

ISSN 1411-1586

# Teodolita

JURNAL ILMU-ILMU TEKNIK

VOL. 17 NO. 1, Juni 2016

- ✍ **Audit Energi Di PT. Macanan Jaya Cemerlang** *Sugeng Santoso,  
Dody Wahjudi*
- ✍ **Perancangan Campuran Beton Mutu Tinggi** *F. Eddy Poerwodihardjo  
Iwan Rustendi*
- ✍ **Persepsi Remaja Terhadap Atribut Aksesibilitas Pada Setting Alun-alun Purwokerto** *Yohanes Wahyu Dwi Y*
- ✍ **Kongsan : Rumah Adat Kyai Kunci dan Bedogol Di Permukiman Komunitas Kejawan Bonokeling, Banyumas** *Wita Widyandini  
Yohana Nursruwening*
- ✍ **Analisa Kontinuitas Non-Linear Pra Cetak balok Girder Beton Prategang Dengan Lantai dan Diafragma Cor Di Tempat** *Reni Sulistyawati AM*
- ✍ **Faktor-faktor Yang Menyebabkan Keterlambatan Pada Pelaksanaan Proyek Konstruksi Di Karisidenan banyumas** *Taufik Dwi Laksono*

**UNIVERSITAS WIJAYAKUSUMA PURWOKERTO**

Teodolita

Vol. 17

NO. 1

Hlm. 1 - 45

ISSN  
1411-1586

Purwokerto  
Juni 2016

Diterbitkan oleh Fakultas Teknik Universitas Wijayakusuma Purwokerto

# JURNAL TEODOLITA

**VOL. 17 NO. 1, Juni 2016**

**ISSN 1411-1586**

## **HALAMAN REDAKSI**

Jurnal Teodolita adalah jurnal ilmiah fakultas teknik Universitas Wijayakusuma Purwokerto yang merupakan wadah informasi berupa hasil penelitian, studi literatur maupun karya ilmiah terkait. Jurnal Teodolita terbit 2 kali setahun pada bulan Juni dan Desember.

Penanggungjawab : Dekan Fakultas Teknik Universitas Wijayakusuma Purwokerto  
Pemimpin Redaksi : Taufik Dwi Laksono, ST MT  
Sekretaris : Dwi Sri Wiyanti, ST MT  
Bendahara : Basuki, ST MT  
Editor : Atiyah Barkah, ST MT  
Yohana Nursruwening, ST MT  
Tim Reviewer : Iwan Rustendi, ST MT (Sipil, Unwiku Purwokerto)  
Romigildus Cornelis, ST MT (Sipil, Univ. Cendana Kupang)  
Sulfah Anjarwati, ST MT (Sipil, Univ. Muhammadiyah Purwokerto)  
Taufik Dwi Laksono, ST MT (Sipil, Unwiku Purwokerto)  
Kholistianingsih, ST M.Eng (Elektro, Unwiku Purwokerto)  
Priyono Yulianto, ST MT (Elektro, Unwiku Purwokerto)  
Ain Sahara, ST M.Eng (Sekolah Tinggi Teknologi Migas Balikpapan)  
Wita Widyandini, ST MT (Arsitektur, Unwiku Purwokerto)  
Dwi Jati Lestariningsih, ST MT (Arsitektur, Unwiku Purwokerto)  
Eka Widiyananto, ST MT (Arsitektur, Sekolah Tinggi Teknik Cirebon)  
Sirkulasi&Distribusi : Trio Sugiharso, ST  
Alamat Redaksi : Sekretariat Jurnal Teodolita  
Fakultas Teknik Universitas Wijayakusuma Purwokerto  
Karangsalam-Beji Purwokerto  
Telp 0281 633629  
Email : teodolitaunwiku@yahoo.com

Tim Redaksi berhak untuk memutuskan menyangkut kelayakan tulisan ilmiah yang dikirim oleh penulis. Naskah yang di muat merupakan tanggungjawab penulis sepenuhnya dan tidak berkaitan dengan Tim Redaksi.

# **PENGANTAR REDAKSI**

Edisi Juni 2016 memuat materi yang membahas tentang ilmu-ilmu teknik seperti campuran beton, analisa keterlambatan proyek, analisa beton prategang, dan beberapa artikel lagi. Pembahasan yang diberikan diharapkan dapat menambah wawasan bagi siapa saja yang membacanya.

Kontribusi makalah dari berbagai pihak baik di dalam lingkungan kampus maupun di luar lingkungan kampus sangat redaksi harapkan agar dapat memberikan pengetahuan tentang perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang ada.

Akhir kata redaksi mengharapkan peran serta seluruh komponen untuk dapat menjadi pemakalah pada jurnal teodolita pada edisi Desember 2016..

**REDAKSI**

# JURNAL TEODOLITA

VOL. 17 NO. 1, Juni 2016

ISSN 1411-1586

## DAFTAR ISI

|                                                                                                                                 |                |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| <b>Audit Energi Di PT. Macanan Jaya Cemerlang.....</b>                                                                          | <b>1 - 8</b>   |
| <i>Sugeng Santoso, Dody Wahjudi</i>                                                                                             |                |
| <b>Perancangan Campuran Beton Mutu Tinggi .....</b>                                                                             | <b>9 - 14</b>  |
| <i>F. Eddy Poerwodihardjo, Iwan Rustendi</i>                                                                                    |                |
| <b>Persepsi Remaja Terhadap Atribut Aksesibilitas Pada Setting<br/>Alun-alun Purwokerto .....</b>                               | <b>15 - 20</b> |
| <i>Yohanes Wahyu Dwi Y</i>                                                                                                      |                |
| <b>Kongsan : Rumah Adat Kyai Kunci dan Bedogol Di Permukiman<br/>Komunitas Kejawen Bonokeling, Banyumas .....</b>               | <b>21 - 27</b> |
| <i>Wita Widyandini, Yohana Nursruwening</i>                                                                                     |                |
| <b>Analisa Kontinuitas Non-Linear Pra Cetak balok Girder Beton<br/>Prategang Dengan Lantai dan Diafragma Cor Di Tempat.....</b> | <b>28 - 38</b> |
| <i>Reni Sulistyawati AM</i>                                                                                                     |                |
| <b>Faktor-faktor Yang Menyebabkan Keterlambatan Pada Pelaksanaan<br/>Proyek Konstruksi Di Karisidenan banyumas .....</b>        | <b>39 - 45</b> |
| <i>Taufik Dwi Laksono</i>                                                                                                       |                |

# NONLINIER CONTINUITY ANALYSIS OF PRECAST, PRESTRESSED CONCRETE GIRDERS WITH CAST-IN-PLACE DECKS AND DIAPHRAGMS

## ANALISA KONTINUITAS NON-LINIER PRACETAK-BALOK GIRDER BETON PRATEGANG DENGAN LANTAI DAN DIAFRAGMA COR DI TEMPAT

Reni Sulistyawati AM,  
Staf Pengajar Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Wijayakusuma Purwokerto  
reni\_sam\_arena@yahoo.co.id

### ABSTRACT

*An analytical study was carried out to determine whether and show much the performance of continuity connections for precast, prestressed concrete girders with cast-in-place decks is affected by positive moment reinforcement in continuity diaphragms. A flexibility-based analytical tool is developed that predicts time-dependent restraint moments and the effectiveness of the continuity connection under service live loads. The model considers the different nonlinear stress-strain responses of the continuity diaphragm and the girder/deck composite sections, and the change in the stiffness of the structure under time-dependent effects. The study confirms previous findings that total midspan moments are virtually independent of the amount of positive moment reinforcement provided. This, however, does not mean that positive moment connections are unnecessary. Cracking of the diaphragm in the absence of such connections significantly reduces the effectiveness of continuity for service live loads and may raise durability concerns. Based on the analytical results to date, a minimum amount of positive moment reinforcement is recommended to avoid a significant loss of continuity and control cracking of the diaphragm under service load.*

### ABSTRAK

Penelitian Analisis dilakukan untuk menentukan dan mengetahui kinerja dari Sambungan menerus pada Beton Pracetak-Balok Girder Beton Prategang dengan lantai yang dicor di tempat, dengan adanya penulangan momen positif pada diafragma menerus. Dengan bantuan analisis yang berdasarkan fleksibilitas dapat diperkirakan momen tahanan terhadap waktu dan efektifitas sambungan menerus pada saat pelayanan beban hidup.

