

**PENGARUH MOMEN PUNTIR
PADA BALOK BETON**

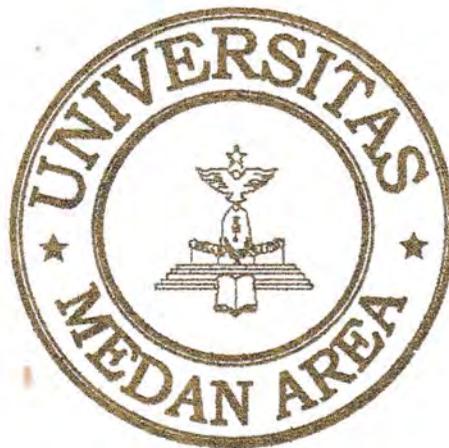
Studi Literatur



TUGAS AKHIR

**DIAJUKAN UNTUK MEMENUHI PERSYARATAN
UJIAN SARJANA**

**OLEH :
REDISON ABDI SIBARANI
99. 811. 0013**



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2004**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 3/1/24

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

PENGARUH MOMEN PUNTIR PADA BALOK BETON

TUGAS AKHIR

Oleh :
REDISON ABDI SIBARANI
99. 811. 0013



Disetujui

Pembimbing I,

Pembimbing II,


(Ir. H. Edy Hermanto)


(M. Iqbal Lubis, ST.)

Mengetahui :

Dekan Fakultas Teknik

Ketua Jurusan SIPIL


(Drs. Dadan Ramdan, M.Eng.Sc)


(Ir. H. Edy Hermanto)

Tanggal Lulus :

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 3/1/24

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area
Access From (repository.uma.ac.id)3/1/24

RINGKASAN

Torsi merupakan salah satu momen yang terjadi pada balok beton yang timbul akibat balok memikul beban eksentris dimana titik kerja beban berada di luar sumbu balok. Balok yang memikul pelat tidak simetris pada gudang bertingkat, balok kantilever dan balok yang memikul pelat adalah merupakan balok-balok yang mengalami torsi.

Untuk mengetahui pengaruh momen torsi pada balok-balok seperti itu dihitung dengan menggunakan prosedur analisis struktur yang lazim (sesuai SKSNI T-15-1991-03) dan perencanaannya didasarkan atas keadaan batas runtuh.

Dalam tulisan ini menggunakan beban torsi pada balok beton persegi berturut-turut 25, 30, 35, 40, 45 dan 50 KNm. Mutu beton, mutu baja dimensi penampang dan yang lainnya ditetapkan. Terlihat bahwa semakin besar torsi, maka semakin luas penggunaan tulangan memanjang serta semakin mengecil jarak antara sengkang atau dimensi penampang harus diperbesar.

Summary

Torsi of represent one of the momen that happened arising out concrete log effect of log shoulder burden of eksentreis where dot work burden reside in outside log tinder. Log shouldering asymemetric plate warehouse of grade and cantilever shouldering plate to rerepresent naturall logs of torsi.

To know infulence of torsi momen logs is like that calculated by using procedure analyse structure which SKSNI T-15-1991-03 and its planning based of boundary collapse.

In this article use burden of torsi square concrete log successively 25, 30, 35, 40, 45 and 50 Knm. Quality of concrete, quality of dimension steel of shave the other and specified. Seen that is ever greater of torsi momen hence proressively wide usage of long bone and also progressively minimizing apart between dimension or chock of shave to be enlarged.

KATA PENGANTAR

Dengan segala kerendahan hati dan penuh rasa bahagia penulis mengucapkan puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas segala berkat dan anugerahNya yang telah dilimpahkan, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.

Tugas akhir ini berjudul **“Pengaruh Momen Puntir Balok”** disusun sebagai syarat kelulusan untuk memperoleh kesarjanaan tahap pendidikan Strata I pada jurusan Teknik Sipil Universitas Medan Area.

Pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa terimakasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Ir. H. Edy Hermanto, selaku Dosen Pembimbing I dan Ketua Jurusan Teknik Sipil
2. Bapak M. Iqbal Lubis ST, selaku Dosen Pembimbing II
3. Bapak Ir. Kamaludin Lubis, selaku Dosen Wali
4. Bapak Drs. Dadan Ramdhan Msc, selaku Dekan Fakultas Teknik
5. Staf Dosen Pengajar Teknik Sipil
6. Staf Pegawai Jurusan Teknik Sipil
7. Staf Pegawai Perpustakaan Universitas Medan Area
8. Orang Tua, Abang, Kakak dan Adik yang telah memberikan cukup banyak dukungan moril maupun materil.
9. Rekan-rekan Mahasiswa dan semua pihak yang telah membantu hingga selesainya penulisan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa penulisan tugas ini tentunya tak luput dari kesalahan dan kekurangan dikarenakan keterbatasan pengetahuan penulis. Untuk

itu penulis sangat mengharapkan saran dan kritik yang bersifat membangun dari berbagai pihak. Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi pihak-pihak yang membutuhkan.

Medan, Agustus 2004

Penulis

REDISON ABDI SIBARANI



DAFTAR ISI

RINGKASAN	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR NOTASI	vi
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	x
BAB I PENDAHULUAN	
I.1. Umum.....	1
I.2. Latar Belakang Penulisan.....	1
I.3. Maksud dan Tujuan Penulisan	2
I.4. Permasalahan	2
I.5. Batasan Masalah	3
I.6. Metodologi Penulisan	3
BAB II TORSI	
II.1. Pengertian Torsi.....	4
II.2. Torsi Terhadap Balok Beton Tanpa Tulangan.....	6
II.2.1. Tegangan Torsi.....	6
II.2.2. Kekakuan Torsi	9
II.2.3. Analisis Kekuatan Penampang.....	10
II.3. Torsi Terhadap Balok Beton Bertulang.....	12
II.3.1a. Analisa Kekuatan Penampang.....	12
II.3.1.b. Kekuatan yang Disumbangkan Oleh Beton	15

II.3.2 Kekuatan Penampang (Teori Rangka Ruang)	19
II.3.3 Batang Beton Dengan Tulangan Memanjang	20
II.3.4 Batang Beton Tanpa Tulangan Badan	24
II.3.5 Batang Beton Dengan Tulangan Badan	25
II.4. Tulangan Torsi	28
II.4.1. Tulangan Akibat Gaya Torsi	28
II.4.2. Tulangan Puntir dan Geser Akibat Torsi Dan Gaya Lintang	33
II.4.3. Ketentuan-ketentuan Perencanaan (peraturan SK SNI T- 15 1991-03)	36
II.4.4. Langkah-langkah Perencanaan Penulangan (Sesuai SK SNI T- 15 1991-03)	39
BAB III APLIKASI PERHITUNGAN	
III.1. penulangan Torsi	47
III.2. Penulangan Geser Dan Torsi	54
BAB IV KESIMPULAN	
IV kesimpulan	71
DAFTAR PUSTAKA	73

DAFTAR NOTASI

a	$=$	bentang geser, jarak antara beban terpusat dan muka dari tumpuan
A_g	$=$	luas bruto penampang, mm^2
A_l	$=$	luas tulangan longitudinal yang menahan torsi, mm^2
A_s	$=$	luas tulangan tarik non pratekan, mm^2
A_t	$=$	luas satu kaki sengkang tertutup dalam daerah sejarak s yang menahan torsi, mm^2
A_v	$=$	luas tulangan geser dalam daerah sejarak s , mm^2
A_{vt}	$=$	luas tulangan geser ditambah torsi, mm^2
b	$=$	lebar muka komponen struktur yang tertekan, mm
b_e	$=$	lebar efektif dari balok T atau L, mm
b_t	$=$	lebar penampang yang dibatasi oleh sengkang tertutup yang menahan torsi, mm
b_w	$=$	lebar badan balok, mm
c_t	$=$	faktor yang menghubungkan sifat tegangan geser $= \frac{b_w d}{\sum x^2 y}$
d	$=$	jarak dari serat tekan terluar terhadap titik berat dari tulangan tarik longitudinal, mm
DS	$=$	diameter sengkang, mm
f'_c	$=$	kuat tekan beton yang disyaratkan, Mpa
f_d	$=$	tegangan akibat beban mati tak terfaktor, pada serat dari penampang dimana tegangan tarik disebabkan oleh beban luar, Mpa
f_{cb}	$=$	tegangan tekan dalam beton akibat beban luar
f_{cr}	$=$	tegangan yang menyebabkan terjadinya keruntuhan beton persegi

- f_t = tegangan torsi dalam beton akibat beban luar
- f_{tb} = tegangan tarik dalam beton akibat beban luar
- f_y = kuat leleh yang disyaratkan dari tulangan non-pratekati, Mpa
- H = tinggi total komponen struktur, mm
- L_n = bentang bersih diukur dari muka ke muka tumpuan
- M_{max} = momen terfaktor maksimum pada penampang akibat beban luar
- M_u = momen terfaktor pada penampang
- S = spasi dari tulangan geser atau torsi dalam arah paralel dengan tulangan longitudinal, mm
- S_1 = spasi dari tulangan vertikal dalam dinding, mm
- S_2 = spasi dari tulangan geser atau torsi yang tegak lurus terhadap tulangan longitudinal atau spasi dari tulangan horizontal dalam dinding, mm
- T_c = kekuatan momen torsi nominal yang disumbangkan oleh beton
- T_{cr} = besar tegangan puntir yang menyebabkan retak dan keruntuhan batang beton persegi tanpa tulangan.
- T_n = kuat momen torsi nominal
- T_s = kuat momen torsi nominal yang disumbangkan oleh tulangan torsi
- T_u = momen torsi terfaktor pada penampang
- V_c = kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton
- V_n = kuat geser nominal
- V_s = kuat geser nominal yang disumbangkan oleh tulangan geser
- V_u = gaya geser terfaktor pada penampang
- X = dimensi pendek dari bagian berbentuk persegi dari penampang

- Y = dimensi panjang dari bagian berbentuk persegi dari penampang
- X_1 = dimensi pusat yang pendek dari sengkang persegi tertutup
- α_t = koefisien sebagai fungsi dari y_1/x_1
- ρ = rasio dari tulangan tarik non-pratekan = A_s/b_d
- ρ_b = rasio tulangan yang memberikan kondisi regangan yang seimbang
- \emptyset = faktor reduksi kekuatan



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Balok dengan beban torsi	4
Gambar 2.2.	Balok tepi dibebani torsi oleh pelat.....	5
Gambar 2.3.	Torsi kompatibilitas	6
Gambar 2.4.	Poros siku empat (a) sebelum (b) sesudah dikenakan momen torsi	7
Gambar 2.5.	Tegangan-tegangan yang disebabkan oleh puntir	7
Gambar 2.6.	Retak puntir pada batang beton tanpa tulangan	10
Gambar 2.7.	Retak Puntir pada beton bertulang	12
Gambar 2.8.	Gaya-gaya yang bekerja pada penampang runtuh lentur miring	14
Gambar 2.9	Komponen-komponen gaya resultan P yang bekerja pada daerah tekan	14
Gambar 2.10.	Dimensi penampang.....	17
Gambar 2.11.	Diagram interaksi lentur torsi untuk tulangan memanjang tarik dan tekan yang sama.....	21
Gambar 2.12.	Hubungan interaksi lentur torsi.....	22
Gambar 2.13.	Gaya tarik pada tulangan akibat torsi.....	28
Gambar 2.14.	Grafik untuk menentukan a_c	32
Gambar 2.15.	Gaya tarik pada tulangan dan penentuan jarak b_1, h_1	41
Gambar 3.1.	Penampang balok soal III.1a.....	47
Gambar 3.2.	Penulangan torsi pada balok persegi, soal III.1a.....	49
Gambar 3.3.	Penulangan geser dan torsi pada balok persegi, soal III.2 _a	59
Gambar 3.4.	Penulangan geser dan torsi pada balok persegi, soal III.2 _b	64
Gambar 3.5.	Penulangan geser dan torsi pada balok persegi, soal III.2 _c	70

DAFTAR TABEL

Tabel II.1.	Harga-harga α dan β dari perbandingan y/x	8
Tabel II.2.	Nilai $\varnothing T_{s \text{ maks}}$ dalam b^2h	31
Tabel II.3.	Nilai $\varnothing T_{s \text{ min}}$ dalam b^2h	33
Tabel II.4.	Nilai $\varnothing T_{c \text{ red}}$ dalam b^2h	34
Tabel II.5.	Hasil perhitungan penulangan torsi.....	70



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. UMUM

Torsi merupakan salah satu momen yang terjadi pada balok yang disebabkan oleh beban-beban eksentris. Akibatnya dapat menimbulkan kerusakan pada struktur beton.

Untuk mengantisipasi masalah tersebut diperlukan tulangan torsi yaitu sengkang yang dipasang arah melintang retakan dan tulangan memanjang yang dipasang pada arah memanjang balok.

1.2. Latar belakang penulisan

Beton terdiri dari campuran antara bahan-bahan agregat halus dan agregat kasar yaitu pasir, batu atau kerikil dan ditambahkan bahan perekat semen dan air secukupnya menjadi satu kesatuan material yang kokoh untuk menahan beban-beban yang diterimanya. Nilai kekuatan serta daya tahan (durability) beton merupakan fungsi dari banyak faktor diantaranya adalah nilai banding campuran, metode pelaksanaan pengecoran dan kondisi perawatan pengerasannya.

Nilai kuat tekan beton relatif lebih tinggi dibandingkan nilai kuat tariknya. Pada penggunaan sebagai komponen struktur bangunan untuk menahan gaya geser maupun torsi umumnya beton diperkuat oleh tulangan baja sedangkan beton hanya diperhitungkan untuk menahan gaya tekan.

Dalam merencanakan struktur beton diperlukan pengetahuan khusus sesuai dengan kasus yang ada. Hal ini sangat berkaitan dalam penentuan kuat tekan beton dimensi penampang serta sistim penulangannya.

Torsi merupakan beban luar yang besar pengaruhnya terhadap konstruksi sehingga beton dapat mengalami gagal puntir. Berawal dari retak sedikit terlihat dipermukaan kemudian meluas sampai runtuhnya batang beton tersebut. Dengan demikian sangat penting mendesain tulangan puntir untuk mengatasi masalah seperti itu.

1.3. Maksud dan tujuan penulisan

Maksud penulisan tugas akhir ini adalah untuk menganalisa puntir dan kombinasi puntir dengan geser yang bekerja secara bersamaan serta perilaku batang beton yang menderita puntir.

