

UPAYA PERBAIKAN PERENCANAAN KOLOM BANGUNAN TAHAN GEMPA DI INDONESIA

HADI RUSJANTO TANUWIDJAJA¹
EURICKY EDUARDO TANUWIDJAJA²
GRACE KURNIAWATI SANTOSO³

¹ **Dirut PT Haerte Widya Konsultan Engineers, Dosen FTSP Usakti**

² **Perencana Struktur PT Haerte Widya Konsultan Engineers**

³ **Dosen FTSP Universitas Trisakti Jakarta**

ABSTRAK

Peraturan Perencanaan Struktur Beton yang berlaku memperbolehkan penggunaan mutu kuat tekan hancur beton untuk pelat-balok dengan maksimum 1.4 lebih rendah dari mutu beton kolom dibawahnya. Hasil pengamatan, penyelidikan dan pengalaman pekerjaan perencanaan perbaikan, perkuatan struktur akibat kegagalan pelaksanaan kolom pada beberapa bangunan tahan gempa di Indonesia menunjukan bahwa terjadinya penurunan signifikan dari mutu kuat tekan hancur beton umumnya banyak di dapati pada lokasi 100-200 mm di bawah daerah pertemuan antara balok dan kolom dari lantai yang ditinjau. Tidak terlalu banyak penurunan kuat hancur tekan beton yang terjadi pada badan dari kolomnya. Masalah krusial ini terjadi pada kolom-kolom lantai-lantai bawah dari bangunan tinggi dan sayangnya ditemukan sudah sangat terlambat yaitu ketika kerangka struktur utama beton sudah hampir selesai dibangun dan pekerjaan finishing arsitektur sudah mulai dikerjakan. Hal ini dapat dipahami karena pada kolom-kolom lantai bawah gaya aksial kolom sudah hampir mencapai beban kerja penuh akibat gaya gravitasi bangunan. Tidak dapat dihindari tingkat kesulitan perbaikan dan perkuatan kolom menjadi sangat sulit dilakukan karena keterbatasan ruang gerak yang saling berbenturan kepentingan dengan pekerjaan finishingnya. Upaya perbaikan dan penyempurnaan perencanaan struktur dan metode pelaksanaan pengecoran kolom diuraikan secara spesifik untuk menghindari terjadinya penurunan mutu kuat tekan hancur beton terkait dengan hal tersebut di atas termasuk strategi tata cara perencanaan dan pendetailan penempatan tulangan utama dan tulangan pengekangnya. Uraian singkat secara garis besar dijelaskan dalam tulisan ini dan dilengkapi dengan beberapa contoh faktual yang di ambil dari hasil pengalaman praktik perencanan.

Kata kunci : kolom, kuat-tekan hancur

PENDAHULUAN

Integritas kekuatan struktur kolom adalah sangat penting di dalam setiap bangunan, khususnya pada perencanaan struktur kolom untuk bangunan yang berada di wilayah daerah-daerah rawan gempa bumi. Pengalaman perencanaan struktur dan hasil pengamatan pada beberapa bangunan tinggi yang telah direncanakan untuk memikul gaya gempa di Jakarta, Bandung dan Surabaya menunjukan adanya issue kritis yang perlu mendapatkan perhatian khusus pada perencanaan dan pelaksanaan kolom yang harus memenuhi kriteria persyaratan spesifik bangunan tahan gempa.

Baru-baru ini penulis mendapat kesempatan untuk memeriksa dan memperbaiki struktur beberapa kolom-kolom lantai bawah yang mempunyai potensi mengalami kegagalan strukturnya. Tulisan ini menguraikan secara garis besar mengenai identifikasi masalah kegagalan struktur yang terjadi dilengkapi dengan upaya perencanaan perbaikan dan perkuatan struktur kolom terkait,

Diharapkan adanya upaya pencegahan terjadinya kegagalan serupa di atas dengan usulan

metode-metode perbaikan, peningkatan kualitas perencanaan dan pelaksanaan kolom struktur bangunan tahan gempa sebagaimana yang akan diuraikan dalam tulisan ini.

