

PROSIDING **KONTEKS 8**

**Kota Bandung
Tahun 2014**

**Volume 1 : Struktur - Manajemen Konstruksi
Infrastruktur - Lingkungan**

Peran Rekayasa Sipil dalam Pembangunan Infrastruktur Perkotaan Berkelanjutan
Untuk Mendukung Percepatan dan Perluasan Pembangunan Ekonomi Indonesia

Diselenggarakan oleh:

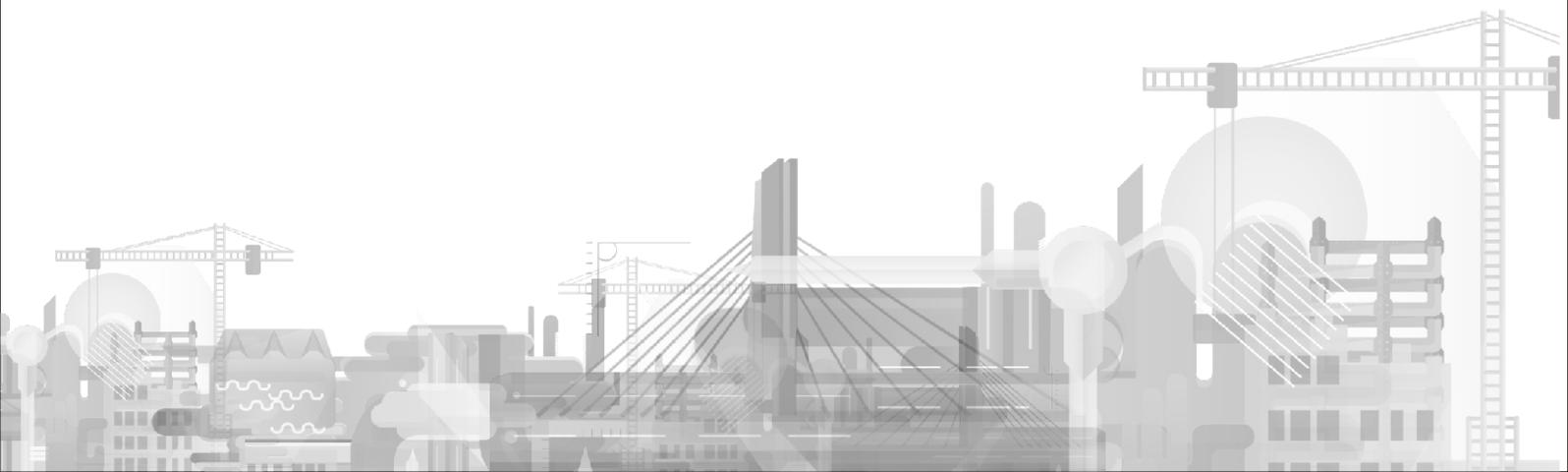


PROSIDING KONTeKS 8

Peran Rekayasa Sipil dalam Pembangunan Infrastruktur Perkotaan Berkelanjutan
Untuk Mendukung Percepatan dan Perluasan Pembangunan Ekonomi Indonesia

**Volume 1 : Struktur - Manajemen Konstruksi
Infrastruktur - Lingkungan**

**Bandung
Tahun 2014**



**Buku Prosiding Konferensi Nasional Teknik Sipil (KoNTekS) ke-8
“Peran Rekayasa Sipil dalam Pembangunan Infrastruktur Perkotaan Berkelanjutan
Untuk Mendukung Percepatan dan Perluasan Pembangunan Ekonomi Indonesia”**

Buku Prosiding Volume 1, Cetakan Pertama, 16 Oktober 2014

ISBN 978-602-71432-1-0

Buku ini resmi diterbitkan oleh Jurusan Teknik Sipil - Institut Teknologi Nasional Bandung
atas kerja sama dengan konsorsium Perguruan Tinggi:
Universitas Atma Jaya Yogyakarta
Universitas Trisakti - Universitas Pelita Harapan - Universitas Udayana
Universitas Sebelas Maret - Universitas Kristen Maranatha - Universitas Tarumanegara

*Dilarang menjual dan menggandakan buku prosiding ini tanpa izin
dari Konsorsium Perguruan Tinggi Penyelenggara KoNTekS*

Kata Pengantar

Dunia rancang bangun dan pengelolaan infrastruktur di Indonesia menghadapi tantangan yang semakin kompleks. Hal ini dikarenakan tingkat kebutuhan akan infrastruktur yang menunjang perkembangan Indonesia semakin besar seiring dengan meningkatnya jumlah penduduk dan peningkatan pemenuhan kebutuhan hidup. Perkembangan yang pesat muncul pada basis-basis wilayah perkotaan, sehingga penanganan wilayah perkotaan khususnya dalam hal penyediaan infrastruktur yang terus berkelanjutan sangat diperlukan untuk menunjang segala bentuk kegiatan di perkotaan yang tidak akan pernah berhenti.

Untuk menghadapi permasalahan dunia infrastruktur perkotaan, baik dalam tahap pra-pembangunan (studi dan perencanaan), tahap pembangunan, maupun tahap pasca pembangunan yang sering disebut dengan tahap operasional dan pemeliharaan, maka dunia akademisi khususnya bidang ke-teknik sipil-an dirasa perlu untuk menyelenggarakan sebuah kegiatan saling bertukar pikiran dan informasi antara pihak-pihak yang terlibat dalam dunia teknik sipil. Kegiatan yang dilaksanakan adalah Konferensi Nasional Teknik Sipil ke 8 dengan tema **PERAN REKAYASA SIPIL DALAM PEMBANGUNAN INFRASTRUKTUR PERKOTAAN BERKELANJUTAN UNTUK Mendukung Percepatan dan Perluasan Pembangunan Ekonomi Indonesia** yang diselenggarakan di Kota Bandung atas kerja antar perguruan tinggi yaitu Universitas Atma Jaya Yogyakarta, Universitas Trisakti, Universitas Pelita Harapan, Universitas Udayana, Universitas Sebelas Maret, Universitas Kristen Maranatha, Universitas Tarumanegara dan Institut Teknologi Nasional sebagai tuan rumah kegiatan. Konferensi Nasional Teknik Sipil ke 8 secara umum dimaksudkan untuk menyediakan wadah saling tukar menukar informasi antar akademisi, praktisi dan mahasiswa bidang teknik sipil mengenai perkembangan ilmu dan teknologi infrastruktur, dan dengan tujuan memberikan masukan bagi pemangku kepentingan dalam meningkatkan kualitas infrastruktur perkotaan berkelanjutan.

