

SURAT PENCATATAN CIPTAAN

Dalam rangka perlindungan ciptaan di bidang ilmu pengetahuan, seni dan sastra berdasarkan Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta, dengan ini menerangkan:

Nomor dan tanggal permohonan : EC00202521451, 15 Februari 2025

Pencipta

Nama : Ely Mulyati, euis kania kurniawati dkk
Alamat : Jl. Gotong Royong RT 31 No 30 Demang Lebar Daun, Ilir Barat I,
Palembang, Sumatera Selatan, 30137
Kewarganegaraan : Indonesia

Pemegang Hak Cipta

Nama : Ely Mulyati, euis kania kurniawati dkk
Alamat : Jl. Gotong Royong RT 31 No 30 Demang Lebar Daun, Ilir Barat I,
Palembang, Sumatera Selatan, 30137
Kewarganegaraan : Indonesia
Jenis Ciptaan : Buku
Judul Ciptaan : STRUKTUR BETON GEDUNG
Tanggal dan tempat diumumkan untuk pertama kali : 15 Februari 2025, di Padang
di wilayah Indonesia atau di luar wilayah Indonesia
Jangka waktu perlindungan : Berlaku selama hidup Pencipta dan terus berlangsung selama 70 (tujuh
puluh) tahun setelah Pencipta meninggal dunia, terhitung mulai tanggal 1
Januari tahun berikutnya.
Nomor pencatatan : 000860814

adalah benar berdasarkan keterangan yang diberikan oleh Pemohon.

Surat Pencatatan Hak Cipta atau produk Hak terkait ini sesuai dengan Pasal 72 Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta.



a.n. MENTERI HUKUM
DIREKTUR JENDERAL KEKAYAAN INTELEKTUAL
u.b
Direktur Hak Cipta dan Desain Industri

Agung Damarsasongko,SH.,MH.
NIP. 196912261994031001

LAMPIRAN PENCIPTA

No	Nama	Alamat
1	Ely Mulyati	Jl. Gotong Royong RT 31 No 30 Demang Lebar Daun, Ilir Barat I, Palembang
2	euis kania kurniawati	Griya Selabumi Indah Blok B No. 6 , Gunung Puyuh, Sukabumi
3	Israjunna	Kota Bima, Rt01 Rw01 Tolotongga. Kel Ule Kec Asakota, Asakota, Bima
4	Effy Hidayaty	Perum Puri Gading Alam Raya I Blok M2 No 18-19 RT 03/12 Kelurahan Jati Melati, Pondok Melati, Bekasi
5	Eris Nur Dirman	Jl Keindahan I Bumi Tamalanrea Permai Blok Aa No. 6.Kota Makassar, Tamalanrea, Makassar
6	Adnan	Jl. Jenderal Sudirman No. 227 Parepare, Ujung, Parepare
7	Ahmad Hernadi	Jl. Kweni No 48 RT XI, Kampung Empat, Tarakan Tengah, Tarakan

LAMPIRAN PEMEGANG

No	Nama	Alamat
1	Ely Mulyati	Jl. Gotong Royong RT 31 No 30 Demang Lebar Daun, Ilir Barat I, Palembang
2	euis kania kurniawati	Griya Selabumi Indah Blok B No. 6 , Gunung Puyuh, Sukabumi
3	Israjunna	Kota Bima, Rt01 Rw01 Tolotongga. Kel Ule Kec Asakota, Asakota, Bima
4	Effy Hidayaty	Perum Puri Gading Alam Raya I Blok M2 No 18-19 RT 03/12 Kelurahan Jati Melati, Pondok Melati, Bekasi
5	Eris Nur Dirman	Jl Keindahan I Bumi Tamalanrea Permai Blok Aa No. 6.Kota Makassar, Tamalanrea, Makassar
6	Adnan	Jl. Jenderal Sudirman No. 227 Parepare, Ujung, Parepare
7	Ahmad Hernadi	Jl. Kweni No 48 RT XI, Kampung Empat, Tarakan Tengah, Tarakan



STRUKTUR BETON GEDUNG

Ely Mulyati, Euis Kania Kurniawati, Israjunna, Effy Hidayaty,
Eris Nur Dirman, Adnan, Ahmad Hernadi



STRUKTUR BETON GEDUNG

Penulis:

Ely Mulyati

Euis Kania Kurniawati

Israjunna

Effy Hidayaty

Eris Nur Dirman

Adnan

Ahmad Hernadi



CV HEI PUBLISHING INDONESIA

STRUKTUR GEDUNG BETON

Penulis :

Ely Mulyati

Euis Kania Kurniawati

Israjunna

Effy Hidayaty

Eris Nur Dirman

Adnan

Ahmad Hernadi

ISBN : 978-634-7067-55-5

Editor : Afridon, ST, M.Si

Penyunting : Ulmardi, ST

Desain Sampul dan Tata Letak : Ipah Kurnia Putri S.St

Penerbit : CV HEI PUBLISHING INDONESIA

Anggota IKAPI No. 034/SBA/2023

Redaksi :

Jl. Air Paku No.29 RSUD Rasidin, Kel. Sungai Sapih, Kec Kuranji

Kota Padang Sumatera Barat

Website : www.HeiPublishing.id

Email : heipublishing.id@gmail.com

Cetakan pertama, Februari 2025

Hak cipta dilindungi undang-undang

Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk
dan dengan cara apapun tanpa izin tertulis dari penerbit.

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji syukur kehadiran Allah SWT, atas limpahan rahmat dan hidayahNya, maka Penulisan Buku dengan judul Struktur Beton Gedung dapat diselesaikan. Buku ini berisikan bahasan tentang pendahuluan, sifat fisik dan mekanik beton, analisis kapasitas lentur balok beton bertulang, disain balok beton bertulang akibat beban lentur, analisis kapasitas geser balok beton bertulang, kekuatan dan kestabilan kolom dan gambar penulangan pada balok dan kolom.

Buku ini masih banyak kekurangan dalam penyusunannya. Oleh karena itu, kami sangat mengharapkan kritik dan saran demi perbaikan dan kesempurnaan buku ini selanjutnya. Kami mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah membantu dalam proses penyelesaian Buku ini. Semoga Buku ini dapat menjadi sumber referensi dan literatur yang mudah dipahami.

Padang, Februari 2025

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI.....	ii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Pendahuluan	1
1.2 Karakteristik Bahan Bangunan.....	3
1.3 Klasifikasi Bahan Bangunan	5
1.4 Inovasi dan Tren Masa Depan Bahan Bangunan.....	7
DAFTAR PUSTAKA	12
BAB 2 SIFAT FISIK DAN MEKANIK BETON	15
2.1 Pendahuluan	15
2.2 Sifat Fisik Beton (Physiscal Properties).....	15
2.3 Sifat Mekanik Beton	23
DAFTAR PUSTAKA	31
BAB 3 ANALISIS KAPASITAS LENTUR BALOK BETON BERTULANG	33
3.1 Beton.....	33
3.2 Beton Bertulang.....	34

3.3 Prilaku Lentur Balok	35
3.4 Prosedur Desain Balok Tulangan Tunggal	36
3.5 Contoh Perhitungan Balok Tulangan Tunggal	37
DAFTAR PUSTAKA.....	41
 BAB 4 DESAIN BALOK BETON BERTULANG AKIBAT	
BEBAN LENTUR.....	43
4.1 Pendahuluan	43
4.2 Balok dan Pembebanannya.....	45
4.3 Kekuatan Desain dan Kekuatan Perlu	46
4.4 Prinsip Perencanaan Balok Bertulang	52
4.5 Prosedur Perencanaan Penulangan Balok Menurut SNI – 2847:2019.....	54
4.6 Contoh Kasus	66
DAFTAR PUSTAKA.....	72
 BAB 5 ANALISIS KAPASITAS GESER BALOK BETON	
BERTULANG.....	73
5.1 Pendahuluan	73

5.2 Konsep Dasar Gaya Geser pada balok beton bertulang.....	74
5.3 Gaya Geser	75
5.4 Mekanisme Gaya Geser dalam Balok Beton Bertulang	76
5.5 Distribusi Tegangan Geser	77
5.6 Kombinasi Gaya Geser dan Gaya Lentur pada Beton ...	77
5.7 Kategori Keruntuhan Balok Akibat Geser	80
5.8 Perencanaan Tulangan Geser Balok.....	83
5.9 Penampang Tanpa Tulangan Geser.....	85
DAFTAR PUSTAKA	88
 BAB 6 KEKUATAN DAN KESTABILAN KOLOM	 91
6.1 Pengertian Kolom.....	91
6.2 Konsep Pembebanan Beban-Beban Pada Struktur	97
6.3 Kolom Panjang atau Kolom Langsing	103
6.4 Kolom Pendek dengan Beban Eksentris	106
6.5 Pembebanan eksentris pada Kolom pendek Beton bertulang.....	106
6.6 Defleksi lateral Kolom	109

6.7 Kestabilan Kolom metode SNI dan PPBBI 1984	110
DAFTAR PUSTAKA.....	112
 BAB 7 GAMBAR PENULANGAN PADA BALOK DAN	
KOLOM/SHOP DRAWING	113
7.1 Pendahuluan	113
7.2 Diameter Tulangan	114
7.3 Penulangan Balok.....	117
7.4 Penulangan Kolom	121
7.5 Geometri Penulangan Sengkan.....	124
DAFTAR PUSTAKA.....	132
 BIODATA PENULIS.....	133

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Pendahuluan

Dalam sejarah pembangunan manusia, bahan bangunan telah memainkan peran penting sebagai fondasi utama peradaban. Dari penggunaan batu dan tanah liat pada zaman purba hingga beton, baja, dan material canggih di era modern, evolusi bahan bangunan mencerminkan perkembangan teknologi dan kebutuhan masyarakat. Peningkatan populasi dunia, urbanisasi, dan kebutuhan akan infrastruktur yang lebih kuat, efisien, dan ramah lingkungan telah mendorong inovasi dalam bidang bahan bangunan. Bahan bangunan adalah elemen dasar dalam setiap proyek konstruksi. Pemilihan material yang tepat memengaruhi kekuatan, keamanan, estetika, dan umur bangunan.

Di sisi lain, tantangan global seperti perubahan iklim dan ketersediaan sumber daya alam memaksa para insinyur dan arsitek untuk mencari material yang tidak hanya kokoh tetapi juga berkelanjutan. Dalam dunia konstruksi modern, bahan bangunan tidak hanya berfungsi sebagai elemen struktural tetapi juga sebagai solusi untuk tantangan teknis dan lingkungan. Material seperti

STRUKTUR BETON GEDUNG

beton ringan, baja tahan karat, dan kaca pintar (*smart glass*) kini mendominasi dunia konstruksi modern. Selain itu, penggunaan material daur ulang, beton rendah karbon, dan teknologi nano membuka era baru dalam konstruksi ramah lingkungan. Konsep pembangunan berkelanjutan mendorong pemilihan bahan bangunan yang tidak hanya kuat tetapi juga mendukung pelestarian lingkungan. Beberapa aspek keberlanjutan bahan bangunan meliputi Efisiensi Energi, Material seperti beton isolasi termal membantu mengurangi kebutuhan energi bangunan ; penggunaan material daur ulang seperti beton bekas dan baja daur ulang dapat mengurangi limbah konstruksi; Reduksi Emisi Karbon inovasi seperti beton rendah karbon dan material berbasis biomassa menjadi solusi untuk mengurangi dampak lingkungan.

Industri konstruksi terus berkembang seiring dengan kemajuan teknologi dan meningkatnya kebutuhan akan material yang lebih efisien, ramah lingkungan, dan berkelanjutan (Jagadeesan et al., 2022; Kumar et al., 2024; Li et al., 2024). Berbagai inovasi material baru sedang dikembangkan untuk menghadapi tantangan ini, memberikan solusi modern untuk bangunan masa depan. Dalam industri konstruksi, perkembangan teknologi telah memberikan dampak signifikan pada proses pembuatan bahan bangunan modern. Teknologi produksi yang canggih memastikan bahwa bahan bangunan tidak hanya memiliki

kualitas tinggi tetapi juga memenuhi standar keberlanjutan dan efisiensi. Era digital membawa perubahan signifikan dalam cara bahan bangunan dirancang, diproduksi, dan digunakan. Teknologi seperti pencetakan 3D memungkinkan produksi elemen bangunan yang kompleks dengan material minimum. Sistem BIM (*Building Information Modeling*) juga memudahkan analisis kinerja bahan bangunan sebelum diterapkan pada proyek nyata.

1.2 Karakteristik Bahan Bangunan

Pengetahuan tentang bahan bangunan melibatkan berbagai disiplin ilmu, seperti kimia, fisika, dan teknik sipil. Oleh karena itu, memahami karakteristik, kelebihan, kekurangan, serta potensi inovasi bahan bangunan adalah langkah penting bagi para profesional di bidang konstruksi. Material bahan bangunan yang digunakan dalam infrastruktur memiliki karakteristik yang perlu diperhatikan untuk memastikan kekuatan, keamanan, dan daya tahan konstruksi. Pemahaman mendalam mengenai karakteristik ini sangat penting dalam pemilihan material bangunan agar sesuai dengan kebutuhan spesifik proyek infrastruktur dan memastikan ketahanannya dalam jangka panjang (Ding & Shu, 2024). Karakteristik ini dapat dikelompokkan berdasarkan sifat fisik, kimia, dan mekanisnya:

STRUKTUR BETON GEDUNG

a. Sifat Fisik

Sifat fisik material mencakup parameter seperti densitas, porositas, dan konduktivitas termal. Densitas menentukan berat material per satuan volume, yang memengaruhi stabilitas struktur. Porositas berhubungan dengan kemampuan material menyerap cairan, sedangkan konduktivitas termal menentukan seberapa baik material menghantarkan panas.

b. Sifat Kimia

Sifat kimia meliputi ketahanan material terhadap korosi, reaksi kimia dengan lingkungan sekitar, serta kemampuan bertahan dalam kondisi asam atau basa. Sebagai contoh, material seperti beton dapat bereaksi dengan karbon dioksida (proses karbonasi) yang dapat memengaruhi kekuatannya, sementara logam rentan terhadap oksidasi yang dapat menyebabkan korosi.

c. Sifat Mekanis

Sifat mekanis berkaitan dengan kemampuan material menahan beban dan deformasi. Ini meliputi kekuatan tekan, kekuatan tarik, elastisitas, dan kekakuan. Sifat ini penting untuk memastikan material dapat menahan gaya atau tekanan yang bekerja pada struktur tanpa mengalami kerusakan atau deformasi permanen

1.3 Klasifikasi Bahan Bangunan

Bahan bangunan merupakan elemen utama dalam konstruksi yang berfungsi untuk menciptakan struktur yang aman, kuat, dan tahan lama. Untuk mempermudah pemilihan dan penggunaannya, bahan bangunan diklasifikasikan berdasarkan asal, fungsi, serta sifat fisik dan kimianya. Berikut adalah klasifikasi umum bahan bangunan :

1. Berdasarkan Sifat Material

- Material Organik

Contoh: Kayu, bambu, rotan.

Karakteristik: Ramah lingkungan, tetapi rentan terhadap kelembaban dan serangan hama.

- Material Anorganik

Contoh: Batu, beton, baja, kaca.

Karakteristik: Kuat, tahan lama, tetapi kurang fleksibel dibanding material organik.

2. Berdasarkan Fungsi

- Struktural

Material yang menopang beban bangunan.

Contoh: Beton, baja, kayu.

STRUKTUR BETON GEDUNG

- Non-Struktural

Material yang digunakan untuk estetika atau pelengkap.

Contoh: Plester, cat, ubin, kaca dekoratif.

3. Berdasarkan Asalnya

- Material Alam

Contoh: Batu, pasir, tanah liat.

Kelebihan: Mudah didapat, biaya rendah.

Kekurangan: Kadang memerlukan proses tambahan untuk digunakan.

- Material Buatan

Contoh: Bata, beton, kaca, keramik.

Kelebihan: Dapat disesuaikan dengan kebutuhan konstruksi.

4. Berdasarkan Teknik Pengolahan

- Material Mentah

Contoh: Batu kali, pasir, kayu gelondongan.

- Material Olahan

Contoh: Kayu lapis, baja profil, beton pracetak.

5. Berdasarkan Ketahanan terhadap Lingkungan

- Tahan Air

Contoh: Beton, keramik.

- Tidak Tahan Air

Contoh: Gypsum, kayu tanpa perlakuan khusus.

6. Berdasarkan Waktu Penggunaan

- Material Permanen

Digunakan untuk konstruksi jangka panjang.

Contoh: Beton bertulang, baja.

- Material Sementara

Digunakan untuk keperluan sementara seperti perancah.

Contoh: Kayu, bambu.

1.4 Inovasi dan Tren Masa Depan Bahan Bangunan

Di era modern, bahan bangunan terus berkembang untuk menjawab kebutuhan konstruksi yang lebih efisien, ramah lingkungan, dan tahan lama (Khattab et al., 2021). Inovasi bahan bangunan terus berkembang dengan fokus pada keberlanjutan (mengurangi dampak lingkungan), Efisiensi Energi (Meningkatkan Efisiensi dan penghematan sumber daya), Teknologi Digital (Material yang terintegrasi dengan teknologi pintar untuk menciptakan bangunan cerdas).

a. Bahan Ramah Lingkungan

- Batu Bata Daur Ulang

Terbuat dari limbah konstruksi dan bahan organik seperti abu vulkanik atau limbah plastik (Mulyati & Emiliawati,

2021) .

Keunggulan: Mengurangi limbah, jejak karbon rendah.

- Kayu Laminasi Silang (*CLT - Cross-Laminated Timber*)

Kayu rekayasa yang kuat dan tahan api, sering digunakan dalam bangunan tinggi (*mass timber construction*).

Keunggulan: Sumber daya terbarukan, estetika alami.

- Beton Hijau

Beton yang menggunakan bahan pengganti seperti abu terbang atau slag baja untuk mengurangi emisi karbon (Mulyati & Anggriani, 2022).

Keunggulan: Mengurangi emisi CO₂ dalam produksi.

b. Bahan Pintar (*Smart Materials*)

- Beton *Self-Healing*

Beton dengan bakteri atau bahan kimia yang dapat menutup retakan secara otomatis ketika terkena air.

Keunggulan: Meningkatkan masa pakai infrastruktur.

- Kaca Pintar (*Smart Glass*)

Menggunakan teknologi elektro-kromik untuk mengatur transparansi sesuai intensitas cahaya.

Keunggulan: Hemat energi, meningkatkan kenyamanan penghuni.

- Cat Fotokatalitik

Cat yang memanfaatkan sinar UV untuk memecah

polutan udara.

Keunggulan: Meningkatkan kualitas udara sekitar.

c. Material Berbasis Teknologi Nano

- Nano-Concrete

Menggunakan partikel nano untuk meningkatkan kekuatan dan durabilitas beton (Ucar et al., 2024; Xia et al., 2024).

Keunggulan: Lebih ringan, tahan aus, dan tahan terhadap cuaca ekstrem.

- *Nano-Coatings*

Pelapis berbasis nano yang melindungi material dari korosi, noda, atau kelembaban.

Keunggulan: Memperpanjang umur material.

d. Bahan Modular dan Prefabrikasi

- Panel Sandwich

Material ringan dengan inti insulasi yang efisien, digunakan dalam konstruksi modular.

Keunggulan: Menghemat waktu pemasangan dan energi (Al-Ameen et al., 2024).

- Komponen 3D Printed

Bahan bangunan seperti beton, plastik, atau logam yang diproduksi menggunakan teknologi cetak 3D.

Keunggulan: Desain lebih fleksibel, minim limbah.

e. Material Transparan dan Estetika Modern

- Kayu Transparan

Material kayu yang dimodifikasi untuk menjadi transparan dan kuat.

Keunggulan: Alternatif kaca yang ramah lingkungan.

- Beton Transparan

Mengandung serat optik untuk memungkinkan cahaya menembus material.

Keunggulan: Estetika tinggi, cocok untuk bangunan futuristik.

f. Fokus pada Efisiensi Energi

- Panel Surya Tertanam (*Solar-Integrated Materials*)

Material seperti atap atau kaca yang memiliki kemampuan menghasilkan listrik dari sinar matahari.

Keunggulan: Mengurangi kebutuhan energi eksternal.

- Insulasi Termal Super

Material berbasis aerogel yang sangat efektif dalam menjaga suhu interior.

Keunggulan: Hemat energi untuk pendinginan dan pemanasan.

g. Penggunaan Limbah sebagai Bahan Bangunan

- Bahan Berbasis Plastik Daur Ulang

Plastik bekas yang diolah menjadi bahan konstruksi seperti paving block atau panel dinding (Belmonte et al., 2024; Bricks, 2024; Chen et al., 2024).

Keunggulan: Mengurangi pencemaran lingkungan.

- Bata dari Sampah Organik

Mengolah sampah organik, seperti sekam padi atau ampas tebu, menjadi bata ringan.

Keunggulan: Alternatif murah dan berkelanjutan.

h. Teknologi AI dan IoT dalam Material

Sensor Tertanam

Bahan dengan sensor yang dapat mendeteksi kerusakan, tekanan, atau kelembaban.

Keunggulan: Memungkinkan perawatan preventif yang lebih efisien.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Ameen, E., Blanco, A., & Cavalaro, S. (2024). Comparative life cycle assessment of sprayed-UHPC sandwich panels over brick & block cavity construction. *Engineering Structures*, 303. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2024.117492>
- Belmonte, L. J., Ottosen, L. M., & Kirkelund, G. M. (2024). *Use of a Glaciogene Marine Clay (Ilulissat , Greenland) in a Pilot Production of Red Bricks*. 7–9.
- Bricks, S. (2024). *Study on the Effects of Pasture Fiber on Thermal Properties of*.
- Chen, Y., Liu, H., & Fan, L. (2024). *Optimization and mechanism analysis of a compound additive for unfired bricks made of construction and demolition wastes*. February, 1–13. <https://doi.org/10.3389/fmats.2024.1308884>
- Ding, D., & Shu, B. (2024). Thermal characteristics of dwellings with bamboo-woven mud walls in summer: A case study. *Journal of Building Engineering*, 82. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2023.108209>
- Jagadeesan, P., Sudharsan, N., Subash, S. M., Thirumoorthy, P., Sugumaran, B., Bari, J. A., Vetturayasudharsanan, R., Ambika, D., Sharmiladevi, K., & Karuppanan, K. (2022). Study on Performance of Infilled Wall in an RC-Framed Structure Using

- a Reinforcing Band. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/8643959>
- Khattab, M., Hachemi, S., & Al Ajlouni, M. F. (2021). Evaluating the physical and mechanical properties of concrete prepared with recycled refractory brick aggregates after elevated temperatures' exposure. *Construction and Building Materials*, 311. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.125351>
- Kumar, N., Mehta, V., Kumar, S., Singh, J. P., Kumar, R., Sharma, S., & Dwivedi, S. P. (2024). *An investigation of various properties of hybrid bricks using Natural fibers and waste fiber-based materials*. <https://doi.org/10.1177/15589250241240073>
- Li, H., Ding, L., Zhang, J., Guo, Z., Shang, Y., Liu, H., & Zeng, X. (2024). *R ESEARCH ARTICLE A “ bricks-and-mortar ” structured graphene oxide / polyvinyl alcohol coating: Enhanced water interfacial lubrication and durability*. 12(12), 2657–2678.
- Mulyati, E., & Anggriani, M. (2022). Pengaruh Pemanfaatan Abu Ampas Tebu dan Kawat Bendrat Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Lentur Beton Ringan. *Jurnal Teknik Sipil ITB*.
- Mulyati, E., & Emiliawati, A. (2021). Penerapan Limbah Plastik Dan Limbah Kertas Pada Bata Segitiga. *TEKNIKA: Jurnal Teknik*, 8(1), 1. <https://doi.org/10.35449/teknika.v8i1.153>
- Ucar, S., Nielsen, A. R., Mojsoska, B., Dideriksen, K., Andreassen, J., Zuckermann, R. N., & Sand, K. K. (2024). *Exploiting Saturation*

Regimes and Surface Effects to Tune Composite Design: Single Platelet Nanocomposites of Peptoid Nanosheets and CaCO₃. <https://doi.org/10.1021/acsami.4c00434>

Xia, J., Jafari, G. S., & Ghoroughi, F. (2024). *New method environment for art design of nanocomposite brick facade of the building*. 5, 499–507.

