

- Penyederhanaan Desain Tulangan Lentur Elemen Kolom Beton Bertulang Berdasarkan SK SNI T-15-1991-03
- Pengaruh Penambahan Limbah Hasil Pembakaran Batu Bara (Fly Ash) dan Abu Sekam Padi Terhadap Modulus Elastisitas Beton
- Studi Pemanfaatan Recovery Alum Sebagai Koagulan Untuk Menurunkan Kekeruhan Air Baku
- Desain Sistem Pengontrol Lampu Gedung Berbasis Multiplexer dan Demultiplexer
- Kajian Mengenai Perpindahan Panas (Konduksi) Dengan Menggunakan Metode Beda Hingga (Finite Defference)
- Analisa Kapasitas Simpang Bersinyal pada Pertigaan Jalan Hayam Wuruk - Jalan Mojopahit Kabupaten Jember
- Aplikasi Pengukuran Kualitas Jasa Sistem Informasi Dengan Logika Fuzzy
- Peningkatan Penyelarasan Agility Perancangan Kegiatan Akademik Terhadap Implementasi Kalender Akademik Online yang Sesuai Standart Kualitas Berdasarkan Domain COBIT yang Terkait
- Pembuatan Aplikasi Pembacaan Quick Response Code Menggunakan Perangkat Mobile Berbasis J2ME Untuk Identifikasi Suatu Barang
- Perancangan Sistem Kendali Motor AC Berbasis Fuzzy Logic

Jurnal  
Teknologi

Volume :  
03

Nomor :  
14

Halaman :  
1 -106

Desember  
2011

ISSN  
1858-0092

Diterbitkan oleh :  
Biro Afiliasi Fakultas Teknik  
Universitas Muhammadiyah Jember

Penyederhanaan Desain Tulangan Lentur Elemen Kolom Beton Bertulang Berdasarkan SK SNI T-15-1991-03

Pengaruh Penambahan Limbah Hasil Pembakaran Batu Bara (*Fly Ash*) dan Abu Sekam Padi Terhadap Modulus Elastisitas Beton

Studi Pemanfaatan Recovery Alum Sebagai Koagulan Untuk Menurunkan Kekeruhan Air Baku

Sistem Pendeteksi Gas Karbon Monoksida Kendaraan Bermotor Dengan Menggunakan Mikrokontroler

Desain Sistem Pengontrol Lampu Gedung Berbasis Multiplexer dan Demultiplexer

Kajian Mengenai Perpindahan Panas (Konduksi) Dengan Menggunakan Metode Beda Hingga (Finite Defference)

Analisa Kapasitas Simpang Bersinyal pada Pertigaan Jalan Hayam Wuruk – Jalan Mojopahit Kabupaten Jember

Aplikasi Pengukuran Kualitas Jasa Sistem Informasi Dengan Logika Fuzzy

Peningkatan Penyelarasan Agility Perancangan Kegiatan Akademik Terhadap Implementasi Kalender Akademik Online yang Sesuai Standart Kualitas Berdasarkan Domain COBIT yang Terkait

Pembuatan Aplikasi Pembacaan Quick Response Code Menggunakan Perangkat Mobile Berbasis J2ME Untuk Identifikasi Suatu Barang

Perancangan Sistem Kendali Motor AC Berbasis Fuzzy Logic

Jurnal  
Teknologi

Volume :  
03

Nomor :  
14

Halaman :.  
1-106

Desember  
2011

ISSN  
1858-0092

Diterbitkan oleh :

Biro Afiliasi Fakultas Teknik  
Universitas Muhammadiyah Jember

**DEWAN REDAKSI**

***Pimpinan Umum/Penanggung Jawab :***

Ir. Kuswardani, MT.

***Pimpinan Redaksi :***

Ir. Totok Dwi Kuryanto, MT.

***Sekretaris :***

Sofia Ariyani, SSI. MT.

Ir. Taufan Abadi, MT.

***Dewan Redaksi :***

Dr. Ir. Noor Salim, M. Eng.

Dr. Liliya Dewi Susanawati, ST. MT.

Ir. Pujo Priyono, MT.

Ir. Herry Setyawan, MT.

Nely Ana Mufaridah, ST. MT.

Taufik Timur Warisaji, S.Kom., M.Kom.

Sumardi, ST., MT. (Universitas Jember)

***Redaksi Pelaksana :***

*Muhtar, ST. MT.*

*Guruh Wijaya, ST.*

*Agung Nilogiri, ST.*

***Desain Sampul :***

Ari Eko Wardoyo, ST.

***Iklan :***

Aan Auliq, ST.

***Sirkulasi :***

*Abdul Haris, ST.*

**Alamat Redaksi :**

Fakultas Teknik

Universitas Muhammadiyah Jember

Jl. Karimata 49 Jember 68121

Telp. 0331-336728 psw. 232












Fax. : 0331-337957

e-mail : [Fatekumj@telkom.net](mailto:Fatekumj@telkom.net)

***Frekuensi Terbit : Juni dan Desember***

## DAFTAR ISI

*Volume 3 Nomor 14 Bulan Desember 2011*

-  Penyederhanaan Desain Tulangan Lentur Elemen Kolom Beton Bertulang Berdasarkan SK SNI T-15-1991-03 Oleh Pujo Priyono (1-12)
-  Pengaruh Penambahan Limbah Hasil Pembakaran Batu Bara (*Fly Ash*) dan Abu Sekam Padi Terhadap Modulus Elastisitas Beton oleh Muhtar dan Aditya Surya Manggala (13-18)
-  Studi Pemanfaatan Recovery Alum Sebagai Koagulan Untuk Menurunkan Kekeruhan Air Baku oleh Rusdiana Setyaningtyas (19-34)
-  Sistem Pendeteksi Gas Karbon Monoksida Kendaraan Bermotor Dengan Menggunakan Mikrokontroler oleh Rusgianto (35-43)
-  Desain Sistem Pengontrol Lampu Gedung Berbasis Multiplexer dan Demultiplexer oleh Misto dan Herry Setyawan (44-51)
-  Kajian Mengenai Perpindahan Panas (Konduksi) dengan Menggunakan Metode Beda Hingga (Finite Defference) oleh Totok Dwi Kuryanto (52-55)
-  Analisa Kapasitas Simpang Bersinyal pada Pertigaan Jalan Hayam Wuruk – Jalan Mojopahit Kabupaten Jember oleh *Noor Salim* (56-66)
-  Aplikasi Pengukuran Kualitas Jasa Sistem Informasi dengan Logika *Fuzzy* oleh Deni Arifianto (67-78)
-  Peningkatan Penyelarasan Agility Perancangan Kegiatan Akademik Terhadap Implementasi Kalender Akademik Online yang Sesuai Standart Kualitas Berdasarkan Domain COBIT yang Terkait oleh Ratih A (79-90)
-  Pembuatan Aplikasi Pembacaan *Quick Response Code* Menggunakan Perangkat Mobile Berbasis J2ME Untuk Identifikasi Suatu Barang oleh Yeni Dwi Rahayu, S.ST. (91-96)
-  Perancangan Sistem Kendali Motor AC Berbasis *Fuzzy Logic* oleh Sumardi (97-106)