Perbaikan dan perkuatan struktur kolom yang pernah dilakukan pada beberapa bangunan tinggi tahan gempa di daerah ibu-kota Jakarta sebagaimana yang terlihat dalam gambar 1. Dapat dikemukakan di sini terdapat beberapa hal kritis yang perlu mendapatkan perhatian lebih khusus untuk perencanaan dan pelaksanaan pengecoran kolom struktur sbb:

- a. Rendahnya kualitas pengecoran dan kuat-tekan hancur beton pada hampir seluruh daerah-daerah sekitar 100-200 mm di bawah pertemuan balok-kolom sebagaimana terlihat pada gambar 1a, b, c dan d.
- b. Dalam jumlah yang relatif lebih sedikit terdapat penurunan kuat-tekan hancur beton akibat rendahnya kualitas pengecoran kolom seperti terlihat pada gambar 1e dan f.
- c. Tingkat kesulitan tinggi pada pengecoran kolom-kolom lantai bangunan bawah diakibatkan terjadinya penumpukan baja tulangan memanjang kolom dan tulangan sengkang terkait dengan sangat ketatnya persyaratan tulangan pengecoran yang baru dikeluarkan untuk struktur rangka pemikul momen khusus (SRPMK) dalam peraturan beton Amerika ACI 318-14 bab 18.7 khusus untuk kondisi rasio $\frac{P_u}{f_c' A_c} > 0.30$ pada perencanaan struktur bangunan tahan gempa sebagaimana terlihat dalam gambar 1g, h and i.

PENYEBAB TERJADINYA KEGAGALAN

Rendahnya kualitas kuat tekan-hancur beton 100-200 mm bawah pertemuan balok-kolom

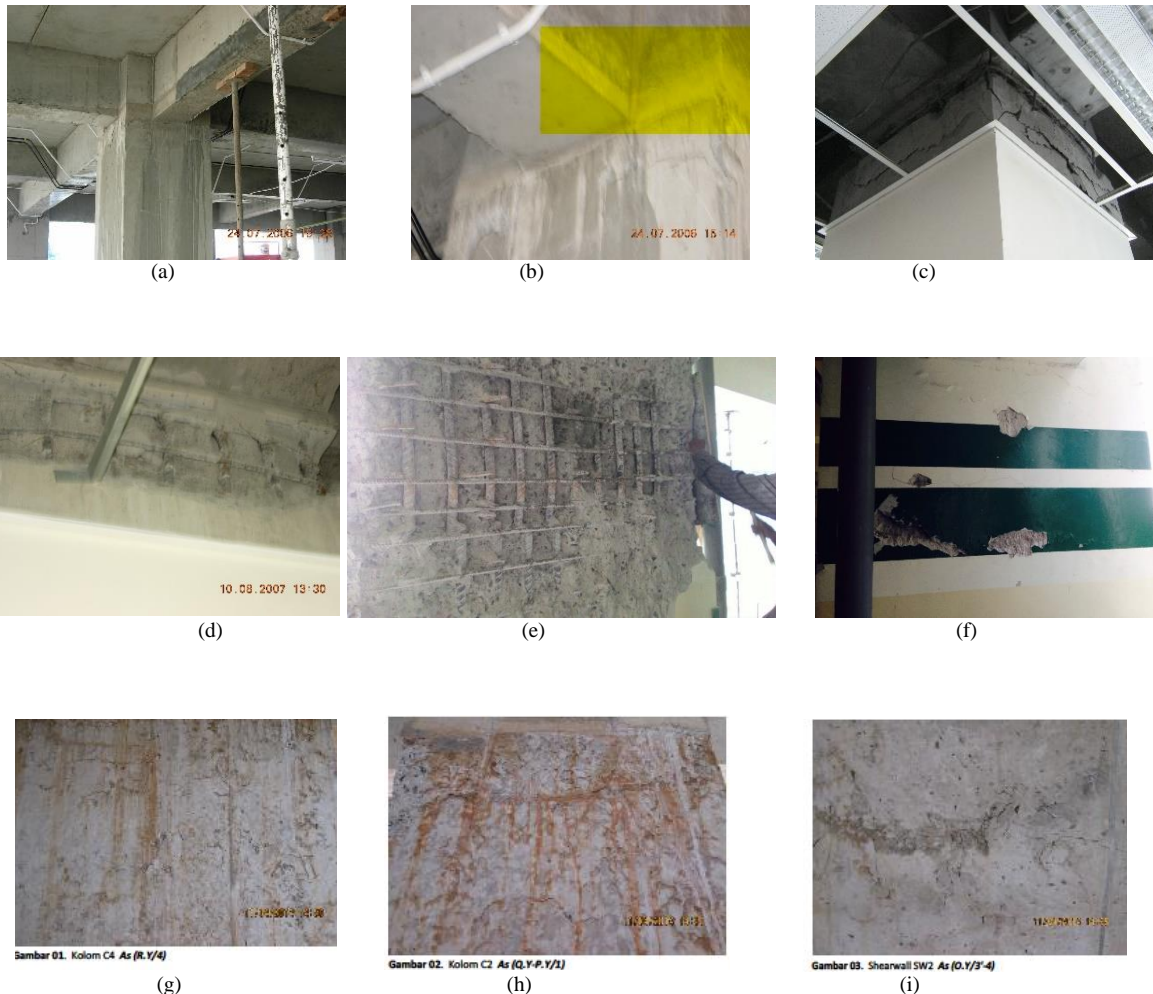
Optimisasi perencanaan struktur pada bangunan bertingkat tinggi memanfaatkan ketentuan yang tercantum di dalam peraturan beton Amerika ACI 318-14 bab 15.3 yang memperbolehkan kuat tekan-hancur beton pelat dan balok 40 % lebih rendah dari kuat-tekan hancur kolom-kolom lantai di bawahnya, gambar 2 mengilustrasikan kemungkinan terjadinya hal tersebut. Umumnya pelaksanaan pengecoran kolom di Indonesia dilakukan melalui proses 2 tahapan yaitu tahap pertama kolom di cor sampai mencapai level 100-200 mm di bawah daerah pertemuan balok-kolom sebagaimana terlihat dalam gambar 2a. Setelah penyelesaian pemasangan perancah dan penempatan baja tulangan balok-lantai kemudian pengecoran bagian atas kolom tersebut disekaligus dengan tahapan pengecoran lantai-balok di atasnya yang umumnya diperbolehkan mempunyai kuat-tekan hancur beton lebih rendah sesuai peraturan.

