



BOOK CHAPTER

KONSTRUKSI BANGUNAN GEDUNG DAN INFRASTRUKTUR YANG BERKELANJUTAN DAN BERKESELAMATAN

**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS TARUMANAGARA**

16 SEPTEMBER 2021



KONSTRUKSI BANGUNAN GEDUNG DAN INFRASTRUKTUR YANG BERKELANJUTAN DAN BERKESELAMATAN

BOOK CHAPTER

PENULIS UTAMA

Jemy Wijaya
Sunarjo Leman
Daniel Christianto
Hendy Wijaya
Widodo Kushartomo
Edison Leo
Dewi Linggasari
Arif Sandjaya
Giovanni Pranata
Aniek Prihatiningsih
Alfred J. Susilo
Gregorius S. Sentosa
Ni Luh Shinta Eka Setyarini
Leksmono S. Putranto
Najid
Wati A. Pranoto
Vittorio Kurniawan
Basuki Anondho
Hendrik Sulistio
Wahyu Indra Sakti
Mega Waty
Arianti Sutandi
Henny Wiyanto
Agustinus Purna Irawan

EDITOR:

Widodo Kushartomo; Christopher Kevin Sidharta

DESAIN COVER:

Dewi Linggasari

PENERBIT:

Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik
Universitas Tarumanagara

KATA PENGANTAR

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

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

Koordinator *Book Chapter* Jurusan Teknik Sipil

Dr. Widodo Kushartomo

PRAKATA

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

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

Terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu terbitnya *book chapter* ini

1. Rektor, Wakil Rektor, Kepala Lembaga dan staf Universitas Tarumanagara
2. Dekan, Wakil Dekan dan staf Fakultas Teknik
3. Humas Universitas Tarumanagara
4. Tim *Book Chapter* Universitas Tarumanagara
5. Tim *Book Chapter* Jurusan Teknik Sipil
6. Penulis, semua dosen dan karyawan di lingkungan Jurusan Teknik Sipil
7. Semua pihak yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu

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

Ketua Jurusan Teknik Sipil

Ttd

Dr. Ir. Najid, M.T.

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	iii
PRAKATA	iv
DAFTAR ISI	v-vii
PENDAHULUAN	viii-ix
BAB 1 KONSEP MEKANIKA TEKNIK	1-10
<i>Jemy Wijaya</i>	
BAB 2 PEMODELAN ANALISIS STRUKTUR BANGUNAN GEDUNG	11-25
<i>Sunarjo Leman</i>	
BAB 3 KONSEP BETON BERTULANG PADA BANGUNAN GEDUNG	26-37
<i>Daniel Christianto, Vryscilia Marcella, Channy Saka</i>	
BAB 4 PERENCANAAN RANGKA BETON BERTULANG PEMIKUL MOMEN KHUSUS SESUAI SNI 2847-2019	38-50
<i>Hendy Wijaya</i>	
BAB 5 MUTU DAN KUALITAS BETON DALAM KONSTRUKSI BANGUNAN GEDUNG DAN INFRASTRUKTUR	51-62
<i>Widodo Kushartomo</i>	
BAB 6 KONSEP BETON PRATEGANG PADA BANGUNAN GEDUNG	63-73
<i>Edison Leo</i>	
BAB 7 KONSEP PERENCANAAN KONSTRUKSI BAJA BANGUNAN GEDUNG	74-87
<i>Dewi Linggasari, Vincent, Kharistio Xavira</i>	
BAB 8 PERENCANAAN KONSTRUKSI BAJA BANGUNAN GEDUNG	88-98
<i>Arif Sandjaya, Maria Kevinia Sutanto</i>	
BAB 9 PERENCANAAN BANGUNAN GEDUNG TAHAN GEMPA	99-109
<i>Giovanni Pranata</i>	
BAB 10 PENYELIDIKAN TANAH UNTUK BANGUNAN GEDUNG BERTINGKAT	110-124
<i>Aniek Prihatiningsih, Monica Michelle Susanto</i>	

BAB 11 KLASIFIKASI TANAH UNTUK PENENTUAN RESPONS SPEKTRUM <i>Alfred J. Susilo, Kenny Erick</i>	125-138
BAB 12 DESAIN FONDASI BANGUNAN GEDUNG BERTINGKAT <i>Gregorius Sandjaja Sentosa, Hansel Adisurya</i>	139-151
BAB 13 PERENCANAAN PRASARANA PARKIR DI GEDUNG DAN JALAN LINGKUNGAN <i>Ni Luh Putu Shinta Eka Setyarini</i>	152-167
BAB 14 PERENCANAAN PRASARANA PEJALAN KAKI <i>Leksmono Suryo Putranto, Benedictus Yosia Tingginehe, Farah Rizkia Ananda, Reynaldo Bernard Khuana</i>	168-178
BAB 15 PENGARUH BEROPERASINYA GEDUNG BERTINGKAT TERHADAP KINERJA LALU LINTAS <i>Najid</i>	179-187
BAB 16 PERENCANAAN DRAINASE GEDUNG YANG BERKELANJUTAN <i>Wati Asriningsih Pranoto</i>	188-196
BAB 17 PENGELOLAAN AIR PADA GEDUNG SECARA BERKELANJUTAN <i>Vittorio Kurniawan</i>	197-206
BAB 18 PERKEMBANGAN BUILDING INFORMATION MODELING DI BIDANG PENDIDIKAN TINGGI TEKNIK SIPIL <i>Basuki Anondho, Sunarjo Leman, Afriska Suwarni, Raymond Jonathan</i>	207-218
BAB 19 MANAJEMEN KOMUNIKASI PROYEK KONSTRUKSI GEDUNG TINGGI <i>Hendrik Sulistio</i>	219-232
BAB 20 SUMBERDAYA MANUSIA DAN ORGANISASI DALAM PEMBANGUNAN SUPERBLOK <i>Wahyu Indra Sakti</i>	233-243
BAB 21 <i>CHANGE ORDER</i> PADA INFRASTRUKTUR GEDUNG <i>Mega Waty</i>	244-255