## *Kata Pengantar*

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Salam Sejahtera bagi para Pembaca semua, Jurnal Rekayasa Teknologi "**ELEVASI**" yang diterbitkan kali ini seperti biasa masih memuat hasil penelitian para Bapak dan Ibu Dosen dibidang Rekayasa Sipil (Lingkungan), Elektro, Mesin dan Teknologi Informatika. Cukup menarik untuk disimak terkait pengembangan rekayasa material dengan penggunaan fly ash sebagai bahan tambahan beton dan pemanfaatan recovery Alum untuk menurunkan tingkat kekeruhan air. Dan tidak kalah menariknya hasil kajian Sistem Pengontrol Lampu Gedung Berbasis Multiplexer dan Demultiplexer bidang Teknik Elektro serta pengembangan dunia rekayasa Informatika yang berbasis *Fuzzy Logic*.

Akhirnya, kami sampaikan terima kasih kepada rekan-rekan yang telah menyumbangkan tulisannya dalam edisi kali ini. Saran dan kritik sangat kami harapkan demi kesempurnaan Jurnal pada edisi berikutnya dan terima kasih, Salam.

Dewan Redaksi

**PENYEDERHANAAN DESAIN TULANGAN LENTUR ELEMEN  
BALOK BETON BERTULANG BERDASARKAN  
SK SNI T-15-1991-03**

Pujo priyono \*)

**Abstrak**

Metode desain tulangan lentur elemen balok beton bertulang berdasarkan SK SNI T-15-1991-03, selalu dilakukan dengan cara “ dicoba dan disesuaikan”, yang mana merupakan tahapan yang sangat melelahkan. Tahapan desain tersebut sering dihadapi oleh para perencana beton bertulang. Telah dilakukan beberapa usaha penyederhanaan oleh beberapa penulis terdahulu, namun belum tercapai suatu format yang dapat digunakan secara umum.

Studi ilmiah ini bertujuan untuk menyederhanakan metode desain tulangan lentur elemen balok beton bertulang berdasarkan SK SNI T-15-1991-03 dengan membuat suatu format tuntunan agar para perencana beton bertulang dapat dengan mudah dan cepat memakainya.

Metode studi ilmiah ini adalah mengolah kembali rumus – rumus dasar teori lentur beton bertulang agar dapat menurunkan perusuan la dapat digunakan secara umum.

Hasil studi menunjukkan bahwa untuk desain tulangan lentur elemen balok beton bertulang dapat mempunyai suatu perumusan umum dan dapat dibuat tabel – tabel yang dapat digunakan untuk semua jenis mutu baja, dan mutu beton yang lebih kecil atau sama dengan 30 Mpa.

**Kata – kata kunci :**

Desain tulangan lentur, SK SNI T-15-1991-03, penyederhanaan metode desain, rumus umum, tabel, balok, mutu baja, mutu beton.

**PENDAHULUAN**

Tahapan desain luas tulangan lentur elemen balok beton bertulang bagi para perencana beton bertulang adalah merupakan tahapan yang seringkali dilakukan.

Dengan telah diterbitkannya Surat Keputusan SNI T-15-1991-03 tentang Standar Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung, para perencana harus dihadapkan pada permasalahan perubahan kebiasaan alur pemikiran dalam tahapan desain luas tulangan lentur yang telah lama dialami, yaitu dengan menggunakan Peraturan Beton Bertulang Indonesia (PBI’71). Sehingga sampai saat ini, para perencana masih merasa kesulitan untuk mengetrapkan metode desain luas tulangan lentur elemen balok beton bertulang yang berdasarkan SK SNI T-15-1991-03 tersebut, yang mana membutuhkan suatu tahapan analitis “dicoba dan disesuaikan” yang relatif melelahkan.

Oleh vis dan gideon (1990) telah membuat tabel dan grafik untuk tujuan mempermudah desain tulangan lentur untuk balok dan kolom beton bertulang berdasarkan SK SNI T-15-1991-03, namun belum bisa digunakan untuk kasus secara umum.

Untuk itu perlu dibuat format tuntunan yang berupa tabel, sebagai alat bantu untuk menyederhanakan tahap desain luas tulangan lentur pada elemen balok bertulang berdasarkan SK SNI T-15-1991-03.

**Studi pustaka**

**1. Metode Perencanaan dan Format Keamanan SK SNI T-15-1991-03**

Metode perencananaan yang digunakan pada SK SNI T-15-1991-03 adalah metode kekuatan batas. Sedangkan format keamana yang digunakan adalah menganut konsep “Load and Resistance Faktor Design “, yaitu struktur akan aman apabila dalam keadaan batas memenuhi persamaan :

$$\text{Kuat rencana} \geq \text{Kuat perlu}$$

atau,

$$\phi R_n \geq U$$

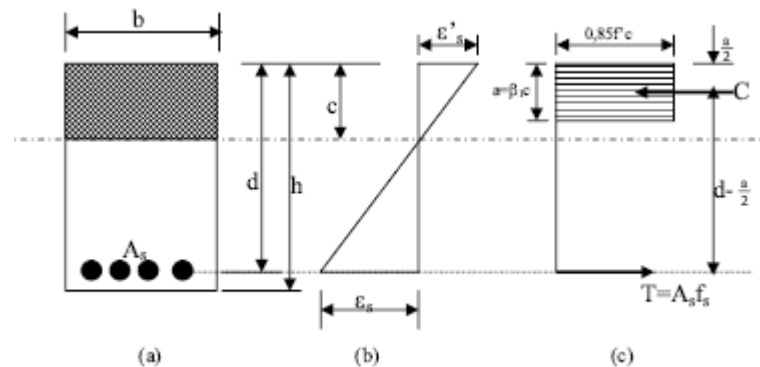
## 2. Asumsi – asumsi

Asumsi – asumsi dasar dalam rangka pengevaluasian kekuatan nominal penampang balok beton bertulang terhadap lentur sebagai berikut : (Nawy, 1985)

1. Distribusi regangannya linier di seluruh tinggi penampang, sesuai asumsi Bernoulli.
2. Tidak ada gesekan antara beton dan tulangan baja.
3. Regangan beton maksimum yang diijinkan pada keadaan gagal sebesar 0,003 mm/mm.
4. Kekuatan tarik beton diabaikan.