Sebelum pengecoran balok-lantai yang menggunakan alat bantu pompa-beton, pipa-pipa beton harus dibersihkan dari sisa-sisa pengecoran beton sebelumnya melalui proses penggelontoran menggunakan tekanan air yang disalurkan melalui pipa tersebut. Secara alamiah air selalu akan mencari tempat-tempat yang mempunyai level lebih rendah yaitu ruang-ruang kosong 100-200 mm yaitu daerah bawah pertemuan balok-kolom di bawah lantai ybs (lihat juga gambar 1a dan b).

Otoritas pemerintah daerah ibu-kota Jakarta tidak memperbolehkan pengecoran dilakukan pada siang hari jika diperhitungkan akan mengganggu kelancaran lalu-lintas sekitar proyek, sehingga pada umumnya pengecoran lantai-lantai bangunan tinggi hampir selalu dikerjakan setelah jam

10.00 malam hari. Keterbatasan dan kesulitan pengawasan lapangan pada pengecoran beton yang dilakukan tengah malam hari di duga merupakan penyebab utama tidak sempurna dilakukannya proses pembersihan sisa-sisa kotoran yang tertinggal pada daerah bawah pertemuan balok-kolom sehingga menghasilkan kualitas mutu kuat tekan-beton yang sangat rendah.

Tertekuknya tulangan memanjang kolom sebagaimana yang ditunjukkan pada gambar 1c dan d membuktikan juga rencahnya mutu kuat-tekan hancur beton di daerah tertentu tersebut.

