadi 3 in setelah beberapa tahun, dengan kata lain celah sambungan dapat bertambah lebar menjadi 6 kali dari lebar bukaan awalnya.



Gambar 12 -Perubahan celah sambungan berdasarkan waktu



Gambar 13 - Perubahan lebar celah sambungan akibat perubahan musim, creep dan penyusutan beton

2.4 Jenis-jenis kerusakan pada perkerasan beton bersambung tanpa tulangan

Beberapa jenis kerusakan yang umum terjadi pada perkerasan beton, antara lain:

- *Faulting*
- *Crack*
- Kerusakan pada bahan penutup sambungan

a. *Faulting*

Faulting adalah perbedaan tinggi pada sambungan ataupun retak seperti ditunjukkan pada Gambar 14. Pada suatu perkerasan beton, perbedaan tinggi dinyatakan sebagai kerusakan berupa *faulting*, jika lebih dari 2,5 mm. Terjadinya *faulting* pada umumnya disebabkan oleh peristiwa *pumping*, yaitu terpompanya material halus ke permukaan dari bawah sambungan ataupun retak sehingga menyebabkan terbentuknya rongga di bawah sambungan atau retak. Terjadinya peristiwa ini sangat dipengaruhi oleh adanya lalu lintas berat dengan kecepatan tinggi, tidak memadainya alat transfer beban yang digunakan, jenis lapis pondasi serta drainase yang digunakan.

Faulting menyebabkan ketidakrataan pada perkerasan, sehingga mengganggu kenyamanan pengendara.



Gambar 14 - *Faulting* pada sambungan melintang

b. Kerusakan bahan penutup sambungan

Kerusakan pada bahan penutup sambungan dapat terjadi dalam beberapa bentuk, yaitu :

- **Extrusion:** Dimana bahan penutup sambungan terdorong atau terlepas dari sambungan akibat pergerakan panel beton atau gesekan roda kendaraan.
- **Infiltration:** Masuknya material yang keras didalam bahan penutup atau antara bahan penutup dengan ruang di bawahnya.
- **Oxidation:** Proses mengerasnya bahan penutup akibat gesekan dan akibat radiasi sinar matahari
- **Adhesivefailure:** Hilangnya ikatan antara bahan penutup dengan permukaan dinding ruang sambungan
- **Cohesive failure:** Terpisahnya bahan penutup akibat regangan tarik yang berlebihan akibat penggunaan bahan penutup yang tidak sesuai, pemasangan yang salah ataupun karena bahan penutup yang mengalami penuaan.

c. Crack (retak)

Salah satu permasalahan yang paling serius dan paling sering ditemukan pada perkerasan kaku adalah terjadinya retak dan mekanisme penyebarannya (Hossain et al.,2003). Kerusakan perkerasan berupa retak (*fatigue cracking*) didefinisikan sebagai kerusakan yang terjadi akibat pengulangan beban lalu lintas yang menimbulkan tegangan yang nilainya lebih rendah dari kuat tarik lentur perkerasan beton.

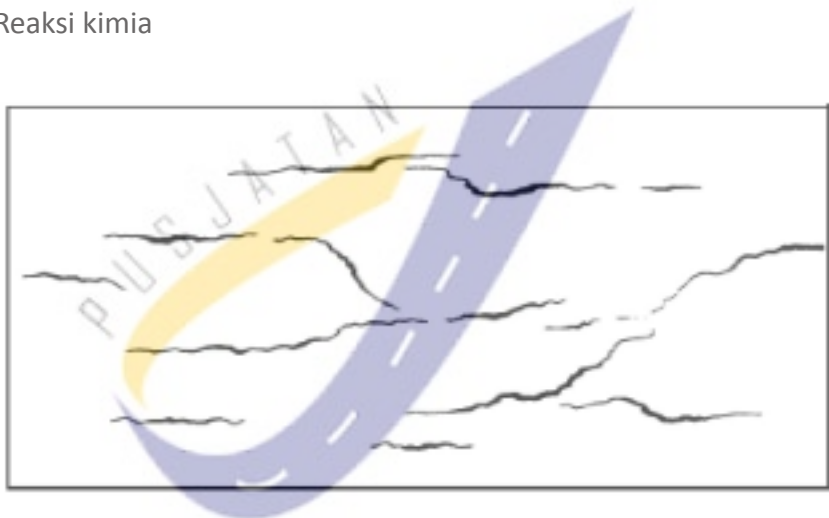
- Beberapa pendapat tentang awal terjadinya retak dan perambatannya, antara lain menurut Murdock & Kessler (1960); kerusakan (*fatig*) dimulai dari rusaknya ikatan antar *aagregat* kasar dan *mortar*. Sedangkan pendapat lain adalah bahwa terjadinya kerusakan (*fatig*) pada beton diawali oleh adanya retakan-retakan halus (*microcraks*) yang terbentuk pada pasta semen selama periode pengerasan beton dan menyebabkan perlemahan pada lokasi tersebut, dan pada titik tertentu mengalami rusak/*fatig* setelah menerima beban pada besaran tertentu (Antrim,1967; Payman Ameen dan Mikael Szymansky,2006). Sedangkan Holmen (1979) menyimpulkan bahwa sistem retakan yang lebih luas terjadi pada kasus pembebanan statis.

- Penyebab utama terjadinya retak pada perkerasan dapat dikarenakan beban mekanis ataupun akibat pengaruh lingkungan. Harus dipahami bahwa tidak semua jenis retak perlu dikhawatirkan, seperti retak pada perkerasan beton menerus dengan tulangan (Nilsson dan Winter, 1985; Nawir, 2000). Oleh karena itu harus diidentifikasi retak yang dapat diabaikan dan memerlukan penelitian lebih lanjut untuk tindakan pencegahan kerusakan yang lebih luas dan perbaikannya.

Beberapa panduan yang dapat digunakan untuk petunjuk dalam penentuan penyebab retak antara lain; *“Guide for Making and Condition Survey of Concrete in Service”* (ACI 201-92) and *“Causes, Evaluation and Repair of Cracks in Concrete Structures”* (ACI 224-R93).

Pada buku pedoman ini waktu terjadinya retak dibagi atas 2 fase waktu, yaitu;

1. Retak pada waktu beton masih bersifat plastis
 - Retak akibat susut (Plastic shrinkage cracking)
 - Retak akibat penurunan volume beton (Settlement cracking)
2. Retak pada waktu beton telah mengeras
 - Retak akibat susut (Drying shrinkage)
 - Retak akibat temperatur (Thermal stressess)
 - Pelapukan (weathering)
 - Beban berlebih
 - Perencanaan dan detail pelaksanaan yang tidak tepat
 - Reaksi kimia



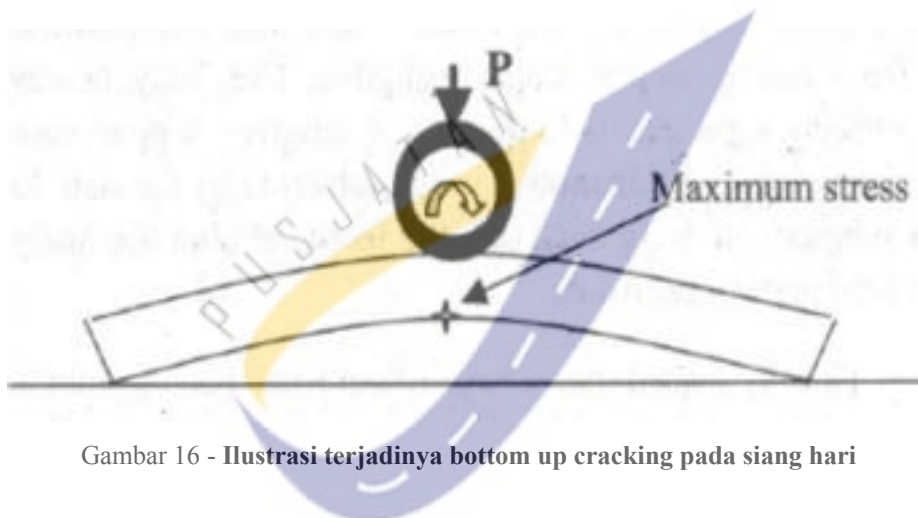
Gambar 15 - Tipikal retak akibat susut (*plastic shrinkage cracking*)

Mekanisme awal terjadinya retak

Pada masa lalu anggapan mulai terjadinya retak pada perkerasan bersambung tanpa tulangan adalah dari bawah dan merambat ke permukaan perkerasan (*bottom up cracking*) sebagai satu-satunya pola retak. Hal ini terlihat pada pedoman umum perencanaan perkerasan kaku "Mechanistic-Empirical Design of New and Rehabilitated Pavement Structures "(MEPDG) yang hanya mempertimbangkan *bottom up cracking* sebagai pola retak yang ada pada suatu sistem perkerasan. Akan tetapi terjadinya retak yang dimulai dari permukaan perkerasan (*top down cracking*), akhir-akhir ini mulai diperhitungkan,

a. Mekanisme terjadinya *bottom up cracking*

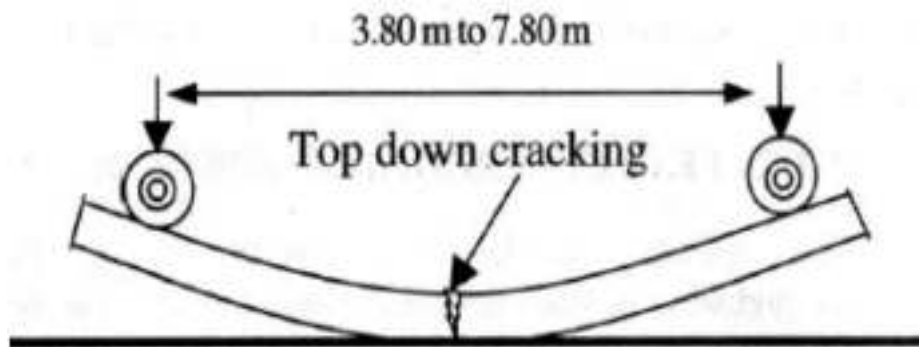
Retak yang dimulai dari bagian bawah perkerasan (*bottom up cracking*) umumnya terjadi pada siang hari, dimana temperatur permukaan perkerasan lebih tinggi dibanding temperatur bagian bawahnya. Hal ini menyebabkan panel beton mengalami *curling* berbentuk cembung seperti terlihat pada gambar 16. Jika kendaraan berat melewati perkerasan yang sedang mengalami *curling* tersebut, akan menimbulkan tegangan tarik pada bagian bawah permukaan. Jika kuat tarik lentur beton lebih kecil dari tegangan tarik maksimum yang terjadi (akibat beban kendaraan dan *curling*) maka perkerasan beton akan mengalami retak. Pada kondisi ini, retak yang terjadi akan dimulai dari bagian bawah perkerasan dan selanjutnya terefleksi ke bagian permukaan.



Gambar 16 - Ilustrasi terjadinya *bottom up cracking* pada siang hari

b. Mekanisme terjadinya *top down cracking*

Pada waktu malam hari, dimana temperatur pada bagian bawah beton lebih tinggi daripada temperatur permukaan, pelat beton akan mengalami curling berbentuk cekung seperti ditunjukkan pada gambar 17. Pada kondisi curling tersebut, jika kendaraan berat melalui tepi pelat beton, maka tegangan tarik maksimum terjadi pada bagian permukaan pelat beton (tegangan akibat curling sendiri, beban kendaraan dan berat beton sendiri). Dan retak akan terjadi dimulai dari bagian permukaan (*top down cracking*), seperti ditunjukkan pada gambar 17.