Besar harapan kita semua, bahwa acara ini diharapkan dapat menjadi jembatan komunikasi dan informasi, serta dapat turut membantu berbagai pihak dalam mengatasi solusi dari permasalahan infrastruktur perkotaan di Indonesia. Dalam buku prosiding ini telah disusun seluruh hal yang berkaitan dengan infrastruktur perkotaan, sehingga di masa yang akan datang buku ini dapat berguna untuk membantu menemukan solusi dan mungkin dapat memunculkan ide-ide konstruktif yang baru mengenai masalah infrastruktur perkotaan.

Akhir kata, semoga acara konferensi ini dapat terus berlangsung untuk menjaga silaturahmi bagi kita semua.

Bandung, Oktober 2014

Panitia KoNTekS 8

Kata Sambutan

Ketua Panitia KoNTekS 8
Hazairin, Ir., M.T.

Konferensi Nasional Teknik Sipil (KoNTekS) merupakan pertemuan ilmiah tahunan para pakar, praktisi, perencana, pelaksana, serta akademisi bidang Teknik Sipil. Konferensi ini merupakan wahana saling berbagi dan bertukar pikiran antar sesama peserta tentang pencapaian serta perkembangan terbaru bidang Teknik Sipil melalui serangkaian presentasi dan diskusi yang menarik.

KoNTekS yang pertama dan kedua diselenggarakan pada Tahun 2007 dan 2008 di Universitas Atma Jaya Yogyakarta (UAJY). Untuk kemudian selanjutnya **KoNTekS** diselenggarakan di Universitas Pelita Harapan Jakarta pada Tahun 2009, Universitas Udayana Bali pada Tahun 2010, Universitas Sumatera Utara Medan pada Tahun 2011, Universitas Trisakti Jakarta pada Tahun 2012, dan Universitas Sebelas Maret Solo pada tahun lalu, Tahun 2013.

Pada Tahun 2014, penyelenggaraan **KoNTekS yang ke-8** diselenggarakan di Institut Teknologi Nasional (Itenas) Bandung, berkonsorsium dengan Universitas Atma Jaya Yogyakarta (UAJY), Universitas Pelita Harapan (UPH) Jakarta, Universitas Udayana (Unud) Bali, Universitas Trisakti Jakarta, Universitas Tarumanagara (Untar) Jakarta, Universitas Sebelas Maret (UNS) Solo, dan Universitas Kristen Maranatha (UKM) Bandung. Pada konferensi kali ini tema yang diusung adalah Peran Rekayasa sipil Dalam Pembangunan Infrastruktur Perkotaan berkelanjutan Untuk Mendukung Percepatan dan Perluasan Pembangunan Ekonomi Indonesia.

Tema ini kami anggap perlu untuk diusung sejalan dengan Rencana Pembangunan Jangka Panjang Nasional 2005-2025 dan Rencana Pembangunan Jangka Menengah 2010-2014 menyatakan bahwa Indonesia yang maju dan mandiri dapat dilakukan antara lain melalui ketersediaan infrastruktur yang memadai.

Pada Penyelenggaraan **KoNTekS8** kali ini kami mengundang 3 pembicara tamu dan 163 Pemakalah. Pada tahap awal abstrak yang masuk ke panitia berjumlah 241 abstrak makalah dan yang dinyatakan diterima untuk dipresentasikan berjumlah 238 makalah namun sampai dengan batas waktu memasukkan makalah penuh hanya 167 pemakalah yang memasukan makalah penuhnya. Ke 167 makalah terdistribusi pada Bidang Keahlian Infrastruktur dan Lingkungan masing-masing 3 Makalah, Bidang Keahlian Struktur 39 Makalah, Bidang Keahlian Manajemen dan Rekayasa Konstruksi 36 makalah, Bidang Keahlian Transportasi 31 makalah, Bidang Keahlian Material 20 Makalah, Bidang keahlian Geoteknik 17 Makalah, dan Bidang Keahlian Sumber Daya Air 18 Makalah. Pemakalah yang berpartisipasi pada konferensi ini berasal dari Akademisi, Peneliti, Praktisi, Pegawai Negeri, Pegawai Instansi/lembaga terkait serta Mahasiswa.

Akhirnya kami panitia **KoNTekS8** mengucapkan Terima Kasih Kepada Universitas Atma Jaya Yogyakarta (UAJY), Universitas Pelita Harapan (UPH) Jakarta, Universitas Udayana (Unud) Bali, Universitas Trisakti Jakarta, Universitas Tarumanagara (Untar) Jakarta, Universitas Sebelas Maret (UNS) Solo, dan Universitas Kristen Maranatha (UKM) Bandung. Serta Pihak Sponsor (PT Adhimix Precast, Bank BNI 46 .PT Citra Retrofita Pratama, PT Nasuma Putra dan PT. Indocement Tunggul Perkasa Tbk. atas pertisipasinya ini dan tidak lupa kami juga minta permohonan maaf atas kesalahan kami baik lisan maupun tindakan sejak awal sampai dengan penyelenggaraan konferensi terselenggara.

Bandung, Oktober 2014

Ketua Panitia KoNTekS 8

Kata Sambutan

Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Atma Jaya Yogyakarta

Johanes Januar Sudjati, M.T.

Segala puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas segala kasih karunia-Nya maka Konferensi Nasional Teknik Sipil (KoNTekS) kembali dapat diselenggarakan pada tahun ini dengan tema Peran Rekayasa Sipil dalam Pembangunan Infrastruktur Perkotaan Berkelanjutan dalam Mendukung Percepatan dan Perluasan Pembangunan Ekonomi Indonesia. KoNTekS 8 ini dilaksanakan sebagai hasil kerja sama dari 8 perguruan tinggi yaitu: Institut Teknologi Nasional selaku tuan rumah, Universitas Atma Jaya Yogyakarta, Universitas Pelita Harapan, Universitas Udayana, Universitas Trisakti, Universitas Sebelas Maret, Universitas Kristen Maranatha dan Universitas Tarumanagara.

Konferensi Nasional Teknik Sipil (KoNTekS) merupakan acara ilmiah teknik sipil berkala yang digagas oleh Program Studi Teknik Sipil Universitas Atma Jaya Yogyakarta dan telah dilaksanakan setiap tahunnya sejak tahun 2007. Sejak tahun 2009, Universitas Atma Jaya Yogyakarta memberikan kesempatan bagi perguruan tinggi lain untuk bermitra menjadi tuan rumah penyelenggara KoNTekS. Melalui konferensi ini para peserta dapat berkumpul dan saling bertukar informasi hasil-hasil penelitian yang telah dilakukan. Materi yang disampaikan oleh para pembicara diharapkan dapat memberikan kontribusi bagi perkembangan ilmu pengetahuan khususnya di bidang teknik sipil.

Ucapan terima kasih dan penghargaan kami sampaikan kepada panitia pelaksana dari Institut Teknologi Nasional yang telah bekerja dengan baik, serta para perguruan tinggi mitra penyelenggara KoNTekS, para pembicara, anggota komite ilmiah, pihak sponsor dan semua pihak yang telah bekerja dan memberikan kontribusinya bagi penyelenggaraan KoNTekS 8 ini. Kami ucapkan selamat mengikuti konferensi dan sampai bertemu lagi pada pelaksanaan KoNTekS di tahun mendatang.