Pemodelan mencakup respon beda nonlinier tegangan-regangan diafragma menerus dan balok-lantai dengan penampang komposit dan perubahan kekakuan akibat pengaruh waktu.

Penelitian ini mengkonfirmasi penemuan-penemuan yang lalu bahwa total momen pada tengah bentang sangat tergantung secara "Virtual" dengan jumlah tulangan momen positif yang digunakan. Hal ini, bagaimanapun tidak berarti bahwa momen positif pada sambungan tidak penting. Retak pada diafragma akibat adanya sambungan mereduksi secara menyolok efektivitas kontinuitas untuk pelayanan beban hidup, dan menimbulkan permasalahan ketahanan.

Berdasarkan hasil analisa ini, jumlah minimum tulangan momen positif direkomendasikan untuk menghindari kehilangan yang berarti dari kontinuitas dan untuk mengontrol keretakan pada diafragma pada saat beban layan.

Kata-kata Kunci / Key words : Sambungan menerus, balok girder beton prategang, kinerja sambungan pracetak

### PENDAHULUAN

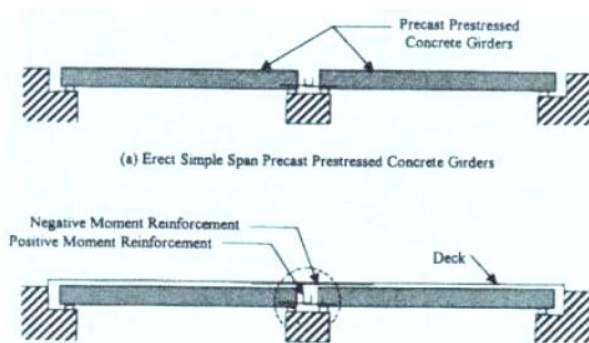
Kontinuitas pada jembatan beton bertulang prategang mempunyai beberapa keuntungan, menghasilkan redaman pada kondisi kelebihan beban dan situasi ekstrim, meninggikan kerataan permukaan jalan dan meningkatkan ketahanan jembatan dengan mengurangi sambungan pada dukungan.

Juga meningkatkan perilaku struktural, yang dapat mengurangi biaya dengan menambah panjang bentang atau jarak antar girder.

Kontinuitas dari balok girder pracetak dapat dicapai dengan menempatkan tulangan menerus pada lantai melintasi pier dan beton diafragma diantara ujung balok pada dukungan interior, jenis sambungan ini bertahun-tahun telah berhasil digunakan pada beberapa negara bagian.

Gambar 1. Menunjukkan urutan konstruksi, balok berlaku sebagai elemen tumpuan sederhana pada beban mati, sebelum sambungan menerus dicor. Begitu sambungan diafragma menerus dan lantai dicor, penampang komposit balok-lantai akan

mendukung beban hidup dan beban mati secara struktur menerus.



Gambar 1. Sambungan menerus pada jembatan beton prategang

Efek waktu jangka panjang seperti, rayapan “creep” susut, dan peningkatan temperatur menyebabkan momen tahapan pada sambungan menerus. Sambungan menerus menyebabkan terjadinya momen positif dan momen negatif. Penulangan yang digunakan atau ditempatkan pada lantai melintasi dukungan untuk menahan momen negatif. Momen positif, tulangan diperpanjang dari ujung balok menuju diafragma. Penelitian dalam 40 tahun terakhir :

1. Pertengahan 1990-an the Indian DOT mensponsori penelitian pada Purdue University untuk mengevaluasi momen tahanan pada pracetak, jembatan beton prategang. Enam benda uji dengan 2 bentang jembatan dites, tiga dengan tipe I, balok AASHTO, satu dengan 27 in (686 mm) box girder dan dengan 6 in (153 mm) panel. Kabel dibelokkan dan ditanam pada diafragma menerus untuk semua contoh benda uji. Penelitian ini menunjukkan bahwa tidak satupun antara CTL maupun metode PCA yang mampu menghasilkan perkiraan akurat dari momen tahanan. Maka dibuat metode desain empiris yang menyangkut panjang serta kekakuan relatif diafragma.
2. Penelitian di University of Nebraska, Omaha pada pertengahan 1990, mengungkapkan beberapa metode yang berbeda untuk membuat kontinuitas menggunakan balok tipe Nebraska NU. Dapat disimpulkan bahwa tahapan konstruksi dapat menimbulkan efek yang cukup besar pada momen tahapan positif, direkomendasikan bahwa diafragma menerus dicor sebelum lantainya, lantai dicor dalam waktu 230 hari untuk menghindari retak. Juga disarankan bahwa bila diafragma dicor dulu momen negatif pada sambungan akan timbul

pada antara balok, untuk mencegah retak dan pelepasan pada sambungan antara diafragma dan lantai. Penelitian selanjutnya mengidentifikasi bila lantai dan diafragma dicor bersamaan, maka sambungan tanpa ikatan digunakan diantara diafragma dan balok untuk memberikan rotasi ujung pada balok akibat berat lantai.

3. Di Inggris. Clark dan Sugie pada akhir 1990-an menyelidiki sambungan momen positif dan negatif dari balok pracetak. Mereka menyarankan daripada menghitung efek rayapan dan susut, maka sambungan sebaiknya didesain untuk momen positif sebesar 550 Kip-ft (750 kN-m) untuk bentang 65 ft hingga 120 ft (20-36 m) dimana balok tingginya tidak lebih dari 42 in (1,1 m). Untuk balok yang kecil mereka menyarankan untuk merencanakan momen positif 450 Kip-ft (600 kNm).
4. Rabbat dan Aswad, pada awal 1990, mengulas peraturan detail dari diafragma menerus yang digunakan di Tennessee dan tempat lainnya, yang dibentuk dengan metode PCI, mereka menunjukkan bahwa detail ini menimbulkan momen positif pada tulangan antara 1,19 hingga 1,7 kali  $M_{cr}$ , dimana  $M_{cr}$  adalah momen retak pada beton diafragma dengan tampang melintang dari komposit balok dan lantai. Maka sebagai pendekatan yang mudah mereka menggunakan 1,2  $M_{cr}$  sebagai penulangan momen positif minimum pada diafragma menerus. Tidak perlu ada analisis momen tahanan akibat dari efek waktu jangka panjang.

Dari penelitian-penelitian terdahulu belum menjawab pertanyaan cara merencanakan penulangan momen negatif untuk membuat balok menerus, dan terdapat dua hal penting berkaitan sambungan momen positif :

- a. Berapa banyak tulangan momen positif yang harus digunakan untuk membuat diafragma menerus.
- b. Bila diperlukan berapa besar momen tahanan yang terbentuk dari efek waktu jangka panjang, dan seberapa jauh efektifitas sambungan menjaga kontinuitas pada beban layan.

## ANALISIS MONDEL

Untuk mengevaluasi hal-hal tersebut diatas dibuat suatu analisa berdasar fleksibilitas yang digunakan untuk memprediksi efek waktu jangka panjang pada pracetak balok beton prategang agar menjadi balok menerus. Penelitian tersebut meliputi efek rayapan, susut, kehilangan prategang, umur

pada saat dibebani dan urutan pelaksanaan. Juga diperhatikan adanya efek waktu jangka panjang pada respon tegangan nonlinier dari material serta perubahan kekakuan.

Analisa ini dapat digunakan untuk memeriksa momen tahanan sebagai fungsi penulangan positif atau negatif pada sambungan menerus dan panjang diafragma. Juga dapat digunakan untuk mengevaluasi efektivitas sambungan, tetap dalam kondisi menerus meskipun retak tetap terjadi akibat efek waktu jangka panjang.

