

Pengaruh Gempa Terhadap Titik Buhul Portal Struktur Beton Pada Bangunan Gedung Tingkat Tinggi

Oleh : Suharyanto



Suharyanto, dilahirkan di Slemani pada tanggal 7 Agustus 1951. Alumnus Fak. Teknik UGM (1983) dan program S-2 dalam Bidang Struktur Engineering diselesaikan di Univ. Of Tite Philippines tahun (1987). Kini menjadi Dosen tetap pada Fak. TSP UII, dan pernah menjabat sebagai pembantu Ketua jurusan II pada Fak. TSP UII (1988 - 1992). saat ini (1992-1995) menjabat sebagai Pembantu dekan II pada Fak. TSP UII. Dan anggota dalam Organisasi Profesi PII

Pendahuluan

Pada saat terjadi gempa, pada struktur bangunan, getaran gempa dari lapisan tanah dibawah bangunan akan menggetarkan bangunan di atasnya dalam arah lateral secara acak dalam berbagai arah. Dua hal penting yang perlu dibahas dalam perencanaan struktur bangunan tahan gempa yaitu perilaku *material* dan *struktur bangunan* (maupun komponen dari struktur bangunan tersebut) itu sendiri.

Getaran gempa yang bekerja berulang-ulang ("Repeating Loading") akan bisa menimbulkan keadaan "*fatigue*" (patah lelah) sehingga struktur mengalami kegagalan. Dalam keadaan "*fatigue*" tegangan menjadi cukup rendah, dan kurva tegangan-regangan praktis berupa garis lurus, sedangkan akibat getaran gempa yang menimbulkan "*fatigue*", struktur bangunan maupun komponennya akan berperilaku non-linier, ini berarti kurva

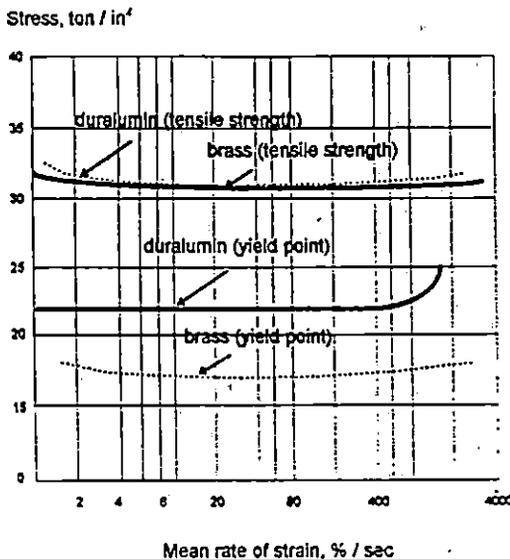
tegangan-regangan tidak selalu menyajikan informasi efek dari siklus pembebanan gempa tersebut.

Berbagai tes tersebut dilakukan dengan berbagai metode baik model pembebanan dan model struktur/komponen struktur. Sangat sulit untuk membuat model pembebanan gempa, karena penggetarannya yang acak, yang tentunya tidak bisa didekati dengan getaran yang harmonis ("*steady state*"). Tetapi berbagai test dilakukan dengan siklus pembebanan dengan pengambilan besar beban secara acak yang diharapkan akan mendapatkan "*stress historis*" yang mendekati akibat siklus pembebanan gempa.

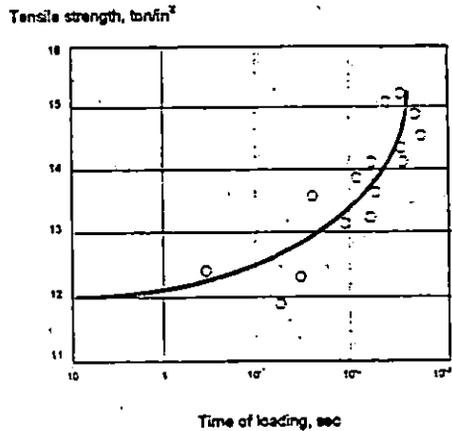
Perilaku material akibat pembebanan gempa.

Diagram tegangan-regangan adalah merupakan fungsi dari "*rate of loading*". Berikut ini akan dibahas/dibandingkan

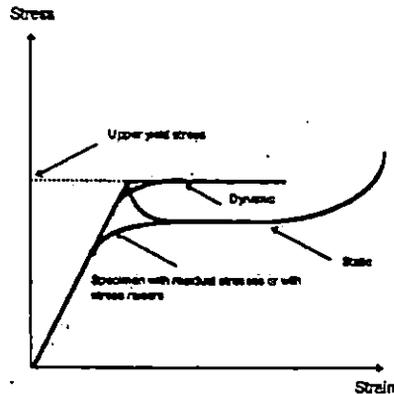
spesimen beberapa material yang mengalami tegangan "uniaxial" secara monoton. Dalam gambar 1 dan 2 bisa dilihat untuk hampir semua jenis logam kurva tegangan-regangan yang terjadi tidak jauh berbeda akibat "static load" maupun "highest rate of loading" yang terjadi pada gempa bumi. Dalam gambar 3 untuk material baja jelas terlihat efek kurva tegangan akibat beban statis maupun dinamis. Perlu dicatat dalam penyajian kurva tersebut adalah efek dari pembebanan dinamis kurva tegangan-regangan tidak mengalami atau bebas dari konsentrasi tegangan dan tegangan sisa ("residual stress"), sedangkan fenomena yang terjadi konsentrasi tegangan dan "residual stress" dalam praktiknya akan menjadi sangat tinggi jika "upper yield point" menjadi tidak kelihatan atau nilainya masih signifikan pada saat "rate of loading" yang bersangkutan bekerja.