### a. Distribusi tegangan persegi Whitney

Distribusi tegangan tekan untuk tujuan desain praktis oleh Whitney (1942) telah diusulkan agar digunakan blok tegangan segiempat ekuivalen (seperti Gambar 1.c) yang dapat digunakan untuk menghitung gaya tekan.



Gambar 1. Desain tegangan dan regangan pada penampang balok: (a) penampang melintang balok; (b) regangan; (c) blok tegangan ekuivalen yang diasumsikan.

### b. Kekuatan penampang balok bertulang tunggal

Memperhatikan gambar 1.c dan dengan menggunakan hukum kesetimbangan, diperoleh :

$$C = T$$

$$0,85 f'_c b a = A_s f_y$$

atau,

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

Momen tahanan penampang, yaitu kekuatan nominal  $M_n$ , dapat ditulis :

$$M_n = A_s f_y (d - 1/2a)$$

### c. Ragam kegagalan material pada balok

Terdapat tiga kegagalan material pada elemen balok beton bertulang:

1. Kegagalan “balanced”. Tulangan tarik mulai leleh ( $\epsilon_y = f_y / E_s$ ) tepat pada saat beton mencapai regangan batasnya ( $\epsilon_c = 0,003$ ).
2. Penampang “overreinforced”. Kegagalan yang ditandai dengan hancurnya beton yang tertekan. Pada saat awalnya kegagalan, regangan baja  $\epsilon_s$  yang terjadi masih lebih kecil dari  $\epsilon_y$ .

3. Penampang “under-reinforced”. Kegagalan yang ditandai dengan lelehnya tulangan baja. Pada saat awalnya kegagalan, regangan beton yang tertekan lebih kecil dari 0,003.

d. Rasio tulangan maksimum dan minimum

Agar terjamin sebuah keruntuhan yang duktile, yaitu suatu kondisi keruntuhan “under-reinforced” SK SNI T-15-1991-03 mensyaratkan agar:

$$\rho_{maks} \leq 0,75 \rho_b$$

dimana  $\rho_b$  = angka penulangan “balanced”

$$= \frac{0,85\beta_1 f'_c}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right)$$

dengan  $\beta_1 = 0,85$  untuk  $f'_c \leq 30$  MPa.

Sedangkan rasio tulangan minimum disyaratkan agar :

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f'_c}$$

## METODOLOGI

Metode studi ilmiah ini pada dasarnya mengolah kembali rumus – rumus dasar tentang teori kekuatan penampang elemen balok beton bertulang yang telah diturunkan oleh beberapa penulis sebelumnya agar mendapatkan sebuah perumusan lain yang dapat digunakan secara umum dengan tujuan dapat dibuat suatu tabel yang dapat digunakan sebagai alat bantu untuk mempermudah dan menyederhanakan desain luas tulangan lenturnya.

Untuk tujuan tersebut diatas, harus dibentuk suatu parameter – parameter yang dapat menyimpan sifat – sifat penampang dan material elemen balok beton bertulang, seperti mutu baja ( $f_y$ ) dan mutu beton ( $f'_c$ ) yang selalu bervariasi. Kemudian hasil dari parameter – parameter tersebut ditabelkan dengan suatu format tertentu.

Sebagai uji kebenaran dan keakuratan terhadap tabel yang telah dibuat, diperlukan beberapa uji coba dengan cara membuat beberapa contoh pemakaian yang diselesaikan dengan bantuan tabel tersebut, kemudian dikontrol dengan metode analitis (tanpa tabel).

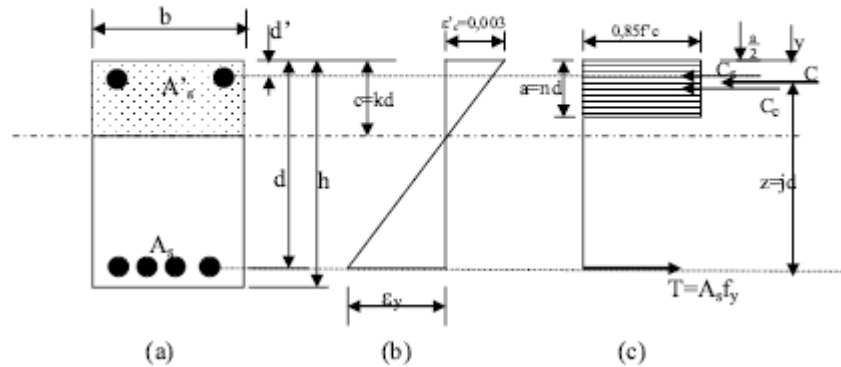
## HASIL STUDI

### Penurunan rumus

Memperhatikan pada gambar 2., dapat dibuat koefisien – koefisien dasar sebagai berikut :



$$n = a/d = \beta_1 c/d; k = c/d = n/\beta_1; \phi = \epsilon_s/\epsilon_c; \phi' = \epsilon_s'/\epsilon_c; j = z/d; \delta = A'_s/A_s$$



Gambar 2. Distribusi tegangan dan regangan untuk tujuan perumusan rumus : (a) Penampang ; (b) Regangan; (c) Tegangan.

Dari perbandingan diagram regangan (gambar 2.b), diperoleh :

$$\phi = (1-k)/k; \phi' = [k - (\epsilon'_c/\epsilon_s)]/k$$

Pada uraian ini selalu diabaikan pengurangan luas beton oleh luas tulangan tekan (nawy, 1985) dan juga selalu mengaggap bahwa tulangan tekan telah leleh. Dari kesetimbangan gaya :  $T_s = C_c + C_s$ , dimana  $T_s = A_s f_y$  ;  $C_c = 0,85 f'_c b a$  dan  $C_s = A'_s f_y$ , diperoleh :

$$q = \frac{A_s f_y}{f'_c b d} = \frac{0,85 n}{(1-\delta)} \dots \dots \dots (1),$$

Untuk tulangan tunggal berlaku  $A'_s = 0$  dan  $\delta = 0$ , sehingga Pers. (1) menjadi :  $q = 0,85 n$   
 Jarak titik tangkap resultane gaya C terhadap tepi balok yang tertekan yang dinyatakan dengan y (Gambar 2.c), yang mana ditentukan oleh persamaan:

$$y = \delta d' + \frac{1}{2} (1-\delta) a = \delta d' + \frac{1}{2} (1-\delta) n d$$

Lengan momen dalam adalah :  $z = jd = d - y = d \{ [1 - \delta(d'/d)] - \frac{1}{2} (1-\delta) n \}$

Bila tulangan tunggal,  $A'_s = 0$  dan  $\delta = 0$ , maka  $j = 1 - \frac{1}{2} n$

Kesetimbangan momen mensyaratkan bahwa  $M_n = T_s z$ , yang memberikan:

$$M_n = A_s f_y j d \dots \dots \dots (2)$$

Karena  $n = \frac{q(1-\delta)}{0,85}$  (dari Pers. (1), maka setelah dengan penguraian lebih lanjut,