Gambar 17 - Ilustrasi terjadinya *top down cracking* pada malam hari

Retak melintang

Retak melintang adalah retak yang terjadi tegak lurus terhadap arah lalu lintas, penyebab retak melintang antara lain;

- Pembebanan berlebih
- Jarak sambungan yang terlalu jauh
- Kedalaman sambungan yang terlalu dangkal, ataupun keterlambatan dilakukan penggergajian sambungan melintang
- Penggergajian yang tidak memadai
- Terjadinya curling / warping
- Kurangnya daya dukung lapisan pondasi
- Terjadinya penurunan
- Gesekan/friksi dengan lapis pondasi yang terlalu besar



Gambar 18 - Retak melintang

Retak memanjang

Retak memanjang adalah retak yang terjadi sejajar dengan arah lalu lintas. Penyebab retak memanjang antara lain;

- Retak memanjang dekat ketengah
 - Kedalaman potongan sambungan memanjang yang terlalu dangkal, ataupun terlambatnya dilakukan tindakan penggergajian.
 - Jarak sambungan memanjang yang terlalu jauh
- Retak memanjang dekat ke tepi
 - Pembebanan berlebih
 - Daya dukung yang tidak memadai
 - Terjadinya penurunan



Gambar 19 - Retak memanjang dekat ke tengah



Gambar 20 - Retak memanjang dekat ke tepi

Retak sudut (corner break)

Retak sudut adalah retak yang sejajar dengan garis tengah perkerasan dan membentuk sudut dengan berpotongan dengan sambungan melintang.

Retak sudut dapat disebabkan oleh :

- Kurangnya daya dukung
- Tidak ada atau kurang memadainya alat transfer beban pada bagian tepi
- Jarak sambungan yang terlalu jauh
- *Curling/warping*
- Penurunan (*Settlement /heave*)



Gambar 21 - Retak sudut



3. Monitoring Kinerja Perkerasan Beton Pracetak

Pada bab ini disampaikan hasil monitoring perkerasan beton dengan pracetak prategang dari 3 lokasi yaitu; jalan percobaan di Buntu – Jawa tengah, jalan tol Kanci Pejagan dan jalan pantura ruas Ciasem.

3.1 Jalan Percobaan di Buntu – Jawa tengah

Jalan percobaan di Buntu – Jawa Tengah dibangun dengan pelaksanaan cara pracetak, pracetak prategang dan cor di tempat. Pada jalan percobaan sepanjang 1100m ini, dipasang beberapa variasi beton seperti ditunjukkan pada Gambar 22 tentang denah ujicoba skala penuh beton pracetak dan cor di tempat dan Tabel 1 mengenai variasi perkerasan beton pada jalan percobaan di buntu di bawah ini.



Gambar 22 - Denah Uji coba Skala Penuh Beton Pracetak dan Cor di tempat di Buntu-Jawa Tengah

Pada jalan percobaan ini panel pracetak prategang (PPCP) dipasang secara memanjang arah perkerasan jalan, dan tegangan pratarik dilakukan pada arah memanjang panel beton pracetak. Sedangkan tegangan pascatarik dilakukan pada arah melintang perkerasan jalan

Tabel 1 - Variasi Perkerasan Beton pada Jalan Percobaan di Buntu

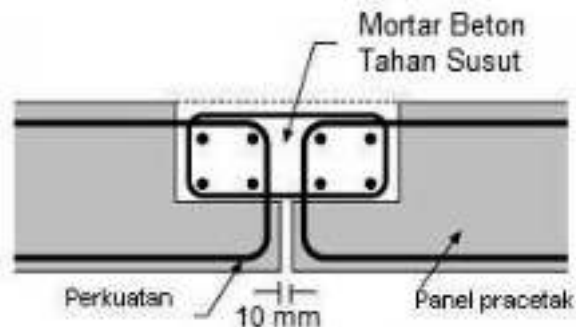
No	Variasi Beton	Simbol	Tebal (cm)	Panjang (m)	Ukuran Panel, Panjang, Lebar, Tebal, cm	Jenis	Panjang Panel/ Jarak Retak (m)	Berat per panel, Ton	Jumlah Vol. Beton M3	Tipe Stresing
1	Pracetak, 6 Strand Tanpa WM	M5	20	36	12 x 1,8 x 0,20	Balok	12	10,368	51,84	Pra-tarik & pasca-tarik
2	Pracetak, 4 Strand Dengan WM	M4	20	36	12 x 1,8 x 0,20	Balok	12	10,368	51,84	Pra-tarik & pasca-tarik
3	Pracetak, Beton Karet	M3	28	200	10 x 1,8 x 0,28	Dowel	10	12,096	403,2	Tanpastresing
4	Cor di Tempat, Beton Normal	M6b	28	250	3,6 x 5 x 0,28	Dowel	5	-	1209,6	Tanpastresing
5	Pracetak, Beton Normal	M1	28	200	5 x 1,8 x 0,28	Dowel	5 dan 10	6,048	403,2	Tanpastresing
6	Cor di Tempat, Beton Fiber	M2	28	230	3,6 x Var x 0,28	Dowel	10; 15; 20; 25; 30		967,68	Tanpastresing
7	Cor di Tempat, Post-tensioned	M6a	20	170	3,6 x 100	Dowel	100 dan 70		967,68	Pasca-tarik

Catatan: Seluruh panel dan beton cor di tempat dengan mutu beton K-400 diletakkan di atas lapisan perata campuran beraspal dingin (CRS-1). Bahu jalan dari beton mutu K-350 tebal 25 cm dicor secara manual di atas Lean Concrete (LC) tebal 10 cm dengan mutu beton K-175.
WM: Wire Mesh

3.1.1 Metode sambungan yang digunakan pada jalan percobaan di Buntu

Metode sambungan yang digunakan pada jalan percobaan ini untuk perkerasan kaku pracetak adalah, sambungan tipe balok dan sambungan dengan tipe slot dowel yang membuka keatas.

- a. Metode sambungan pada perkerasan beton pracetak prategang yang menggunakan tipe balok, ditunjukkan pada gambar 23.



Gambar 23 - Detail sambungan tipe balok

- b. Metode sambungan pada perkerasan beton pracetak tanpa prategang menggunakan detail sambungan 1 slot dan 2 slot, ditunjukkan pada Gambar 24.

Tipe sambungan	Detail sambungan
Sambungan dowel 1 slot	
Sambungan dowel 2 slot	

Gambar 24 - Metode sambungan pada perkerasan beton pracetak tanpa prategang

3.1.2 Perkembangan kerusakan sambungan pada perkerasan jalan percobaan

Hasil survey penilaian kondisi pada perkerasan jalan percobaan dengan metode pracetak prategang dilakukan pada waktu beton berumur 1 bulan, 5 bulan dan 10 bulan. Dari survey penilaian kondisi tersebut pada sambungan perkerasan kaku pracetak prategang (M4 dan M5), beberapa sambungan telah mengalami kerusakan sejak beton berumur 1 bulan, bahkan pada waktu beton berumur 10 bulan semua sambungan telah mengalami kerusakan. Gambar 17 di bawah menunjukkan perkembangan kerusakan pada sambungan perkerasan kaku pracetak prategang (M4 dan M5) sejak umur beton 1 bulan, 5 bulan dan 10 bulan.

1	5	9	1	5	9
2	6	10	2	6	10
3	7	11	3	7	11
4	8	12	4	8	12

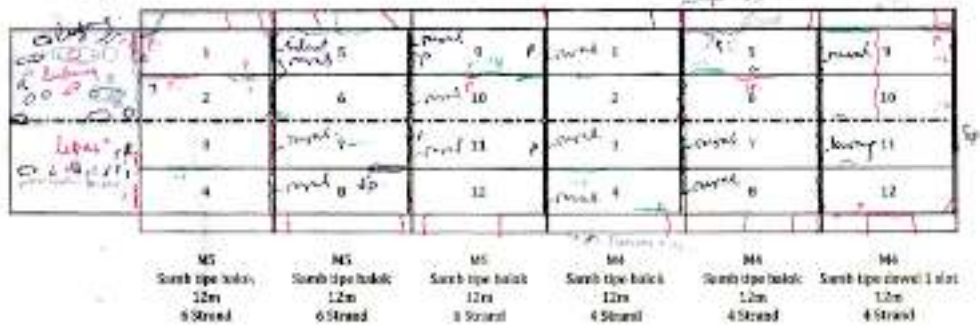
M5 Samb tipe balok 12m 6 Strand M5 Samb tipe balok 12m 6 Strand M5 Samb tipe balok 12m 6 Strand M4 Samb tipe balok 12m 4 Strand M4 Samb tipe balok 12m 4 Strand M4 Samb tipe dowel 1 slot 12m 8 Strand

Gambar 25a - Perkerasan Beton Pracetak-Prategang (M4 dan M5)
Umur 1 Bulan

1	5	9	1	5	9
2	6	10	2	6	10
3	7	11	3	7	11
4	8	12	4	8	12

M5 Samb tipe balok 12m M5 Samb tipe balok 12m M5 Samb tipe balok 12m M4 Samb tipe balok 12m M4 Samb tipe balok 12m M4 Samb tipe dowel 1 slot 12m

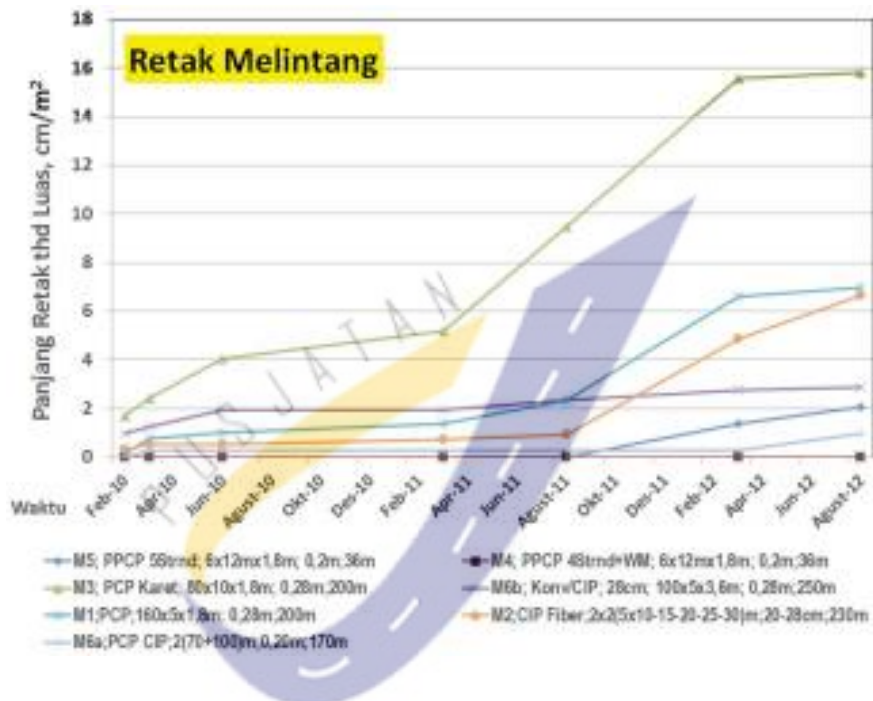
Gambar 25b - Perkerasan Beton Pracetak-Prategang (M4 dan M5)
Umur 5 Bulan



Gambar 25c -Perkerasan Beton Pracetak-Prategang (M4 dan M5) Umur 10 Bulan

3.1.3 Perkembangan Retak melintang

Berbeda dengan yang terjadi pada sambungan, panel beton dengan metode pracetak prategang dengan 4 strand (M4) tidak menunjukkan adanya retak melintang meskipun perkerasan telah berumur 3 tahun. Sedangkan pada perkerasan pracetak prategang dengan 5 strand (M5) retak melintang mulai terjadi setelah perkerasan berumur 2 tahun (Agustus 2012).