BAB 2

SIFAT FISIK DAN MEKANIK BETON

2.1 Pendahuluan

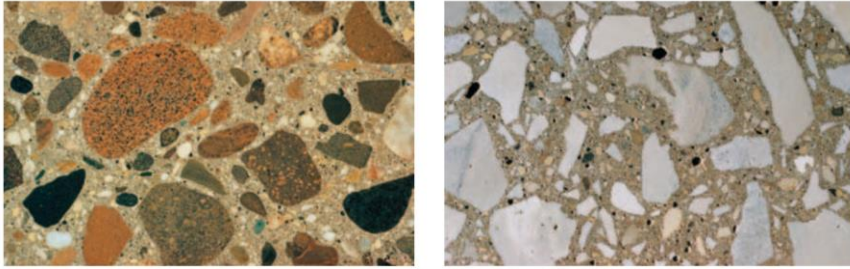
Beton merupakan campuran pasir, kerikil, batu pecah, atau agregat lain yang disatukan dengan pasta (semen dan air) menjadi massa padat. Penambahan bahan admixture bisa dilakukan untuk mengubah atau meningkatkan karakteristik beton tertentu seperti kekuatan (*Strength*), daya tahan (*Durability*), dan waktu Pengerasan (*Setting time*), dan lain-lain yang sering disebut sebagai sifat fisik dan sifat mekanik (*Mechanical Properties*).

2.2 Sifat Fisik Beton (Physiscal Properties)

Sifat fisik beton adalah karakteristik beton yang dapat diamati secara visual atau diukur tanpa mengubah identitas beton tersebut. Sifat fisik meliputi warna, kepadatan, kekerasan, susut, kemampuan kerja, dan lain-lain, sehingga sifat fisik akan tergantung kualitas beton. Sedangkan kualitas beton akan tergantung pada kualitas pasta dan agregat serta ikatannya, karena setiap partikel agregat

STRUKTUR BETON GEDUNG

dilapisi dengan pasta, sehingga semua ruang antara partikel agregat sepenuhnya terisi dengan pasta seperti gambar dibawah :



Gambar 2.1 Potongan beton (a) menggunakan kerikil alami; (b) menggunakan batu pecah.

Potongan beton tersebut memperlihatkan bentuk fisik yang berbeda tergantung jenis material dan komposisinya, sehingga akan menghasilkan sifat fisik yang berbeda juga. Beberapa sifat fisik yang bisa dipelajari dari beton antara lain :

a. Kemampuan kerja (*Workability*)

Kemampuan kerja adalah sifat dan kemudahan beton untuk dicampurkan, dimana beton yang baik mampu berkonsolidasi dan tidak terjadi segregasi saat penempatan (*placing*) serta bahan-bahannya tidak boleh terpisah selama pengangkutan dan penanganan. Faktor-faktor yang mempengaruhi kemampuan kerja beton antara lain:

1. Jumlah dan karakteristik bahan semen;
2. Konsistensi beton (nilai slump);
3. Bentuk, dan tekstur permukaan agregat halus dan kasar;
4. Jumlah udara yang terbawa;
5. Kadar air;
6. Metode dan durasi pengangkutan;
7. Suhu udara sekitar; dan
8. Jenis beton

Secara umum distribusi partikel agregat yang seragam dan jumlah udara yang terperangkap secara signifikan membantu mengontrol segregasi dan meningkatkan kemampuan kerja. Workability beton akan diukur dengan nilai slump, dimana semakin tinggi nilai slump menunjukkan konsistensi beton semakin turun dan beton yang terlalu basah (kadar air tinggi). Namun beton yang terlalu basah akan menimbulkan segregasi yang tinggi dan menghasilkan beton yang keropos (*honeycomb*).

Beton dengan nilai slump rendah memiliki konsistensi yang kaku, dan terlalu kering akan sulit di masukkan cetakan dan partikel agregat yang padat dan lebih besar akan cenderung terpisah dari campuran. Biasanya untuk mendapatkan beton dengan konsistensi baik tetapi mudah dicampurkan biasanya didapatkan dengan

STRUKTUR BETON GEDUNG

menambahkan bahan admixture/ bahan tambah berupa superplastisizer (pereduksi air).

b. Kepadatan (*Density*)

Adalah ukuran berat volume beton tertentu. Density akan berpengaruh terhadap kekuatan, daya tahan dan daya dukung. Density dinyatakan dalam kg/m^3 biasanya kepadatan di kisaran 2200 hingga 2400 kg/m^3 . Kepadatan beton bervariasi, tergantung jumlah dan kepadatan agregat, jumlah udara terperangkap, jumlah air dan semen serta maksimum agregat yang digunakan. Nilai kepadatan kombinasi beton konvensional dan baja tulangan umumnya diasumsikan dengan berat 2400 kg/m^3 . Beton dengan densitas tinggi adalah jenis beton khusus yang didapat dengan menggunakan agregat yang berat seperti barit atau magnetit, atau dengan menambahkan pelet baja atau besi ke dalam campuran. Beton kelas berat dengan kepadatan hingga 6000 kg/m^3 digunakan untuk penyeimbang atau pelindung radiasi.

Tabel 2.1 Rata-rata kepadatan (densitas) beton segar

Maximum size of aggregate, mm	Air content, percent	Water, kg/m ³	Cement, kg/m ³	Density, kg/m ³ **				
				Relative density of aggregate†				
				2.55	2.60	2.65	2.70	2.75
19	6.0	168	336	2194	2227	2259	2291	2323
37.5	4.5	145	291	2259	2291	2339	2371	2403
75	3.5	121	242	2307	2355	2387	2435	2467

* Source: Bureau of Reclamation 1981, Table 4.

** Air-entrained concrete with indicated air content.

† On saturated surface-dry basis. Multiply relative density by 1000 to obtain density of aggregate particles in kg/m³.

c. Susut (*Shrinkage*)

Susut adalah berkurangnya volume beton akibat beton kehilangan air akibat penguapan air. Semakin terpapar sinar matahari, semakin besar juga penguapan yang terjadi, sehingga mempengaruhi susut secara signifikan. Sehingga susut akan tergantung volume dan luas permukaan beton. Susut akan menimbulkan retakan yang akan mempengaruhi kekuatan beton serta penampilan struktur. Hal yang bisa dilakukan untuk mengurangi susut antara lain :

1. Mengatur jumlah air campuran (rasio w/c), karena kandungan air yang tinggi akan mengurangi jumlah agregat yang menahan susut;
2. Perawatan (*curing*) beton yang sesuai;
3. Menggunakan sambungan konstruksi untuk mengontrol posisi retakan (contohnya sambungan pada perkerasan rigid);
4. Mengatur rasio volume/luas permukaan;
5. Mengatur kelembaban relative;

STRUKTUR BETON GEDUNG

6. Menggunakan admixture untuk mengurangi susut; dan
7. Menggunakan agregat padat dan tidak berpori.

Besaran tipikal regangan berkisar antara 200 hingga 800×10^{-6} atau 200 hingga 800 microstrain.

d. Rangkak (*creep*)

Selain susut, beton juga akan mengalami rangkak yaitu berkurangnya volume beton akibat beban tekan yang berkelanjutan dalam jangka waktu yang lama. Perubahan volume ini cenderung terjadi dalam beberapa tahun setelah perubahan volume awal terjadi dan biasanya deformasinya sebesar dua hingga tiga kali lipat deformasi awal dan biasanya 75% dari total rangkak akan terjadi selama tahun pertama. Besarnya rangkak sangat tergantung pada besaran tegangan. Beban jangka panjang tidak hanya menyebabkan rangkak tetapi juga dapat menurunkan kekuatan beton 15% hingga 25%. Beberapa hal lain yang mempengaruhi jumlah creep adalah:

1. Semakin lama beton mengering sebelum beban diterapkan, semakin kecil creepnya.
2. Perawatan beton dengan uap (*Steam Curing*) meningkatkan kekuatan beton dengan cepat dan bisa mengurangi rangkak.
3. Beton mutu tinggi memiliki rangkak yang lebih kecil dibandingkan beton mutu dalam beban yang sama namun

tegangan yang terjadi lebih besar dibandingkan beton mutu rendah.

4. Rangkak akan meningkat seiring peningkatan suhu, dengan suhu maksimal 65-70 °C.
5. Semakin tinggi kelembaban, semakin kecil air pori bebas yang dapat keluar dari beton dan semakin kecil rangkakan yang terjadi.
6. Maka penambahan perkuatan pada daerah tekan akan mengurangi rangkakan karena rangkakan akan tertahan dengan adanya tulangan pada daerah tekan.

e. Daya serap (*absorption*)

Berat beton kering (dry) sama dengan berat beton baru dikurangi berat air campuran yang menguap ke udara. Sebagian air campuran bereaksi dengan semen membentuk gel semen serta sebagian semen tertahan pada pori-pori, tidak menguap dalam kondisi kelembaban normal. Jumlah air yang menguap akibat paparan udara sekitar pada kelembaban 50% sekitar 1-3 % dari berat beton tergantung kadar air awal beton, penyerapan karakteristik agregat, ukuran dan bentuk elemen beton. Air yang menguap akan membentuk pori kapiler dalam beton. Pada kondisi beton kering pori ini akan menjadi jalan masuknya cairan seperti air atau larutan lain dengan aksi kapiler atau sering disebut daya serap beton atau absorpsi beton. Besarnya laju absorpsi

tergantunganterkoneksi pori-pori kapiler dalam beton dan gradien kelembaban permukaan beton.

f. Durabilitas Beton

Durabilitas beton adalah ketahanan beton terhadap penetrasi fluida. Ketahanan beton ini akan dipengaruhi w/cm atau rasio air terhadap material sementisius yang digunakan pada beton. Contohnya penambahan abu terbang (*fly ash*), semen slag, abu silika (*silica fume*). Dari banyak penelitian yang ada menunjukkan material-material tersebut mampu meningkatkan ketahanan beton terhadap penetrasi fluida dan meningkatkan durabilitas beton sehingga didapatkan beton yang permeabilitasnya rendah. ASTM C1202 digunakan untuk mengukur ketahanan beton terhadap penetrasi fluida. Beberapa ketentuan yang bisa menentukan durabilitas beton antara lain :

1. Tahan terhadap kondiri beku dan cair (*Freezing and Thawing*)
2. Tahan terhadap reaksi Alkali (*Alkali-Aggregate Reactivity*)
3. Tahan karbonasi (*Carbonation*)
4. Tahan terhadap penetrasi klorida dan korosi tulangan (*Chloride Resistance and Steel Corrosion*)
5. Tahan terhadap reaksi bahan kimia lain (*Chemical Resistance*)
6. Tahan terhadap reaksi sulfat dan kristal garam (*Sulfates and Salt Crystallization*) atau tahan bila terekspos air laut.

2.3 Sifat Mekanik Beton

a. Kuat Tekan Beton (*Compression strength*)

Kekuatan (*strength*) adalah jumlah tegangan yang diperlukan untuk membuat suatu material gagal (retak, hancur, putus). Beton merupakan material yang paling cocok untuk menanggung beban tekan menurut teori tegangan kerja untuk desain struktur beton. Kekuatan beton sendiri merupakan fungsi dari proses hidrasi semen yang berjalan relatif lambat yang, secara tradisional spesifikasi dan pengujian kekuatan beton didasarkan pada spesimen yang diawetkan di bawah kondisi suhu-kelembaban standar untuk jangka waktu 28 hari. Sehingga kuat tekan beton (*compression strength*) adalah besarnya beban per satuan luas yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu yang dihasilkan oleh mesin uji tekan, dantegangan tertinggi dicapai setelah mencapai umur 28 hari (Dipohusodo, 1996). Ukuran benda uji berbentuk silinder yang berdiameter 150mm dan tinggi 300mm, hal ini sesuai dengan standar ASTM (*American Society for Testing and Material*).

Dalam SNI 03-1974-1990 penghitungan kuat tekan beton dihitung dengan rumus :

$$\text{Kuat Tekan} = \frac{P}{A} \left(\frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \right)$$

STRUKTUR BETON GEDUNG

Dengan :

P = beban maksimum (kg)

A = luas penampang (cm²)

Menurut Pasal 19 SNI 2847-2019 Pasal 19.2.1.1, persyaratan kuat tekan beton untuk desain harus memenuhi tabel ... dan kekuatan beton yang disyaratkan harus digunakan untuk menentukan proporsi campuran beton.

Tabel 2.2 batasan nilai f'_c

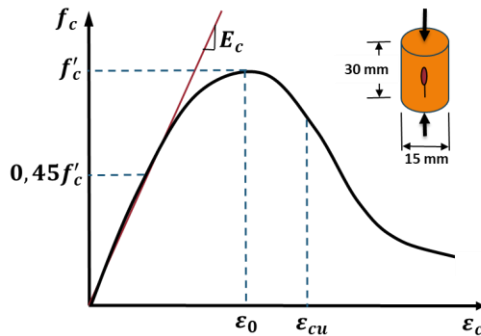
Kegunaan	Jenis beton	Nilai f'_c minimum (MPa)	Nilai f'_c maksimum (MPa)
Umum	Berat normal dan berat ringan	17	Tidak ada batasan
Sistem rangka pemikul momen khusus dan dinding struktural khusus	Berat normal	21	Tidak ada batasan
	Berat ringan	21	35 ^[1]

Sumber : SNI 2847, Tabel 19.2.1.1

Beberapa faktor berpengaruh terhadap kuat tekan beton, antara lain rasio air semen yang digunakan, sifat dan proporsi bahan campuran beton, tingkat pemadatan beton serta pemilihan curing beton.

b. Modulus elastisitas (E_c)

Modulus elastisitas didefinisikan sebagai rasio antara tegangan dan regangan reversibel. Pentingnya batas elastis dalam desain struktural adalah untuk mengetahui tegangan maksimum yang diizinkan sebelum material mengalami deformasi permanen. Modulus elastis material akan mempengaruhi kekakuan suatu desain.



Gambar 2.2 hasil rata-rata pengujian beton

E_c didefinisikan sebagai kemiringan garis yang digambar dari tegangan nol hingga tegangan tekan sebesar $0.45f'_c$. Sehingga nilai modulus elastisitas akan tergantung modulus elastisitas

STRUKTUR BETON GEDUNG

masing-masing agregat dan proporsi campuran beton yang digunakan.

Modulus elastisitas beton (E_c) menurut SNI 2847-2019 Pasal 19.2.2.1, dihitung berdasarkan rumus :

$$E_c = w_c^{1,5} 0,043 \sqrt{f'_c} \text{ (MPa)}$$

untuk beton dengan nilai $w_c = 1400\text{-}2560 \text{ Kg/m}^3$

$$E_c = 4700 \sqrt{f'_c} \text{ (MPa)}$$

untuk beton normal

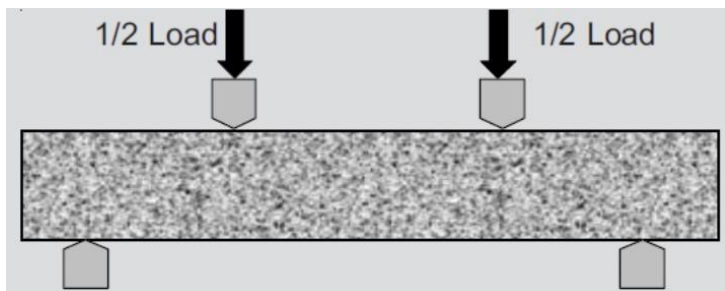
c. Poisson's Ratio

Ketika silinder beton mengalami beban tekan, selain beton mengalami pemendekan secara lateral beton menjadi meluas dan rasio ekspansi lateral beton terhadap pemendekan arah longitudinal disebut rasio Poisson (Poisson's Ratio). Nilainya poisson ini bervariasi yaitu sekitar 0,11 untuk beton mutu tinggi sampai 0,21 untuk beton mutu rendah, dengan nilai rata-rata sekitar 0,16. Ada tampaknya tidak ada hubungan langsung antara nilai rasio dan nilai item seperti rasio air-semen, jumlah pengawetan, ukuran agregat, dan sebagainya.

d. Kuat tarik beton

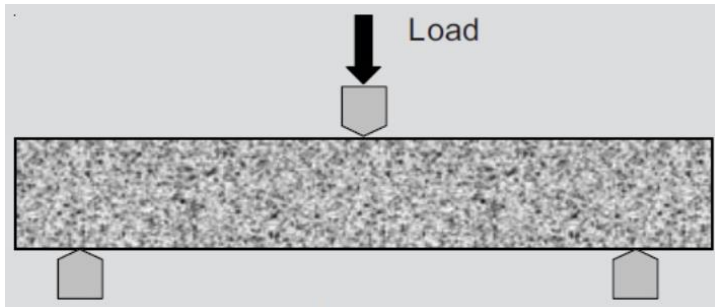
Kuat tarik lentur adalah salah satu pengukuran kuat tarik beton biasanya nilainya antara 10-15 % dari kuat tekan beton. Terjadinya perbedaan nilai kuat tarik dan kuat tekan dikaitkan dengan struktur mikro beton yang heterogen dan kompleks.

Pengujian kuat tarik lentur bisa menggunakan standar ASTM C78 dengan menggunakan pengujian sistem *Third Point Loading* dengan cara setengah pembebanan ditempatkan pada $1/3$ bentang balok sehingga tegangan terjadi pada daerah $1/3$ bentang. Pengujian kuat tarik lentur bisa juga menggunakan standar ASTM C293 dengan system *Center Point Loading* yang menempatkan seluruh beban pada tengah bentang sehingga tegangan maksimum terjadi pada tengah bentang. Kekuatan lentur dinyatakan sebagai modulus ruptur (MR) atau modulus retak, dan nilai MR yang dihasilkan dengan metode *third point loading* lebih rendah dibandingkan dengan metode pengujian *center point loading*.



Gambar 2.3 Metode pengujian ASTM C78 *Third Point Loading*

STRUKTUR BETON GEDUNG



Gambar 2.4 Metode Pengujian ASTM C293 *Center Point Loading*

Rumus menghitung hasil MR pada pengujian *center point loading* adalah :

$$MR = \frac{3PL}{2bd^2}$$

Rumus menghitung MR bila fraktur pada 1/3 bentang adalah :

$$MR = \frac{PL}{bd^2}$$

Dan bila fraktur terjadi diluar area 1/3 bentang adalah :

$$MR = \frac{3Pa}{bd^2}$$

Dimana :

R = Modulus rupture (Mpa)

P = Beban maksimum (N)

L = Bentang balok (mm)

b = rata-rata lebar sampel (mm)

d = rata-rata tinggi sampel (mm)

a = rata-rata jarak daerah retak dengan tumpuan (mm)

Karena nilai MR kecil dalam perhitungan desain nilainya biasanya diabaikan. Namun tetap saja MR merupakan properti penting yang mempengaruhi ukuran dan luasnya retakan yang akan terjadi.

Modulus retak beton dalam SNI 2847-2019 Pasal 19.2.3.1 disebut dengan variabel f_r . Rumus yang digunakan untuk menghitungnya adalah :

$$f_r = 0,62\lambda\sqrt{f'_c}$$

dengan faktor modifikasi $\lambda = 1$ untuk beton normal, sedangkan untuk jenis beton lain harus sesuai dengan tabel berikut :

Tabel 2.3 Faktor Modifikasi λ

Beton	Komposisi Agregat	λ
Beton ringan dengan semua agregat ringan	Halus: ASTM C330M Kasar: ASTM C330M	0,75
Beton Ringan, agregat halus campuran	Halus: Kombinasi ASTM C330M dan C33M Kasar: ASTM C330M	0,75 s/d 0,85 ^[1]
Beton ringan dengan pasir ringan	Halus: ASTM C33M Kasar: ASTM C330M	0,85
Beton ringan dengan pasir ringan, dan agregat kasar campuran	Halus: ASTM C33M Kasar: Kombinasi ASTM C330M dan C33M	0,85 s/d 1 ^[2]
Beton normal	Halus: ASTM C33M Kasar: ASTM C33M	1

DAFTAR PUSTAKA

- American Standar for Testing and Materials (ASTM), ASTM C78-09, 2009, Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading), United States
- American Standar for Testing and Materials (ASTM), ASTM C293M-16, 2016, Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam With Center-Point Loading), United States
- Mehta, P. Kumar, Monteiro, Paulo J.M. 2006. Concretes, Microstructures, Properties and Materials. 3rded. United States of America: The McGraw-Hill Companies, Inc.
- Badan Standarisasi Nasional (BSN), SNI 2847-2019, Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan penjelasan (ACI 318M-14 dan ACI 318RM-14, MOD). Jakarta
- McCormac, Jack C., Brown, Russel H., 2014. Design of Reinforced Concrete, ACI 318-11 Code Edition. Ninth ed. United States of America : John Wiley & Sons
- Kosmatika, Steven H., Kerkhoff, Beatrix., and Panarese, William C., 2002, Design and Control of Concrete Mixtures, Fourteenth Ed., Illinois, USA, Portland Cement Accociantion (PCA)
- Li, Zongjin, 2011. Advance Concrete Technology, Canada, John wiley

STRUKTUR BETON GEDUNG

& sons, Inc.

Campbell NA, dkk. 2000. Biologi. Edisi Kelima. Jilid 1. Jakarta:
Erlangga.