Pers(2) berubah menjadi:

$$R_m = \frac{M_n}{f'_c b d^2} = \frac{q}{0,85} (1-\delta) \left[ -\frac{q}{1,7} (1-\delta) + 1 \right] + \frac{q}{0,85} \delta \left( 1 - \frac{d'}{d} \right) \dots \dots \dots (3)$$

Dari Pers. (1) dan Pers. (2) dapat diperoleh luas tulangan tarik yang memberikan :

$$A_s = q \frac{f'_c b d}{f_y} = \frac{M_n}{j d f_y} \dots \dots \dots (4)$$

Dari penurunan rumus – rumus diatas dapat diliha, bahwa apabila n dan  $\delta$  serta  $\frac{d'}{d}$  diketahui, maka koefisien – koefisien penampang k;  $\phi$ ;  $\phi'$ ; q; j dan  $R_m$  dapat ditentukan dan dibuat suatu tabel untuk menghubungkan nilai – nilai koefisien penampang tersebut.

**Hasil – hasil tabel**

Disini ditampilkan cuplikan tabel – tabel yang telah dibuat untuk  $f^c \leq 30$  Mpa.

i. Tabel-1. Koefisien – koefisien penampang beton bertulang dengan  $\delta = 0,0$ .

n	k	$\phi$	q	j	Rm
0,130	0,153	5,538	0,11050	0,935	0,103
0,133	0,156	5,391	0,11305	0,934	0,106
0,135	0,159	5,296	0,11475	0,933	0,107
0,138	0,162	5,159	0,11730	0,931	0,109
0,140	0,165	5,071	0,11900	0,930	0,111
0,143	0,168	4,944	0,12155	0,929	0,113
0,145	0,171	4,862	0,12325	0,928	0,114
0,148	0,174	4,743	0,12580	0,926	0,116
0,150	0,176	4,667	0,12750	0,925	0,118
0,153	0,180	4,556	0,13005	0,924	0,120
0,155	0,182	4,484	0,13175	0,923	0,122
0,158	0,186	4,380	0,13430	0,921	0,124
0,430	0,506	0,977	0,36550	0,785	0,287
0,433	0,509	0,963	0,36805	0,784	0,288
0,435	0,512	0,954	0,36975	0,783	0,289
0,438	0,515	0,941	0,37230	0,781	0,291
0,440	0,518	0,932	0,37400	0,780	0,292
0,443	0,521	0,919	0,37655	0,779	0,293
0,445	0,524	0,910	0,37825	0,778	0,294
0,448	0,527	0,897	0,38080	0,776	0,296
0,450	0,529	0,889	0,38250	0,775	0,296
0,453	0,533	0,876	0,38505	0,774	0,298
0,455	0,535	0,868	0,38675	0,773	0,299
0,458	0,539	0,856	0,38930	0,771	0,300

ii. Tabel-2. Koefisien – koefisien penampang beton bertulang dengan  $\delta = 0,2$ .

n	k	$\phi$	$\phi'$			q	j			Rm		
			d'/d				d'/d			d'/d		
			0,1	0,15	0,2		0,1	0,15	0,2	0,1	0,15	0,2
0,300	0,353	1,833	0,717	0,575	0,433	0,31875	0,860	0,850	0,840	0,274	0,271	0,268
0,303	0,356	1,805	0,719	0,579	0,439	0,32194	0,859	0,849	0,839	0,276	0,273	0,270
0,305	0,359	1,787	0,721	0,582	0,443	0,32406	0,858	0,848	0,838	0,278	0,275	0,272
0,308	0,362	1,760	0,724	0,586	0,448	0,32725	0,857	0,847	0,837	0,280	0,277	0,274
0,310	0,365	1,742	0,726	0,589	0,452	0,32938	0,856	0,846	0,836	0,282	0,279	0,275
0,313	0,368	1,716	0,728	0,593	0,457	0,33256	0,855	0,845	0,835	0,284	0,281	0,278

0,315	0,371	1,698	0,730	0,595	0,460	0,33469	0,854	0,844	0,834	0,286	0,282	0,279
0,318	0,374	1,673	0,733	0,599	0,465	0,33788	0,853	0,843	0,833	0,288	0,285	0,281
0,320	0,376	1,656	0,734	0,602	0,469	0,34000	0,852	0,842	0,832	0,290	0,286	0,283
0,323	0,380	1,632	0,737	0,605	0,474	0,34319	0,851	0,841	0,831	0,292	0,289	0,285
0,325	0,382	1,615	0,738	0,608	0,477	0,34531	0,850	0,840	0,830	0,294	0,290	0,287
0,328	0,386	1,591	0,741	0,611	0,482	0,34850	0,849	0,839	0,829	0,296	0,292	0,289
0,330	0,388	1,576	0,742	0,614	0,485	0,35063	0,848	0,838	0,828	0,297	0,294	0,290
0,333	0,392	1,553	0,745	0,617	0,489	0,35381	0,847	0,837	0,827	0,300	0,296	0,293
0,335	0,394	1,537	0,746	0,619	0,493	0,35594	0,846	0,836	0,826	0,301	0,298	0,294
0,338	0,398	1,515	0,749	0,623	0,497	0,35913	0,845	0,835	0,825	0,303	0,300	0,296
0,340	0,400	1,500	0,750	0,625	0,500	0,36125	0,844	0,834	0,824	0,305	0,301	0,298
0,343	0,404	1,478	0,752	0,628	0,504	0,36444	0,843	0,833	0,823	0,307	0,304	0,300
0,345	0,406	1,464	0,754	0,630	0,507	0,36656	0,842	0,832	0,822	0,309	0,305	0,301
0,348	0,409	1,443	0,756	0,634	0,511	0,36975	0,841	0,831	0,821	0,311	0,307	0,303

iii. Tabel -3. Koefisien – koefisien penampang beton bertulang dengan  $\delta = 0,4$ .

