

**PROF. IR. SOEMONO**

**NOMOGRAM  
BETON  
BERTULANG**



**PENERBIT DJAMBATAN**

691.3  
506  
n

# NOMOGRAM BETON - BERTULANG

dengan bilangan  $n$  tak tetap

Oleh

Prof. Ir. Soemono



PENERBIT DJAMBATAN

*Hak Cipta © pada Djambatan  
Anggota IKAPI  
Cetakan pertama 1952  
Cetakan kedelapan 1980*

*20. 092 / P / Pu / 80 .*

**PERPUSTAKAAN WILAYAH DEP. P DAN K**  
**Jl. Walikota Mustajab 68**  
**SURABAYA**

*Percetakan Sapdodadi*

## KATA PENDAHULUAN

Hitungan kokoh pada bangunan beton-tulang boleh didasarkan atas teori-kenyal (elasticity) secara menggunakan satu bilangan  $n = E \text{ baja} / E \text{ beton-tekan}$  yang hingga sekarang diambil tetap berlaku untuk segala beton. Menurut hasil-hasil penyelidikan secara ilmiah, cara demikian dianggap kurang tepat, sehingga bilangan  $n$  itu harus disesuaikan dengan mutu (kokoh-kubusnya) beton yang bersangkutan dan cara pembebanannya. Satu dengan yang lain terdapat di dalam Peraturan Beton Indonesia 1971 (baru), disingkat PBI 71.

Berhubung dengan ini, dibuat nomogram-nomogram yang dapat dipergunakan pada sembarang nilai  $n$ .

Di dalam hitungan menurut teori-kenyal yang penting ialah mendapat tingginya bagian beton yang tertekan (lazimnya akan tertulis dengan huruf  $y$ ) atau perbandingan antara tegangan-tarik pada tulangnya (bajanya) dan tegangan-tekan beton di tepinya (jadi yang maximum), yang nilainya variabel (tertulis  $p$ ). Oleh karena  $n$  juga tidak tetap, maka besaran  $p/n$  dipakai sebagai besaran variabel utama yang selalu terlihat di dalam nomogram-nomogram berikutnya (dulu hanya  $p$ ).

Selanjutnya untuk membina keseragaman, maka notasi-notasi/istilah-istilah di dalam PBI 71 sedapat-dapat diikuti pula.

Bandung 1971.

Pengarang

## KATA PENDAHULUAN CETAKAN KEDELAPAN

Kesalahan yang terdapat dalam cetakan ketujuh, telah diperbaiki dalam cetakan kedelapan ini.

Pengarang



## DAFTAR ISI

KATA PENDAHULUAN .....	V	III. MOMEN DISERTAI GAYA-NORMAL (GAYA-NORMAL EXSENTRIS) .....	11
I. PENGANTAR .....	1	A. <i>Sebagian Penampang Tertarik</i> .....	11
II. HITUNGAN AKIBAT MOMEN-LENTUR		§ 1. Tulangan sebelah .....	11
§ 1. Balok persegi dengan tulangan sebelah	2	§ 2. Tulangan rangkap .....	13
§ 2. Balok persegi dengan tulangan rangkap	5	B. <i>Seluruh Penampang Tertekan/Tertarik</i> ....	14
§ 3. Balok T tulangan sebelah .....	8	§ 1. Tekan .....	14
§ 4. Balok T dengan tulangan rangkap .....	10	§ 2. Tarik .....	15
		IV. TULANGAN PROFIL KAKU .....	16
		NOMOGRAM-NOMOGRAM .....	19

## I. PENGANTAR

Penampang balok beton-tulang itu biasanya berbentuk persegi atau serupa huruf T (disebut balok T).