Juwono., Juniarto, A.Z. 2003. Biologi Sel., EGC. Jakarta

BAB 3

ANALISIS KAPASITAS LENTUR BALOK BETON BERTULANG

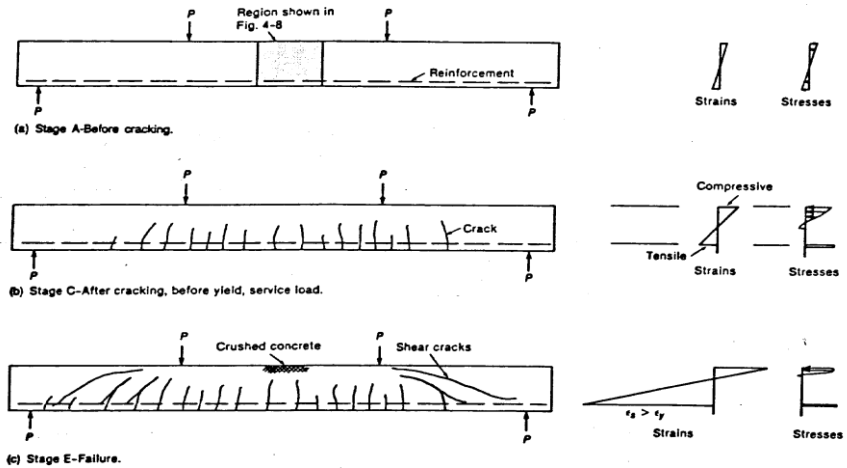
3.1 Beton

Pembangunan konstruksi yang selalu mengalami kemajuan teknologi baik dari segi bahan dan metode di Indonesia khususnya pulau Sumbawa. Beton merupakan pilihan yang lazim digunakan dalam pembangunan, seperti konstruksi rumah sederhana, gedung bertingkat, jembatan dan jalan. Beton memiliki komposisi dasar seperti agregat halus, agregat kasar, semen portland, air dan ada juga tambahan admixture sebagai tambahan campuran beton (Israjunna et al., 2024). Kuat lentur pada struktur beton sangat penting, karena sangat mempengaruhi kekuatan pada suatu struktur. Kuat lentur struktur mengalami penguatan apabila struktur tersebut mengalami perkuatan dan perbaikan. Hal ini dikarenakan penambahan kekuatan (kuat tarik) pada struktur tersebut, sehingga beban yang dipikul struktur tersebut lebih besar dan lendutannya semakin kecil. Beton terkenal dengan kuat tekannya tetapi lemah terhadap beban tarik (Aji, 2018)

3.2 Beton Bertulang

Beton bertulang (reinforced concrete) merupakan gabungan dari material beton polos (plain concrete) dan tulangan baja (reinforcement) yang saling bekerja sama, sehingga beton memiliki kekuatan dalam memikul tegangan tarik. Beton sangat rentan dengan getas apabila menerima beban tarik sehingga akan terjadi keruntuhan tanpa aba-aba. Sedangkan dengan adanya tulangan baja, struktur beton memiliki sifat dektail, dimana beton mampu berdeformasi lebih besar tanpa mengalami keruntuhan secara tiba-tiba. Beton juga memiliki sifat daktilitas yang dimana sifat dari material khususnya beton bertulang (reinforced concrete) untuk berdeformasi hingga melewati batas elastisnya tanpa adanya pengurangan kekuatan secara signifikan. Beberapa alasan kenapa beton dan baja tulangan bisa bekerja sama antara lain: sifat bond, material be. ton, kesamaan nilai thermal expansion dan kombinasi dari material beton dan baja (Lesmana, 2020).

3.3 Prilaku Lentur Balok



Gambar 3.1. Retak, regangan dan tegangan pada balok uji (Witwit & Jasim, 2021)

Group	Beam Notation*	Cross Section			Shear to Span	Comp. Strength	Longitudinal Tensile Reinforcement		
		b (mm)	h (mm)	d (mm)			ρ / ρ_b	Long. Steel	f_y (MPa)
BA	BA75*150-45-(3-8)	75	150	125	4.48	45	0.18	3Ø8	420
	BA75*150-65-(3-8)	75	150	125	4.48	65	0.18	3Ø8	420
	BA75*150-45-(4-8)	75	150	113	4.96	45	0.28	4Ø8	420
	BA75*150-65-(4-8)	75	150	113	4.96	65	0.28	4Ø8	420
BB	BB100*200-45-(2-10)	100	200	174	3.22	45	0.18	2Ø10	513
	BB100*200-65-(2-10)	100	200	174	3.22	65	0.18	2Ø10	513
	BB100*200-45-(3-10)	100	200	174	3.22	45	0.28	3Ø10	513
	BB100*200-65-(3-10)	100	200	174	3.22	65	0.28	3Ø10	513
BC	BC125*250-45-(2-12)	125	150	223	2.52	45	0.18	2Ø12	513
	BC125*250-65-(2-12)	125	150	223	2.52	65	0.18	2Ø12	513
	BC125*250-45-(3-12)	125	150	223	2.52	45	0.28	3Ø12	513
	BC125*250-65-(3-12)	125	150	223	2.52	65	0.28	3Ø12	513
BD	BD150*300-45-(2-16)	150	300	271	2.07	45	0.18	2Ø16	530
	BD150*300-65-(2-16)	150	300	271	2.07	65	0.18	2Ø16	530
	BD150*300-45-(3-16)	150	300	271	2.07	45	0.28	3Ø16	530
	BD150*300-65-(3-16)	150	300	271	2.07	65	0.28	3Ø16	530

Gambar 3.2. Detail spesimen dan sifat material (Jaber et al., 2023)

Balok merupakan elemen struktur yang memikul beban tegak lurus dengan sumbu batangnya, baik berupa beban terpusat atau beban merata. Pada kondisi tersebut, tegangan tarik dan tegangan tekan belum mencapai batas kekuatan dari material beton maupun tulangan. Desain kapasitas lentur balok yang dilakukan yaitu dengan desain perkuatan baja mutu 400 atau 500 Mpa dapat diperkirakan secara akurat dengan menggunakan persamaan kode desain. Pengujian yang dilakukan pada balok beton yang bermutu tinggi dapat melihat kinerja lentur untuk mutu berbeda (Yao et al., 2020)

3.4 Prosedur Desain Balok Tulangan Tunggal

Prosedur desain tulangan Tunggal balok beton bertulang diatur dalam SNI 2847-2019: pasal 22.2; hal-476 dengan alur prosedur seperti berikut (Badan Standardisasi Nasional, 2019) :

- a. Menghitung nilai momen nominal M_n
- b. Menghitung rasio minimum tulangan balok
- c. Menghitung parameter, R_n dan m
- d. Menghitung nilai rasio tulangan dari balok
- e. Menghitung nilai luasan tulangan A_s yang dibutuhkan.
- f. Menghitung nilai luasan actual
- g. Menghitung nilai a berdasarkan tulangan actual
- h. Menghitung nilai c (tinggi garis netral baru)

- i. Melakukan cek kategori penampang.
- j. Menghitung dan periksa kapasitas penampang sesuai persamaan 2.20

3.5 Contoh Perhitungan Balok Tulangan Tunggal

Diketahui sebuah balok dengan spesifikasi sebagai berikut:

$$f_c^1 : 30 \text{ Mpa}$$

$$f_y : 400 \text{ Mpa}$$

$$f_{ys} : 240 \text{ Mpa}$$

$$D_i : 19 \text{ mm}$$

$$\emptyset_s : 12 \text{ mm}$$

$$t_s : 40 \text{ mm}$$

Dimensi Balok: 400/600 mm

$$M_u : 200.000.000 \text{ N.mm}$$

Menghitung Nilai M_n

$$M_n = \frac{M_u}{\emptyset} = \frac{200.000.000}{0.9} = 222.222.222 \text{ N.mm}$$

Menghitung Rasio Minimum

$$\rho_{min} = \frac{0,25 \sqrt{f_c^1}}{f_y} = \frac{0,25 \sqrt{30}}{400} = 0,0035$$

Menghitung Nilai R_n dan m

STRUKTUR BETON GEDUNG

$$d = \left(h - t_s - \phi_s - \frac{1}{2} D_i \right)$$
$$= \left(600 - 40 - 12 - \frac{1}{2} 19 \right) = 538,5 \text{ mm}$$

Nilai R_n

$$R_n = \frac{M_n}{bd^2} = \frac{222.222.222}{400 \times 538,5^2} = 1,916$$

Nilai parameter m

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} = \frac{400}{0,85 \times 30} = 15,686$$

Nilai rasio tulangan

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right)$$
$$\rho = \frac{1}{15,686} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,686 \times 1,916}{400}} \right) = 0,005$$

Nilai luas tulangan tarik yang dibutuhkan

$$A_s = \rho b d = 0,005 \times 400 \times 538,5 = 1,007 \text{ mm}^2$$

Nilai luasan aktual

$$n = \frac{A_s}{\frac{1}{4} \pi \phi^2} = \frac{1,077}{\frac{1}{4} \times 3,14 \times 19^2} = 3,8 \text{ bulatkan } 4 \text{ tulangan}$$

Spasi tulangnya bila dipasang 4 tulangan.

$$S_{min} = \frac{b - (2 \times t_s) - (2 \times \phi_s) - (n \times D_i)}{(n-1)}$$

$$S_{min} = \frac{400 - (2 \times 40) - (2 \times 12) - (4 \times 19)}{(4-1)} = 73,3 \text{ mm} > 40 \text{ mm}$$

Sehingga tulangan aktualnya :

$$A_s = \left(\frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \right) \times n = \left(\frac{1}{4} \times 3,14 \times 19^2 \right) \times 4 = 1,134 \text{ mm}^2$$

Nilai a berdasarkan tulangan aktual

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_c^1 \times b} = \frac{1,134 \times 400}{0,85 \times 30 \times 400} = 44,471 \text{ mm}$$

Nilai c tinggi garis netral baru

β_1 ditentukan berdasarkan mutu beton f_c^1 karena digunakan 28 Mpa < $f_c^1 \leq 55$ Mpa, maka nilai β_1 :

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \left(\frac{f_c^1 - 28}{7} \right) = 0,85 - 0,05 \left(\frac{30 - 28}{7} \right) = 0,836$$

Sehingga nilai tinggi garis netral:

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{44,471}{0,836} = 53,196 \text{ mm}$$

Cek penampang

Nilai $d_t = d$ sehingga parameter $\frac{c}{d_t}$:

$$\frac{c}{d_t} \leq 0,375$$

STRUKTUR BETON GEDUNG

$$\frac{53,195}{538,5} \leq 0,375$$

$0,099 \leq 0,375$ terkontrol tarik, sehingga nilai reduksi yang digunakan adalah $\phi = 0,9$

Hitung dan periksa kapasitas penampang

$$\begin{aligned} M_n &= A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 1,134 \times 400 \times \left(538,5 - \frac{44,471}{2} \right) \\ M_n &= 234,177.577 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Cek Kapasitas Balok

$$\begin{aligned} \phi \times M_n &> M_u \\ 0,9 \times 234,177.577 &> 200.000.000 \\ 210.759.819 \text{ N.mm} &> 200.000.000 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

sehingga memenuhi syarat dan menggunakan tulangan tarik 4 – D19 mm

DAFTAR PUSTAKA

- Aji, I. B. (2018). *Kapasitas Lentur Balok Beton Bertulang Dengan Penambahan Pelat Baja* [Universitas Negeri Semarang].
https://lib.unnes.ac.id/36238/1/5113414055_Optimized.pdf
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung. *Sni 2847-2019*, 8, 720.
- Israjunna, Ramdhani, F., & Salsabillah. (2024). Implementation Of Green Buildings On Sumbawa Island. *International Conference 2024 Muhammadiyah Malang University, September, 2012–2015*.
- Jaber, H. T., Sarsam, K. F., & Muhammad, B. R. (2023). Numerical study on the shear strength of reinforced concrete beams using ABAQUS. *AIP Conference Proceedings*, 2651(March).
<https://doi.org/10.1063/5.0107063>
- Lesmana, Y. (2020). *Handbook Desain Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SNI 2847-2019* (I). CV. Nas Media Pustaka.
- Witwit, D. A. U., & Jasim, P. D. N. A. (2021). Assessment of the flexural capacity of composite reinforced concrete beams using experimental tests and finite element analysis. *Journal of Physics: Conference Series*, 1895(1).
<https://doi.org/10.1088/1742-6596/1895/1/012066>
- Yao, X., Zhang, Y., Guan, J., Li, L., Liu, H., Han, R., & Xi, J. (2020).

Experimental Study and Reliability Analysis of Flexural Capacity of RC Beams Reinforced with 600 MPa Grade Steel. *Advances in Civil Engineering*, 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/8899630>

BAB 4

DESAIN BALOK BETON BERTULANG AKIBAT BEBAN LENTUR

4.1 Pendahuluan

Balok pada struktur bangunan adalah elemen yang umumnya dipasang secara lateral/horizontal terhadap sumbu balok. Balok sebagai salah satu bagian struktur yang mempunyai fungsi untuk menopang lantai di atasnya, serta sebagai penerus beban menuju kolom, utamanya menahan lentur dan geser dengan atau tanpa gaya aksial atau torsi; balok dalam rangka momen yang merupakan bagian dari sistem penahan gaya lateral umumnya komponen horizontal.

Apabila beban yang diterima oleh balok semakin bertambah, maka akan mengakibatkan timbulnya keruntuhan elemen struktur, yaitu pada saat beban yang dipikul telah melebihi batas maksimum. Oleh karena itu, penampang balok harus direncanakan dan didesain sedemikian rupa sehingga ketika beban bekerja pada balok maka balok tidak akan mengalami retak yang berlebihan dan masih

STRUKTUR BETON GEDUNG

mempunyai keamanan yang cukup serta kekuatan untuk menahan beban dan tegangan tanpa mengalami keruntuhan

Beton bertulang adalah material beton yang ditambahkan tulangan baja dengan tidak kurang dari jumlah baja prategang atau tulangan nonprategang minimum sesuai standar yang berlaku. Material beton bertulang adalah salah satu material terbaik saat ini yang dapat digunakan untuk mendesain balok.

Untuk mendesain balok beton bertulang, digunakan Standar peraturan bangunan di Indonesia yaitu SNI 2847:2019 Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan penjelasannya, yang diadopsi secara modifikasi dari ACI 318M-14 dan Commentary (ACI 318RM-14). SNI ini merupakan revisi dari SNI 2847:2013. Standar ini digunakan dalam perencanaan dan pelaksanaan struktur beton untuk bangunan gedung, atau struktur bangunan lain yang mempunyai kesamaan karakter dengan struktur bangunan gedung

Balok beton bertulang banyak digunakan dalam struktur bangunan, maka mendesain balok beton bertulang adalah hal yang perlu dikuasai oleh seorang *civil/structure engineer*. Pada bagian ini akan dibahas desain balok beton bertulang akibat beban lentur menggunakan SNI 2847: 2019.

4.2 Balok dan Pembebanannya

Balok adalah elemen struktur yang paling banyak dijumpai dan umumnya dipakai pada lantai bangunan gedung ataupun lantai jembatan. Dalam melakukan analisis sistem balok dan pelat lantai, disarankan memodelkan sebagai sistem pelat satu arah, yang terdiri dari pelat itu sendiri dan balok/*girder* pendukung tambahan. Pada sistem ini, pelat dianggap sebagai struktur sekunder dengan lebar satu unit satuan, bisa sebagai balok sederhana ataupun sebagai balok menerus dan balok sebagai struktur primer (tumpuan). Pada sistem ini, beban yang ada pada pelat lantai (struktur sekunder) akan disalurkan ke struktur primer atau dapat dinyatakan pelat lantai akan menjadi beban pada balok sebagai struktur primer. Untuk itu, konfigurasi penempatan balok pendukung pelat harus dipilih sedemikian rupa sehingga tebal pelat lantai mempunyai dimensi sekecil mungkin dan harus sesuai persyaratan tebal minimum standar perencanaan, misal untuk bangunan gedung tebal minimum 120 mm (Wiryanto, 2013)

Sebelum dilakukan perencanaan dan desain balok berton bertulang, balok tersebut perlu dianalisis terhadap beban-beban yang bekerja, sehingga bisa didapatkan gaya dalam yang merupakan gaya reaksi dari balok. Pada struktur gedung, fungsi utama dari balok adalah menyalurkan beban gravitasi dari pelat lantai, kemudian menyalurkannya ke dalam elemen kolom berupa gaya dan

STRUKTUR BETON GEDUNG

momen. Beban gravitasi ini besarnya diatur dalam SNI 1727:2020 tentang Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain. Beban mati berupa berat sendiri struktur dan elemen non-struktur lain seperti atap, plafon, tangga, dinding, finishing serta komponen arsitektural dan struktural lainnya. Beban hidup juga perlu dihitung yang besarnya sesuai fungsi penggunaan gedung.

Selain itu, balok juga bisa berperan sebagai elemen penahan gempa, dimana saat gempa terjadi balok berperan aktif dalam menjaga kestabilan struktur dengan menyerap energi gempa melalui sendi plastis pada ujung-ujungnya. Beban-bekan ini perlu dikalikan dengan kombinasi beban dalam tabel 5.3.1 SNI-2847:2019

4.3 Kekuatan Desain dan Kekuatan Perlu

Konsep perencanaan yang digunakan sesuai dengan metoda kuat batas LRFD (*Load and Resistance Factor Design*). Sesuai dengan pasal 4.6 SNI 2847:2019 tentang kekuatan, menyatakan bahwa kekuatan desain dari komponen struktur ditentukan sebagai berikut:

Kekuatan Desain $\geq$ Kekuatan Perlu

$$\phi S_n \geq U \quad (4.1)$$

Tingkat keamanan kekuatan pada prosedur desain ditentukan oleh berbagai kombinasi faktor beban dan faktor reduksi kekuatan ϕ yang dikenakan pada kekuatan nominal.

Kekuatan desain adalah kekuatan yang diperoleh dari suatu komponen atau penampang berupa kekuatan nominal S_n yang direduksi dengan faktor reduksi kekuatan ϕ . Tujuan penggunaan faktor reduksi kekuatan adalah untuk memperhitungkan kemungkinan terjadinya penurunan kekuatan akibat variasi material dan dimensi pada saat pelaksanaan, pengaruh penyederhanaan dan asumsi di dalam persamaan desain, tingkat daktilitas, potensi mode kegagalan dari komponen, kebutuhan keandalan, dan signifikansi kegagalan dan ketersediaan lintasan beban alternatif pada komponen di dalam struktur.

Berikut faktor reduksi kekuatan untuk komponen beton struktural dan sambungan berdasarkan pasal 21.2 SNI-2847:2019

Tabel 4.1 Faktor Reduksi kekuatan (ϕ .)

Gaya atau elemen struktur		ϕ .	Pengecualian
a.	Momen, gaya aksial, atau kombinasi momen dan gaya aksial	0,65 - 0,90 (Sesuai tabel 21.2.2 SNI-2847:2019)	Di dekat ujung komponen prtearik (pretension), dimana strand

STRUKTUR BETON GEDUNG

			belum sepenuhnya bekerja, ϕ harus sesuai dengan tabel 21.2.3 SNI-2847:2019)
b.	Geser	0,75	Persyaratan tambahan untuk struktur tahan gempa terdapat pada tabel 21.2.4 SNI-2847:2019)
c.	Torsi	0,75	-
d.	Tumpu (<i>bearing</i>)	0,65	-
e.	Zona angkur pascatarik (<i>post-tension</i>)	0,85	-
f.	Bracket dan korbél	0,75	-
g.	<i>Strut, ties</i> , zona nodal dan daerah tumpuan yang dirancang dengan <i>strut-and-tie</i> (sesuai	0,75	-

	pasal 23 SNI-2847:2019		
h.	Komponen sambungan beton pracetak terkontrol leleh oleh elemen baja dalam keadaan tarik	0,90	-
i.	Beton polos	0,60	-
j.	Angkur dalam elemen beton	0,45 0 – 0,75 (sesuai pasal 17 SNI-2847:2019)	-

Standar ini mensyaratkan kombinasi beban desain atau kombinasi beban terfaktor, yang menentukan masing-masing tipe beban dengan faktor bebannya sendiri, yang selanjutnya dijumlahkan untuk mendapatkan beban terfaktor U. Masing-masing faktor beban dan kombinasinya menunjukkan variasi besarnya beban tertentu, kemungkinan terjadinya dua atau lebih beban pada waktu bersamaan, serta asumsi dan perkiraan yang diambil dalam analisis struktur ketika menentukan kekuatan desain perlu.

STRUKTUR BETON GEDUNG

Kekuatan perlu (R_u), adalah suatu beban batas maksimum yang mungkin terjadi pada struktur, yang diperoleh dari hasil kombinasi beban kerja dan faktor beban LRFD. Pada sisi lain, akan dihitung kuat nominal (R_n) dari kekuatan material dan dimensi penampang elemen struktur, yang dianggap akan menerima kondisi beban batas maksimum tersebut.

Perencanaan penampang beton bertulang dianggap memenuhi persyaratan, jika kuat perlu (R_u) lebih kecil dari kuat rencananya (ϕR_n), dimana ϕ adalah faktor reduksi kekuatan. Jadi kuat rencana memenuhi syarat jika $R_u \leq \phi R_n$.

Untuk balok pada struktur gedung, digunakan kombinasi beban untuk desain kekuatan (ultimit). Berikut ini adalah kombinasi dasar beban untuk desain kekuatan berdasarkan tabel 5.3.1 SNI 2847-2019:

$$U = 1,4 D \quad (4.2)$$

$$U = 1,2 D + 1,6 L + 0,5 (L_r \text{ atau } R) \quad (4.3)$$

$$U = 1,2 D + 1,6 (L_r \text{ atau } R) + (1,0 L \text{ atau } 0,5 W) \quad (4.4)$$

$$U = 1,2 D + 1,0 W + 1,0 L + 0,5 (L_r \text{ atau } R) \quad (4.5)$$

$$U = 1,2 D + 1,0 E + 1,0 L \quad (4.6)$$

$$U = 0,9 D + 1,0 W \quad (4.7)$$

$$U = 0,9 D + 1,0 E \quad (4.8)$$

dimana :

- D = Beban mati
- L = Beban hidup
- L_r = Beban hidup tereduksi
- R = Beban air hujan
- E = Beban gempa
- W = Beban angin

Setelah dilakukan analisis penentuan dan perhitungan beban balok, diperoleh hasil gaya dalam, berupa momen lentur, gaya geser dan momen torsi. Pada balok sebenarnya juga menerima gaya aksial tekan, tetapi gaya tersebut bisa diabaikan karena nilainya relatif kecil dan tidak terlalu mempengaruhi perilaku elemen struktur. Momen lentur dan gaya geser adalah gaya dalam yang paling dominan dalam mempengaruhi perilaku balok dalam struktur gedung. Dalam beberapa kondisi, balok bisa terpuntir akibat momen pada poros memanjang balok. Hal ini biasanya terjadi pada balok pinggir, sehingga terdapat perbedaan momen pada kedua tumpuan. Dalam hal ini, balok membutuhkan tulangan torsi. Adanya momen lentur pada balok, sehingga balok membutuhkan tulangan baja yang berfungsi untuk memikul momen lentur yang bekerja, yang dikenal sebagai tulangan utama atau tulangan longitudinal (memanjang), sedangkan untuk mengantisipasi gaya geser, balok menggunakan

tulangan transversal (tulangan sengkang) yang dipasang sepanjang balok dengan jarak tertentu sesuai besaran gaya geser yang diterima. Oleh karena itu, tulangan yang dihitung dalam desain balok adalah tulangan lentur, tulangan geser dan tulangan torsi.