n	k	$\phi$	$\phi'$			q	j			Rm		
			d'/d				d'/d			d'/d		
			0,1	0,15	0,2		0,1	0,15	0,2	0,1	0,15	0,2
0,130	0,153	5,538	0,346	0,019	-0,308	0,18417	0,921	0,901	0,881	0,170	0,166	0,162
0,133	0,156	5,391	0,361	0,041	-0,278	0,18842	0,920	0,900	0,880	0,173	0,170	0,166
0,135	0,159	5,296	0,370	0,056	-0,259	0,19125	0,920	0,900	0,880	0,176	0,172	0,168
0,138	0,162	5,159	0,384	0,076	-0,232	0,19550	0,919	0,899	0,879	0,180	0,176	0,172
0,140	0,165	5,071	0,393	0,089	-0,214	0,19833	0,918	0,898	0,878	0,182	0,178	0,174
0,143	0,168	4,944	0,406	0,108	-0,189	0,20258	0,917	0,897	0,877	0,186	0,182	0,178
0,145	0,171	4,862	0,414	0,121	-0,172	0,20542	0,917	0,897	0,877	0,188	0,184	0,18
0,148	0,174	4,743	0,426	0,139	-0,149	0,20967	0,916	0,896	0,876	0,192	0,188	0,184
0,150	0,176	4,667	0,433	0,150	-0,133	0,21250	0,915	0,895	0,875	0,194	0,190	0,186
0,153	0,180	4,556	0,444	0,167	-0,111	0,21675	0,914	0,894	0,874	0,198	0,194	0,189
0,155	0,182	4,484	0,452	0,177	-0,097	0,21958	0,914	0,894	0,874	0,201	0,196	0,192
0,158	0,186	4,380	0,462	0,193	-0,076	0,22383	0,913	0,893	0,873	0,204	0,200	0,195
0,290	0,341	1,931	0,707	0,560	0,414	0,41083	0,873	0,853	0,833	0,359	0,350	0,342
0,293	0,345	1,901	0,710	0,565	0,420	0,41508	0,872	0,852	0,832	0,362	0,354	0,345
0,295	0,347	1,881	0,712	0,568	0,424	0,41792	0,872	0,852	0,832	0,364	0,356	0,347
0,298	0,351	1,852	0,715	0,572	0,430	0,42217	0,871	0,851	0,831	0,368	0,359	0,351
0,300	0,353	1,833	0,717	0,575	0,433	0,42500	0,870	0,850	0,830	0,370	0,361	0,353
0,303	0,356	1,805	0,719	0,579	0,439	0,42925	0,869	0,849	0,829	0,373	0,364	0,356
0,305	0,359	1,787	0,721	0,582	0,443	0,43208	0,869	0,849	0,829	0,375	0,367	0,358
0,308	0,362	1,760	0,724	0,586	0,448	0,43633	0,868	0,848	0,828	0,379	0,370	0,361

iv. Tabel -4. Koefisien – koefisien penampang beton bertulang dengan  $\delta = 0,6$ .

n	k	$\phi$	$\phi'$			q	j			Rm		
			d'/d				d'/d			d'/d		
			0,1	0,15	0,2		0,1	0,15	0,2	0,1	0,15	0,2
0,130	0,153	5,538	0,346	0,019	-0,308	0,27625	0,914	0,884	0,854	0,252	0,244	0,236
0,133	0,156	5,391	0,361	0,041	-0,278	0,28263	0,913	0,883	0,853	0,258	0,25	0,241
0,135	0,159	5,296	0,370	0,056	-0,259	0,28688	0,913	0,883	0,853	0,262	0,253	0,245
0,138	0,162	5,159	0,384	0,076	-0,232	0,29325	0,912	0,882	0,852	0,268	0,259	0,25
0,140	0,165	5,071	0,393	0,089	-0,214	0,29750	0,912	0,882	0,852	0,271	0,262	0,253
0,143	0,168	4,944	0,406	0,108	-0,189	0,30388	0,911	0,881	0,851	0,277	0,268	0,259
0,145	0,171	4,862	0,414	0,121	-0,172	0,30813	0,911	0,881	0,851	0,281	0,271	0,262
0,148	0,174	4,743	0,426	0,139	-0,149	0,31450	0,910	0,880	0,850	0,286	0,277	0,267
0,150	0,176	4,667	0,433	0,150	-0,133	0,31875	0,910	0,880	0,850	0,290	0,281	0,271
0,153	0,180	4,556	0,444	0,167	-0,111	0,32513	0,909	0,879	0,849	0,296	0,286	0,276
0,155	0,182	4,484	0,452	0,177	-0,097	0,32938	0,909	0,879	0,849	0,299	0,29	0,28
0,158	0,186	4,380	0,462	0,193	-0,076	0,33575	0,908	0,878	0,848	0,305	0,295	0,285
0,290	0,341	1,931	0,707	0,560	0,414	0,61625	0,882	0,852	0,822	0,544	0,525	0,507
0,293	0,345	1,901	0,710	0,565	0,420	0,62263	0,881	0,851	0,821	0,549	0,53	0,511
0,295	0,347	1,881	0,712	0,568	0,424	0,62688	0,881	0,851	0,821	0,552	0,533	0,515
0,298	0,351	1,852	0,715	0,572	0,430	0,63325	0,880	0,850	0,820	0,558	0,539	0,52
0,300	0,353	1,833	0,717	0,575	0,433	0,63750	0,880	0,850	0,820	0,561	0,542	0,523
0,303	0,356	1,805	0,719	0,579	0,439	0,64388	0,879	0,849	0,819	0,566	0,547	0,528
0,305	0,359	1,787	0,721	0,582	0,443	0,64813	0,879	0,849	0,819	0,570	0,55	0,531
0,308	0,362	1,760	0,724	0,586	0,448	0,65450	0,878	0,848	0,818	0,575	0,555	0,536

v. Tabel -5. Koefisien – koefisien penampang beton bertulang dengan  $\delta = 0,8$ .

n	k	$\phi$	$\phi'$			q	j			Rm		
			d'/d				d'/d			d'/d		
			0,1	0,15	0,2		0,1	0,15	0,2	0,1	0,15	0,2
0,140	0,165	5,071	0,393	0,089	-0,214	0,59500	0,906	0,866	0,826	0,539	0,515	0,491
0,143	0,168	4,944	0,406	0,108	-0,189	0,60775	0,906	0,866	0,826	0,550	0,526	0,502
0,145	0,171	4,862	0,414	0,121	-0,172	0,61625	0,906	0,866	0,826	0,558	0,533	0,509
0,148	0,174	4,743	0,426	0,139	-0,149	0,62900	0,905	0,865	0,825	0,569	0,544	0,519
0,150	0,176	4,667	0,433	0,150	-0,133	0,63750	0,905	0,865	0,825	0,577	0,551	0,526
0,153	0,180	4,556	0,444	0,167	-0,111	0,65025	0,905	0,865	0,825	0,588	0,562	0,536
0,155	0,182	4,484	0,452	0,177	-0,097	0,65875	0,905	0,865	0,825	0,596	0,569	0,543
0,158	0,186	4,380	0,462	0,193	-0,076	0,67150	0,904	0,864	0,824	0,607	0,58	0,553
0,290	0,341	1,931	0,707	0,560	0,414	1,23250	0,891	0,851	0,811	1,098	1,049	1,000
0,293	0,345	1,901	0,710	0,565	0,420	1,24525	0,891	0,851	0,811	1,109	1,059	1,010
0,295	0,347	1,881	0,712	0,568	0,424	1,25375	0,891	0,851	0,811	1,116	1,066	1,016
0,298	0,351	1,852	0,715	0,572	0,430	1,26650	0,890	0,850	0,810	1,127	1,077	1,026
0,300	0,353	1,833	0,717	0,575	0,433	1,27500	0,890	0,850	0,810	1,135	1,084	1,033
0,303	0,356	1,805	0,719	0,579	0,439	1,28775	0,890	0,850	0,810	1,146	1,094	1,043
0,305	0,359	1,787	0,721	0,582	0,443	1,29625	0,890	0,850	0,810	1,153	1,101	1,049
0,308	0,362	1,760	0,724	0,586	0,448	1,30900	0,889	0,849	0,809	1,164	1,112	1,059
0,310	0,365	1,742	0,726	0,589	0,452	1,31750	0,889	0,849	0,809	1,171	1,119	1,066
0,313	0,368	1,716	0,728	0,593	0,457	1,33025	0,889	0,849	0,809	1,182	1,129	1,076
0,315	0,371	1,698	0,730	0,595	0,460	1,33875	0,889	0,849	0,809	1,189	1,136	1,082
0,318	0,374	1,673	0,733	0,599	0,465	1,35150	0,888	0,848	0,808	1,200	1,146	1,092