Istilah-istilah mengenai ukuran-ukuran :

- $b$  = lebar balok persegi
- $h_t$  = jumlah tinggi balok
- $d$  = jarak antara garis-berat tulangan tarik dan tepi balok yang tertarik.
- $h$  =  $h_t - d$  = tinggi-kerja atau tinggi-berguna
- $d'$  = jarak antara garis-berat tulangan tekan dan tepi balok yang tertekan
- $A$  = luas penampang tulangan tarik
- $A$  = luas penampang tulangan tekan
- $b_e$  = lebar rib pada balok - T (pinggul)
- $b_m$  = lebar-kerja flensnya
- $t$  = tebal flens.
- $E_a$  = modulus-kenyal baja (tarik/tekan)
- $E_b$  = Modulus-kenyal beton tertekan
- $n$  =  $E_a/E_b$  (tidak tetap, tergantung pada mutu beton dan cara pembebanannya).

Hitungan kokoh pada beton-tulang meliputi dua tahap:

1. Hitungan *mendimensi*, yaitu mencari ukuran penam-

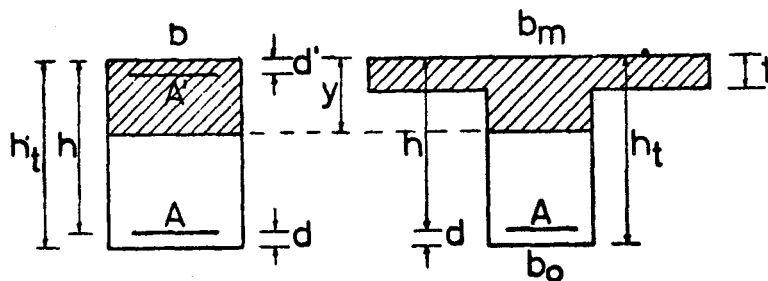
pang serta banyak tulangannya supaya cukup kokoh akan menahan muatan maximum menurut rencana.

2. Hitungan *mengontrol*, yaitu setelah menentukan besarnya penampang serta tulangannya (jadi setelah mendimensi), menghitung tegangan-tegangan maximum pada baja dan beton yang harus  $\leq$  yang diperbolehkan.

Menurut Peraturan Beton Indonesia 1971 (PBI 1971) ada dua soal pembebanan :

- a. Beban "tetap" terdiri dari *beban mati* dan *beban terguna* menurut rencana. (biasanya kedua-duanya itu vertikal)
- b. Beban "sementara", yaitu beban "tetap" di atas ditambah dengan beban yang tidak diharapkan semula (gempa bumi, tekanan angin keras) atau lain-lainnya.

Di dalam hitungan pada pembebanan "sementara" maka bilangan  $n = E_a/E_b$  diambil lebih kecil dan tegangan-tegangan yang diperbolehkan lebih besar dibandingkan dengan hitungan pada beban "tetap".



Gambar 1.



## II. HITUNGAN AKIBAT MOMEN-LENTUR

### § 1. Balok persegi dengan tulangan sebelah

#### a. Rumus-rumus pokok.

Istilah-istilah selanjutnya :

$$n = E_a/E'_b$$

$y$  = jarak antara garis-netral dan tepi tertekan (tinggi bagian beton tertekan).

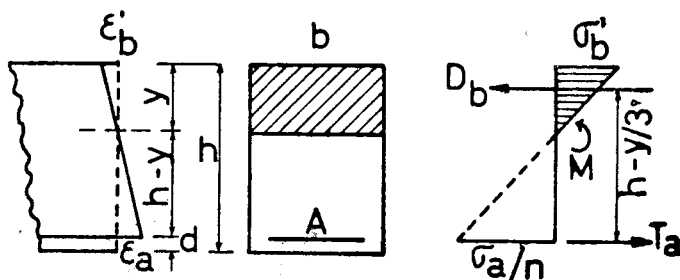
$A$  = luas tampang tulangan tarik (baja)

$\sigma_a$  = tegangan tarik baja;  $\bar{\sigma}_a$  = yang diperbolehkan

$\sigma'_b$  = tegangan tekan beton pada tepinya yang tertekan (maximum);  $\bar{\sigma}'_b$  = yang diperbolehkan.