4.4 Prinsip Perencanaan Balok Bertulang

Sebelum dilakukan proses desain perlu diketahui jenis-jenis keruntuhan yang dapat terjadi pada balok lentur berdasarkan sifat-sifat penampang balok. Keruntuhan dapat dibedakan menjadi 3 jenis yaitu :

a. Keruntuhan Tekan (*Over-Reinforced*)

Keruntuhan tekan adalah pada saat regangan tekan beton sudah mencapai regangan batas 0,003, tetapi regangan tarik baja belum mencapai leleh, atau $\epsilon'_c = \epsilon'_{cu}$ tetapi $\epsilon_s < \epsilon_y$. Pada balok yang mengalami keruntuhan ini, saat beton mulai retak baja tulangannya masih kuat (belum leleh), sehingga lendutan pada balok relatif tetap (tidak bertambah). Jika beban terus ditambah, maka tulangan baja akan meleleh dan dapat terjadi keruntuhan secara mendadak tanpa adanya tanda-tanda tentang lendutan yang membesar pada balok.

b. Keruntuhan Tarik (*Under-Reinforced*)

Keruntuhan tarik adalah pada saat regangan tarik baja sudah mencapai titik leleh, tetapi regangan tekan beton belum mencapai regangan atas 0,003 atau $\epsilon_s = \epsilon_y$ tetapi $\epsilon'_c < \epsilon'_{cu}$. Pada balok yang mengalami keruntuhan ini saat baja tulangan mulai leleh betonnya masih kuat (belum retak), sehingga dapat terjadi lendutan pada balok. Jika beban terus ditambah, maka lendutan dan pada balok akan semakin besar dan akhirnya dapat terjadi keruntuhan. Keruntuhan yang terjadi tidak terjadi secara tiba-tiba, karena terjadi proses lendutan yang membesar sebelum runtuh, maka, sistem perencanaan beton bertulang yang *under-reinforced* lebih aman dan direkomendasikan digunakan dalam perencanaan

c. Keruntuhan Seimbang (*Balanced Failure*)

Keruntuhan seimbang adalah keadaan pada saat beton retak dan baja tulangan leleh terjadi bersamaan. Hal ini berarti regangan tekan beton mencapai regangan batas 0,003 dan regangan tarik baja tulangan mencapai leleh pada saat yang sama atau $\epsilon'_c = \epsilon'_{cu}$ dan $\epsilon_s = \epsilon_y$

Dari jenis keruntuhan yang mungkin terjadi di atas, maka keruntuhan tarik direkomendasikan untuk digunakan dalam proses perencanaan balok, untuk itu perlu ditetapkan prosentase tulangan

yang layak digunakan untuk bisa mencapai keruntuhan tarik tersebut.

4.5 Prosedur Perencanaan Penulangan Balok Menurut SNI – 2847:2019

Untuk mendesain tulangan balok inilah kita menggunakan standar dari SNI-2847:2019. Untuk lebih jelas dan lengkap tentang perhitungan penulangan balok segi empat beton bertulang untuk struktur gedung, dapat dilihat pada prosedur perencanaan sebagai berikut:

1. Penentuan Jenis Tumpuan Balok

Tumpuan pada struktur balok terbagi tiga jenis, yaitu:

- a. Tumpuan jepit penuh
- b. Tumpuan jepit sebagian'
- c. Tumpuan bebas

Pada balok terjepit penuh, artinya pada tumpuan tersebut tidak terjadi rotasi, sedangkan pada tumpuan terjepit sebagian (parsial) memungkinkan tumpuan ini dapat sedikit berotasi, tetapi pada tumpuan bebas harus dipertimbangkan terjadi momen jepit tak terduga, dimana momen ini membutuhkan tulangan dan besar

momennya diasumsikan $\frac{1}{3}$ dari momen lentur yang bekerja pada bentang yang bersamaan.

2. Pemilihan Mutu Beton f_c' dan Mutu Baja f_y' yang akan digunakan sesuai standar SNI

3. Bentang Teoritis Balok

Panjang Teoritis balok L dianggap sama dengan bentang bersih L ditambah $\frac{1}{2}$ dari panjang tumpuan, tetapi jika balok dicor monolith dengan kolom pendukung, maka panjang teoritis ditentukan dari pusat kolom ke pusat kolom pendukung lainnya. Jika balok dan kolom dicor terpisah, maka bentang teoritis harus ditentukan sebagai bentang bersih L ditambah dengan tinggi balok.

4. Perkiraan Dimensi Balok

Secara umum, ukuran balok h yang kedua tepinya nya ditumpu bebas, diperkirakan dengan tinggi balok h sebesar $\frac{1}{10} L$ sampai $\frac{1}{15} L$, dan jika balok yang kedua ujungnya menerus pada tumpuannya, tingginya dihitung sebesar $\frac{1}{21} L$ sampai $\frac{1}{28} L$. Lebar balok lebih ditentukan oleh besarnya gaya lintang, yaitu b sebesar $\frac{1}{2} h$ sampai $\frac{2}{3} h$.

STRUKTUR BETON GEDUNG

Untuk analisis beban lateral, kekakuan dapat menggunakan salah satu dari yang diberikan pada tabel 6.6.3.1.1 atau 6.6.3.1.2 SNI-2847:2019, dimana keduanya menggunakan perkiraan kekakuan untuk sistem bangunan beton bertulang dibebani mendekati atau melewati level kelelahan, dan telah menunjukkan korelasi hasil yang mendekati baik secara eksperimental maupun secara analisis detail (Moehle 1992; Lepage 1998). Untuk beban diakibatkan gempa, penggunaan tabel 6.6.3.1.1 atau 6.6.3.1.2 membutuhkan faktor amplifikasi defleksi untuk memperhitungkan deformasi inelastis. Secara umum properti penampang efektif, E_c didefinisikan dalam 19.2.2, A seperti di Tabel 6.6.3.1.1(a), dan modulus geser dapat diambil sebesar $0,4E_c$.

Tabel 4.2. Momen inersia dan luas penampang yang diizinkan untuk analisis elastis pada level beban terfaktor (Tabel 6.6.3.1.1 SNI-2847:2019)

Bagian dan Kondisi		Momen Inersia	Luas Penampang
Kolom		$0,70 I_g$	$1,0 A_g$
Dinding	Tidak Retak	$0,70 I_g$	

	Retak	0,35 lg	
Balok		0,35 lg	
Plat datar atau slab datar		0,25 lg	

Tabel 4. 3. Momen inersia dan luas penampang yang diizinkan untuk analisis elastis pada level beban terfaktor (Tabel 6.6.3.1.2 SNI-2847:2019)

Bagian	Nilai alternatif I untuk analisis elastisitas		
	Minim m	I	Maksimu m
Kolom dan dindin g	0,35 lg	$\left(0,80 + 25 \frac{A_{st}}{A_g} \right) \chi$ $\left(1 - \frac{M_u}{P_u h} - 0,5 \frac{P_u}{P_o} \right) I_g$	0,875 lg

STRUKTUR BETON GEDUNG

Balok, pelat datar dan slab datar	0,25 lg	$(0,10 + 25 \rho) x$ $\left(1,2 - 0,2 \frac{b_w}{d}\right) I_g$	0, 5 lg
--	---------	--	---------------

5. Perhitungan Beban dan Penentuan Momen Balok paling kritis.

6. Perhitungan Penulangan yang Dibutuhkan

Balok Beton Tulangan Tunggal

Balok beton tulangan tunggal adalah balok yang hanya memiliki tulangan yang terpasang hanya pada satu sisi saja, yaitu pada daerah yang menerima gaya tarik. Balok dengan tulangan tunggal ini sering juga disebut dengan balok bertulangan sebelah atau balok dengan tulangan tarik saja. Dengan menggunakan persamaan kesetimbangan gaya horizontal $\Sigma H = 0$ dengan gaya tekan pada beton (C) dan gaya tarik pada baja (T) maka $C = T$.

$$A_s f_y' = 0,85 f_c' b a$$

$$a = \frac{A_s f_y'}{0,85 f_c' b}$$

Untuk kapasitas tahanan penampang balok atau momen nominal dari suatu penampang balok persegi bertulangan tunggal dapat dihitung dengan mengalikan nilai C atau T dengan jarak antar kedua gaya tersebut yaitu :

$$M_n = C \cdot z = T \cdot z$$

$$M_n = 0,85 f_c' a b \left(d - \frac{a}{2} \right) = A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$\phi M_n = \phi \rho f_y b d^2 \left(1 - \frac{\rho f_y}{1,7 f_c'} \right)$$

Jika persamaan di atas disederhanakan menjadi $\phi M_n = R_u b d^2$

$$\text{dengan } R_u = \phi \rho f_y \left(1 - \frac{\rho f_y}{1,7 f_c'} \right)$$

Balok Beton Tulangan Rangkap

Balok dengan tulangan rangkap merupakan balok yang memiliki tulangan tarik (A_s) dan tulangan tekan (A_s') untuk meningkatkan kapasitas penampang dan juga mengurangi lendutan pada balok. Dengan dipasang tulangan ini, maka balok akan lebih kuat untuk menerima beban-beban yang ada. Jumlah penggunaan tulangan tekan (A_s') tidak akan sebanyak tulangan tarik (A_s). Umumnya tulangan tekan digunakan sebanyak $\frac{1}{4}$ dari tulangan tarik yang bertujuan untuk menjaga deformasi pada balok. Dalam analisis balok beton bertulangan rangkap ini biasanya terdapat 2 kasus yang

berbeda tergantung pada kondisi tulangan tekan, yaitu tulangan tekan sudah luluh atau tulangan tekan belum luluh.

❖ Tulangan Tekan Sudah Luluh

Syarat batasan tulangan untuk A_{s1} yaitu bahwa harus dipenuhi $\rho_1 = (A_{s1}/bd) < \rho_{maks}$ untuk penampang terkendali tarik dari balok bertulangan tunggal. Untuk M_{u2} dapat dihitung dengan mengasumsikan bahwa tulangan tekan, A_s' sudah luluh :

$$M_{u2} = \phi A_{s2} f_y (d - d') = \phi A_s' f_y (d - d')$$

$$\phi M_n = M_{u1} + M_{u2} = \phi A_{s1} f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) + A_s' f_y (d - d')$$

Total luas yang digunakan tulangan baja tarik adalah jumlah dari A_{s1} dan A_{s2}

$$\phi M_n = M_{u1} + M_{u2} = \phi A_{s1} f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) + A_s' f_y (d - d')$$

Total luas yang digunakan tulangan baja tarik adalah jumlah dari A_{s1} dan A_{s2} , sehingga:

$$A_s = A_{s1} + A_{s2} = A_{s1} + A_s'$$

$$A_{s1} = A_s - A_s'$$

$$a = \frac{(A_s - A_s') f_y'}{0,85 f_c' b}$$

$$\phi M_n = \phi (A_s - A_s') f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) + A_s' f_y (d - d')$$

dan sebagai syarat batas maksimum rasio tulangan:

$$(\rho - \rho') \prec \rho_{maks} = \rho_b \left(\frac{0,003 + f_y / E_s}{0,008} \right)$$

❖ Tulangan Tekan Belum Luluh

Jika $(\rho - \rho') < K$, maka tulangan baja tarik akan luluh sebelum beton mencapai regangan maksimumnya yaitu sebesar 0,003 dan regangan pada tulangan tekan, ϵ_s' , belum mencapai ϵ_y pada saat terjadinya keruntuhan. Letak terhadap serat terluar, d' , ini juga yang akan mempengaruhi luluhnya tulangan tekan. Semakin dekat tulangan tekan dengan sumbu netral maka semakin tinggi rasio d'/c yang berarti semakin kecil pula kemungkinan tulangan tekan mencapai kuat luluhnya.

$$\epsilon_s = 0,003 \frac{c - d'}{c}$$

$$f_s' = E_s \epsilon_s' = (200000)(0,003) \frac{c - d'}{c} = 600 \frac{c - d'}{c}$$

Dengan memperhitungkan tulangan baja yang ada pada luas beton, untuk besarnya gaya tekan pada tulangan, C_s , dan juga gaya tekan beton, C_c , maka dapat dituliskan rumusan yaitu :

$$C_s = A_s' (f_s' - 0,85 f_c') = A_s' \left(600 \left(\frac{c-d'}{c} \right) - 0,85 f_c' \right)$$

$$C_c = 0,85 f_c' \beta_1 c b$$

Karena $T = A_s f_y = C_s - C_c$, maka

$$A_s f_y = 0,85 f_c' \beta_1 c b = A_s' \left(600 \left(\frac{c-d'}{c} \right) - 0,85 f_c' \right)$$

Kuat momen rencana penampang

$$\phi M_n = \phi \left(C_c \left(d - \frac{a}{2} \right) + C_s (d - d') \right)$$

7. Cek Lendutan dan Lebar Retak

Salah satu tanda kerusakan pada beton adalah lendutan. Lendutan yang besar pada balok dapat menimbulkan gangguan pada struktur lain, misal lendutan besar pada balok akan mengakibatkan retak-retak pada dinding yang dipikulnya atau terjadi getaran pada saat seseorang berjalan pada lantai bangunan, sehingga perlu dilakukan pembatasan lendutan.

Retak pada balok juga memungkinkan terjadinya korosi terhadap baja tulangan. Jika terjadi volume korosi yang makin besar, mengakibatkan beton di sekitar retak tersebut bisa terkelupas. Lebar retak yang diizinkan berdasarkan rumus empiris.,

$$w = 11 \beta f_c' \sqrt[3]{d_c A}$$

Dimana

d_c = lebar retak (mm)

β = perbandingan jarak antara serat tarik terluar terhadap garis netral dan jarak totik berat tulangan utama terhadap garis netral

$$\beta = \frac{(h - c)}{(d - c)}, \text{ untuk balok} = 1,20$$

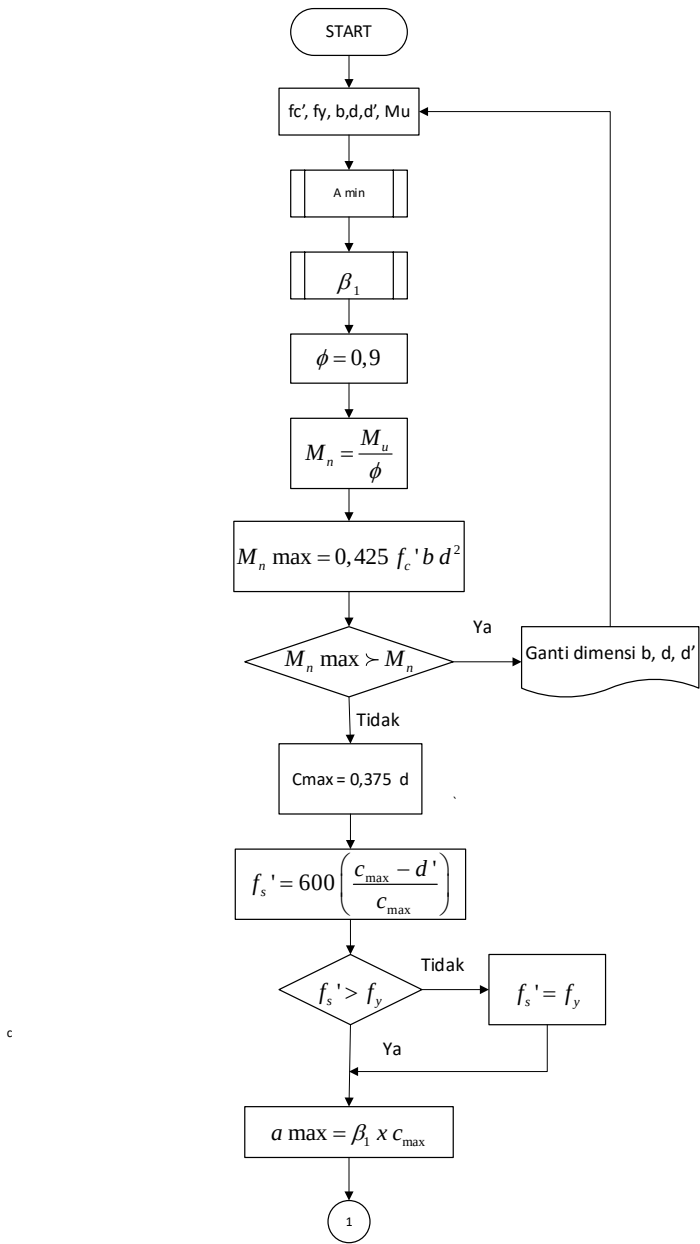
f_s' = 0,6

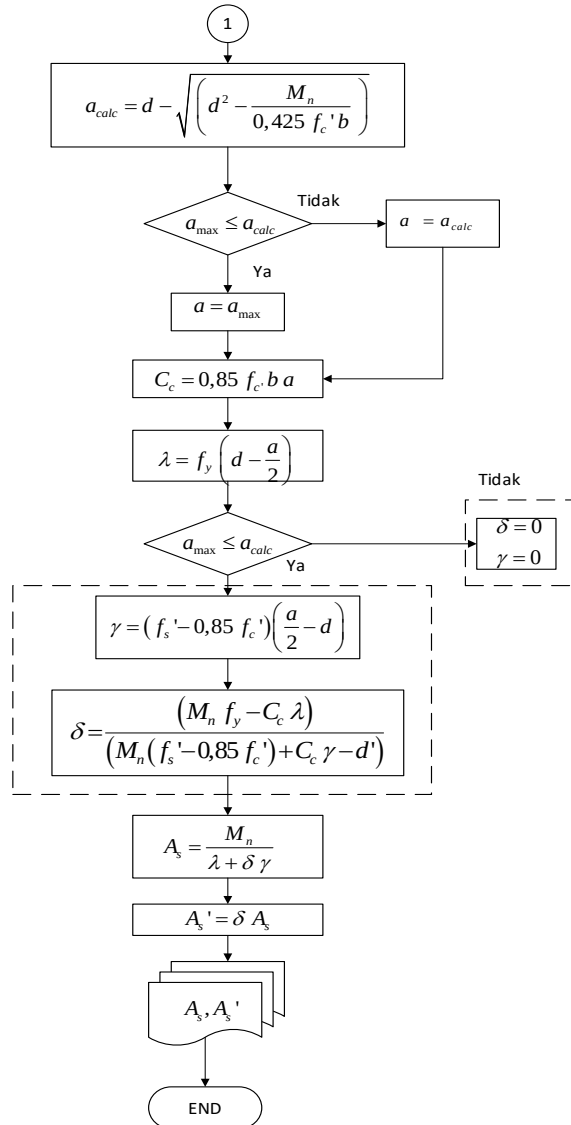
8. Cek Ukuran balok dan Tulangan yang akan digunakan

Analisis dan desain komponen struktur balok bisa dilakukan melalui perhitungan manual, atau melalui alat bantu berupa *spread sheet*, software tertentu atau melalui program komputer yang dibuat sendiri.

Untuk itu perlu dipedomani flow chart berikut.

STRUKTUR BETON GEDUNG





Sumber : Hartono Bagio, T., Yudhistira Baggio, E., & Basoeki
Makno. (2022). 2024

4.6 Contoh Kasus

Pada kasus ini diperlihatkan penambahan besaran momen pada penampang yang sama akan mengakibatkan terjadinya perubahan penulangan balok, yaitu dari penulangan tunggal, menjadi penulangan ganda dan akhirnya penampangnya kurang sehingga harus diperbesar penampangnya.

$$f_c' = 35 \text{ MPa}$$

$$f_y = 400 \text{ MPa}$$

$$b = 400 \text{ mm}$$

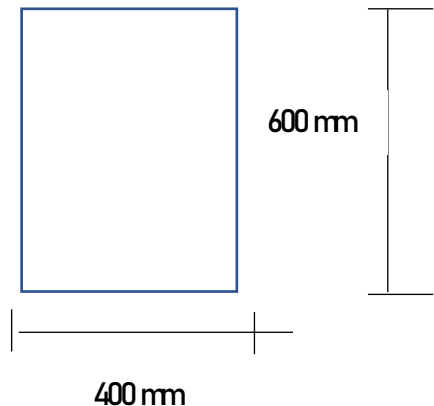
$$h = 600 \text{ mm}$$

$$d' = 65 \text{ mm}$$

$$M_{u1} = 500 \text{ kNm}$$

$$M_{u2} = 750 \text{ kNm}$$

$$M_{u3} = 1500 \text{ kNm}$$



Hitung penulangan lentur balok

Solusi :

Dilakukan perhitungan manual untuk momen M_{u1} 500 kNm dan untuk M_{u2} , M_{u3} dilakukan perhitungan menggunakan aplikasi MS Excel.

$$M_{u1} = 500 \text{ kNm}$$

$$d = 600 - 65 = 535 \text{ mm}$$

$$\phi = 0,9$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{500}{0,9} = 555,556 \text{ kNm}$$

Cek Dimensi Balok

$$M_{n \max} = 0,425 f_c' b d^2 = 0,425 (35) (400) (535) \times 10^{-6} \text{ kNm} = 1703,039 \text{ kNm}$$

Ternyata $M_n < M_{n \max}$

$$555,556 \text{ kNm} < 1703,039 \text{ kNm}$$

Dimensi penampang 400 x 600 mm memenuhi persyaratan

Nilai β_1

$$\beta_1 = 0,85 - \frac{0,05}{7} (f_c' - 28) = 0,85 - \frac{0,05}{7} (35 - 28) = 0,80$$

Cek apakah menggunakan tulangan tunggal atau tulangan rangkap:

$$c_{\max} = 0,375 (d) = 0,375 (535) = 200,625 \text{ mm} \quad c = c_{\max} = 200,625 \text{ mm}$$

$$f_s' = 600 \left(\frac{c_{\max} - d'}{c_{\max}} \right) = 600 \left(\frac{200,625 - 65}{200,625} \right) = 405,607 \text{ MPa} > f_y = 400 \text{ MPa}$$

Cek $f_s' > f_y$, maka $f_s' = f_y = 400 \text{ MPa}$

$$a_{\max} = \beta_1 \times c_{\max} = 0,8 (200,625) = 160,5 \text{ mm}$$

$$a_{\text{calc}} = d - \sqrt{\left(d^2 - \frac{M_n}{0,425 f_c' b} \right)} = 535 - \sqrt{\left(535^2 - \frac{555,556 \times 10^6}{0,425 (35) (400)} \right)} = 95,848 \text{ mm}$$

Ternyata $a_{\text{calc}} < a_{\max}$, artinya balok menggunakan tulangan tunggal, maka $a = a_{\text{calc}} = 95,848 \text{ mm}$

STRUKTUR BETON GEDUNG

$$\lambda = f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) = 400 \left(535 - \frac{95,848}{2} \right) = 194,830 \text{ kN/mm}$$

$$\gamma = (f_s' - 0,85 f_c') \left(\frac{a}{2} - d \right) = (400 - 0,85(35)) \left(\frac{95,848}{2} - 65 \right) = -6,322 \text{ kN/mm}$$

$$C_c = 0,85 f_c' b a = 0,85(35)(400)(95,848) = 1140,593 \text{ kN}$$

$$\delta = 0$$

$$A_s = \frac{555,556}{194,830 + 0(-6,322)} = 2851,483 \text{ mm}^2$$

$$A_s' = \delta \quad A_s = 0$$

Untuk selanjutnya dilakukan perhitungan menggunakan aplikasi Excel sebagai berikut:

HASIL PERHITUNGAN PENULANGAN BALOK LENTUR DENGAN
MS EXCEL sebagai berikut:

HASIL PERHITUNGAN PENULANGAN BALOK LENTUR DENGAN MS EXCEL sebagai berikut:

DATA	SATUAN	RUMUS	KASUS 1 Mu =500 kN m	KASUS 2 Mu =750 kN m	KASUS 3 Mu =1500 kN m
fc'	Mpa		35	35	35
fy	MPa		400	400	400
b	mm		400	400	400
h	mm		600	600	600
d'	mm		65	65	65
d	mm	=h-d'	535	535	535
Mu	kNm		500	750	1700
ϕ			0.9	0.9	0.9