Tujuannya adalah mengetahui pengaruh momen puntir pada tampang balok beton serta tulangannya.

1.4. Permasalahan

Dalam suatu perencanaan bangunan hal yang penting adalah bagaimana bangunan tersebut dapat dibangun dengan syarat aman kokoh dan ekonomis. Aman artinya bahwa konstruksi tidak mengalami keruntuhan apabila diberi beban yang sudah ditentukan dan ekonomis berarti struktur tersebut memiliki bentuk atau dimensi yang tidak boros sehingga akan menghemat pembiayaan.

Hal yang menjadi permasalahan dalam penulisan ini adalah

- Perencanaan struktur balok
- Menentukan dimensi balok
- Menentukan kuat tekan beton
- Perhitungan tegangan geser dan lentur
- Sistem penulangan puntir, geser dan lentur

- Cara perhitungan yang digunakan
- Analisa perbandingan momen puntir dan momen lentur

1.5. Batasan masalah

Dalam penyusunan tugas akhir ini karena keterbatasan kemampuan dan referensi data yang ada penulis memberi batasan-batasan masalah sebagai berikut : Cara perhitungan untuk mendimensi balok disesuaikan dengan standart tata cara perhitungan struktur berdasarkan peraturan beton SK SNI T-15-1991-03.

- Aplikasi perhitungan hanya untuk mendimensi balok beton yang berpenampang persegi

1.6. Metodologi penulisan

Penulisan tugas akhir ini dilakukan berdasarkan penelitian pustaka (library research) dengan langkah-langkah sebagai berikut :

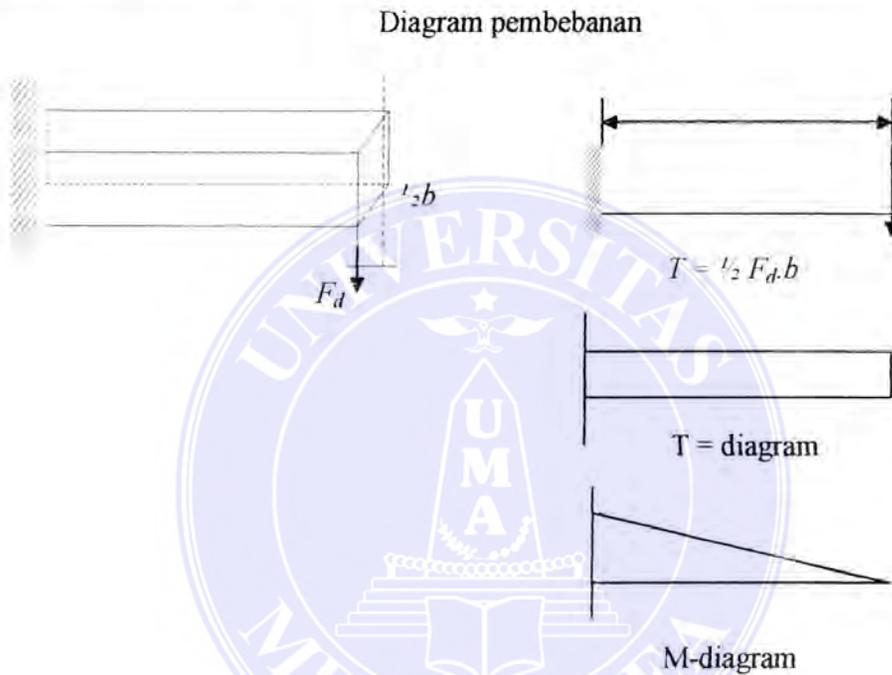
- Memperoleh buku referensi yaitu daftar buku-buku yang dibaca dan diteliti sebagai bahan masukan dalam tulisan.
- Menganalisa hasil bacaan
- Menarik kesimpulan

BAB II

TORSI

II.1. Pengertian Torsi (Puntir)

Torsi terjadi pada waktu komponen struktur atau balok memikul beban eksentris sehingga mengalami perputaran terhadap sumbu memanjang.



Gambar 2.1. Balok Dengan Beban Torsi

Sumber : WC. Vis dan Gideon Kesuma Dasar-Dasar Perencanaan Beton Bertulang (hal. 145)

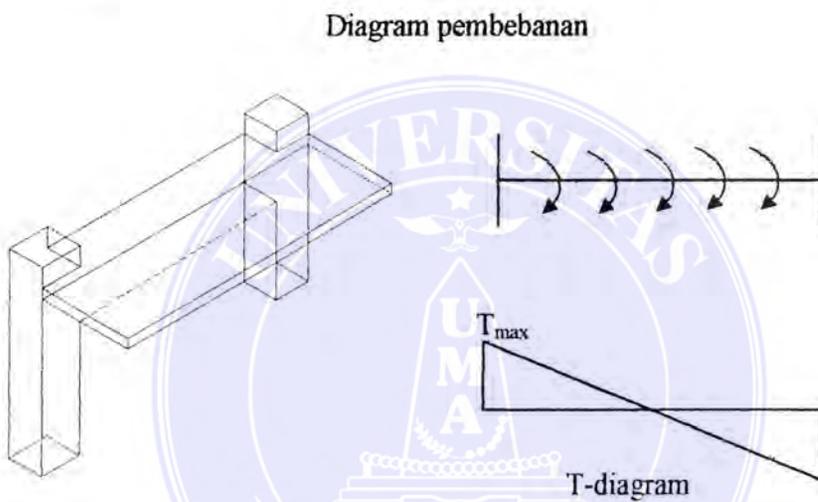
Beban terpusat F_d pada ujung balok (gambar 2.1) mengakibatkan momen puntir karena letak titik kerja beban tidak terletak pada sumbu simetri vertikal.

Torsi dan sistem struktural dapat digolongkan atas dua tipe yaitu :

- Torsi statis tertentu (torsi keseimbangan), dimana tidak ada redistribusi pegangan torsial ke batang struktur lain setelah terjadi retak karena terjadi keseimbangan momen torsi ini dapat ditentukan dari statika saja.
- Torsi tak tentu (torsi keserasian atau kompatibilitas), dimana redistribusi tegangan torsial dan momen-momen setelah terjadi retak mempengaruhi

keserasian antara komponen-komponen struktural yang bertemu pada satu titik buhul. Torsi ini tidak dapat ditentukan dari statika, dan torsi (puntir) diperoleh untuk kompatibilitas deformasi antara elemen-elemen yang berhubungan.

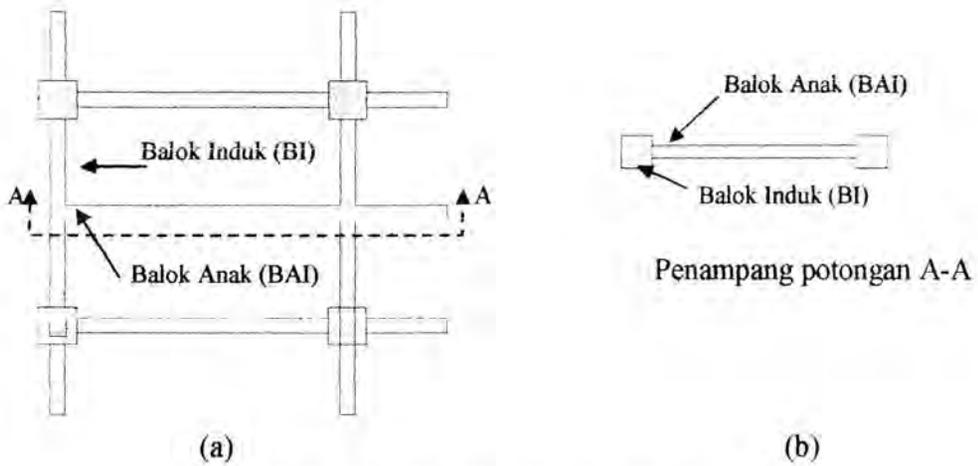
Balok tepi atau balok spandrel (Gambar 2.2) yang dibebani torsi oleh pelat mengalami momen torsi dan digolongkan sebagai torsi statis tertentu/torsi keseimbangan.



Gambar 2.2. Balok Tepi Yang Dibebani Torsi Oleh Pelat

Sumber : WC. Vis dan Gideon Kesuma Dasar-Dasar Perencanaan Beton Bertulang (hal. 145)

Contoh lain pada struktur bangunan adalah balok anak pada Gambar 2.3. Balok Induk BI terangkai sebagai satu kesatuan rangka monolit dengan balok BA-1 (Gambar 2.3a). Pada Gambar 2.3b tampak bahwa sebagai akibat sifat kekakuan timbul momen ditempat dukungan blok anak BA-1 dan momen ini mengakibatkan gaya puntir terhadap balok induk. Torsi pada balok induk boleh direduksi karena redistribusi momen dalam anak memungkinkan. Pola dari torsi demikian dinamakan torsi kompatibilitas.



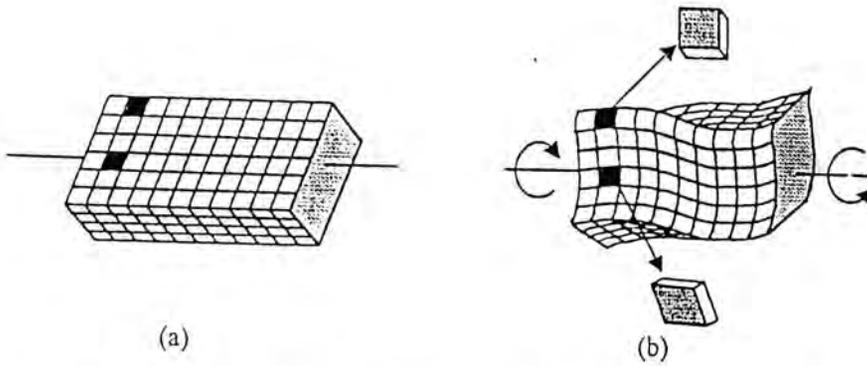
Gambar 2.3. Torsi Kompatibilitas

Sumber : Istimawan Dipohusodo, *Struktur Beton Bertulang* (hal. 137).

II.2. Torsi Terhadap Balok Beton Tanpa Tulangan

II.2.1 Tegangan Torsi

Masalah puntir sebuah poros berpenampang segi empat merupakan suatu masalah yang rumit, karena terjadi pelekukan (warping) pada penampang poros selama puntiran berlangsung. Pelekukan ini dapat dilihat pada suatu irisan sebuah balok yang terbuat dari karet (Gambar 2.4). Pada permukaan balok ini dilukiskan suatu sistem kotak-kotak kecil. Terlihat bahwa sewaktu puntiran terjadi, garis-garis yang semula tegak lurus terhadap sumbu balok kini melengkung. Ini menandakan bahwa torsi kotak-kotak kecil disebut diatas bervariasi sepanjang sisi penampang ini, mencapai harga maksimum ditengah-tengah dan menjadi nol dibagian pojok. Oleh sebab itu dapat diperkirakan tegangan geser bervariasi seperti halnya torsi ini, yaitu mencapai harga maksimum dipertengahan sisi-sisi dan menjadi nol di pojok-pojok penampang.



Gambar 2.4. Poros Siku Empat (a) Sebelum (b) Sesudah Dikenakan Momen Puntir

Sumber : E.P. Povop Mekanika Teknik (hal.87)

Persoalan puntir yang umum sering disebut sebagai persoalan St. Venant elastis, menunjukkan bahwa tegangan geser akibat puntir terdistribusi seperti Gambar 2.5b. Tegangan geser maksimum terjadi pada titik tengah dari sisi yang panjang dan arahnya sejajar dengan sisi tersebut, besarnya sama dengan :

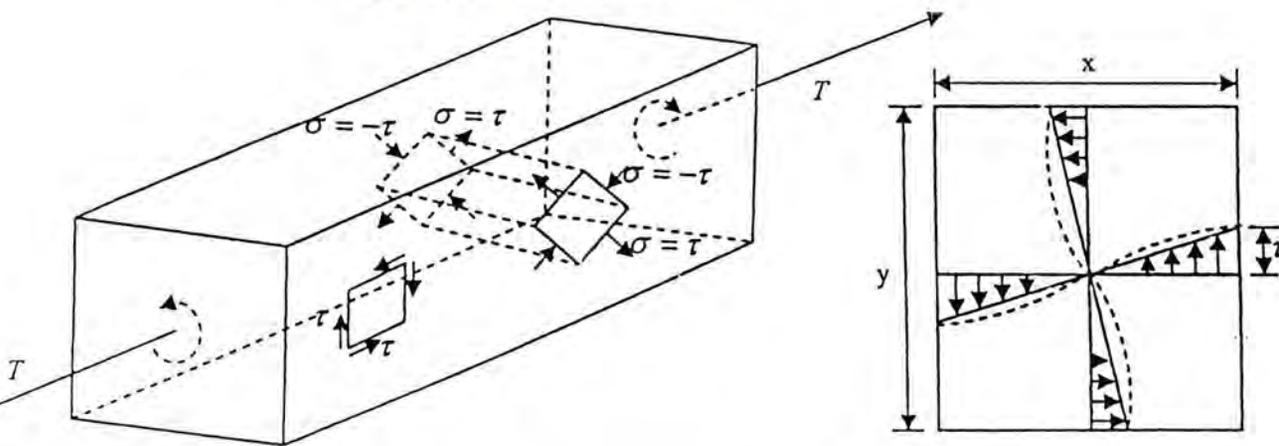
$$t_{max} = \frac{T}{\alpha x^2 y} \dots\dots\dots (II.1)$$

Dimana : T = momen puntir terpakai

x = sisi penampang yang pendek

y = sisi penampang yang panjang

α = suatu faktor numerik yang besarnya kurang lebih $\frac{1}{4}$, tergantung kepada rasio $\frac{y}{x}$ (Tabel II.1)



Gambar 2.5. Tegangan-Tegangan yang Disebabkan oleh Puntir

Apabila materialnya tidak elastis, bentuk distribusi tegangannya adalah seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.5a dengan garis terputus-putus dan tegangan maksimum masih tetap dapat dinyatakan oleh persamaan (11.1), kecuali α mempunyai harga yang lebih besar atau teratur mendekati $1/3$.