$\epsilon_a$  = perpanjangan spesifik pada tulangan.

$\epsilon'_b$  = perpandakan spesifik pada tepi beton tertekan.



Gambar II, 1

$M$  = momen-lentur yang dipikul.

$$p = \sigma_a/\sigma'_b$$

$$\xi = y/h$$

$$\omega = A/bh$$

$$k = M/bh^2[\text{kg/cm}^2]$$

Bagian tarik beton diabaikan.

$$\epsilon'_b : \epsilon_a = \sigma'_b/E'_b : \sigma_a/E_a = y : (h-y) = \xi : (1-\xi),$$

dikalikan dengan  $E'_b/\sigma'_b$  menjadi  $1 : p/n = \xi : (1-\xi)$

$$\text{atau } 1 : (1 + p/n) = \xi : 1.$$

$$(1). \xi = \frac{1}{1 + p/n}$$

$$(2). p/n = (1 - \xi) / \xi = 1/\xi - 1.$$

$$T_a = D_b$$

$$A\sigma_a = \frac{1}{2} b y \sigma'_b, \text{ dibagi dengan } b h \sigma_a :$$

$$\omega = \xi / 2p$$

$$(3). n\omega = \frac{\xi}{2p/n}$$

$$M = D_b (h - y/3) = \frac{1}{2} b y \sigma'_b (h - y/3)$$

$$k = M/bh^2 = \frac{1}{2} \xi (1 - \frac{1}{3} \xi) \sigma'_b$$

$$(4). k/\sigma'_b = \frac{1}{2} \xi (1 - \frac{1}{3} \xi)$$

$$(5). nk/\sigma_a = \xi \frac{(1 - \xi/3)}{2p/n} = n\omega (1 - \xi/3)$$

Dari (2) dan (3) terdapat:

$$n\omega = \frac{\xi^2}{2(1 - \xi)} \text{ atau } \xi^2 + 2n\omega \xi - 2n\omega = 0$$

$$(6). \xi = n\omega \{(-1 + \sqrt{1 + 2/n\omega})\}$$

Dari (4) terdapat:

$$\xi^2 - 3\xi - 6k/\sigma'_b = 0.$$

$$(7). \xi = 1,5 - \sqrt{2,25 - 6k/\sigma'_b}$$

Pada kejadian khusus, jika  $\sigma_a = \bar{\sigma}_a$  dan  $\bar{\sigma}'_b = \sigma'_b$  besaran-besaran utama di atas diberi "index nol", jadi:

$$p_o = \bar{\sigma}_a/\bar{\sigma}'_b ; \xi_o = \frac{1}{1 + 2p_o/n} ; \omega \text{ menjadi } \omega_o.$$

$nk \sigma_a$  menjadi  $(nk/\sigma_a)_o = nk_o/\bar{\sigma}_a ; (p/n)_o = p_o/n.$

$(k/\sigma'_b)_o = k_o/\bar{\sigma}'_b, h = h_o, \text{ dst.}$

Besaran-besaran  $p, \xi, n, nk/\sigma_a, k/\sigma'_b$  tidak berdimensi sehingga memudahkan pekerjaan (jadi berlaku pada system unit sembarangan). Berdasarkan atas  $p/n$  yang variabel, terdapat daftar I dan atas  $n\omega$ , daftar II.

Terlihat bahwa hubungan antara  $n\omega$  dan  $nk/\sigma_a$  praktis bersifat lurus (linear);  $\Delta n\omega/(\Delta nk/\sigma_a)$  praktis tetap, yaitu  $\approx 1/0,8$ . Berhubung dengan ini, sebagai pendekatan boleh diambil:

$$(8). n\omega \approx \frac{nk \sigma_a}{0,8} - 0,01$$

$$(9). nk/\sigma_a \approx 0,8 n\omega + 0,008$$

Nomogram 1a melukiskan hubungan antara  $n\omega$  dan  $nk/\sigma_a$  sedang nomogram-nomogram 1b s/d 1d memperlihatkan hubungan-hubungan antara  $p/n$  dan  $n\omega, k/\sigma'_b$  dan  $nk/\sigma_a$ .