Gambar 1. Efek kecepatan regangan pada tegangan dan titik luluh untuk logam tertentu.

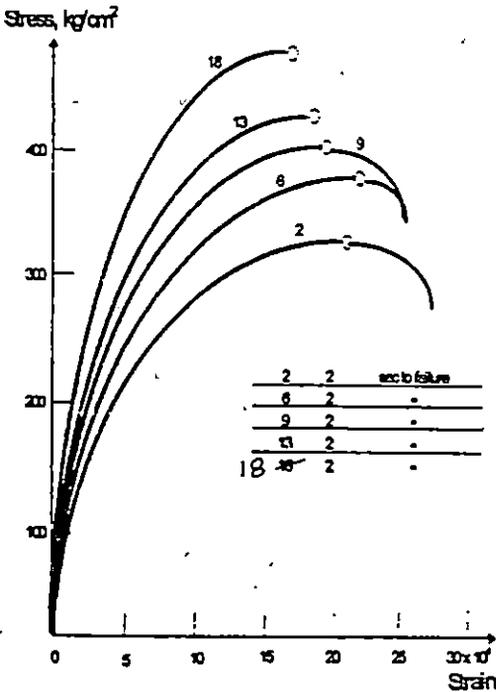


Gambar 2. Efek percepatan regangan pada tegangan untuk baja tuang.

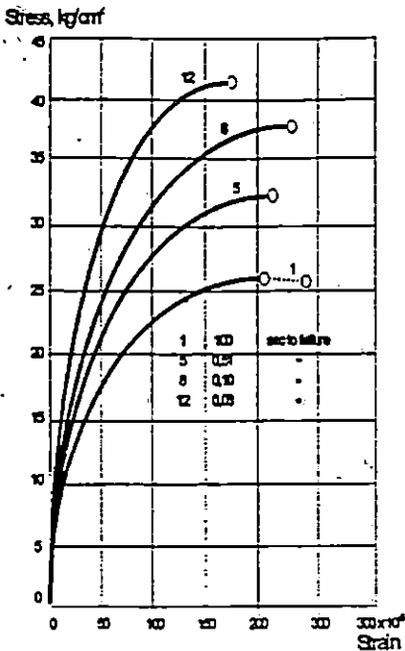


Gambar 3. Kurva tegangan-regangan akibat beban statis dan dinamis pada baja tulangan.

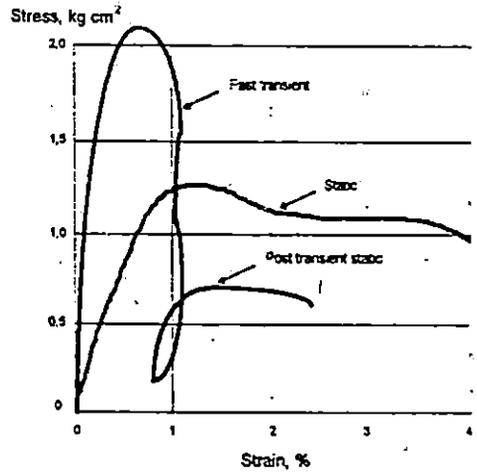
Untuk beton, kurva tegangan-regangan bisa dilihat pada gambar 4. dan gambar 5., disana Kuat Bahan dan Modulus Elastisitasnya akan menaik sedangkan pada gambar 6. gambar 7. dan gambar 8., adalah diagram kurva atau kurva tegangan-regangan dari berbagai macam material.



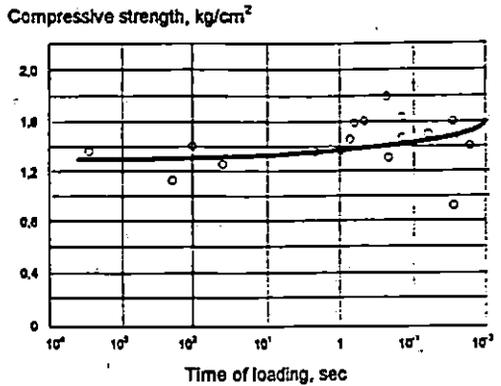
Gambar 4. Efek "time to failure" pada diagram tegangan-regangan pada uji desak beton.



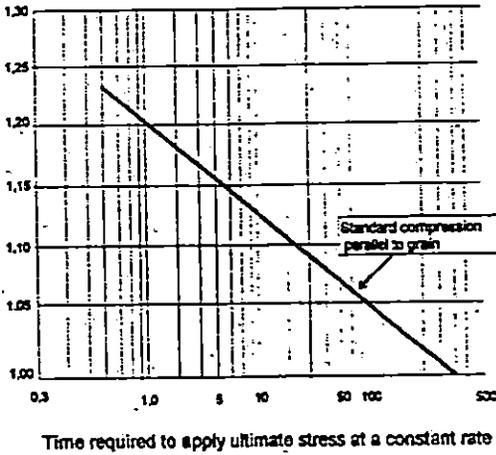
Gambar 5. Efek "time to failure" pada diagram tegangan-regangan pada uji tarik beton



Gambar 6. Efek "time of loading" pada diagram tegangan-regangan pada tanah lempung (clay)



Gambar 7. Efek "time of loading" pada kuat ultimit kayu

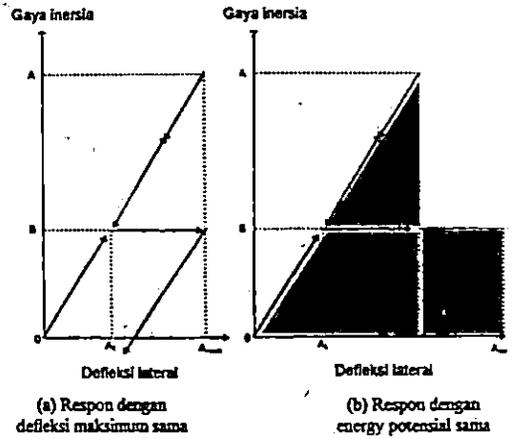


Gambar 8. Efek "time of loading" pada uji triaksial kuat tekan pasir.