Gambar 26 - Perkembangan Retak Melintang (Maret 2010 s/d September 2012)

3.1.4 Perkembangan Retak Memanjang

Gambar 27 menunjukkan perkembangan retak memanjang yang terjadi pada perkerasan pracetak prategang dengan 4 strand (M4) dan dengan 6 strand (M5). Dari gambar terlihat retak memanjang tidak terjadi sampai perkerasan beton berumur 2 tahun, namun setelah 2 tahun pada M5 terjadi retak memanjang.

Sejak terpantau adanya retak memanjang pada M5 (Agustus 2011), perkembangan retak memanjang (panjang retak terhadap luas, cm/m^2) selama 1 tahun (Agustus 2012) pada M5 cukup signifikan yaitu 4 cm/m^2 . Sedangkan pada M4 perkembangan retak memanjang lebih lambat yaitu 1 cm/m^2 .



Gambar 27 - Perkembangan Retak Memanjang (Maret 2010 s/d September

Seperti telah disebutkan sebelumnya, seluruh sambungan telah mengalami kerusakan setelah perkerasan beton berumur 10 bulan, akan tetapi gambar-gambar perkembangan kerusakan dari waktu perkerasan beton berumur 1 bulan, 5 bulan dan 10 bulan tidak terdokumentasi. Untuk menunjukkan gambaran visual kerusakan pada sambungan, kegiatan monitoring yang dilakukan pada tahun 2013 menyampaikan gambar-gambar sambungan pada perkerasan kaku.

Gambaran visual sambungan perkerasan pracetak prategang (6 strand tanpa WM) = M5



Gambar 28a - Kerusakan pada sambungan M5

Dari Gambar 20a terlihat detail sambungan pada perkerasan M5 ini menggunakan tipe balok, dan bagian beton yang dicor tidak menyatu dengan panel beton pracetak, walaupun pada laporan pelaksanaan dikatakan bahan campuran beton yang digunakan adalah campuran beton anti susut. Pada gambar juga terlihat spalling pada sisi kiri dan kanan sambungan, dan retak pada bagian tengah sambungan.



Gambar 28b - Kerusakan sambungan pada M5

Pada gambar 20b yang juga merupakan sambungan pada perkerasan M5 yang menggunakan tipe balok, menunjukkan kerusakan yang lebih parah lagi. Pada sambungan ini bagian beton yang di cor selain tidak menyatu dengan panel beton pracetak, bahkan telah mengalami pecah. Ternyata penggunaan tulangan pada sambungan tipe balok tidak membuat sambungan cukup kuat untuk menahan tegangan-tegangan yang terjadi.

Pada gambar terlihat, sebelumnya telah dilakukan usaha perbaikan dengan memberi bahan campuran beraspal pada sambungan. Akan tetapi hal tersebut tidak mampu membuat sambungan mempertahankan kinerjanya, dan kerusakan pada sambungan terus berlanjut menjadi seperti yang terlihat pada gambar-gambar di atas.

Gambaran visual sambungan perkerasan pracetak prategang (4 strand dengan WM) = M4

Detail sambungan pada perkerasan M4 ini menggunakan tipe balok. Kerusakan yang terjadi pada sambungan diperlihatkan pada Gambar 29a dan 29b, dimana beton pada bagian sambungan hancur bahkan tulangnya telah terlihat. Seperti pada perkerasan M5, pada bagian sambungan telah dilakukan upaya perbaikan dengan menggunakan bahan campuran beraspal untuk menutupi ataupun memperbaiki kerusakan. Akan tetapi usaha tersebut tidak berhasil, dan kerusakan tetap berkembang dengan kehancuran beton pada bagian yang dicor pada sambungan.



Gambar 29a - Kerusakan sambungan pada perkerasan M4



Gambar 29b - Kerusakan sambungan pada perkerasan M4

Gambaran visual sambungan pracetak (tanpa prategang) dengan bahan tambah karet (M3)

Pada perkerasan pracetak tanpa prategang dengan bahan tambah karet (M3) menggunakan detail sambungan tipe dowel 1 slot. Dari gambar 30a terlihat slot dowel kondisinya masih cukup baik meskipun sudah terlihat adanya spalling. Pada sambungan telah terjadi faulting, dan bagian bukaan sambungan terlihat telah ditutupi dengan campuran beraspal. Dari gambar 30b meskipun telah dilakukan upaya perbaikan dengan campuran bahan beraspal, tetapi tetap terlihat dengan jelas kerusakan yang terjadi pada sambungan. Bahan beton untuk penutup slot dowel telah mengalami retak-retak bahkan sampai hancur.



Gambar 30a - Kerusakan sambungan pada perkerasan M3



Gambar 30b -Kerusakan sambungan pada perkerasan M3

Gambaran visual sambungan pracetak (tanpa prategang) beton normal = M1

Pada perkerasan pracetak tanpa prategang dengan beton normal (M1) menggunakan detail sambungan dowel 1 slot dan 2 slot.

Dari gambar 31a dimana perkerasan menggunakan detail sambungan dowel 1 slot, terlihat bahwa sambungan telah mengalami kerusakan dan telah dilakukan tindakan perbaikan dengan melapisinya dengan campuran beraspal.



Gambar 31a - Kerusakan sambungan pada perkerasan M1 dowel 1 slot

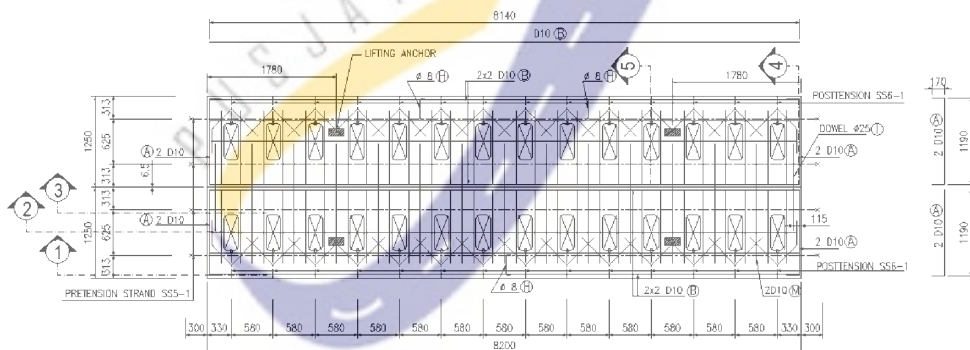
Gambar 31b merupakan gambar sambungan pada perkerasan M1 yang menggunakan detail sambungan tipe dowel dengan 2 slot. Seperti pada gambar 31a, pada sambungan ini telah diupayakan perbaikan dengan cara yang sama. Akan tetapi kerusakan tetap berlanjut meskipun telah dilapis dengan campuran beraspal, bahkan beton pengisi slot pada sambungan mengalami pecah-pecah.



Gambar 31b - Kerusakan sambungan pada perkerasan M1 dengan dowel 2 slot

3.2 Jalan Tol Kanci - Pejagan

Jalan tol Kanci-Pejagan dibangun dengan metode pracetak prategang (PPCP), dengan sistem central stressing. Detail joint panel yang digunakan seperti ditunjukkan pada gambar 32, dan pola prestress yang diterapkan seperti pada gambar 33.



Gambar 32 - Detail Joint Panel Pada Ppcp Kanci-Pejagan



Gambar 35 - Tipikal retak pada *Joint panel*



Gambar 36 - Tipikal retak pada *Joint panel*

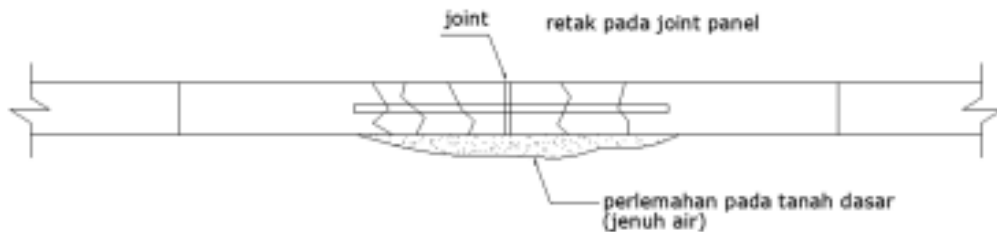
Tabel 2 - Rangkuman Kondisi Permukaan Jalan Tol Kanci-Pejagan

Kerusakan pd JP	Kanci-Pejagan (293 JP)		Pejagan-Kanci (292 JP)	
	Jumlah, bh	%	Jumlah, bh	%
Sealant rusak	184	62%	185	63%
Tidak ada sealant	32	11%	45	15%
Pumping	90	30%	163	56%
Retak	75	25%	156	53%
Spalling	69	23%	85	29%
Faulting	24	8%	85	29%
Tambalan	18	6%	54	18%

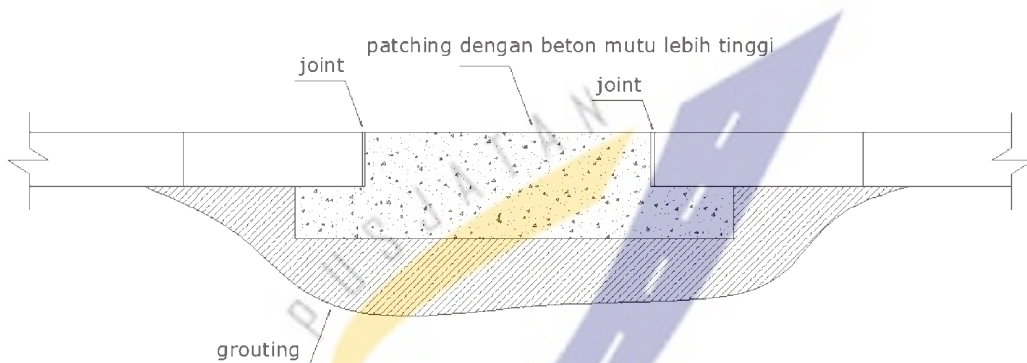
Catatan: Kondisi oprit setiap saat dilakukan perbaikan dengan tambalan untuk mencapai kerataan dengan lantai jembatan.

Hasil evaluasi dan analisa kerusakan pada joint panel adalah kelemahan pada tanah dasar seperti ditunjukkan pada gambar 37. Tindakan yang telah dilakukan untuk menangani kerusakan-kerusakan tersebut adalah berupa penanganan, seperti grouting, tambalan dan perbaikan joint panel dengan metode T terbalik.