Besarnya tegangan maksimum dapat dengan ketelitian yang memadai dari persamaan empiris, yaitu: $T_{max} = \frac{T}{\alpha x^2 y} (3 + 1,8 \sqrt{y})$

Tabel II.1 Harga-harga α dan β dari perbandingan y/x

$y/x =$	1.00	1.50	1.75	2.00	2.50	3.00	4.00	6	8	10	∞
$\alpha =$	0.028	0.231	0.239	0.245	0.258	0.267	0.282	0.299	0.307	0.313	0.333
$\beta =$	0.141	0.196	0.214	0.229	0.249	0.263	0.281	0.299	0.307	0.313	0.333

Pasangan tegangan geser bekerja pada elemen yang berada didekat permukaan lebar, seperti pada Gambar 2.5a. Tegangan ini berhubungan dengan tegangan tarik dan tekan yang sama besarnya pada permukaan elemen yang membentuk sudut 45° terhadap geser. Tegangan tarik miring ini sama jenisnya dengan yang disebabkan oleh geser melintang. Namun demikian, didalam persoalan puntir, karena tegangan geser puntir mempunyai tanda yang berlawanan pada sisi-sisi batang yang berlawanan (Gambar 2.5b), maka tegangan tarik diagonal pada setiap sisi-sisi saling tegak lurus antara yang satu dengan yang lain (Gambar 2.5a).

Apabila tegangan tarik diagonal melampaui kekuatan-kekuatan yang lebih lemah dan selanjutnya retak kini akan segera menyebar keseluruh penampang (Gambar 2.6). Retak tarik membuat sudut 45° terhadap arah mendatar, yaitu tegak lurus terhadap arah tegangan tarik diagonal. Retak yang terdapat pada sebuah sisi balok dengan lebar yang kecil, dimana tegangan tarik diagonalnya lebih kecil,

mempunyai kemiringan yang lebih tidak tertentu, seperti terlihat pada gambar dan garis retak pada permukaan balok yang sempit. Hal ini melengkapi terbentuknya suatu permukaan retak dan menyeluruh pada penampang balok yang dapat menyebabkan runtuhnya balok.

II.2.2. Kekakuan Torsi

Kekakuan torsi K_t dari suatu unsur didefinisikan sebagai perbandingan dari momen T terhadap sudut puntir θ dalam panjang L , ketegaran (rigidly) torsi umumnya dinyatakan dengan simbol GC , dimana G adalah modulus elastisitas geser dan C adalah tetapan torsi. Dengan demikian jika θ merupakan sudut putaran torsi total dalam panjang L , maka :

$$K_t = \frac{T}{\theta} = \frac{G}{C} \dots\dots\dots (II.2)$$

Tetapan torsi C dari suatu penampang persegi dengan tinggi y dan lebar x dapat dinyatakan sebagai :

$$C = \beta x^3 y \dots\dots\dots (II.3)$$

dimana : C = kekakuan torsi

β = fungsi perbandingan y terhada x (Tabel II.1)

Dengan demikian sudut puntir per satuan panjang untuk penampang segi empat dibentuk oleh persamaan :

$$\theta = \frac{T}{\beta x^3 y} \dots\dots\dots (II.4)$$

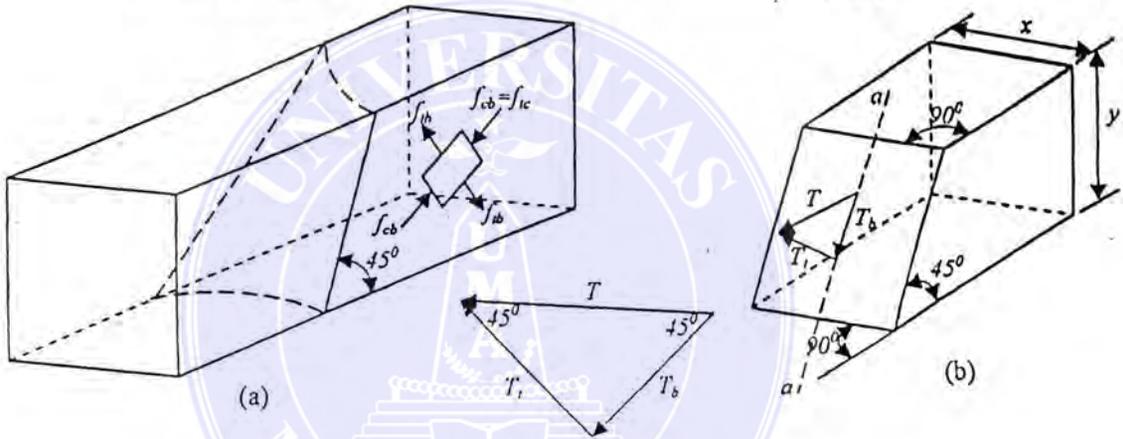
untuk semua bentuk penampang yang diamati, sudut puntir per satuan panjang adalah sebanding dengan momen puntir dan dapat dicari dengan menggunakan persamaan :

$$\theta = \frac{T}{C}$$

II.2.3. Analisa Kekuatan Penampang

Menurut teori elastisitas, penampang persegi beton polos akan mencapai kekuatan torsi T_c bila tegangan torsi maksimum $f_t(\text{maks})$, oleh karena torsi murni dan memberikan kondisi tegangan geser murni. Persamaan (II.1) dengan demikian menjadi :

$$T_c = \alpha x^2 y [f_t(\text{maks})] \dots \dots \dots (II.5)$$



Gambar 2.6. Retak Puntir Pada Batang Beton Tanpa Tulangan

Untuk tujuan analisis, permukaan retak yang bentuknya agak melengkung digantikan dengan suatu penampang datar yang membentuk sudut sebesar 45° terhadap sumbu (Gambar 2.6b). Pada bidang tersebut, terjadinya keruntuhan lebih disebabkan oleh lentur dari pada puntir. Seperti Gambar 2.6b dan 2.6c, puntir yang bekerja dapat diuraikan menjadi suatu komponen T_b yang menyebabkan terjadinya lentur terhadap sumbu a-a dari bidang keruntuhan dan suatu komponen T_t yang menyebabkan terjadinya puntir, dapat dilihat bahwa :

$$T_b = T \cos 45^\circ$$

Statis momen dari bidang keruntuhan terhadap sumbu a-a adalah :

$$Z = (x^2 y \cos ec 45^\circ) 6 (x^2 y)$$

Selanjutnya tegangan (tarik) lentur maksimum di dalam beton adalah :

$$F_{tb} = T_b/Z = (T \sin 45^0 \cos 45^0)6/(x^2y)$$

Atau

$$F_{tb} = 3 T/(x^2y) \dots \dots \dots (II.6)$$

Tegangan tarik yang dihitung dengan cara ini identik dengan tegangan geser St. Venant f'_{maks} (persamaan II.1) atau dengan tegangan tarik diagonal untuk $\alpha = 1/3$.

Apabila f_{tb} merupakan satu-satunya tegangan yang bekerja, retak akan terjadi pada saat f_r , dimana f_r adalah modulus kehancuran beton yang besarnya dapat diambil sebagai $f_r = 7,5 f'_c$ untuk beton dengan kepadatan normal. Namun demikian pada arah tegak lurus terhadap tegangan tarik f_{tb} terdapat tegangan f_{cb} yang sama besarnya (Gambar 2.6a dan 2.6b). Untuk keadaan yang mengalami tegangan dua arah ini, percobaan-percobaan menunjukkan bahwa dengan adanya tegangan tekan yang sama besarnya dalam arah tegak lurus terhadap tegangan tarik mengurangi kekuatan tarik beton sebesar 15%. Sebagai akibatnya, terbentuklah retak dan batang akan mengalami keruntuhan kurang lebih pada saat

$$f_{tb} = 0,85f_r = 6 \sqrt{f'_c}$$

anggaplah harga f_{tb} direncanakan sebagai tegangan retak :

$$f_{cr} = f_{tb} = 6 \sqrt{f'_c} \dots \dots \dots (II.7)$$

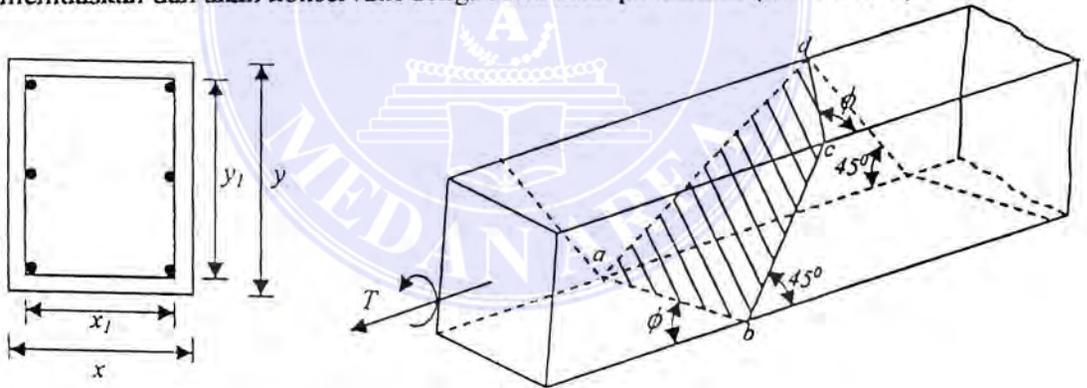
selanjutnya, dengan menggunakan f_{tb} sebagai f_{cr} pada persamaan (II.6), akan didapat besar puntir yang akan menyebabkan retak dan runtuhnya batang beton persegi tanpa tulangan.

$$T_{cr} = 6 \sqrt{f'_c} x^2 y/3 \dots \dots \dots (II.8)$$

II.3.1. Torsi Terhadap Balok Beton Bertulang

II.3.1.a. Analisa Kekuatan Penampang (Teori Lentur Miring)

Untuk memikul puntir, tulangan harus terdiri dari tulangan memanjang dan sengkang-sengkang dengan jarak antara yang berdekatan. Seandainya batang-batang memanjang saja, sulit diharapkan dapat memberikan pertambahan kekuatan puntir yang cukup berarti, karena batang-batang memanjang hanya dapat memberikan kekuatan puntir paling banyak 15%. Hal ini dapat dipahami karena satu-satunya cara yang dapat diberikan oleh tulangan memanjang dalam memberikan sumbangan terhadap kekuatan puntir adalah melalui pasak (Dowel Action), yang umumnya lemah dan tidak handal apabila retak memanjang sepanjang tulangan tidak ditahan oleh tulangan melintang. Kekuatan puntir yang hanya diperkuat dengan tulangan memanjang dapat diramalkan dengan cukup memuaskan dan akan konservatif dengan memakai persamaan (II.7 dan II.8)

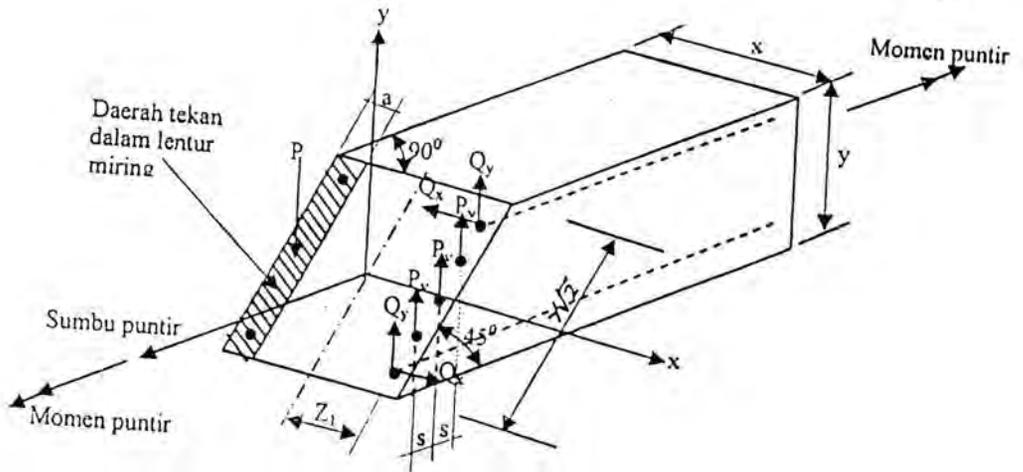


Gambar 2.7. Retak Puntir Pada Batang Beton Bertulang

Apabila batang-batang mempunyai tulangan yang cukup, seperti pada Gambar 2.7a beton akan mengalami retak pada suatu puntir yang besarnya sama atau hanya sedikit lebih besar dari batang beton yang tidak bertulang (persamaan II.8). Retak-retak tunggal pada Gambar 2.7b. Dalam keadaan yang sebenarnya, pada suatu jarak antara yang kecil terdapat sejumlah besar retak-retak spiral

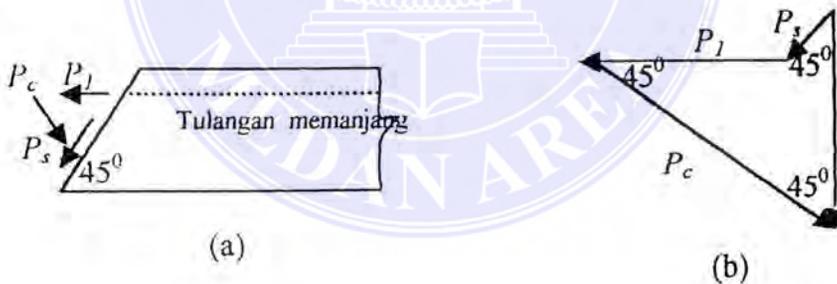
serupa itu. Setelah mengalami retak, daya pikul beton terhadap puntir berkurang sampai kurang lebih setengah dari daya pikul yang tidak mengalami retak, sisa puntir yang bekerja sekarang dipikul oleh tulangan. Redistribusi gaya dalam ini diperlihatkan di dalam grafik puntir-deformasi (Gambar 2.8), dimana pada besar puntir retak, puntir terus berlangsung walaupun besar puntir tidak bertambah (tetap) sampai tulangan mulai bekerja memikul bagian puntir yang tidak dapat lagi dipikul oleh beton. Selanjutnya apabila besar puntir yang bekerja bertambah, maka penambahan tersebut akan dipikul oleh tulangan. Keruntuhan akan terjadi apabila pada suatu tempat sepanjang batang tersebut beton hancur sepanjang garis seperti a-d pada Gambar 2.7. Pada batang yang direncanakan dengan baik kehancuran beton hanya terjadi setelah sengkang-sengkang meleleh.