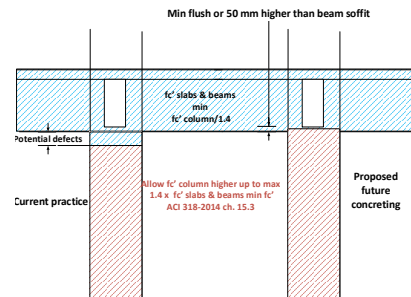


Gambar 1 – kegagalan pelaksanaan struktur kolom

Rendahnya kualitas mutu beton sebelum pengecoran

Adanya insentif tambahan pengemudi truk pengaduk beton siap pakai atas dasar jumlah rit pulang-pergi kedatangan beton di setiap proyek seringkali karena minimnya informasi pengetahuan mereka sehingga tidak dapat terkontrol dengan baik dengan seringnya dijumpai kejadian penambahan air dalam adukan beton berjalan selama perjalanan menuju proyek untuk meningkatkan besarnya nilai-slump adukan beton dengan dasar pemikiran sederhana sekedar

mempercepat proses penuangan beton dengan tanpa menyadari dampak bahaya adanya pengurangan kualitas mutu-beton yang direncanakan sebelumnya; gambar 1e and f membuktikan rendahnya kualitas mutu kuat-tekan beton tercor yang mengakibatkan tertekuknya tulangan memanjang kolom.



Gambar 2 – kuat tekan hancur beton daerah 100-200 m bawah pertemuan balok-kolom

Penumpukan tulangan memanjang dan melintang kolom

Rendahnya tingkat kualitas pengawasan lapangan pada tengah malam hari dan meningkatnya syarat pemasangan tulangan pengekat kolom sesuai peraturan baru ACI 318-14 bab 18.7.5.4 khususnya bab 18.7.3.2 yang mengharuskan penambahan syarat pemasangan tulangan memanjang terkait dengan penerapan konsep desain-kapasitas yang akan sangat berdampak secara signifikan terhadap hasil perhitungan tulangan yang dibutuhkan dan berakibatkan kepada rapatnya volume tulangan kolom dan dinding-geser pada lantai-lantai bawah bangunan tinggi khususnya yang mempunyai nilai perbandingan $P_u / f'_c A_g \geq 0.30$ dan yang sangat menyulitkan hasil akhir kualitas pengecoran sesuai rencana. Gambar 1g, h dan i memperkuat dasar argumentasi banyak terjadinya kegagalan struktur kolom sebagaimana telah diuraikan sebelumnya.

Kesulitan untuk menentukan kuat-tekan hancur beton di tempat

Untuk keperluan perencanaan dan pemeriksaan kekuatan struktur yang ada, perhitungan perencanaan perbaikan dan perkuatan setiap elemen struktur (kolom, dinding-geser); kuat-tekan hancur beton aktual pada kolom yang diperiksa harus dapat ditentukan dengan seksama. Di dalam kenyataan lapangan dikarenakan bertumpuknya tulangan memanjang dan melintang kolom yang sangat rapat, pada umumnya tidak memungkinkan untuk dapat di ambil core-drilling sampel yang cukup baik dan representatif berdiameter minimum ≥ 100 mm dengan tanpa memutus tulangan-tulangan tersebut.

Perbaikan dan perkuatan struktur kolom-gagal

Pada beberapa kasus kegagalan struktur kolom banyak terjadi pada lantai-lantai bagian bawah; phenomena hal ini dapat dimengerti karena pada kolom-kolom tersebut sudah bekerja beban mati bangunan meliputi hampir keseluruhan lantai yang menimbulkan terjadi gaya/tegangan tekan kolom yang cukup besar.

Tingkat kesulitan perbaikan dan perkuatan kolom bagian bawah semakin bertambah terkait komplikasi dengan adanya progress kerja bersamaan dengan pekerjaan penyelesaian dari mekanikal-elektrikal dan finishing arsitekturalnya; yang tentu implikasinya akan berdampak terhadap penambahan biaya ekstra serta terjadinya molor skedul waktu penyelesaian keseluruhan bangunan proyek tersebut dan sangat merugikan banyak pihak terkait.

Gambar 3, memberikan gambaran kompleksitas pekerjaan perbaikan dan perkuatan kolom-gagal yang kenyataan lapangan sangat memerlukan perhatian spesifik dan tidak umum akibat kebutuhan persiapan tambahan untuk tumpuan sementara dari struktur baja penunjang bagian-bagian lantai dan balok eksisting terkait sebelum dilakukan pembongkaran bagian kolom yang rusak serta memerlukan keahlian dan pengalaman khusus mengingat keterbatasan ruang gerak dan sempitnya lokasi selama progres kerja perbaikan berlangsung.