### Efek Waktu Jangka Panjang

Efek waktu jangka panjang pada jembatan beton prategang termasuk rayapan dan susut beton, relaksasi baja serta kenaikan kuat tekan beton akibat umur beton. Efek suhu mungkin juga menyebabkan momen tahanan pada jembatan, tetapi tidak dibicarakan pada penelitian ini.

Rangka beton diakibatkan dari beton prategang tertinggal dan beban mati dari jembatan. Balok dengan tumpuan sederhana tidak mengalami momen tahanan. Pada balok menerus, rangkai akibat deformasi akan diredam pada sambungan menerus.

$$\Delta M_{si} = \Delta \epsilon_{si} E_{di} A_d \left( e'_2 + \frac{t}{2} \right),$$

untuk umur slab  $\leq 28$  hari ... .. (1)

$$\Delta M_{si} = \frac{\Delta \epsilon_{si} E_{di} A_d}{1 + \frac{E_{di} A_d}{E_g A_g}} \left( e'_2 + \frac{t}{2} \right),$$

untuk umur slab  $\leq 28$  hari ... .. (2)

Dengan :

$\Delta \epsilon_{si}$  = peningkatan bertahap dari regangan susut

$A_d$  = luas tampang deck

$A_g$  = luas tampang girder

$E'_2$  = jarak dari pusat komposit kebawah slab

$t$  = tebal slab

$E_{di}$  = modulus elastisitas slab ( dalam waktu  $t_i$  )

$E_g$  = modulus elastisitas girder

Selanjutnya penulangan lantai juga dapat menahan susut pada lantai. Hal ini memperhitungkan efek faktor dischinger, yang dikalikan dengan regangan susut setiap tahap.

Pada penelitian ini, baik rangkai dan regangan susut diestimasi menggunakan metode ACI 209 termasuk faktor koreksi terhadap kelembaban relatif,

ratio antar volume dan luas permukaan dan umur pada saat pembebanan. Penelitian ini juga menggunakan persamaan umum dari ACI 209 untuk memperkirakan kenaikan kuat tekan beton oleh waktu.

Mattock menyarankan bahwa momen tahanan susut dan rangkai harus dikalikan dengan faktor efek rangkai  $(1 - e^{-\phi}) / \phi$  dan  $(1 - e^{-\phi})$ , dimana  $\phi$  adalah koefisien rangkai tiap tahap.

- Koefisien rangkai ultimit dari beberapa tipe jembatan beton prategang pada umumnya berkisar antara 1,5-2,5
- Koefisien rangkai adalah 0,78-0,98
- Koefisien susut antara 0,52-0,37

Relaksasi berlanjut sampai waktu yang tidak terbatas meskipun nilainya berkurang sesuai tahap waktu. Kehilangan tegangan akibat relaksasi sebelum tegangan transfer dan perpendekan elastis dari balok pada saat transfer dihitung menggunakan koefisien yang akurat dari tipe kabel “ stress-relieved” dan “ low- relaxation”

Penelitian mengikuti prosedur dari PCI Committee untuk mengestimasi kehilangan prategang, tetapi juga menggunakan faktor koreksi dari ACI 209 untuk umur pembebanan, kelembaban relatif dan rasio volume dan luas permukaan. Kehilangan prategang dihitung dari saat transfer menggunakan analisa “time-step”. Untuk tiap tahap kehilangan akibat rangkai, susut dan relaksasi mengambil data dari analisa “time-step” yang sudah ada untuk prategang, yang digunakan untuk memprediksi kehilangan prategang pada “time-step”

Kehilangan prategang akibat rangkai dihitung dengan mengalikan koefisien rangkai dari bahan dengan rasio modulus elastisitas baja prategang dan beton. Kehilangan prategang akibat susut didapat dari perkalian perubahan regangan susut dengan modulus elastisitas baja. Kehilangan prategang akibat relaksasi didapat dari data yang ada dari “time-step” perilaku kabel prategang. Penambahan prategang pada kabel akibat berat sendiri lantai dihitung pada saat lantai dicor. Penambahan tersebut sebanding dengan penambahan tegangan beton pada titik letak kabel dikalikan dengan rasio modulus.

### Analisa Kelengkungan dan Momen

Untuk menganalisa fleksibilitas dibutuhkan hubungan momen dan kelengkungan dari tampang balok dan lantai dan tampang diafragma menerus. Program RESPONSE yang dibuat oleh Collins dan Mitchell digunakan untuk maksud ini.

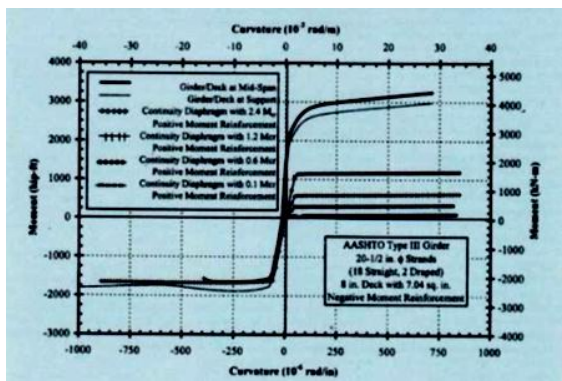
Program RESPONSE dibuat untuk menentukan hubungan momen dan kelengkungan beton prategang atau penampang beton bertulang akibat momen, beban



aksial dan geser. Program ini mempunyai pilihan model hingga lima tipe baja prategang dengan menggunakan fungsi Ramberg Osgood untuk respon tegangan- regangan.

Diagram tipikal momen dan kelengkungan terlihat pada gambar 2. Untuk 3 bentuk tampang yang berbeda sepanjang jembatan, dengan membandingkan Balok tipe III AASHTO dengan kabel prategang lintasan lurus dan lintasan miring, garis tebal dan garis tipis memperlihatkan hubungan kelengkungan dengan momen untuk tengah bentang dan bagian ujung berturutan, dimana masing-masing letak kabel prategangnya pada titik terendah dan titik tertinggi.

Hubungan momen kelengkungan untuk diafragma dari beton bertulang konvensional terlihat untuk 4 jenis penulangan momen positif yang senilai 0,1 , 0,6, 1,2 dan 2,4 kali  $M_{cr}$  ( momen retak ). Tulangan pada sambungan momen positif diasumsikan akan sangat efektif sepanjang diafragma. Asumsi ini akan dievaluasi dalam tahap eksperimen dari penelitian ini. Pada keempat kasus ini, terdapat jumlah tulangan yang sama pada lantai untuk menahan momen negatif rencana. Permodelan dari lebar efektif diafragma akan dibicarakan lebih detail dalam tulisan ini. Dalam analisa tidak termasuk pengakuan akibat tarik.



Gambar 2 Diagram tipikal kurva momen girder/dek dan diafragma

### Metode Fleksibilitas untuk Analisa efek Waktu Jangka Panjang

Metode PCA dan CTL (Bridge RM) keduanya menggunakan faktor momen distribusi untuk memperhitungkan momen tahanan, dengan asumsi kekakuan pada jembatan konstan. Bagaimanapun seperti yang tampak pada gambar 2 kekakuan sepanjang jembatan (dan khususnya yang melintasi tumpuan) tidak seragam, hal ini terutama disebabkan oleh perbedaan kekakuan beton dan jumlah serta tipe penulangan. Serta perilaku nonlinier seperti retak pada

diafragma menerus dan lantai, kekakuannya akan terus berkurang pada lokasi tersebut sepanjang jembatan pada beban hidup dan efek waktu jangka panjang. Perubahan kekakuan sepanjang jembatan ini disebabkan oleh distribusi momen,

Penelitian ini dalam hal tersebut (distribusi momen) menggunakan analisa fleksibilitas, yang membedakan dua modus yaitu analisa waktu jangka panjang dan analisa beban hidup menerus pada setiap saat begitu kesatuan terbentuk.

Analisa ini menunjukkan peningkatan tiap-tiap tahapan waktu. Tiap bentang dan diafragma dibagi dalam segmen-segmen. Momen akibat efek perbedaan susut dan rangkai dari prategang diasumsikan konstan pada bentang nol pada diafragma. Momen akibat efek rangkai pada beban mati adalah parabolis pada bentang dan nol pada diafragma.