Untuk menganalisis kekuatan puntir dapat dilakukan dengan memperhitungkan kesetimbangan gaya-gaya dalam yang disalurkan sepanjang permukaan yang akan mengalami keruntuhan. Penampang runtuk dimisalkan sebagai bidang tegak lurus terhadap sisi unsur yang lebih lebar dan menyudut 45° terhadap sumbu dari unsur. Bidang keruntuhan kemungkinan seperti yang ditunjukkan di dalam Gambar 2.9, disebabkan oleh momen puntir dalam arah yang digambarkan. Dengan pemisalan sebagian ragam keruntuhan lentur, daerah tekan diperlakukan sebagai dalam analisa balok biasa, yaitu di daerah tekan setinggi a dianggap terjadi tegangan tekan merata. Pada daerah terik dimana beton retak dan dimisalkan memanjang memikul geser di arah lebar beton retak lewat aksi pasak. Komponen horizontal dan vertikal dari aksi pasak dinyatakan dengan Q_x dan Q_y . Selama beton masih belum retak dan beton masih mengalirkan geser, tidak akan timbul aksi pasak.



Gambar 2.8. Gaya-Gaya Yang Bekerja Pada Penampang Runtuh Lentur Miring
 Sumber: *Chu-Kia Wang dan Charles G. Salmon, Desain Bertulang (hal. 277)*

Pada pihak tekan (Gambar 2.10a) tulangan memanjang menyumbangkan gaya tarik P_t , beton menyumbangkan perlawanan geser P_x di dalam bidang keruntuhan. Komponen-komponen dari gaya resultan P ditunjukkan dalam Gambar 2.10b. Penulangan melingkar di dalam daerah tekan diabaikan oleh karena kekuatan momen nominal M_n tidak terlalu dipengaruhi oleh tulangan tekan.



Gambar 2.9. Komponen-komponen gaya resultan P yang bekerja pada daerah tekan dari keruntuhan bidang
 Sumber : *Chu-Kia Wang dan Charles, Desain Beton Bertulang (hal.277)*

Pada sisi tarik, harus diperhatikan bahwa tidak ada gaya longitudinal yang terjadi. Agar gaya yang demikian dapat bekerja, gaya tersebut diimbangi oleh komponen tahanan yang bekerja berlawanan. Oleh karena hanya P_w, Q_x dan Q_y yang dimisalkan bekerja, dan gaya resultan harus diarahkan ke atas (berlawanan

dengan P pada daerah tekan), maka tidak boleh ada resultan tarik atau tekan didalam arah memanjang dari daerah tarik di bawah lentur miring

II.3.1.b.Kekuatan yang Disumbangkan oleh Beton

Kekuatan yang disumbangkan oleh beton dapat ditentukan dengan memperhitungkan tahanannya terhadap geser. Pada Gambar 2.10 tahanan geser (P_s) dapat dinyatakan sebagai :

$$P_s = v_{rata-rata} (y \sqrt{2} a \dots\dots\dots (II.9)$$

Dimana $v_{rata-rata}$ adalah tegangan geser rata-rata yang bekerja pada daerah tekan; $y \sqrt{2}$ merupakan lebar tekan; dan a adalah tinggi dari daerah tekan.

Secara alternatif, kekuatan geser P_s dapat dianggap sebanding dengan luas efektif $xy \sqrt{2}$. Dan $\sqrt{f'_c}$ Dengan demikian

$$P_s = k_1 xy \sqrt{f'_c} \dots\dots\dots (II.10)$$

dimana k_1 adalah tetapan perbandingan.

Dari gambar 2.10b dapat dilihat bahwa

$$P = \sqrt{2P_s + P_1} \dots\dots\dots (II.11)$$

Sumber : Chu-Kia Wang dan Charles G. Salmon, *Disain Bertulang* (hal. 278)

Suku pertama dalam persamaan (II.11) menyatakan bagian yang disumbangkan oleh beton. Dengan demikian kekuatan torsi T_c dari beton sama dengan $\sqrt{2P_s}$, dikalikan dengan lengan momen (misalnya $0,80x$)

$$\begin{aligned} T_c &= \sqrt{2P} \\ &= \sqrt{2k_1 xy} \sqrt{f'_c} (0,80x) \\ &= K_2 x^2 y \sqrt{f'_c} \dots\dots\dots (II.12) \end{aligned}$$

Sumber : Chu-Kia Wang dan Charles G. Salmon, *Disain Bertulang* (hal. 278).

Tetapan perbandingan k_2 telah ditentukan sebesar $2,4\sqrt{x}$. Dengan demikian persamaan (II.12) dapat dituliskan sebagai :

$$T_c = \left(\frac{2,4}{\sqrt{x}} \right) x^2 y \sqrt{f'_c} \dots\dots\dots (II.13)$$

Sumber : Chu-Kia Wang dan Charles G. Salmon, *Disain Bertulang* (hal. 278)

Persamaan (II.13) mewakili kekuatan momen torsi yang disediakan oleh beton dalam daerah tekan. Kekuatan akibat penulangan lingkaran dan memanjang.

Dengan demikian Gambar 2.9 dan 2.10 gaya-gaya PV , Q_x dan Q_y pada pihak tarik dan P_t pada pihak tekan masih harus ditempatkan.

1. Sumbangan dari vertikal tertutup adalah

$$P_v = A_t f_y \left(\frac{y_1}{s} \right) \dots\dots\dots (II.14)$$

Sumber : Chu-Kia Wang dan Charles G. Salmon, *Disain Bertulang* (hal. 278)

Dimana y_1/s (Gambar 2.11) adalah jumlah sengkang tertutup yang dipotong oleh bidang runtuh 45° .

2. Gaya tarik P_t dalam batang tulangan longitudinal yang memotong daerah tekan beton adalah

$$P_t = \xi \left(\frac{A_t}{2} \right) f_y \dots\dots\dots (II.15)$$

Sumber : Chu-Kia Wang dan Charles G. Salmon, *Disain Bertulang* (hal. 278)

Dimana (adalah faktor efisiensi untuk memperhitungkan tulangan memanjang yang ditempatkan pada dua titik atau lebih dalam daerah tekan, dan A_t adalah luas tulangan dari semua batangan memanjang (dimisalkan menjadi $A\sqrt{2}$ di dalam daerah tekan). P_t menyumbangkan

daerah torsi karena dari persamaan (II.11) terlihat bahwa P_1 merupakan sebagian dari P .

3. Gaya-gaya pasak Q_x dan Q_y bekerja setelah beton retak dan gaya-gaya ini dapat dimisalkan sebanding dengan luas penampang tulangan dan dengan perpindahan lateral dari tulangan, yang sebanding dengan jarak ($0,5x_2$ ataupun $0,5y_2$) dari pusat puntir terhadap tulangan. Dengan demikian

$$Q_x = k_3 A_1 y_2 \dots \dots \dots (II.16)$$

Sumber : Chu-Kia Wang dan Charles G. Salmon, *Disain Bertulang* (hal. 279)

$$Q_y = k_3 A_1 x_2$$

Dimana k_3 merupakan suatu tetapan perbandingan



Gambar 2.10 Dimensi penampang

Sumber : Chu-Kia Wang dan Charles G. Salmon, *Disain Bertulang* (hal. 279)

Selanjutnya dinyatakan perbandingan volume dari tulangan memanjang terhadap volume sengkang tertutup dengan m sedemikian hingga

$$m = \frac{A_1 s}{2A_1 (x_1 + y_1)} \dots \dots \dots (II.17)$$

Sumber : Chu-Kia Wang dan Charles G. Salmon, *Disain Bertulang* (hal. 279)

atau

$$A_1 = A_1 \left[\frac{2m(x_1 + y_1)}{s} \right] \dots \dots \dots (II.18)$$

Sumber : Chu-Kia Wang dan Charles G. Salmon, *Disain Bertulang* (hal. 279)

memasukan persamaan (II.18) kedalam persamaan (II.15) memberikan

$$P_l = \xi m \left[1 + \frac{y_1}{x_1} \right] \left[\frac{x_1 A_1 f_y}{s} \right] \dots\dots\dots (II.19)$$

Sumber : Chu-Kia Wang dan Charles G. Salmon, *Disain Bertulang* (hal. 279)

memasukan persamaan (II.18) kedalam persamaan (II.16) menghasilkan:

$$\begin{aligned} Q_x &= k_3 y_2 \left[\frac{2m A_1 (x_1 + y_1)}{s} \right] \\ &= 2 \frac{k_3}{f_y} \left[\frac{y_2}{y_1} \right] m \left[1 + \frac{y_1}{x_1} \right] \left[\frac{x_1 y_1 A_1 f_y}{s} \right] \dots\dots\dots (II.20) \end{aligned}$$

Sumber : Chu-Kia Wang dan Charles G. Salmon, *Disain Bertulang* (hal. 279)

Dengan cara serupa

$$Q_y = 2 \frac{k_3}{f_y} \left[\frac{y_2}{y_1} \right] m \left[1 + \frac{y_1}{x_1} \right] \left[\frac{x_1 y_1 A_1 f_y}{s} \right] \dots\dots\dots (II.21)$$

Sumber : Chu-Kia Wang dan Charles G. Salmon, *Disain Bertulang* (hal. 279)

Tahanan torsi dari tulangan menjadi

$$T_s = P_v \left(\frac{x_1}{x_2} \right) + p_1 \left(\frac{x_2}{2} \right) + 2Q_x \left(\frac{y_2}{2} \right) + 2Q_y \left(\frac{x_2}{2} \right) \dots\dots\dots (II.22)$$

Sumber : Chu-Kia Wang dan Charles G. Salmon, *Disain Bertulang* (hal. 280)

memasukan dari persamaan (II.14),(II.19),(II.20) dan (II.21) kedalam persamaan

(II.22) memberikan

$$T_s = \alpha_1 \left[\frac{x_1 y_1 f_y}{s} \right] \dots\dots\dots (II.23)$$

Sumber : Chu-Kia Wang dan Charles G. Salmon, *Disain Bertulang* (hal. 280)

dimana $a_1 = \frac{1}{2} + \xi m \left(1 + \frac{y_1}{x_1} \right) \left(\frac{x_2}{2y_1} \right) + 2 \frac{k_3}{f_y} m \left(1 + \frac{y_1}{x_1} \right) (x_2^2 + y_2^2) \left(\frac{1}{y_1} \right) \dots (II.24)$

Sumber : Chu-Kia Wang dan Charles G. Salmon, *Disain Bertulang* (hal. 280)

Dengan mengambil $x_2 \approx x_1$ dan $y_2 \approx y_1$, besaran a_1 pada hakekatnya merupakan fungsi dari dua parameter m dan y_1/x_1 dan dapat ditulis sebagai

$$\alpha_1 = c_1 + c_2m + c_3 \left(\frac{y_1}{x_1} \right) \dots\dots\dots(II.25)$$

Sumber : *Chu-Kia Wang dan Charles G. Salmon, Disain Bertulang (hal. 280)*

Dimana tetapan c_1 , c_2 dan c_3 dapat ditetapkan dengan percobaan.

Volome dari tulangan memanjang yang sama dengan sengkang tertutup telah ditunjukkan melalui percobaan oleh Hsu (yaitu $m = 1$), a_1 dapat dinyatakan sebagai

$$\alpha_1 = 0,66 + 0,33 \left(\frac{y_1}{x_1} \right) \dots\dots\dots(II.26)$$

Sumber : *Chu-Kia Wang dan Charles G. Salmon, Disain Bertulang (hal. 280)*

Dengan demikian kekuatan nominal total T_n dari penampang persegi beton bertulang dapat dituliskan sebagai kombinasi persamaan (II.13) dan (II.23),

$$T_n = T_c + T_s = \left(\frac{2,4}{\sqrt{x}} \right) x^2 y \sqrt{f'_c} + a_1 \left(\frac{x_1 y_1 A_s f_y}{s} \right) \dots\dots\dots(II.27)$$

Sumber : *Chu-Kia Wang dan Charles G. Salmon, Disain Bertulang (hal. 280)*

11.3.2. Kekuatan Penampang (Teori Rangka Ruang)

Model rangka ruang analogi dikembangkan untuk meramalkan perilaku batang setelah mengalami retak dan kekuatan struktur beton yang memikul puntir atau puntir yang di kombinasikan dengan momen dan geser. Analisa tersebut memperhitungkan tulang memanjang sebagai kawat-kawat tarik, sengkang-sengkang sebagai tiang-tiang tarik dan beton yang terdapat diantara retak sebagai diagonal-diagonal tekan.

Dari permodelan tersebut telah ditemukan bahwa hampir semua kekuatan dihasilkan oleh tulang dan beton yang langsung mengelilingi batang tulang .

Dengan itu suatu penampang boks yang ber dinding tipis, seperti pada Gambar 2.12, dapat dianggap sebagai suatu rangka ruang. Batang-batang tulangan memanjang didalam sudut menyumbangkan gaya-gaya tarik diantara ketika kolom diantara retak-retak menyediakan tahanan tekan. Gaya-gaya tekan yang menyudut bekerja didalam bentuk spiral sekeliling penampang boks, yang memberikan tekan D_v pada sisi vertikal dan D_h pada sisi horizontal.