BAB 22 PEMBIAYAAN PROYEK KONSTRUKSI <i>Arianti Sutandi</i>	256-263
BAB 23 PENILAIAN KONDISI KERUSAKAN BETON PADA STRUKTUR BANGUNAN GEDUNG <i>Henny Wiyanto</i>	264-274
BAB 24 PENGANTAR SISTEM TRANSPORTASI VERTIKAL DALAM GEDUNG UNTUK Mendukung LALU LINTAS ORANG DAN BARANG <i>Agustinus Purna Irawan</i>	275-285
PROFIL PENULIS	286-295

BAB 3

KONSEP BETON BERTULANG PADA BANGUNAN GEDUNG

Daniel Christianto, S.T., M.T.¹ Vryscilia Marcella², Channy Saka³
^{1,2,3}Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tarumanagara

Abstrak

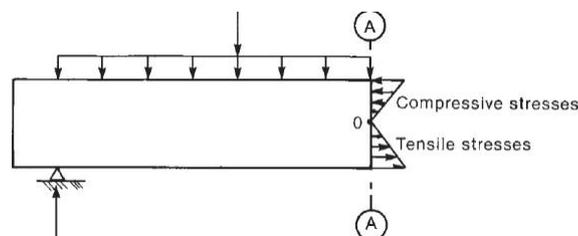
Perencanaan struktur bangunan tinggi didominasi oleh penggunaan beton bertulang sebagai komponen struktur utamanya. Seperti yang telah diketahui, beton sendiri memiliki sifat yang kuat terhadap tekan dan lemah terhadap tarik. Dalam mendesain suatu bangunan, tentunya tidak terlepas dari gaya-gaya dalam seperti momen, lintang, normal dan torsi. Gaya-gaya dalam tersebut saling berhubungan satu sama lain. Oleh karena itu tulisan ini akan membahas mulai dari model keruntuhan beton, analisis penampang, momen *crack*, *yield* dan *ultimate* serta daktilitas untuk menjamin bahwa bangunan yang didesain aman dan berkelanjutan.

Kata kunci: model keruntuhan, momen kurvatur, daktilitas, geser

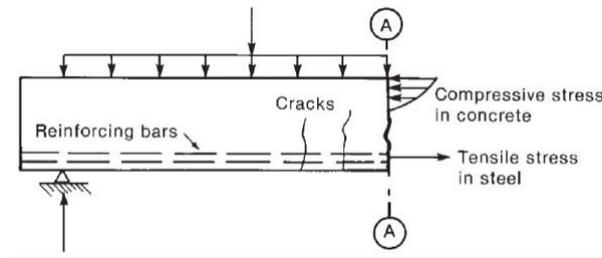
3.1 Pendahuluan

Beton bertulang merupakan material struktur yang dominan yang digunakan untuk konstruksi bangunan dan sudah digunakan di setiap negara di dunia. Konstruksi beton bertulang bermula dari luasnya ketersediaan tulangan dan unsur-unsur beton, seperti kerikil, pasir, air dan semen. Oleh karena itu, beton bertulang digunakan pada semua jenis bangunan seperti struktur bawah tanah, gedung, rumah, jembatan dan lain-lain.

Beton merupakan material yang kuat terhadap tekan tetapi lemah terhadap tarik. Akibat dari retak yang semakin besar ketika dibebani, terjadinya susut dan adanya perubahan suhu, akan menimbulkan tegangan tarik melebihi kekuatan tarik beton. Balok beton polos pada Gambar 3.1 menunjukkan momen pada titik 0 karena diberikan beban, ditahan oleh tegangan tekan dan tegangan tarik. Apabila balok tidak diperkuat dengan tulangan, maka dapat menyebabkan terjadinya kegagalan secara tiba-tiba ketika retakan pertama terbentuk. Sedangkan balok beton bertulang pada Gambar 3.2 diberikan perkuatan berupa batang tulangan yang di pasang di dalam balok beton. Sehingga gaya tarik yang diperlukan untuk momen keseimbangan setelah terjadi retakan pada beton dapat ditingkatkan lagi oleh tulangan.

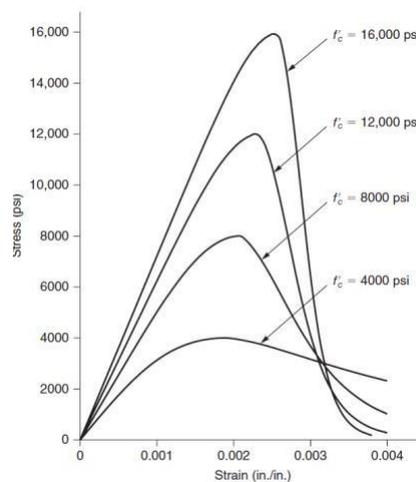


Gambar 3.1 Tegangan pada Balok Beton Polos [1]



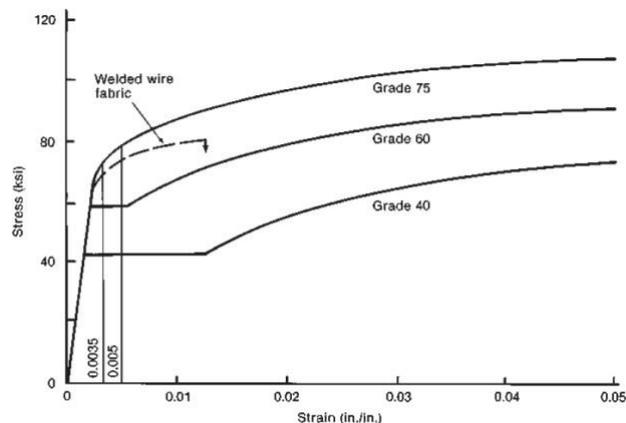
Gambar 3.2 Tegangan pada Balok Beton Bertulang [1]

Dalam konstruksi bangunan, terdapat faktor-faktor yang mempengaruhi pemilihan jenis material beton bertulang yang digunakan seperti ekonomis, tahan api, kaku, pemeliharaan yang sedikit dan tersedia luas material pembuatan beton bertulang. Selain itu, terdapat beberapa faktor juga yang menyebabkan bahan beton bertulang tidak digunakan, seperti kekuatan tarik yang lemah dan mudah getas.