Analisa fleksibilitas dilaksanakan menggunakan raksi tumpuan interior sebagai panahan yang dipakai sebagai hal yang menentukan dalam struktur. Total momen tiap bagian dihitung dengan menambah momen karena efek waktu jangka panjang (misal rangkai dari prategang dan beban mati dan perbedaan susut), momen akibat beban mati pada bagian komposit di bentang dan momen akibat asumsi reaksi penahan pada dukungan interior,

Begitu momen total didapat pada tiap bagian, program akan mendapatkan kelengkungan dari hubungan momen kelengkungan yang sesuai. Kelengkungan antara bagian ujung dari balok pracetak dan titik belok kabel didapat dengan interpolasi diantara respon bagian ujung dan tengah batang. Prosedur ini dilaksanakan untuk tiap bagian sepanjang bentang dan diafragma untuk mendapatkan kelengkungan tiap tahap.

Defleksi pada tumpuan interior kemudian dihitung dengan metode luas momen menggunakan diagram kelengkungan. Program akan mengiterasi pada dukungan interior untuk mengeliminasi,

Metode analisis fleksibilitas yang sama akan digunakan seperti yang telah dijelaskan dimuka, kecuali momen beban hidup dan kelengkungan, ditambahkan pada beban mati yang terkait dengan momen akibat efek waktu jangka panjang, dan kelengkungan tahap akhir dari analisa efek waktu jangka panjang. Beban hidup digunakan secara Indeks kontinuitas didapat dan dihitung sebagai rasio dari momen beban hidup pada tumpuan tengah (atau tengah bentang) didapat dari analisa nonlinier yang



terkait momen elastis pada lokasi itu dengan asumsi kontinuitas penuh. Index (1) artinya kontinuitas penuh, index ( $<1$ ) pada tumpuan interior, defleksi pada dukungan. Momen yang didapat pada diafragma adalah momen tahap pada dukungan interior.

### Analisa Beban Hidup Menerus dengan Metode Fleksibilitas

Dalam menentukan tingkat kontinuitas untuk beban hidup, modul kedua dibentuk bersama-sama analisa akibat waktu jangka panjang. Pada umur beton tertentu, beban hidup yang digunakan dalam bentuk beban dua titik yang sama bekerja pada tiap bentang pada dua bentang jembatan. Tipe pembebanan ini dapat dipilih untuk membandingkan dengan tes PCA dan lainnya. Beban hidup kemudian dinormalisasikan dengan beban hidup ekuivalen, yang akan membentuk momen setara beban HS-20 dengan faktor impak yang sesuai dan faktor distribusi.

Meningkat hingga kelengkungan maksimum pada balok atau lantai sepanjang jembatan atau bagian diafragma secara berlebihan dimana kegagalan dimulai. Program ini menghitung momen beban hidup di dukung interior dan tengah bentang dan membandingkan dengan teori momen elastis terkait pada asumsi konstinuitas penuh.

Dan ( $>1$ ) pada tengah bentang. Ini mengidentifikasi redistribusi momen sebagai perubahan kekakuan relatif dari diafragma dan bentangan pada momen positif dan negatif. Index kontinuitas didapat untuk berbagai tingkatan dari beban hidup hingga keruntuhan.

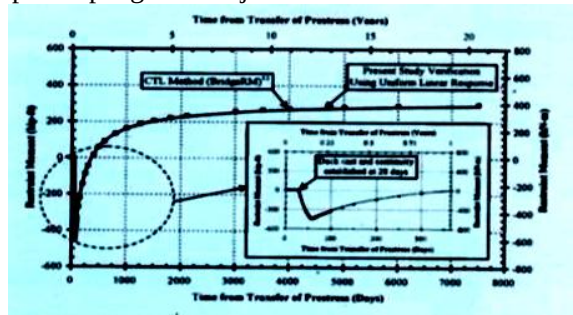
### VERIFIKASI

Untuk memverifikasikan keakurasian dari metode analisa momen, hasilnya pertama-tama dibandingkan dengan model elastis linier seperti metode Constuction Technology Laboratories CTL (Bridge RM) dengan mengabaikan efek dari perbedaan kekakuan diafragma dan bagian balok-lantai dan keretakannya masing-masing. Untuk verifikasi ini, diasumsikan keseragaman yang sama pada hubungan kelengkungan momen linier tiap bagian.

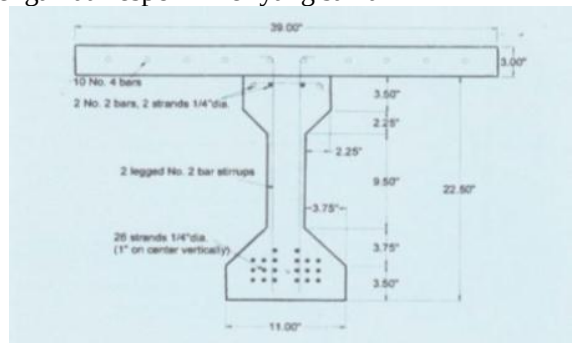
1. Dua bentangan jembatan dengan balok tipe III AASHTO, sepanjang 6,5 ft. (19,8 m), tiap-tiap balok berjarak 8 ft. (2,4), diafragma menerus 2 ft. (0,6m), lantai komposit setebal 8 in (203 mm) cor ditempat. Penulangan negatif pada lantai dan prategang pada balok direncanakan berdasarkan standar spesifikasi AASHTO, 18 kabel lurus

digunakan dengan titik pusat efektifitas pada 3,9 in (99mm) dari bawah balok. Dua kabel lengkung/miring pada bagianujung ditempatkan 43 in (1,1 m) dari sisi bawah balok, dan 5 in (127 mm) dari bawah. Koefisien rangkai ultimit dari beton diasumsikan 2,3 dan ultimit regangan diambil 600 mikro strain (0,006) untuk balok beton dan lantai. Gambar 3. mengkonfirmasi bahwa pendekatan metoda analisis asymptotical yang digunakan pada metode CTL adalah respon seragam elastis linier berlaku sepanjang jembatan.

2. Verifikasi tambahan dilakukan pada test Portland Cement Association (PCA) untuk 2 benda uji balok I dengan  $\frac{1}{2}$ , tiap balok mempunyai panjang bentang 33 ft (10 m) dan ditegangkan dengan kabel seven wire lurus 28x1/4 in (6,4 mm) dengan tipe stress relieved dan gaya prategang awal (initial)  $P_i = 175$  kips (778 KN). Gambar 4 memperlihatkan penampang benda uji.



Gambar 3 Perbandingan metode CTL dengan mengamati respon linier yang sama



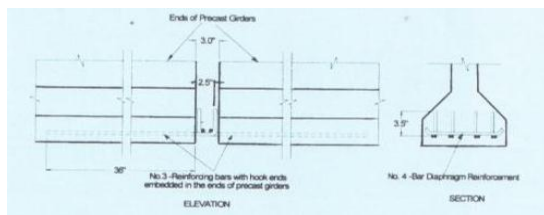
Gambar 4 Penampang benda uji

Satu benda uji (balok  $\frac{3}{4}$ ) menggunakan sambungan momen positif dengan 4 baja tulangan no. 3 dengan tekukan ujung dari balok (lihat Gb. 5) seperti terlihat pada gambar, baja tulangan overlap pada diafragma. Benda uji lainnya (balok  $\frac{1}{2}$ ) tidak ada penulangan (momen) positif pada diafragma. Balok dicor pada saat kabel telah ditengkan (momen) positif

pada diagram. Balok dicor pada saat kabel telah ditegangkan ( “pretension”) dan gaya prategang dilepas setelah hari ke sembilan setelah penarikan.

Balok dibebani dengan 800 lb (3,56) balok beton pada jarak antara 3ft. (0,9 m) untuk mengkompensasi berat yang kurang dari model berskala  $\frac{1}{2}$  . Untuk kedua benda uji, lantai dicor bersama-sama dengan 3 in (76 mm) diafragma menerus pada saat balok berumur 28 hari. Perancah dibuka pada saat balok berumur 38 hari, kedua pengukuran jangka panjang dan test selang seling dilakukan.