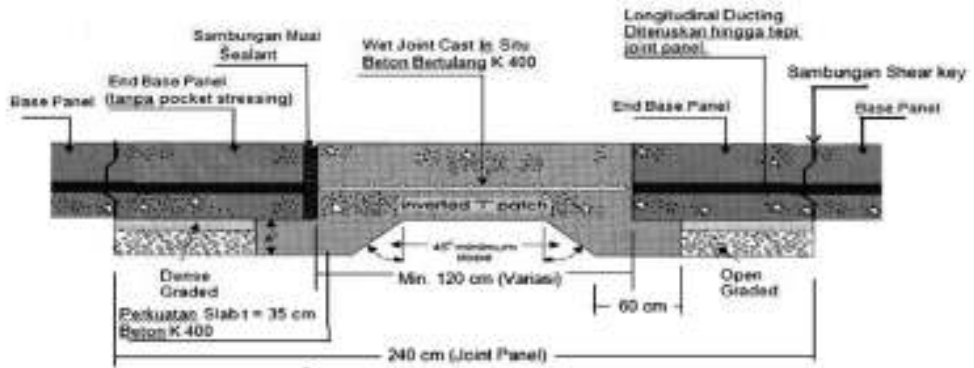
Penanganan perbaikan joint panel dengan metode T terbalik tersebut ditunjukkan pada gambar 38, yaitu mengenai skema perbaikan joint panel. Sedangkan detail dari perbaikan dengan metode tersebut ditunjukkan pada gambar 39 di bawah ini.



Gambar 37 - Skema penyebab kerusakan pada *joint panel*



Gambar 38 - Skema Perbaikan *Joint panel*



Gambar 39 - Detail Perbaikan *Joint Panel* dengan *inverted T*

Penanganan joint panel yang rusak dilakukan dengan metode sambungan cor di tempat berbentuk profil beton T terbalik (*inverted T*) yang disisipkan di antara end base panel lama. Profil beton T terbalik (*inverted T*) tersebut adalah beton bertulang dengan mutu K 400 (lebih tinggi dari beton lama K 350), seperti ditunjukkan pada gambar 40.

Akan tetapi meskipun perkerasan pada joint panel telah diperbaiki dengan metode T terbalik, ternyata setelah beberapa waktu kerusakan masih terus terjadi (*retak*, *pumping*) baik pada joint panel maupun pada panel-panel beton lainnya. Kerusakan yang terjadi setelah dilakukan perbaikan dengan cara *grouting* dan penggantian panel dengan profil T terbalik, ditunjukkan pada gambar-gambar di bawah ini.

Dari gambar 40 terlihat setelah dilakukan tindakan *grouting* pada titik-titik yang mengalami *pumping*, ternyata tidak memperbaiki kondisi base panel dan *pumping* masih terus terjadi dan *faulting* juga telah terjadi terlihat secara visual.



Gambar 40 - *Base panel*



Gambar 41a - *Joint panel* yang telah diperbaiki dengan *Inverted T*

Dari gambar 41a terlihat joint panel yang telah diperbaiki dengan profil T terbalik, dan ternyata masih mengalami kerusakan. Kerusakan bahkan terjadi juga pada bagian profil T terbalik yang merupakan beton bertulang dengan mutu lebih tinggi dari perkerasan lama yang merupakan beton pracetak. Hal ini terlihat dari Gambar 41b dan 41c, yang merupakan bagian tepi dari profil T terbalik tersebut.

Dari gambar terlihat telah diupayakan perbaikan untuk menutup retak-retak pada panel dengan memberi lapisan campuran beraspal, akan tetapi penanganan tersebut tidak berhasil mengatasi permasalahan yang ada.



Gambar 41b - Detail kerusakan pada tepi *joint panel*



Gambar 41c - **Detail kerusakan pada tepi *joint panel***

Pada tahun 2013 dilakukan kembali upaya perbaikan pada panel-panel beton yang mengalami kerusakan. Beberapa panel beton yang mengalami kerusakan yang berat dilakukan upaya pembongkaran, namun kabel pascatarik yang ada dibiarkan tetap pada tempatnya dan dianggap sebagai tulangan pada beton baru yang akan dicor. Pada gambar 42 menunjukkan panel beton yang telah dibongkar sampai lapis pondasi, dan terlihat kabel pascatarik yang tetap dibiarkan pada tempatnya dan masih dalam kondisi sangat tegang.

Rencana penanganan yang dilakukan pada bekas panel yang dibongkar adalah dengan pengecoran beton di tempat, tentunya akan dicor dengan tebal beton yang lebih besar dari tebal panel pracetak prategang sebelumnya. Akan tetapi karena pelaksanaan perbaikan dilakukan pada akhir tahun 2013, maka monitoring kondisi perbaikan tersebut tidak dilakukan.



Gambar 42 - **Panel pracetak prategang yang telah dibongkar**

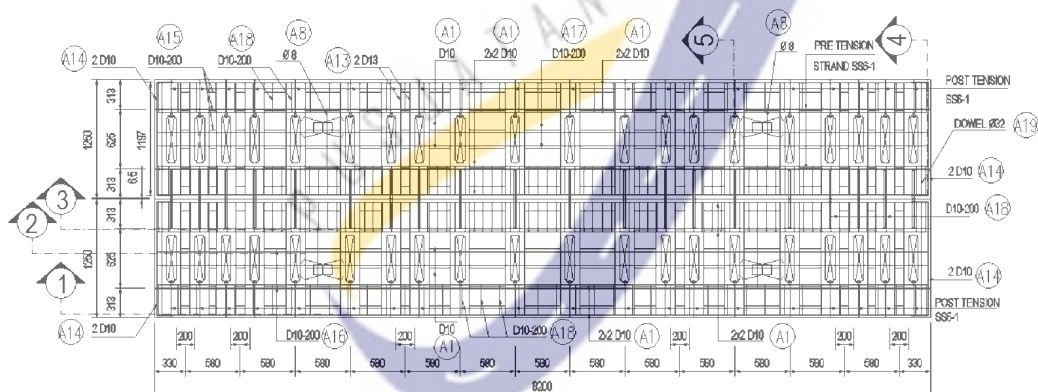
Gambar 43 menunjukkan tipikal perbaikan-perbaikan yang telah dilakukan, baik dengan pengecoran dengan bahan beton, ataupun dengan bahan beraspal.



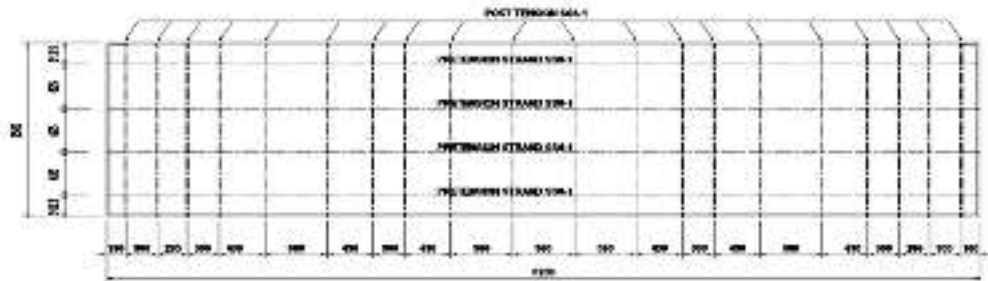
Gambar 43 - Tipikal perbaikan yang telah dilakukan

3.3 Jalan Pantura, ruas Ciasem – Pamanukan

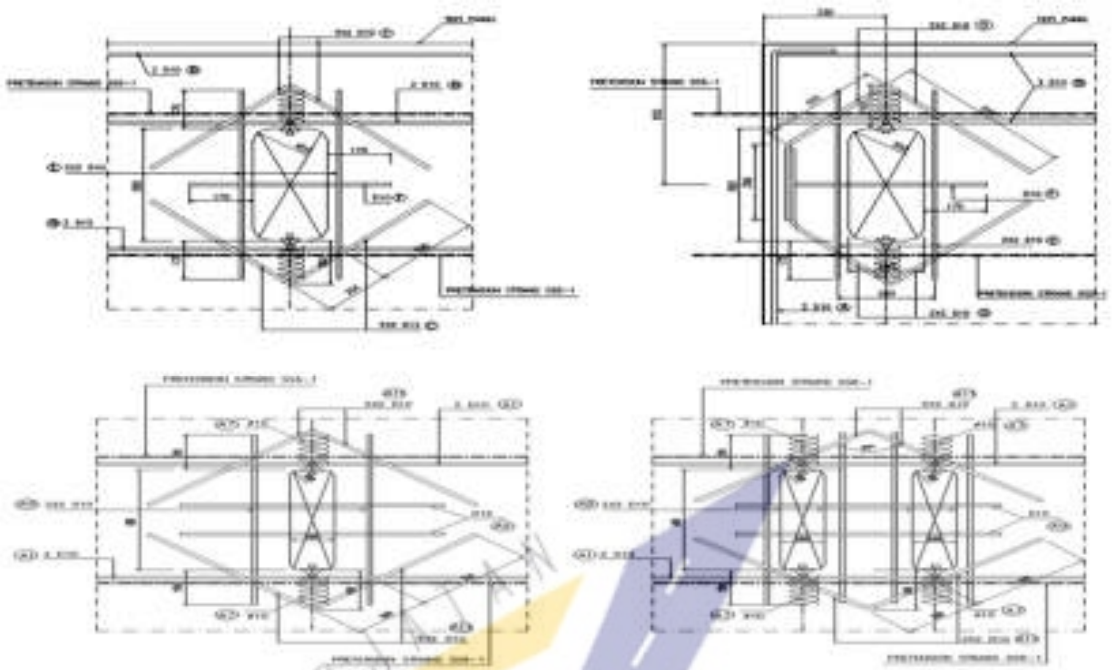
Jalan Pantura ruas Ciasem – Pamanukan juga dibangun dengan metode pracetak prategang (PPCP), dengan sistem central stressing. Detail joint panel yang digunakan seperti ditunjukkan pada gambar 44, dan pola prestress yang diterapkan seperti pada gambar 45. Dari gambar detail joint panel dapat dilihat penguatan dengan penulangan yang dilakukan pada sisi-sisi sambungan muai.