Gambar 3.3 Kurva Tegangan dan regangan pada Beton [1]

Pada Gambar 3.3 menunjukkan bahwa kurva tegangan dan regangan bergantung dari mutu beton yang digunakan. Beberapa hal penting yang diperoleh dari kurva tersebut adalah regangan pada tegangan maksimum akan meningkat seiring dengan meningkatnya mutu beton. Selain itu, baik mutu beton tinggi maupun rendah, titik kehancuran beton berada disekitar regangan ϵ_{cu} 0,003.



Gambar 3.4 Kurva Tegangan dan Regangan pada Baja Tulangan [1]

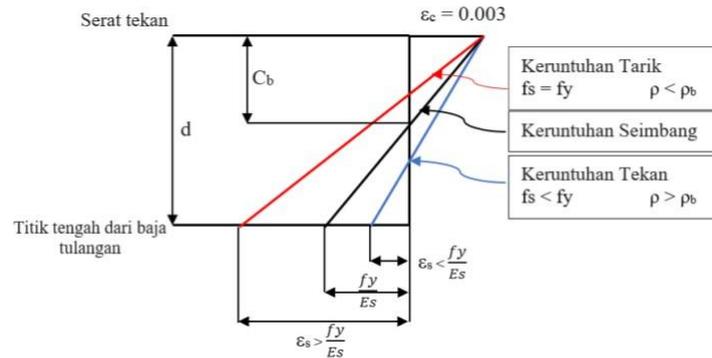
Kurva hubungan antara tegangan dan regangan baja tulangan yang ideal diberikan pada Gambar 3.4. Pada tahap awal, baja masih dalam kondisi elastis, yaitu baja masih bisa kembali ke bentuk asalnya ketika gaya yang bekerja pada baja tersebut dihilangkan. Ketika baja diberikan gaya berlebih mencapai suatu titik tertentu, maka baja masuk ke kondisi plastis, dimana regangan tidak dapat sepenuhnya hilang walaupun gaya sudah berhenti bekerja. Dari Gambar 3.4 dapat dilihat, semakin tinggi kekuatan dari baja tulangan, umumnya tidak memiliki batasan titik leleh yang jelas. Dengan regangan yang lebih lanjut, maka baja akan masuk ke kondisi *strain hardening*.

Dalam mendesain suatu bangunan, tentunya tidak terlepas dari gaya-gaya dalam seperti momen, lintang, normal dan torsi. Gaya-gaya dalam tersebut saling berhubungan satu sama lain. Gaya-gaya dalam ini hasil analisis pemodelan dari pradimensi struktur dengan banyak kombinasi dan dilanjutkan untuk mendesain kekuatan, kekakuan dan kestabilan pada sistem struktur. Oleh karena itu, dalam mendesain bangunan harus sesuai dengan ketentuan/peraturan yang berlaku agar diperoleh suatu bangunan yang aman dan berkelanjutan.

3.2 Prinsip Dasar Beton Bertulang

3.2.1 Model Keruntuhan

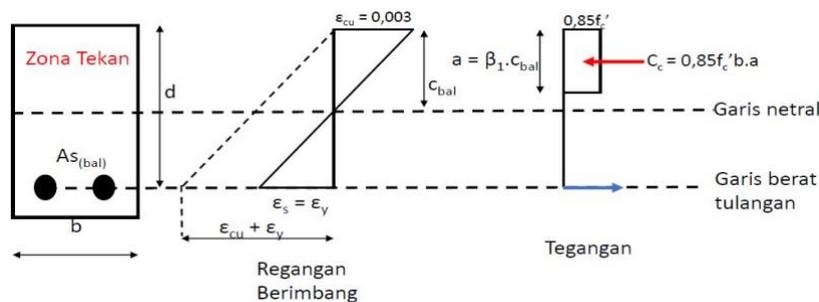
Pada sub-bab ini akan menjelaskan tentang model keruntuhan beserta macam-macam tipenya seperti pada Gambar 3.5 [2]. Pada dasarnya yang membedakan dari antara tipe keruntuhan adalah persentase beton dan baja yang digunakan pada penampang balok tersebut.



Gambar 3.5 Model Keruntuhan [2]

a. Keruntuhan Seimbang

Kondisi dimana ketika tulangan baja tarik mencapai regangan leleh ($\epsilon_s = \epsilon_y$), bersamaan dengan tercapainya regangan *ultimate* beton pada sisi tekan ($\epsilon_{cu} = 0,003$), dan ditunjukkan oleh diagram regangan pada Gambar 3.6. Luas baja tarik yang diperlukan untuk menyebabkan kondisi regangan ini pada penampang balok akan didefinisikan sebagai luas seimbang tulangan tarik. Prosedur analisis untuk mencari luas keseimbangan tulangan tarik mirip dengan analisis untuk Mn. [1]



Gambar 3.6 Diagram Regangan Kondisi Seimbang

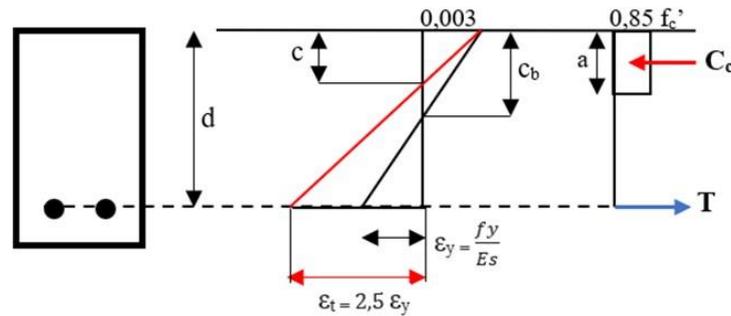
Dengan menggunakan perbandingan segitiga pada diagram regangan, maka dapat diperoleh nilai ρ_b menggunakan persamaan (0-1 sebagai berikut:

$$\rho_b = \frac{0.85 \cdot f_c'}{f_y} \times \beta_1 \cdot \frac{600}{600 + f_y} \quad 0-1$$

b. Keruntuhan Tarik

Keruntuhan ini terjadi ketika regangan baja tarik mencapai 0,005 atau lebih dan beton sudah mencapai regangan *ultimate* sebesar 0,00 (Gambar 3.7) Rasio tulangan maksimum dipilih kira-kira setara dengan 2.5 kali regangan leleh tulangan. [1]

Keruntuhan tarik terjadi di daerah ketika tegangan di serat tarik sama dengan modulus keruntuhannya (f_r). Istilah ini lebih dikenal *under reinforced*. Keruntuhan ini ditandai dengan tulangan baja leleh lebih dahulu daripada beton atau dengan kata lain istilah yang lebih dikenal untuk keruntuhan tarik ini adalah *under reinforced*.