SOLUSI

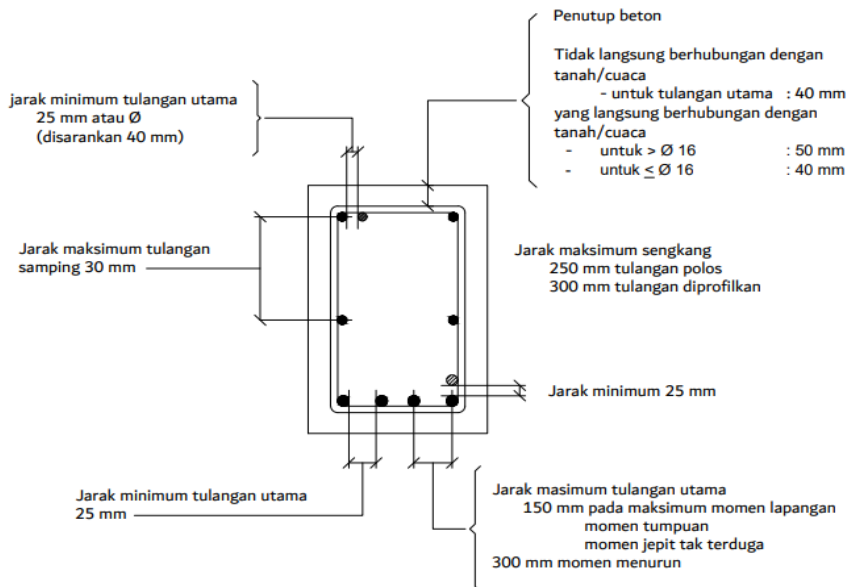
Mn	kNm	=Mu/ ϕ	555.556	833.333	1888.889
CEK DIMENSI BALOK					
Mn max	kNm	=0,425 (fc') (b) (d ²)	1703.039	1703.03875	1703.03875
KONTROL			Mn < Mn max Penampang memenuhi syarat	Mn < Mn max Penampang memenuhi syarat	Mn > Mn max Dimensi penampang harus diganti
β_1		=0,85-0,05/7 x (fc'-28)	0.8	0.8	-
CEK TULANGAN TUNGGAL					

STRUKTUR BETON GEDUNG

c max	mm	= 0,375 (d)	200.625	200.625	-
c		= c max	200.625	200.625	-
fs'	MPa	= 600 (c-d')/c	405.607	405.607	-
KONTROL			fs' < fy	fs' < fy	
fs'			400.000	400.000	-
a max	mm	= β1 (c max)	160.5	160.500	-
a calc	mm	= d-V(d²-Mn/(0,425*fc'*b))	95.848	152.679	-
KONTROL			a max > a calc, tulangan tunggal	a max < a calc, tulangan rangkap	-
			a = a calc	a = a max	-
			95.848	160.500	-
λ	kN/mm	= fy (d-a/2)	194.8303634	181.9	-
γ	kN/mm	= (fs'-0.85*fc')(a/2-d')	-6.322355126	5.6463125	-
Cc	kN/mm	= 0.85 * fc' *a*b	1140.593377	1909.95	-
δ		= (Mn fy-Cc*λ)/(Mn * (fs'-0.85*fc')+Cc*γ)	-2.88731E-16≈ 0	-0.043477242	-
As	mm²	=Mn/(λ +δ * γ)	2851.483444	4587.462846	-
As'	mm²	= δ * As	-8.233E-13 ≈ 0	-199.450	-
KESIMPULAN			PENULANGAN TUNGGAL	PENULANGAN GANDA	PENAMPANG HARUS DIPERBESAR

Karena balok memikul momen positif, sehingga pada kasus ini, pada serat bawah penampang terjadi tegangan tarik dan serat atas terjadi tegangan tekan, sehingga pada saat beban masih kecil (Kasus I), penulangan hanya dibutuhkan pada serat bawah saja (penulangan tunggal), tapi tetap dipasang tulangan lentur minimum sebagai tempat pengikat tulangan geser nantinya.

Untuk penyusunan tulangan lentur pada balok, bisa mengikuti aturan seperti berikut



Sumber : Vis, W.C dan Kusuma, Gideon. (1993)

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standardisasi Nasional. , 2019. Tata Cara Perencanaan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung, SNI 2847:2019. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional Indonesia.
- Dewabroto. W., 2013. Komputer Rekayasa Struktur dengan SAP2000, Lumina Press. Jakarta
- Hartono Bagio, T., Yudhistira Baggio, E., 2024. Aplikasi Program Penulangan Balok dan Kolom Beton pada Smartphone [Berdasarkan SNI 2847-2019]. Penerbit Andi. Yogyakarta.
- Mailangkay, Christina H. K., Reky S. Windah, Servie O. Dapas,, 2024. Analisis dan Desain Balok Beton Bertulang Menggunakan Tabel Berdasarkan SNI 2847:2019., <https://ejournal.unsrat.ac.id/v3/index.php/tekno>
- Vis, W.C dan Kusuma, Gideon. 1993. Dasar–Dasar Perencanaan Beton Bertulang menurut SKSNI T15-1991-03, Penerbit Erlangga : Jakarta.
- Wang, C. K., Salmon. C. G., 1985, Reinforced Concrete Design. Harper & Row Publisher, New York

BAB 5

ANALISIS KAPASITAS GESER BALOK BETON BERTULANG

5.1 Pendahuluan

Analisis kapasitas geser pada balok beton bertulang merupakan topik yang melibatkan pemahaman berbagai mekanisme, mode kegagalan, dan model prediktif (Sogut 2023). Kapasitas geser sangat penting untuk menjamin kesatuan struktural dan keamanan balok beton, terutama dalam konstruksi jembatan dan infrastruktur penting lainnya. Gaya geser pada balok beton bertulang/*reinforced concrete* (RC) merupakan faktor penting yang mempengaruhi integritas strukturalnya, terutama pada berbagai kondisi pembebanan. Perilaku gaya geser pada balok RC bersifat kompleks karena interaksi berbagai komponen struktur dan sifat beban yang diterapkan (Khamidullina et al. 2022). Memahami perilaku ini penting untuk memprediksi potensi mode kegagalan dan memastikan keamanan dan ketahanan

Bab ini untuk memberikan gambaran komprehensif mengenai faktor-faktor yang mempengaruhi kapasitas geser dan metodologi yang digunakan untuk menilainya.

5.2 Konsep Dasar Gaya Geser pada balok beton bertulang

Gaya geser pada balok beton bertulang (RC) merupakan faktor penting yang mempengaruhi integritas strukturalnya, terutama pada berbagai kondisi pembebanan (Elwakeel and Vollum 2022). Perilaku gaya geser pada balok RC bersifat kompleks karena interaksi berbagai komponen struktur dan sifat beban yang diterapkan. Memahami perilaku ini penting untuk memprediksi potensi mode kegagalan dan memastikan keamanan dan ketahanan struktur (Hilal, Afifuddin, and Hasan 2022).

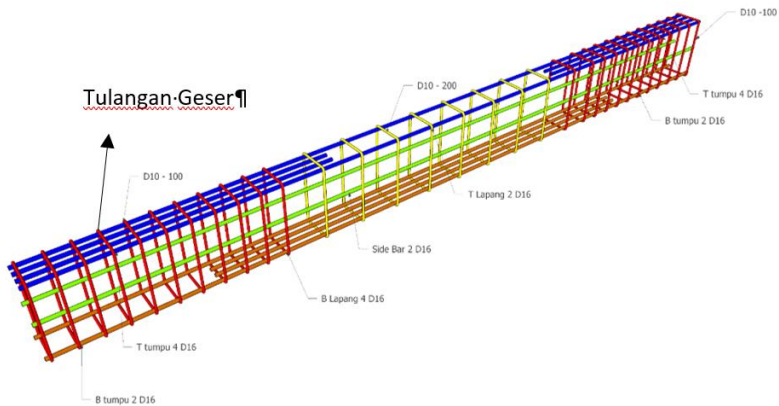
Salah satu jenis keruntuhan yang perlu dicegah adalah keruntuhan akibat geser. Keruntuhan geser dapat mengurangi kekuatan elemen struktur hingga di bawah kapasitas lenturnya dan secara signifikan menurunkan daktilitas elemen tersebut. Keruntuhan ini umumnya disebabkan oleh kombinasi antara gaya geser dan momen lentur, serta kadang-kadang melibatkan gaya normal atau torsi, atau bahkan keduanya (Astaneh-Asl, Qian, and Shi 2019).

Beton memiliki sifat yang tidak homogen, dengan kekuatan tariknya kira-kira hanya $1/10$ dari kekuatan tekan. Oleh karena itu, beton mudah mengalami keretakan akibat tegangan tarik, sementara di daerah tekan tidak terjadi keretakan.

Keretakan sering terjadi di daerah tumpuan karena di sana gaya geser dan tegangan geser (v) mencapai nilai maksimum. Di daerah perletakan, tegangan utama tarik bekerja pada sudut sekitar 45 derajat, yang menyebabkan terjadinya keretakan.

5.3 Gaya Geser

Kegagalan geser pada elemen struktur dapat mengurangi kekuatan dan keuletan elemen secara signifikan, sehingga berpotensi menyebabkan keruntuhan yang progresif. Jenis keruntuhan ini sering kali disebabkan oleh kombinasi gaya geser dan momen lentur, dan dapat diperburuk oleh gaya normal atau torsi (Carpinteri, Corrado, and Ventura 2013).



Gambar 5.1. Tulangan geser

5.4 Mekanisme Gaya Geser dalam Balok Beton Bertulang

Balok beton bertulang mengalami gaya geser terutama di dekat tumpuan dan di daerah dekat beban terpusat. Mekanisme kerja gaya geser di dalam balok melibatkan interaksi antara beton dan baja tulangan. Beton bertindak sebagai material kompresi yang menahan sebagian besar tegangan geser. Tulangan geser (*stirrup*) berfungsi untuk memperkuat balok dan membantu menahan tegangan geser yang dialami oleh balok.

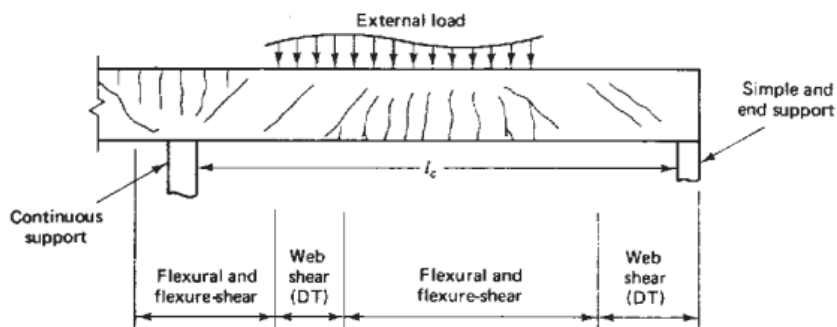
5.5 Distribusi Tegangan Geser

Tegangan geser dalam balok beton bertulang tidak terdistribusi secara merata. Biasanya, tegangan geser maksimum terjadi pada bagian tengah tinggi balok dan berkurang menuju tepi balok. Distribusi tegangan geser dapat diilustrasikan dengan diagram tegangan geser yang menunjukkan variasi tegangan sepanjang penampang balok.

5.6 Kombinasi Gaya Geser dan Gaya Lentur pada Beton

Ketika gaya geser dan gaya lentur bekerja secara bersamaan, mereka menciptakan situasi yang kompleks di dalam elemen beton. Kombinasi ini menghasilkan distribusi tegangan yang rumit dan dapat mempengaruhi perilaku retak dan deformasi elemen beton. Kombinasi ini menghasilkan beberapa efek pada struktur, antara lain: retakan diagonal terutama di daerah dekat tumpuan atau penumpu balok yang disebabkan tegangan geser maksimum sering terjadi di daerah ini, interaksi tegangan yang dapat mempercepat pembentukan retakan geser pada beton.

TIPE RETAK MIRING PADA BALOK BETON



Gambar 5.2. Type retak miring pada balok

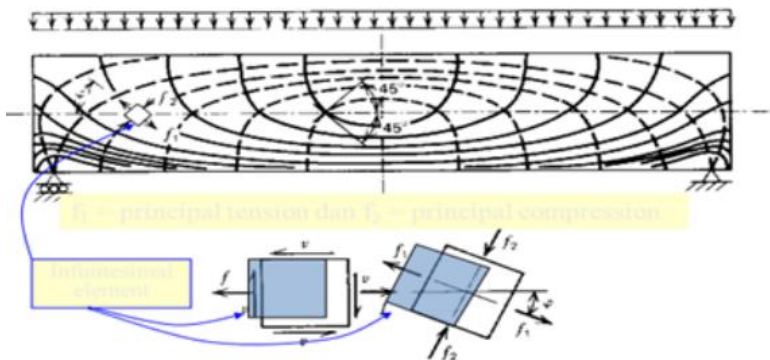
Sumber: Perilaku Dasar dan Desain Beton Bertulang
Berdasarkan SNI-2847-2019 (UKI PRESS)

Retakan lentur-geser dimulai dengan retakan lentur. Ketika retakan lentur terjadi, tegangan geser pada beton di atas retakan meningkat. Retakan lentur-geser terjadi ketika kombinasi tegangan geser dan tegangan tarik melebihi kekuatan tarik beton. Untuk mengatasi kombinasi gaya ini, elemen beton biasanya diperkuat dengan tulangan geser (seperti sengkang atau stirrups) serta tulangan lentur (batang baja longitudinal). Tulangan geser membantu menahan gaya geser, sementara tulangan lentur menahan gaya tarik akibat lentur. Ketika sebuah struktur beton mengalami beban, distribusi tegangan dalam beton akan

membentuk pola tertentu. Trajectory tegangan utama dapat digunakan untuk memprediksi di mana retakan mungkin akan terjadi.

Dengan memahami lintasan tegangan utama, dapat dirancang penulangan atau penguatan yang tepat untuk mencegah atau mengendalikan retakan tersebut. Sebagai contoh, jika lintasan tegangan utama menunjukkan bahwa retakan cenderung terjadi pada arah tertentu, tulangan tambahan dapat ditempatkan secara diagonal sesuai dengan arah tersebut untuk memberikan dukungan tambahan dan meningkatkan ketahanan terhadap retakan.

Trajectory mengacu pada lintasan atau jalur yang diikuti oleh tegangan utama di dalam material. Tegangan utama adalah tegangan maksimum atau minimum yang dialami oleh suatu elemen pada titik tertentu, dan arah dari tegangan utama ini menunjukkan arah di mana gaya tarik atau tekan bekerja paling kuat.

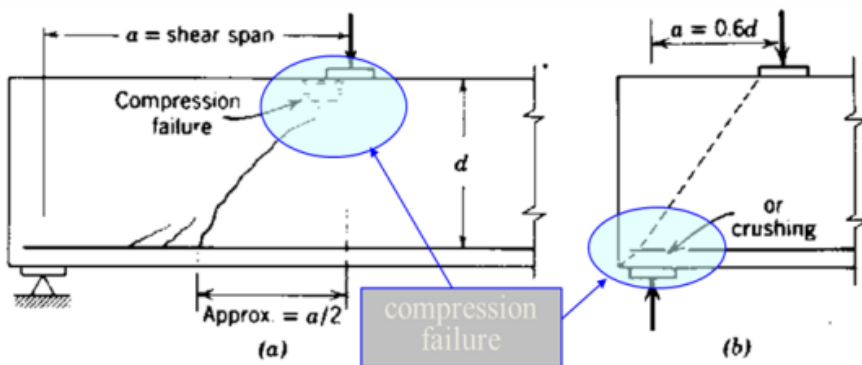


Gambar 5.3. Trayektori dari principal stresses pada sebuah balok

Sumber: Perilaku Dasar dan Desain Beton Bertulang Berdasarkan SNI-2847-2019 (UKI PRESS)

5.7 Kategori Keruntuhan Balok Akibat Geser

Keruntuhan pada balok akibat geser terjadi akibat bertambahnya gaya geser yang menghilangkan diagonal tension. Gambar berikut menunjukkan keruntuhan pada balok akibat geser.



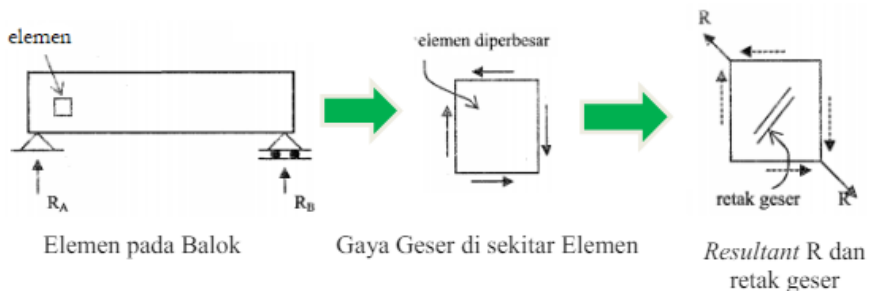
Gambar 5.4. Shear Compression Failure pada Balok pada Bentang Geser

Sumber: Perilaku Dasar dan Desain Beton Bertulang Berdasarkan SNI-2847-2019 (UKI PRESS)

Keruntuhan balok akibat geser dikategorikan dalam 4 type, sebagai berikut:

- 1) Keruntuhan pada balok tinggi ($a/d < 1/2$), pada kondisi ini besarnya tegangan geser akan menentukan keruntuhan balok daripada tegangan lentur.
- 2) Keruntuhan pada balok pendek ($1 < a/d < 2 1/2$), pada kondisi ini keretakan terjadi karena kekuatan geser balok melampaui batas keretakan miring.
- 3) Keruntuhan pada balok pendek dengan lentur yang dominan ($2 1/2 < a/d < 6$), pada kondisi ini Kekuatan geser pada balok sama dengan kapasitas keretakan miring.
- 4) Keruntuhan pada balok panjang ($a/d > 6$), pada kondisi ini terjadi keruntuhan lentur.

Untuk memberikan pemahaman yang lebih jelas mengenai bagaimana gaya geser bekerja pada balok, dilakukan dengan mengambil sebuah elemen kecil dari beton yang berada di daerah ujung balok, seperti yang ditunjukkan pada gambar di bawah ini.



Gambar 5.5. Gaya geser pada balok

STRUKTUR BETON GEDUNG

Sumber: Buku Struktur Beton 1 (Sudarno P Tampubolon, S.T., M.Sc)

Pada gambar terlihat gaya geser di sekitar elemen, dengan kondisi sebagai berikut:

- 1) Arah reaksi R_A ke atas, sehingga pada permukaan bidang elemen di sebelah kiri, terjadi gaya geser yang arahnya ke atas.
- 2) Elemen beton dalam keadaan stabil, sehingga terjadi keseimbangan gaya vertikal pada elemen beton, dan pada permukaan bidang elemen di sebelah kanan muncul gaya geser yang arahnya ke bawah. Gaya geser pada kedua sisi adalah sama.
- 3) Akibat gaya geser yang ke atas pada permukaan bidang arah kiri dan kanan, maka pada elemen beton akan timbul momen dengan arah searah jarum jam.
- 4) Elemen beton dalam keadaan stabil, sehingga momen yang ada harus dilawan oleh momen lain yang besarnya sama tetapi arahnya berlawanan.

Adapun resultant R dan retak geser, dengan kondisi sebagai berikut:

- 1) Gaya geser ke atas pada permukaan bidang kiri dan gaya geser ke kiri pada permukaan bidang atas menghasilkan resultant (R) yang arahnya miring ke kiri-atas.

- 2) Gaya geser ke atas pada permukaan bidang kanan dan gaya geser ke kanan pada permukaan bidang bawah menghasilkan resultant (R) yang arahnya miring ke kiri-bawah.
- 3) Resultant dari poin 1 dan 2 memiliki nilai yang sama, tetapi berlawanan arah dan saling tarik-menarik.
- 4) Elemen beton akan retak dengan arah miring membentuk sudut $\alpha = 45^\circ$ jika elemen tersebut tidak mampu menahan gaya tarik dari kedua resultant (R).

5.8 Perencanaan Tulangan Geser Balok

Perencanaan Tulangan Geser Balok dilakukan dengan ketentuan sebagai berikut ini:

- 1) Gaya geser rencana, Gaya geser nominal, gaya geser yang ditahan oleh beton begel di rumuskan dengan:

$$V_r = \phi * V_n \quad \dots 1$$

$$\phi * V_n \geq V_u \quad \dots 2$$

$$V_n = V_c + V_s \quad \dots 3$$

V_r = Gaya geser rencana, (kN), V_n = Kuat Geser nominal, (kN)

V_c = Gaya geser yang ditahan oleh beton, (kN)

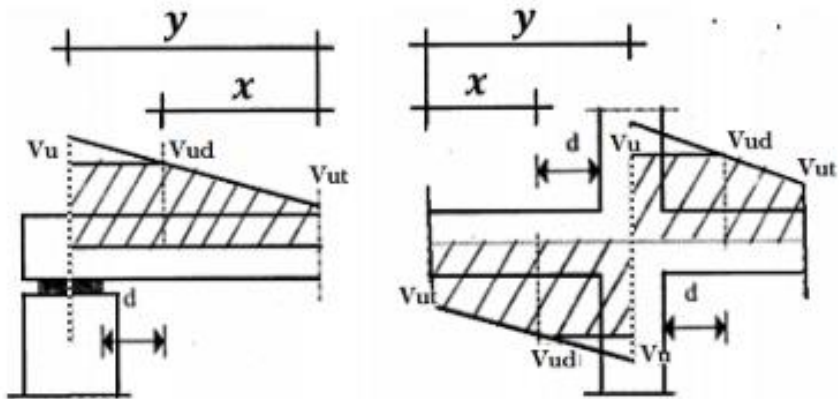
V_s = Gaya geser yang ditahan oleh begel, (kN)

ϕ = Faktor reduksi geser = 0,75

STRUKTUR BETON GEDUNG

- 2) Nilai dari V_u boleh diambil pada jarak d (menjadi V_{ud}) dari muka kolom yang di rumuskan sebagai berikut: $V_{ud} = V_{ut} + x/y * (V_u - V_{ut})$

$$V_{ud} = V_{ut} + x/y * (V_u - V_{ut}) \quad ..4$$



Gambar 5.6. Diagram Gaya Balok yang bekerja pada Tumbuan

- 3) Gaya geser yang di tahan oleh beton (V_c) dihitung dengan:

$$V_c = 1/6 * \sqrt{f_c'} * b * d \quad ..1$$

- 4) Gaya geser yang di tahan oleh begel (V_s) dapat di hitung dengan persamaan:

$$V_s = (V_u - \phi * V_c) / \phi ; V_s = A_v * f_y * d / s \quad ..2$$

s = jarak sengkang

- 5) Untuk ketentuan jika: V_s harus $\leq 2/3 * \sqrt{f_c'} * b * d$ Jika $V_s > 2/3 * \sqrt{f_c'} * b * d$ maka dimensi balok harus direvisi.