Gambar 44 - Detail Joint Panel Pada Pcp Ruas Ciasem-Pamanukan

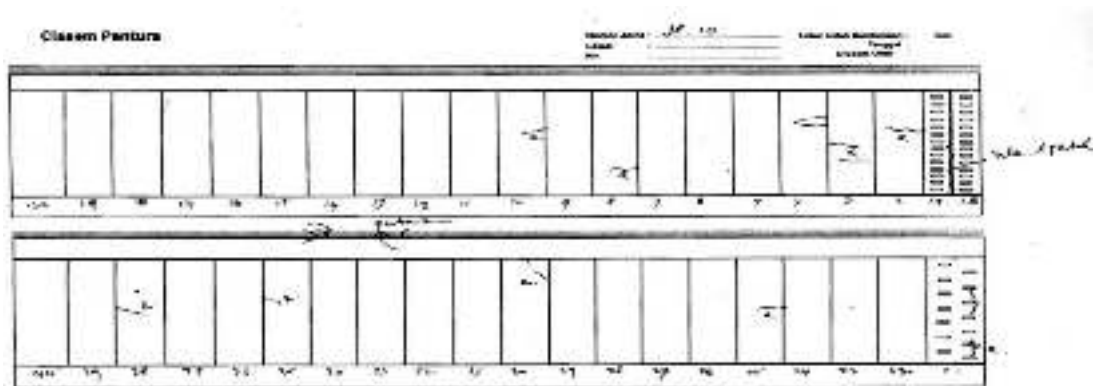


Gambar 45 - Pola *Prestress*

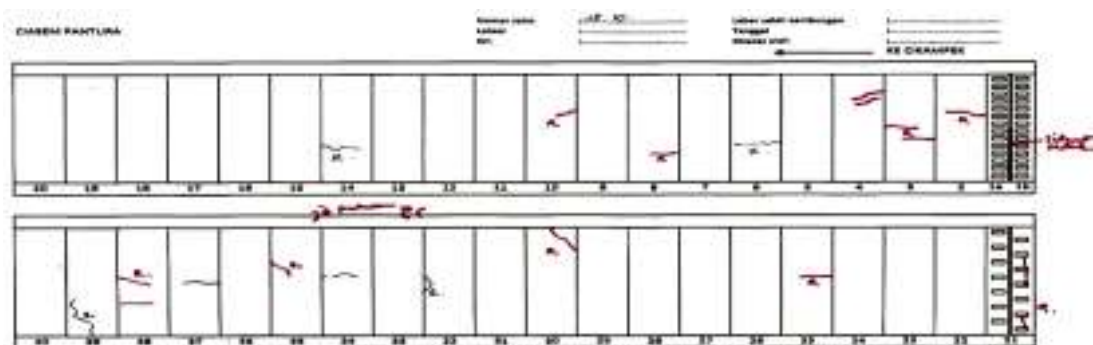


Gambar 46 - Detail *stressing pocket*

Perkembangan kerusakan yang terjadi pada perkerasan beton pracetak dapat dilihat pada sketsa hasil pencatatan kondisi permukaan dan joint panel no.10 dari gambar 47a dan 47b di bawah ini.



Gambar 47a - Tipikal Pencatatan Kondisi Permukaan dan *Joint Panel* Beton Pracetak Nomor JP-10, (setelah 6 bulan dibuka untuk lalu lintas)



Gambar 47b - Tipikal Pencatatan Kondisi Permukaan dan *Joint Panel* Beton Pracetak Nomor JP-10, (setelah umur perkerasan 24 bulan)

Dari hasil penilaian kondisi secara umum, perkerasan pracetak prategang masih dalam kondisi yang cukup baik. Akan tetapi beberapa hal dari hasil pengamatan yang harus menjadi perhatian, dan dapat menjadi penyebab kerusakan yang serius kedepan adalah kondisi sambungan muai pada joint panel.

Dari kegiatan monitoring sebelumnya telah dilaporkan adanya pumping pada sambungan-sambungan, dimana hal itu terjadi pada sambungan muai. Dari gambar 48 terlihat bukaan celah pada sambungan muai sebesar 5 cm (pengambilan gambar dilakukan sekitar pukul 11 siang) dan terlihat dari gambar bahan penutup sambungan masih ada, tetapi sudah tidak melekat dengan baik pada dinding sambungan.



Gambar 48 - Lebar bukaan sambungan muai

Kondisi sambungan muai lainnya terlihat pada gambar 49 di bawah, dimana terlihat telah terjadi faulting pada sambungan. Pada celah sambungan terlihat bahan penutup sambungan tidak ada, karena telah meluber keluar.



Gambar 49 - *Faulting* pada sambungan muai

Seperti celah sambungan muai sebelumnya, pada gambar 50 terlihat jelas bahan penutup sambungan yang berbahan dasar aspal meluber dari sambungan ke badan perkerasan jalan, dan bahan penutup yang ada pada celah sambungan dalam keadaan rusak.



Gambar 50 - Sambungan muai

Pada kondisi sambungan muai ini, air dan kotoran dapat dengan mudah masuk melalui celah sambungan. Hasil pengamatan pada waktu hujan menunjukkan, air telah masuk ke dalam perkerasan bahkan pada gambar 51 ditunjukkan air tergenang dan mengalir dalam sambungan.



Gambar 51 - Genangan air di dalam sambungan



Gambar 52 - Kondisi pada tepi perkerasan

Dan pada gambar 52 terlihat pula kondisi bahu perkerasan kaku yang tidak diperkeras, sehingga pada waktu hujan air masuk dari tepi perkerasan ke bagian bawah perkerasan.

Pada tabel 3 ditunjukkan hasil analisis perhitungan jarak celah sambungan ekspansi. Dari hasil perhitungan jarak celah sambungan ekspansi seperti ditunjukkan pada tabel 3 dan laporan pelaksanaan pembangunan ruas pantura – Ciasem pada tahu 2010, bukaan sambungan muai adalah sebesar 11,8mm. Ternyata setelah tiga tahun, pada waktu dilakukan survey penilaian kondisi (Juli dan Oktober 2013), lebar celah sambungan muai tersebut meningkat menjadi 50 – 60 mm (pengukuran dilakukan pada siang hari).

Tabel 3
Analisis Jarak Celah Sambungan Ekspansi Celah Sambungan (Dahlan, A.T, 2010)

Parameter	Symbol	Formula	Satuan	Hasil Perhitungan
Tebal Slab	t		in	8
Parjang Slab	L		ft	328,1
Berat volume Beton	G		lb/ft ³	149,6
Modulus elasts beton	E _c		psi	4.353.589
Temp. regangan muai, > 27 °C (80 °F)	T _{LOH}		°F	80
Temp permukaan Maks. rata-rata	T _{CSmax}		°F	111
Koefisien Termal musim panas	ε _{sun}		in ² /F	0,000006
Koef Friksi	f _{sl}			0,5
Gradient temp musim panas	T _{g-sun}		°F/in	4
1 Temperatur rata-rata > 80 °F	T _{av120 F}	$T_{CSmax} - (\epsilon_{sun} \times T_{g-sun})/2$	°F	95,2
2 Muai (unrestrained)	EX _{un-sun}	$(T_{av120 F} - T_{LOH}) \times \epsilon_{sun} \times (L$	in	0,36
3 Tegangan friksi, tengah bertang	S _{sls}	$(f \cdot 80 \times L/2 \times 1 \times 1/2 \times$	psi	63,91
4 Muai akibat Tegangan di tepi	EX _{sl-edge}	$((S_{sls}/2) - (L \times 12/2))/E_c$	in	0,01
5 Muai penuh	EX _{unp-sun}	$EX_{un-sun} - (2 \times EX_{sl-edge})$	in	0,33
			mm	8,4
Temperatur kontraksi	T _{LOH}		°F	71,6
Temp permukaan Min. Rata-rata	T _{CSmin}		°F	68
Koefisien Termal	ε _{sun}		in ² /F	0,000006
Koef Friksi	f _{ss}			0,5
Gradient temp	T _{g-sun}		°F/in	4
6 Temperatur rata-rata	T _{av120 F}	$T_{CSmin} - (\epsilon_{sun} \times T_{g-sun})/2$	°F	84
7 Kontraksi (unrestrained)	EX _{un-sun}	$(T_{av120 F} - T_{LOH}) \times \epsilon_{sun} \times (L \times$	in	0,29
8 Tegangan friksi, tengah bertang	S _{sls}	$(f_{ss} \times L/2 \times 1 \times 1/2 \times G)/(12$	psi	85,21
9 Kontraksi akibat Tegangan di tepi	EX _{sl-edge}	$((S_{sls}/2) - (L \times 12/2))/E_c$	in	0,019
10 Kontraksi penuh	EX _{unp-sun}	$EX_{un-sun} - (2 \times EX_{sl-edge})$	in	0,331
			mm	8,4
Perubahan panjang Unrestrained musiman untuk +20 s/d +80F (-7 s/d +27 °C)				
Koefisien Termal Rata-rata	ε _{avg}		in ² /F	0,000006
Perubahan panjang akibat kelembaban	ε _{ex-avg}		in/in	0,0001
11 Muai antara	EX _{un-avg}	$(T_{LOH} - T_{LOH}) \times \epsilon_{avg} \times (L \times$	in	0,20
12 Pengurangan panjang akibat kelembaban	EX _{ex-avg}	$\epsilon_{ex-avg} \times L \times 12$	in	-0,28
13 Penyesuaian panjang	L _{aj}	$EX_{un-avg} - EX_{ex-avg}$	in	-0,20
14 Muai antara 80 °F & 130 °F	EX _{unp-sun}	Dari 5	in	0,33
15 Kontraksi antara -20 °F & +20°F	EX _{unp-sun}	Dari 10	in	0,33
16 Total perubahan panjang Tahunan	EX _{total}	$L_{aj} + EX_{un-sun} + EX_{unp-sun}$	in	0,47
			mm	11,8

4. Pembahasan Hasil Monitoring dan Evaluasi

Harus disadari bahwa kerusakan yang terjadi pada sambungan tidak semata disebabkan oleh faktor tunggal, namun dapat juga akibat kombinasi dari beberapa faktor. Adapun faktor-faktor yang dapat menyebabkan kerusakan pada sambungan adalah; detail atau metode sambungan yang tidak tepat, beban lalu lintas yang berlebih, pelaksanaan yang tidak benar, kekuatan beton yang tidak memadai serta faktor lingkungan.

4.1 Jalan percobaan Buntu – Jawa Tengah

Dari hasil evaluasi dan analisa diperoleh dua penyebab utama kerusakan pada sambungan pada perkerasan beton pracetak prategang di Buntu, yaitu ;

a. Pemasangan panel pracetak yang kurang tepat

Salah satu keuntungan penggunaan perkerasan beton dengan metode prategang adalah diijinkannya jarak sambungan yang sangat panjang, bahkan sampai 100m. Untuk mendapat manfaat tersebut, panel beton pracetak umumnya dipasang secara melintang.

Pada jalan percobaan buntu panel beton pracetak prategang dipasang secara memanjang, dimana pemasangan dengan cara ini memiliki kelemahan yang antara lain:

- Sambungan yang aktif lebih banyak.
- Titik yang lemah lebih banyak.

1	6	8	1	4	4
2	6	10	2	4	10
3	7	11	3	7	11
4	8	12	4	8	12
M5 Samb tipe balok 1.20m 4.50m	M5 Samb tipe balok 1.20m 4.50m	M5 Samb tipe balok 1.20m 4.50m	M4 Samb tipe balok 1.20m 4.50m	M4 Samb tipe balok 1.20m 4.50m	M4 Samb tipe dowel 1.40m 1.20m 4.50m

Gambar 53 - Pemasangan panel pracetak di Buntu



Gambar 54a - Pemasangan panel beton secara memanjang

Sebagai perbandingan pada satu segmen beton pracetak prategang tipe M5 terdapat 7 sambungan, jika panel beton pracetak dipasang secara melintang maka hanya diperlukan 2 sambungan. Hal ini dapat dilihat pada ilustrasi yang ditunjukkan pada gambar 54a dan 54b, dimana titik yang lemah pada sistem perkerasan beton tersebut dapat berkurang secara signifikan.