Gambar 3.7 Diagram Regangan Kondisi Keruntuhan Tarik

Jenis keruntuhan yang diharapkan terjadi adalah *under reinforced*, karena pada jenis keruntuhan ini ditandai oleh lendutan yang semakin besar sebelum tercapai keruntuhan.

Lain hal dengan keruntuhan tekan di mana keruntuhan terjadi secara tiba-tiba tanpa adanya tanda-tanda kehancuran. Hal ini sangat berbahaya bagi keselamatan pemakai dari konstruksi tersebut.

Menurut ACI 318M-19 pada sub bab 9.6.1.2 [3], persamaan (0-2) dan (0-3) digunakan untuk menganalisis nilai ρ_{min} dan dari kedua nilai tersebut dipilih yang terbesar.

$$\rho_{min} = \frac{0,25 \times \sqrt{f_c'}}{f_y} b_w \times d \quad \text{0-2}$$

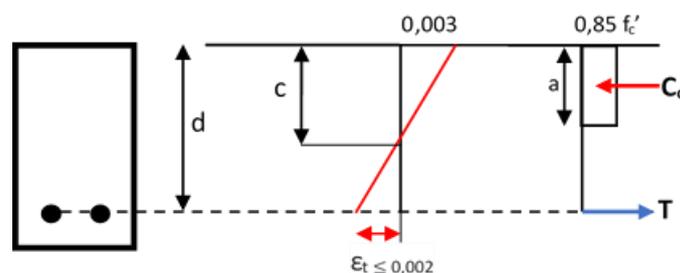
$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} b_w \times d \quad \text{0-3}$$

Sedangkan untuk persamaan (0-4) digunakan untuk menghitung nilai ρ_{max}

$$\rho_{max} = \frac{0,85 \times f_c'}{f_y} \times \frac{3}{8} \beta_1 \quad \text{0-4}$$

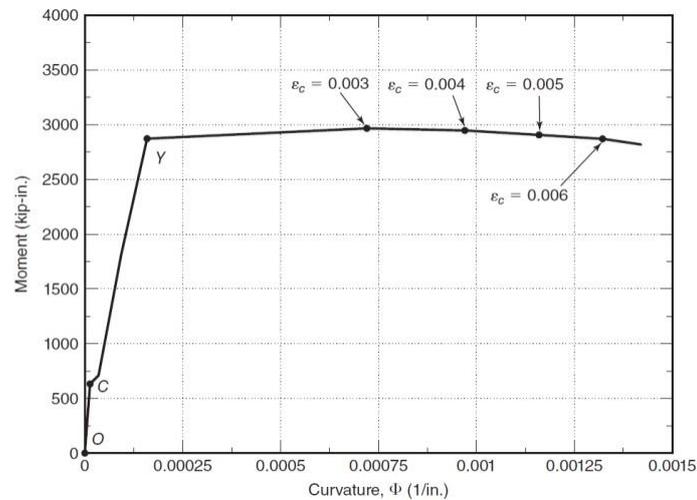
c. Keruntuhan Tekan

Keruntuhan ini bisa terjadi ketika beton telah mencapai regangan batas *ultimate* ($\epsilon_{cu} = 0,003$) sedangkan tulangan baja belum leleh ($f_s < f_y$) seperti Gambar 3.8. Keruntuhan ini ditandai dengan beton yang hancur lebih dahulu daripada tulangan baja atau dengan kata lain istilah yang lebih dikenal untuk keruntuhan tekan ini adalah *over reinforced*.



Gambar 3.8 Diagram Regangan untuk Kondisi Keruntuhan Tekan

3.2.2 Momen Kurvatur



Gambar 3.9 Hubungan Antara Momen dan Putaran Sudut

Suatu penampang balok akan mengalami tiga kondisi sebelum mencapai kegagalan, mulai dari kondisi retak, leleh dan *ultimate* seperti yang terlihat pada Gambar 3.9. Retak pada tegangan lentur akan terjadi di bagian tegangan saat serat tegangan ekstrim sama dengan modulus keruntuhan, f_r . Dari titik O sampai dengan C adalah rentang perilaku elastis yang tidak retak. Dalam rentang perilaku ini, kontribusi dari tulangan bisa diabaikan dan momen *crack* dianalisis menggunakan bagian betonnya saja yang biasanya disebut bagian bruto pada beton. Momen *crack* merupakan momen yang menyebabkan tegangan di serat tegangan ekstrim mencapai modulus keruntuhan atau dengan istilah lain momen yang menyebabkan retakan pertama pada balok.

Titik leleh (titik Y pada Gambar 3.9) menggambarkan akhir dari perilaku elastis. Saat beban ditingkatkan kepada penampang setelah melalui titik retaknya, maka tegangan tarik pada baja tulangan dan tegangan tekan pada beton juga terus meningkat. Sehingga baik baja tulangan maupun beton akan mencapai kapasitasnya masing-masing dan akan mulai mengalami leleh pada baja tulangan atau hancur pada beton. Karena penampang didesain dengan kondisi under reinforced, maka baja tulangan akan leleh terlebih dahulu sebelum beton mencapai regangan maksimumnya. Pada titik Y, akan terjadi momen *yield* yaitu momen yang menyebabkan baja tulangan leleh untuk pertama kalinya.