Yogyakarta, 18 September 2014

**Ketua Program Studi
Teknik Sipil - UAJY**

Kata Sambutan

Rektor Institut Teknologi Nasional Bandung

Dr. Imam Aschuri, Ir., M.T.

Assalamu 'alaikum Wr. Wb.
Salam Sejahtera dan Bahagia untuk kita semua

Terlebih dahulu marilah kita awali acara ini dengan memanjatkan pujian kita kepada ALLAH SWT sebagai ungkapan rasa syukur karena hari ini kita masih diberi karunia dan anugerahNya, sehingga kita dapat menghadiri dan berpartisipasi aktif dalam Konferensi Nasional Teknik Sipil ke-8 pada hari ini di Balai Dayang Sumbi Itenas dalam keadaan sehat walafiat.

Saya menyambut baik penyelenggaraan konferensi ini sebagai salah satu wujud nyata dari upaya bersama, antara akademisi dan praktisi untuk terus mencari solusi dari permasalahan-permasalahan bidang konstruksi dalam pembangunan infrastruktur untuk mempercepat pembangunan ekonomi bangsa dan negara yang kita cintai ini.

Tema yang diangkat dalam Konferensi Nasional Teknik Sipil 8 adalah Peran Rekayasa Sipil dalam Pembangunan Infrastruktur Perkotaan Berkelanjutan untuk Mendukung Percepatan dan Perluasan Pembangunan Ekonomi Indonesia. Tema ini sangat penting dan strategis untuk kita diskusikan dan rumuskan bersama sebagai sumbangsih kita semua dalam meningkatkan daya saing bangsa sesuai Visi Indonesia 2045.

"Visi Indonesia 2045" telah dirilis dalam Master Plan Percepatan dan Perluasan Pembangunan Ekonomi Indonesia (MP3EI). Dalam visi tersebut, diproyeksikan bahwa pada tahun 2025 Indonesia akan menjadi negara maju dan sejahtera dengan meraih peringkat 12 besar dunia dan 8 besar dunia pada tahun 2045 melalui pertumbuhan ekonomi tinggi yang inklusif dan berkelanjutan.

Salah satu faktor yang memainkan peranan penting dalam pembangunan ekonomi terutama di negara sedang berkembang seperti Indonesia adalah infrastruktur. Namun demikian untuk mewujudkan pembangunan wilayah perkotaan yang berkelanjutan dibutuhkan infrastruktur yang mendukung tidak hanya untuk kepentingan ekonomi saja tetapi juga mendukung sistem sosial budaya dan sistem ekologi secara terpadu.

Kita semua menyadari bahwa tantangan dan permasalahan yang kita hadapi ke depan untuk pembangunan infrastruktur perkotaan, sungguh jauh lebih berat dan rumit, apalagi ke depan dengan semakin dekatnya pembentukan komunitas ekonomi ASEAN 2015. Jika tidak segera membenahi kebijakan perencanaan pembangunan infrastruktur berkelanjutan baik dari segi ekonomi, social dan lingkungan, maka dampaknya jelas ke daya saing bangsa, sehingga jangan heran kalau negara kita akan dibanjiri barang-barang import dan kita hanya sebagai user dan penonton. Untuk itu, kita sebagai akademisi harus berperan aktif dan membantu untuk memberikan masukan-masukan yang strategis, kreatif dan inovatif bagi pengambil kebijakan dalam membangun infrastruktur berkelanjutan di Indonesia.

Kata Sambutan

Rektor Institut Teknologi Nasional Bandung

Dr. Imam Aschuri, Ir., M.T.

Selain itu, menurut Wakil Menteri Kementrian Pekerjaan umum bahwa tantangan lain yang dihadapi dalam pembangunan infrastruktur di Indonesia tidak dapat terlepas dari realitas penyebaran penduduk dan urbanisasi, luas wilayah maupun kondisi geografis kepulauan yang ada. Pulau Jawa yang mencakup 7,2 persen dari luas wilayah Indonesia dihuni 58,6 persen penduduk, sementara Kalimantan, Sulawesi dan Maluku/Papua yang luasnya 32,3 persen, 10,8 persen dan 25,0 persen dari luas wilayah Indonesia masing-masing hanya memiliki jumlah penduduk 5,6 persen, 7,3 persen dan 2,0 persen saja.

Demikian pula sebaran infrastruktur yang ada dan integrasi antara infrastruktur dan tata ruang, kalau kita lihat secara kewilayahan lebih dari 70-90 persen infrastruktur terdapat di pulau Sumatera, Jawa dan Bali yang luasnya hanya mencakup sekitar 31 persen dari seluruh wilayah Indonesia. Selain itu pula tingkat pelayanan infrastruktur yang ada juga masih banyak yang kurang memadai.

Pada akhirnya infrastruktur yang berkelanjutan merupakan prasarana pendukung pertumbuhan ekonomi sekaligus pembentuk struktur ruang wilayah harus dapat memberikan pelayanan secara efisien, aman dan nyaman. Di samping itu infrastruktur juga harus dapat memfasilitasi peningkatan produktivitas masyarakat, sehingga secara ekonomi produk-produk yang dikembangkan menjadi lebih mempunyai daya saing. Sedangkan infrastruktur sebagai unsur pembentuk struktur ruang merupakan prasyarat untuk mewujudkan Indonesia yang adil dan sejahtera, baik di wilayah yang telah berkembang, sedang berkembang maupun wilayah pengembangan baru.

Melalui upaya bersama ini, saya sangat mengharapkan, acara konferensi ini dapat menghasilkan rumusan kebijakan dan solusi-solusi yang komprehensif untuk pengembangan infrastruktur yang berkelanjutan dalam membangun kota ke depan, yang hasil tersebut dapat disampaikan kepada semua pemangku kepentingan, khususnya dibidang jasa konstruksi dengan harapan untuk mendorong peningkatan daya saing bangsa. Akhirnya perkenankan kami menyampaikan selamat mengikuti Konferensi Nasional Teknik Sipil 8 di Itenas dan semoga acara ini mendapatkan berkah dari Allah SWT, Tuhan Yang Maha Pengasih, serta memperoleh hasil sesuai dengan yang kita harapkan. Amin Ya Rabal Alamin.

Wassalamu'alaikum Wr.Wb.

Bandung, Oktober 2014

Rektor Itenas - Bandung

DIDUKUNG OLEH



PT INDOCEMENT TUNGGAL PRAKARSA Tbk.