II.3.3. Batang Beton Dengan Tulang Memanjang

Teori lentur miring dan rangka ruang analogi yang dibahas sebelumnya, secara umum adalah sesuai dalam perilaku interaksi puntir dengan geser. Kedua teori tersebut menyatakan bahwa dibawah lentur positif, leleh dari tulang bahwa terjadi bila menggunakan jumlah tulang memanjang atas dan bawah yang sama ($A_s^+ = A_s^-$). Teori-teori diatas dapat diketahui dengan berikut, seperti yang di tunjukkan dalam Gambar 2.14.

$$\left(\frac{T_n}{T_{no}} \right)^2 + \frac{M_n}{M_{no}} = 1 \quad \text{..... (II.28)}$$

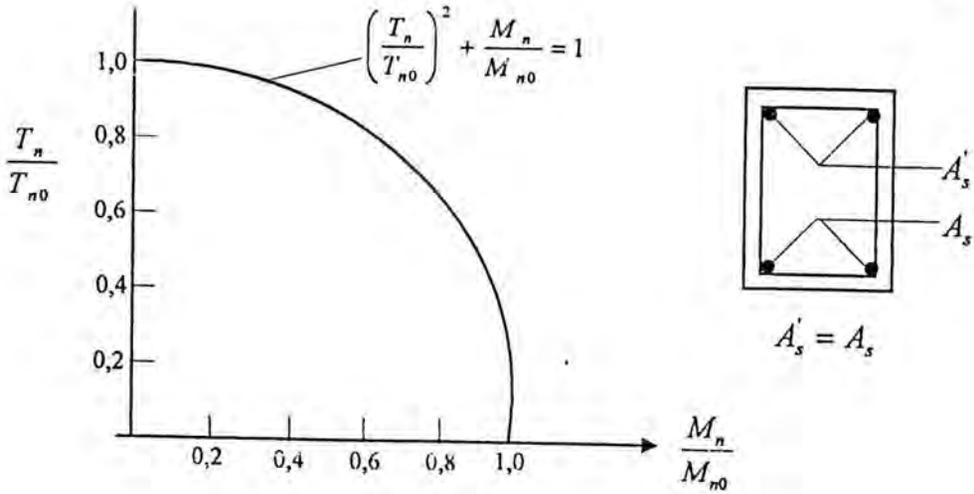
Sumber : *Chu-Kia Wang dan Charles G. Salmon, Disain Bertulang (hal. 283)*

Dimana: T_n = Kekuatan torsi nominal dengan adanya lentur

T_{no} = Kekuatan torsi nominal bila unsur dibebani dengan unsur saja

M_n = Kekuatan lentur nominal dengan adanya torsi

M_{no} = Kekuatan lentur nominal dengan unsur dibebani dengan lentur saja



Gambar 2.11 Diagram Interaksi Lentur Torsi Untuk Tulangan Memanjang Tarik Dan Tekan Yang Sama (Momen Posisi Leleh)

Sumber : Chu-Kia Wang dan Charles G. Salmon, *Disain Bertulang* (hal. 283)

Bila tulangan atas dan bawah tidak sama ($A'_s < A_s$), dimana torsi bekerja sendirian, tulangan atas dan bawah harus memikul gaya-gaya tarik yang sama. Bila momen lentur positif bekerja dengan torsi, tulangan bawah akan meleleh sebelum tulangan atas jika digunakan tulangan atas dan bawah sama. Namun, jika tulangan atas lebih sedikit dari tulangan bawah, pengerjaan dari sejumlah kecil momen lentur cenderung untuk melawan gaya tarik akibat torsi. Pengaruh yang saling menguntungkan ini mencapai puncaknya (Gambar 2.15) bila kedua tulangan atas dan bawah meleleh secara bersama-sama.

Hubungan interaksi untuk kasus pelepasan tulangan bawah lebih dulu, dapat dinyatakan dalam bentuk

$$\left(\frac{T_n}{T_{n0}}\right) = \frac{1}{r} \left(1 - \frac{M_n}{M_{n0}}\right) \dots\dots\dots (II.29)$$

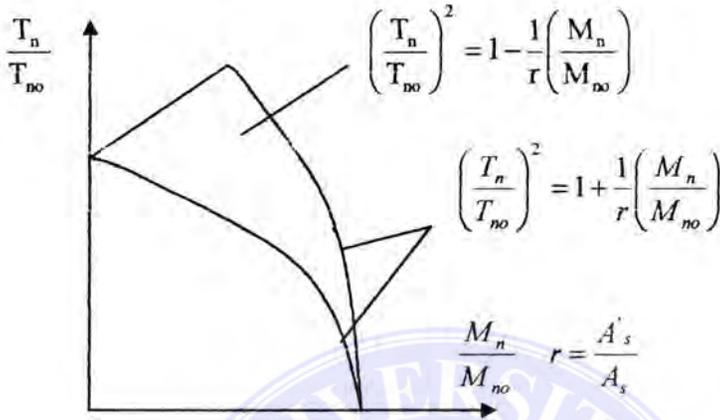
Sumber : Chu-Kia Wang dan Charles G. Salmon, *Disain Bertulang* (hal. 285)

Dimana $r = (A'_s f_y) / (A_s f_y)$ dan f_y dan f_y adalah masing-masing tegangan leleh pada tulangan atas dan bawah. Untuk kasus dimana tulangan atas meleleh lebih dulu, rumus menjadi

$$\left(\frac{T_n}{T_{no}}\right)^2 = \frac{1}{r} \left(1 - \frac{M_n}{M_{no}}\right) \dots\dots\dots (II.30)$$

sumber: *Chu-Kia wang dan charles G. salmon desain beton bertulang (hal.285)*

Persamaan (II.29) dan (II.30) secara grafis ditunjukkan dalam gambar 2.15



Gambar 2.12 Hubungan interaksi lentur- torsi

Sumber: *Chu-Kia wang dan charles G. salmon desain beton bertulang (hal.284)*

Untuk memeriksa pemakaian dari persamaan (II.39) dan (II.40) dalam perencanaan pertama-tama meninjau mode keruntuhan leleh tulang bawah.

Dengan mengembangkan persamaan (II.39),

$$rT_n^2 M_{no} = T_{no}^2 (M_{no} - M_n) \dots\dots\dots (II.31)$$

Sumber: *Chu-Kia wang dan charles G. salmon desain beton bertulang (hal.284)*

Kekuatan suatu penampang didalam lentur saja adalah

$$M_{no} = A_s f_y \left(d - \frac{a}{2}\right) \dots\dots\dots (II.32)$$

Sumber: *Chu-Kia wang dan charles G. salmon desain beton bertulang (hal.285)*

Dan dengan menggunakan persamaan (II.34) untuk kekuatan teoritis dari suatu unsur yang dibebani torsi saja,

$$T_{no} = 2x_2 y_2 \sqrt{\frac{A_1 f_y A_1 f_y}{2s(x_2 + y_2)}} \dots\dots\dots (II.33)$$

Sumber: *Chu-Kia wang dan charles G. salmon desain beton bertulang (hal.284)*

Dimana x_2 didefinisikan dalam gambar 2.11. pemasukan persamaan (II.32) dan (II.30) kedalam persamaan (II.31) menghasilkan :

$$rT_n^2 A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) = 4x_2^2 y_2^2 \left[\frac{A_1 f_y A_1 f_y}{2s(x_2 + y_2)} \right] \left[A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) - M_n \right] \dots\dots\dots(II.34)$$

Sumber: Chu-Kia wang dan charles G. salmon desain beton bertulang (hal. 285)

Misalkan, $A_1/2$ sama dengan yang terkecil dari A_s dan A_s . Kemudian bila tulangan sengkang direncanakan untuk torsi saja, dengan volume tulangan memanjang dan transversal yang sama, maka pemasukan persamaan (II.35) untuk A_1 kedalam persamaan (II.33) akan menghasilkan

$$T_n = 2 \left(\frac{A_1 f_y}{s} \right) x_2 y_2$$

Sumber: Chu-Kia wang dan charles G. salmon desain beton bertulang (hal. 285)

Yang memberikan jumlah tulangan sengkang yang akan digunakan sebesar

$$\frac{A_1 f_y}{s} = \frac{T_n}{2x_2 y_2} \dots\dots\dots(II.35)$$

Sumber: Chu-Kia wang dan charles G. salmon desain beton bertulang (hal. 285)

Pemasukan dari persamaan (II.35) kedalam persamaan (II.34) dengan $r = A_1 s / A_s$ dan $A_1/2 = A_s$ memberikan,

$$\frac{A_s}{A_s} (T_n^2) A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) = 4x_2^2 y_2^2 \left[\frac{A_1 f_y A_1 f_y}{2s(x_2 + y_2)} \right] \left[A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) - M_n \right]$$

$$T_n \left(d - \frac{a}{2} \right) = \frac{2x_2 y_2}{x_2 + y_2} \left[A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) - M_n \right] \dots\dots\dots(II.36)$$

Sumber: Chu-Kia wang dan charles G. salmon desain beton bertulang (hal. 284))

Yang dalam penyelesaian untuk A_s menghasilkan

$$A_n = \frac{T_n (x_2 + y_2)}{2x_2 y_2 f_y} + \frac{M_n}{f_y (d - a / 2)} \dots\dots\dots(II.37)$$

Sumber: Chu-Kia wang dan charles G. salmon desain beton bertulang (hal. 284)

Persamaan (II.37) menunjukkan bahwa tulangan bawah yang diperlukan merupakan jumlah dari persyaratan untuk lentur dan torsi yang dihitung tersendiri Untuk metode keruntuhan leleh tulangan atas, dengan menguraikan persamaan (II.30) dan penulisan $r = A_s' / A_s$

$$A_s' T_n^2 = \left(A_s' + A_s \left(\frac{M_n}{M_{no}} \right) \right) T_{no}^2 \dots\dots\dots (II.38)$$

Sumber: *Chu-Kia wang dan charles G. salmon desain beton bertulang (hal.286)*

Dengan menggunakan persamaan (II.32) dan (II.33) untuk masing-masing M_{no} dan T_{no} dengan menuliskan $A_1/2 = A_s$

$$A_s' T_n^2 = \left(A_s' + A_s \left(\frac{M_n}{M_{no}} \right) \right) \left(4x_2^2 \cdot y_2^2 \left(\frac{A_s' f_y}{x_2 + y_2} \right) \left(\frac{A_1 f_y}{2} \right) \right) \dots\dots\dots (II.39)$$

Sumber: *Chu-Kia wang dan charles G. salmon desain beton bertulang (hal.286)*

Didalam cara yang serupa seperti pada kasus tulangan bawah yang meleleh, misalkan bahwa tulang sengkang hanya direncanakan untuk torsi saja kemudian dengan memasukkan persamaan (II.35) ke dalam (II.39) diperoleh

$$A_s = \frac{T_n (x_2 + y_2)}{2x_2 y_2 f_y} + \frac{M_n}{f_y (d - a/2)} \dots\dots\dots (II.40)$$

Sumber: *Chu-Kia wang dan charles G. salmon desain beton bertulang (hal.286)*

Dengan demikian persyaratan tulangan atas merupakan perbedaan antara persyaratan lentur dan torsi. Umumnya hanya diperlukan tulang minimum untuk kombinasi lentur dan torsi.

II.3.4. Batang Beton Tanpa Tulangan Badan

Telah dibahas sebelumnya bahwa batang-batang beton bertulang direncanakan semata-mata untuk memikul puntir saja. Situasi yang umumnya yang terjadi adalah situasi dimana suatu balok mengalami lentur dan gaya geser

disamping juga harus memikul puntir. Pada suatu batang yang belum mengalami retak, baik gaya-gaya geser maupun puntir kedua-duanya menimbulkan tegangan geser. Dengan demikian harus dapat diharapkan bahwa gaya-gaya geser lentur dan puntir yang bekerja secara serentak haruslah berkombinasi sedemikian rupa sehingga akan dapat mengurangi kekuatan dari batang apabila dibandingkan dengan kekuatan kalau hanya dibebani oleh geser atau puntir saja.

Teori yang cukup memuaskan didalam menerangkan interaksi yang kompleks ini belum didapatkan, sehingga perhitungan hanya didasarkan pada penyelidikan melalui percobaan-percobaan yang berkenaan dengan keadaan ini. Untuk tujuan perencanaan telah dilakukan percobaan atas balok-balok persegi, bentuk L dan bentuk T menunjukkan bahwa hubungan interaksi berupa seperempat lingkaran dapat digunakan untuk unsur-unsur tanpa tulangan badan balok. Rumus ini seperempat lingkaran adalah :

$$\left(\frac{T_n}{T_{no}}\right)^2 + \left(\frac{V_n}{V_{no}}\right)^2 = 1 \dots\dots\dots (II.41)$$

Sumber: *Chu-Kia wang dan Charles G. salmon desain beton bertulang (hal.287)*

Dimana T_n dan V_n adalah masing-masing kekuatan didalam torsi dan geser yang bekerja bersamaan; T_{no} adalah kekuatan nominal dalam torsi saja; dan V_n adalah kekuatan nominal dalam geser.

11.3.5 Batang Beton Tulangan Badan

Pada artikel (11.3.10) di muka telah ditemukan bahwa pada batang-batang yang hanya mengalami puntir dan diperbuat dengan sengkang-sengkang dan tulangan memanjang, sebagian dari kekuatan struktur nominal didapat dari

kekuatan puntir beton yang berbeda didalam daerah tekan dan sebagian lagi dari kapasitas puntir tulang (persamaan II.13, II.23 dan II.27)

Bukti-bukti percobaan mengenai kekuatan batang-batang beton bertulang ketika mendalami perbedaan puntir dan geser secara serentak dewasa ini sangat jarang didapatkan. Menunggu keputusan penyelidik yang lebih mendalam, baik penyelidikan percobaan maupun secara analisis, pendekatan berikut ini nampaknya cukup baik dan mempunyai hubungan yang memuaskan dan keservatif dengan bukti-bukti percobaan yang masih terbatas.

1. Pada batang-batang yang mempunyai sengkang, bagian puntir yang total dipikul oleh beton ditentukan oleh persamaan interaksi yang sejenis (II.41) dengan persamaan interaksi untuk batang yang tidak dilengkapi dengan sengkang.
2. Untuk memikul kelebihan puntir dan geser harus diberikan sejumlah tulangan yang sama dengan yang dibutuhkan oleh batang-batang yang hanya mengalami puntir. Jumlah tulangan ini harus ditambahkan pada batang yang memikul momen lentur dan geser lentur

Kekuatan geser V_n didalam kehadiran torsi T_n diperoleh dengan penyelesaian persamaan (II.41), setelah terlebih dahulu membagikan dengan $(V_n V_{no})$,

$$V_c = \frac{V_{no}}{\sqrt{1 + \left(\frac{V_{no} T_n}{T_{no} V_n}\right)^2}} \dots\dots\dots (II.42)$$

Sumber: *Chu-Kia wang dan charles G. salmon desain beton bertulang (hal. 286*

Untuk balok dengan tulangan pinggul, dimisalkan bahwa hubungan seperempat lingkaran juga berlaku terhadap sumbangan beton untuk kekuatan

geser dan torsi. Oleh karena itu V_n dapat digantikan dengan V_c ; juga $V_{no} = 2\sqrt{f'_c bd}$ kekuatan geser dasar dari beton menurut metode yang disederhanakan. Sehingga persamaan (II.2) menjadi

$$V_c = \frac{2\sqrt{f'_c bd}}{\sqrt{1 + \left(\frac{V_{no} T_n}{T_{no} V_n}\right)^2}} \dots\dots\dots (II.43)$$

Sumber: Chu-Kia wang dan charles G. salmon desain beton bertulang (hal.292)

Dengan nilai

$$\frac{V_{no}}{T_{no}} = \frac{2\sqrt{f'_c bd}}{0,8\sqrt{f'_c x^2 y}} = 2,5C_1 \dots\dots\dots (II.44)$$

Sumber: Chu-Kia wang dan charles G. salmon desain beton bertulang (hal.292)

Dimana

$$C_1 = \frac{bd}{x^2 y}$$

Sumber: Chu-Kia wang dan charles G. salmon desain beton bertulang (hal.293)