Satu sama lain untuk memudahkan interpolasi.

#### b. Penggunaan rumus-rumus

Kita ambil contoh-contoh jenis beton yang terdapat di dalam PBI 70. (naskah PBI-71).

1a) Beton K 125 (Kokoh/karakteristik 125 kg/cm<sup>2</sup>) ditulangi dengan baja U 22 pada pembebanan tetap dengan  $n = 30; \bar{\sigma}_a = 1200 \text{ kg/cm}^2; \bar{\sigma}'_b = 40 \text{ kg/cm}^2$ .

Daftar I

$p/n$	$\xi = \frac{1}{1+p/n}$	$n\omega = \frac{\xi}{2p/n}$	$nk/\sigma_a = n\omega (1 - \xi/3)$	$k/\sigma'_b = 0,5 \xi (1 - \xi/3)$	$p/n$	$\xi = \frac{1}{1+p/n}$	$n\omega = \frac{\xi}{2p/n}$	$nk/\sigma_a = n\omega (1 - \xi/3)$	$k/\sigma'_b = 0,5 \xi (1 - \xi/3)$
0	1,000	—	—	0,333	1,0'	0,500'	0,250'	0,208'	0,208
0,1	0,909	4,545	3,170	317	1,1	476	216	183	200
0,2	853	2,083	1,585	301	1,2	455	190	161	192
0,3	769	1,206	0,955	286	1,3	435	167	143	186
0,4	714	0,893	680	272	1,4	419	147	129	180
0,5	667	667	520	260	1,5	400	133	115	174
0,6	625	521	413	248	1,6	385	120	105	168
0,7	584	421	338	237	1,7	370	109	0,096	162
0,8	556	348	281	227	1,8	357	0,094	0,083	157
0,9	527	293	242	217	1,9	345	0,091	0,081	153
1,0	0,500	0,250	0,208	0,208	2,0	0,333	0,084	0,075	0,145

Daftar II

$n\omega$	$nk/\sigma_a$	$\xi$	$n\omega$	$nk/\sigma_a$	$\xi$
0,05	0,046	0,270	0,18	0,153	0,446
6	54	291	19	161	454
7	63	311	0,20	167	462
8	71	328	21	177	470
9	80	343	22	185	477
0,10	88	359	23	193	485
11	0,096	372	24	201	492
12	0,105	384	0,25	208	500
13	113	395	26	216	507
14	121	406	27	224	513
0,15	129	417	28	232	518
16	137	427	29	240	523
17	145	439	0,30	0,247	528
18	0,153	0,446			

Berarti  $p_o = 1200/40 = 30$ ;  $(p/n)_o = p_o/n = 30/30 = 1,0$ ;  $n\omega_o = 0,250$ ;  $(nk/\sigma_a)_o = nk_o/\sigma_a = 0,208$  (nomogram I atau daftar I/II);  $\omega_o = 0,250/30 = 0,00833$ ;  $k_o = 0,208.1200/30 = 8,32 \text{ kg/cm}^2 = 83,2 \text{ t/m}^2$ .

Dengan  $k = M/bh^2$  terdapat  $h = \sqrt{M/bk} = (1/\sqrt{k})(\sqrt{M/b})$ .

$h_o (m) = (1/\sqrt{83,2}) \sqrt{M/b} (\text{tm/m}) = 0,11 \sqrt{M/b}$ .

$h_o (cm) = 11 \sqrt{M/b}$  dengan  $M$  dinyatakan dalam  $\text{tm}$  dan  $b$  dalam  $\text{m}$ .

1b). Pada pembebanan sementara;  $n = 20$ ;  $\sigma_a = 1800 \text{ kg/cm}^2$ ;  $\sigma'_b = 75 \text{ kg/cm}^2$ .