Gambar 54b - Pemasangan panel beton secara melintang

b. Metode sambungan yang kurang tepat :

Perkerasan beton pracetak prategang di Buntu menggunakan detail sambungan tipe balok dan tipe dowel. Detail sambungan tipe balok, tipe dowel 1 slot dan 2 slot menggunakan slot beton yang terbuka keatas. Metode ini mempunyai kelemahan yaitu :

- Slot beton yang terbuka keatas lebih rentan terhadap beban lalu lintas, karena langsung mengalami gesekan dengan roda kendaraan.
- Campuran beton untuk penutup slot harus kuat, durable, dan mempunyai ikatan yang baik dengan permukaan beton lama serta tahan susut. Akan tetapi pada jalan percobaan ini ketentuan tersebut tidak tercapai, karena sejak umur beton masih muda penutup slot sudah mengalami kerusakan.
- Meskipun detail sambungan tipe balok menggunakan tulangan seperti ditunjukkan pada gambar 15, ternyata tidak mampu memberi perkuatan pada sambungan.

4.2 Jalan Tol Kanci-Pejagan

Dari laporan kegiatan monitoring sebelumnya sudah jelas bahwatanah timbunan yang digunakan tidak memenuhi persyaratan , ditambah laporan sejarah perkembangan serta pola kerusakan yang terjadi, dapat disimpulkan permasalahan utama adalah penggunaan tanah dasar yang tidak memenuhi persyaratan untuk perkerasan kaku.

Upaya perbaikan-perbaikan telah dilakukan dengan berbagai cara, seperti grouting, penggantian joint panel dengan profil T terbalik, penambalan dengan lapisan campuran beraspal dan campuran beton, dll. Akan tetapi karena permasalahan utamanya adalah pada lapisan tanah dasar, maka upaya apapun yang dilakukan selama tidak menyentuh perbaikan lapisan dasar tidak akan menyelesaikan permasalahan perkerasan beton secara tuntas.

4.3 Jalur Pantura – ruas Ciasem



Gambar 55 - Kondisi umum perkerasan beton pracetak

Secara umum dari kegiatan monitoring yang dilakukan pada tahun 2013 perkerasan beton pracetak prategang pada jalan pantura – ruas ciasem masih cukup baik melayani lalu lintas seperti ditunjukkan pada gambar 55. Akan tetapi kondisi sambungan muai pada joint panel dapat menjadi pemicu kerusakan fatal kedepan.

Harus diingat pada *joint panel*, celah sambungan muai akan mengalami pelebaran permanen secara bertahap akibat creep, penyusutan beton dan perubahan temperatur dari waktu ke waktu. Oleh karena itu bahan penutup yang digunakan seharusnya adalah bahan penutup khusus untuk sambungan muai, yang mempunyai daya lekat dan kelenturan yang lebih tinggi dibanding dengan bahan penutup sambungan *susut* pada umumnya.

Joint panel di jalan Pantura ruas Ciasem, pada waktu pelaksanaan ukuran lebar celah sambungan muai adalah 11,8mm, dan setelah lebih kurang 2 tahun lebar celah meningkat menjadi 50 – 60mm. Peningkatan ukuran lebar celah secara signifikan tersebut ternyata tidak diakomodir oleh penggunaan bahan penutup sambungan yang tepat, dimana hasil pengamatan menunjukkan bahan penutup telah mengeras dan banyak yang terlepas. Hal ini menyebabkan sambungan telah dimasuki oleh air, sehingga terjadi pumping dimana material-material halus dari lapisan di bawah sambungan terpompa keluar. Terjadinya pumping telah menyebabkan terbentuknya rongga di bawah joint panel dan juga menimbulkan faulting.

Terjadinya pumping dan faulting sangat disayangkan dan seharusnya dapat dihindari, karena hasil pengukuran Load Transfer Effisiensi (LTE) pada beberapa waktu setelah pelaksanaan menunjukkan nilai LTE rata-rata cukup baik > 80%.

Dari kegiatan monitoring tahun 2010 telah dilaporkan indikasi rongga di bawah beberapa joint panel. Indikasi rongga diperoleh dari hasil analisa metode The Asphalt Institute / AASHTO, FHWA maupun kriteria M-Ratio, ditunjukkan pada gambar 56.



Gambar 56 - Hasil analisa rongga di bawah sambungan (Dahlan A.T,2010)

Namun sangat disayangkan setelah beberapa waktu berjalan, tidak ada penanganan yang tepat dilakukan. Sehingga besar kemungkinan rongga di bawah joint panel akan bertambah besar dari waktu ke waktu, yang pada suatu saat dapat menyebabkan **blow up** pada waktu dilalui kendaraan berat dengan kecepatan yang cukup tinggi.

4.4 Kinerja PPCP di luar Negeri

Sampai saat ini sedikit sekali literatur mengenai kinerja sambungan perkerasan beton pracetak, pada umumnya hanya menyampaikan mengenai pelaksanaannya saja.

Gambar-gambar 57 di bawah menunjukkan kinerja sambungan pracetak di luar negeri.



Gambar 57a - Kerusakan slot dowel pada sambungan pracetak



Gambar 57b - Kerusakan pada slot dowel



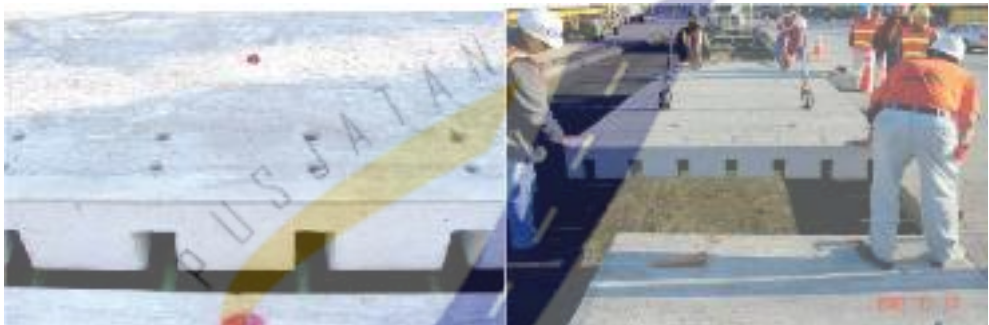
Gambar 58 - Kondisi bahan penutup sambungan muai

Dari sedikit laporan mengenai kinerja sambungan pada perkerasan beton pracetak, permasalahan yang disampaikan adalah mengenai rusaknya slot dowel yang terbuka keatas. Kerusakan tersebut berupa pecahnya penutup slot, dimana disebutkan bahwa bahan yang digunakan selalu mencapai kuat awal tinggi. Akan tetapi yang menjadi permasalahan adalah ternyata bahan dengan kuat awal tinggi tersebut seringkali tidak durable. Pada umumnya bahan penutup tidak diketahui / disebutkan komposisi campurannya terutama bahan-bahan tambah yang digunakan, karena merupakan hak paten perusahaan (Hossain M.S and Ozyildirim, C. 2012).

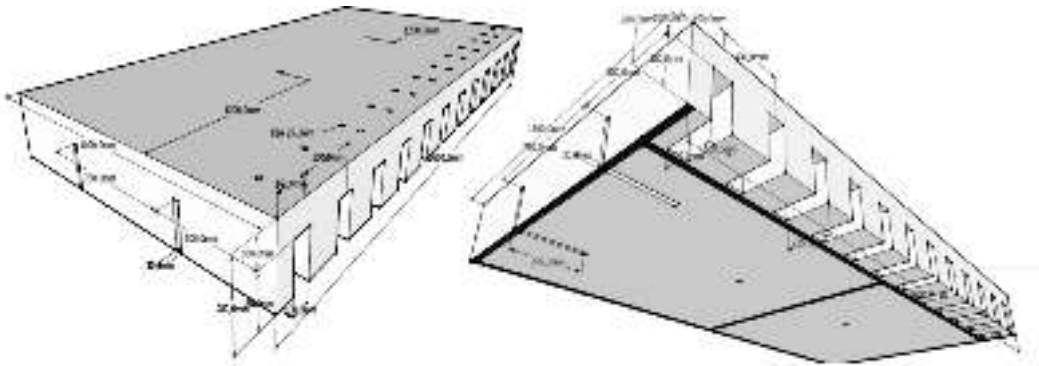
4.5 Saran-saran untuk pelaksanaan perkerasan beton pracetak prategang

Dari kesimpulan yang ada dapat disarankan beberapa hal terkait , yaitu :

- Panel pracetak prategang sebaiknya dipasang secara melintang dan tegangan pascatarik dilakukan arah memanjang, untuk menghindari banyaknya sambungan yang aktif.
- Pada sambungan disarankan menggunakan slot yang menangkup kebawah untuk menutup dowel, seperti ditunjukkan Gambar 59. Hal ini dilakukan untuk mencegah beton pada slot dowel mengalami kerusakan akibat tegangan yang terjadi, terutama tegangan akibat gesekan beton langsung dengan roda kendaraan.



Gambar 59a - Pemasangan beton pracetak dengan detail sambungan slot terbuka kebawah (Tayabji, 2013).



Gambar 59b - Tampak bawah detail sambungan dengan slot terbuka ke bawah (Tayabji, 2013).

- Meskipun produsen bahan penutup sambungan menyatakan penggantian bahan penutup dapat bertahan lama (bahkan ada yang lebih dari 6 tahun), bahan penutup yang umumnya berbasis aspal cenderung cepat menjadi keras dan tidak elastis lagi jika digunakan pada daerah tropis (proses aging lebih cepat dibanding negara dengan temperatur yang lebih rendah). Besar kemungkinan masa penggantian bahan penutup di Indonesia lebih cepat di banding negara dengan temperatur lebih rendah. Oleh karena itu disarankan monitoring kondisi sambungan secara reguler dan penggantian bahan penutup sambungan lebih cepat dari saran pabrik pembuatnya.
- Pelaksanaan perkerasan beton pracetak membutuhkan ketepatan dalam pembuatan panel-panel beton pracetak, demikian pula dengan pemasangannya. Seperti pada perkerasan pracetak di tol kanci – pejalan, ketidaktepatan pembuatan dan pemasangan panel-panel pracetak menyebabkan celah sambungan yang terlalu besar. Ketidaktepatan pemasangan dapat pula menyebabkan terjadinya faulting. Oleh karena itu pada pelaksanaannya diperlukan sistem yang terorganisir dengan baik, serta tenaga-tenaga kerja yang terampil dan menguasai metode ini.

5. Monitoring Perkerasan Beton Bersambung Tanpa Tulangan (Cor Di Tempat)

Monitoring perkerasan beton bersambung tanpa tulangan dilakukan pada beberapa ruas jalan beton di wilayah Jawa Barat dan Jawa Timur. Kegiatan survey penilaian kondisi secara visual dilakukan untuk memantau tipikal kerusakan yang umum dan dominan terjadi pada perkerasan beton bersambung tanpa tulangan.

• Hasil monitoring perkerasan beton di Jawa Barat:

Perkerasan beton yang dimonitor di wilayah Jawa barat pada umumnya telah berumur di atas 1 tahun, akan tetapi tidak diperoleh informasi mengenai pelaksanaannya.