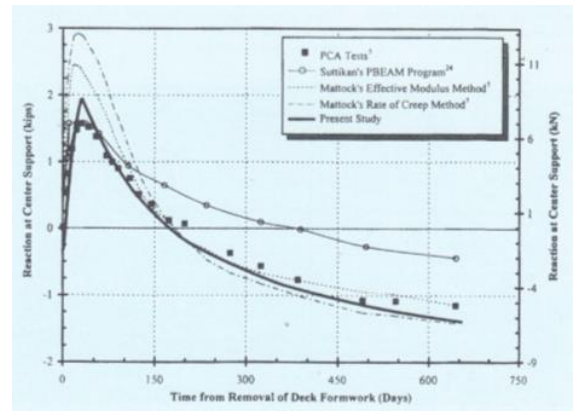
Hubungan momen kelengkungan untuk bagian balok dan lantai serta diafragma ditentukan menggunakan program RESPONSE. Bagian diafragma dimodelkan sebagai tampang T dengan sayap sama dengan lebar bagian bawah balok. Tabel 1. Meringkas pengukuran dan data-data yang diasumsikan dari tes PCA.



Gambar 5 Sambungan momen positive pada PCA5 Girder 3/4

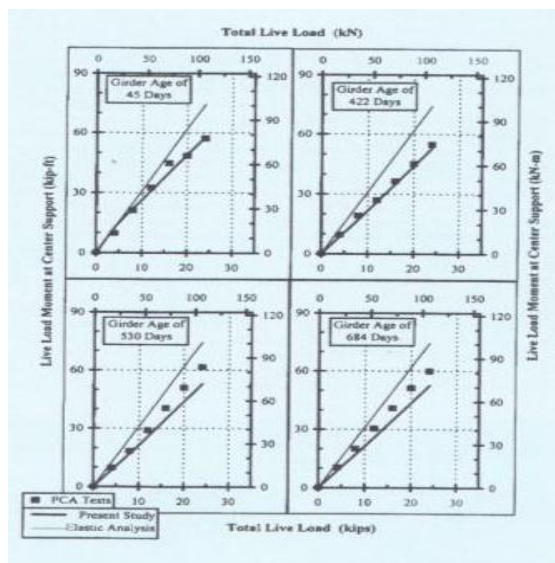
Tabel 1 Data digunakan untuk tes PCA

| Material                                               | Data measured by PCA <sup>a</sup>                                                                                                                                  | Data assumed by Sutti <sup>a</sup>                                                                   |
|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Prestressing steel                                     | $F_{max} = 175 \text{ kips (778 kN)}$<br>$f_{pu} = 280 \text{ ksi (1930 MPa)}$<br>$f_{py} = 254 \text{ ksi (1751 MPa)}$<br>$E_s = 28,700 \text{ ksi (198000 MPa)}$ | Modified Ramberg-Osgood stress-strain function for stress-relieved strands                           |
| Negative moment reinforcement                          | $f_y = 48.5 \text{ ksi (334 MPa)}$                                                                                                                                 | $E_s = 29,500 \text{ ksi (203400 MPa)}$ and elastic-perfectly-plastic behavior                       |
| Positive moment reinforcement                          | $f_y = 50 \text{ ksi (345 MPa)}$                                                                                                                                   |                                                                                                      |
| Girder concrete                                        | Moist cured, Type III cement (5.2 bags per cubic yard)<br>$f'_{ci} = 5.45 \text{ ksi (37.6 MPa)}$                                                                  | 150 lb/ft <sup>3</sup> (2403 kg/m <sup>3</sup> ) unit weight<br>$E_c = 33 \times 10^3 f'_{ci}^{1.5}$ |
| Deck and continuity diaphragm concrete                 | Moist cured, Type III cement (5.2 bags per cubic yard)<br>$f'_{cs} = 4.82 \text{ ksi (33.4 MPa)}$                                                                  | ACI 209 time and loading age factors<br>High strength stress-strain curve                            |
| Relative humidity                                      | —                                                                                                                                                                  | 70 percent                                                                                           |
| Ultimate creep coefficient in girder and deck concrete | —                                                                                                                                                                  | 2.197                                                                                                |
| Ultimate shrinkage strain in girder concrete           | —                                                                                                                                                                  | 667.3 micro-strains                                                                                  |
| Ultimate shrinkage strain in deck concrete             | —                                                                                                                                                                  | 640.4 micro-strains                                                                                  |



Gambar 6 Variasi waktu jangka panjang dari reaksi tumpuan tengah untuk PCA5 Girder 3/4

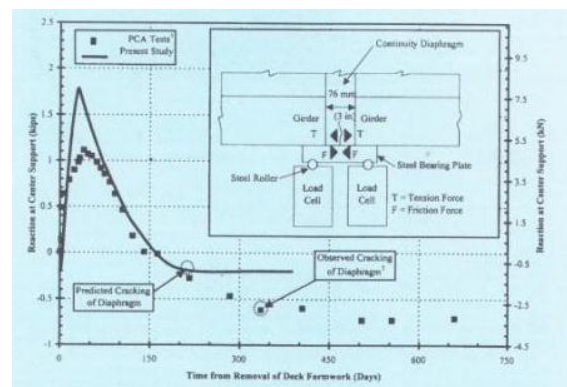
Gambar 6. Memperlihatkan data test pada reaksi tengah-tengah tumpuan akibat waktu jangka panjang hingga 680 hari dari sejak perancah lantai dilepas. Untuk pembandingan gambar yang sama diperlihatkan hasil analisis dari penelitian, program PBEAM, metoda tingkat rangkai dan metoda modulus efektif. Dapat terlihat bahwa analisa fleksibel nonlinier mendekati data test dibanding analisa model lain. Penelitian ini terlalu berlebihan mengistimewakan efek perbedaan susut pada usia awal karena rangkai yang diasumsikan pada tiap elemen balok dan lantai sama. Penelitian ini juga memprediksi gaya angkat awal begitu perancah lantai dibuka, karena asumsi bahwa kontinuitas telah terjadi begitu diafragma di cor. Bagaimanapun susut yang berbeda terjadi pada saat perancah dibuka. Kontinuitas pada balok  $\frac{3}{4}$  dites pada usia yang berbeda menggunakan beban titik pada tengah setiap bentang. Gambar 7 memperlihatkan data tes PCA pada umur 45, 422,530, dan 684 hari. Penelitian ini dan teori berdasarkan asumsi kontinuitas penuh juga piplotkan pada gambar (diagram) untuk pembandingan, tercetak hasil yang cukup baik dengan hasil tes. Eksperimen dan penelitian ini keduanya mengidikasikan bahwa diafragma menghasilkan kontinuitas penuh, meskipun pada tahap awal sekalipun. Lebih lagi efektivitas dari kontinuitas berkurang dengan berjalannya waktu. Catatan bagaimanapun penelitian ini menilai terlalu rendah tingkat kontinuitas pada usia lanjut. Hal ini disebabkan bagian dari sifat gesekan pada bering pad yang tidak diperhitungkan dari analisa, seperti yang didiskusikan dibawah ini untuk balok  $\frac{1}{2}$  dengan tanpa tulangan sambungan momen positif.



Gambar 7 Variasi dari reaksi tumpuan tengah akibat beban hidup untuk PCA5 Girder 3/4

Pengukuran efek waktu jangka panjang bervariasi akibat reaksi pusat dukungan, untuk balok  $\frac{1}{2}$  dibandingkan hasil penelitian pada gambar 8. Tes memperlihatkan bahwa diafragma retak pada hari 330 setelah perancah dilepas. Penelitian ini juga memprediksi retak dari diafragma, tetapi pada saat awal seperti yang telah ditandai dalam gambar. Hal ini dapat dijelaskan dengan referensi yang dimasukkan pada Gambar 8.