PT. CITRA RETROFITIA PRATAMA



STUDI PERBANDINGAN HASIL EKSPERIMEN DAN PEMODELAN ELEMEN HINGGA 3D KOLOM PERSEGI DENGAN TULANGAN PENGEKANG YANG DIMODIFIKASI

Anang Kristianto¹, dan Iswandi Imran²

¹*Jurusan Teknik Sipil, Universitas Kristen Maranatha, Jl. Suria Sumantri, Bandung
Email: anang.kristianto@gmail.com*

²*Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha 10, Bandung*

ABSTRAK

Dalam beberapa kejadian gempa bumi di Indonesia akhir-akhir ini yaitu di Aceh, Sumatera Barat, Yogyakarta dan Padang, para peneliti mengidentifikasi beberapa persoalan sehubungan dengan kelalaian pelaksana dalam pendetailan tulangan pengekang pada kolom beton bertulang yang ternyata dapat menyebabkan keruntuhan struktur bangunan. Makalah ini menyajikan hasil studi eksperimental dan model metode elemen hingga yang bertujuan untuk mengembangkan suatu elemen tambahan yang dapat meningkatkan efektifitas kekangan kolom beton yang diberi tulangan pengekang tidak standar atau yang dimodifikasi pemasangannya. Elemen tambahan yang disebut pen pengikat (pen-binder) digunakan untuk menahan tulangan pengekang tidak standar pada posisinya. Benda uji yang digunakan dalam penelitian ini berjumlah 34 spesimen kolom dengan ukuran penampang 170 mm x 170 mm dan tinggi 480 mm. Analisis spesimen kolom dengan metode elemen hingga dimaksudkan untuk memperkaya pemahaman perilaku kolom yang diberi tambahan pen-binder akibat beban aksial konsentris. Perilaku tegangan akibat efek kekangan yang tidak dapat dilihat dengan baik pada saat eksperimen seperti kontur tegangan aksial dan lateral akan diperlihatkan dalam analisis metode elemen hingga ini. Analisis elemen hingga dilakukan untuk spesimen yang mewakili kolom dengan kait standar dan kolom pengekang khusus (dengan pemberian pen-binder pada keempat sisinya). Hasil analisis dengan model elemen hingga memberikan gambaran yang cukup akurat untuk memperlihatkan perilaku tegangan dan regangan beton terkekang sehingga terjadi perbedaan sebesar 0,58% dan 6,125% berturut-turut terhadap tegangan dan regangan puncak hasil eksperimen. Analisis elemen hingga memperlihatkan bahwa penggunaan pen-binder mempengaruhi besarnya tegangan lateral inti beton, hal tersebut dapat dilihat dari perbedaan kontur dan besarnya tegangan lateral yang terjadi pada penampang antara model dengan kait standar dan model dengan pen-binder pada keempat sisi.

Kata Kunci: kolom, eksperimental, pengekang, metode elemen hingga

1. PENDAHULUAN

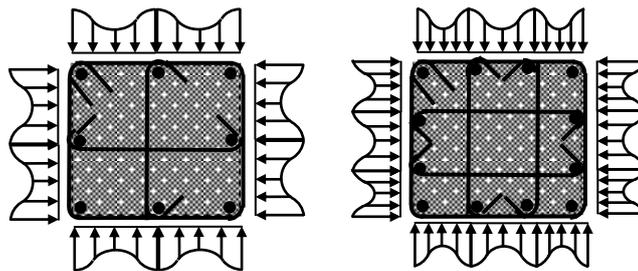
Kolom adalah elemen vertikal suatu struktur yang berfungsi menahan beban aksial dan momen sebagai akibat dari beban gravitasi dan beban lateral yang bekerja pada struktur. Untuk meningkatkan perilaku mekanik kolom beton yang lebih baik dan berfungsi sebagai suatu elemen struktur yang daktail maka selain tulangan longitudinal diperlukan juga tulangan transversal. Tulangan transversal memiliki fungsi salah satunya adalah sebagai tulangan pengekang yang mengkekang inti beton sedemikian rupa sehingga pada saat mengalami gaya aksial inti beton tetap pada tempatnya. Kondisi ini diperlukan agar tulangan longitudinal dapat berfungsi dengan efektif sampai tercapai kapasitas lelehnya sehingga menghasilkan kekuatan seperti yang direncanakan. Untuk menghasilkan kekangan yang baik dengan memanfaatkan gaya aksial yang bekerja pada kolom maka diperlukan detailing tulangan pengekang yang baik sesuai dengan standar yang berlaku. Pemahaman mengenai perilaku kolom yang terkekang pada struktur yang didesain tahan gempa merupakan hal yang penting sehingga pada saat desain dan pelaksanaan di lapangan tulangan pengekang dapat ditentukan dan dipasang dengan detailing yang benar sehingga menghasilkan perilaku kolom seperti yang diharapkan. Beberapa kejadian gempa bumi di Indonesia akhir-akhir ini yaitu di Aceh, Sumatera Barat, Yogyakarta dan Padang, para peneliti mengidentifikasi beberapa persoalan sehubungan dengan kelalaian pelaksana dalam pendetailan tulangan pengekang pada kolom beton bertulang yang ternyata dapat menyebabkan keruntuhan struktur bangunan. (Imran et al., 2005, Imran et al., 2006, Imran et al., 2007). Kelalaian disebabkan salah satunya dalam pemasangan kait 135^o tulangan pengekang yang tidak sesuai dengan standar,

kesalahan pembengkokan kait dan panjang kebutuhan kait yang tidak sesuai mengakibatkan kegagalan tulangan pengekang untuk dapat berfungsi sebagaimana mestinya. Untuk mengatasi hal tersebut telah dilakukan penelitian yang memperkenalkan penggunaan elemen pengikat (pen-binder) yang dapat digunakan pada kolom persegi beton bertulang baik pada kolom baru maupun eksisting. Penggunaan pen-binder ini memudahkan pemasangan tulangan pengekang sedemikian rupa sehingga tetap memenuhi standar perilaku yang diharapkan pada saat kolom menerima beban aksial dan lateral. (Kristianto, A et al., 2011)

Penelitian mengenai penggunaan pen-binder ini memberikan pemahaman baru mengenai pengaruh pengekangan pada kolom persegi yang diberi elemen pengikat. Makalah ini memberikan gambaran perilaku tegangan akibat efek kekangan yang tidak dapat dilihat dengan baik pada saat eksperimen seperti kontur tegangan aksial dan lateral sehingga memberikan suatu gambaran yang lebih baik mengenai perilaku kekangan pada tulangan pengekang dengan pen-binder.