Perilaku Struktur akibat beban gempa bumi

Berbagai peraturan perencanaan bangunan terhadap beban gempa, termasuk pedoman perencanaan yang berlaku di Indonesia menetapkan suatu taraf beban gempa rencana yang menjamin suatu struktur, agar struktur tidak rusak karena gempa-gempa kecil atau sedang, tetapi saat dilanda gempa berat yang jarang terjadi struktur tersebut mampu berperilaku duktail dengan memancarkan energi gempa sekaligus membatasi beban gempa yang masuk dalam struktur.

Seperti di ilustrasikan dalam gambar 9.a dan 9. b saat terjadi gempa kuat struktur yang direncanakan berperilaku elastis harus dapat memikul beban gempa sebesar OA. Bila struktur terjadi mampu berperilaku duktail dengan membuat sendi plastis, maka taraf pembebanan gempa cukup ditunjukkan sebesar OB yang beberapa kali lebih kecil dari OA.



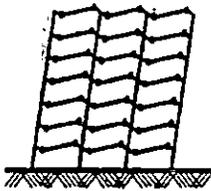
Gambar 9. Respon struktur yang berperilaku elastis dan elastoplastis saat terjadi gempa sesaat.

Dalam perencanaan bangunan tahan gempa, terbentuknya sendi-sendi plastis yang mampu memancarkan energi gempa dan membatasi beban gempa yang masuk dalam struktur, harus dikendalikan sedemikian rupa agar struktur berperilaku memuaskan dan tidak sampai runtuh saat terjadi gempa kuat. Pengendalian terbentuknya sendi-sendi plastis pada lokasi-lokasi yang telah direncanakan lebih dahulu dapat dilakukan secara pasti terlepas dari kekuatan dan karakteristik gempa. Filosofi perencanaan seperti ini dikenal sebagai *Konsep Desain Kapasitas*.

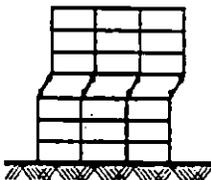
Dengan Konsep Desain Kapasitas, untuk menghadapi gempa kuat yang mungkin terjadi pada periode tertentu, maka mekanisme keruntuhan suatu Portal Terbuka bangunan tingkat tinggi dipilih sedemikian rupa, sehingga pemancaran energi gempa yang terjadi secara memuaskan dan keruntuhan yang bersifat catastrophic dapat dihindarkan. Gambar 10.

,menunjukkan pada mekanisme yang bebas dapat terjadi pada portal-portal rangka terbuka. Mekanisme goyang dengan pembentukan sendi-sendi plastis yang terpusat pada ujung-ujung beban suatu sendi ("soft storey mechanism"), karena beberapa alasan sebagai berikut :

1. Pada mekanisme gempa gambar 10.a pemencaran energi gempa terjadi didalam banyak unsur, sedangkan pada mekanisme ke dua, gambar 10.b, pemencaran energi terpusat pada sejumlah kecil kolom-kolom struktur.
2. Pada mekanisme pertama bahaya ke tidak stabilan akibat P-AP jauh lebih kecil dibanding dengan yang mungkin terjadi pada mekanisme kedua ("Soft Storey Mechanism")
3. Daktilitas kurvatur yang dituntut dari balok untuk menghasilkan daktilitas struktur tertentu, pada umumnya jauh lebih mudah dipenuhi dari pada kolom yang tetap memiliki cukup daktilitas besarnya gaya aksial tekan yang bekerja.



(a) Sendi plastis pada balok tidak akan menyebabkan keruntuhan



(b) Sendi Plastis pada kolom menyebabkan keruntuhan lokal pada satu tingkat

Gambar 10. Mekanisme yang dapat terjadi pada "open frame"

Guna menjamin terjadinya mekanisme goyang dengan pembentukan sebagian besar sendi plastis pada balok, Konsep Desain Kapasitas diterapkan untuk merencanakan agar kolom-kolom lebih kuat dari balok portal ("strong column - weak beam"). Keruntuhan geser pada balok yang bersifat getas juga diusahakan agar tidak terjadi lebih dahulu dari kegagalan akibat beton lentur pada sendi-sendi plastis balok setelah menjalani rotasi-rotasi plastis yang cukup besar.

Pada prinsipnya dengan Konsep Desain kapasitas elemen-elemen utama penahan beban gempa dapat dipilih, direncanakan dan di detail sedemikian rupa, sehingga mampu memencarkan energi gempa dengan deformasi inelastis yang cukup besar tanpa runtuh, sedangkan elemen-elemen lainnya diberi kekuatan yang cukup, sehingga mekanisme yang telah dipilih dapat dipertahankan pada saat terjadi gempa kuat.