- 6) SNI 03- 2847-2002, Luas tulangan geser per-meter panjang balok yang diperlukan (A_v, u) di hitung dengan memilih nilai terbesar:
- a) $A_v, u = (V_s * S) / f_y * d$ dengan S = panjang balok
 - b) $A_v, u = (b * S) / f_y * d$ dengan S = panjang balok
 - c) $A_v, u = 75 * \sqrt{f_c'} * b * S / 1200 * f_y$
- 7) Spasi begel (s) dapat dihitung dengan:
- a) $s = n * 1/4 * \pi * d_p^2 * S / A_v, u$ dengan S = panjang balok
 - b) $V_s < 1/3 * \sqrt{f_c'} * b * d$; maka $s \leq d/2$ dan $s \leq 600$ mm
 - c) $V_s > 1/3 * \sqrt{f_c'} * b * d$; maka $s \leq d/4$ dan $s \leq 300$ mm
- Dengan: n = Jumlah kaki begel (2, 3, atau 4 kaki)
 d_p = Diameter begel dari tulangan polos (mm)

5.9 Penampang Tanpa Tulangan Geser

Dalam sebuah balok beton bertulang yang tidak dilengkapi dengan tulangan geser, gaya lintang dipikul oleh kombinasi dari tiga unsur utama, yaitu:

- a) Kekuatan Beton Itu Sendiri: Beton memiliki kemampuan untuk menahan gaya geser hingga batas tertentu. Namun, kekuatan geser beton secara alami terbatas dan tergantung pada kualitas beton serta kondisinya. Dalam elemen tanpa tulangan geser, beton menanggung sebagian besar beban geser, namun

STRUKTUR BETON GEDUNG

kekuatan ini bisa cepat terlampaui jika beban yang diterapkan melebihi kapasitas beton.

- b) Mekanisme Antarmuka Beton dan Tulangan: Gaya geser juga dipikul oleh mekanisme interaksi antara beton dan tulangan longitudinal (batang baja yang ditempatkan sejajar dengan sumbu balok). Gesekan dan ikatan antara beton dan tulangan ini membantu menahan gaya geser hingga batas tertentu. Ketika terjadi gaya geser, tulangan longitudinal bekerja sama dengan beton untuk mendistribusikan tegangan geser, namun mekanisme ini hanya efektif sampai batas tertentu sebelum retakan mulai terbentuk.
- c) Aksi Dowel Tulangan Longitudinal: Tulangan longitudinal juga memberikan kontribusi dalam menahan gaya geser melalui aksi dowel. Aksi dowel adalah peran batang baja dalam menahan gaya geser yang bekerja tegak lurus terhadap panjang batang tersebut. Dalam elemen tanpa tulangan geser, batang baja ini membantu menahan gaya geser dengan cara menahan pergerakan horizontal dari bagian beton yang mengalami gaya geser. Namun, aksi dowel ini juga memiliki keterbatasan dan tidak seefektif tulangan geser khusus dalam menahan gaya lintang yang besar.
 - a. Beton didalam daerah tekan: 40 – 20 %
 - b. Tulangan tarik yang bertindak sebagai pasak: 25 – 15 %

c. Kaitan antar agregat melintasi retakan lentur: 50 – 33 %

$$V = V_{cz} + V_d + V_{ay}$$

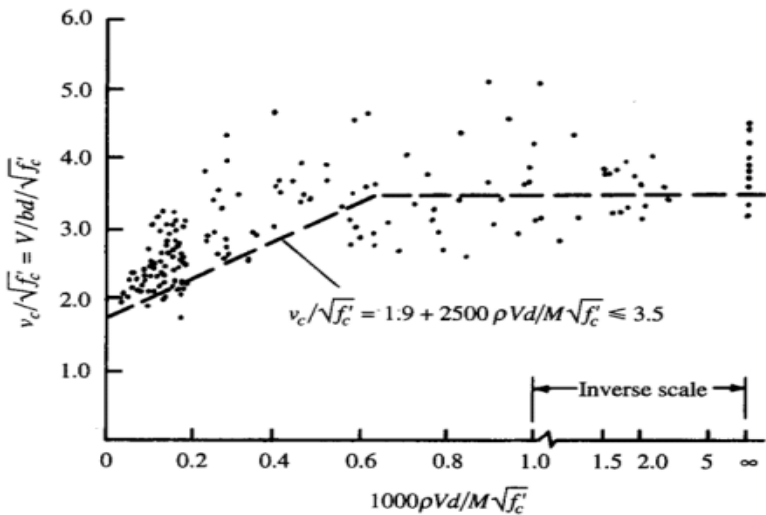
dimana:

V_{cz} = komponen gaya geser pada daerah blok beton tekan

V_d = komponen gaya dowel action oleh tulangan memanjang

V_{ay} = komponen gaya geser antar permukaan retak

Cara menentukan kekuatan geser balok tanpa tulangan geser berdasarkan hasil regresi dari percobaan 440 model benda uji



Gambar 5.7. Hasil regresi dari percobaan 440 model benda uji

Sumber: BukuStrukturBeton1 (Sudarno P Tampubolon, S.T., M.Sc)

DAFTAR PUSTAKA

- Astaneh-Asl, Abolhassan, Xin Qian, and Yongjiu Shi. 2019. "Application of Steel Shear Walls Toward More Resilient Structures." In , 3–46.
- Carpinteri, A., M. Corrado, and G. Ventura. 2013. "Failure Mode Scaling Transitions in Rc Beams in Flexure: Tensile, Shearing, Crushing." *Proceedings of the 8th International Conference on Fracture Mechanics of Concrete and Concrete Structures, FraMCoS 2013*: 31–43.
- Elwakeel, Abobakr, and Robert Vollum. 2022. "Shear Enhancement in Reinforced Concrete Cantilevers with Multiple Point Loads." *Magazine of Concrete Research* 74(10): 507–27.
- Hilal, Iin Shabrina, Mochammad Afifuddin, and Muttaqin Hasan. 2022. "Simulation of Shear Capacity of Reinforced Concrete Column with Variation of Stirrups Using Finite Element Method Analysis." *Key Engineering Materials* 927: 203–8.
- Khamidullina, Natalya, Alexander Akopyan, Vladimir Akopyan, and Albert Prokopov. 2022. 2647 AIP Conference Proceedings *Experimental and Theoretical Research of the Stress-Strain State of Reinforced Concrete Bar Structures under the Influence of Shearing Force*.
- Sogut, Kagan. 2023. "Shear Behaviour of RC Beams: A Numerical

Study.” *International Journal of Computational and Experimental Science and Engineering* 9(3): 248–52.

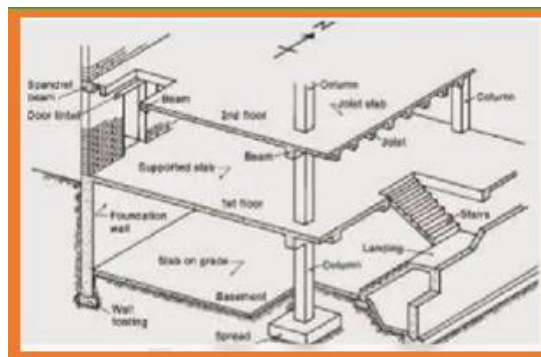
Yang, Deqiang et al. 2020. “Experiment and Analysis of Wedge Cutting Angle on Cutting Effect.” *Advances in Civil Engineering* 2020: 1–16.

BAB 6

KEKUATAN DAN KESTABILAN KOLOM

6.1 Pengertian Kolom

Kolom adalah salah satu komponen struktur vertikal yang secara khusus difungsikan untuk memikul aksial tekan (dengan atau tanpa adanya momen lentur) dan memiliki rasio tinggi/Panjang terhadap dimensi terkecilnya sebesar tiga atau lebih. Kolom memikul beban vertikal yang berasal dari pelat lantai atau atap dan menyalurkannya ke pondasi.



Gambar 9.1. Struktur konstruksi kolom

Kolom adalah suatu elemen struktur yang utamanya memikul kombinasi beban momen lentur dan aksial tekan.

STRUKTUR BETON GEDUNG

Beberapa faktor yang mengakibatkan adanya momen yang terjadi di elemen kolom, diantaranya karena beban lateral seperti gempa bumi yang akan menjadikan penampang kolom biasanya terjadi kegagalan tarik, oleh karena momen yang dihasilkan besar.

Kolom merupakan komponen struktur vertikal yang menerima dan menyalurkan gaya tekan aksial bersamaan atau tidak dengan gaya momen. Kolom pendek sering disebut kolom tidak langsing atau gemuk. Kolom pendek tidak kehilangan stabilitas lateral karena tidak adanya tekuk. Dalam hal ini digunakannya jenis kolom pendek dikarenakan struktur kokoh dengan fleksibilitas yang kecil. Bahan penyusun struktur kolom adalah kombinasi dari campuran beton dan tulangan baja. Tulangan baja pada kolom ada dua jenis, yaitu tulangan baja yang berfungsi sebagai penahan tekan atau tulangan longitudinal, kemudian tulangan baja yang berfungsi sebagai penahan tegangan lateral pada inti penampang kolom atau tulangan sengkang. Tulangan sengkang pada kolom berfungsi sebagai pengekang, supaya inti penampang kolom tetap menyatu dan tidak pecah akibat gaya aksial yang diterima kolom. Sebagaimana diketahui bahwa akibat gaya aksial, kolom di satu sisi akan mengalami pemendekan, tetapi di sisi lain kolom akan mengalami retak ke arah samping. Oleh karena itu, fungsi sengkang adalah mengikat inti penampang kolom (concrete core) agar kolom beton tidak pecah. Untuk mencegah

keruntuhan kolom yang secara tiba-tiba, tanpa adanya peringatan, maka dalam merencanakan struktur kolom harus diperhitungkan secara cermat dengan memberi kekuatan cadangan lebih tinggi atau penambahan kekuatan dari pada untuk komponen struktur lainnya, sehubungan dengan faktor keselamatan jiwa. Sehingga dalam suatu struktur keruntuhan kolom struktural merupakan hal yang sangat penting untuk ditinjau.

Kolom adalah batang tekan vertikal dari rangka struktural yang memikul beban dari balok. Kolom meneruskan beban-beban dari elevasi atas ke elevasi yang lebih bawah hingga akhirnya sampai ke tanah melalui fondasi. Karena kolom merupakan komponen tekan, maka keruntuhan pada suatu kolom merupakan lokasi kritis yang dapat menyebabkan runtuhnya lantai yang bersangkutan dan juga runtuh total seluruhnya. Keruntuhan kolom dapat terjadi apabila tulangan bajanya leleh karena tarik, atau terjadinya kehancuran pada beton yang tertekan. Selain itu dapat pula kolom mengalami keruntuhan apabila terjadi kehilangan stabilitas lateral, yaitu terjadi tekuk. Kolom tersebut diklasifikasikan sebagai kolom panjang (*long column*). Apabila kolom runtuh karena kegagalan materialnya (yaitu leleh baja atau hancurnya beton), kolom ini diklasifikasikan sebagai kolom pendek (*short column*) (Nawy, 1990).

STRUKTUR BETON GEDUNG

Struktur kolom adalah batang vertikal dari rangka struktur yang memikul beban dari balok. Kolom berfungsi meneruskan beban dari elevasi atas ke elevasi bawahnya hingga sampai tanah melalui fondasi. Kolom merupakan struktur tekan sehingga keruntuhan kolom tidak memberikan peringatan awal yang cukup jelas. Dalam merencanakan kolom perlu adanya perencanaan kekuatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan elemen beton bertulang lainnya. (*E.G Nawy, 1998*).

Apabila beban yang bekerja pada kolom semakin besar, maka retak akan terjadi diseluruh tinggi kolom pada daerah sengkang. Pada batas keruntuhan biasanya ditandai dengan selimut beton yang lepas terlebih dahulu sebelum baja tulangan kehilangan letakan. Menurut *Nawy (1990)*, kekuatan kolom dievaluasi berdasarkan prinsip-prinsip dasar sebagai berikut:

- Distribusi regangan linier diseluruh tebal kolom
- Tidak ada gelincir antara beton dengan tulangan baja (ini berarti regangan pada baja sama dengan regangan pada beton yang mengelilinginya)
- Regangan beton maksimum yang diizinkan pada keadaan gagal (untuk perhitungan kekuatan) adalah 0,003
- Kekuatan tarik beton diabaikan dan tidak digunakan dalam perhitungan.

Metode perbaikan secara penambalan (*patching repair method*) adalah metode perbaikan yang paling tepat direkomendasikan untuk perbaikan beton akibat laju korosi yang menyebabkan pengelupasan selimut beton (*JSCE, 2001*). Material perbaikan harus mempunyai sifat yang seragam dengan beton sekitarnya, dalam hal kekuatan dan modulus elastisitas dan juga warna dan tekstur, untuk beton terekspos. (*Paul Nugraha & Antoni, 2007:227*).

Unsaturated Polyester Resin (UPR) memiliki kekuatan mekanis yang baik, ketahanan terhadap zat kimia, mudah dalam pengerjaan, kuat lekat yang baik, permeabilitas yang rendah, pengerasan awal yang cepat, kuat lentur yang optimal, mengurangi susut, dan ketahanan abrasi yang baik dan sebagainya. (*Kruger dan Penhall: 2002*).

Polimer adalah salah satu bahan rekayasa bukan logam (*non-metallic material*) yang telah banyak digunakan sebagai bahan substitusi untuk logam. Polimer dipakai sebagai bahan tambah pada material beton yang dapat menghasilkan beton dengan kuat tekan tinggi. Polimer dapat meningkatkan sifat fisik, mekanik, dan ketahanan terhadap bahan kimia dalam waktu yang relatif singkat. Dalam penelitian ini dipakai suatu polimer yaitu UPR atau *Unsaturated polyester Resin*.

STRUKTUR BETON GEDUNG

Unsaturated Polyester Resin (UPR) termasuk dalam matriks polimer *thermoset*. UPR berupa resin cair dengan viskositas yang relatif rendah, mengeras pada suhu kamar dengan penggunaan katalis tanpa menghasilkan gas sewaktu pengesetan seperti banyak resin *thermoset* lainnya. *Unsaturated Polyester Resin* yang digunakan seperti seri Yukalac 157[®] BQTN-EX Series. UPR digunakan sebagai bahan campuran dalam beton polimer. Hal ini karena UPR dapat meningkatkan kuat tarik dan kuat lentur dari bahan utama fiberglass. UPR juga cepat mengeras pada suhu kamar. Oleh sebab itu, pada penelitian ini digunakan UPR sebagai material perbaikan *patch repair* untuk meningkatkan kekuatan. Keunggulan dari UPR adalah sifat mekanis yang baik, hemat biaya, ketahanan terhadap korosi yang baik, dan memiliki berat jenis yang cenderung lebih ringan dibanding polimer lain.

Menurut beberapa peneliti menunjukkan bahwa pengekanan oleh tulangan transversal dapat memperbaiki karakteristik dari tegangan-regangan dari beton ketika pada tekanan tinggi. Berbagai studi tentang kekuatan kolom beton bertulang yang dilakukan oleh (Park 1975: 23), menunjukkan bahwa penampang yang diberi tulangan melintang dalam bentuk sengkang ikat ataupun spiral akan meningkatkan kekuatannya. Tulangan spiral memberikan tekanan kekang (*confine*) di sekeliling penampang. Sedangkan sengkang biasa hanya memberikan gaya

kekang (confine) di daerah sudut karena tekanan pada sisi sengkang ini akan cenderung membengkokkan bagian sisi sengkang ke arah luar berakibat beton yang terkekang kurang efektif. Hal ini merupakan daerah yang lemah pada sengkang persegi. Efek pengekangan dalam bentuk spiral ataupun sengkang pada beton dapat meningkatkan kekuatan tekan dan daktilitas tekan dibandingkan dengan tidak adanya pengekangan berupa bentuk spiral ataupun sengkang (Sabariman, dkk. 2018).

6.2 Konsep Pembebanan Beban-Beban Pada Struktur

Dalam melakukan analisis desain suatu struktur bangunan, perlu adanya gambaran yang jelas mengenai perilaku dan besar beban yang bekerja pada struktur. Hal penting yang mendasar adalah pemisahan antara beban-beban yang bersifat statis dan dinamis.

1. Beban Statis

Beban statis merupakan beban yang relatif konstan atau beban yang memiliki perubahan intensitas beban terhadap waktu berjalan lambat. Jenis-jenis beban statis menurut Peraturan Pembebanan Untuk Rumah Dan Gedung 1983 adalah sebagai berikut:

- a. Beban Mati (Dead Load/ DL)

Beban mati adalah beban yang dipikul oleh struktur sebagai akibat dari berat sendiri struktur dan akibat berat elemen-elemen struktur dan merupakan satu kesatuan.

b. Beban hidup (Life Load / LL)

Beban hidup adalah beban yang bisa ada atau tidak ada pada struktur untuk suatu waktu yang diberikan. Beban yang diakibatkan oleh hunian atau penggunaan (occupancy loads) merupakan beban hidup. Yang termasuk ke dalam beban penggunaan adalah berat manusia, perabot, barang yang disimpan, dan sebagainya. Beban yang diakibatkan oleh salju atau air hujan, juga termasuk ke dalam beban hidup. Semua beban hidup mempunyai karakteristik dapat berpindah atau bergerak. Secara umum beban ini bekerja dengan arah vertikal ke bawah, tetapi kadang-kadang dapat juga berarah horisontal. Beban hidup mempunyai fluktuasi beban yang bervariasi, tergantung dan banyak faktor. Oleh karenanya, faktor beban-beban hidup lebih besar dibandingkan dengan beban mati.

2. Beban Dinamik

Beban dinamis adalah beban yang bekerja secara tiba-tiba pada struktur. Pada umumnya, beban ini tidak bersifat tetap

(unsteady-state) serta mempunyai karakteristik besaran dan arah yang berubah dengan cepat. Deformasi pada struktur akibat beban dinamik ini juga akan berubah-ubah secara cepat.

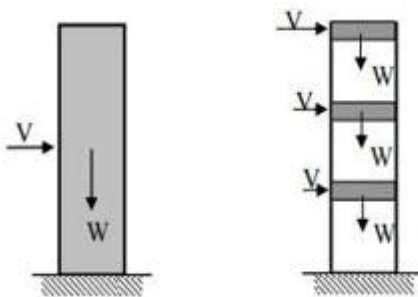
a) Beban Gempa (Earthquake Load/EQ) Gempa merupakan fenomena getaran yang diakibatkan oleh benturan atau gesekan lempeng tektonik (plate tectonic) bumi yang terjadi di daerah patahan (fault zone). Pada saat terjadi benturan antara lempenglempeng aktif tektonik bumi, akan terjadi pelepasan energi gempa yang berupa gelombang-gelombang energi yang merambat di dalam atau di permukaan bumi. Gelombang ini menyebabkan permukaan bumi dan bangunan di atasnya bergetar. Pada saat bangunan bergetar, timbul gaya-gaya pada struktur bangunan karena adanya kecenderungan massa bangunan untuk mempertahankan dirinya dan gerakan yang disebut gaya inersia. Besar gayatersebut bergantung pada banyak faktor yaitu,

- Massa bangunan
- Pendistribusian massa bangunan
- Kekakuan struktur
- Jenis tanah
- Mekanisme redaman dan struktur
- Perilaku dan besar alami getaran itu sendiri

STRUKTUR BETON GEDUNG

- Wilayah kegempaan
- Periode getar alami

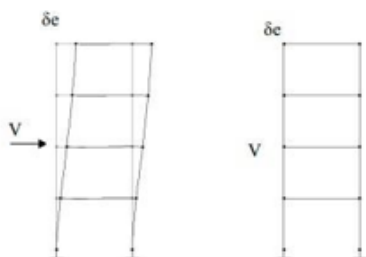
Dalam perencanaan struktur bangunan tahan gempa, besarnya beban gempa nominal yang diperhitungkan ditentukan oleh 3 hal, yaitu: oleh besarnya gempa rencana, oleh tingkat daktilitas yang dimiliki struktur, dan oleh nilai faktor tahanan lebih yang terkandung di dalam struktur. Gempa Rencana adalah gempa yang peluang atau risiko terjadinya dalam periode umur rencana bangunan 50 tahun adalah 10% ($R_N = 10\%$), atau gempa yang periode ulangnya adalah 500 tahun ($T_R = 500$ tahun). Faktor-faktor tersebut harus sudah diperhitungkan dengan tepat untuk menghasilkan perencanaan struktur gedung tahan gempa yang benar-benar baik.



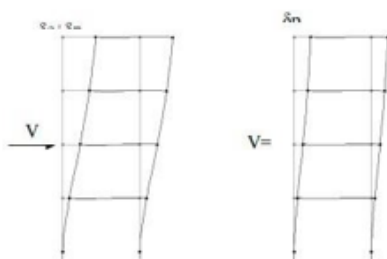
Gambar 9.2 Beban Gempa pada Struktur Bangunan

Pada kenyataannya, jika suatu beban bekerja pada struktur,

maka pada tahap awal, struktur akan berdeformasi secara elastis. Jika beban yang bekerja terus bertambah besar, maka setelah batas elastis dari bahan struktur dilampaui, struktur kemudian akan berdeformasi secara plastis (inelastis). Dengan demikian pada struktur akan terjadi deformasi elastis dan deformasi plastis, sehingga jika beban yang bekerja dihilangkan, maka hanya sebagian saja dari deformasi yang hilang (deformasi elastis = δ_e), sedangkan sebagian deformasi akan bersifat permanen (deformasi plastis = δ_p). Perilaku deformasi elastis dan plastis dari struktur diperlihatkan pada Gambar 9.3.



Gambar 9.3.a. Deformasi elastis pada struktur

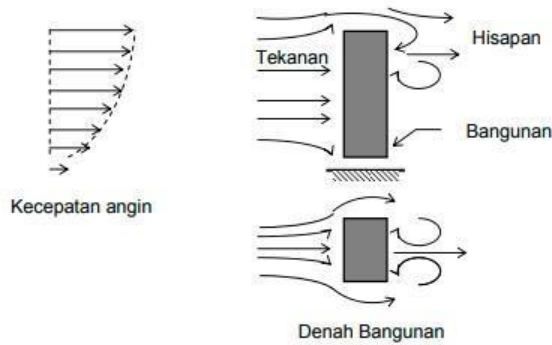


Gambar 9.3.b. Deformasi plastis (inelastis) pada struktur

b) Beban Angin (Wind Load/WL) Beban angin ditentukan dengan menganggap adanya tekanan positif dan tekanan negatif (hisapan) yang bekerja tegak lurus pada bidang-bidang yang ditinjau. Besarnya tekanan angin untuk gedung diambil minimum 40 kg/m² (untuk wilayah pantai) dan dikalikan dengan koefisien angin untuk dinding vertikal:

- di pihak angin +1
- di belakang angin - 0.4

- sejajar dengan arah angin - 0.4



Gambar 9.4. Beban Angin pada Struktur Bangunan

6.3 Kolom Panjang atau Kolom Langsing

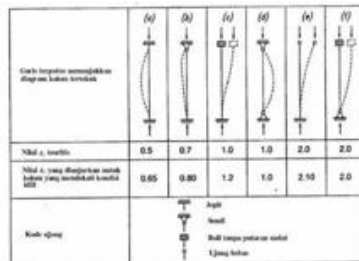
Kolom panjang, dimana keruntuhan terjadi karena adanya tekuk akibat pengaruh kelangsingan kolom. Kolom panjang dinyatakan apabila memenuhi $\frac{klu}{r} < 22$

Apabila angka kelangsingan kolom melebihi batas kolom pendek, maka kolom tersebut akan mengalami tekuk sebelum mencapai keadaan limit kegagalan material. Regangan pada muka yang tertekan pada beton untuk beban tekuk akan lebih kecil dari 0,003. Kolom yang demikian disebut dengan kolom langsing yang mengalami kombinasi beban aksial dan momen lentur, berdeformasi melintang dan mengalami momen tambahan akibat efek P_n-D ,

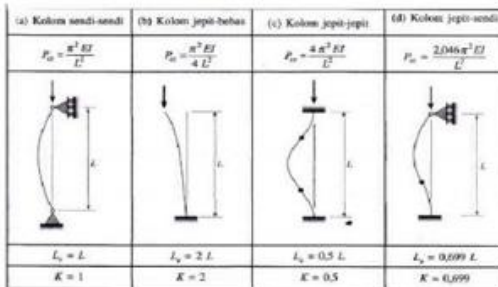
STRUKTUR BETON GEDUNG

dimana P_n adalah gaya aksial dan D adalah defleksi kolom tertekuk pada penampang yang ditinjau.