Di dalam peraturan beton, ditentukan regangan tekan maksimum untuk menganalisis kekuatan momen nominal dari penampang. Momen nominal ini adalah momen yang terjadi sesaat sebelum struktur beton mengalami kegagalan. Setelah melewati titik leleh, maka penampang beton akan berada pada kondisi *ultimate* apabila beban ditingkatkan lagi dimana penampang beton mencapai nilai regangan maksimum yaitu 0,003. Dan pada kondisi ini, penampang beton akan hancur. Sehingga dalam mendesain suatu penampang beton seperti balok, momen akibat beban yang bekerja harus lebih kecil dibandingkan dengan momen *ultimate* pada beton dan balok tidak mengalami kegagalan.

Perilaku lentur pada balok beton bertulang tentunya akan berelasi dengan daktilitas. Daktilitas adalah kemampuan suatu penampang untuk berputar sudut setelah mengalami leleh tanpa kehilangan kekuatan yang signifikan. Biasanya daktilitas suatu penampang dapat dinyatakan dalam perbandingan antara putaran sudut saat kondisi ultimate dengan putaran sudut saat kondisi *yield*. Semakin besar nilai daktilitas, maka akan semakin baik. Karena ketika balok belum mengalami kegagalan, akan ada peringatan berupa balok akan berputar sudut dan mengalami lendutan yang sangat besar. Pada Gambar 3.11 terdapat diagram alir untuk memudahkan dalam menganalisis penampang beton yang menggunakan tulangan rangkap.

3.2.3 Geser

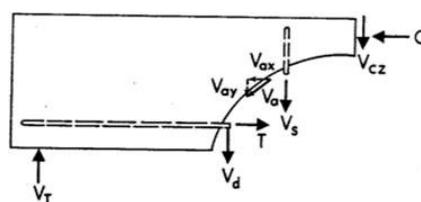
Dalam perencanaan balok beton bertulang, kapasitas momen lentur, geser dan torsi perlu disediakan masing-masing lebih besar atau paling tidak sama dengan momen lentur ultimit, gaya geser, dan torsi.

Kegagalan geser sangat kritis pada balok karena sifatnya yang getas. Jika balok dirancang dengan baik untuk memenuhi persyaratannya, balok dapat mengalami kegagalan lentur sebelum kegagalan geser. Retak geser menyebabkan balok terbelah menjadi dua bagian yang dipisahkan oleh garis retak geser, yaitu bagian atas retak geser dan bagian bawah retak geser. [4–6]

Karena adanya beban pada balok, kapasitas geser dapat disumbangkan oleh aspek-aspek berikut [7–10]

a. Ukuran agregat kasar

Peningkatan ukuran diameter agregat kasar akan memperbesar kekasaran retak, dan memungkinkan tegangan geser yang lebih tinggi untuk ditransfer melalui celah retak. Pada balok beton mutu tinggi, retak menembus agregat daripada mengelilinginya, menghasilkan permukaan retak yang lebih halus. Agregat *interlock* sepanjang retakan mengurangi transfer geser dan mengurangi V_c , ditunjukkan pada Gambar 3.10.



Gambar 3.10 Gaya yang Bekerja pada Retak Miring [5]

b. Agregat *interlock*

Agregat *interlock* mentransfer sebagian besar gaya geser total ke tumpuan. Gambar 3.10, mengilustrasikan bahwa V_{ax} dan V_{ay} adalah gaya-gaya sepanjang retak tarik diagonal akibat transfer geser antarmuka dan disebut juga *interlock* agregat.

c. Gaya tarik aksial

Kenaikan tegangan tarik pada tulangan lentur akibat tarik aksial langsung mengakibatkan bertambahnya lebar retak miring. Oleh karena itu, terjadi penurunan jumlah tegangan geser maksimum yang ditransfer melalui celah retak. Mekanisme ini mengurangi beban akibat kegagalan geser.

d. Ukuran balok

Pada balok yang menerapkan tulangan badan minimum yang diperlukan, transfer geser melintasi retakan dari *interlock* agregat dikuatkan oleh tulangan badan untuk menjaga permukaan patahan tetap utuh. Hal ini menyebabkan penurunan kuat geser karena dimensi yang ditampilkan tidak teramati pada balok dengan tulangan badan.