Ruas jalan yang dipantau adalah ruas-ruas jalan beton di wilayah Kota Bandung yaitu:

- Jalan Cikutra – Sadangserang
- Jalan Terusan Buah Batu – Bojong Soang
- Jalan Soekarno – Hatta
- Jalan Jatinangor
- Jalan Gedebage

Kelima ruas jalan beton tersebut di atas mempunyai data sbb;

- tebal perkerasan beton 25 cm, $K = 350$
- basedari lean concrete, $K = 125$

Hasil monitoring pada kelima ruas jalan beton menunjukkan tipikal kerusakan yang umum terjadi adalah retak. Adapun jenis retak yang paling dominan adalah retak melintang, dimana posisi retak ada yang terjadi di tengah panel beton dan ada yang dekat pada sambungan melintang.

Perkerasan beton pada ruas jalan Cikutra – Sadang Serang dilaksanakan pada tahun 2012, dimana pada waktu pelaksanaannya penggergajian sambungan melintang dilakukan setelah perkerasan berumur beberapa hari. Akibat keterlambatan tindakan penggergajian sambungan melintang, terjadi retak-retak melintang pada panel-panel beton. Hasil monitoring menunjukkan meskipun telah berumur lebih dari satu tahun dan telah dilalui lalu lintas, lebar celah retak-retak melintang tersebut umumnya tidak bertambah lebar secara signifikan, seperti ditunjukkan pada gambar 60. Dengan kata lain retak-retak tersebut tidak aktif, oleh karena itu hanya perlu diberi bahan penutup (joint sealant) untuk mencegah masuknya air ke lapisan bawah perkerasan. Sedangkan tindakan pemeliharaan seperti perbaikan sebagian tebal perkerasan (partial depth repair) tidak perlu dilakukan.



Gambar 60 -
**Tipikal kondisi celah retak
melintang pada jalan beton
Cikutra**

Pada perkerasan beton di ruas jalan Buah Batu - Bojongsoang, sebagian retak yang terjadi merupakan retak yang aktif, sehingga tidak cukup tindakan dengan memberi bahan penutup (joint sealant) saja. Lebar celah retak melintang yang terjadi terlihat cukup besar > 2 cm dan disekitar retak terlihat spalling seperti ditunjukkan gambar 61. Dari laporan yang diterima, ruas jalan ini selalu mengalami banjir pada waktu musim

hujan. Hal ini mungkin saja menyebabkan lapisan tanah dasarnya mengalami rembesan air dan menurunkan kekuatan tanah dasar, akibat drainase yang tidak memadai. Dan jika kondisi ini dibiarkan, kerusakan akan meluas (karena retak yang ada merupakan retak aktif), dan dapat menurunkan kinerja perkerasan.



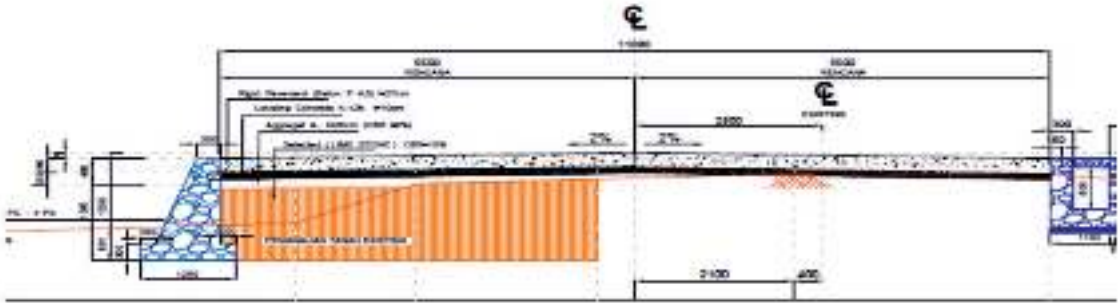
Gambar 61 - Retak melintang dekat ke tepi sambungan

- **Hasil monitoring perkerasan beton di Jawa Timur:**

Ruas jalan yang dipantau adalah ruas jalan beton Pantura Bojonegoro –Padangan. Tanah asli pada ruas Jalan Bojonegoro – Padangan merupakan tanah ekspansif, dimana perkerasan lama yang menggunakan perkerasan beraspal kondisinya selalu bergelombang dan mengalami retak-retak meskipun telah berulang-ulang diperbaiki. Pada tahun 2012 dilakukan upaya peningkatan struktur jalan Bojonegoro - Padangan dengan perkerasan beton. Tipe kontrak merupakan Lumpsum berbasis kinerja (PBC).

Data teknis penanganan jalan adalah, sbb.;

- Panjang penanganan : 11,5 km
- Tebal perkerasan beton : 27 cm ; K 350
- Menggunakan beton normal, dimana perkerasan dibuka setelah beton berumur 28 hari
- Lapis pondasi :
 - lean concrete : 10 cm ; K 125
 - agregat A : 20 cm (CBR 90%)
- Tanah asli merupakan tanah ekspansif, dan diganti dengan batu kapur sedalam 80 – 150 cm.



Gambar 62 - Penampang melintang perkerasan

Monitoring pertama dilakukan pada awal september 2013 (setelah lebih kurang 6 bulan dibuka untuk lalu lintas), dan perkerasan yang telah selesai dikerjakan dan dibuka untuk lalu lintas panjangnya sekitar 150 m. Dari survey penilaian kondisi tidak terlihat adanya retak sudut ataupun retak melintang, akan tetapi perkerasan beton mengalami retak memanjang menerus sepanjang 6 panel beton. Posisi retak memanjang terjadi pada tengah pelat beton, seperti ditunjukkan pada gambar 63.

Pada saat monitoring dilakukan lebar retak rata-rata 3 mm, dan tidak terpancang adanya penurunan ataupun faulting sepanjang retakan memanjang tersebut, seperti ditunjukkan pada gambar 64.



Gambar 63 - Posisi retak memanjang ditengah pelat beton



Gambar 64. Celah retak memanjang

Ruas jalan beton Padangan-Bojonegoro merupakan jalan yang banyak dilalui oleh lalu lintas berat, dimana pada jalan tersebut terdapat beberapa pabrik, seperti pabrik semen dan minyak bumi. Informasi yang diperoleh dari pihak pelaksana, adanya retak memanjang terpantau setelah dilalui oleh kendaraan berat pada malam sebelumnya. Dikarenakan proyek ini berbasis kinerja, maka pihak penyedia jasa segera melakukan upaya perbaikan terhadap retak memanjang. Upaya perbaikan yang dilakukan berupa pengisian celah dengan bahan siap pakai, berupa mortar beton setara K 600. Pengisian celah retakan dilakukan dengan terlebih dahulu dilakukan pelebaran celah dengan menggergajinya, seperti pada ketentuan penggantian bahan penutup sambungan ditunjukkan pada gambar 65.



Gambar 65 - Celah retakan yang telah diperlebar dan diberi bahan pengisi



Gambar 66 - Retak memanjang yang telah selesai diperbaiki

Pada kegiatan monitoring kedua yang dilakukan pada akhir Oktober 2013 (setelah hampir 2 bulan sejak dari monitoring pertama), dilaporkan hal-hal sbb:

- Pada retak memanjang yang telah diperbaiki dengan bahan mortar siap pakai terlihat tidak terjadi ikatan antara bahan pengisi dengan perkerasan beton lama, seperti ditunjukkan pada gambar 67.
- Pada perkerasan beton baru yang telah selesai dilaksanakan (sekitar 200 m) dan telah dilalui lalu lintas, terjadi retak memanjang. Retak memanjang terjadi sepanjang 6 – 8 panel beton, kemudian terhenti dan terlihat lagi sepanjang 6 – 8 panel berikutnya (gambar 68).



Gambar 67
- Kondisi
retak setelah
diperbaiki



Gambar 68 - Retak memanjang baru sepanjang 6 – 8 panel

Hasil analisa penyebab terjadinya retak memanjang :

1. Retak memanjang bukan disebabkan lapisan tanah dasar yang ekspansif, ataupun lapis pondasi yang tidak baik, dengan alasan :
 - Meskipun tanah asli merupakan tanah ekspansif yang sangat peka akan terjadinya pergerakan akibat kembang susut tanah, akan tetapi telah diganti dengan lime stone sedalam 80 – 150 cm.
 - Pada retak memanjang tidak terlihat terjadinya penurunan ataupun faulting.
2. Retak memanjang tidak disebabkan keterlambatan penggergajian, karena sambungan memanjang dibuat tanpa proses penggergajian.
3. Kualitas perkerasan beton yang tidak memadai (kuat tarik lentur perkerasan rendah).

Dugaan ini timbul dikarenakan pada waktu pelaksanaan perawatan beton kurang memadai, padahal temperatur udara di lokasi sangat panas disertai dengan angin yang cukup kencang. Dimana jika perawatan yang dilakukan tidak memadai, kekuatan beton rencana dapat tidak tercapai.

4. Lebar sambungan memanjang 5,5m, melebihi ketentuan untuk lebar sambungan memanjang $> 3\text{-}4\text{m}$. Dimana jika lebar sambungan memanjang melampaui ketentuan, dapat menyebabkan terjadinya tegangan tarik yang besar pada perkerasan beton pada waktu peristiwa *curling* ataupun *warping*.

5. Adanya pembebanan berlebih.
6. Kombinasi dari faktor 3, 4 dan 5 merupakan penyebab terjadinya retak memanjang pada perkerasan beton.

Karena ada dugaan penyebab retak memanjang disebabkan oleh beban berlebih, maka dicoba melakukan perhitungan tegangan yang terjadi akibat beban kendaraan (truk). Namun karena data beban lalu lintas yang sebenarnya di lapangan tidak dapat diperoleh, maka dicoba melakukan simulasi perhitungan tegangan. Simulasi dilakukan menggunakan program EverFe, dimana spesifikasi truk yang digunakan menggunakan data standar yang berlaku demikian juga dengan pembebanannya. Dalam simulasi ini harus diingat program EverFe tidak mengakomodir tegangan yang ditimbulkan oleh terjadinya curling, tetapi hanya tegangan akibat beban kendaraan semata.

Dari simulasi perhitungan tegangan, diperoleh hasil sbb.:

- Jika pembebanan dilakukan 1,5 kali lebih besar dari beban standar, tegangan yang terjadi ternyata masih jauh lebih rendah daripada kekuatan tarik lentur beton rencana.
- Ternyata tegangan yang lebih besar dari kekuatan tarik lentur beton rencana baru terjadi setelah pembebanan dinaikkan menjadi 3 kali dari beban standar.

Hasil simulasi tegangan dapat dilihat pada tabel 4, yang menunjukkan simulasi tegangan pada perkerasan beton akibat beban kendaraan. Ditunjukkan pula pada lampiran kondisi pembebanan pada sistem perkerasan beton.

Sangat disayangkan program ini tidak mengakomodir tegangan akibat curling, dan akibat lebar sambungan memanjang yang melebihi ketentuan (5,5 m).