Biasanya dihitung sebagai kontrol, setelah didimensi menurut beban tetap.

2a). Beton K 175 dengan baja U 24. Beban tetap:  $n = 24$ ;  $\sigma_a = 1300 \text{ kg/cm}^2$ .

$\sigma'_b = 55 \text{ kg/cm}^2$ ;  $p_o = 1300/55 = 23,64$ ;  $p_o/n = 0,985$ ;  $n\omega_o = 0,256$ ;

$\omega_o = 0,256/24 = 0,01067$ ;  $(nk/\sigma_a)_o = 0,213$ ;  $k_o = 0,213.1300/24 = 11,54 \text{ kg/cm}^2$ .

$h_o (cm) = (100/\sqrt{115,4}) \sqrt{M/b} = 9,32 \sqrt{M/b}$ .

2b). Beban sementara:  $n = 16$ ;  $\sigma_a = 2000 \text{ kg/cm}^2$ ;  $\sigma'_b = 100 \text{ kg/cm}^2$ . Di dalam contoh-contoh berikutnya, diameter batang tulangan dinyatakan dalam  $\text{mm}$  (lihat daftar baja bulat pada halaman terakhir).

Jika  $h \geq h_o$ , hitungan didasarkan atas  $\sigma_a = \sigma_a$ , sebab  $p \geq p_o$  sehingga  $\sigma'_b = \sigma_a/p \leq \sigma'_b$ . Sebaliknya pada  $h < h_o$  akan terdapat  $p < p_o$  sehingga  $\sigma'_b = \sigma_a/p > \sigma'_b$  jika diambil  $\sigma_a = \sigma_a$ . Hitungan harus didasarkan atas  $\sigma'_b = \sigma'_b$ ; dengan begitu  $\sigma_a = p\sigma'_b < \sigma_a$ .



## BEBERAPA CONTOH

### CONTOH II, 1.

Balok dengan lebar  $b = 30$  cm harus memikul momen sebesar  $M = 10,0$  tm pada beban tetap. Ambil beton K 125 dengan  $n = 30$  dan kombinasi 1200/40.

a). Mendimensi.  $M/b = 10/0,30 = 33,33$ ;  $h_o = 11\sqrt{M/b} = 11\sqrt{33,33} = 63,5$  cm. Tentukan  $h_t = 70$  cm dengan  $d = 5$  cm; djadi tersedia  $h = 70 - 5 = 65$  cm  $> h_o$ . (aman);  $bh = 30.65 = 1950$  cm<sup>2</sup>;  $bh^2 = 126750$  cm<sup>3</sup>.  $k = M/bh^2 = 1000000/126750 = 7,9$  kg/cm<sup>2</sup>  $< k_o = 8,32$  kg/cm<sup>2</sup> (cocok).  $nk/\sigma_a = 30.7,9/1200 = 0,198$ .

Nom. Ia:  $n\omega = 0,236$ ;  $\omega = 0,236/30 = 0,00787$ ;  $A = \omega bh = 0,00787.1950$  cm<sup>2</sup>  $= 15,35$  cm<sup>2</sup>  $< 4 \phi 22$  (7/8")  $= 15,48$  cm<sup>2</sup>.

b). Kontrol. Tersedia:  $\omega = A/bh = 15,48/1950 = 0,00795$ ;  $n\omega = 30.0,00795 = 0,238$ .

Nom. Ia:  $nk/\sigma_a = 0,199$ ;  $k/\sigma_a = 0,199/30 = 0,0066$ .

Nom. Ib:  $p/n = 1,04$ ;  $p = 31,2 > p_o$ .

$\sigma_a = \frac{k}{k/\sigma_a} = 7,9/0,0066 = 1195$  kg/cm<sup>2</sup>  $< \bar{\sigma}_a = 1200$  kg/cm<sup>2</sup>.