Pemasukan persamaan (II.44) kedalam persamaan (II.43) dengan menggunakan

$T_n/V_n = T_u/V_u$, menghasilkan

$$V_c = \frac{2\sqrt{f'_c bd}}{\sqrt{1 + \left(2,5C_1 \frac{T_n}{V_n}\right)^2}} \dots\dots\dots (II.45)$$

Sumber: Chu-Kia wang dan charles G. salmon desain beton bertulang (hal.293)

Kekuatan torsi T_n dengan hadirnya geser V_u diperoleh dengan menyelesaikan persamaan (II.41), setelah terlebih dahulu membagikan dengan $(T_n/T_{no})^2$,

$$V_c = \frac{2\sqrt{f'_c bd}}{\sqrt{1 + \left(2,5C_1 \frac{T_n}{V_n}\right)^2}} \dots\dots\dots (II.46)$$

Sumber: Chu-Kia wang dan charles G. salmon desain beton bertulang (hal.292)

Untuk balok dengan tulangan pinggul, T_n dapat digantikan dengan T_c ; juga

$$T_{no} = 0,8 = \sqrt{f'_c x^2 y} \quad V_{no} = 2\sqrt{f'_c} bd \quad \text{dan} \quad V_n/T_n = V_u/T_u; \text{ sehingga};$$

$$T_c V_c = \frac{2\sqrt{f'_c} bd}{\sqrt{1 + \left(\frac{0,4V_u}{C_t T_u}\right)^2}} \dots\dots\dots(II.47)$$

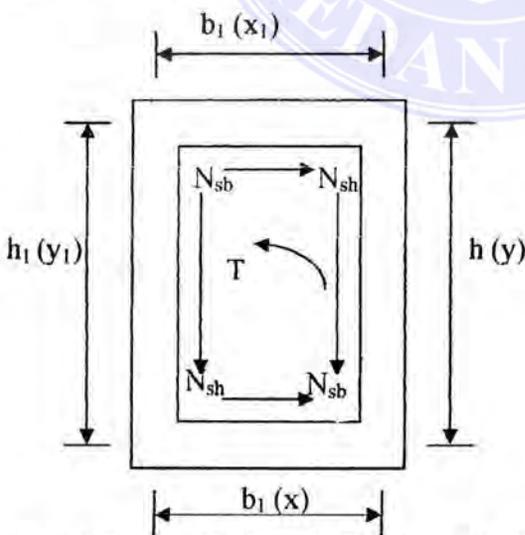
Sumber: *Chu-Kia wang dan charles G. salmon desain beton bertulang (hal.293)*

Persamaan (II.45) dan (II.47) menyatakan kekuatan yang diberikan oleh beton didalam unsur dengan tulangan pinggul.

II.4. Tulangan Torsi

II.4.1. Tulangan Akibat Gaya Torsi

Pola tegangan dan retak akibat torsi spiral, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.4. (artikel II.2.1). Ini menunjukkan bahwa tulangan yang paling tepat adalah tulangan spiral. Namun, tulangan spiral jarang dipakai karena alasan-alasan praktis. Prinsip dari momen yang harus dilawan sengkang ditunjukkan pada gambar 2.16.



Gambar 2.13 Gaya Tarik pada Tulangan. Akibat Torsi

Sumber: *W.C. Vis dan Gidoen kesuma. Dasar-dasar Perencanaan Beton Bertulang (hal 150)*

Dari gambar 2.16 diperoleh

$$T_s = N_{sb}b_l + N_{sh}h_l$$

Kuat momen torsi nominal yang disumbangkan oleh torsi, dihitung menurut persamaan (II.23) yang identik dengan ketentuan SKSNI Pasal 3,4,6,9, yaitu:

$$T_s = \frac{A_t a_t x_1 y_1 f_y}{s} \dots \dots \dots (II.48)$$

Sumber: W.C. Vis dan Gideon kesuma. Dasar-dasar Perencanaan beton bertulang (hal. 150)

Dengan

A_t = luas satu kaki sengkang penahan torsi sejarak s dan s adalah jarak pusat ke pusat sengkang ke arah memanjang balok

a_t = suatu koefisien sebagai fungsi dari y_1 dan x_2 , yaitu jarak pusat ke pusat dalam arah ketinggian dan kelebaran.

Sebenarnya koefisien a_t adalah suatu bilangan yang menentukan besar pembagian momen $N_{sb} \cdot b_l$ dan $N_{sh} \cdot h_l$. a_t bergantung pula pada y_1 dan x_1 atau h_l dan b_l untuk balok persegi.

A_t harus ditetapkan sebagai berikut:

$$a_t = \frac{\left(2 + \frac{y_1}{x_1}\right)}{3} \text{ atau untuk balok penampang persegi}$$

$$a_t = \frac{\left(2 + \frac{h_l}{b_l}\right)}{3} \leq 1,50$$

Sumber: W.C. Vis dan Gidoen Kesuma. Dasar-dasar Perencanaan beton bertulang (hal. 150)

$$\text{Rumus } T_s = \frac{A_t a_t x_1 y_1 f_y}{s} \text{ atau } \phi T_s = \frac{A_t a_t h_l \phi f_y}{s} \dots \dots \dots (II.48a)$$

Bila T_u dan ΦT_c diketahui maka berlaku

$$\Phi T_s = T_u - \Phi T_c$$

Untuk perencanaan tulangan sengkang sejarak s berlaku sebagai

$$\frac{A_t}{s} = \frac{(T_u - \Phi T_c)}{a_t b_t h_t \phi f_y}$$

Sumber: W.C. Vis dan Gideon kesuma. *Dasar-dasar Perencanaan Beton Bertulang* (hal. 150)

Dan untuk suatu diameter sengkang tertentu, akan didapatkan jarak sengkang sebagai berikut:

$$s = \frac{\alpha_t \beta_t h_t \phi f_y}{(T_u - \Phi T_c)} \dots \dots \dots (II.49)$$

Sumber: W.C. Vis dan Gideon kesuma. *Dasar-dasar perencanaan beton bertulang* (hal. 151)

Disamping perhitungan sengkang secara demikian, harus pula dipasang batang memanjang di sekeliling perimeter sengkang tertutup. Jumlah tulangan memanjang itu dihitung menurut persamaan (II.35) dengan identik dengan ketentuan SKSNI Pasal 3.4.6.9, yakni:

$$A_t = 2A_1 \frac{x_t + y_t}{s} \dots \dots \dots (II.50)$$

Sumber: W.C. Vis dan Gidoen Kesuma. *Dasar-dasar Perencanaan beton bertulang* (hal. 151)

Untuk balok penampang persegi rumus (II.50) berubah menjadi

$$A_t = 2A_1 \frac{b_t + h_t}{s} \dots \dots \dots (II.51a)$$

Sumber: W.C. Vis dan Gidoen Kesuma. *Dasar-dasar Perencanaan beton bertulang* (hal. 151)

Karena $A_t = \frac{(T_u - \Phi T_c)s}{a_t b_t h_t \phi f_y}$ maka untuk A_1 diperoleh sebagai

$$A_1 = \frac{2(T_u - \Phi T_c)s(b_t + h_t)}{a_t b_t h_t \phi f_y} \dots \dots \dots (II.51b)$$

Sumber: W.C. Vis dan Gidoen Kesuma. *Dasar-dasar Perencanaan beton bertulang* (hal. 151)

Nilai – nilai a_t dalam rumus (II.49) dan (II.50b) dapat diturunkan dari jarak pada gambar 2.17.

Nilai maksimum dari kuat momen torsi nominal yang disumbangkan oleh tulangan menurut pasal 3.4.6.9, adalah

$$T_s, 4 T_c$$

Dengan demikian tulangan torsi akan mencapai batas leleh sebelum beton hancur, sehingga struktur memberikan efek peringatan sebelum sesuai dengan masalah lentur yang berkaitan dengan persentase tulangan maksimal.

Tabel II.2. nilai $\phi T_{s \text{ maks}}$ dalam $b^2 h$

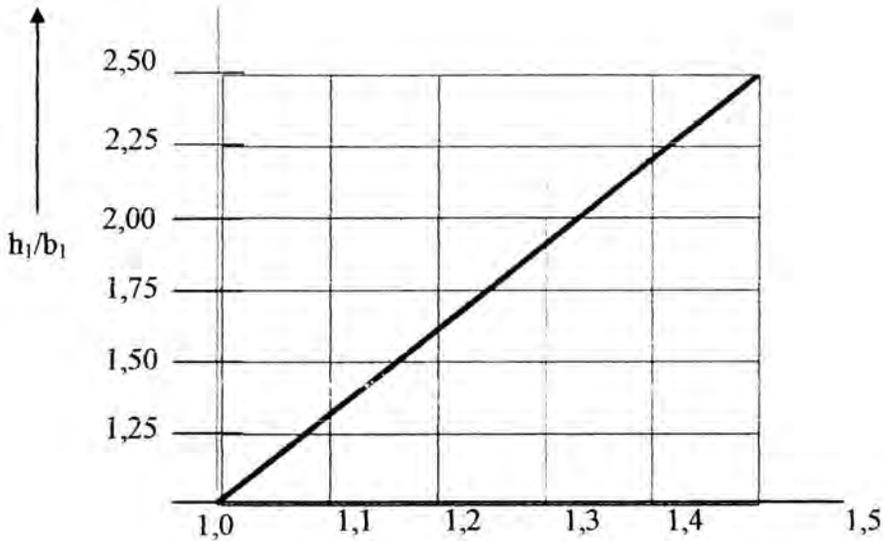
Mutu beton (Mpa)	15	20	25	30	35
$\phi T_{s \text{ maks}}$ dalam ($b^2 h$)	0,62	0,72	0,80	0,88	0,95

Sumber: W.C. Vis dan Gideon Dasar-Dasar Perencanaan Beton Bertulang (hal. 151)

Disamping nilai maksimum dari kuat momen torsi nominal yang disumbangkan oleh tulangan terdapat pula minimum jumlah tulangan torsi.

Untuk balok penampang persegi dengan ukuran $b \times h$, perhitungan perencanaan sengkang minimum yaitu:

$$A_{\text{sengk. min}} = \frac{b \cdot y}{3 \cdot f_y}$$



Gambar 2.14. Grafik untuk menentukan a_1

Sumber : W.C. dan Gideon dasar – dasar perencanaan beton bertulang (hal 152)

Jarak maksimal sengkang menurut SKSNI pasal 3.4.6.8, sebesar $\frac{(x_1 + y_1)}{4}$ dengan maksimum 300 mm.

Batang memanjang yang dipasang, setidaknya harus berdiameter 12 mm dengan jarak maksimum rongga diantara tulangan sebesar 300 mm. disamping itu, disetiap sudut sengkang tertutup harus didapatkan sengkang tertutup harus didapatkan sebatang tulangan.

Untuk pemeriksaan struktur beton terhadap beban torsi pada umumnya dibutuhkan apabila keseimbangan pada sebuah struktur beton yang beri beban momen torsi tidak dimungkinkan, contohnya seperti pada gambar 2.1 dan 2.2 (artikel II.1). Pada SKSNI ditentukan bahwa, bila balok – balok tepi yang dibebani torsi kompatibilitas dimana momen torsinya lebih besar dari pada momen torsi ketika terjadi retakan, maka balok tepi harus diberi minimum tulangan torsi yang diperlukan untuk membatasi retakan.

Jumlah tulangan torsi yang harus ditentukan teradap momen yang sesuai dengan SKSNI Pasal 3.4.6.3, adalah :

$$T_u = T_{s, \min} = \phi \left[\left(\frac{\sqrt{f'c}}{3} \right) \frac{\sum x^2 y}{3} \right]$$

Sumber : W.C.Vis dan Gideon kesuma. Dasar – dasar perencanaan beton bertulang (hal. 153)

Momen torsi ini dapat ditentukan dari ukuran balok dan mutu diatas berubah menjadi.

$$\phi T_{s, \min} = \phi \left[\frac{\sqrt{f'c}}{3} \right] \frac{2^2 h}{3}$$

Tabel. II.3. Nilai – nilai $\phi T_{s, \min}$ dalam $b^2 h$

Mutu beton (Mpa)	15	20	25	30	35
$\phi T_{s, \min} \cdot b^2 h$	0,26	0,30	0,33	0,37	0,39

Sumber : W.C.Vis dan Gideon Kusuma. Dasar – dasar Perencanaan Beton bertulang (hal 154)

II.4.2. Tulangan Puntir Dan Geser Akibat Torsi Dan Gaya Lintang

Bila didapat kombinasi gaya lintang dan torsi pada salah satu bidang sisi balok, kedua arah tegangan yang ditimbulkan oleh kedua beban tersebut berimpit sedangkan pada bidang sisi yang berlawanan (dibelakangnya) dapat tidak retak karena arah tegangan tarik saling tegak lurus satu sama lain, sisi besar tegangan geser (yang searah) harus dijumlahkan.

Menurut SKSNI T15 – 1991-03 Pasal 3.4.6.1. mengijinkan bahwa bila terdapat kombinasi gaya lintang dan beban torsi, maka torsi yang terjadi boleh diabaikan asalkan memenuhi persayaratan sebagai berikut :

$$T_u < \phi \left[\left(\frac{\sqrt{f'c}}{20} \right) \sum x^2 y \right]$$

Sumber : W.C. Vis dan Gideon Kesuma. Dasar – dasar Perencanaan Beton Bertulang (hal.156)

Untuk balok persegi syarat berubah bentuk :

$$T_u < \phi \left[\left(\frac{\sqrt{f'c}}{20} \right) \sum b^2 h \right]$$

Sumber: W.C.Vis dan Gideon Kesuma. Dasar – dasar Perencanaan Beton Bertulang (hal.156)

Sesungguhnya semua ini tidak lain adalah suatu nilai ϕT_c yang direduksikan, sesuai yang dicantumkan pada tabel II.4.

Tabel II.4. Nilai – nilai $\phi T_{c \text{ red}}$ dalam b^2h

Mutu beton (Mpa)	15	20	25	30	35
$\phi T_{s \text{ min}} \cdot b^2h$	0,12	0,13	0,15	0,16	0,18

Sumber : W.C.Vis dan Gideon dasar – dasar Perencanaan beton bertulang (hal 156)

Bila nilai $T_u < \phi \left[\left(\frac{\sqrt{f'c}}{20} \right) b^2h \right]$ maka pengaruh T_u harus diperhitungkan dalam V_c

Sedangkan pengaruh V_u diperhitungkan dalam T_c .