(a) temporary steel structure



(b) BC enlargement and additional column rebars



(c) BC steel brackets



(d) final retrofitting



(e) large column retrofitting



(f) enlarging column

Gambar 3 – perbaikan dan perkuatan kolom-gagal

Pada dasarnya semua pekerjaan perbaikan dan perkuatan kolom gagal membutuhkan tambahan biaya ekstra yang sangat tinggi dan berdampak kepada pengunduran atau tertundanya waktu penyelesaian pelaksanaan struktur bangunan secara keseluruhan dari yang direncanakan.

UPAYA PENINGKATAN KUALITAS PEKERJAAN KOLOM

Upaya untuk menghindari dan atau mengeliminir kolom-kolom gagal sebagaimana yang sudah diuraikan sebelumnya perlu penanganan secara serius baik dari sudut pandang perencanaan maupun tinjauan pelaksanaan lapangannya.

Untuk mengurangi rendahnya kualitas mutu kuat tekan-hancur beton pada daerah 100-200 mm di bawah pertemuan balok-kolom adalah keharusan untuk melakukan tahapan pertama pengecoran kolom strukturnya minimal sampai pada puncak level kolom bagian atas 50 mm lebih tinggi dari level pertemuan balok-kolomnya sebagaimana yang ditunjukkan pada gambar 2b.

ACI 318-14 dalam Tabel 20.2.2.4a sangat jelas menetapkan persyaratan minimum mengenai penggunaan baja tulangan ulir untuk beton biasa. Untuk keperluan baja tulangan pengekuat batas harga tegangan leleh maksimum yang disyaratkan adalah $f_{yt} \leq 700 \text{ MPa}$ (bandingkan tegangan leleh maksimum baja tulangan memanjangnya $\leq 420 \text{ MPa}$). Dalam hal ini penggunaan kawat baja tulangan beton prategang (prestressing wire) lebih menguntungkan (lihat pula ACI 318-14 Tabel 20.3.2.2), karena disamping diameter kawat baja ini mempunyai diameter yang lebih kecil namun harga batas tegangan putusnya jauh lebih tinggi, sehingga pada kondisi ukuran penampang kolom yang sama penggunaan kawat baja prategang akan menghasilkan jarak bersih antar tulangan pengekuat yang relatif lebih renggang.

Pada kebanyakan kolom struktur lantai-lantai bawah dari bangunan tinggi tahan gempa dengan besarnya perbandingan $P_u / f'_c A_g \geq 0.30$ (kira-kira sama dengan titik balanced-failure pada diagram grafik hubungan interaksi momen kolom) akan memberikan tipe keruntuhan tekan akibat pembebanan kombinasi momen lentur dan gaya aksial kolom tekan.

Secara teori tipe keruntuhan tekan ini tidak mempunyai dampak signifikan terhadap tata-letak penempatan tulangan memanjang kolom dalam satu penampangnya, gambar 4a menunjukkan penempatan tata-letak tulangan memanjang kolom konvensional (penempatan tulangan memanjang kolom pada bagian sisi keliling penampang kolom).

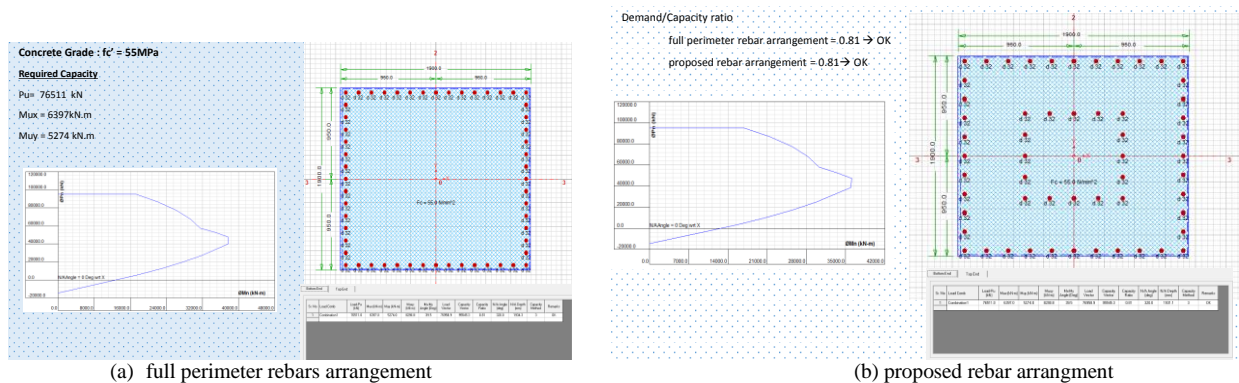
Usulan modifikasi penempatan tata-letak 1/3 dari luas total tulangan memanjang ke-araf bagian pusat kolom teoritis tidak merubah kapasitas total kuat nominal momen lentur kolomnya. Gambar 4b. menunjukkan usulan strategi penempatan tulangan tersebut pada perencanaan kolom bangunan tahan gempa untuk mengurangi penumpukan tulangan memanjang dan melintang kolom akibat jarak bersih antar tulangan ($s > 125 \text{ mm}$).