Faktor panjang efektif, k , untuk komponen struktur tekan dari rangka tak bergoyang, harus diambil sama dengan dengan 1,0 kecuali ditunjukkan lain oleh analisis. Perhitungan k harus berdasarkan pada nilai-nilai E dan I pada dengan menggunakan Gambar 9.5.



Gambar 9.5. Faktor Panjang Efektif pada Kondisi Ideal *Sumber : Salmon dkk, 1991*



Gambar 9.6. Beban Kritis Kolom Panjang

Jika pada suatu kolom dikenai beban maka kolom tersebut akan mengalami tekukan (*buckling*). Tekukan ini dapat terjadi meskipun besarnya tegangan maksimum pada batang lebih kecil dari *yield point* bahan. Beban yang sanggup ditahan oleh kolom

tanpa menyebabkan tekukan (*buckling*) disebut Beban Kritis Kolom. Secara umum, beban kritis ke n (P_n) yang membuat tekukan pada kolom dapat dilihat pada Gambar 9.6

Tegangan kritis adalah tegangan rata-rata terhadap luas penampang dari kolom pada beban kritis. Tegangan kritis pada kolom dapat dihitung dengan:

$$\sigma_{cr} = \frac{P}{A} = \frac{\pi^2 EI}{AL^2} = \frac{\pi^2 EI}{(l/r)^2}$$

Keterangan:

σ_{cr} = Tegangan kritis (MPa);

P = Beban kritis kolom (N);

A = Luas penampang kolom (mm²);

E = Modulus elastisitas beton (MPa);

I = Momen Inersia penampang kolom (mm⁴)

L = Panjang efektif kolom (mm)

R = Jari-jari girasi kolom (mm)

Beban kritis sepenuhnya tergantung pada perbandingan kerampingan kolom dan kekakuan bahan E. Tetapi, karena E konstan hanya sampai kesebandingan maka rumus *Euler* hanya berlaku untuk harga P/A sampai batas tersebut.

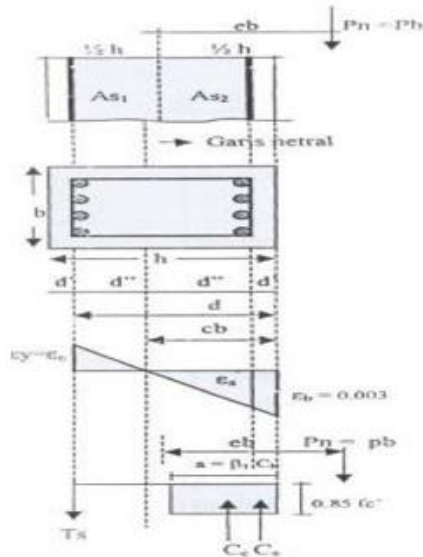
6.4 Kolom Pendek dengan Beban Eksentris

Beban tekan P yang berimpit dengan sumbu memanjang kolom, berarti tanpa eksentrisitas, perhitungan teoritis menghasilkan tegangan tekan merata pada permukaan penampang melintangnya. Sedangkan apabila gaya tekan tersebut bekerja di suatu tempat berjarak e terhadap sumbu memanjang, kolom cenderung melentur seiring dengan timbulnya momen $M = P(e)$. Jarak e dinamakan eksentrisitas gaya terhadap sumbu kolom. (Dipohusodo, 1994).

6.5 Pembebanan eksentris pada Kolom pendek Beton bertulang

6.5.1 Aksial Lentur Kolom

Jika beban P_N pada kondisi beban sentris bergeser, maka pada penampang kolom sisi lain mulai menahan beban tarik relatif kecil (sehingga baja tulangan tarik belum leleh), sedangkan penampang kolom yang bergeser tetap menahan beban tekan yang cukup besar (sehingga dapat menimbulkan retak beton tekan). Seperti diperlihatkan pada gambar 9.7.



Gambar 9.7. Tegangan dan Regangan pada Kolom Beban Eksentrisitas

Keterangan:

cb= jarak sumbu netral;

y = jarak pusat plastis ($h/2$)

e = eksentrisitas beban ke pusat plastis

AS2 = luas tulangan daerah Tekan

b = lebar penampang kolom

h = tinggi penampang kolom

d' = selimut efektif tulangan tekan

d = selimut efektif tulangan tarik

6.5.2 Diagram interaksi P-M

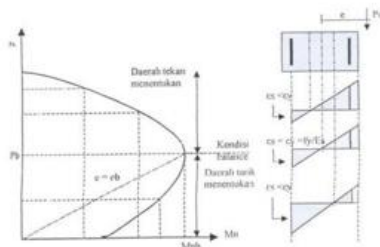
Berdasarkan regangan yang terjadi pada baja tulangan yang tertarik, kondisi awal keruntuhan digolongkan menjadi dua yaitu:

- Keruntuhan tarik yang diawali dengan luluhnya tulangan tarik, $P_n < P_{nb}$.
- Keruntuhan tekan yang diawali dengan kehancuran beton, $P_n > P_{nb}$.

Diagram interaksi ini menggambarkan hubungan antara gaya tekan aksial tekan dan momen lentur yang dimulai pada penampang *balance*. Kondisi *balance* terjadi saat baja tulangan mengalami luluh bersamaan dengan regangan beton. Beton mencapai kekuatan maksimum f'_c pada saat regangan desak beton maksimal mencapai 0,003. Perencanaan kolom eksentris dapat diselesaikan dengan cara Metode Pendekatan Diagram $P_n - M_n$.

Diagram $P_n - M_n$ yaitu suatu grafik daerah batas yang menunjukkan ragam kombinasi beban aksial dan momen yang dapat ditahan oleh kolom secara aman. Diagram interaksi tersebut dibagi menjadi dua daerah yaitu daerah keruntuhan tekan dan daerah keruntuhan tarik dengan pembatasnya adalah titik *balance*. Tulangan dipasang simetris untuk mempermudah pelaksanaan, mencegah kekeliruan

dalam penempatan tulangan tarik atau tulangan tekan dan mengantisipasi perubahan tegangan akibat beban gempa.



Gambar 9.8. Diagram Interaksi P dan Mn

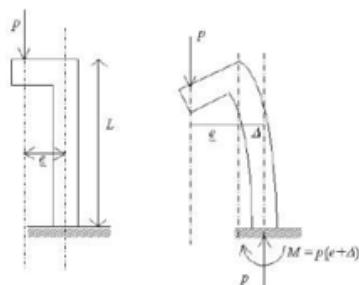
6.6 Defleksi lateral Kolom

Besarnya momen tambahan merupakan fungsi dari beban gravitasi (P) dan defleksi lateral (Δ), perilaku struktural tersebut biasa disebut dengan $P-\Delta$ efek ($P-\Delta$) yang merupakan pengaruh global portal kolom. Kolom yang diberi beban titik P secara eksentris, akan mengalami momen pada dasar kolom sebesar:

$$M = P \cdot e$$

Kolom mengalami defleksi lateral sebesar Δ saat beban titik P bekerja, untuk kesetimbangan gaya internal, momen pada dasar kolom menjadi:

$$M = P(e + \Delta)$$



Gambar 9.9. Defleksi pada Kolom

6.7 Kestabilan Kolom metode SNI dan PPBBI 1984

Kolom adalah batang tekan vertikal tegak yang berfungsi sebagai penahan gaya yang arahnya vertikal aksial yang menekan serah sumbu batang kolom dan meneruskan gaya sampai kepada pondasi. Pada umumnya kolom ini mempunyai sifat keruntuhan dan sifat tekuk akibat dari kelangsingan kolom. Ini terjadi biasanya pada konstruksi baja. Euler mengatakan jika akibat tekuk tegangan penampang masih dalam keadaan elastis (belum mencapai leleh f_y) maka gaya kritis dapat dihitung.

Metode SNI mulai diperkenalkan pada tahun 1995 sampai perkembangannya SNI 2005. Analisis batang tekan dengan menggunakan metode PPBBI 1984 dan SNI 03-1729- 2002. Dimana dengan penggunaan profil WF100.50.4,5.6,8 ini didasarkan pada kenyataan dilapangan. Perencanaan Struktur Kolom, Elemen

kolom menerima beban lentur dan beban aksial, menurut SNI 03 – 2847 – 2002 pasal 11.3.2.2. untuk perencanaan kolom yang menerima beban lentur dan beban aksial ditetapkan koefisien reduksi bahan 0,65. Tulangan dipasang pada empat sisi kolom (four faces) Pada perencanaan gedung apartemen ini dipakai perencanaan kolom dengan menggunakan tulangan pada empat sisi penampang kolom (four faces). Perhitungan gaya-gaya dalam pada kolom menggunakan program SAP 2000 V.10. Dari hasil output gaya-gaya dalam tersebut kemudian digunakan untuk menghitung kebutuhan tulangan berdasarkan SK SNI T-15-1991-03 (CUR 1).

DAFTAR PUSTAKA

- SNI 2847:2013 (2013). Persyaratan beton struktural bangunan Gedung. Jakarta: BadanStandardisasi Nasional.
- Setiawan, Agus (2016). Perancangan struktur beton bertulang. Jakarta: Erlangga
- Schodek, D. L., 1999. Struktur edisi kedua. Penerbit Erlangga, Jakarta. ISBN: 979-411-698-X. Setiawan A., 2016.
- Perancangan struktur beton bertulang berdasarkan SNI 2847: 2013. Erlangga, Jakarta. ISBN: 978-602-298-626-3.
- Imran I., Zulkifli E., 2014. Perencanaan dasar struktur beton bertulang. Penerbit ITB, Bandung. ISBN: 978-602-9056-73-0.
- Imran I., Hendrik F., 2014. Perencanaan lanjut struktur beton bertulang. Penerbit ITB, Bandung. ISBN: 978-602-9056-74-7.
- Tavio, Wijaya U., 2019. Buku panduan desain struktur beton bertulang dasar sesuai ACI 318M- 14 code. Deepublish Publishing, Yogyakarta. ISBN: 978-623-209- 972-0
- SNI-03-2847-2013, 2013. Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung. BadanStandardisasi Nasional, Jakarta.

BAB 7

GAMBAR PENULANGAN PADA BALOK DAN KOLOM/SHOP DRAWING

7.1 Pendahuluan

Setelah proses perhitungan dilakukan sebagaimana telah dijelaskan pada bab sebelumnya, maka tahapan selanjutnya adalah penggambaran detail penulangan. Hasil perhitungan tersebut diberikan kepada drafter untuk dibuatkan gambar detail penulangannya. Pada umumnya, dalam suatu proyek, gambar perancangan (Detail Engineering Design - DED) digambar ulang oleh pelaksana sebagai acuan untuk pelaksanaan, gambar ini disebut shop drawing. Sederhananya, DED yang diganti etiketnya adalah shop drawing. Tentu shop drawing harus mengikuti kondisi di lapangan, sehingga ada kemungkinan shop drawing sama persis dengan DED, namun bisa juga berubah, dengan tidak mengenyampingkan justifikasi teknis atau analisis perubahan.

7.2 Diameter Tulangan

Sebelum melakukan penggambaran dari suatu struktur, baik balok maupun kolom, ada baiknya mengetahui diameter tulangan yang sesuai dengan standar di Indonesia. Standar diameter tulangan yang berlaku di Indonesia yang pada saat tulisan ini dibuat ada pada Standar Nasional Indonesia (SNI) 2052:2017 tentang Baja Tulangan Beton. Pada SNI 2052:2017 memberikan informasi mengenai komposisi baja tulangan beton, diameter, berat per meter, notasi tulangan polos dan ulir, mutu baja tulangan, ukuran dan toleransi, dan banyak informasi lainnya berkaitan dengan baja tulangan beton.

Namun dalam tulisan ini hanya akan menampilkan diameter tulangan polos dan ulir/sirip, yang berfungsi memberikan pemahaman diameter-diameter standar yang berada di pasaran berdasarkan SNI. Secara umum, jenis tulangan yang berada di pasaran adalah tulangan polos dan tulangan ulir/sirip. Adapun diameter dan luasan dari masing-masing tulangan yang sesuai SNI adalah sebagai berikut ini.

No	Penamaan	Diameter nominal (d)	Luas penampang nominal (A)	Berat nominal per meter*
		mm	mm ²	kg/m
1	P 6	6	28	0,222
2	P 8	8	50	0,395
3	P 10	10	79	0,617
4	P 12	12	113	0,888
5	P 14	14	154	1,208
6	P 16	16	201	1,578
7	P 19	19	284	2,226
8	P 22	22	380	2,984
9	P 25	25	491	3,853
10	P 28	28	616	4,834
11	P 32	32	804	6,313
12	P 36	36	1018	7,990
13	P 40	40	1257	9,865
14	P 50	50	1964	15,413
CATATAN: - *sebagai referensi - Cara menghitung luas penampang nominal, keliling nominal, berat nominal dan ukuran adalah sebagai berikut: a) Luas penampang nominal (A) $A = 0,7854 \times d^2$ (mm ²) d = diameter nominal (mm) b) Berat nominal = $\frac{0,785 \times 0,7854 \times d^2}{100}$ (kg/m)				

Sumber: Badan Standarisasi Nasional, 2017

STRUKTUR BETON GEDUNG

No	Pena- maan	Dia- meter nominal (d)	Luas penam- pang nominal (A)	Tinggi sirip (H)		Jarak sirip melintang (P) Maks	Lebar sirip membujur (T) Maks	Berat nominal per meter
		mm		min	maks			
1	S 6	6	28	0,3	0,6	4,2	4,7	0,222
2	S 8	8	50	0,4	0,8	5,6	6,3	0,395
3	S 10	10	79	0,5	1,0	7,0	7,9	0,617
4	S 13	13	133	0,7	1,3	9,1	10,2	1,042
5	S 16	16	201	0,8	1,6	11,2	12,6	1,578
6	S 19	19	284	1,0	1,9	13,3	14,9	2,226
7	S 22	22	380	1,1	2,2	15,4	17,3	2,984
8	S 25	25	491	1,3	2,5	17,5	19,7	3,853
9	S 29	29	661	1,5	2,9	20,3	22,8	5,185
10	S 32	32	804	1,6	3,2	22,4	25,1	6,313
11	S 36	36	1018	1,8	3,6	25,2	28,3	7,990
12	S 40	40	1257	2,0	4,0	28,0	31,4	9,865
13	S 50	50	1964	2,5	5,0	35,0	39,3	15,413
14	S 54	54	2290	2,7	5,4	37,8	42,3	17,978
15	S 57	57	2552	2,9	5,7	39,9	44,6	20,031

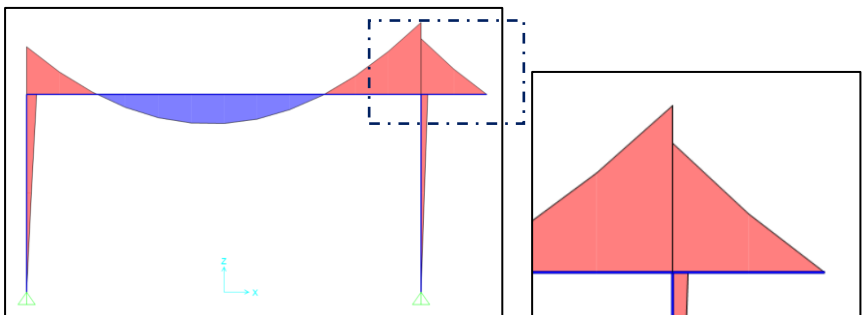
Sumber: Badan Standarisasi Nasional, 2017

Setelah mengetahui diameter tulangan, maka akan mempermudah penggambaran terutama diameter tulangan yang erat kaitanya dengan shop drawing maupun as built drawing.

7.3 Penulangan Balok

Penulangan balok harus didasarkan dari perhitungan struktur sebagaimana telah dijelaskan di bab-bab sebelumnya, baik itu tulangan lentur maupun tulangan geser dan tulangan torsi. Secara umum, ada beberapa hal yang harus diketahui sebelum menggambarkan tulangan yaitu persyaratan spasi antar tulangan yang ada pada bab 14 sni 2847:2019.

Penggambaran tulangan dapat dibuat secara manual maupun menggunakan bantuan software yang umum digunakan dalam keteknik sipil seperti AutoCAD. Namun hal paling penting dalam menggambar penulangan balok adalah harus paham akan daerah yang mengalami tarik dan tekan maupun daerah yang mengalami gaya geser. Drafter harus paham bahwa, kondisi tarik untuk balok kantilever berada pada bagian atas balok, sehingga penulangan pada daerah tersebut harus “lebih kuat” dari bagian bawah.



STRUKTUR BETON GEDUNG

Pada gambar di atas terlihat bahwa daerah tarik untuk kantilever, momennya ada di sisi atas, yang artinya daerah atas dari balok kantilever memerlukan tulangan lentur dari pada sisi bawah. Walaupun demikian, di SNI 2847:2019 disyaratkan wajib dipasang tulangan longitudinal di daerah yang tidak memerlukan tulangan lentur.

Berdasarkan sistem struktur, terutama Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM), terdapat 3 jenis SRPM, yaitu Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRMPB), Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM), dan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRMPK). Setiap sistem Rangka Pemikul Momen tersebut, memiliki detail tulangan yang berbeda. SRPM yang paling sederhana adalah yang SRPB, karena tidak membutuhkan detail khusus, hanya berdasarkan perhitungan kebutuhan tulangan saja, sementara SRPMM dan SRPMK membutuhkan perhitungan dan penyiataan tulangan yang lebih rumit -yang berpengaruh terhadap harga konstruksi.

Penentuan apakah struktur yang digunakan SRPMB, SRPMM atau SRPMK, bergantung dari Kategori Desain Seismik (KDS). Pembaca diminta membaca penentuan KDS pada SNI 1726:2019 untuk menentukan KDS serta sistem struktur yang digunakan. Ada banyak sistem struktur yang diampikan pada SNI 1726:2019,

namun sebagai contoh hanya 3 sistem struktur di atas saja yang penulis sampaikan.

SNI 2847:2019 memberikan pedoman dalam penggambaran penulangan pada balok, diantaranya:

- Luas Tulangan Lentur harus disediakan pada tiap penampang dimana tulangan tarik dibutuhkan sesuai analisis:

$$\frac{0,25\sqrt{f_c'}}{f_y} b_w d$$

$$\frac{1,4}{f_y} b_w d$$

Dimana: b_w = lebar badan balok (mm)
 f_c' = mutu beton (Mpa)
 f_y = mutu baja tulangan utama (Mpa)

- Jika luas penampang disediakan pada setiap penampang sekurang-kurangnya sepertiga lebih besar dari luas penampang analisis
- Spasi minimum penulangan yang sejajar pada satu lapis horizontal, spasi bersih tulangan harus tidak kurang dari:
 - 25 mm
 - D_b (Diameter tulangan utama, mm)
 - $4/3$ dagg (Ukuran nominal maksimum agregat kasar, mm)

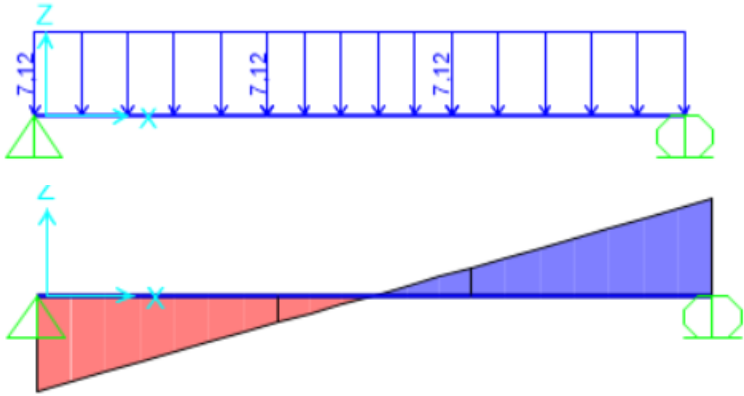
Pembatasan ini dimaksudkan agar memungkinkan beton mengalir dengan mudah diantara tulangan-tulangan longitudinal (tulangan memanjang).

Tulangan Geser Minimum

Tulangan geser atau sengkang pada penulangan balok dijelaskan SNI 2847:2019 di 9.7.6 tentang Tulangan Trasversal, dimana jarak maksimum tulangan geser adalah yang terkecil dari $d/2$ atau 600 mm, bila tulangan Geser yang ditahan beton V_s kurang dari V_c .

Dimana V_s merupakan Gaya Geser yang ditahan tulangan, dan V_c adalah gaya geser yang ditahan beton. Umumnya, kondisi ini berada di “daerah lapangan”. Adapun bila $V_s > V_c$, maka jarak maksimum tulangan gesernya adalah yang terkecil dari $d/4$ dan 300 mm, yang mana pada kondisi ini biasanya berada di “daerah tumpuan”.

Daerah tumpuan adalah daerah dimana balok menumpu pada kolom, dan daerah lapangan adalah daerah dimana balok tidak menumpu apa pun. Biasanya, bentang daerah tumpuan ini adalah $1/4$ - $1/6$ bentang balok, dan daerah lapangan sebesar $1/2 - 2/3$ bentang balok. Kondisi ini dapat diperlihatkan pada diagram geser balok yang menerima beban terbagi merata di sepanjang bentangnya.



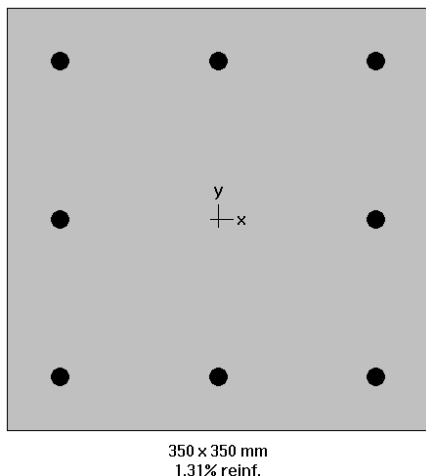
7.4 Penulangan Kolom

Penulangan longitudinal pada kolom yang diatur dalam SNI 2847:2019 adalah memiliki rasio tulangan (ρ) berkisar 1% - 8% untuk kondisi kolom dengan struktur “umum”, dan 1% - 6% untuk kondisi kolom yang didisain sebagai SRPMK. Hal ini diakomodir oleh SNI 2847:2002, SNI 2847:2013 dan SNI 2847:2019. Walaupun demikian, tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara Kolom yang didisain menggunakan SNI 2847:2013 dan SNI 2847:2019 (Hernadi dkk, 2021).