Momen tahanan (resistant moment) menghasilkan gaya tarik pada sisi bawah diafragma. Ketika gaya tarik ini melebihi kuat tarik (misal pada modulus keruntuhan) dari beton tanpa tulangan, diafragma akan retak. Begitu retak, maka momen tahanan akan tetap konstan hingga kelengkungan ultimit dari diafragma tercapai. Pada eksperimen, bagaimanapun Steel bearing plat digunakan dibawah diafragma dan pada kedua ujung balok. Gesekan antara plat dan beton menghasilkan tahanan tambahan untuk gaya tarik dan mungkin memperlambat retak. Penelitian ini tidak memperhatikan gaya gesek ini dan juga memprediksi retak pada tahap awal dan dengan pengurangan reaksi gaya angkat. Sebagai tambahan tes PCA, penelitian ini membandingkan dengan cukup baik hasil tes yang didapatkan dari Purdue University. Perbandingan yang disajikan dari referensi 25, untuk singkatannya pada tulisan ini tidak disajikan ulang. Bagaimanapun verifikasi tambahan direncanakan untuk eksperimen skala penuh pada University of Cincinnati.



Gambar 8 Variasi waktu jangka panjang dari reaksi pusat tumpuan untuk PCA5 Girder  $\frac{1}{2}$

## PARAMETER PENELITIAN

Parameter penelitian yang sama dilaksanakan untuk dua bentang jembatan dengan balok tipe III AASHTO yang telah dijelaskan di depan untuk dibandingkan dengan metode CTL. Penelitian menitik beratkan pada jumlah tulangan momen positif pada diafragma menerus, lebar efektif diafragma, umur balok pada saat kontinuitas dan usia balok pada saat uji beban hidup.

### 1. Momen Tahanan akibat Efek Waktu Jangka Panjang

Momen tahanan dihitung untuk empat tulangan momen positif yang berbeda yang terkait dengan 0,1, 0,6, 1,2 dan 2,4 kali  $M_{cr}$ . dimana tulangan dikaitkan, dengan  $M_{cr}$  adalah 2,0 in<sup>2</sup> (1290 mm<sup>2</sup>). Tulangan momen negatif pada lantai untuk tiap kasus diambil 7,04 in<sup>2</sup> (4542 mm<sup>2</sup>). Gambar 9 menunjukkan efek dari tulangan momen positif pada momen tahanan akibat efek waktu jangka panjang pada tengah dukungan, inset pada gambar memperlihatkan efek umur kontinuitas.

Untuk setiap kasus momen tahanan negatif diakibatkan dengan perbedaan susut. Momen tahanan negatif ini secara maya tidak terpengaruh oleh tulangan momen positif. Ketika kontinuitas terbentuk pada usia 28 hari efek rangka dominan dan tampak sebagai penyebab gaya angkat pada tengah dukungan, efek dari momen positif menjadi jelas. Untuk jumlah momen positif yang sedikit (0,1  $M_{cr}$ ), diafragma retak dan menderita momen tahanan kecil akibat berkurangnya kekakuan lentur.

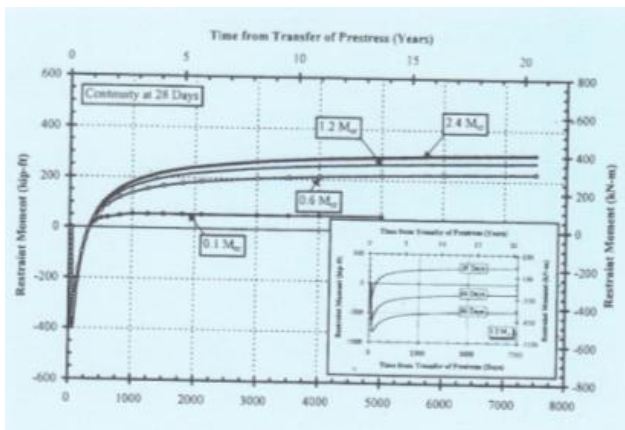
Tambahan tulangan momen positif memperkaku diafragma dan menghasilkan kenaikan momen tahanan. Kenaikan ini bagaimanapun lebih kecil dari tulangan momen positif yang melampaui 1,2  $M_{cr}$  terlihat pada inset Gambar 9, bila pembentukan



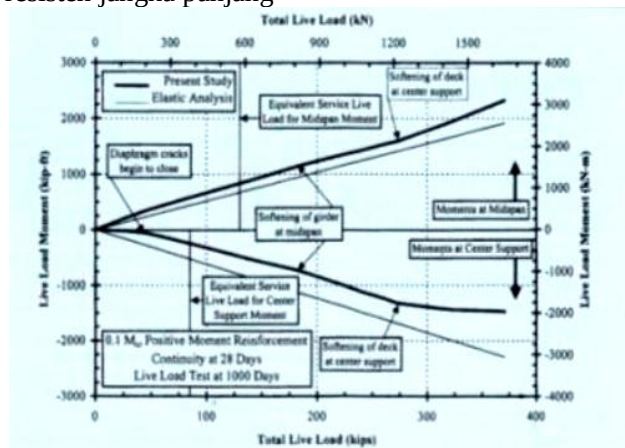
kontinuitas terlambat maka momen tahan tidak akan positif.

Sangat penting untuk menentukan seberapa besar lebar diafragma efektif yang dipilih untuk membuat menerus. Tampang diafragma untuk kasus penelitian diatas dimodelkan sebagai penampang T dengan lebar efektif sayap = lebar sayap balok. Kasus ekstrim lainnya ketika diafragma dimodelkan sebagai persegi 4 dengan lebar yang sama dengan lantai komposit.

Meskipun pergantian yang berarti dari tampang lintang, kelengkungan dan momen dari program RESPONSE hanya memperlihatkan kenaikan sedikit pada respon momen negatif, tetapi tidak ada perubahan respon momen positif. Analis efek waktu jangka panjang selanjutnya mengkonfirmasi bahwa perbedaan pada momen tahanan untuk berbagai lebar diafragma dapat diabaikan. Bagaimanapun diafragma dimodelkan sebagai tampang T seperti telah dijelaskan diatas.