$\sigma'_b = \sigma_a/p = 1195/31,2 = 38$  kg/cm<sup>2</sup>  $< \bar{\sigma}'_b = 40$  kg/cm<sup>2</sup>. Jika  $h_t$  dibulatkan ke bawah, yaitu  $h_t = 65$  cm, terdapat:  $h = 65 - 5 = 60$  cm;  $bh = 30.60 = 1800$  cm<sup>2</sup>;  $bh^2 = 108.000$  cm<sup>3</sup>.

$k = M/bh^2 = 1000000/108000 = 9,25$  kg/cm<sup>2</sup>  $> k_o = 8,32$  kg/cm<sup>2</sup>.

$k/\bar{\sigma}_b = k/\sigma'_b = 9,25/40 = 0,232$ ;

Nom. Ic:  $p/n = 0,75 < p_o/n = 1,0$  (cocok);  $p = 22,5$

Nom. Ib:  $n\omega = 0,381$ ;  $\omega = 0,0127$ ;  $A = 0,0127.1800 = 23$  cm<sup>2</sup>, dibandingkan dengan hasil di atas menjadi 1,55 kalinya (tidak hemat). Dapat diharap  $\sigma_a = 22,5.40 = 900$  kg/cm<sup>2</sup> (tidak efficient). Jadi lebih baik mendimensi dengan  $h \geq h_o$ .

Sekarang pendapat menurut  $h > h_o$  di atas dikontrol pada beban sementara dengan  $M = 15,0$  tm, sedang  $n = 20$ ;  $p_o = 1800/75 = 24$ .

Tersedia:  $\omega = 0,00795$ ;  $n\omega = 20.0,00795 = 0,159$ .

Nom. Ia:  $nk/\sigma_a = 0,136$ ;  $k/\sigma_a = 0,136/20 = 0,0068$ .

Nom. Ib:  $p/n = 1,35$ ;  $p = 27 > p_o = 24$ .

$k = M/bh^2 = 1500000/126750 = 11,85$  kg/cm<sup>2</sup>.

$\sigma_a = \frac{k}{k/\sigma_a} = 11,85/0,0068 = 1750$  kg/cm<sup>2</sup>  $< \bar{\sigma}_a = 1800$  kg/cm<sup>2</sup>.

$\sigma'_b = \sigma_a/p = 1750/27 = 65$  kg/cm<sup>2</sup>  $< \bar{\sigma}'_b = 75$  kg/cm<sup>2</sup>. Momen dapat diperbesar sampai  $1800/1750 = 1,02$  kalinya (bertambah 2%).

### CONTOH II, 2

Seperti di atas dengan beton K 175 dan baja U 24.  $n = 24$ ;  $p_o = 1300/55 = 23,64$ ,  $k_o = 11,54$  kg/cm<sup>2</sup>;  $h_o = 9,32 \sqrt{M/b}$ .

$M = 10,0$  tm:  $b = 30$  cm  $= 0,30$  m;  $h_o = 9,32 \sqrt{33,33} = 53,5$  cm.

Tentukan  $h_t = 60$  cm;  $h = 60 - 5 = 55$  cm;  $bh = 1650$  cm<sup>2</sup>;  $bh^2 = 90750$  cm<sup>3</sup>;  $k = M/bh^2 = 1000000/90750 = 11,1$  kg/cm<sup>2</sup>;  $nk/\sigma_a = 24.11,1/1300 = 0,203$ .

Nom. Ia:  $n\omega = 0,243$ ;  $\omega = 0,243/24 = 0,0101$ ;

$A = \omega bh = 0,0101.1650 = 16,7$  cm<sup>2</sup>  $< 6 \phi 19$  (1 1/4")  $= 17,0$  cm<sup>2</sup>.

Kontrol: tersedia  $\omega = A/bh = 17,01/1650 = 0,0103$ ;  $n\omega = 0,247$ .

Nom. Ia:  $nk/\sigma_a = 0,206$ ;  $k/\sigma_a = 0,206/24 = 0,0086$ .