Secara logika dampak modifikasi tata-letak penempatan tulangan memanjang kolom, memberikan kebutuhan persyaratan tulangan pengekuat untuk sejumlah total luasan tulangan memanjang pada sisi-sisi perimeter kolom yang akan lebih kecil sehingga kebutuhan syarat tulangan pengekuatnya dapat dikurangi.

Gambar 4 secara positif memberikan bukti bahwa usulan modifikasi tata-letak penempatan tulangan memanjang kolom ini tidak berdampak terhadap pengurangan kekuatan kapasitas lentur kolom namun demikian akan memberikan tambahan keuntungan berupa kemudahan buat pelaksanaan pengecoran kolomnya sehingga secara otomatis akan mengurangi dampak kegagalan kolom akibat rendahnya kualitas mutu pelaksanaan sehubungan dengan sangat rapatnya penumpukan tulangan pada tata-letak penempatan tulangan memanjang kolom konvensional (pada sisi-sisi perimeter penampang kolom).

Lebih jauh jika dikemudian hari ada keraguan mengenai mutu kuat tekan-hancur beton tercor, pengambilan coring-sampel beton di lapangan akan relatif lebih mudah dikarenakan jarak bersih antar tulangan memanjang dan melintang yang relatif lebih renggang dengan tanpa terhalang karena keharusan untuk melakukan pemotongan baja tulangannya.

Sebagai catatan setiap kombinasi beban aksial dan eksentrisitas yang mempunyai harga perbandingan $P_u / f'_c A_g < 0.30$ akan memberikan tipe keruntuhan lentur tarik yang sangat dipengaruhi oleh tata letak penempatan tulangan memanjang kolom pada sisi-sisi perimeter penampang kolomnya.