Peraturan yang disumbangkan oleh beton diberikan melalui rumus di bawah ini

$$V_c = \frac{\left(\frac{\sqrt{f'c}}{6}\right) b_w d}{\sqrt{1 + \left(2,5 C_t \frac{T_u}{V_u}\right)}} \dots\dots\dots (II.61)$$

Sumber: W.C.Vis dan Gideon Kesuma. Dasar – dasar Perencanaan Beton Bertulang (hal 62)

Faktor yang saling berhubungan sifat tngan geser dan torsi adalah C_T

$$C_t = \frac{b_w d}{\sum x^2 y}$$

Sumber: W.C.Vis dan Gideon Kesuma. Dasar – dasar Perencanaan Beton Bertulang (hal.157)

Untuk penampang persegi rumus diatas terbentuk

$$V_c = \frac{\left(\frac{\sqrt{f'c}}{6}\right) bd}{\sqrt{1 + \left[\frac{25d T_u}{bh V_u}\right]^2}} \dots\dots\dots (II.61a)$$

Sumber: W.C.Vis dan Gideon Kesuma. Dasar – dasar perencanaan beton bertulang (hal.157)

Dengan persyaratan yang sama berlaku pula T_c

$$T_c = \frac{\left[\frac{\sqrt{f'c}}{6}\right] b^2 h}{\sqrt{1 + \left(\frac{b V_u}{21 T_u}\right)^2}} \dots\dots\dots (II.62a)$$

Bila salah satu penyebut dari persamaan ini dikuadratkan, ternyata merupakan resprok dari penyebut persamaan lain.

Untuk V_c berlaku $\frac{2,1 T_u}{b V_u} = 1,5$ sedangkan

Untuk T_c berlaku $\frac{b V_u}{2,1 T_u} = \frac{1}{1,5} = 0,67$

Perhitungan perencanaan tulangan terhadap kombinasi gaya melintang dan torsi berupa suatu perhitungan nilai ϕV_c dan ϕT_c yang direduksikan :

Bila ϕV_c dan ϕT_c T_u diketahui maka berlaku

$$\phi V_s = V_u - \phi V_c \text{ dan } \phi T_s = T_u - \phi T_c$$

Dimana $\phi V_s < \phi V_{s \text{ maks}} = \frac{2}{3} \sqrt{f'c} \text{ cbd}$ dan $\phi T_{s \text{ maks}} =$ menurut tabel II.2

Selanjutnya diperoleh

$$A_{s \text{ sengk}} = \frac{(V_u - \phi V_u)_{\text{rata-rata}} \cdot b \cdot y}{\phi f_y}$$

Dimana : $(V_u - \phi V_c)_{\text{rata-rata}} = \frac{(V_u - \phi V_u)_{\text{rata-rata}}}{b \cdot d}$

Jarak antara sengkang dapat dihitung menurut rumus (II.59) yaitu :

$$s = \frac{A_t \alpha_t h_1 \phi f_y}{b_1 h_1} \cdot \frac{2(T_u - \phi T_c)}{\alpha_t \phi f_y}$$

II.4.3. Ketentuan – ketentuan Perencanaan (Peraturan SK SNI T-15 – 1991 – 03)

Ketentuan perencanaan tulangan torsi diberikan dalam SK SNI T-15-1991-03 pasal 2.4.6, dimana ditetapkan untuk struktur beton bertulang penampang persegi atau dengan flens yang menerima beban kombinasi geser dan torsi, dan pengaruh torsi harus dipertimbangkan bersama geser dan lentur apabila momen

torsi terfaktor T_u pada komponen tersebut melampaui $\phi \left[\left(\frac{1}{20} \sqrt{f'c} \right) \sum x^2 y \right]$.

Sedangkan untuk struktur statis tak tentu dimana sebagai komponen persegi dari penampang. Dalam hal ini bagian menjorok sayap (flens) yang diperhitungkan dalam perencanaan tidak boleh diambil melebihi tiga kali tebalnya. Sedangkan

suatu penampang persegi berongga dapat dipandang sebagai penampang pejal asalkan tebal dinding h tidak kurang dari $\frac{1}{4} x$. suatu penampang kotak berongga dengan tebal dinding kurang dari $\frac{1}{4} x$ tetapi lebih dari $\frac{1}{10} x$ dapat juga diperhitungkan. Penampang yang letaknya diantara tumpuan dan penampang kritis yang berjarak d maka muka tumpuan direncanakan terhadap momen torsi T_{tb} sama dengan perhitungan untuk penampang kritis.

Apabila komponen struktur memerlukan penulangan torsi maka harus dipasang tulangan baja yang merupakan tambahan terhadap penulangan yang sudah ada yakni penulangan untuk menahan gaya geser, lentur, atau gaya aksial. Penulangan yang diperlukan untuk menahan gaya torsi pemasangannya dapat dikombinasikan dengan yang diperlukan untuk menahan gaya – gaya yang lain asalkan luas penampang tulangan total yang terpasang merupakan jumlah dari masing – masing kebutuhan penulangan yang perlu untuk menahan gaya – gaya tersebut, dan juga memenuhi persyaratan terberat untuk spasi dan penempatan penulangannya. Tulangan torsi terdiri dari sengkang tertutup, sengkang pengikat tertutup atau lilitan spiral yang dikombinasikan dengan tulangan memanjang. Kuat luluh rencana tulangan tarik tidak boleh diambil lebih dari 400 Mpa. Untuk mengembangkan kuat luluh rencana, tulangan sengkang yang berupa batang tulangan atau kawat lainnya yang berfungsi juga sebagai tulangan torsi harus dipasang menerus sejarak d dari seray tekan tertular dan harus dijangkarkan. Tulangan torsi harus disediakan paling tidak sejarak $(b_1 + d)$ diluar titik teoritis yang diperlukan. Kuat momen torsi T_s tidak boleh lebih dari $4T_c$.

Dengan cara memperlakukan sama seperti pada waktu merencanakan penulangan untuk menahan gaya geser, penulangan torsi didasarkan pada :

$$T_u \leq \phi T_n$$

Dimana :

$$T_n = T_c + T_s$$

T_c = kuat momen torsi nominal yang disumbangkan oleh beton

T_s = kuat momen torsi nominal yang disumbangkan oleh torsi

Kuat komponen torsi yang diberikan oleh beton harus dihitung dengan :

$$T_c = \frac{\left(\frac{1}{15} \sqrt{f'_c} \right) \sum x^2 y}{\sqrt{1 + \left(\frac{0,4 V_u}{C_t T_u} \right)^2}}$$

dimana, $C_t = \frac{b_w d}{\sum x^2 y}$ adalah faktor yang menghubungkan sifat tegangan geser.

Tulangan torsi harus direncanakan untuk memikul momen torsi total. Apabila dilakukan perhitungan yang tidak terperinci maka nilai T_c dan V_c harus dikaitkan dengan.

$$\left(1 + 0,30 \frac{N_u}{A_g} \right)$$

dimana N_u bernilai negatif untuk tarik.

Apabila momen torsi memenuhi persamaam $T_u \leq \phi T_n$ dan $T_n = T_c + T_s$,

dimana kuat momen torsi harus dihitung dari :

$$T_s = \frac{A_t \alpha_t x_1 y_1 f_y}{s}$$

A_t adalah luas satu kaki sengkang tertutup penahan torsi dalam jarak s , sedangkan

$$\alpha_t = \frac{1}{3} \left(2 + \frac{Y_1}{x_1} \right) \leq 1,50$$

Untuk penulangan torsi harus selalu disediakan suatu torsi harus selalu disediakan suatu luas minimum tulangan sengkang tertutup.

Selanjutnya harus disediakan tulangan memanjang A_t yang didistribusikan disekeliling primeter sengkang tertutup, dan dihitung sebagai nilai besar dari dua persamaan berikut :

$$A_t = 2A_s \frac{b_1 + h_1}{s}$$

Nilai persamaan kedua tidak perlu melebihi nilai diperoleh apabila $2A_t$ diganti dengan $b_w s / 3f_y$ spasi sengkang tertutup tidak boleh melebihi nilai kecil antara $\frac{1}{4}(x_1 + y_1)$ dan 30 mm, sedangkan spasi baja tulangan torsi arah memanjang yang diameternya tidak kurang dari D12 diatur dengan cara menempatkan menyebar merata dikelilingi sengkang dengan jarak satu sama lainnya tidak melebihi dari 300 mm dan paling tidak menempatkan satu batang tulangan memanjang pada sudut – sudut sengkang.

II.4.4. Langkah – langkah Perencanaan Penulangan (Sesuai SKSNI T-15-1991-03)

Langkah – langkah perencanaan tulangan pemikul torsi + geser pada balok dilakukan dengan urutan sebagai berikut :

1. Tentukan nilai T_c

T_c = torsi yang dapat dipikul oleh beton yang memikul geser + torsi bersama – sama.

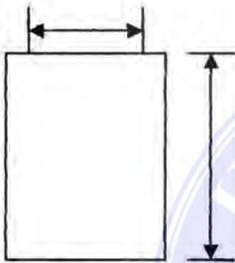
$$T_c = \frac{1/15 \sqrt{f'_c \sum x^2 y}}{\sqrt{1 + \left(\frac{0,4 V_u}{C_t T_u}\right)^2}} \quad (\text{Satuan N})$$

dimana V_u = gaya geser terfaktor (N)

T_u = torsi terfaktor (Nmm)

$$C_t = \frac{b_w d}{\sum X^2 Y} \text{ atau } C_t = \frac{bd}{X^2 Y}$$

Penentuan $\sum x^2 y$ untuk penampang persegi,



x = lebar balok

y = tinggi balok

2. Tentukan penampang kritis, umumnya berjarak d dari muka tumpuan.

Hitung momen torsi terencana T_u :

Ketentuan SKSI T – 15 – 1991 – pasal 3,4,6, ayat 1

Syarat: $T_u < \phi 1/20 \sqrt{f'_c \sum x^2 y}$ → pengaruh torsi dapat diabaikan

3. Cek apakah ukuran penampang cukup untuk memikul torsi:

Ketentuan SKSNI T – 15 – 1991 pasal 3,4,5 ayat 9 point 4

Syarat: $T_s < 4 T_c$ → penampang OK terhadap torsi

Dimana $T_s = T_u / \phi - T_c$ dan nilai $\phi = 0,6$

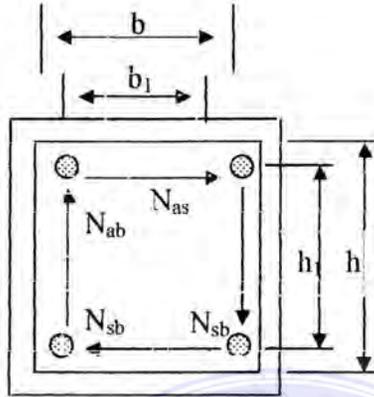
4. Cek apakah ukuran penampang cukup untuk memikul geser

Ketentuan SKSNI T – 15 – 1991 pasal 3,4,5 ayat 6 point 8

Syarat: $V_s < \frac{2}{3} \sqrt{f'_c} b d$ ← penampang OK terhadap torsi

5. Tulangan torsi berupa sengkang :

Untuk memikul torsi dapat dipasang sengkang dan juga tulangan memanjang ekstra yang dipasang sekeliling penampang.



Gambar 1.15 Gaya tarik pada tulangan dan penentuan jarak b_1, h_1

Momen torsi T_s dilawan oleh kopel N_{sh} dan N_{sb}

$$T_s = N_{sb} + N_{sh} - h_1$$

Tulangan sengkang memikul geser + torsi :

➤ Tulangan sengkang memikul geser:

$$\frac{A_v}{s_1} = \frac{V_s}{f_y d}, \text{ satuannya; mm}^2 \text{ jarak / 2/ penampang}$$

➤ Tulangan sengkang memikul torsi:

$$\frac{A_s}{s_2} = \frac{T_s}{\alpha_1 \cdot x_1 \cdot y_1 \cdot f_y}, \text{ dimana } s_2 = \text{jarak sengkang (mm)}$$

$$T_s = T_u / \phi - T_c \text{ (Nmm)}$$

$$\alpha_1 = (2 + y_1 / x_1) / 3 \leq 1,50$$

satuannya: mm^2 / mm jarak / 2 penampang

➤ Tulang sengkang gabungan (memikul geser = torsi):

$$\frac{A_{vt}}{s} = \frac{2A_t}{s_2} + \frac{A_v}{s_1}$$

=misalkan dinamakan BBB

satunya: mm²/mm jarak/ 2 penampang

jika dipergunakan sengkang diameter Ds maka

$$s = \frac{2 \times 0,25 \times 22 / 7 \times D_S \times D_S}{BBB} = \dots\dots\dots \text{mm}$$

6. Tulangan torsi berupa tulangan memanjang ekstra:

Ketentuan SKSNI T – 15- 1991 pasal 3.4.6 ayat 9 point 3

$$A_t = 2 A_t \frac{x_1 + y_1}{s} \text{ dimana } A_t = \frac{T_s \cdot s}{\alpha_1 x_1 \cdot y_1 \cdot f_y}$$

$$\text{Jadi } A_t = \frac{2T_s(x_1 + y_1)}{\alpha_1 \cdot x_1 \cdot y_1 \cdot f_y}$$