Perilaku komponen struktur akibat beban gempa bumi

Pada umumnya diskusi perilaku komponen struktur dibedakan atau dipisahkan atas :

1. Batang/Elemen lentur
2. Joint/Titik buhul
3. Portal/Frames
4. Balok menerus/Continues Beam
5. Diafragma, termasuk Shearwall

Dalam pembahasan bab sebelumnya, tentang perilaku material akibat beban gempa, ternyata efek gempa bumi lebih berakibat fatal pada material beton dibanding baja/logam sebagai bahan material struktur bangunan pada umumnya. Berikut ini pembahasan akan lebih menuju

ke struktur/komponen struktur beton khususnya elemen lentur dan detail pada joint/titik buhul tempat pertemuan elemen-elemen lentur tersebut.

Batang Elemen lentur (Flexural Members)

a. Elemen lentur kolom

Dalam perencanaan tahan gempa sangatlah sering diperiksa kuat geser kolom beton dengan tampang lingkaran/bulat. Berikut ini disajikan beberapa contoh kegagalan komponen struktur elemen lentur akibat gempa bumi :

MACUTO SHERATON HOTEL di CARACAS runtuh pada gempa bumi tahun 1967 akibat diagonal tension cracks. Diagonal Crack ini jarang diperhitungkan dalam desain akibat beban gravitasi, dalam desain sering mengabaikan hal ini (efek Kuat Geser tampang Lingkaran)

Faradji Capon Dian de Cossio, 1965, melakukan test/uji kolom tampang lingkaran dengan beban statis untuk berbagai beban aksial.

Kesimpulannya kuat geser kolom tampang lingkaran dapat dipandang sebagai kolom



Gambar 11.

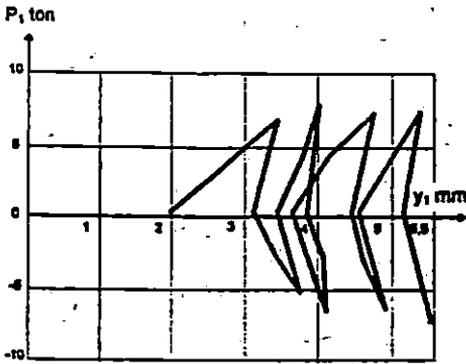
Kolom di Macuto - Sheraton, Hotel yang mengalami kerusakan diagonal tension

persegi dengan menggunakan luas beton efektif dari luas total tampang, yaitu luasan yang dibatasi tulangan pengekang atau sengkang

b. Elemen lentur balok

Dari beberapa tes/uji beban pada balok beton yang dibebani dalam waktu yang singkat dengan pembebanan berulang ("repeated loading"), dapat disimpulkan perilaku dari spesimen balok tersebut sebagai berikut.

- (1) Begitu terjadi "*diagonal tension crack*", maka keadaan menjadi memburuk dengan cepat, tergambar dengan gambar 12., lebih-lebih panjang balok bertambah panjang secara selaras dengan siklus pembebanan yang berturut-turut dan menghasilkan/mengakibatkan pelebaran dan penambahan diagonal "*tension crack*"
- (2) Situasi serupa terjadi setelah adanya slip antara tulangan baja terhadap beton disekelilingnya atau *split/robekan* yang terjadi pada daerah pengjangkaran disekeliling ujung tulangan baja yang dibengkokkan (*hook*). Pada gambar 13. terlihat kerusakan pada joint akibat split di daerah pengjangkaran. Hal yang perlu diperhatikan disini adalah adanya konsentrasi tegangan di daerah *cut-off* tulangan baik adanya beban statis maupun dinamis, dan dengan adanya tambahan tulangan tarik pada daerah pengangkuran akan mengurangi kapasitas tegangan tarik diagonal ("*diagonal tension*") dari balok (Baron 1966)



Gambar 12.

Pembebanan berulang pada balok beton yang mengalami kegagalan pada diagonal tension

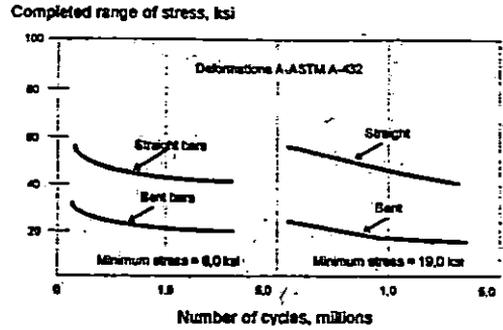


Gambar 13.

Kerusakan akibat split pada daerah penjangkaran

(3) Batang-batang tulangan baja dengan hook/bengkokan/kait pada ujung mengakibatkan kekuatan/kapasitas tampang menjadi berkurang dibanding dengan tulangan lurus pada tampang balok beton bertulang (P fiser and Hognestad, 1992)

Gambar 14. mengilustrasikan fenomena tersebut di atas, untuk test pada balok beton yang dibebani secara berulang (*repeated loading*)



Gambar 14. Efek pembebanan berulang pada tulangan baja, lurus dan tulangan baja bengkok.

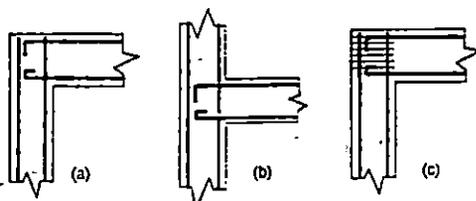
(4) Baik akibat static maupun cyclic loading, tulangan memanjang baja tidak akan tertekuk keluar dari tampang balok beton walaupun seandainya tidak ada tulangan pengekang atau sengkang pada tampang balok tersebut. Beton sekeliling tulangan cukup mampu untuk mengatasi hal itu, dan lebih-lebih kurvaturnya menunjukkan tulangan baja akan cenderung bergerak atau melentur kedalam tampang.