Rasio tulangan (ρ) adalah perbandingan luasan tulangan longitudinal dengan luasan penampang kolom. Contohnya seperti gambar berikut ini, dimana rasio tulangannya adalah 1,31%. Luas

STRUKTUR BETON GEDUNG

tulangan 8S16 ($A_s = 1608 \text{ mm}^2$) dan luas penampang adalah 122500 mm^2 . Perlu diingat bahwa, untuk kolom persegi, tulangan longitudinal yang terpasang minimal 4 buah (contoh gambar di bawah adalah 8 buah) dan bila berbentuk lingkaran minimal 6 buah.



Seperti halnya balok, pada kolom juga dikenal istilah daerah tumpuan dan daerah lapangan, yang jarak daerah tumpuan juga seperti balok, yaitu $1/4$ dari tinggi kolom. Namun, untuk kolom yang didisain sebagai SRPMK, daerah tumpuan ini agak berbeda, bukan $1/4$ dari tinggi kolom melainkan ada beberapa persyaratan lainnya yang kami rasa akan lebih menarik bila diulas pada buku selanjutnya.

Sementara untuk tulangan sengkang/begel, mensyaratakan nilai luasan dari tulangan geser adalah yang terbesar dari :

$$0,062\sqrt{f_c'}\frac{b_w S}{f_{yt}}$$

$$0,35\frac{b_w S}{f_{yt}}$$

Dimana: b_w = lebar badan balok (mm)

f_c' = mutu beton (Mpa)

f_{yt} = mutu baja tulangan sengkang (Mpa)

S = jarak sengkang (mm²)

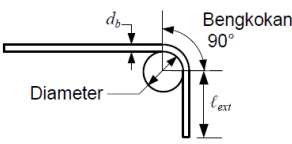
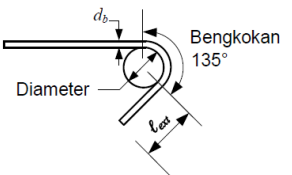
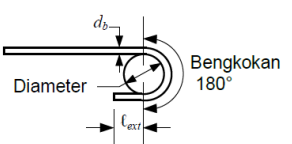
Persyaratan spasi/jarak maksimum dari tulangan geser/sengkang pada kolom, sama seperti jarak sengkang pada balok, yaitu yang terkecil dari $d/2$ atau 600 mm, bila tulangan Geser yang ditahan betn V_s kurang dari V_c .

Dimana V_s merupakan Gaya Geser yang ditahan tulangan, dan V_c adalah gaya geser yang ditahan beton. Umumnya, kondisi ini berada di “daerah lapangan”. Adapun bila $V_s > V_c$, maka jarak maksimum tulangan gesernya adalah yang terkecil dari $d/4$ dan 300 mm, yang mana pada kondisi ini biasanya berada di “daerah tumpuan”.

Untuk tulangan longitudinal pada kolom, pedestal, strut dan elemen batas pada dinding, spasi bersih antar tulangan harus tidak kurang dari nilai terbesar dari 40 mm, 1,5 db dan $(4/3)$ dagg.

7.5 Geometri Penulangan Sengkang

Selain beberapa persyaratan jarak dan luas tulangan sengkang seperti di atas, SNI 2847:2019 juga mensyaratkan geometri kait standar untuk sengkang, sebagaimana diperlihatkan pada gambar berikut ini:

Tipe Kait standar	Ukuran batang	Diameter sisi dalam bengkokan minimum	Perpanjangan lurus ^[1] ℓ_{ext} , mm	Tipe kait standar
Kait 90 derajat	D10 hingga D16	$4d_b$	Terbesar dari $6d_b$ dan 75 mm	
	D19 hingga D25	$6d_b$	$12d_b$	
Kait 135 derajat	D10 hingga D16	$4d_b$	Terbesar dari $6d_b$ dan 75 mm	
	D19 hingga D25	$6d_b$		
Kait 180 derajat	D10 hingga D16	$4d_b$	Terbesar dari $4d_b$ dan 65 mm	
	D19 hingga D25	$6d_b$		

^[1] Kait standar untuk sengkang, ikat silang, dan sengkang pengeang termasuk diameter sisi dalam bengkokan tertentu dan panjang perpanjangan lurus. Diizinkan untuk menggunakan perpanjangan lurus yang lebih besar pada ujung kaitnya. Penambahan perpanjangan lurus tidak diperkenankan untuk meningkatkan kapasitas pengangkutan pada kait.

Sumber: Badan Standarisasi Nasional, 2019

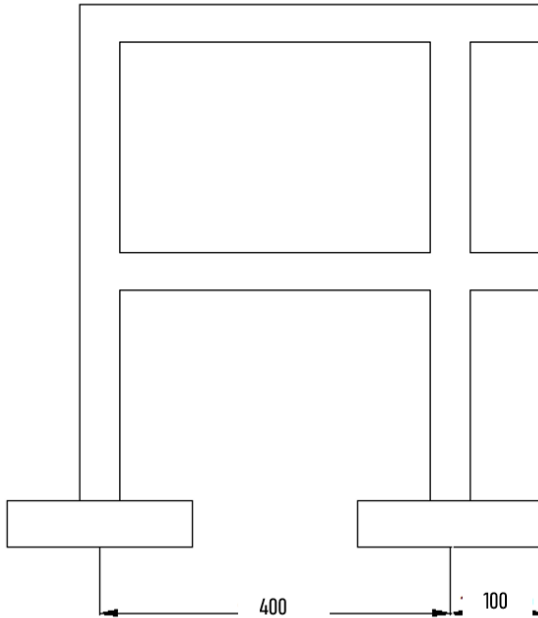
Berdasarkan gambar di atas, ujung dari sengkang dengan kait 135 derajat, maka panjang ujung sisa dari tulangan adalah minimal 75

mm. Adapun proses penggambaran awal balok maupun kolom sebelum dilakukan analisis struktur lebih lanjut, adalah sebagai berikut.

1. Menggambar dimensi dengan cara pendekatan, untuk tinggi (h) balok dapat menggunakan $L/20$, dan lebar balok (b) dapat menggunakan $2/3$ dari h. Sementara untuk kolom, dapat menggunakan dimensi yang sama antar b dan h.
2. Menentukan jumlah tulangan longitudinal/tulangan utama dari balok dan kolom. Langsung menggunakan pendekatan, rasio tulangan (ρ) sebesar 1% - 8% untuk kolom.
3. Tulangan sengkang, untuk daerah tumpuan gunakan $h/4$ untuk daerah tumpuan dan $h/2$ untuk daerah lapangan.

Sebagai contoh, suatu struktur seperti gambar berikut ini, dengan bentang balok 400 cm dan tinggi antar lantai (tinggi kolom), 400 cm. Maka untuk menentukan dimensi awal dari penampang balok dan kolomnya kita dapat menggunakan pendekatan sebagaimana telah disampaikan di atas.

STRUKTUR BETON GEDUNG



Dimensi balok:

Tinggi balok = $L/20 = 400/20 = 20$ cm, dicoba 30 cm.

Lebar balok = $2/3 h = 2/3 \times 30 = 20$ cm, dicoba 20 cm.

Dimensi kolom, $b = h = b$ balok = 20 cm, dicoba 25 cm.

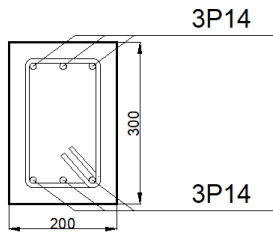
Tahapan berikutnya adalah menentukan jumlah tulangan utama, dengan rasio minimal 1%. Misalkan digunakan tulangan utama dengan diameter 12 mm ($A_d = 113 \text{ mm}^2$)

Penampang	Lebar (b)	Tinggi/Tebal (h)	Luas Penampang (Ag)	Luas tulangan Longitudinal (1% Ag)	Jumlah Tulangan*
Balok	200	300	60000	600	6
Kolom	250	250	62500	625	6

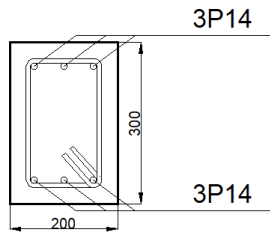
*jumlah tulangan didapatkan dengan membagi Luas Tulangan dengan luas diameter tulangan (A_d).

Cara di atas merupakan cara pendekatan, sehingga perlu dilakukan analisis lebih lanjut mengenai jumlah tulangan yang digunakan. Analisis penulangan tulangan kolom dan balok, kami rasa telah disampaikan oleh penulis lainnya di bab – bab sebelumnya.

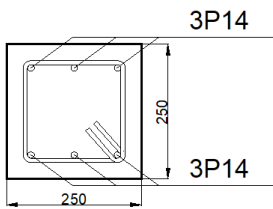
STRUKTUR BETON GEDUNG



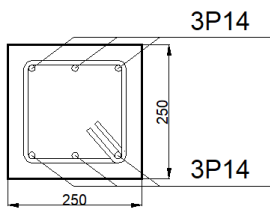
B 20/30



B 200/300



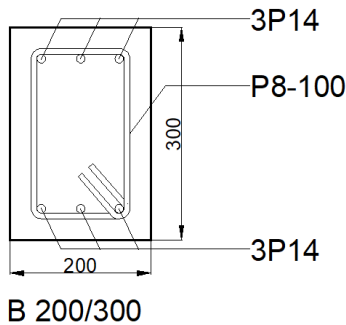
K 25/25



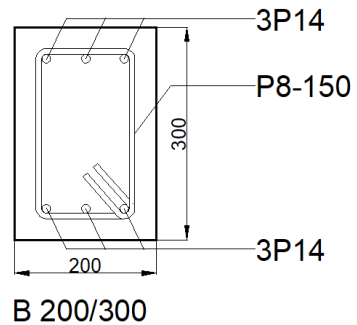
K 250/250

Penulisan dimensi balok dapat menggunakan “cm” (gambar kiri) ataupun “mm” (gambar kanan) seperti gambar di atas. Notasi “B” untuk menandakan bahwa yang dimaksud adalah “balok”. Notasi/kode balok ini bisa berbeda tiap drafter, namun umumnya adalah B untuk Balok; RB untuk Ring Balk; S untuk Sloof; dan K untuk Kolom. Sekali lagi, kode tersebut hanya untuk memudahkan mendeteksi jenis elemen struktur apa yang dimaksud. Adapun shop drawing balok dan kolom dengan menggunakan tulangan secara pendekatan di atas dan dengan satuan mm, maka penggambarannya adalah sebagai berikut.

TUMPUAN



LAPANGAN

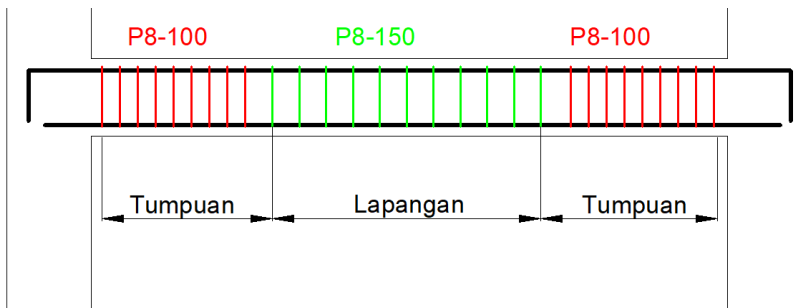


Pada tulangan utama tertulis 3P14, artinya 3 buah tulangan polos dengan diameter 14 mm. SNI 2052:2017 memberikan notasi P untuk tulangan Polos dan S untuk tulangan sirip/ulir. Pada dekade sebelumnya, notasi tulangan polos dituliskan dengan Ø dan tulangan ulir dengan D, sehingga bila mengacu “aturan” lama, maka penulisannya menjadi 3Ø14. Karena acuan kita yang sekarang (saat tulisan ini dibuat) adalah SNI 2847:2019 dan SNI 2052:2017, maka notasi untuk ulir adalah S, dan tulangan polos adalah P.

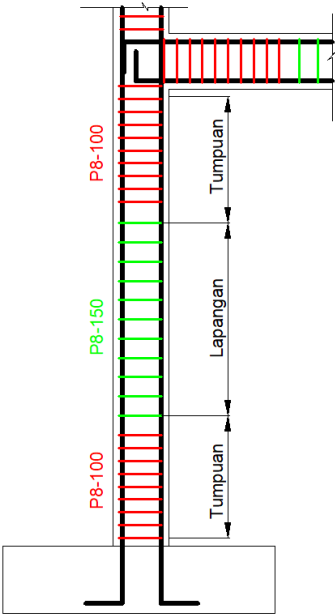
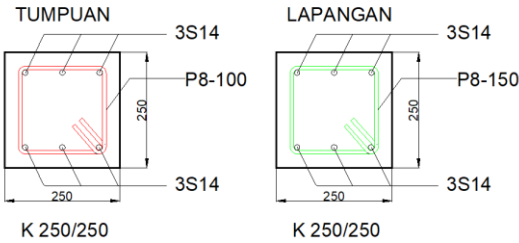
Terlihat bahwa tulangan utama baik di daerah tumpuan dan lapangan sama, artinya tulangan ini menerus hingga ke daerah lapangan. Pada tulangan sengkang/begel atau kadang juga beberapa tukang menyebutnya tulangan cincin, dimana daerah tumpuan tertulis P8-100 dan di daerah lapangan tertulis P-150. Arti dari notasi tersebut adalah untuk di daerah tumpuan ($1/4$ dari

STRUKTUR BETON GEDUNG

bentang balok, sekitar 1 m) dipasang sengkang dengan tulangan polos diameter 8 mm dan jarak tiap sengkang sebesar 100 mm. Sementara untuk di daerah lapangan, tulangan yang digunakan adalah tulangan polos dengan diameter 8 mm dengan jarak anatar begel/sengkang sebesar 150 mm. Untuk lebih mempermudah pemahaman mengenai sengkang pada tumpuan dan lapangan dapat dilihat pada gambar berikut ini.



Begitu juga dengan tulangan kolom, lokasi tumpuan dan lapangan berada pada seperti gambar di bawah. Untuk memudahkan pemahaman silahkan melihat warna dari kondisi tumpuan dan lapangannya. Warna merah dan hijau pada begel/sengkang untuk memberikan pemahaman posisinya dalam struktur.



DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional. 2017. *Baja Tulangan Beton*. Vol. 2052:2017.
- Badan Standarisasi Nasional. 2019. *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung*. Vol. 2847:2019.
- Hernadi, A., Sahara, R., & Dewi, S. U. (2021). Perbandingan Kekuatan Kolom Berdasarkan SNI 2847:2013 dan SNI 2847:2019. *Borneo Engineering: Jurnal Teknik Sipil*, 5(3).

BIODATA PENULIS



Ely Mulyati, ST., MT

Dosen Program Studi Teknik Sipil

Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Bina Darma

Penulis lahir di Palembang tanggal 24 Agustus 1977 adalah dosen tetap Program Studi Teknik Sipil Fakultas Saint Dan Teknologi Universitas Bina Darma. Merupakan anak dari H. Abdul Ma'az dan Hj. Pertiwi. Anak pertama dari 11 bersaudara. Menyelesaikan S-1 di Universitas Muhammadiyah Yogyakarta dan S-2 di Universitas Sriwijaya.

Mengajar merupakan suatu pekerjaan dan bagian perjalanan hidup yang menyenangkan dengan segala tantangan yang dihadapi, namun waktu dan pengalaman mengajarkan untuk menjadi lebih baik dan menjalankan perintah NYA. Dengan memegang prinsip

STRUKTUR BETON GEDUNG

“Sebaik-baiknya manusia adalah manusia yang bermanfaat bagi orang banyak”. Semoga Buku ini dapat bermanfaat dan digunakan oleh berbagai pihak yang membutuhkannya, dan membawa barokah bagi para penulis semua.

Penulis dapat dihubungi melalui e-mail: ely.mazpar@gmail.com

BIODATA PENULIS



Dr. Ir. Euis Kania Kurniawati, S.T., M.T., IPM

Dosen Program Studi Teknik Sipil

Fakultas Sains dan Teknologi (Saintek)

Universitas Muhammadiyah Sukabumi (UMMI)

Penulis lahir di Tasikmalaya tanggal 29 April 1977. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Sains dan Teknologi (Saintek) Universitas Muhammadiyah Sukabumi (UMMI) sejak tahun 2005. Penulis menyelesaikan program Sarjana (S1) dan mendapatkan gelar **S.T.** pada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Sebelas Maret (UNS) Surakarta, program Magister (S2) dengan gelar **M.T.** dan program Doktoral (S3) dengan gelar **Dr.** pada jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan (FTSL) dari Institut Teknologi (ITB) Bandung. Penulis

STRUKTUR BETON GEDUNG

memiliki juga sudah menyelesaikan Program Profesi Insinyur (PPI) pada Program Studi PPI Universitas Katolik (UNIKA) Atma Jaya, dan selesai pada tahun 2022 dan mendapatkan gelar **Ir.** dan juga sudah memiliki gelar Insinyur Profesional Madya (IPM) dari Persatuan Insinyur Indonesia (PII)

Penulis terdaftar memiliki Sertifikat Kompetensi Kerja (SKK) Ahli Teknik Bangunan Gedung (ATBG) jenjang 9 dan Ahli Sumber Daya Air (SDA) Jenjang 8 serta Ahli Penilai Bangunan Hijau Jenjang 9 dari BNSP.

Penulis dapat dihubungi melalui e-mail: euiskania@ummi.ac.id

BIODATA PENULIS



Israjunna, S.T., M.T.

Dosen Teknik Sipil

Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Bima

Penulis lahir di Batu Tering tanggal 01 Februari 1992. Penulis adalah Dosen pada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Bima. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Teknik Sipil Universitas Samawa 2016 dan melanjutkan S2 pada Magister Teknik Sipil Manajemen Konstruksi Universitas Atma Jaya Yogyakarta 2018.

Penulis menekuni bidang Penelitian manajemen konstruksi, manajemen risiko proyek, sumber daya air, Pengabdian pembuatan teknologi tepat guna, pendampingan STBM, dan lomba nasional Teknologi Tepat Guna.

BIODATA PENULIS



Ir. Effy Hidayaty, MT

Dosen Program Studi Teknik Sipil

Sekolah Tinggi Teknologi Pekerjaan Umum Jakarta

Penulis lahir di Padang tanggal 29 Agustus 1969. Penulis adalah dosen LLDIKTI III pada Program Studi Teknik Sipil Sekolah Tinggi Teknologi Pekerjaan Umum Jakarta. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Teknik Sipil Universitas Andalas dan melanjutkan S2 pada Program Studi Teknik Sipil Bidang Rekayasa Struktur di Institut Teknologi Bandung.. Penulis sudah pernah mengajar di beberapa tempat, yaitu pada Program Studi Teknik Sipil Universitas Bung Hatta Padang, Universitas Borobudur Jakarta, Universitas Janabadra Yogyakarta, Universitas 19 November Kolaka Sulawesi Tenggara dan sekarang aktif mengajar di Sekolah Tinggi Teknologi Pekerjaan Umum Jakarta.

Penulis dapat dihubungi melalui e-mail: atihidayaty@gmail.com

BIODATA PENULIS



Eris Nur Dirman., S.T., M.T

Dosen Program Studi Teknik Sipil

Sekolah Tinggi Teknik Baramuli

Penulis lahir di kabupaten Pinrang propinsi Sulawesi Selatan, pada tanggal 4 April 1980. Setelah menyelesaikan pendidikan menengah atas di Sekolah Menengah Umum Negeri 1 Pinrang, penulis melanjutkan Pendidikan ke Universitas Hasanuddin dan memilih jurusan S1 teknik sipil pada tahun 1998 dan menyelesaikan studi pada tahun 2022. Penulis juga menyelesaikan studi S2 pada tahun 2015 di Universitas Hasanuddin.

Penulis saat ini telah menjalani karirnya pada beberapa program kegiatan yang berbasis pemberdayaan maupun pada program

STRUKTUR BETON GEDUNG

kegiatan yang dikelola sepenuhnya oleh pemerintah. Kegiatan yang pernah diikuti antara lain: Program Kompensasi Pengurangan Subsidi (PKPS BBM) tahun 2005, Analis Perencanaan Pelabuhan pada PT Pelabuhan Indonesia IV (Persero) tahun 2005-2013, Perencanaan Pembangunan Bangunan Pengaman Pantai Tahun 2014, Pembangunan Perencanaan Bendungan di Kabupaten Maros pada tahun 2015, Tenaga Ahli Lingkungan Dalam Penyusunan Dokumen Strategi Sanitasi Untuk Program Program Percepatan Pembangunan Sanitasi Permukiman (PPSP) di Propinsi Sulawesi Barat tahun 2016-2018, Tenaga Ahli lingkungan untuk kegiatan supervise implementasi Strategi Sanitasi Kota (SSK) Pokja Sanitasi Bappenas koord. propinsi Kalimantan Timur dan Sulawesi Selatan tahun 2019-2020, Tenaga Ahli Lingkungan untuk UNICEF pada Kegiatan Pendampingan Penyusunan Dokumen SSK di Propinsi Nangroe Aceh Darussalam, Tenaga Ahli Lingkungan untuk Supervisi Penyusunan Dokumen Sanitasi Kota di Propinsi Jawa Tengah pada Tahun 2021-2022. Penulis memiliki tanggung jawab yang berbeda-beda untuk setiap kegiatan tersebut mulai tahap perencanaan, disain teknis, penyusunan dokumen dan pengawasan kegiatan. Hal ini meliputi pengetahuan tentang material, standar pengukuran, manajemen kegiatan.

e-mail: erisnurdirman01@gmail.com

BIODATA PENULIS



Dr. ADNAN, ST., MT

Dosen Program Studi Teknik Sipil

Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Parepare

Penulis lahir di Bojo tanggal 08 Agustus 1968. Penulis dilahirkan oleh ibunda tercinta Hj. Naderah Thaif dan Ayah tercinta Muhammad Sadik. Penulis memiliki pendamping keluarga istri tercinta Hj. Masdawati, SE dan anak tersayang Fadhillah Nurafini dan Muthia Ayu Annisa. Penulis adalah Dosen tetap pada Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Parepare Sejak Tahun 2001. Menyelesaikan pendidikan SDN No. 12 Bojo, pendidikan SMPN 5 Parepare, pendidikan SMAN 2 Parepare. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Teknik Sipil, pendidikan S2 Jurusan Teknik Sipil dan melanjutkan pendidikan S3 pada Jurusan Teknik Sipil Universitas Hasanuddin Makassar. Penulis

STRUKTUR BETON GEDUNG

menekuni bidang Menulis dalam bidang Teknik Sipil sampai saat ini.
Penulis dapat dihubungi melalui e-mail: ferlywijaya774@gmail.com.

BIODATA PENULIS



Ir. Ahmad Hernadi, S.T., M.T., MaK3, IPM, ASEAN Eng.

Dosen Program Studi Teknik Sipil

Fakultas Teknik Universitas Borneo Tarakan

Penulis lahir di Tarakan tanggal 25 September 1986. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknik Sipil Universitas Borneo Tarakan (UBT). Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Teknik Sipil UBT dan melanjutkan S2 pada Jurusan Teknik Sipil dengan Bidang Keahlian Teknik Struktur di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS). Penulis mengampu mata kuliah Analisis Struktur, Struktur Kayu, Struktur Beton, Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja. Penulis juga Tim Teknis pada pembangunan proyek di UBT dan beberapa kali menjadi tenaga ahli Aparat Penegak Hukum (APH) di Kalimantan Utara.