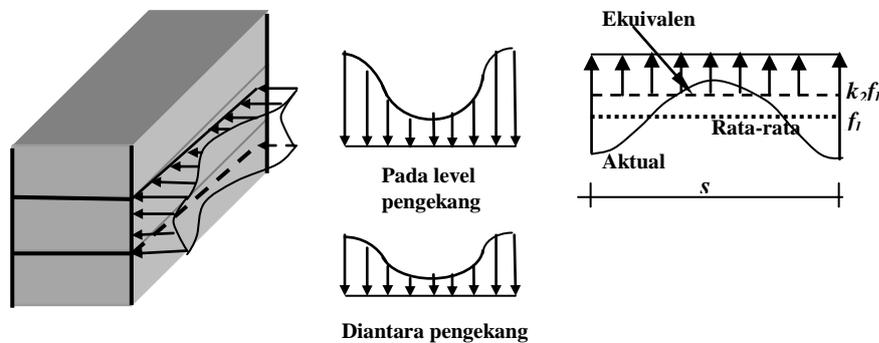
2. TINJAUAN PUSTAKA

Seperti diketahui bahwa pada tulangan pengekang persegi gaya kekangan lateral terbesar terjadi pada daerah sudut dan pada titik dimana terpasang tulangan pengikat silang . Aksi tahanan yang dihasilkan kekangan ini tergantung dari gaya tarik yang mampu dihasilkan oleh tulangan pengekang dimana besarnya tergantung dari luas penampang dan mutu tulangnya. Sementara itu aksi kekangan pada daerah diantara sudut pengekang sangat bergantung kepada kekakuan lentur dari tulangan pengekangnya. Aksi kekangan yang dihasilkan oleh kekakuan lentur diantara sudut pengekang terlalu kecil bila dibandingkan aksi kekangan yang terjadi pada titik sudut. Pada saat beton mengembang secara lateral akibat beban aksial tekan maka tegangan lateral yang dihasilkan pada daerah sudut atau pada pertemuan dengan pengikat silang akan lebih tinggi dibandingkan tegangan lateral yang terjadi diantara kedua titik tersebut seperti diilustrasikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Distribusi Tegangan Lateral yang Terbentuk Pada Berbagai Konfigurasi Tulangan Pengekang (Saatcioglu dan Razvi, 1992).

Seperti halnya pada level penampang kolom begitu juga pada arah memanjang kolom terjadi aksi kekangan yang tidak seragam. Pada daerah titik sepanjang tulangan longitudinal tegangan lateral relatif seragam karena adanya tekanan dari tulangan longitudinal. Pada daerah yang semakin jauh dari posisi tulangan longitudinal tegangan lateral semakin menurun, penurunan paling besar terjadi pada daerah diantara tulangan pengekang. (Gambar 2)



Gambar 2. Distribusi Tegangan Lateral pada Arah Longitudinal Kolom (Saatcioglu dan Razvi, 1992).

Besarnya tegangan lateral (f_l) rata-rata yang terjadi dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$f_l = \frac{\sum A_s \cdot f_y \cdot h}{s \cdot b_c} \quad (1)$$

Persamaan diatas dibentuk dengan asumsi bahwa tegangan lateral yang terjadi adalah seragam, oleh karena pada kondisi aktualnya terdapat ketidakseragaman tegangan maka terjadi over estimasi tegangan lateral di daerah tengah. Untuk mendapatkan besarnya tegangan efektif yang merepresentasikan kondisi aktual tegangan yang terjadi diperlukan suatu koefisien reduksi k_2 . Saatcioglu dan Razvi mengusulkan nilai k_2 yang merupakan hasil analisis

regresi data pengujian sebagai berikut

$$k_2 = 0.26 \cdot \sqrt{\frac{b_c}{s} \cdot \frac{b_c}{s_l} \cdot \frac{1}{f_l}} \quad (2)$$

Sehingga besarnya tegangan lateral ekuivalennya adalah :

$$f_{le} = k_2 f_l \quad (3)$$

Dimana s adalah jarak antara dua tulangan longitudinal yang ditahan secara lateral. Berdasarkan persamaan diatas maka hubungan beton terkekang seperti dalam persamaan (II.1) menjadi

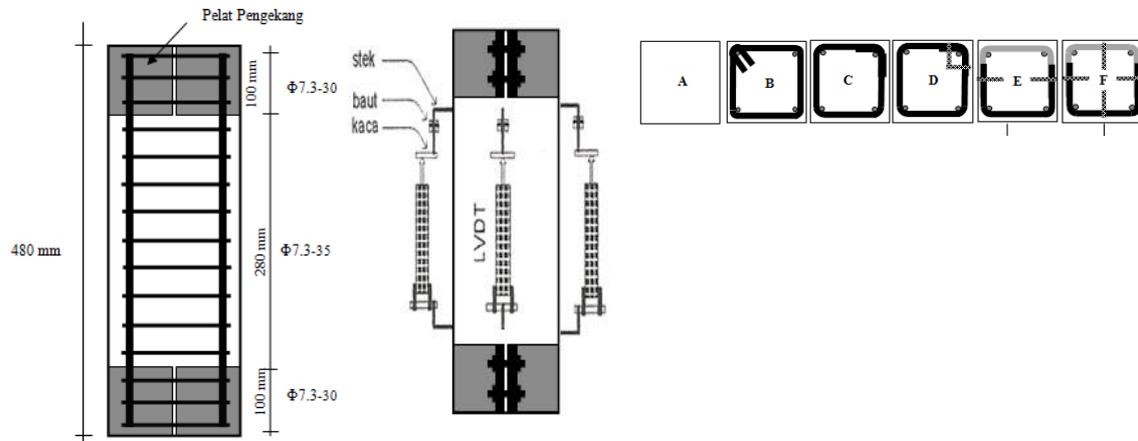
$$f'_{cc} = f'_{co} + k_1 \cdot f_{le} \quad (4)$$

Dengan nilai k_1 yang diusulkan besarnya adalah: $k_1 = 6.7(k_2 f_l)^{-0.17}$ (5)

Koefisien k_1 menyatakan hubungan antara tegangan pengekang dan peningkatan kekuatan, koefisien k_2 menyatakan efisiensi tulangan pengekang. Efisiensi maksimum ($k_2=1$) tercapai bila tegangan lateral yang terjadi mendekati seragam seperti pada tulangan spiral pada kolom lingkaran.

3. BENDA UJI DAN MODEL ELEMEN HINGGA

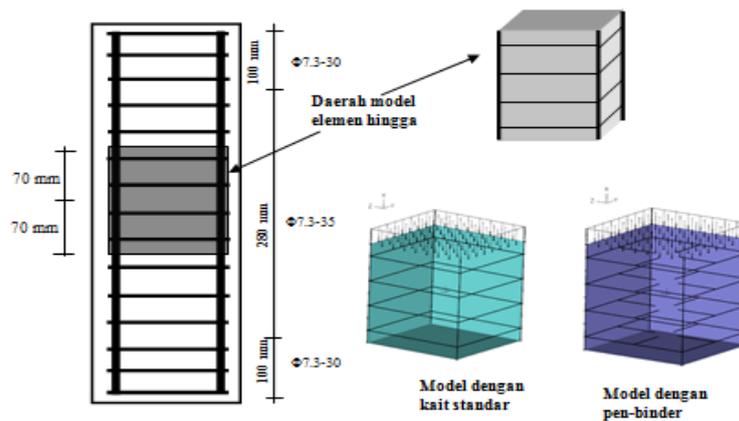
Benda uji berupa kolom pendek pendek beton bertulang dengan dimensi 170 x 170 dan panjang 480 mm serta target mutu beton $f_c' = 30$ MPa. Konfigurasi tulangan dibuat sebanyak 5 macam, jarak spasi dibuat dua macam yaitu 35 mm dan 70 mm. Detail penulangan, penampang benda uji serta setup pengujian terlihat seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Detail penulangan dan konfigurasi tulangan benda uji.