Fenomena yang terakhir di atas tidak terjadi pada penulangan dibagian sudut, bahkan perlu tulangan pengekang ataupun sengkang untuk menjaga agar tulangan tetap berada di tempatnya. Demikian juga untuk balok pelengkung fenomena tersebut tidak berlaku, dalam hal balok pelengkung ini diperlukan tulangan pengekang ataupun sengkang yang cukup rapat untuk menjaga tulang memanjangnya

Join/Titik Buhul

Titik buhul sebagai titik hubung antara elemen-elemen struktur merupakan bagian yang paling rawan dalam hal menerima beban berulang ("repeated loading").

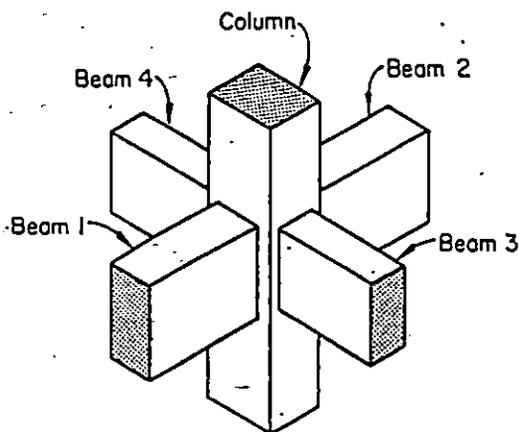
Test/uji coba menunjukkan pada sambungan balok/kolom beton bertulang menunjukkan bahwa ketahanan lateral beton pada titik buhul secara essensial bisa menjamin perilaku dari titik buhul tersebut, khususnya akibat beban berulang dan beban alternatif. Dengan memperhitungkan ketahanan lateral pada titik buhul tersebut di atas, maka split pada beton akibat momen lentur akan menjadi lebih kecil. Dengan siklus beban berulang yang terjadi akibat gempa akan mereduksi kapasitas titik buhul dan berangsur menjadi nol, retak diagonal akan melebar walaupun pada tegangan yang rendah (Corley - Hanson, 1969), sambungan balok-kolom pada gambar disamping akan berperilaku lemah bahkan akibat beban statis pun portal akan mengalami keruntuhan/collapse dengan kerusakan detail pada sambungan tersebut. Sambungan tipe ini juga akan berperilaku lemah jika ada beban berulang seperti halnya gambar 15.a Untuk mengatasi sambungan tipe 15. a dan 15. b digunakan tambahan tulangan pengekuat atau sengkang seperti tergambar untuk mengantisipasi geser dan diagonal tension di titik buhul tersebut.



Gambar 15. Detail sambungan balok - kolom a,b,c.

Beam Column Joint (Titik buhul balok - kolom)

Beam Column Joint adalah bagian dari kolom yang berada dalam tampang balok yang berhubungan dengan kolom tersebut. Pada awalnya desain join/titik buhul monolit hanya terbatas pada pengangkatan yang cukup pada beton, tetapi dengan dapat diproduksi beton mutu tinggi, yang akan menghasilkan dimensi tampang beton yang semakin kecil, maka penggunaan baja tulangan diameter besar membutuhkan desain khusus pada penyambungan di titik buhul (Beam Column joint)



Gambar 16. Beam Column Joint yang monolit

Klasifikasi Titik Buhul

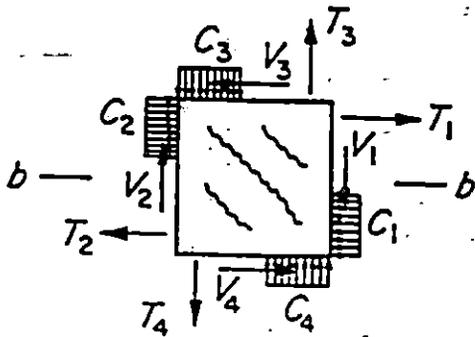
Titik buhul struktur bangunan beton bertulang bisa diklasifikasikan dalam 2 tipe :

1. Titik buhul yang dirancang dengan Basic Strength (Menurut Code ACI, SKSNI 1991 ataupun PBI 1971) untuk menahan beban gravitasi dan beban angin normal.
2. Titik buhul yang dirancang mempunyai

yang tegangan/kekuatan pada saat defomasi inelastik akibat menahan beban bolak-balik akibat gempa, beban angin yang sangat tinggi maupun ledakan.

Beban titik buhul dan gaya yang dihasilkan

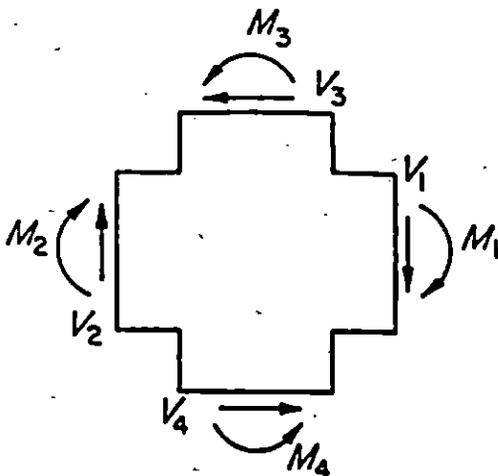
Luasan tampang di titik buhul harus dirancang sedemikian rupa sehingga mampu menahan gaya-gaya yang ditransfer dari balok dan kolom ke joint/titik buhul, termasuk beban aksial momen, torsi dan gayalintang. Gambar 17. menyatakan "freee body". Tampang titik buhul dan gaya-gaya external yang bekerja pada joint/titik buhul serta gaya-gaya internal yang ditimbulkan. Untuk itu di rekomendasikan karena akibat beban lateral/gempa, desain luasan tampang/dimensi pada daerah titik buhul didasarkan atas gaya-gaya yang akan bekerja pada joint/titik buhul (seperti uraian pada gambar di atas) tidak berdasar dimensi tampang yang dihasilkan dari desain lentur balok maupun desain dimensi kolom



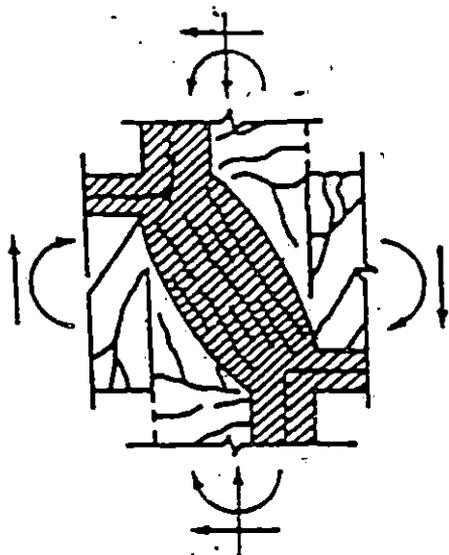
Gambar 17. Beban dan gaya yang timbul akibat beban lateral/gempa.

Kuat geser titik buhul

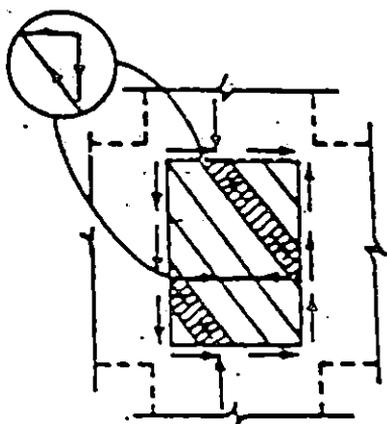
Kuat geser titik buhul/join balok-kolom sangat ditentukan interelasi dua mekanisme seperti pada gambar 18. dan 19. Persamaan beban tekan lentur yang bekerja pada keempat komponen struktur yang berdekatan secara bersama-sama membentuk suatu strut diagonal sepanjang titik buhul apabila sendi-sendi plastis di batasi terjadinya pada balok-balok yang bersebelahan dan tegangan geser nominal titik buhul tidak terlalu besar seperti yang biasanya terjadi, maka tegangan-tegangan diagonal tekan pada inti titik buhul tidak terlalu besar dan masih dapat ditahan.



Fungsi mekanisme kedua seperti pada gambar 19 adalah untuk mengimbangi jumlah gaya lekat yang harus disalurkan oleh tulangan balok dan kolom pada inti/titik buhul. Tampak disini bahwa setelah terjadi retak diagonal, maka suatu "shear flow" di sekeliling penampang akan membentuk daerah tekan diagonal.



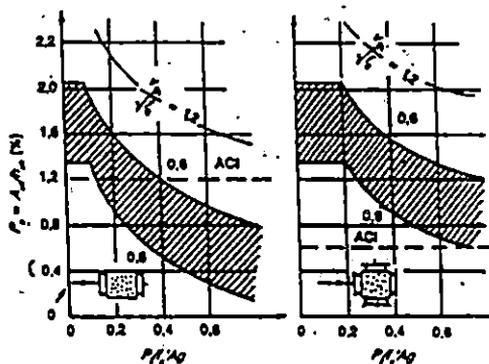
Gambar 18. Strut diagonal pada titik buhul balok-kolom beton



Gambar 19. Medan tekan diagonal pada titik buhul balok-kolom beton

Strut-strut diagonal seperti gambar 18 akan segera memikul tegangan-tegangan tekan apabila gaya-gaya kekang horisontal dan vertikal pada tepi-tepi inti titik buhul dijamin dapat bekerja. Untuk itu diperlukan tulangan geser horisontal guna menjamin

adanya gaya kekang pada tepi titik buhul/join. Sementara gaya kekang vertikal pada titik buhul/join dijamin oleh adanya gaya aksial tekan kolom yang cukup besar. Pada join-join yang tidak ada gaya tekan kolom, diperlukan tulangan geser vertikal. Hasil penelitian ACI dan Selandia baru disajikan dalam gambar 20.



(a) Pada titik buhul portal satu arah (b) Pada titik buhul portal dua arah

Gambar 20. Kebutuhan tulangan geser hasil penelitian ACI dan New Zealand

Penjangkaran daerah titik buhul

Untuk interior joint biasanya penulangan lentur balok di salah satu sisi kolom masuk ke inti joint/titik buhul dan keluar disisi sebaliknya sebagai tulangan lentur balok disisi tersebut. Kuat lekatan tulangan seperti terlihat pada gambar 21, sangat dipengaruhi oleh kondisi tepi-tepi joint/titik buhul.