### Cara Penggunaan Tabel

pada perencanaan luas tulangan, yaitu diketahui ukuran dari penampang (b,h,d dan d'), momen lentur ( $M_u$ ) dan mutu beton ( $f'_c$ ) serta mutu baja tulangan ( $f_y$ ). Langkah pertama adalah menaksir berapa besarnya  $\delta$ , selanjutnya dihitung nilai  $R_m$  (sesuai Pers.(3)). Dengan bantuan tabel dengan  $\delta$  dan  $R_m$  serta rasio (d'/d) dapat dicari harga koefisien – kofien k,  $\phi$ ,  $\phi'$ , j dan q. Koefisien  $\phi$  dan  $\phi'$  digunakan untuk menghitung masing – masing regangan tulangan tarik ( $\epsilon_s$ ) dan tekan ( $\epsilon'_s$ ) yang terjadi, yang harus lebih besar atau sama dengan regangan leleh bahan tulangan

$$(\epsilon_y = f_y / E_s).$$

koefisien q langsung menentukan luas tulangan tarik ( $A_s$ ) sesuai Pers. (4). Nilai q harus memenuhi syarat :  $q_{min} \leq q \leq q_{maks}$ , dimana :

sedangkan,

$$q_{min} = \rho_{min} \frac{f_y}{f'_c} = \frac{1,4}{f'_c}$$

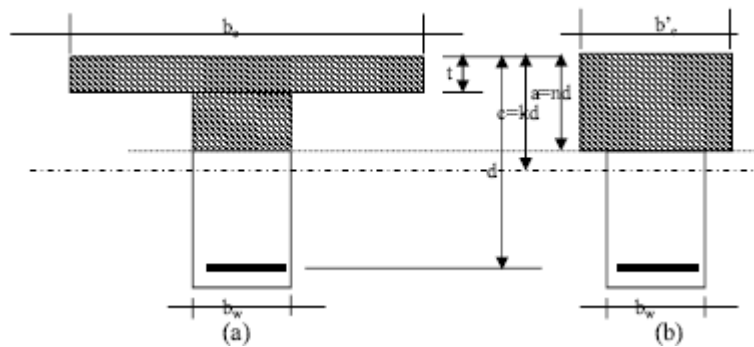
$$q_{maks} = \frac{0,6375 \beta_1}{(1 - \delta)} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right)$$

Luas tulangan tekan dapat ditentukan dari hubungan bahwa  $A'_s = \delta A_s$ .

Pada pemeriksaan kekuatan penampang, yang diketahui adalah ukuran penampang (b,h,d dan d'), mutu beton ( $f'_c$ ) dan mutu baja ( $f_y$ ), luas tulangan tarik ( $A_s$ ) dan tekan ( $A'_s$ ) serta rasio luas tulangan  $\delta$ . Dengan bantuan tabel, dengan memperhatikan nilai q dan  $\delta$  serta (d'/d) dapat dicari k, j,  $\phi$ ,  $\phi'$  serta  $R_m$ . Bila persyaratan- persyaratan koefisien penampang sudah terpenuhi, yaitu tulangan tarik dan tekan leleh, nilai q diantara  $q_{min}$  dan  $q_{maks}$ , maka kekuatan penampang dapat ditentukan dengan menggunakan Pers. (4).

Untuk kasus balok lentur yang berpenampang T, dalam analisis penampangnya dibedakan atas:

1. Kasus balok T-palsu, yaitu bilamana garis netral terletak di sayap balok. ( $k \leq \frac{t}{\beta_t d}$ ). Dan analisis balok tersebut dapat dianggap sebagai balok persegi, dengan menggunakan lebar balok adalah sebesar lebar efektif balok T,  $b_e$ .
2. Kasus balok T-murni, yaitu bilamana garis netral terletak di badan balok ( $k \leq \frac{t}{\beta_t d}$ ).



Gambar 3. Ekuivalensi penampang balok T.

Dan analisis balok ini dapat dilakukan dengan ekuivalensi penampang, yaitu merubah penampang T yang sebenarnya (Gbr. 3a) menjadi penampang T-ekivalen (Gbr. 3b). Dengan membuat sama nilai gaya tekan pada kedua kondisi penampang, diperoleh

$$\text{nilai lebar efektif ekivalen, } b'_e = \frac{\beta_1 k b_w + \frac{t b_w}{d} \left( \frac{b_e}{b_w} - 1 \right)}{\beta_1 k}$$

Setelah diperoleh  $b'_e$ , perhitungan selanjutnya adalah balok persegi. Dengan bantuan tabel, maka langkah perhitungan adalah:

1. Ambil harga k sebarang (taksir dahulu =  $k_{\text{taksir}}$ ), sehingga  $b'_e$ , dapat dicari.
2. dari tabel untuk nilai-nilai  $\delta$  dan  $R_m$  yang diketahui, dapat dicari nilai k ( $k_{\text{tabel}}$ ) yang nilainya harus mendekati  $k_{\text{taksir}}$ . Jika nilai k tidak mendekati kaksir, maka taksir k lagi.

## CONTOH-CONTOH ANALISIS

### 1. Perencanaan luas tulangan, dimana hanya diperlukan tulangan tunggal.

**Diketahui :**  $M_u = 137,3 \text{ kN-m}$ ;  $b = 300 \text{ mm}$ ;  $h = 600 \text{ mm}$ ;  $d = 550 \text{ mm}$ ;  $d'/d = 0,1$   
Mutu beton,  $f'_c = 16,7 \text{ MPa}$  ; mutu baja,  $f_y = 313,8 \text{ MPa}$ .