Dimana $T_s = (T_u \cdot \phi \cdot T_c) / \phi$

$$x_1 = b_1; y_1 = h_1$$

$$\text{jadi } A_t = \frac{b_1 + h_1}{b_1 h_1} \cdot \frac{2(T_u \phi T_c)}{\alpha_1 \phi f_y} \dots\dots\dots (*)$$

$$= \left[\frac{2,8 \cdot x \cdot s}{f_y} \left(\frac{T_u}{T_u + V_u / 3C_1} \right) - 2A_t \right] \left(\frac{x_1 + y_1}{s} \right)$$

$$= \left[\frac{2,8 \cdot x \cdot s}{f_y} \left(\frac{T_u}{T_u + V_u / 3C_1} \right) - 2 \left(\frac{b \cdot s}{f_y} \right) \right] \left(\frac{x_1 + y_1}{s} \right)$$

dimana x = ukuran terkecil dari penampang

7. Jarak antara sengkang tertutup dari penampang

Ketentuan SKSNI T – 15 – 1991 pasal 3.4.6. ayat 8

Jarak sengkang dipilih terkecil antara $(x_1 + y_1) / 4$ dan 300 mm

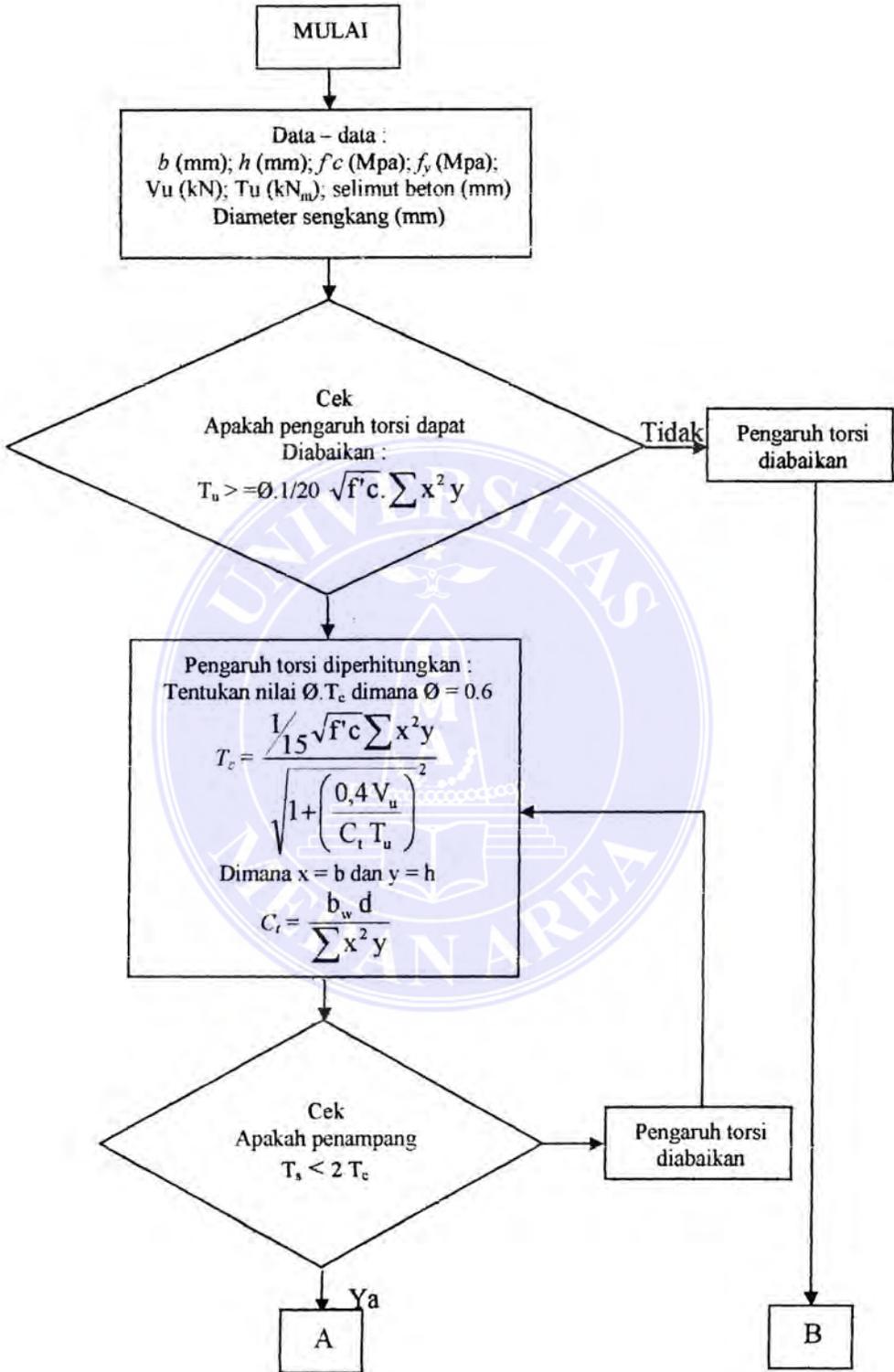
8. Tulangan memanjang ekstra pemikul torsi

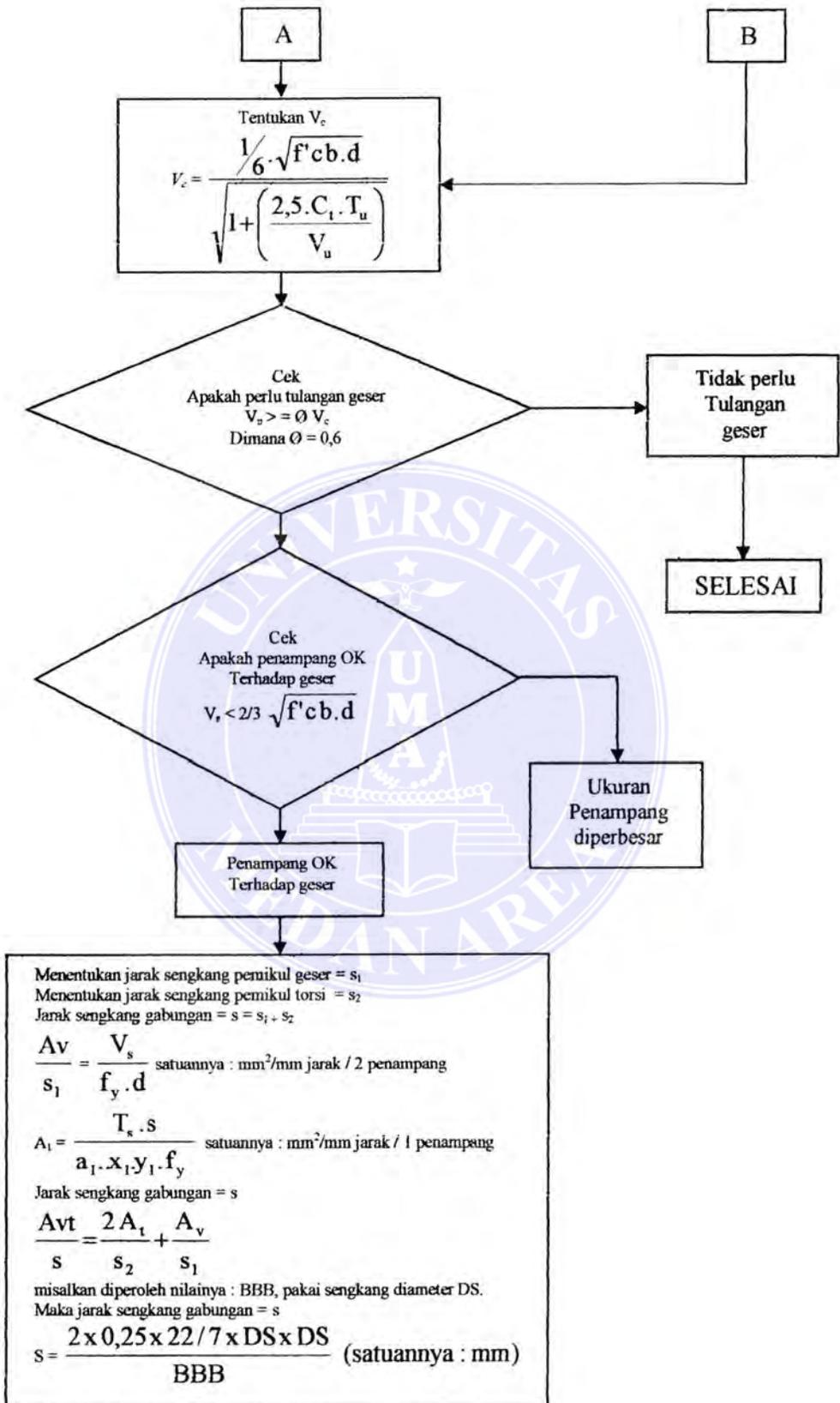
Ketentuan SKSNI T – 15 – 1991 – pasal 3.4.6. ayat 9

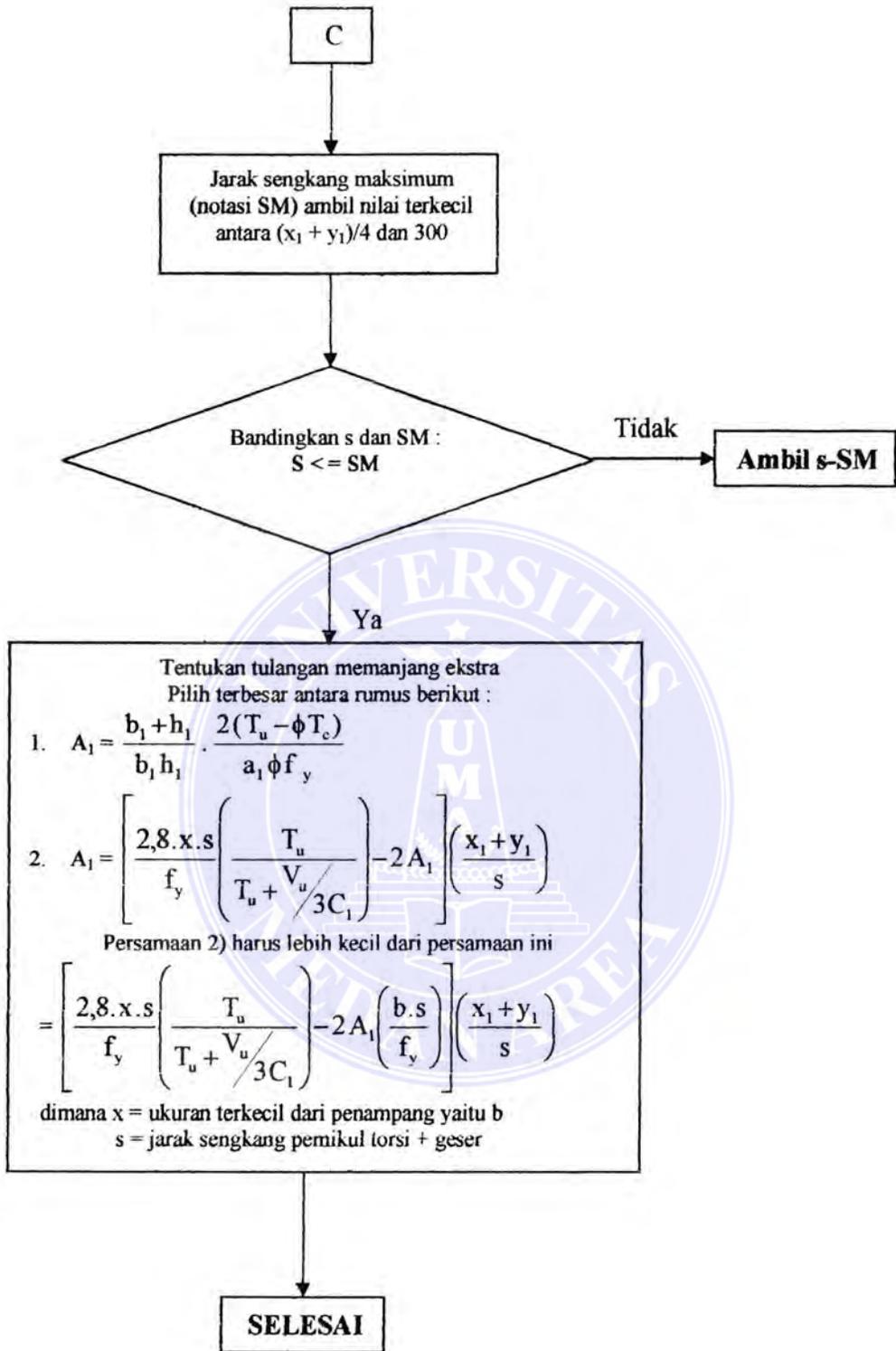
Diameter ≥ 12 mm disebarakan sekeliling sengkang tertutup dengan jarak maksimum 300 mm.



DIAGRAM ALIR UNTUK TULANGAN BALOK PERSEGI MEMIKUL TORSI DAN GESER







BAB IV

KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan yang telah dilakukan mengenai Pengaruh Momen Puntir pada balok Beton, maka penulis dapat mengambil kesimpulan :

1. Untuk memikul momen puntir, tulangan harus terdiri dari tulangan memanjang dan tulangan sengkang dengan jarak yang telah direncanakan. Seandainya batang-batang memanjang saja, sulit diharapkan memberikan penambahan kekuatan puntir yang cukup karena tulangan memanjang hanya dapat memberikan kekuatan puntir paling banyak 15% saja. Jadi salah satu cara untuk mengimbangi gaya puntir tersebut harus diberi tulangan sengkang atau tulangan spiral.
2. Prinsip kerja momen puntir pada batang beton. Setelah beton mengalami retak daya pikul beton terhadap puntir berkurang sampai kurang lebih setengah dari daya beton yang tidak mengalami rusak. Selanjutnya puntir terus berlangsung walaupun besar puntir tidak bertambah sampai tulangan mulai bekerja memikul bagian puntir yang tidak dapat lagi dipikul oleh beton. Selanjutnya apabila besar puntir yang bekerja bertambah maka penambahan tersebut akan dipikul tulangan. keruntuhan akan terjadi pada batas keruntuhan beton yang direncanakan.

Pada batang beton yang direncanakan dengan baik kehancuran beton hanya terjadi setelah sengkang-sengkang meleleh.

3. Semakin besar momen puntir pada balok beton, maka luasan tulangan memanjang yang digunakan semakin besar dan semakin mengecilnya jarak antara sengkang atau dimensi penampang mendapat pembesaran.
4. Dari hasil perhitungan tiap 5 knm torsi, rata-rata penambahan luas tulangan memanjang sebesar 230 mm^2 .



DAFTAR PUSTAKA

1. Chu-kia wang dan Charles G. Salmon. Desain Beton Bertulang, Jilid 2. Jakarta: Erlangga, 1983.
2. Departemen Pekerjaan Umum. Standart Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung. Bandung : Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan,1991.
3. E.P. Popov dan Zainul Astamar. Mekanika Teknik. Jakarta : Erlangga, 1996.
4. Gunawan dan margaret saleh. Diktat Teori dan Soal Penyelesaian Struktur Beton Bertulang. Penerbit Delta Teknik Group Jakarta, 2002
5. Istimawan Dipohusodo. Struktur Beton Bertulang. Jakarta : PT Gramedia Pustaka Utama, 1999.
6. W.C. Vis dan Gideon Kusuma. Dasar-dasar Perencanaan Beton Bertulang. Jakarta : Erlangga, 1997.
7. W.C. Vis dan Gideon Kusuma. Grafik dan Tabel Perhitungan Beton Bertulang. Jakarta : Erlangga, 1997.