Gambar 4 – Diagram interaksi momen kolom

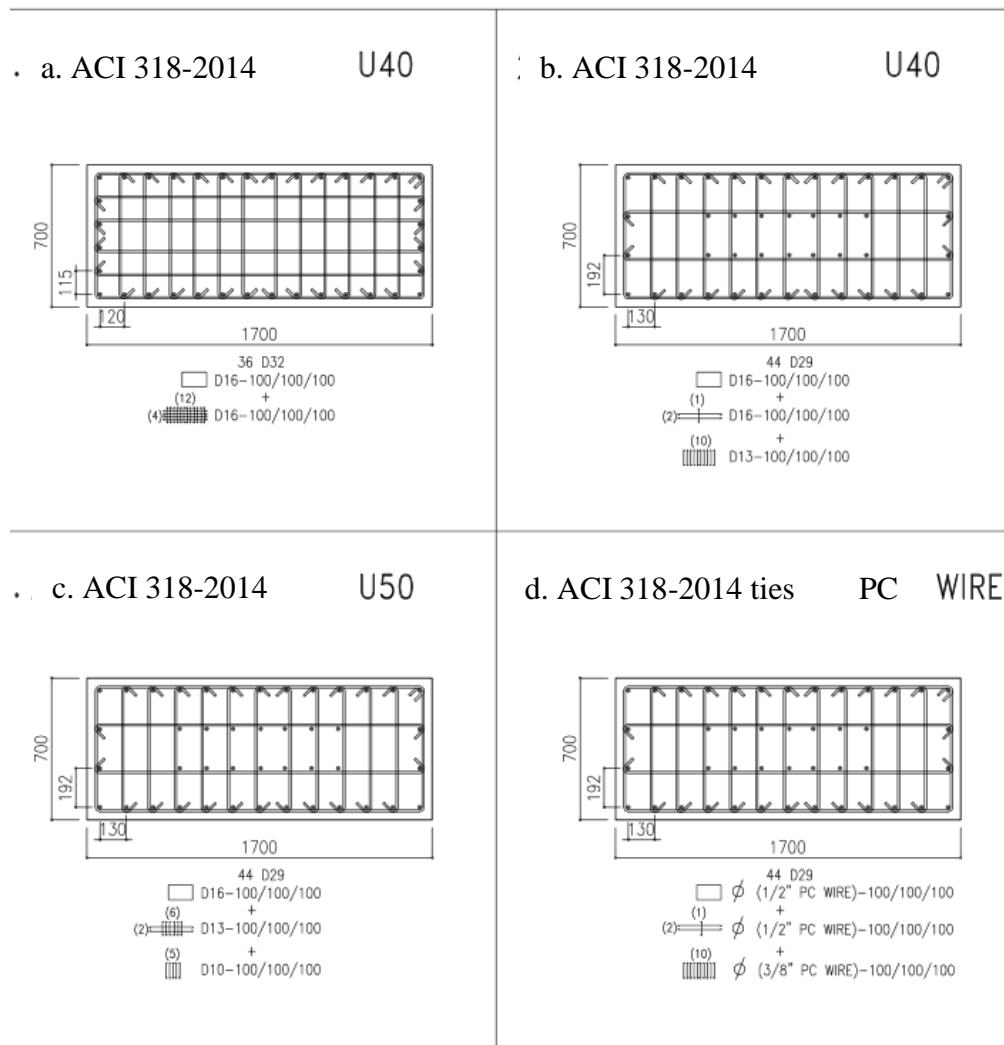
Modifikasi penempatan tata-letak tulangan memanjang kolom dengan memindahkan sebagian 30 % dari luas total tulangan memanjang ke arah pusat penampang, meskipun total luas tulangan kolom tidak berubah namun teoritis tulangan pengekan yang dibutuhkan dapat dikurangi dan secara pertimbangan kemudahan pelaksanaan pengecoran kolom dapat ditingkatkan karena adanya jarak bersih antar tulangan memanjang dan melintang kolom menjadi lebih lebar (> 125 mm) sebagaimana yang ditunjukkan pada gambar 5b, c dan d tentunya jika hal ini diperbandingkan dengan penempatan tata-letak tulangan memanjang kolom konvensional seperti terlihat dalam gambar 5a.

Untuk peningkatan kemudahan pelaksanaan pengecoran kolom dianjurkan untuk melakukan modifikasi penempatan tata-letak tulangan memanjang kolom dengan memindahkan kurang lebih $1/3$ dari jumlah luas total tulangan ke arah pusat penampang kolom seperti tergambar dalam gambar 5 b, c dan d.

KESIMPULAN

Untuk memenuhi persyaratan tulangan pengekan yang lebih ketat sesuai ketentuan yang tercantum di dalam peraturan beton Amerika terbaru yaitu ACI 318-14 dan juga untuk mengurangi komplikasi pengecoran kolom di lapangan terkait dengan sangat rapatnya penumpukan baja tulangan memanjang dan melintang khususnya pada daerah lantai-lantai bawah perencanaan bangunan tahan gempa dengan ratio perbandingan $P_u / f'_c A_g \geq 0.30$ usulan

mengenai tata cara tahapan pengecoran kolom, serta strategi perencanaan struktur kolom telah diuraikan dengan harapan dapat mengurangi banyaknya kolom-gagal di kemudian hari.



Gambar 5 – Perbandingan tata-letak usulan penempatan tulangan memanjang kolom dengan sistim konvensional (tulangan perimeter)

KEPUSTAKAAN

- [1] American Concrete Institute (2014), ACI 318-14 ; “*Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary*”; 520 pp.
- [2] Badan Standarisasi Nasional Indonesia (2013), SNI 2874-13; “*Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*,” 265 pp
- [3] PT Haerte Widya Consulting Engineers (2015), “*Selected Projects Documentation*”