Tabel 4 - Hasil simulasi tegangan pada perkerasan beton akibat beban kendaraan

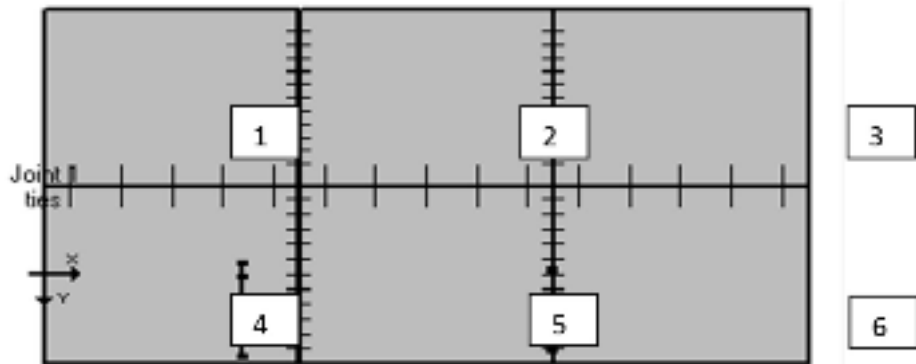
Kondisi	jenis kendaraan	sumbu	x (mm)	y (mm)	Beban sumbu (kN)							Nama File
					single wheel	single wheel axle	dual wheel axle	single wheel tandem	dual wheel tandem	multiple wheel tandem (air bag suspension)	total (kN)	
6	truk 2 as	sb. Depan	10,000	800	-	180	-	-	-	-	480	T2As-3mst2row-6
		sb. Blkg	3,900	800	-	-	300	-	-	-		
10	truk 3 as	sb. Depan	10,000	800	-	180	-	-	-	-	720	T3As-3mst2row-10
		sb. Blkg	3,450	800	-	-	-	-	540	-		
12	truk 3 as	sb. Depan	14,900	800	-	180	-	-	-	-	720	T3As-3mst2row-12
		sb. Blkg	8,350	800	-	-	-	-	540	-		
3	truk 6 as	sb. Depan 1	12,470	-2000	-	180	-	-	-	-	1680	T6As-3mst-3-2row
		Sb. Depan 2	9,100	-2000	-	-	-	-	600	-		
		sb. Blkg	2,110	-2000	-	-	-	-	600	-		
				-2000	-	-	300	-	-	-		

Kendaraan	kondisi	Smax (MPa)						Smin(MPa)					
		slab 1	slab 2	slab 3	slab 4	slab 5	slab 6	slab 1	slab 2	slab 3	slab 4	slab 5	slab 6
Truk 2 As	T2As-3mst2row-6	0.136	0.140	0.110	4.727	1.296	1.173	-0.130	-0.129	-0.097	-4.939	-2.597	-2.033
Truk 3 As	T3As-3mst2row-10	0.231	0.143	0.108	4.483	1.296	1.172	-0.203	-0.134	-0.095	-4.767	-2.597	-2.033
	T3As-3mst2row-12	0.064	0.183	0.262	0.144	4.478	2.544	-0.081	-0.179	-0.022	-0.134	-4.781	-2.689
Truk 6As	T6As-3mst-3-2row	4.636	2.826	1.613	4.787	2.888	1.462	-5.161	-3.141	-1.847	-5.180	-3.153	-1.763

Kondisi pembebanan pada sistem perkerasan beton:

TRUK 2 AS (3mst & 2row)

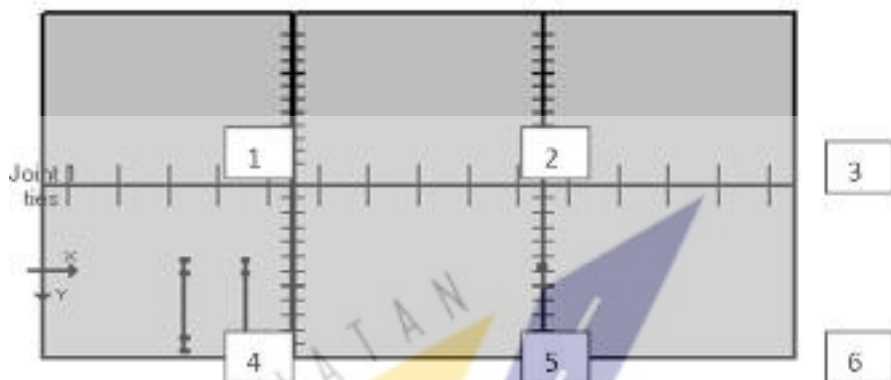
Smax dan Smin terjadi pada slab 4, pada kondisi pembebanan berikut:



Kondisi T2As-2mst2row-6

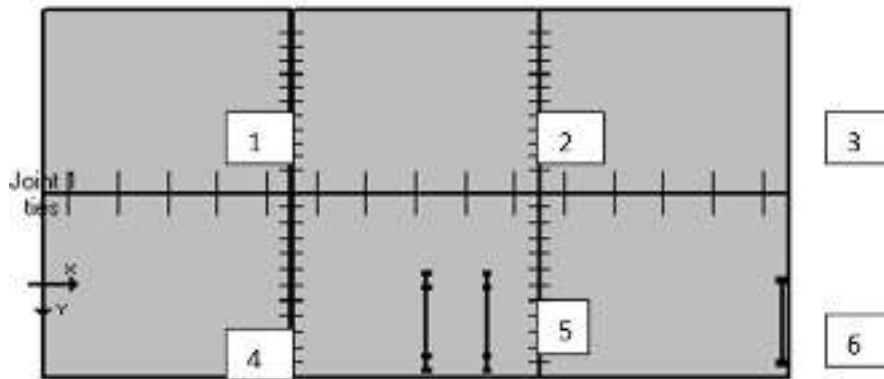
TRUK 3 AS (3mst & 2row)

Smax terjadi pada slab 4, pada kondisi pembebanan berikut:



Kondisi T3As-2mst2row-10

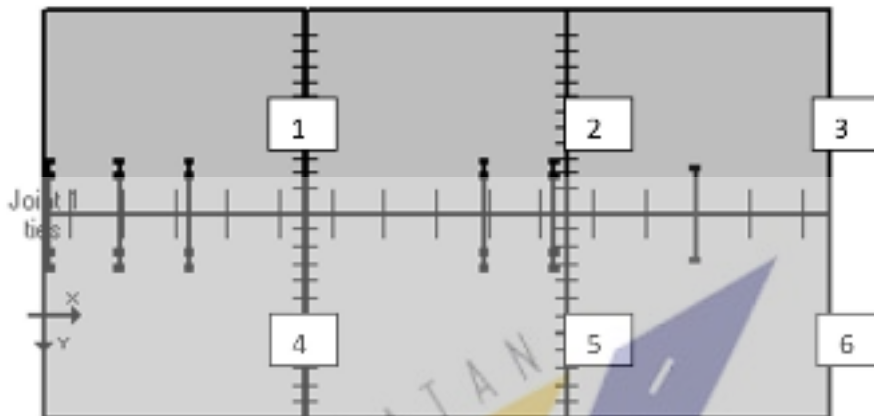
Smin terjadi pada slab 5, pada kondisi pembebanan berikut:



Kondisi T3As-2mst2row-12

TRUK 6 AS (2mst & 2row)

Smax dan Smin terjadi pada slab 4, pada kondisi pembebanan berikut:



Kondisi T6As-2mst-3-2row

6. Penutup

Dari kajian di atas dapat disimpulkan beberapa hal pokok sebagai berikut:

6.1 Kesimpulan

- Pemasangan panel beton pracetak prategang arah memanjang akan menghasilkan sambungan aktif yang lebih banyak, dibandingkan jika dipasang pada arah melintang. Sehingga titik lemah pada sistem perkerasan juga lebih banyak.
- Detail sambungan yang menggunakan slot yang terbuka ke atas lebih rentan terhadap kerusakan, karena beton akan langsung mengalami gesekan roda kendaraan.
- Detail sambungan tipe balok tidak mampu memberi perkuatan pada slot sambungan, meskipun diberi tulangan.
- Campuran beton yang anti susut dan mempunyai pelekatan yang baik dengan beton lama sulit dicapai.
- Lebar celah pada sambungan muai akan meningkat secara permanen seiring pertambahan waktu, dimana peningkatan lebar celah dapat menjadi 3 – 4 kali setelah 3 tahun.
- Bahan penutup sambungan yang berbahan dasar aspal lebih cepat mengeras dan menua di daerah yang beriklim panas. Sehingga pelekatannya pada dinding sambungan cepat terlepas, terutama jika lebar celah meningkat secara permanen seperti pada sambungan muai.
- Tanah timbunan yang tidak memenuhi persyaratan menjadi penyebab utama kerusakan panel-panel beton pracetak pada jalan tol Kanci – Pejagan. Sehingga perbaikan apapun yang dilakukan pada struktur perkerasan, besar kemungkinan tidak dapat memperbaiki panel-panel beton pracetak yang retak.

6.2 Saran

- Hindari pemasangan beton pracetak prategang arah memanjang. Jika lebar jalan tidak memungkinkan untuk pemasangan arah melintang sebaiknya lakukan dengan metode cor di tempat.
- Pada detail sambungan perkerasan pracetak, gunakan slot yang menangkap kebawah. Sehingga beton pada slotter sebut tidak langsung mengalami gesekan roda kendaraan yang melaluinya.
- Bahan penutup pada sambungan ekspansi harus dapat mengakomodir perubahan celah sambungan sebesar 3 – 4 kali dari lebar celah mula-mula.



DAFTAR PUSTAKA

1. Asep Tatang Dachlan, 2010 Laporan Naskah Ilmiah Monev Teknologi pemeliharaan Perkerasan Kaku
2. American Concrete Institute, ACI 3257-88: Recommendations for Designing Prestressed Concrete Pavements.
3. ACI 201-92," Guide for Making and Condition Survey of Concrete in Service"
4. ACI 224-R93 "Causes, Evaluation and Repair of Cracks in Concrete Structures"
5. David Croney cs, 1992. The Design and Performance Of Road Pavements. 2nd Edition, 1992):
6. David K. Meritt, B.Frank McCullough, Ned H Burns, and Anton K Schindler."The Feasibility of Using Precast Concrete Panels to Expedite Highway Pavement Construction" Research Report 1517-1,Federal Highway Administration (February, 2000 The University of Texas at Austin 3208 Red River, Suite 200 Austin, TX 78705-2650.
7. Federal Highway Administration (February, 2007). Precast Concrete Panel Systems for Full-Depth Pavement Repairs. Field Trials. Publication No. FHWA-HIF-07-019. Washington DC 20590.
8. Luh M. Chang, Yu-Tzu Chen, and Sangwook Lee (2004), Using Precast Concrete Panels for Pavement Construction in Indiana,FHWA/IN/JTRP-2003/26.
9. M. Shabbir Hossain, Ph.D., P.E., and Celik Ozyildirim, Ph.D., P.E., Use of Precast Slabs for Pavement Rehabilitation on I-66,FHWA/VCTIR 12-R9. Federal Highway Administration, Juni 2012.
10. Mark B. Snyder, Evolution of Concrete Pavement Design and Construction in The US over The Last 100 years, 50^o Congress Rorasileiro do Concreto-IBRACAN 2008.
12. Meritt D.K, RB. Rogers, and R.O Rasmussen, 2008. Construction of a Precast Prestressed Concrete Pavement Demonstration Project on Interstate 57 near Siketan, Missouri Draft report RD-08-xxxx, FHWA.US Dept of Transporth, Washington, D.C.
13. Shiraz Tayabji, Dan Ye, and Neeraj Buch. Precast Concrete Pavements: Technology review & technical consideration. PCI Journal 2013

Catatan:

