S1
Teknik
Sipil

UNTAR
Universitas Tarumanagara

62th
Untar Bersinergi
Untar Bereputasi

Kampus Merdeka
INDONESIA JAYA

Konstruksi Bangunan Gedung dan Infrastruktur yang Berkelanjutan dan Berkeselamatan

PROGRAM STUDI

S1 Teknik Sipil

EDITOR

Widodo Kushartomo

Christopher Kevin Sidharta

FAKULTAS TEKNIK

BOOK CHAPTER

Konstruksi Bangunan Gedung dan Infrastruktur yang Berkelanjutan dan Berkeselamatan

ISBN

Penerbit
Lembaga Penelitian dan Publikasi Ilmiah Universitas Tarumanagara

Jln. Letjen. S. Parman No. 1
Kampus I UNTAR, Gedung M, Lantai 5
Jakarta Barat Telp: 021-5671747, ext.215
Email: dppm@untar.ac.id

Keanggotaan IKAPI
No.605/AnggotaLuarBiasa/DKI/2021

HAK CIPTA ©2021 Universitas Tarumanagara

BOOK CHAPTER

Konstruksi Bangunan Gedung dan Infrastruktur yang Berkelanjutan dan Berkeselamatan

Editor

Dr. Widodo Kushartomo

Christopher Kevin Sidharta

Penulis

Jemy Wijaya

Sunarjo Leman

Daniel Christianto

Hendy Wijaya

Widodo Kushartomo

Edison Leo

Dewi Linggasari

Arif Sandjaya

Giovanni Pranata

Aniek Prihatiningsih

Alfred J. Susilo

Gregorius S. Sentosa

Ni Luh Shinta Eka Setyarini

Leksmono S. Putranto

Najid

Wati A. Pranoto

Vittorio Kurniawan

Basuki Anondho

Hendrik Sulistio

Wahyu Indra Sakti

Mega Waty

Arianti Sutandi

Henny Wiyanto

Agustinus Purna Irawan

LEMBAGA PENELITIAN DAN PUBLIKASI ILMIAH

UNIVERSITAS TARUMANGARA

KATA PENGANTAR

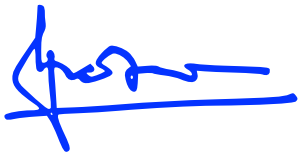
Puji syukur kami panjatkan kehadirat Tuhan yang Penuh Kasih, karena penyertaanNya book chapter dengan judul "Konstruksi Bangunan Gedung dan Infrastruktur yang Berkelanjutan dan Berkeselamatan" telah terbit. Sebanyak 24 paper hasil penelitian dan kajian pustaka dibukukan dalam book chapter. Book chapter ini diterbitkan merupakan bagian dari rangkaian kegiatan memperingati Dies Natalis ke 62 Universitas Tarumanagara. Topik book chapter merujuk keunggulan Program Studi Sarjana Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tarumanagara yaitu Unggul dalam Konstruksi Bangunan Gedung dan atau Infrastruktur yang Berkelanjutan dan Berkeselamatan. Secara garis besar cakupan materi book chapter terdiri dari tiga bidang utama yaitu 1. Perencanaan bangunan gedung, meliputi struktur bawah, struktur atas, peraturan atau code yang berlaku secara nasional maupun internasional dan infrastukturnya berupa perparkiran, jalan lingkungan, audit, prasarana pejalan kaki dan kinerja jalan. Bagian perencanaan infrastruktur juga merencanakan drainase bangunan Gedung dan pengelolaan air limbah, 2. Pelaksanaan, terintegrasi dalam Building Information Management (BIM), komunikasi dalam proyek, pengelolaan sumber daya manusia, change order dan pembiayaan, 3. Pemeliharan, didalamnya memuat metode penilaian kondisi bangunan Gedung.

Semua paper yang ditulis merupakan rangkaian proses pembangunan bangunan Gedung dan Infrastrukturnya, dari tahap perencanaan, pelaksanaan dan pemeliharaan berdasarkan peraturan atau code yang berlaku dengan menitik beratkan pada faktor berkelanjutan dan berkeselamatan. Harapan Program Studi Sarjana Teknik sipil, dengan terbitnya book chapter ini semoga dapat menambah referensi dan wawasan bagi pembacanya tentang proses pembangunan dengan memeperhatikan faktor berkelanjutan dan berkeselamatan.

Untar Bersinergi, Untar Bereputasi.
Salam, UNTAR untuk Indonesia

Jakarta, 16 September 2021

Koordinator Book Chapter Jurusan Teknik Sipil



Dr. Widodo Kushartomo

PRAKATA

Jurusan Teknik Sipil Univeristas Tarumanagara terdiri dari Program Studi Sarjana Teknik Sipil dengan Kaprodi Dr.Widodo Kushartomo dan Sekprodi Ir.Dewi Linggasari,MT., Program Studi Magister Teknik Sipil dengan Kaprodi Dr.Ir.Wati A.Pranoto,MT., Program Studi Doktor Teknik Sipil dengan Kaprodi Dr.Ir.Najid,MT. Book Chapter Jurusan Teknik Sipil mewakili semua bidang keahlian (kompetensi keilmuan) yang ada pada Jurusan Teknik Sipil yaitu Ilmu Struktur, Konstruksi, Geoteknik, Transportasi, Keairan dan Manajemen Konstruksi, dan ditulis masing-masing oleh dosen-dosen sesuai keahliannya.

Hadirnya book chapter dengan judul "Konstruksi Bangunan Gedung dan Infrastruktur yang Berkelanjutan dan Berkeselamatan" yang disusun oleh dosen Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tarumanagara, sangat penting untuk dibaca dan diterapkan. Book Chapter ini terdiri atas dua puluh tiga bab, yang ditulis oleh Ir. Jemy Wijaya, M.T., Ir. Sunarjo Leman, M.T., Ir. Daniel Christianto, M.T., Hendy Wijaya, S.T., M.T., Dr. Widodo Kushartomo, Ir. Edison Leo, M.T., Ir. Dewi Linggasari, M.T., Ir. Arif Sandjaya, M.T. Ir. Geovanni Pranata, M.T., Ir. Aniek Prihatiningsih, M.M., Alfred J. Susilo, S.T., M.Eng., Ph.D., Ir. Gregorius S. Sentosa, M.T., Ir. Ni Luh Putu Shinta E. Setyarini, M.T., Prof. Ir. Leksmono S. Putranto, M.T., Ph.D., Dr. Ir. Najid, M.T., Dr. Ir. Wati A. Pranoto, M.T., Vittorio Kurniawan, S.T., M.Sc., Dr. Ir. Bsuki Anondho, M.T., Dr. Ir. Hendrik Sulistio, M.T., Dr. Ir. Wahyu Indra S., ST., M.Sc. I.P.U, Dr. Mega Wati, S.T., M.T., Ir. Arianti Sutandi, M. Eng., Ir. Henny Wiyanto, M.T. Prof. Dr. Ir. Agustinus Purna Irawan, I.P.U., ASEAN Eng

Terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu terbitnya book chapter ini

1. Rektor, Wakil Rektor, Kepala Lembaga dan staf Universitas Tarumanagara
2. Dekan, Wakil Dekan dan staf Fakultas Teknik
3. Humas Universitas Tarumanagara
4. Tim Book Chpater Universitas Tarumanagara
5. Tim Book Chapter Jurusan Teknik Sipil

6. Penulis, semua dosen dan karyawan di lingkungan Jurusan Teknik Sipil
7. Semua pihak yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu

Akhir kata segenap Civitas Akademik Program Studi Sarjana Teknik Sipil mengucapkan Dirgahayu Universitas Tarumanagara ke 62, UNTAR Untuk Indonesia, selalu dihati dan menjadi kebanggaan kita semua

Ketua Jurusan Teknik Sipil

Dr. Ir. Najid, M.T.

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR iii

PRAKATA v

DAFTAR ISI vii

PENDAHULUAN x

BAB 1 1-15

Konsep Mekanika Teknik

Jemy Wijaya

BAB 2 16-40

Permodelan Analisis Struktur Bangunan Gedung

Sunarjo Leman

BAB 3 41-57

Konsep Beton Bertulang Pada Bangunan Gedung

Daniel Christianto, Cryscilia Marcella, Channy Saka

BAB 4 58-77

Perencanaan Rangka Beton Bertulang Pemikul Momen Khusus Sesuai SNI 2847-2019

Hendy Wijaya

BAB 5 78-97

Mutu dan Kualitas Beton Dalam Konstruksi Bangunan Gedung dan Infrastruktur

Widodo Kushartomo

BAB 6 98-116

Konsep Beton Prategang Pada Bangunan Gedung

Edison Leo

BAB 7 117-139

Konsep Perencanaan Konstruksi Baja Bangunan Gedung

Dewi Linggasari, Vincent, Kharistio Xavira

BAB 8 140-157

Perencanaan Konstruksi Baja Bangunan Gedung

Arif Sandjaya, Maria Kevinia Sutanto

BAB 9 158-175

Perencanaan Bangunan Gedung Tahan Gempa

Giovanni Pranata

BAB 10 176-203

Penyelidikan Tanah Untuk Bangunan Gedung Bertingkat

Aniek Prihatiningsih, Monica Michelle Susanto

BAB 11 204-226

Klasifikasi Tanah untuk Penentuan Respons Spektrum

Alfred J. Susilo, Kenny Erick

BAB 12 227-249

Desain Fondasi Bangunan Gedung Bertingkat

Gregotius Sandjaja Sentosa, Hansel Adisurya

BAB 13 250-274

Perencanaan Prasarana Parkir di Gedung dan Jalan Lingkungan

Ni Luh Putu Shinta Eka Setyarini

BAB 14 275-294

Perencanaan Prasarana Pejalan Kaki

Leksmono Suryo Putranto, Benedictus Yosia Tingginehe, Farah Rizkia Ananda, Reynaldo Bernard Khuana

BAB 15 295-308

Pengaruh Beroperasinya Gedung Bertingkat Terhadap Kinerja Lalu Lintas

Najid

BAB 16 309-323

Perencanaan Drainase Gedung yang Berkelanjutan

Wati Asriningsih Pranoto

BAB 17 324-340

Pengelolaan Air Pada Gedung Secara Berkelanjutan

Vittorio Kurniawan

BAB 18 341-358

Perkembangan Building Information Modeling di Bidang Pendidikan Tinggi Teknik ipil

Basuki Anondho, Sunarjo Leman, Afriska Suwarni, Raymond Jonathan

BAB 19 359-380

Manajemen Komunikasi Proyek Konstruksi Gedung Tinggi

Hendrik Sulistio

BAB 20 381-300

Sumberdaya Manusia dan Organisasi Dalam Pembangunan Superblok

Wahyu Indra Sakti

BAB 21 400-419

Change Order Pada Infrastruktur Gedung

Mega Waty

BAB 22 420-432

Pembiayaan Proyek Konstruksi

Arianti Sutandi

BAB 23 433-450

Penilaian Kondisi Kerusakan Beton Pada Struktur Bangunan Gedung

Henny Wiyanto

BAB 24 451-469

Pengantar Sistem Transportasi Vertikal Dalam Gedung Untuk Mendukung Lalu Lintas Orang dan Barang

Agustinus Purna Irawan

BAB 4

Perencanaan Rangka Beton Bertulang Pemikul Momen Khusus Sesuai SNI 2847-2019

Hendy Wijaya
Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tarumanagara

Abstrak

Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) merupakan sistem struktur penahan gaya lateral yang umum digunakan pada bangunan bertingkat yang dibangun pada area dengan risiko kegempaan yang tinggi. Perencanaan SRPMK beton bertulang memerlukan proporsi dan pendetailan yang baik agar sistem struktur dapat bekerja sesuai mekanisme yang diharapkan. Tulisan ini menguraikan persyaratan perencanaan komponen struktur balok, kolom dan join balok-kolom pada SRPMK berdasarkan SNI 2847-2019.

Kata kunci: beton bertulang, SNI 2847, tahan gempa, daktilitas, detailing

1.1 Latar Belakang

Sistem rangka pemikul momen merupakan sistem struktur yang umum digunakan pada bangunan bertingkat. Sistem ini memberikan fleksibilitas pada perencanaan ruang arsitektural. Pada bangunan yang dibangun pada area dengan risiko kegempaan yang tinggi, sistem ini perlu dirancang dengan proporsi dan pendetailan yang khusus agar sistem mampu secara aman untuk mengalami deformasi inelastis tanpa menyebabkan kehilangan kekakuan dan kekuatan secara signifikan atau bahkan menyebabkan kegagalan pada saat gempa terjadi. Sistem rangka pemikul momen ini dikategorikan sebagai Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Pada SRPMK, rangka portal, elemen balok, elemen kolom, dan join balok-kolom harus diproporsikan dan didetailkan untuk menahan gaya dalam momen, aksial dan geser yang dihasilkan pada saat bangunan mengalami goyangan akibat gempa. Perencanaan ini populer dengan istilah Disain Kapasitas. Persyaratan perencanaan bangunan beton bertulang tahan gempa yang berlaku di Indonesia saat ini merujuk ke SNI 2847-2019 [1].

1.2 Isi dan pembahasan

Persyaratan Material

Pada SRPMK, kuat tekan spesifikasi beton normal, f_c^', tidak boleh kurang dari 21 MPa. Tulangan baja yang digunakan harus berupa tulangan ulir, kecuali untuk tulangan spiral atau baja prategang diperkenankan berupa tulangan polos. Tulangan ulir non-prategang yang digunakan harus terbuat dari baja alloy rendah yang memenuhi standar ASTM A706M Mutu 420 [2]. Tulangan ulir non-prategang dari baja karbon sesuai standar ASTM A615M Mutu 420 [3] masih diizinkan untuk digunakan apabila memenuhi kriteria berikut:

- Kuat leleh aktual berdasarkan hasil pengujian pabrik tidak melebihi nilai f_y, lebih dari 125 MPa
- Rasio antara kuat tarik aktual dan kuat leleh aktual tidak kurang dari 1.25, dan

- Elongasi pada 200mm untuk tulangan D10 – D19 tidak kurang dari 14%, untuk tulangan D22 – D36 tidak kurang dari 12%, dan untuk tulangan D43 dan D57 tidak kurang dari 10%

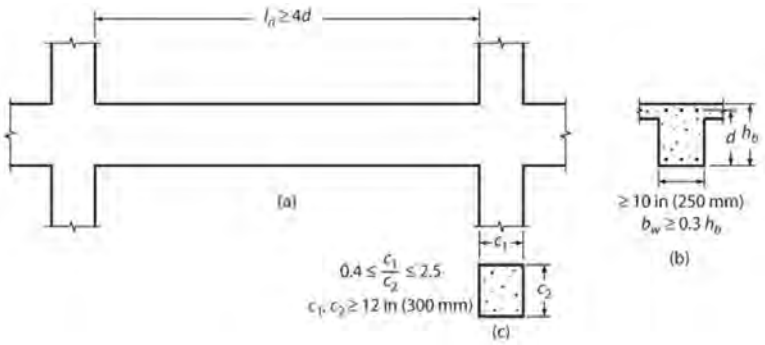
Spesifikasi BJTS 420B dalam SNI 2052-2017 [4] memenuhi kriteria tulangan ulir non-prategang yang disebutkan di atas. Pada ACI 318M-19 [5], tulangan ulir yang digunakan sebagai tulangan lentur, tulangan aksial dan tulangan geser dari SRPMK diizinkan untuk menggunakan mutu yang lebih tinggi, yaitu ASTM A706M Mutu f_y 550 MPa.

Perencanaan Komponen Struktur Balok

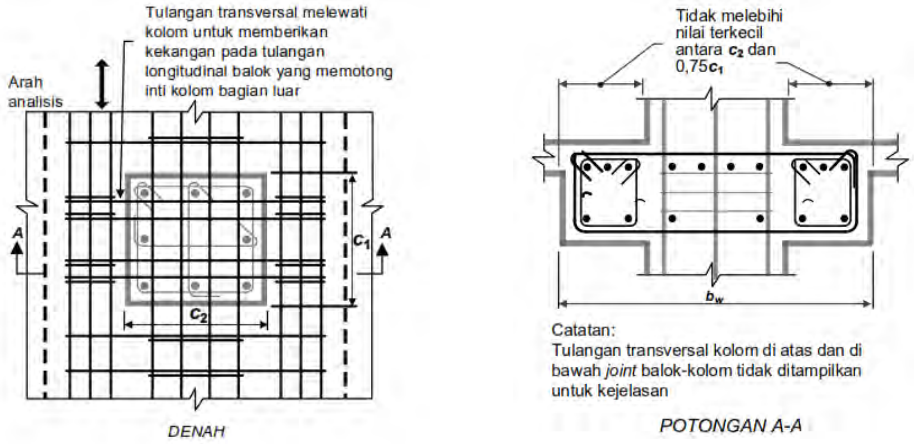
Balok didefinisikan sebagai komponen struktur lentur yang menerima gaya aksial tekan terfaktor tidak melebihi dari 0.1 $A_g\, f_c'$, dengan A_g adalah luas penampang balok dan f_c' adalah kuat tekan spesifikasi beton.

Persyaratan Geometri

Balok dalam SRPMK merupakan balok yang merangka pada kolom SRPMK dengan bentang tidak kurang dari 4x tinggi efektifnya. Pembatasan ini dimaksudkan untuk menghindari perilaku balok-tinggi yang memiliki respon inelastis yang berbeda khususnya pada kekuatan gesernya. Selain itu, dimensi lebar balok tidak boleh kurang dari 30% tinggi balok, dengan lebar minimum 250mm (Gambar 4.1). Ketentuan ini terkait dengan stabilitas penampang balok saat mengalami deformasi inelastis yang signifikan. Lebar maksimum balok dibatasi yang terkecil antara 3x dimensi kolom tegak lurus sumbu balok (c_2) atau dimensi kolom tegak lurus sumbu balok (c_2) ditambah 1.5x dimensi kolom sejajar sumbu balok (c_1) seperti ditunjukkan pada Gambar 4.2. Pembatasan lebar maksimum balok ini berkaitan dengan efektifitas penyaluran gaya akibat gempa dari balok ke kolom.



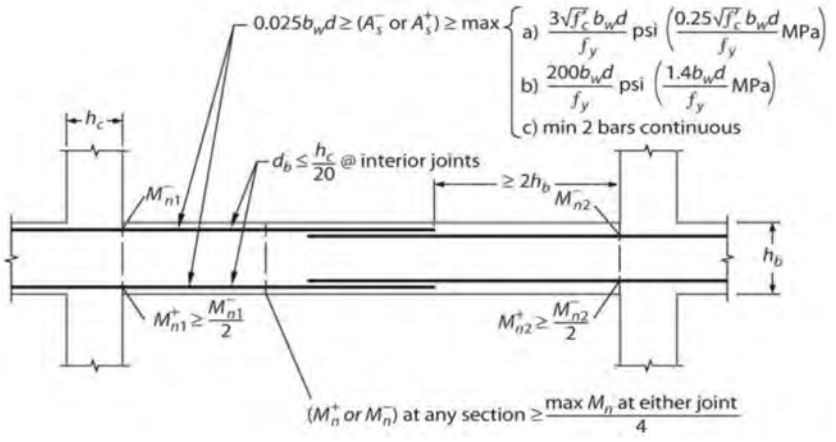
Gambar 4.1 Ketentuan Dimensi Penampang Balok [6]



Gambar 4.2 Lebar Maksimum Penampang Balok dan Syarat Pengekangan [1]

Persyaratan Geometri

Beberapa persyaratan terkait tulangan longitudinal pada komponen balok dalam SRPMK dalam rangka menyediakan daktilitas dan kapasitas momen yang cukup, ditampilkan pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Persyaratan Tulangan Lentur Balok SRPMK [6]

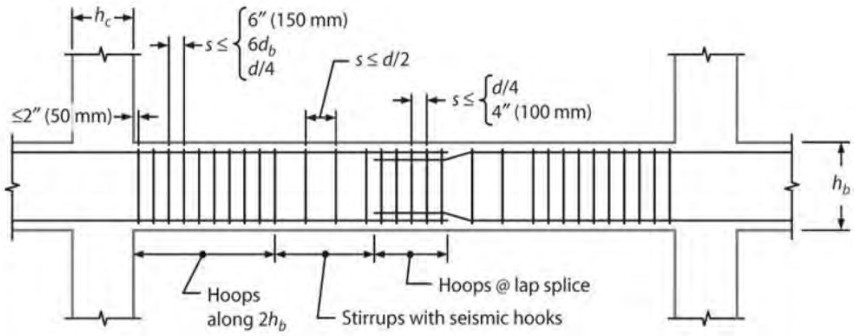
- Balok harus memiliki setidaknya dua batang tulangan menerus pada sisi atas dan bawah penampang untuk menyediakan kontinuitas sepanjang balok.
- Rasio tulangan minimum untuk tulangan atas dan bawah pada sembarang penampang, tidak boleh kurang dari $\left(0.25\sqrt{f_c'}\, b_w\, d\right)/f_y$ dan $(1.4\, b_w\, d)/f_y$, dengan b_w dan d masing-masing adalah lebar dan tinggi efektif penampang
- Rasio tulangan maksimum pada sembarang penampang, $\rho_{max} \leq 0.025$. Ketentuan ini bertujuan untuk memberikan kapasitas deformasi yang cukup, menghindari kerapatan tulangan di lapangan dan secara tidak langsung membatasi besar tegangan geser pada ujung-ujung balok. Ketentuan tambahan pada ACI 318M-19 [5] membatasi $\rho_{max} \leq 0.020$ untuk tulangan longitudinal dengan mutu 550 MPa. Meskipun demikian, akan lebih praktis apabila rasio tulangan dibatasi 0.01 demi alasan kemudahan pelaksanaan dan untuk membatasi gaya geser pada join dalam batas yang wajar [6].
- Pada muka join, kekuatan momen positif harus tidak kurang dari setengah kekuatan momen negatifnya. Ketentuan ini memberikan $\rho' \geq 0.5\rho$ pada kedua ujung balok, yang dapat meningkatkan daktilitas dan kemampuannya untuk mengembangkan kurvatur (kapasitas rotasi) [7].
- Pada sembarang penampang, kekuatan momen negatif dan positif tidak boleh kurang dari ¼ kekuatan momen maksimum pada muka kedua join.

- Sambungan lewatan tidak boleh digunakan di dalam join, dalam jarak 2x tinggi balok dari muka join, dan dalam jarak 2x tinggi balok dari bidang kritis dimana pelelehan lentur dimungkinkan terjadi akibat deformasi lateral struktur, karena sambungan tersebut tidak dapat diandalkan dalam menerima beban siklis pada rentang inelastis. Pengadaan sambungan lewatan pada lokasi yang diizinkan wajib disertai dengan tulangan pengekang berupa sengkang tertutup (*hoops*) di sepanjang sambungan lewatan dengan spasi antar sengkang tidak lebih dari yang terkecil antara d /4 dan 100mm.
- Sambungan mekanis hanya diizinkan digunakan dalam jarak 2x tinggi balok dari muka join apabila menggunakan sambungan mekanis Tipe 2.

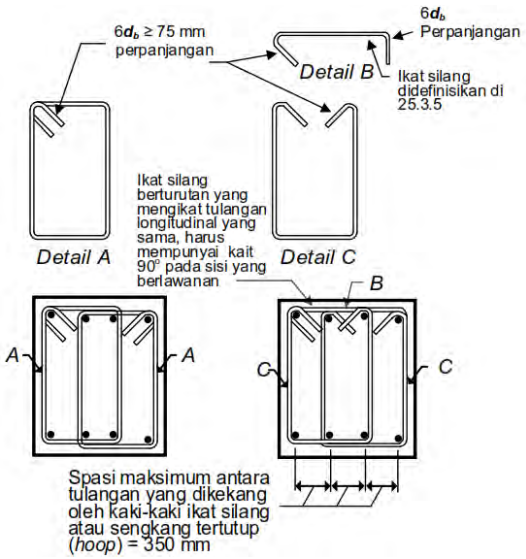
Persyaratan Tulangan Transversal

Tulangan transversal berupa sengkang tertutup (*hoops*) utamanya ditujukan untuk menahan gaya geser, memberikan kekangan pada beton, meningkatkan lekatan antara tulangan dengan beton, dan menyediakan tahanan lateral terhadap tulangan-tulangan longitudinal dimana pelelehan terjadi. Persyaratan terkait tulangan transversal pada komponen balok dalam SRPMK ditampilkan pada Gambar 4.4. Dalam ACI 318M-19 [5], spasi tulangan transversal untuk penggunaan tulangan longitudinal dengan mutu 550 MPa dibatasi tidak melebihi $5d_b$.

Pada area yang berpotensi terjadi sendi plastis, tulangan-tulangan longitudinal akan mengalami gaya tarik dan gaya tekan secara bergantian. Hoops diperlukan untuk menjaga tulangan-tulangan tersebut agar tidak terjadi tekuk. Persyaratan tambahan untuk batang tulangan longitudinal yang terdekat ke muka tarik dan tekan harus diberikan tumpuan lateral dengan spasi tidak melebihi 350mm. Spasi yang lebih dekat lebih direkomendasikan untuk meningkatkan kekangan dan kemampuan rotasi dari balok. Pada Gambar 4.5 ditunjukkan contoh sengkang tertutup (hoops) yang dimaksud.



Gambar 4.4 Persyaratan Tulangan Transversal Balok SRPMK [6]

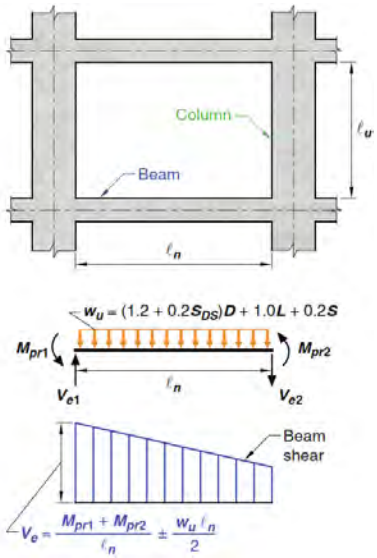


Gambar 4.5 Contoh Sengkang Tertutup (Hoops) yang Dipasang Bertumpuk [1]

Persyaratan Kekuatan Geser

Respon struktur yang daktail mengharuskan pelelehan lentur terjadi pada komponen struktur SRPMK tanpa disertai kegagalan geser. Kegagalan geser dapat dihindari dengan pendekatan Disain Kapasitas yang diilustrasikan pada Gambar 4.6. Gaya geser disain ditentukan oleh pengaruh gaya gravitasi dan momen lentur maksimum yang mungkin terjadi akibat gaya gempa, M_{pr}. Momen ujung probable, M_{pr}, didefinisikan sebagai momen maksimum yang diperlukan untuk membentuk sendi plastis pada ujung balok. Momen ini dihitung berdasarkan teori lentur balok

dengan memperhitungkan jumlah tulangan disain dan nilai kuat lebih bahan minimal 1.25 f_y serta tanpa menyeratakan faktor reduksi kekuatan.



Gambar 4.6 Gaya Geser Disain untuk Balok [5]

Dalam jarak 2x tinggi balok dari muka join, dan dalam jarak 2x tinggi balok dari bidang kritis dimana pelelehan lentur dimungkinkan terjadi, tulangan transversal harus didisain untuk menahan geser dengan mengabaikan kapasitas geser beton apabila gaya tekan terfaktor termasuk akibat gempa kurang dari 0.05 $A_g\, f_c'$, f_c^', dan gaya geser yang terjadi akibat gempa yang dihitung berdasarkan M_{pr} mewakili setidaknya setengah dari kekuatan geser perlu, V_e dalam bentang tersebut.

Perencanaan Komponen Struktur Kolom

Kolom didefinisikan sebagai komponen struktur yang menerima kombinasi lentur dan aksial. Pada kolom, gaya aksial tekan terfaktor melebihi dari 0.1 $A_g\, f_c'$, dengan A_g adalah luas penampang kolom dan f_c' adalah kuat tekan spesifikasi beton.

a. Persyaratan Geometri

Kolom pada SRPMK harus memiliki dimensi penampang terkecil tidak kurang dari 300mm, dengan rasio antara dimensi terkecil terhadap dimensi tegak lurusnya tidak kurang dari 0.4.

b. Persyaratan Tulangan Longitudinal

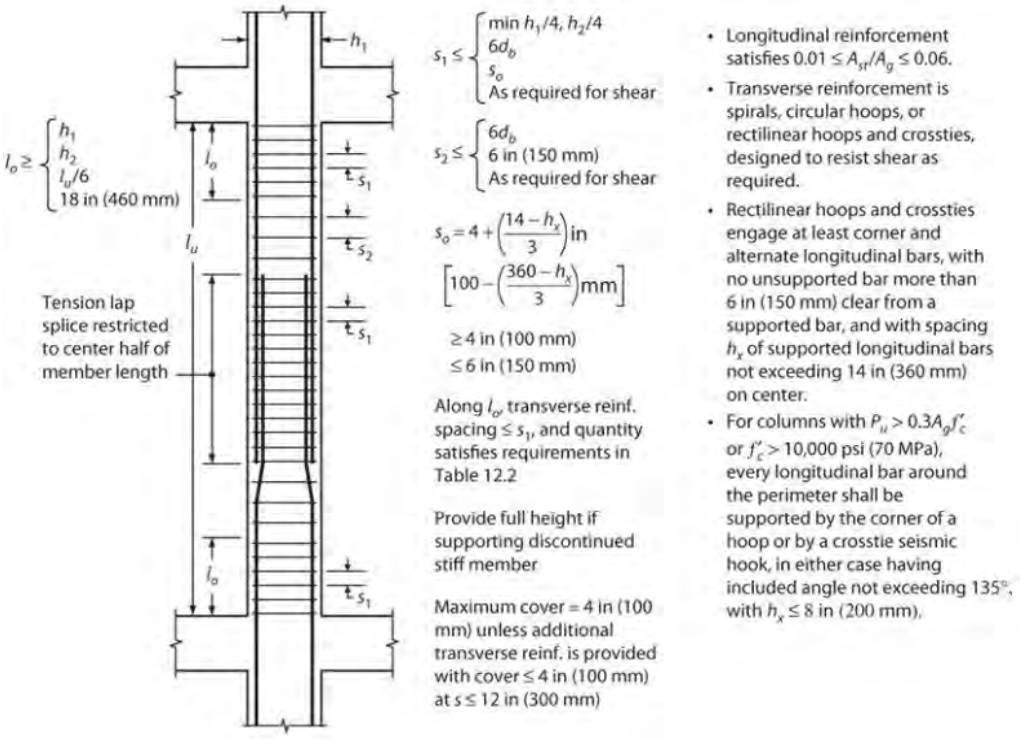
Beberapa persyaratan terkait tulangan longitudinal pada komponen kolom dalam SRPMK dalam rangka menyediakan daktilitas dan kapasitas momen yang cukup, ditampilkan pada Gambar 4.7.

- Rasio penulangan dibatasi minimum 0.01 dan maksimum 0.06
- Pada kolom dengan sengkang bundar, jumlah tulangan longitudinal minimum harus berjumlah 6.
- Sambungan lewatan hanya diizinkan pada setengah tinggi kolom, dan harus didisain sebagai sambungan lewatan tarik dah harus dilingkupi sengkang tertutup (*hoops*) atau tulangan spiral. Tulangan transversal ini diperlukan untuk mengantisipasi ketidakpastian distribusi momen di sepanjang tinggi kolom dan untuk memberikan pengekangan pada sambungan yang mengalami tegangan bolak-balik.
- Sambungan las tidak boleh ditempatkan di lokasi yang berpotensi mengalami sendi plastis.
- Sambungan mekanis hanya diizinkan digunakan dalam daerah yang berpotensi mengalami sendi plastis apabila menggunakan sambungan mekanis Tipe 2.

c. Persyaratan Tulangan Transversal

Tulangan transversal berupa sengkang tertutup (hoops) atau tulangan spiral utamanya ditujukan untuk menahan gaya geser, memberikan kekangan pada beton, meningkatkan lekatan antara tulangan dengan beton, dan menyediakan tahanan lateral terhadap tulangan-tulangan longitudinal dimana pelelehan

terjadi. Persyaratan terkait tulangan transversal pada komponen kolom dalam SRPMK ditampilkan pada Gambar 4.7.



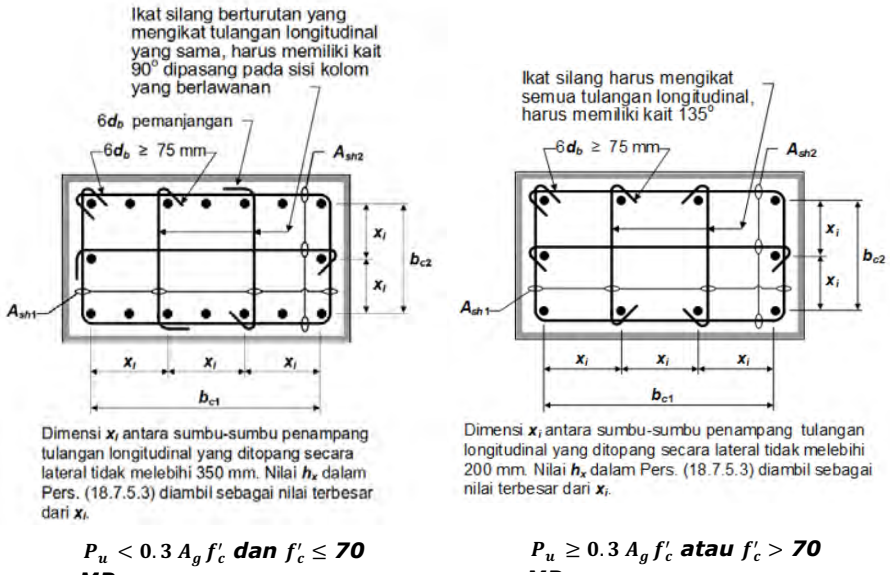
Gambar 4.7 Persyaratan Tulangan Kolom SRPMK [6]

Pada daerah di ujung-ujung kolom dimana pelelehan lentur mungkin terjadi, l_o, harus disediakan tulangan tranversal yang cukup. Penelitian menunjukkan bahwa panjang minimum l_o, yang disyaratkan harus ditingkatkan 50% atau lebih di lokasi-lokasi seperti lantai dasar bangunan, dimana kebutuhan beban aksial dan lentur kemungkinan sangat tinggi [8].

Dalam ACI 318M-19 [5], spasi tulangan transversal untuk penggunaan tulangan longitudinal dengan mutu 550 MPa dibatasi tidak melebihi $5d_b$.

Pada kolom dengan sengkang pengekang dimana beban aksial terfaktor lebih besar dari $0.3\,A_g\,f'_c$ atau $f'_c > 70$ MPa , setiap batang atau bundel tulangan longitudinal di sekeliling inti kolom harus memiliki tumpuan lateral yang

diberikan oleh sudut dari sengkang pengekang ataupun kait gempa. Jarak dari pusat-ke-pusat tulangan tidak boleh melebihi 200mm. Gambar 4.8 memperlihatkan contoh penulangan kolom sesuai dengan kondisi ini. Jumlah tulangan transversal harus mengikuti persyaratan pada Tabel 4.1.



Gambar 4.8 Persyaratan Tulangan Pengekang Kolom SRPMK [1]

Tabel 4.1 Tulangan transversal pada kolom SRPMK [1]

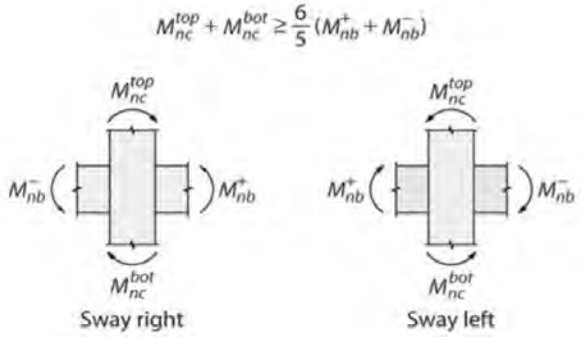
Tulangan Transversal	Kondisi	Persamaan yang berlaku		
$\frac{A_{sh}}{sb_c}$ Untuk sengkang pengekang persegi	$P_u < 0.3\,A_g f'_c$ dan $f'_c \leq 70$ MPa	Terbesar antara (a) dan (b)	$0.3\left(\frac{A_g}{A_{ch}}-1\right)\frac{f'_c}{f_{yt}}$	(a)
			$0.09\frac{f'_c}{f_{yt}}$	(b)
	$P_u < 0.3\,A_g f'_c$ dan $f'_c \leq 70$ MPa	Terbesar antara (a), (b) dan (c)	$0.2k_f k_n \frac{P_u}{f_{yt}A_{ch}}$	(c)
ρ_s Untuk spiral atau sengkang pengekang bundar	$P_u < 0.3\,A_g f'_c$ dan $f'_c \leq 70$ MPa	Terbesar antara (d) dan (e)	$0.45\left(\frac{A_g}{A_{ch}}-1\right)\frac{f'_c}{f_{yt}}$	(d)
			$0.12\frac{f'_c}{f_{yt}}$	(e)
	$P_u < 0.3\,A_g f'_c$ dan $f'_c \leq 70$ MPa	Terbesar antara (d), (e) dan (f)	$0.35k_f \frac{P_u}{f_{yt}A_{ch}}$	(f)

d. Disain Kapasitas pada Kolom

Untuk menghindari terjadinya story mechanism, kolom harus direncanakan lebih kuat dari balok (Strong-Column Weak-Beam). SNI 2847-2019 mensyaratkan:

$$\sum M_{nc} \geq \frac{6}{5} \sum M_{nb} \tag{4.1}$$

Artinya, total kapasitas momen nominal dari kolom-kolom yang merangka pada suatu join harus setidaknya 1.2x lebih besar dari total kapasitas momen nominal balok-balok yang merangka pada join tersebut. Pada konstruksi balok-T, kontribusi tulangan tarik pelat pada lebar efektf balok harus diperhitungkan dalam menentukan kapasitas momen nominal dari balok. Persamaan 4.1 di atas harus diperiksa untuk masing-masing arah goyangan dan pada masing-masing sumbu utama secara independen, seperti ditunjukkan pada Gambar 4.9. Kapasitas momen nominal harus dihitung untuk gaya aksial terfaktor yang sesuai dengan arah gaya gempa yang ditinjau pada setiap kombinasi pembebanan, yang menghasilkan nilai M_{nc} terkecil.

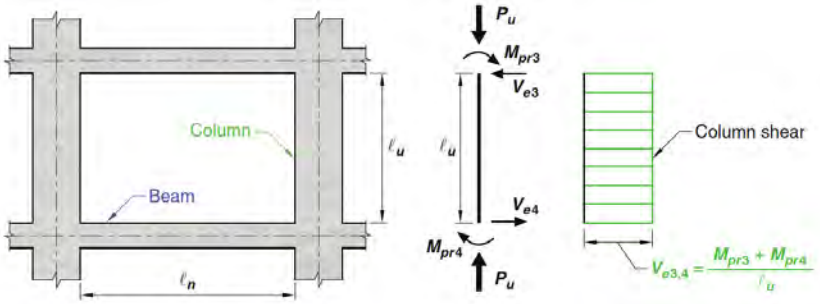


Gambar 4.9 Persyaratan Strong-Column Weak-Beam [6]

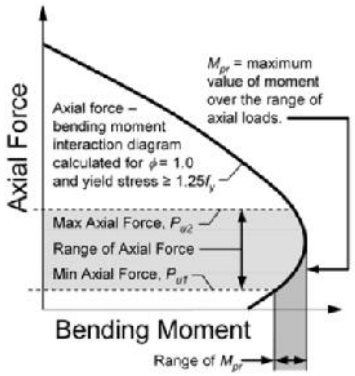
e. Persyaratan Kekuatan Geser

Gaya geser disain ditentukan oleh pengaruh gaya gravitasi dan momen lentur maksimum yang mungkin terjadi akibat gaya gempa, M_{pr}, seperti ditunjukkan

pada Gambar 4.10. Momen ujung probable, M_{pr}, didefinisikan sebagai momen maksimum yang diperlukan untuk membentuk sendi plastis pada ujung kolom. Momen ini dihitung berdasarkan teori lentur dengan memperhitungkan jumlah tulangan disain dan nilai kuat lebih bahan minimal 1.25 f_y serta tanpa menyeratakan faktor reduksi kekuatan. M_{pr} ditentukan untuk gaya aksial terfaktor yang sesuai dengan arah gaya gempa yang ditinjau pada setiap kombinasi pembebanan, yang menghasilkan nilai M_{pr} terbesar, seperti diilustrasikan pada Gambar 4.11.



Gambar 4.10 Gaya Geser Disain untuk Kolom [5]



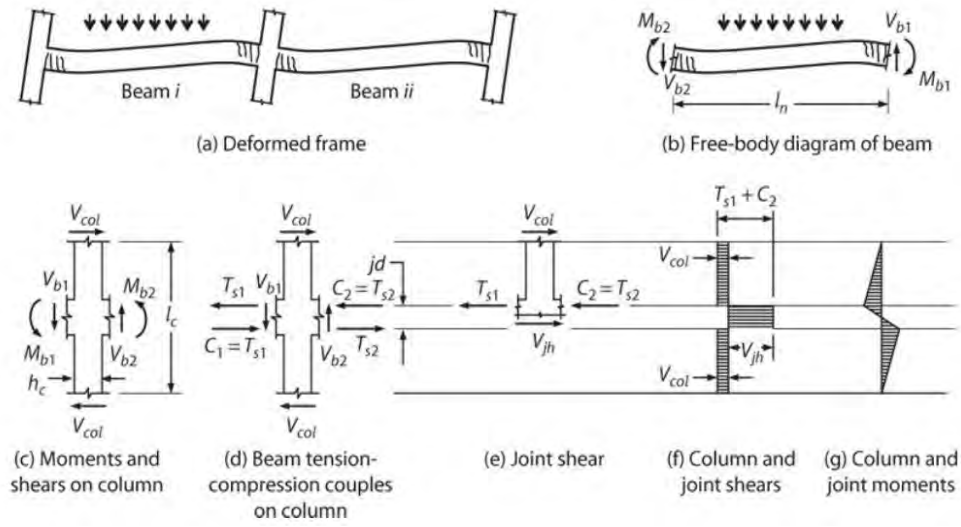
Gambar 4.11 Penentuan M_{pr} untuk Kolom [6]

Perencanaan tulangan transversal pada daerah l_o harus didisain untuk menahan geser dengan mengabaikan kapasitas geser beton apabila gaya tekan terfaktor termasuk akibat gempa kurang dari 00.05 A_g f_c', dan gaya geser yang terjadi akibat gempa yang dihitung berdasarkan M_{pr} mewakili setidaknya setengah dari kekuatan geser perlu, V_e dalam bentang tersebut. Nilai M_{pr} kolom yang

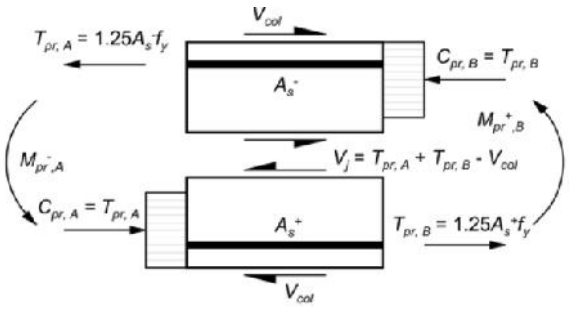
digunakan untuk perhitungan tidak perlu lebih besar dari M_{pr} balok yang merangka pada join yang sama.

Perencanaan Join Balok-Kolom

Join balok-kolom merupakan komponen struktur yang paling penting dalam SRPMK. Salah tujuan utama dalam perencanaan SRPMK adalah merancang join agar tetap dalam kondisi elastis. Gaya gempa menghasilkan momen lentur pada ujung-ujung balok yang harus ditransfer ke kolom melalui join. Proses transfer momen balok ini akan menimbulkan gaya geser yang besar pada join tersebut. Gaya geser yang terjadi pada join, V_j, ditentukan dari M_{pr} balok dan gaya geser kolom, V_{col} seperti diperlihatkan pada Gambar 4.12. Dengan meninjau keseimbangan gaya-gaya horisontal pada Gambar 4.12e, maka besarnya gaya geser yang terjadi pada join dapat ditentukan. Gaya geser kolom, V_{col} dapat ditentukan dari *free-body* diagram terhadap setengah-tinggi kolom, dimana momen lentur diestimasi mendekati nol, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.12c dan Gambar 4.13.



Gambar 4.12 Prosedur Umum Penentuan Gaya Geser pada Join [6]

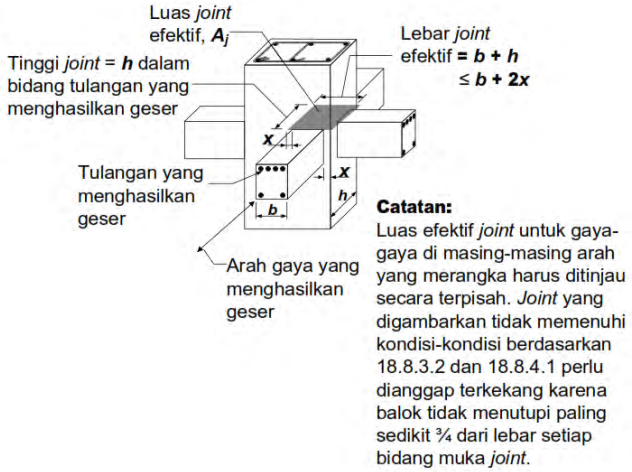


Gambar 4.13 *Free-body* Diagram dari Join Balok-Kolom [6]

Kapasitas Geser Join

Kekuatan geser join ditentukan berdasarkan luas penampang efektif join dan konfigurasi join. Luas penampang efektif join, A_j, dihitung dari tinggi join dikali dengan lebar join efektif. Ilustrasi terkait luas efektif join ditunjukkan pada Gambar 4.13. Tinggi join, h, tidak boleh kurang dari setengah tinggi balok-balok yang merangka pada join tersebut yang menyebabkan gaya geser pada join. Tinggi join, h, yang kurang dari setengah dari tinggi balok akan memiliki strut tekan diagonal yang curam di sepanjang sambungan, yang mungkin kurang efektif dalam menahan gaya geser.

Kuat geser nominal join pada beton normal, V_n, ditunjukkan pada Tabel 4.2.



Gambar 4.13 Ilustrasi Luas Efektif Join [1]

Tabel 4.2 Kuat geser nominal join [1]

Konfigurasi Join	V_n
Join yang terkekang oleh balok pada keempat sisinya	$1.70\sqrt{f_c'}\,A_j$
Join yang terkekang oleh balok pada tiga sisinya atau dua sisi berlawanan	$1.20\sqrt{f_c'}\,A_j$
Kasus lainnya	$1.00\sqrt{f_c'}\,A_j$

Suatu join dianggap terkekang oleh balok apabila lebar balok tersebut paling tidak ¾ dari lebar efektif join. Perpanjangan balok yang melewati muka join setidaknya setinggi balok, boleh dianggap memberikan kekangan pada muka join tersebut. Dalam ACI 318M-19 [5], terdapat modifikasi terhadap klasifikasi balok dan kolom untuk membedakan balok dan kolom yang berkontribusi terhadap geser join dan balok dan kolom yang bekerja sebagai pengekang. Suatu join balok-kolom dapat dianggap terkekang oleh dua balok yang melintang (tegak lurus) arah gaya geser join, apabila kedua balok melintang tersebut memenuhi 3 kriteria berikut:

- Lebar dari masing-masing balok melintang paling tidak ¾ dari lebar muka kolom dimana balok tersebut merangka.
- Balok-balok melintang tersebut setidaknya memiliki panjang sama dengan tinggi balok diukur dari muka join.
- Setidaknya terdapat minimum 2 buah tulangan atas dan tulangan bawah yang menerus sesuai dengan persyaratan tulangan lentur minimum, dengan sengkang diameter ≥ D10 sesuai dengan persyaratan tulangan geser minimum dan spasi tulangan balok.

Persyaratan Tulangan Transversal

Tulangan transversal pada join harus disediakan dan memenuhi ketentuan persyaratan tulangan transversal kolom. Apabila pada suatu join terkekang oleh balok pada keempat sisinya, maka jumlah tulangan pengekang yang diperlukan menurut Tabel 4.1 dapat dikurangi setengahnya dan spasi yang disyaratkan dapat

ditingkatkan hingga 150mm.

Penyaluran Tulangan Balok ke Join Balok-Kolom

Serangkaian penelitian yang telah dilakukan ([9], [10], [11], [12], [13], [14]) menunjukkan bahwa tulangan lurus balok mungkin slip dalam join selama serangkaian momen bolak-balik yang besar. Untuk memberikan panjang penyaluran yang cukup serta mengurangi slip, diameter tulangan balok dibatasi tidak boleh lebih dari 1/20 dimensi kolom yang paralel terhadap balok tersebut. Dalam ACI 318M-19 [5], untuk penggunaan tulangan longitudinal dengan mutu 550 MPa pada join dari beton normal, diameter tulangan balok tidak boleh lebih dari 1/26 dimensi kolom yang paralel terhadap balok tersebut.

Panjang penyaluran tulangan tarik dengan ujung kait standar, l_{dh}, untuk tulangan D10 – D36 pada beton normal, harus dihitung berdasarkan persamaan:

$$l_{dh} = \frac{f_y \, d_b}{5.4 \sqrt{f_c'}} \tag{4.2}$$

dan tidak boleh kurang dari $8d_b$ dan 150mm.

Untuk semua tulangan lurus yang berhenti pada join harus melewati inti terkekang kolom. Panjang penyaluran tulangan lurus yang berada diluar inti terkekang harus diperpanjang sebesar $1.6l_d$.

1.3 Penutup

Perencanaan SRPMK beton bertulang memerlukan proporsi dan detail yang direncanakan dan dilaksanakan dengan baik agar sistem struktur mampu berperilaku daktail dengan mempertahankan deformasi inelastis dalam rentang pembebanan gempa yang terjadi, tanpa mengakibatkan kehilangan kekakuan dan kekuatan yang signifikan. Prosedur analisis nonlinier statik dengan metode Pushover Analysis dapat digunakan untuk mengidentifikasi pola pembentukan sendi plastis pada sistem struktur sehingga dapat memberikan gambaran terkait kinerja sistem struktur yang direncanakan.

Referensi

[1] Badan Standarisai Nasional, 2019, *SNI 2847-2019* tentang persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan penjelasan, BSN, Jakarta.

[2] American Standard of Testing Materials, 2003, *ASTM A706M Standard Specification for Low-Alloy Steel Deformed and Plain Bars for Concrete Reinforcement*, ASTM International, Pennsylvania.

[3] American Standard of Testing Materials, 2003, *ASTM A615M Standard Specification for Deformed and Plain Billet-Steel Bars for Concrete Reinforcement*, ASTM International, Pennsylvania.

[4] Badan Standarisai Nasional, 2017, *SNI 2052-2017* tentang baja tulangan beton, BSN, Jakarta.

[5] American Concrete Institute, 2019, *ACI 318M-19 Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary*, ACI, Michigan.

[6] Moehle, J., 2015, *Seismic Design of Reinforced Concrete Buildings*, McGraw-Hill, United States.

[7] Wight, J.K., 2016, *Reinforced Concrete Mechanics and Design 7th Ed.*, Pearson, United States.

[8] Watson, S., Zahn, F.A., dan Park, R., 1994, *Journal of Structural Engineering,* V.120, No.6, June, pp 1798-1824.

[9] Meinheit, D.F., dan Jirsa J.O., 1977, *Shear Strength of Reinforced Concrete Beam-Column Joints, Report No.77-1,* University of Texas at Austin, Austin.

[10] Briss, G.R., Paulay, T., dan Park, R., 1978, *Elastic Behavior of Earthquake Resistant R.C. Interior Beam-Column Joints, Report No.78-3,* University of Canterbury, Christchurch.

[11] Ehsani, M.R., 1982, *Behavior of Exterior Reinforced Concrete Beam to Column Connections Subjected to Earthquake Type Loadings, Report No. UMEE 82R5,* University of Michigan, Michigan.

[12] Durrani, A.J., dan Wight, J.K., 1982, *Experimental and Analytical Studies of Internal Beam to Column Connections Subjected to Reversed Cyclic Loading, Report No. UMEE 82R3,* University of Michigan, Michigan.

[13] Leon, R.T., 1989, *Journal of Structural Engineering,* V.115, No.9, Sept pp 2261-2275.

[14] Lin, C.M., Restrepo, J.I., dan Park, R., 2000, *Seismic Behavior and Design of Reinforced Concrete Interior Beam Column Joints, Research Report 2000-1,* University of Canterbury, Christchurch.

Profil Penulis

Hendy Wijaya, S.T., M.T.

Menempuh gelar Sarjana Teknik Sipil dari Universitas Tarumanagara dan Magister Teknik Sipil dari Universitas Tarumanagara. Setelah menyelesaikan studi S1 pada tahun 2013, penulis aktif sebagai praktisi pada bidang perencanaan struktur bangunan hingga saat ini. Sejak tahun 2015, penulis diangkat menjadi dosen tetap Program Studi Sarjana Teknik Sipil Universitas Tarumagara dalam bidang Struktur & Konstruksi. Minat penelitian dan pengabdian kepada masyarakat meliputi analisa struktur, simulasi numerik dan rekayasa struktur tahan gempa.

PENERBIT
Lembaga Penelitian dan
Publikasi Ilmiah
Universitas Tarumanagara

PENERBIT
Jln. Letjen S. Parman No. 1
Kampus I UNTAR
Gedung M Lantai 5
Jakarta Barat

Telp: 021-5671747, ext215
Email: publikasi@untar.ac.id

HAK CIPTA © 2021 Universitas Tarumanagara