Pengujian aksial konsentris dilakukan pada benda uji hingga mencapai keruntuhannya, hasil pengujian memperlihatkan bahwa penggunaan pen-binder memberikan hasil yang cukup signifikan untuk meningkatkan daktilitas kolom, penggunaan pen-binder dengan konfigurasi F memberikan hasil yang lebih baik dari tulangan pengekang standar dengan kait 135^o. (Kristianto, A., et al, 2012). Pada makalah ini dimodelkan tulangan pengekang dengan konfigurasi standar (konfigurasi B) dan konfigurasi F (adanya tambahan pen-binder di keempat sisi).

Pemodelan dengan metode elemen hingga dengan *software* ADINA® untuk benda uji aksial konsentris hanya ditinjau pada bagian inti kolom sepanjang 140 mm seperti yang terlihat pada Gambar 4. Tinjauan sebatas inti kolom dilakukan karena perilaku tegangan pada daerah inti kolom saja yang akan dianalisis, selimut beton diasumsikan sudah terkelupas. Berdasarkan hasil trial and error, pemodelan kolom dengan mengikutkan selimut beton menyebabkan terjadinya kesulitan *software* untuk menghasilkan kondisi yang konvergen. Tidak disertakannya selimut beton juga berguna untuk mengisolasi pengaruh selimut terhadap pengekangan (Hoshikuma et al., 1997).



Gambar 4. Spesimen kolom dan model elemen hingga.

Elemen beton dimodelkan sebagai elemen solid 3D (3 dimensi) dengan 8 nodal. Lekatan yang sempurna diasumsikan terjadi antara elemen tulangan dan beton serta pen-binder dan beton. Asumsi ini diambil karena berdasarkan hasil pengujian eksperimental untuk spesimen dengan spasi 35 mm tegangan lekatan yang terjadi pada pen-binder masih dibawah nilai prediksi berdasarkan usulan dari Harajili et al.(2004).

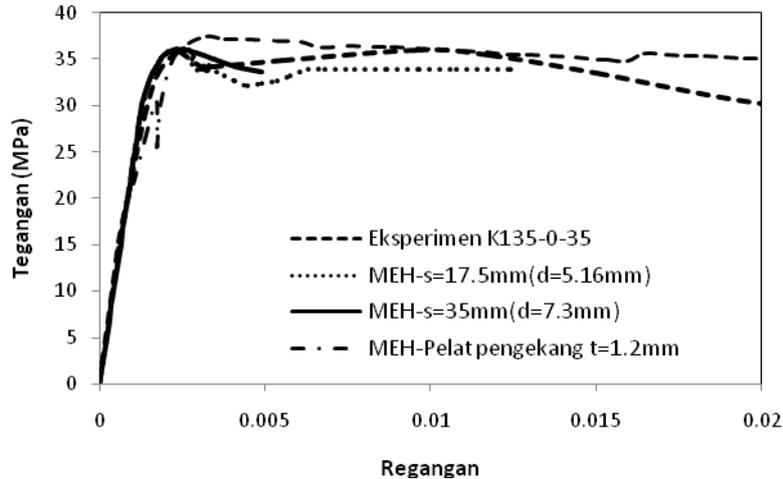
Agar mendapatkan perilaku model dengan baik hingga daerah nonlinier maka untuk spesimen dengan kait standar dibuat 3 buah model tulangan pengekang. Model pertama tulangan pengekang diasumsikan sebagai pelat dengan tebal tertentu yang mengekang keempat sisi kolom, model kedua tulangan pengekang dibuat lebih rapat dengan spasi 17,5 mm (setengah dari spasi spesimen), sedangkan model ketiga spasi dibuat sama dengan spasi spesimen. Untuk mendapatkan perilaku pengekangan yang mendekati spesimen maka ketiga model memiliki nilai Ash/shc yang sama dengan spesimen spasi 35 mm yaitu sebesar 1,9%. Sebagai konsekuensinya maka ketebalan pelat pengekang pada model pertama menjadi 1,2 mm, diameter tulangan pengekang model kedua sebesar 5,162 mm sementara model ketiga karena memiliki spasi yang sama dengan spesimen maka digunakan diameter yang sama dengan spesimen yaitu sebesar 7,3 mm.

4. HASIL ANALISIS

Gambar 5 memperlihatkan perbandingan kurva tegangan-regangan untuk kolom dengan kait standar hasil eksperimen dengan hasil analisis metode elemen hingga menggunakan software ADINA. Tegangan hasil analisis metode elemen hingga diambil pada titik ditepi kolom pada level penampang yang terdapat tulangan pengekang di bagian tengah tinggi kolom.

Penggunaan model pelat tipis dengan rasio volumetrik yang sama dengan spesimen memberikan perilaku hubungan tegangan regangan yang over estimate dengan hasil eksperimen. Pada regangan yang tinggi model elemen hingga belum memperlihatkan penurunan kapasitas aksialnya sementara hasil eksperimen memperlihatkan terjadinya penurunan kapasitas aksial. Kondisi ini terjadi karena penggunaan pelat tipis mengekang seluruh beton sehingga beton terkekang dengan sempurna sepanjang tinggi kolom. Nilai tegangan maksimum yang terjadi pada model sebesar 37,4 MPa sedikit lebih tinggi dari hasil eksperimen sebesar 35,96 MPa. Regangan pada tegangan maksimum yang terjadi pada model elemen hingga sebesar 0,00378 sementara hasil eksperimen sebesar 0,0024.