Gambar 21. a menunjukkan tegangan f pada tulangan baja (f_s) dan tegangan lekat (μ_a) yang dapat terjadi bila balok-balok tetap dalam keadaan elastis, tetapi setelah terjadi pembebanan bolak-balik dan terjadi sendi plastis maka tegangan lekatan pada daerah inti (μ_b) meningkat seperti pada gambar

21.b karena tegangan baja akan meningkat mencapai f_y dan terjadi juga kehilangan pengjangkaran selimut beton. Pelelehan progresif akan masuk ke inti join/titik buhul seperti terlihat pada gambar 21.c

Hal ini mengakibatkan tegangan lekat μ_c yang sangat besar yang dapat mengakibatkan keruntuhan sehingga balok akan slip sepanjang inti/join/titik buhul dari sejumlah tes yang dilakukan maka keruntuhan ikatan dapat diperlambat setelah terjadinya cukup banyak pembebanan bolak-balik sesuai dengan syarat daktilitas dari struktur, bila diameter tulangan balok yang melalui inti join/titik buhul dibatasi sebagai berikut.:

$d_b \leq 11h_c/f_y$ (untuk kolom dengan tekan aksial kecil) bila,

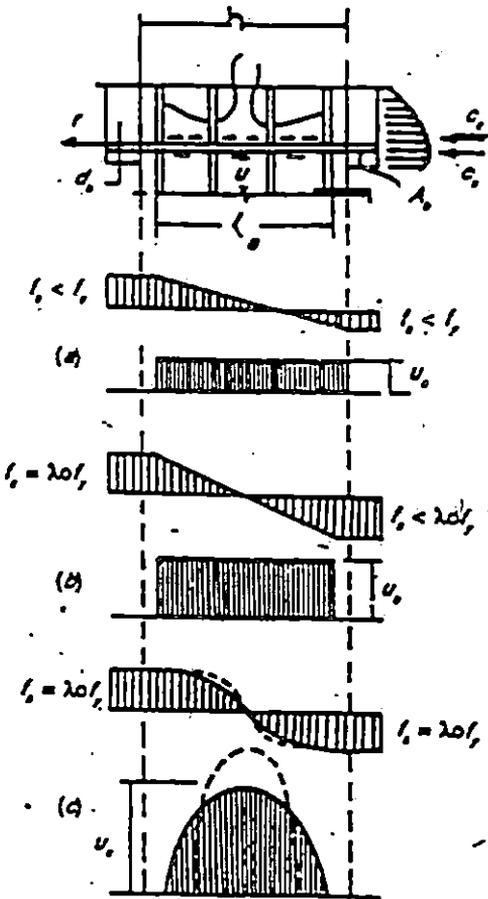
$$f_y = 240 \text{ MPa maka } d_b \leq h_c/22$$

$$f_y = 400 \text{ MPa maka } d_b \leq h_c/36$$

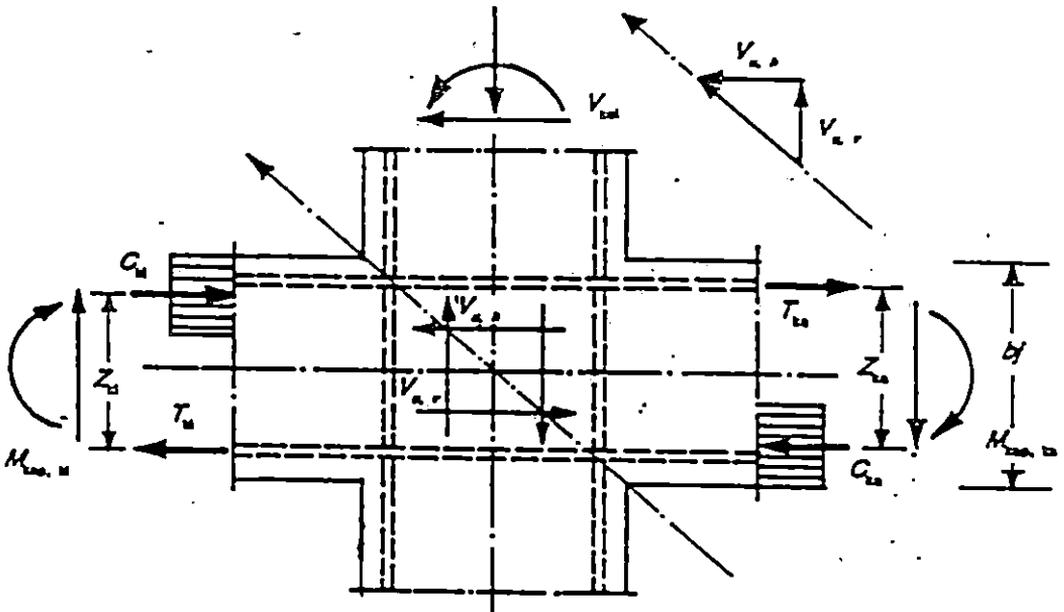
Bila beban normal tekan dari kolomnya besar maka diameter tulangnya dapat diperbesar sedikit.

Desain panel titik buhul balok kolom

Pada pertemuan balok portal harus diproporsikan sedemikian rupa, sehingga memenuhi persyaratan kuat geser nominal perlu V_u/h dan kuat geser vertikal perlu V_u/v yang berkaitan dengan terjadinya momen kapasitas pada sendi plastis pada kedua ujung balok yang bertemu pada kolom itu, seperti yang ditunjukkan pada gambar 22



Gambar 21. Tegangan lekatan dan longitudinal sepanjang tulangan balok yang melewati join/titik buhul



Gambar 22. Panel pertemuan balok dan kolom portal dalam kondisi sendi - plastis pada kedua ujung balok.