**Ditanyakan :** Luas tulangan

**Perhitungan :**

Beton,  $f'_c = 16,7 \text{ MPa} < 30 \text{ MPa}$  --> ok! (Tabel bisa digunakan)

Baja,  $f_y = 313,8 \text{ MPa}$  ;  $E_s = 2 \times 10^5 \text{ Mpa}$

$$\phi_o = \frac{E_y}{E'_c} = \frac{313,8}{2 \times 10^5} = 0,523; q_{\min} = \frac{1,4}{f'_c} = \frac{1,4}{16,7} = 0,08$$

$$q_{\max, \delta=0} = \frac{0,6375 \beta_1}{(1-\delta)} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) = \frac{0,6375 \cdot 0,85}{(1-0,0)} \left( \frac{600}{600 + 313,8} \right) = 0,3536$$

$$R_m = \frac{M_u}{f'_c b d^2} = \frac{137,3 \times 10}{0,8 \times 16,7 \times 300 \times 550^2} = 0,113$$

Dari tabel 1 ( $\delta=0,0$ ) dengan nilai  $d'/d = 0,1$ , diperoleh:

$$\phi = 4,944 > \phi_o \rightarrow \text{ok! (tulangan tarik leleh)}$$

$$q = 0,12155 < q_{\max, \delta=0} \rightarrow \text{ok! ("under-reinforced" dan hanya perlu tulangan tunggal)}$$

$$> q_{\min} \rightarrow \text{ok!}$$

$$\text{Tulangan: } A_s = q \frac{f'_c b d}{f_y} = 0,12155 \frac{16,7 \times 300 \times 550}{313,8} = 1067,34 \text{ mm}^2$$

Terhadap soal ini, telah dilakukan pengujian dengan menganalisis kemampuan penampang tersebut diatas tanpa menggunakan tabel dihasilkan  $M_u = 136,83 \text{ kN-m}$  ( $=137,3 \text{ kN-m}$ , atau 0,3% penyimpangan).

## 2. Perencanaan luas tulangan, dimana ternyata diperlukan tulangan rangkap.

**Diketahui :**  $M_u = 320 \text{ kN-m}$ ;  $b = 300 \text{ mm}$ ;  $h=600 \text{ mm}$ ;  $d = 550 \text{ mm}$ ;  $d'=50 \text{ mm}$ ;  $d'/d = 0,1$   
Mutu beton,  $f_c = 15 \text{ MPa}$  ; mutu baja,  $f_y = 320 \text{ MPa}$ .

**Ditanyakan :** Luas tulangan

**Perhitungan :** Beton,  $f_c = 15 \text{ MPa} < 30 \text{ MPa}$  --> ok! (Tabel bisa digunakan)

Baja,  $f_y = 320 \text{ MPa}$  ;  $E_s = 2 \times 10^5 \text{ Mpa}$

$$\phi_o = \frac{\epsilon_y}{\epsilon'_c} = \frac{320}{0,003} = 0,533 ; q_{\min} = \frac{1,4}{f'_c} = \frac{1,4}{15} = 0,093$$

$$q_{\max, \delta=0} = \frac{0,6375 \beta_1 \left( \frac{600}{600 + f_y} \right)}{(1 - \delta)} = \frac{0,6375 \cdot 0,85 \left( \frac{600}{600 + 320} \right)}{(1 - 0,0)} = 0,353$$

$$q_{\max, \delta=0,2} = \frac{0,6375 \beta_1 \left( \frac{600}{600 + f_y} \right)}{(1 - \delta)} = \frac{0,6375 \cdot 0,85 \left( \frac{600}{600 + 320} \right)}{(1 - 0,2)} = 0,442$$

$$R_m = \frac{M_u}{f'_c b d^2} = \frac{320 \times 10^6}{0,8 \times 15 \times 300 \times 550^2} = 0,294, \text{ dengan nilai } d'/d = 0,1, \text{ bila:}$$

- Dari tabel 1 ( $\delta=0,0$ ), diperoleh:  $q = 0,37825 > q_{\max, \delta=0} \rightarrow$  no go! (membutuhkan tulangan rangkap).

- Dari tabel 2 ( $\delta=0,2$ ), diperoleh:  $q = 0,34531 < q_{\max, \delta=0,2} \rightarrow$  Ok!

$> q_{\min} \rightarrow$  ok!

$\phi' = 0,738 > \phi_o \rightarrow$  Ok! (tulangan tekan leleh)

$\phi = 1,615 > \phi_o \rightarrow$  Ok! (tulangan tarik leleh)

**Tulangan :**

- Tulangan tarik:  $A_s = q \frac{f'_c b d}{f_y} = 0,34531 \frac{15 \times 300 \times 550}{320} = 2670,7 \text{ mm}^2$

- Tulangan tekan:  $A'_s = \delta A_s = 0,2 \times 2670,7 = 534,1 \text{ mm}^2$

## 3. Analisis kapasitas momen lentur pada balok berpenampang persegi.

**Diketahui :**  $A_s = 2264,42 \text{ mm}^2$ ;  $A'_s = 905,77 \text{ mm}^2$ ;  $b = 300 \text{ mm}$ ;  $h = 605 \text{ mm}$ ;  $d = 550 \text{ mm}$ ;  $d' = 55 \text{ mm}$ ;  $d'/d = 0,1$ ; mutu beton,  $f_c = 15 \text{ MPa}$  ; mutu baja,  $f_y = 240 \text{ MPa}$ .

**Ditanyakan :**  $M_u$

**Perhitungan :** Beton,  $f_c = 15 \text{ MPa} < 30 \text{ MPa}$  --> ok!

Baja,  $f_y = 240 \text{ MPa}$  ;  $E_s = 2 \times 10^5 \text{ MPa}$

$$\phi_o = \frac{\epsilon_y}{\epsilon'_c} = \frac{240}{0,003} = 0,4 ; q_{\min} = \frac{1,4}{f'_c} = \frac{1,4}{15} = 0,093$$

$$q_{\max} = \frac{0,6375 \beta_1 \left( \frac{600}{600 + f_y} \right)}{(1 - \delta)} = \frac{0,6375 \cdot 0,85 \left( \frac{600}{600 + 240} \right)}{(1 - 0,4)} = 0,645$$

$$q = \frac{A_s f_y}{f'_c b d} = \frac{2264,42 \times 240}{15 \times 300 \times 550} = 0,21958 < q_{\max} \rightarrow$$
 Ok!