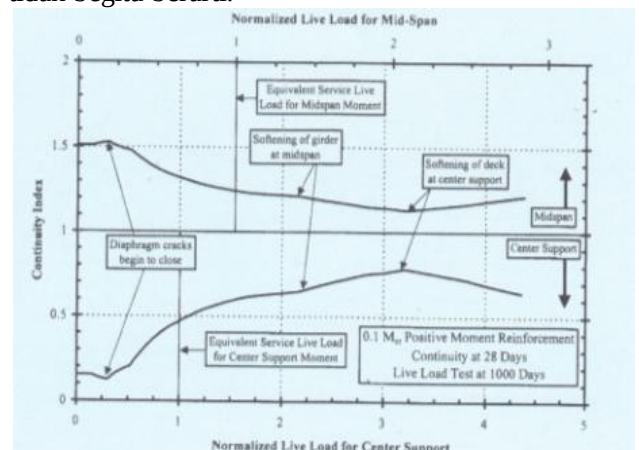


Gambar 9 Efek dari tulangan positif pada momen resisten jangka panjang

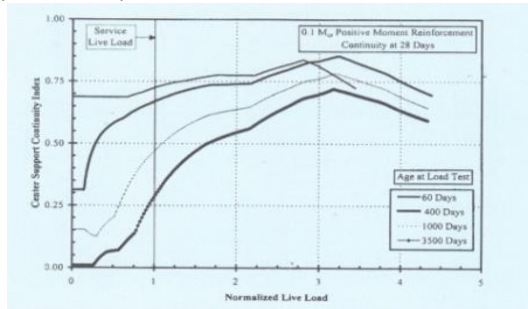


## 2. Analisa Kontinuitas

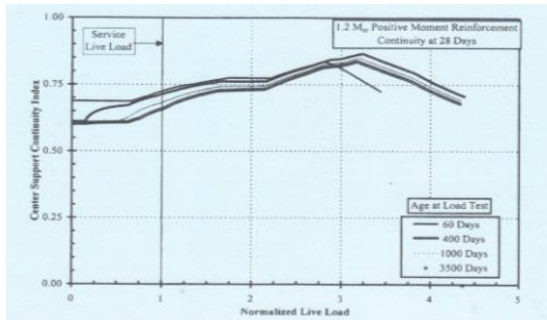
Analisa kontinuitas dilaksanakan untuk 4 jumlah yang berbeda dari tulangan momen positif (0,1, 0,6, 1,2 dan 2,4 kali  $M_{cr}$ ) dan dua umur balok yang berbeda pada saat kontinuitas terbentuk (28 atau 90 hari setelah transfer prategang). Tiap kasus tes beban hidup untuk kontinuitas dilaksanakan pada umur balok yang berbeda untuk memperhatikan spektrum yang lebar dari momen tahan akibat efek waktu jangka panjang yang mungkin terjadi pada diafragma menerus. Momen tahan dapat positif atau negatif tergantung dari ketika kontinuitas tertentu dan ketika tes beban hidup dilaksanakan. Gambar 10 memperlihatkan tipikal plotting dari momen beban hidup pada tengah bentang dan pada pusat tumpuan untuk tulangan momen positif dari 0,1  $M_{cr}$  dengan kontinuitas terbentuk pada 28 hari dan tes beban hidup dilaksanakan pada 1000 hari. Gambar 11 memperlihatkan indikasi kontinuitas untuk kasus-kasus diatas. Beban hidup dinormalisasikan dengan memperhatikan beban hidup layanan ekuivalen. Awalnya, kontinuitas yang rendah timbul akibat retak pada sisi bawah diafragma. Sejak beban hidup menyebabkan tekan pada sisi bawah diafragma, retak menutup dan kontinuitas terbentuk lagi. Selanjutnya kenaikan dari kontinuitas mencapai tingkat tertinggi ketika balok retak pada tengah bentang, kenaikan ini juga menaikkan kekakuan relatif dari diafragma. Dengan perlemahan pada lantai diatas tumpuan (misal akibat dari lelah pada tulangan lantai). Kontinuitas adalah juga yang melawan pengurangan ini hingga kegagalan / runtuh timbul pada tengah bentang atau tumpuan. Gambar 12 sampai dengan gambar 18 menunjukkan bahwa makin tua balok dibebani, indeks kontinuitas sambungan makin kecil. Peningkatan momen tahan dengan penambahan tulangan positif akan meningkatkan kontinuitas, namun peningkatan ini tidak begitu berarti.



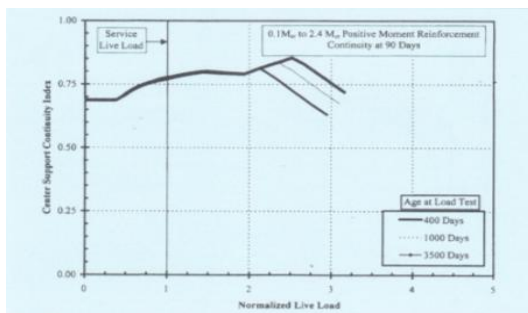
Gambar 11 Variasi tipikal dari indeks kontinuitas pada pusat tumpuan



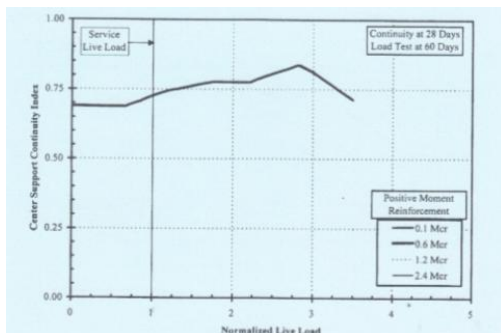
Gambar 12 Indikasi kontinuitas tulangan momen positif dari 0,1  $M_{cr}$  beton dek pada umur 28 hari



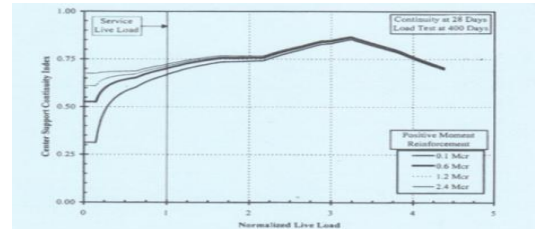
Gambar 13 Indikasi kontinuitas tulangan momen positif dari 1,2  $M_{cr}$  beton dek pada umur 28 hari



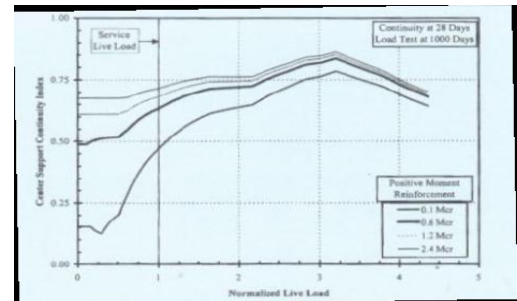
Gambar 14 Indikasi kontinuitas tulangan momen positif dari 0,1  $M_{cr}$  beton dek pada umur 90 hari



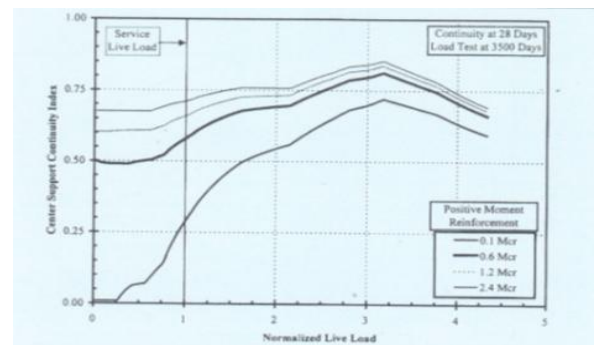
Gambar 15 Efek dari tulangan momen positif pada indek kontinuitas (60 hari setelah transfer tegangan)



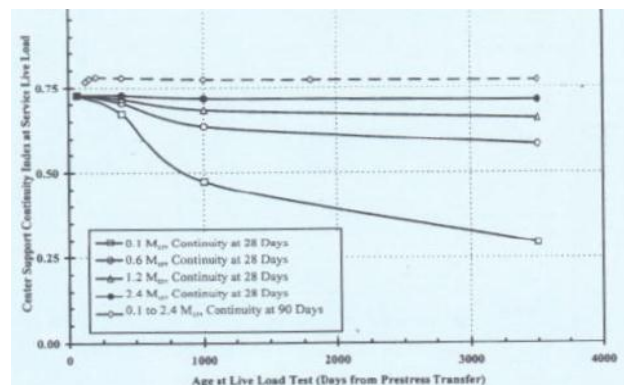
Gambar 16 Efek dari tulangan positif pada indek kontinuitas (400 hari setelah transfer tegangan)



Gambar 17 Efek dari tulangan positif pada indek kontinuitas (1000 hari setelah transfer tegangan)

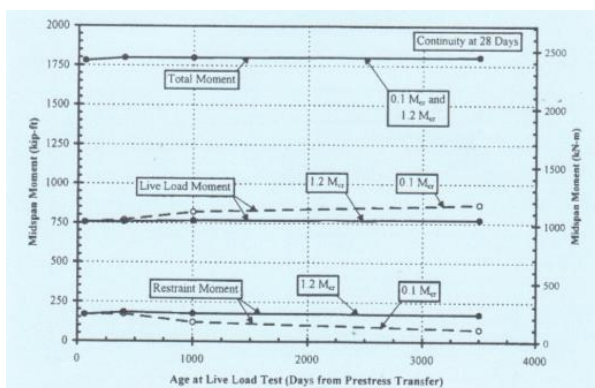


Gambar 18 Efek dari tulangan positif pada indek kontinuitas (3500 hari setelah transfer tegangan)



Gambar 19 Dukungan indeks menerus pada beban servis untuk jumlah berbeda dari tulangan momen positif jangka panjang

Gambar 19 menangkap konsep ini sebagai titik penempatan indeks kontinuitas dan usia pada tes beban (misalkan efek waktu jangka panjang) pada perilaku kontinuitas adalah sangat menonjol untuk jumlah yang kecil dari penulangan momen positif yang besar. Ketika kontinuitas terbentuk 90 hari, efek waktu jangka panjang tidak mencoloks, kebalikan dari penulangan momen positif.