Nom. Ib:  $p/n = 1,02$ ;  $p = 24.1,02 = 24,5$ .

$\sigma_a = \frac{k}{k/\sigma_a} = 11,1/0,0086 = 1290$  kg/cm<sup>2</sup>  $< \bar{\sigma}_a = 1300$  kg/cm<sup>2</sup>.

$\sigma'_b = \sigma_a/p = 1290/24,5 = 52,5$  kg/cm<sup>2</sup>  $< \bar{\sigma}'_b = 55$  kg/cm<sup>2</sup>

Sekarang  $M = 15$  tm pada beban sementara;  $n = 16$ ;  $p_o = 2000/100 = 20$

$n\omega = 16.0,0103 = 0,165$ ;  $nk/\sigma_a = 0,141$ ;  $k/\sigma_a = 0,141/16 = 0,0088$  (nom. Ia).

$p/n = 1,31$ ;  $p = 16.1,31 = 21 > p_o = 20$  (nom. Ib).  $k = M/bh^2 = 1500000/90750 = 16,65$  kg/cm<sup>2</sup>.

$\sigma_a = \frac{k}{k/\sigma_a} = 16,65/0,0088 = 1850$  kg/cm<sup>2</sup>  $< \bar{\sigma}_a = 2000$  kg/cm<sup>2</sup>.

$\sigma'_b = \sigma_a/p = 88$  kg/cm<sup>2</sup>  $< \bar{\sigma}'_b = 100$  kg/cm<sup>2</sup>. Momen boleh bertambah sampai  $2000/1850 = 1,08$  kalinya (tambah 8%).

### CONTOH III, 3

Lantai menahan momen pada beban tetap  $M_{100} = 0,675$  tm (berarti tiap m lebarnya).

a). Beton K 125 dengan baja U 22;  $n = 30$ ;  $p_o = 1200/40 = 30$ ;  $(p/n)_o = 1$ .

$k_o = 8,32$  kg/cm<sup>2</sup>;  $h_o = 11\sqrt{0,675} = 9,1$  cm. Ambil  $h_t = 12$  cm, tersedia  $h = 9,5$  cm;  $bh = 100.9,5 = 950$  cm<sup>2</sup>;  $bh^2 = 9025$  cm<sup>3</sup>;  $k = 67500/9025 = 7,4$  kg/cm<sup>2</sup>  $< k_o = 8,32$  kg/cm<sup>2</sup>;  $nk/\sigma_a = 30.7,4/1200 = 0,185$ ;  $n\omega = 0,220$  (nom. Ia);  $\omega = 0,220/30 = 0,00733$ ;  $A = \omega bh = 0,733.9,5 = 6,95$  cm<sup>2</sup>  $< \phi 10$  (3/8")  $= 10$  cm  $= 7,1$  cm<sup>2</sup> (jarak-sumbu antara batang-batang tulangan = 10 cm).

Kontrol:

Tersedia  $\omega = A/bh = 7,1/950 = 0,0075$ ;

$n\omega = 30.0,0075 = 0,225$ .

$nk/\sigma_a = 0,189$  (nom. Ia);  $k/\sigma_a = 0,189/30 = 0,0063$ .

$p/n = 1,07$  (nom. Ib);  $p = 30.1,07 = 32 > p_o = 30$

$\sigma_a = \frac{k}{k/\sigma_a} = 7,4/0,0063 = 1180$  kg/cm<sup>2</sup>  $< \bar{\sigma}_a = 1200$  kg/cm<sup>2</sup>.

$\sigma'_b = \sigma_a/p = 1180/32 = 37$  kg/cm<sup>2</sup>  $< \bar{\sigma}'_b = 40$  kg/cm<sup>2</sup>.