$> q_{\min} \rightarrow$  Ok!

dengan nilai  $d'/d = 0,1$ , dari tabel 3 ( $\delta=0,4$ ), diperoleh:

$$j = 0,914$$

$$R_m = 0,201$$

$$\phi' = 0,452 > \phi_o \rightarrow$$
 Ok! (tulangan tekan leleh)

$$\phi = 4,484 > \phi_o \rightarrow$$
 Ok! (tulangan tarik leleh)

$$\begin{aligned} \text{Kapasitas momen: } M_u &= \phi M_n = \phi A_s f_y j d ; \text{ dimana } \phi = \text{faktor reduksi} = 0,8 \\ &= 0,8 \times 2264,42 \times 240 \times 0,914 \times 550 = 218558195,3 \text{ N-mm} \\ &= 218,56 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

Terhadap soal ini telah dilakukan pengujian, kemampuan penampang yang bertulangan  $A_s$  dan  $A'_s$ , diatas tanpa menggunakan tabel dihasilkan  $M_u = 218,44 \text{ kN-m}$  ( $= 218,56 \text{ kN-m}$ , atau 0,05% penyimpangan).

#### 4. Perencanaan luas tulangan pada balok berpenampang T.

Diketahui :  $M_u = 750 \text{ kN-m}$ ;  $b = 1050 \text{ mm}$ ;  $b_w = 300 \text{ mm}$ ;  $t = 100 \text{ mm}$ ;  $h = 550 \text{ mm}$ ;  $d = 500 \text{ mm}$ ;  $d' = 50 \text{ mm}$ ;  $d'/d = 0,1$

Mutu beton,  $f'_c = 13,5 \text{ MPa}$  ; mutu baja,  $f_y = 320 \text{ MPa}$ .

**Ditanyakan :** Luas tulangan

**Perhitungan :**

Beton,  $f'_c = 15 \text{ MPa} < 30 \text{ MPa} \rightarrow \text{ok!}$

$$\phi_o = \frac{\epsilon_y}{\epsilon'_c} = \frac{320 / 2 \times 10^5}{0,003} = 0,533$$

Syarat agar garis netral memotong sayap:

$$k \leq \frac{t}{0,85d} = \frac{100}{0,85 \times 500} = 0,235$$

$$R_m = \frac{M_u}{\phi f'_c b_e d^2} = \frac{750 \times 10^6}{0,8 \times 13,5 \times 1050 \times 500^2} = 0,264$$

Ambil  $\delta = 0,4$  (dengan  $d'/d = 0,1$ ), dari tabel-3 diperoleh:

$k = 0,245 > 0,235$ , artinya garis netral memotong badan  $\rightarrow$  balok T-muni

Kita ambil  $k = 0,25$  (berapa saja asalkan  $> 0,235$ )

$$b'_c = \frac{\beta_1 k b_w + \frac{t b_w}{d} \left( \frac{b_e}{b_w} - 1 \right)}{\beta_1 k} = 1005,9 \text{ mm}$$

$$R_m = \frac{M_u}{\phi f'_c b'_c d^2} = \frac{750 \times 10^6}{0,8 \times 13,5 \times 1005,9 \times 500^2} = 0,276$$

Ambil  $\delta = 0,4$  (dengan  $d'/d = 0,1$ ), dari tabel-3 diperoleh: |

$k = 0,256 \approx k_{maks} = 0,25 \rightarrow \text{ok!}$ , dan diperoleh juga:

$$q = 0,30883$$

$$\phi' = 0,610 > \phi_o \rightarrow \text{Ok! (tulangan tekan leleh)}$$

$$\phi = 2,899 > \phi_o \rightarrow \text{Ok! (tulangan tarik leleh)}$$

$$q_{min} = \frac{1,4}{f'_c} = \frac{1,4}{13,5} = 0,10 < q \rightarrow \text{ok!}$$

$$q_{maks} = \frac{0,6375 \beta_1 \left( \frac{600}{600 + f_y} \right)}{(1 - \delta)} = \frac{0,6375 \cdot 0,85 \left( \frac{600}{600 + 320} \right)}{(1 - 0,4)} = 0,589 > q \rightarrow \text{ok!}$$

**Tulangan:**

$$\text{Tulangan tarik: } A_s = q \frac{f'_c b'_c d}{f_y} = 0,30883 \frac{13,5 \times 1005,9 \times 550}{320} = 6552,82$$

$\text{mm}^2$

$$\text{Tulangan tekan: } A'_s = \delta A_s = 0,4 \times 6552,82 = 2621,13 \text{ mm}^2$$

Telah dilakukan pengujian keakuratan, dengan cara menganalisis kemampuan penampang yang bertulangan  $A_s$  dan  $A'_s$ , diatas tanpa menggunakan tabel dihasilkan  $M_u = 752,43 \text{ kN-m}$  ( $= 750 \text{ kN-m}$ , atau 0,3% penyimpangan).

## KESIMPULAN

1. Pada studi ini telah diperoleh koefisien-koefisien dasar penampang yang dapat digunakan secara umum, yaitu: (i)  $\phi = \epsilon_s / 0,003$ ; (ii)  $\phi' = \epsilon'_s / 0,003$ ; (iii)  $j =$  koefisien lengan momen dalam; (iv)  $\delta = A'_s / A_s$ ; (v)  $q = \frac{A_s f_y}{f'_c b d}$ ; (vi)  $R_m = \frac{M_u}{\phi f'_c b d^2}$
2. Pengembangan lebih lanjut diperoleh: (vii)  $q_{maks} = \frac{0,6375 \beta_1}{(1-\delta)} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right)$ ; (viii)  $q_{min} = \frac{1,4}{f'_c}$ ; (ix) lebar ekivalensi balok T-murni,  $b'_e = \frac{\beta_1 k b_w + \frac{t b_w}{d} \left( \frac{b_c}{b_w} - 1 \right)}{\beta_1 k}$ ; (x) syarat balok T-palsu bila:  $k \leq \frac{t}{\beta_1 d}$ .

## REFERENSI

ACI Code 318-83 *with Commentary*

Ferguson, P. (1973). *Reinforced Concrete Fundamentals*, John Wiley & Sons, Inc., New York.

Nawy, E.G. (1985). *Reinforced Concrete A Fundamental Approach*, Prentice Hall, Inc., New Jersey.

Park, R. dan R. Paulay. (1976). *Reinforced Concrete Structures*, John Wiley & Sons, Inc., New York.

*Standar Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung SK SNI T-15- 1991-03. (1991)*. Yayasan LPMB-Bandung.

Vis C. dan Gideon K. (1990). *Perhitungan Konstruksi Beton disesuaikan dengan SK SNI T-15-1991-03*, UK Petra Surabaya.

Wang C.K. dan C.G. Salmon. (1985). *Reinforced Concrete Design*, 4<sup>th</sup> ed., Harper & Row, Publishers, New York.

Whitney C.S. (1942). "Plastic Theory in Reinforced Concrete Design", **Transaction ASCE**, 107, 251-326.