Gaya-gaya yang membentuk keseimbangan pada titik buhul adalah seperti pada gambar 22. di atas, yang gaya geser horisontalnya:

$$V_{jh} = C_{ki} + T_{ka} - V_{kol}$$

$$C_{ki} = T_{ki} = 0,70 \frac{M_{kapjd}}{Z_{ki}}$$

$$T_{ka} = C_{ka} = 0,70 \frac{M_{kapjd}}{Z_{ki}}$$

$$V_{kol} = \frac{0,70 \left(\frac{l_{ki}}{l_{ki}} M_{kap,ki} + \frac{l_{ka}}{l_{ka}} M_{kap,ka} \right)}{\frac{1}{2} (h_{k,a} + h_{k,b})}$$

Tegangan geser horisontal nominal dalam joint adalah

$$V_{jh} = \frac{V_{jh}}{b_j h_c}$$

dengan

b_j = lebar efektif joint (mm)

h_c = lebar efektif joint (mm)

V_{jh} tidak boleh lebih besar dari $1,5 \sqrt{f_c} (MPa)$

Gaya geser horisontal V_{jh} ini ditahan oleh dua mekanisme kuat geser inti joint, yaitu

- Strat beton diagonal yang melewati daerah tekan ujung joint yang memikul gaya geser V_{ch}
- Mekanisme panel rangka yang terdiri dari sengkang horizontal dan strat beton diagonal daerah tarik joint yang memikul gaya geser V_{sh}

Besarnya V_{ch} harus diambil sama dengan nol kecuali bila

- Tegangan tekan rata-rata minimal lada penampang bruto kolom beton di atas

join, termasuk tegangan prategang, apabila ada melebihi nilai $0,1f_c$, maka

$$:V_{ch} = \frac{2}{3} \sqrt{\left(\frac{N_{u,k}}{A_g}\right)} - 0,1f_c b_j h_c$$

(b) Balok diberi gaya prategang yang melewati join, maka :

$$V_{ch} = 0,7P_{cs}$$

dengan P_{cs} adalah gaya permanen dalam baja prategang yang terletak di sepertiga bagian tengah tinggi kolom.

(c) Seluruh balok pada join dirancang sehingga penampang kritis dari sendi plastis terletak pada jarak yang lebih kecil dari tinggi penampang balok diukur dari muka kolom, maka :

$$V_{ch} = 0,5 \frac{A_s}{A_g} V_{jh} \left(1 + \frac{N_{u,k}}{0,4 A_g f_c} \right)$$

dimana rasio A_g'/A_g tidak boleh diambil lebih besar dari satu

Dengan memindahkan lokai sensi plastis agak jauh dari muka kolom maka kemampuan mekanisme strat tekan tidak berkurang akibat beban bolak balik dimana sebagian besar tegangan tekan dipindahkan melalui tulangan tekan. Pelelehan pada tulangan juga dapat mengakibatkan penetrasi kerusakan ikatan yang masuk ke dalam inti join sehingga ikatan antara tulangan dengan strat tekan berkurang. Akibat kedua fenomena ini serta tekanan pada join, sendi plastisnya terletak bersebelahan dengan muka kolom, tidak bekerja sehingga seluruh gaya geser V_{jh} dipikul oleh V_{sh} (bila tegangan tekan rata-rata minimum pada penampang bruto kolom

di atas kurang dari $0,1f_c$).

Bila $\rho_c < 0,1f_c$ maka

$$V_{sh} = V_{jh} - \frac{2}{3} \sqrt{\left(\frac{N_{u,k}}{A_g}\right)} - (0,1f_c) b_j h_c$$

Pada join rangka dengan melakukan relokasi sendi plastis

$$V_{sh} = V_{jh} - 0,5 \frac{A_s}{A_g} V_{jh} (1 + N_{u,k} / 0,4 A_g f_c)$$

Luas total efektif dari tulangan geser horizontal yang melewati bidang kritis diagonal dengan yang diletakkan di daerah tekan join efektif b_j tidak boleh kurang dari

$$A_{jh} = \frac{V_{jh}}{f_y}$$

kegunaan sengkang horizontal ini harus didistribusikan secara merata di antara tulangan balok longitudinal atas dan bawah. Geser join vertikal V_{jv} dapat dihitung dari

$$V_{jv} = V_{jh} \frac{h_c}{b_j}$$

sedangkan tulangan join geser vertikal didapat dari

$$V_{sv} = V_{jv} - V_{cv}$$

menjadi

$$V_{cv} = A_{sc} \frac{V_{sh}}{V_{sc}} \left(0,6 + \frac{N_{u,k}}{A_g f_c} \right)$$

dengan

A_{sc} = luas tulangan longitudinal tekan

A_{sc} = luas tulangan longitudinal tarik tulangan join vertikal

$$A_{jv} = \frac{V_{sv}}{f_y}$$

Tulangan geser join vertikal ini harus terdiri dari tulangan kolom antara yang terletak pada bidang lentur antara ujung tulangan terbesar atau terdiri dari sengkang-sengkang pengikat vertikal.

Daftar Pustaka

- Departemen-Pekerjaan Umum 1991,
*Standar Tata cara Perhitungan
Struktur Beton untuk Bangunan
Gedung* (SKSNI 1 - 15-1991-P03)
- Departemen Pekerjaan Umum, 1987
*Pedoman Perencanaan Ketahanan
Gempa Untuk Rumah dan Gedung,
SKBI 1,3,53, 1987*
- Gideon Kusuma, Ir. M.Eng, & Takin
Andriono, Dr.Ir, 1993
*Disain Struktur Rangka Beton
Bertulang di Daerah Rawan Gempa*
- Nathan M Newmark & Emilio Rosenblueth,
1991
*Fundamentals of Earth Quake Engi-
neering*
- Nilson Arthur H & Winter, George 1991,
Design of Conrete Structure
- Park R & Pauley T., 1975
*Reinforced Concrete Structure, John
Wiley & Sons*