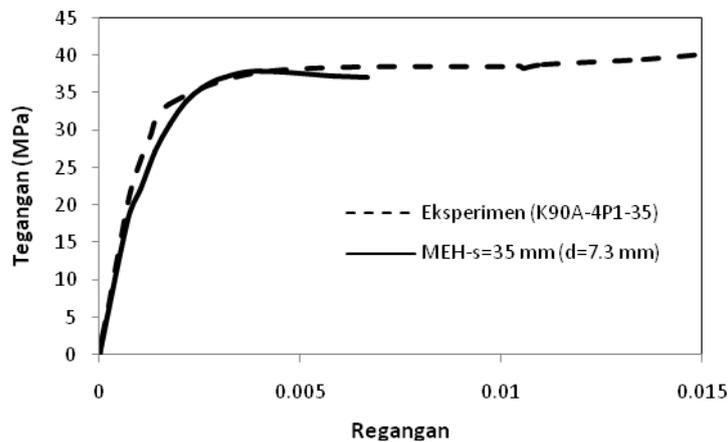
Model tulangan pengekang dengan jarak spasi 17,5 mm memberikan hasil nilai tegangan puncak yang lebih mendekati dengan hasil eksperimen yaitu sebesar 36,17 MPa, sementara regangan yang terjadi pada tegangan puncak yaitu sebesar 0,002547 sehingga terjadi perbedaan sebesar 0,58% dan 6,125% berturut-turut terhadap tegangan dan regangan puncak hasil eksperimen. Penggunaan model sengkang sebagai elemen garis yang tidak menutup seluruh sisi kolom beton memberikan kesulitan bagi software untuk mencapai konvergen sehingga perilaku nonlinier yang dianalisis tidak dapat mencapai sepanjang model dengan pelat tipis. Meskipun demikian model ini sudah dapat memperlihatkan perilaku yang mendekati dengan hasil eksperimen.



Gambar 5. Hubungan tegangan-regangan kolom hasil eksperimen spesimen K135-0-35 (kait standar) dan metode elemen hingga.

Model yang ketiga menggunakan spasi dan diameter tulangan pengekang yang sama dengan spesimen memberikan nilai tegangan puncak yang paling mendekati dengan hasil eksperimen yaitu sebesar 36,07 MPa serta regangan pada kondisi puncak sebesar 0,002332, sehingga terjadi perbedaan sebesar 0,3% dan 2,83% berturut-turut terhadap tegangan dan regangan puncak. Jarak spasi yang dua kali lebih lebar dari model kedua menambah kesulitan bagi software untuk menghasilkan solusi yang konvergen pada regangan yang tinggi. Pada model ketiga ini perilaku hubungan tegangan regangan pada daerah nonlinier tidak dapat diamati sebaik model pertama.

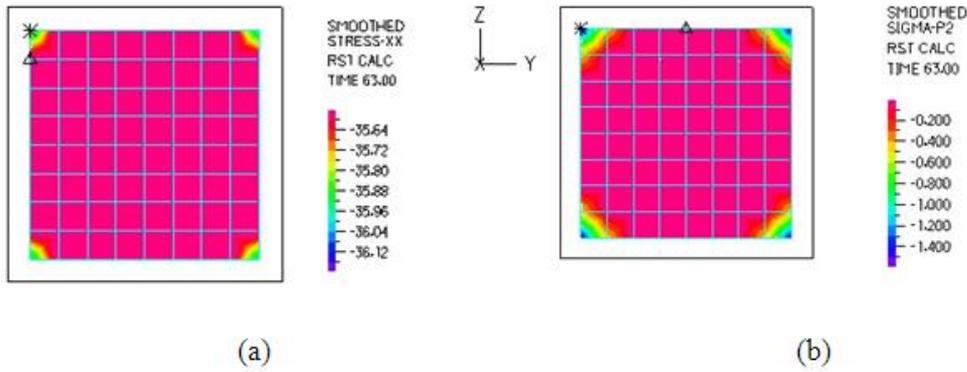
Gambar 6 memperlihatkan perbandingan hubungan tegangan-regangan antara kolom spesimen dengan konfigurasi F (K90A-4P1-35) dengan hasil analisis elemen hingga. Pada hasil eksperimen beban puncak pertama terjadi pada tegangan 37,97 MPa sementara regangan yang terjadi sebesar 0,0042. Hasil analisis elemen hingga memperlihatkan hasil yang tidak berbeda jauh yaitu tegangan maksimum terjadi sebesar 37,641 MPa dengan regangan sebesar 0,003796, sehingga terjadi perbedaan berturut-turut untuk tegangan dan regangannya sebesar 0,87% dan 9,62% dengan hasil eksperimen.



Gambar 6. Hubungan tegangan-regangan kolom hasil eksperimen spesimen K90A-4P1-35 (konf.F) dan metode elemen hingga

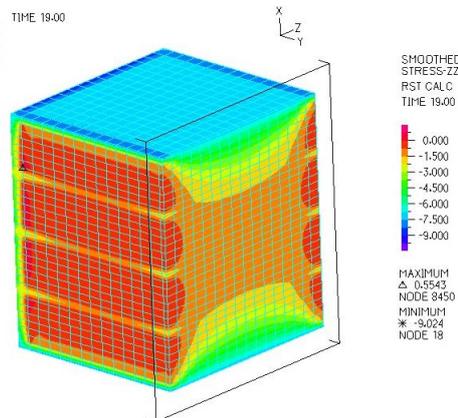
Meskipun analisis elemen hingga dengan menggunakan software ADINA dengan model spesimen ini tidak dapat memperlihatkan perilaku nonlinier pada regangan yang besar namun hasil yang didapatkan cukup akurat untuk menghitung besarnya parameter penting dalam perilaku beton terkekang yaitu tegangan puncak dan regangan yang terjadi pada saat tegangan puncak tersebut.

Gambar 7 memperlihatkan distribusi tegangan aksial dan lateral pada penampang di level tulangan pengegang pada kait standar. Sesuai dengan hasil penelitian didapatkan bahwa tegangan kekangan lateral tertinggi terdapat pada titik-titik sudut yang merupakan pertemuan antara tulangan pengegang dan tulangan longitudinal. Pada distribusi tegangan lateral analisis elemen hingga terlihat dengan jelas adanya peningkatan tegangan lateral pada bagian sudut dan menjadi berkurang pada bagian tengah pada masing-masing sisi kolom



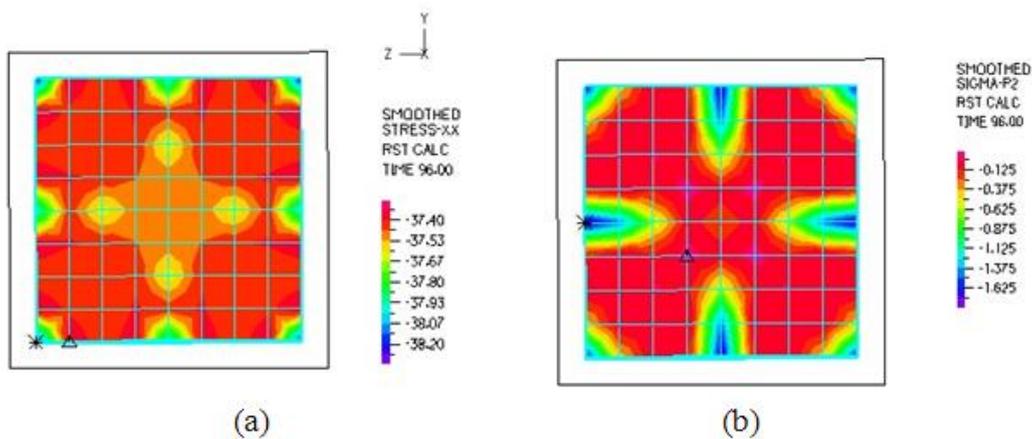
Gambar 7. Distribusi tegangan: (a) aksial, (b) lateral pada model dengan kait standar.