e. Kekuatan tarik beton

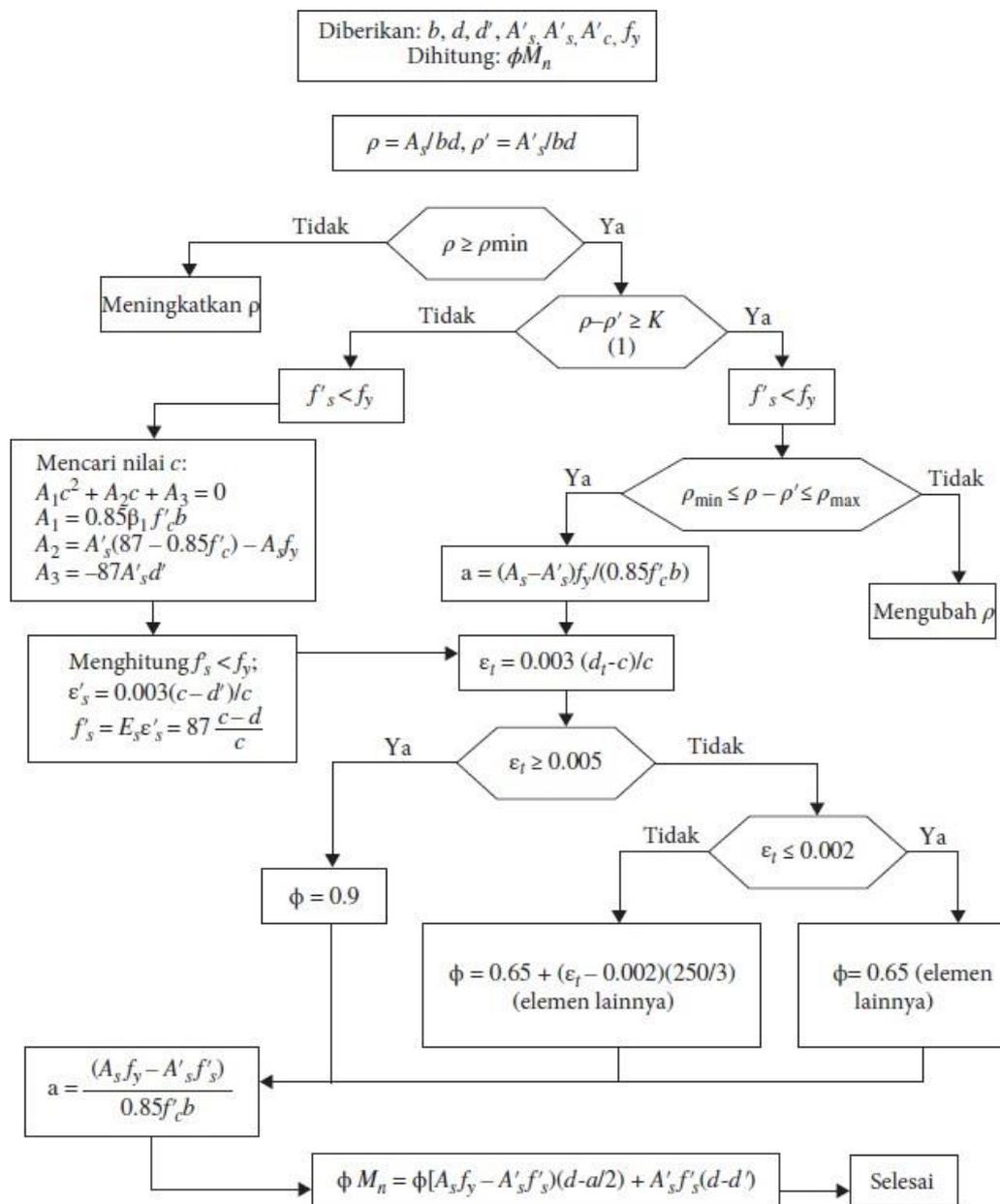
Jika retak pertama yang terjadi adalah retak lentur, maka cenderung mengganggu medan tegangan elastik sehingga retak cenderung terjadi pada tegangan tarik utama. Retak beton terutama tergantung pada kekuatan tarik beton.

f. Rasio tulangan longitudinal

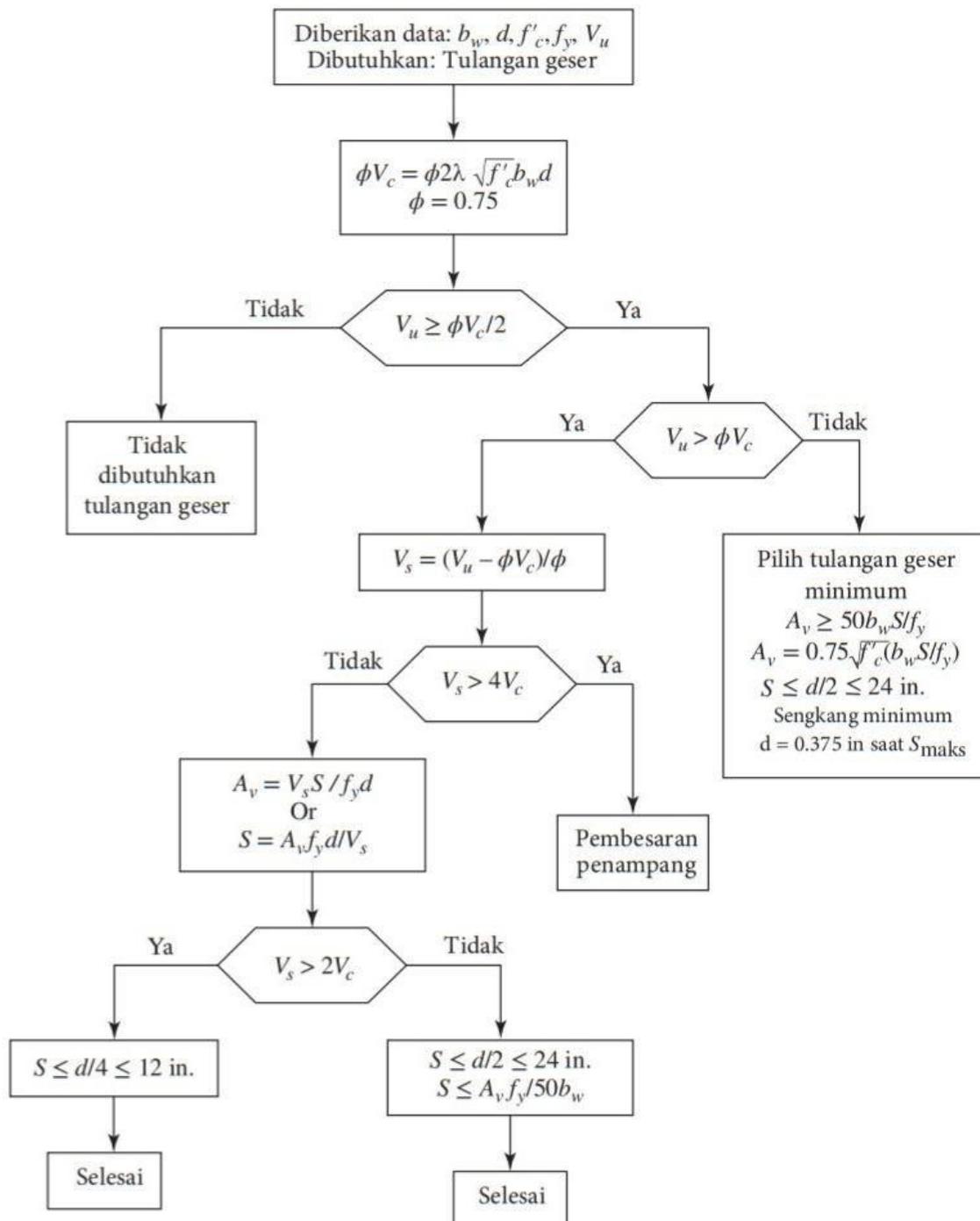
Rasio baja yang lebih kecil akan menyebabkan perpanjangan retak lentur yang lebih tinggi terjadi pada balok. Bukan retak juga cenderung lebih lebar dibandingkan dengan balok dengan nilai rasio baja yang besar. Penurunan nilai maksimum komponen geser, V_d , dan V_{ay} , yang ditransfer melintasi retak miring oleh aksi dowel atau oleh tegangan geser pada permukaan retak, disebabkan oleh peningkatan lebar retak (Gambar 3.10).

g. Rasio lengan geser, a/d

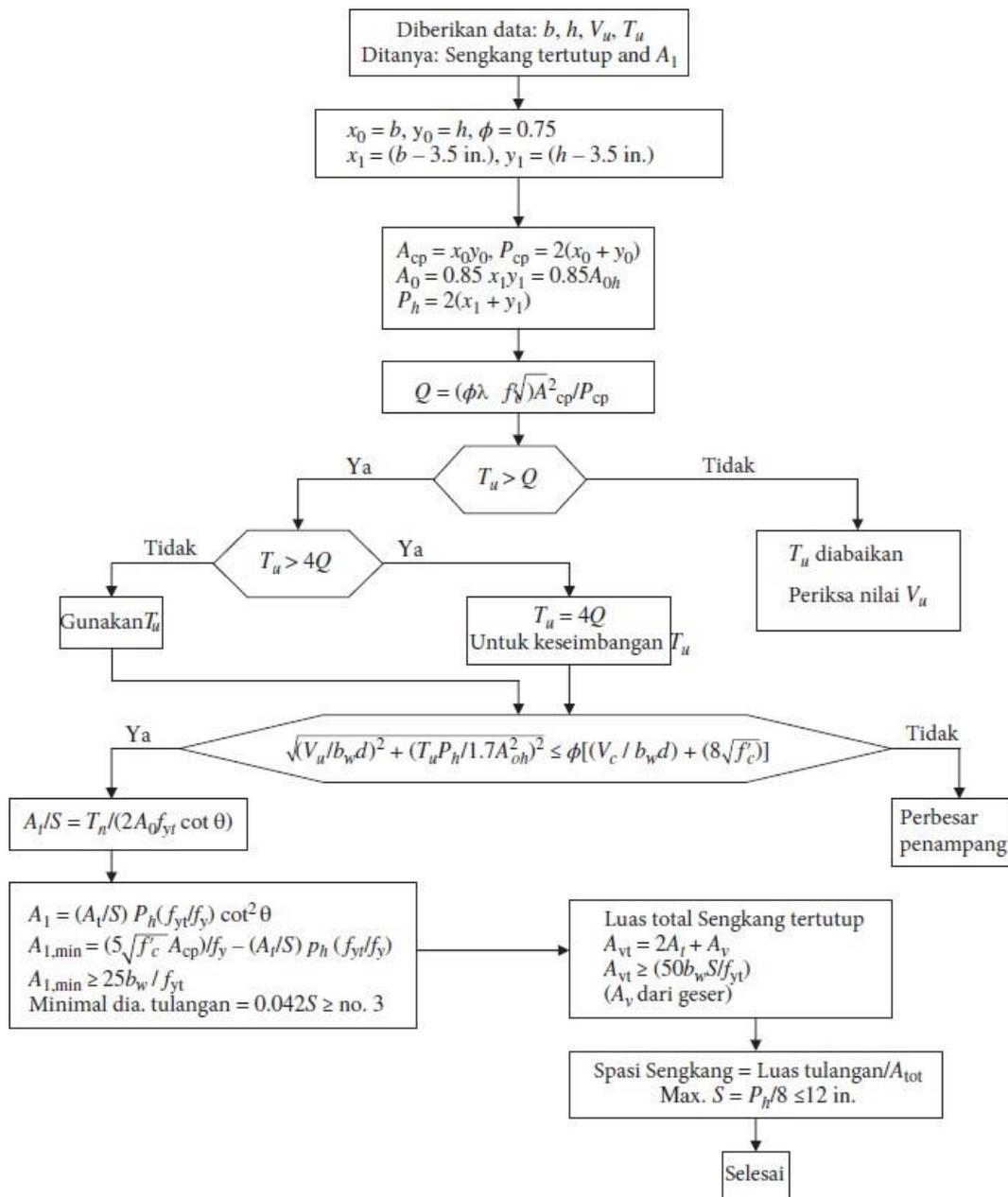
Rasio a/d mempengaruhi jenis keruntuhan geser. Untuk $a/d = 2.5$ adalah nilai kritis. Jika $a/d < 2,5$ maka tahanan geser mekanisme adalah aksi lengkung dan $a/d > 2,5$ maka tahanan geser mekanisme adalah aksi balok.



Gambar 3.11 Diagram Alir Analisis Penampang untuk Tulangan Rangkap [11]