Gambar 20 Efek Tulangan momen positif tengah bentang

Sebagai rangkuman jelas bahwa momen positif menurunkan indeks kontinuitas. Kemudian perlambatan dari terbentuknya kontinuitas dan tersedianya tulangan momen positif yang cukup keduanya meningkatkan efektifitas sambungan menerus. Bagaimanapun, indeks kontinuitas pada dukungan tetap kurang dari 1, berapapun jumlah tulangan momen positif, usia dari kontinuitas, usia dari pembebanan, dan tingkat beban hidup.

Hal ini akibat kekakuan relatif dan perilaku retak pada bagian dukungan dengan memperlihatkan kondisi tengah bentang. Bagian dukungan didesain hanya untuk momen negatif beban hidup dimana pada tengah bentang direncanakan untuk momen positif dari beban hidup maupun beban mati lebih lagi pada tumpuan hanya diberi tulangan dari baja lunak dimana pada tengah bentang diberi baja prategang, yang akan memperlambat retak.

Dengan kekakuan yang kurang dari bagian tengah maka bagian dukungan akan menerima momen beban hidup yang lebih sedikit dari yang dihitung dengan analisa elastis. Bagaimanapun contoh desain pada lampiran B menunjukkan bahwa efek dari pengurangan tersebut tidak terlalu besar.

### 3. Momen Total Tengah bentang

Momen pada tengah bentang dapat dihitung dengan menambahkan beban mati, efek waktu jangka panjang, dan momen beban hidup. Gambar 20 menunjukkan tahanan beban hidup dan momen tengah bentang sebagai fungsi waktu pada saat tes pembebanan untuk dua jumlah momen positif yang berbeda. Pada gambar dimulai dari kontinuitas pada usia 28 hari, tetapi diplot untuk kontinuitas pada usia yang sama.

Pada gambar tampak jelas bahwa total momen tengah bentang pada saat beban hidup pelayanan tidak tergantung dari penulangan momen positif atau usia tes pembebanan. Ketika jumlah penulangan momen positif kecil pada diafragma menerus, akan retak dan cenderung membesar pada saat momen tahanan. Penurunan pada kekakuan akibat penurunan kontinuitas. Disisi lain memperbesar penulangan momen positif akan menambah momen tahanan hal ini telah dikonfirmasi sama dengan yang ditemukan oleh penelitian CTL.

### KESIMPULAN

Model berdasarkan fleksibilitas telah dikembangkan untuk mempelajari pengaruh waktu terhadap perilaku dari sambungan menerus pada pracetak, balok beton prategang dengan pengecoran lantai ditempat. Model ini mempertimbangkan respon beda nonlinier tegangan-regangan dari diafragma dan balok lanta, perubahan kekakuan akibat efek waktu jangka panjang dan beban. Penelitian ini disimpulkan sebagai berikut :

1. Momen tahanan akibat efek waktu jangka panjang untuk beban hidup sangat tergantung pada usia balok pada saat kontinuitas terbentuk. Bila balok lebih tua pada saat kontinuitas terbentuk, efek yang sangat mempengaruhi adalah perbedaan susut yang mengakibatkan terbentuknya momen tahanan positif atau gaya angkat pada tengah dukungan.
2. Penulangan momen positif pada diafragma menerus mempunyai efek yang menyolok pada
3. momen tahanan saat kontinuitas terbentuk pada usia awal. Analisa mengidentifikasi bahwa diafragma menerus retak bila tidak ada tulangan momen positif. Dengan jumlah penulangan momen positif yang cukup retak pada diafragma akan terbatas tetapi akan terbentuk momen tahanan positif yang cukup besar.
4. Perilaku kontinuitas dari jembatan secara umum akan lebih baik ketika kontinuitas terbentuk pada usia balok yang lebih tua. Pada kondisi ini perilaku

kontinuitas juga tergantung dari jumlah penulangan momen positif yang terdapat pada diafragma.

5. Karena kekakuan relatif dan perilaku retak dari diafragma menerus dengan memperhatikan bagian tengah bentang, kontinuitas penuh tidak tergantung dari tipe jembatan dan analisa linier elastis mungkin tidak/ kurang konservatif untuk menghitung momen akibat beban hidup pada tengah bentang.
6. Meskipun momen pada tengah bentang tidak tergantung dari jumlah penulangan momen positif, sambungan momen positif tetap direkomendasikan untuk durabilitas dan kesatuan struktur. Penulangan momen positif minimum disarankan setara dengan 1,2 Mcr, hal ini dikarenakan :
  - a. Penambahan tulangan diatas 1,2 Mcr tidak akan menambah kontinuitas untuk beban hidup.
  - b. Hal mana dikonfirmasi dengan kebutuhan penulangan minimum yang disyaratkan oleh standar spesifikasi AASHTO.
  - c. Sangat korelatif dengan detail standar yang digunakan pada beberapa negara bagian.
7. Lebar dari diafragma menerus tidak mempunyai efek yang menyolok pada momen tahanan, dan dapat dimodelkan sebagai tampang T dengan lebar
8. sayap sama dengan lebar sayap bawah balok beton prategang.

#### SARAN SARAN

1. Nilai utama dari desain kontinuitas mungkin tidak tergantung momen kapasitas dari sambungan, tetapi lebih kepada integritas/kesatuan struktural dan perbaikan durabilitas jembatan sebagai hasil dari mengeliminasi sambungan.
2. Untuk mengurangi keretakan bagian diafragma tanpa menimbulkan kerapatan pada sambungan, perlu memperhatikan pengurangan penulangan hingga minimum.
3. Umur balok minimum yang tepat untuk membentuk kontinuitas, mengurangi efek waktu jangka panjang.
4. Retak dari diafragma menerus pada beberapa kondisi merupakan sifat efek suhu, lebih lanjut kenaikan efek suhu pada momen tahanan harus diperhatikan.
5. Penambahan parameter penelitian dapat mencakup untuk menentukan spektrum efek tipe balok yang lebih banyak seperti panjang bentang, jarak antar balok, dan variabel desain yang lain.
6. Detail dan parameter desain harus mengurangi kerapatan dari tulangan pada diafragma menerus dan ujung dari balok, dan tetap menjaga ketahanan

dan kapasitas pada penulangan minimum. Penelitian ini dilakukan pada beberapa benda uji dengan kabel yang dilengkungkan atau ditekuk sebagai penulangan momen positif dengan atau tanpa diafragma menerus tertanam pada balok. Rekomendasi desain final dibuat sebagai kesimpulan tahapan eksperimental dari penelitian.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Departemen ESDM RI, "Rencana pembangunan jangka panjang 2005-2025 dan pembangunan jangka menengah 2005-2009 bidang infrastruktur". [http://air.bappenas.go.id/cms/rpjm/upload/uploads/paparan RPJP\\_N 2005-2025.pdf](http://air.bappenas.go.id/cms/rpjm/upload/uploads/paparan_RPJP_N_2005-2025.pdf)
- Purwiyanto, "Kajian kebijakan insentif fiskal dalam rangka meningkatkan usaha ketenagalistrikan", Kerjasama Departemen Keuangan RI dengan PT PLN (Persero), 2005
- Greenpeace, Southeast Asia Energy Campaign, Prepared by IIEC-Asia, Bangkok, Thailand, "Renewable independent power producers (RIPPs): Restructuring the Southeast Asian electricity sector using sustainable energy", July 1999
- W.C. Turner, and S. Doty, "Energy management handbook", 6th ed., Published by The Fairmont Press, Inc., Lilburn, GA 30047, 2007
- ASEAN-USAID, "Building energy conservation project", Final Report, June 1992, ASEAN & Lawrence Berkeley Laboratory
- N. S. Verma, "Energi efficient technologies use in India – an overview", 2004
- SNI 03-6196-2000, Prosedur audit energi pada bangunan gedung, ICS 91.040.01, Badan Standardisasi Nasional, <http://www.bsn.or.id>