Gambar 8 memperlihatkan distribusi tegangan lateral arah z sepanjang arah longitudinal kolom. Distribusi tegangan lateral memperlihatkan efek aksi lengkung (arching action) dimana gaya lateral tertinggi berada pada level tulangan pengegang dan paling rendah berada diantara level tulangan sengkang.



Gambar 8. Distribusi tegangan lateral pada arah longitudinal pada model dengan kait standar.

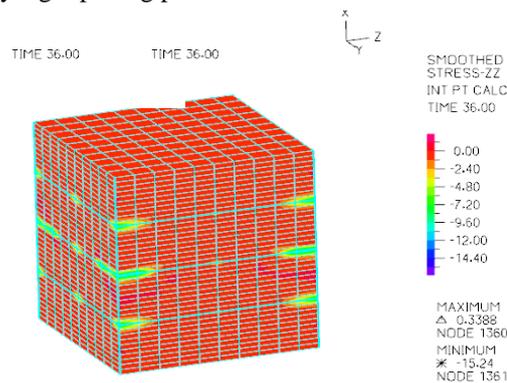
Gambar 9 memperlihatkan distribusi tegangan aksial dan lateral pada penampang di level tulangan pengegang pada model dengan tambahan pen-binder di keempat sisinya. Penambahan pen-binder pada bagian tengah memberikan efek peningkatan tegangan pengegang lateral, hal ini dapat dilihat pada nilai tegangan lateral yang meningkat pada daerah yang diberi pen-binder dan juga pada daerah sudut.



Gambar 9. Distribusi tegangan: (a) aksial, (b) lateral pada model dengan pen-binder pada keempat sisinya.

Distribusi tegangan lateral hasil analisis elemen hingga ini memperlihatkan bahwa penggunaan pen-binder memberikan pengaruh terhadap distribusi tegangan pengekan lateral yang akan mempengaruhi efektivitas pengekan dimana hal ini sesuai yang dihasilkan dari hasil eksperimen.

Gambar 10 memperlihatkan distribusi tegangan lateral pada arah longitudinal kolom, efek aksi lengkung juga terlihat meskipun tidak sejelas pada model dengan kait standar. Tegangan lateral tertinggi berada pada level pengekan dan pada daerah yang dipasang pen-binder.



Gambar 10. Distribusi tegangan lateral pada arah longitudinal pada model dengan pen-binder pada keempat sisinya.

5. KESIMPULAN

1. Analisis dengan model elemen hingga memberikan hasil yang cukup akurat untuk memperlihatkan perilaku tegangan dan regangan beton terkekang.
2. Analisis elemen hingga memperlihatkan bahwa penggunaan pen-binder mempengaruhi besarnya tegangan lateral inti beton, hal tersebut dapat dilihat dari perbedaan kontur dan besarnya tegangan lateral yang terjadi pada penampang antara model dengan kait standar dan model dengan pen-binder pada keempat sisi.
3. Model dengan jarak tulangan pengekan sesuai dengan benda uji eksperimen sebesar 35 mm memberikan hasil yang paling mendekati dengan hasil eksperimen meskipun begitu kurang memberikan informasi untuk daerah regangan nonlinier.

DAFTAR PUSTAKA

- ADINA R&D Inc.(2009) "ADINA : Theory and Modelling Guide Volume 1", Watertown, MA.USA
- Harajili, M.H; Hamad, B.S, and Rteil, A.A.(2004). " Effect of Confinement on Bond Strength between Steel Bar and Concrete ", ACI Structural Journal, V. 101, No. 5, Sept-Oct. 2004, pp. 596-603
- Hoshikusuma, J. et al. (1997), "Stress-Strain Model for Confined Reinforced Concrete in Bridge Piers", ASCE Journal of Structural Engineering, Vol 123. No.5 may, pp 624-633.
- Imran, I., Suarjana, M., Hoedajanto, D., Soemardi, B., Abduh, M., (2006). "Beberapa Pelajaran dari Gempa Yogyakarta; Tinjauan Kinerja Struktur Bangunan Gedung, Jurnal HAKI, Vol. 7, No. 1, hal. 1-13 (ISSN No. 0216/5457)
- Imran, I., (2007). "The 6 March 2007 West Sumatera Earthquake-Lesson Learned and Recommendations", Prosiding The International Symposium on Disaster in Indonesia (ISDI): Problem and Solution, 26-28 Juli, Padang.
- Imran, I., Hoedajanto, D., Suharwanto, (2005). "Beberapa Pelajaran dari Gempa Aceh; Tinjauan Kinerja Dua Bangunan Perkantoran di Banda Aceh", Seminar Gempa HAKI 2005, Jakarta, 25 Mei, (ISBN 979-98441-2-6)
- Kristianto, A., Imran, I., Suarjana, M., (2011). "Studi Eksperimental Penggunaan Tulangan Pengekang Tidak Standaryang Dimodifikasi pada Kolom Persegi Beton Bertulang", Jurnal Teknik Sipil ITB, Vol 18, No.3, hal 193-206 (ISSN 0853-2982)
- Kristianto, A., Imran, I., Suarjana, M., Pane I, (2012). "Confinement of Reinforced Concrete Columns with Non Compliance Confining Reinforcement plus Supplemental Pen-Binder", ITB J. Eng. Sci., Vol. 44, No. 3, 220-237 (ISSN: 1978-3051)
- Saatcioglu M and Razvi S.R(1992). "Strength and Ductility of Confined Concrete",Journal of Structural Engineering, ASCE, V. 118, No. 6, June 1992, pp. 1590-1607.

SERTIFIKAT

KONFERENSI NASIONAL TEKNIK SIPIL KE-8

diberikan kepada

ANANG KRISTIANTO
sebagai
PEMAKALAH

Hari Kamis & Jumat, Tanggal 16 - 17 Oktober 2014

“Peran Rekayasa Sipil dalam Pembangunan Infrastruktur Perkotaan Berkelanjutan Untuk Mendukung Percepatan dan Perluasan Pembangunan Ekonomi Indonesia”
di Institut Teknologi Nasional
Bandung

Atas kerja sama:



Ketua Panitia KoNTeKS 8.

KoNTeKS
KONFERENSI NASIONAL TEKNIK SIPIL

Hazairin, Ir., M.T.