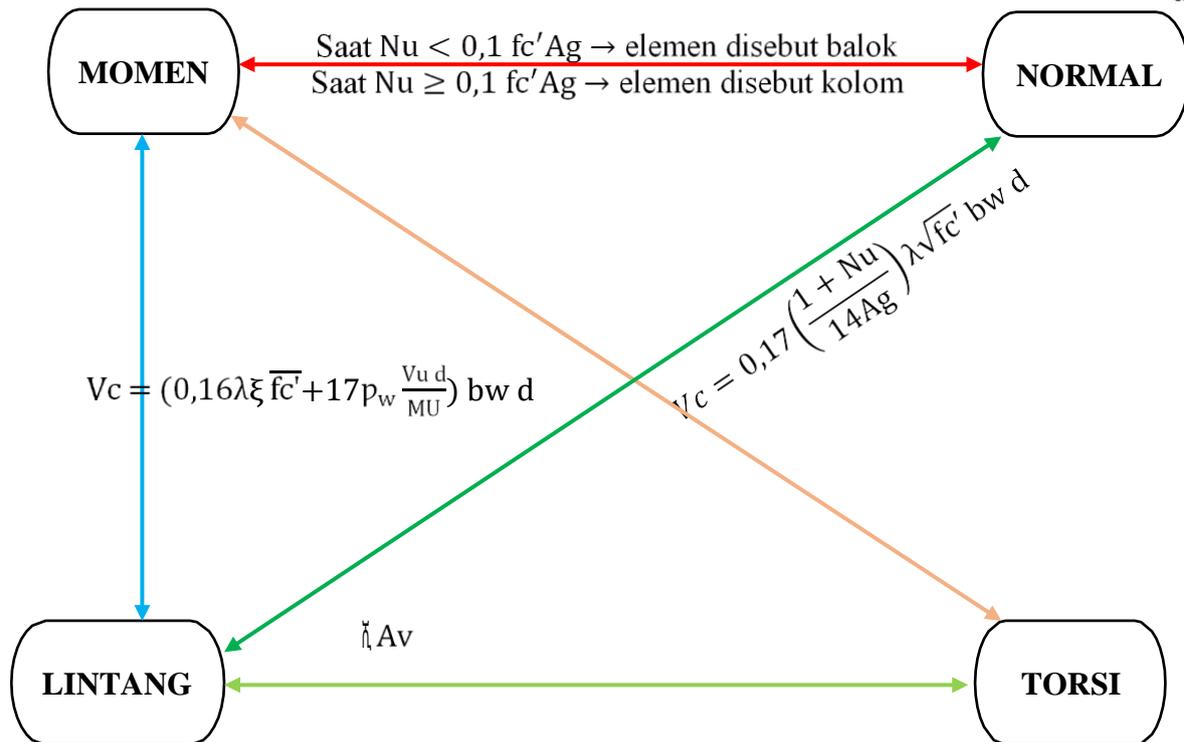
Gambar 3. 12 Diagram Alir untuk Mencari Nilai Geser [11]



Gambar 3. 13 Diagram Alir untuk Desain Kombinasi Geser dan Torsi [11]

3.3 Penutup

Dari hasil analisa struktur, akan diperoleh gaya-gaya dalam maksimum (*ultimate*) seperti momen, lintang, normal dan torsi yang digunakan untuk menentukan pemodelan dari dimensi struktur dan juga sebagai pendekatan dari kuat atau tidaknya struktur. Hubungan antara gaya-gaya dalam dapat dilihat pada **Error! Reference source not found.** Oleh karena itu, dalam mendesain bangunan harus mengikuti batasan-batasan yang sesuai dengan ketentuan/peraturan yang berlaku agar diperoleh suatu bangunan yang aman dan berkelanjutan.



Gambar 3.14 Hubungan Antara Gaya-Gaya Dalam

Referensi

- [1] J. K. Wight, *Reinforced Concrete Mechanics and Design*, Seventh Ed. Pearson Education, 2016.
- [2] R. Park and T. Paulay, *Reinforced Concrete Structures*. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1975.
- [3] ACI Committee 318, *318-19 Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary*. 2019.
- [4] D. Christianto, C. A. Makarim, Tavoio, and Y. U. Liucius, "Size effect on shear stress of concrete beam without coarse aggregate," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1477, no. 5, 2020, doi: 10.1088/1742-6596/1477/5/052043.
- [5] Joint ASCE-ACI Committee 426, "The Shear Strength of Reinforced Concrete Members," *J. Struct. Div.*, no. 6, 1973.
- [6] ACI-ASCE Committee 326, "Shear and Diagonal Tension," *ACI J. Proc.*, vol. 59, 1962.
- [7] G. N. J. Kani, "The Riddle of Shear Failure and its Solution," *ACI J. Proc.*, vol. 61, no. 4, pp. 441–468, 1964, doi: 10.14359/7791.
- [8] G. N. J. Kani, "Basic Facts Concerning Shear Failure," *ACI J. Proc.*, vol. 63, no. 6, 1966, doi: 10.14359/7644.
- [9] G. N. J. Kani, "How Safe are Our Large Reinforced Concrete Beams?," *ACI J. Proc.*, vol. 64, no. 3, 1967, doi: 10.14359/7549.
- [10] F. Leonhardt and R. Walther, "Contribution to the Treatment of Shear in Reinforced Concrete," *Natl. Res. Counc. Canada Tech. Transl. 1172*, no. February, 1965.
- [11] M. N. Hassoun and A. Al-Manaseer, *Structural Concrete Theory and Design*, Sixth. Structural Concrete Theory and Design Sixth Edition: John Wiley & Sons, Inc., 2015.

PROFIL PENULIS



Daniel Christianto, S.T., M.T. Lulus dari Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara tahun 1993 dan Magister Teknik dari Universitas Indonesia tahun 1999 serta sekarang sedang menempuh pendidikan Doktor Teknik Sipil sebagai kandidat doktor untuk disertasi yang bertopik geser pada elemen lentur beton. Telah menjadi dosen tetap Jurusan Teknik Sipil sejak tahun 1994 sampai sekarang. Minat penelitian meliputi struktur beton bertulang dan mendapat dana hibah dikti tahun 2017-2020.



Vryscilia Marcella, mahasiswi angkatan 2018 yang sedang menempuh pendidikan di peminatan struktur/konstruksi pada Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara. Saat ini sedang Menyusun skripsi dengan topik kegempaan pada bangunan beton bertulang sesuai SNI 2847 – 2019 dan SNI 1726 – 2019.



Channy Saka, mahasiswi angkatan 2018 yang sedang menempuh pendidikan di Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara. Saat ini sedang mengambil mata kuliah Perancangan Konstruksi Bangunan Gedung Bertingkat sesuai SNI 2847 – 2019 dan SNI 1726 – 2019.

JURUSAN TEKNIK SIPIL FT UNTAR

JL. Letj. Jen. S. Parman No. 1, Jakarta 11440

sipil@untar.ac.id

(021) 5672548