Beton K 175, baja U 24 dengan  $n = 24$ ;  $p_o = 1300/55 = 23,64$ ;  $k_o = 11,54 \text{ kg/cm}^2$ ;  $h_o = 9,32$   
 $\sqrt{0,675} = 7,7 \text{ cm}$ ; ambil  $h_t = 11 \text{ cm}$ ;  $h = 8,5 \text{ cm}$ ;  
 $bh = 850 \text{ cm}^2$ ;  $bh^2 = 7225 \text{ cm}^3$ ;  $k = 67500/7225$   
 $= 9,35 \text{ kg/cm}^2$ ;  $nk \sigma_a = 24 \cdot 9,35/1300 = 0,173$ ;  
 $n\omega = 0,203$  (nom. Ia);  
 $\omega = 0,203 \cdot 24 = 0,00846$ ;  $A = 0,833 \cdot 8,5 = 7,3 \text{ cm}^2$   
 $< 2 \cdot 10 - 9,5 \text{ cm} = 7,5 \text{ cm}^2$ .

Kontrol:  $\omega = 0,00846$ ;  $n\omega = 0,212$ ;  $nk/\sigma_a = 0,178$ ;  $k/\sigma'_b = 0,00742$ ;  $p/n = 1,12$ ;  $p = 27$ ;  $\sigma_a = 9,35/0,00742 = 12,6 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_a = 1300 \text{ kg/cm}^2$ ;  $\sigma'_b = 12,6/0,212 = 59,4 \text{ kg/cm}^2 < \sigma'_b = 55 \text{ kg/cm}^2$  (agak "boros"),  
 maka bawahi.

Jika ditentukan  $h_t = 10 \text{ cm}$ , akan tersedia  $h = 7,5 \text{ cm} < h_o = 7,7 \text{ cm}$ , tak begitu besar selisihnya; jadi boleh bawahi.

$bh = 100 \cdot 7,5 = 750 \text{ cm}^2$ ;  $bh^2 = 5625 \text{ cm}^3$ ;  $k = 67500/5625 = 12,0 \text{ kg/cm}^2$ , sedikit melebihi  $k_o = 11,54 \text{ kg/cm}^2$ .

Mendasarkan  $\sigma'_b = \bar{\sigma}'_b = 55 \text{ kg/cm}^2$ .

$k/\sigma'_b = 12,0/55 = 0,218$ ;  $p/n = 0,885$  (nom. Ic);  $n\omega = 0,300$  (nom. Ib)

$\omega = 0,300/24 = 0,0125$ ;  $A = \omega \cdot bh = 1,25 \cdot 7,5 = 9,38 \text{ cm}^2 < 2 \cdot 10 - 9,5 \text{ cm} = 9,5 \text{ cm}^2$ .

Kontrol: tersedia  $\omega = 9,5/750 = 0,0126$ ;  $n\omega = 24 \cdot 0,0126 = 0,302$ ;  $p/n = 0,88$  (nom. Ib),  $p = 24 \cdot 0,88 = 21,1$ ;  $k/\sigma'_b = 0,220$  (Ic)

$\sigma'_b = \frac{k}{k/\sigma'_b} = 12,0/0,220 = 54,8 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma}'_b = 55 \text{ kg/cm}^2$ .

$\sigma_a = p/\sigma'_b = 21,1/54,8 = 1160 \text{ kg/cm}^2$  (cukup (efficient)). Untuk lengkapnya, dikontrol secara analisa dengan rumus (6):

$\xi = n\omega \{ -1 + \sqrt{1 + 2/n\omega} \} = 0,302 \{ -1 + \sqrt{1 + 2/0,302} \} = 0,302 \{ -1 + 2,764 \} = 0,532$ .

$p/n = (1 - \xi)/\xi = 0,468/0,532 = 0,88$ ;

$k/\sigma'_b = \frac{1}{2}\xi (1 - \xi/3) = 0,266 \cdot 0,823 = 0,219$  ..... (4)

$nk/\sigma_a = n\omega (1 - \xi/3) = 0,302 \cdot 0,823 = 0,248$  ..... (5)

$k/\sigma_a = 0,248/24 = 0,0103$ .

$\sigma'_b = 12/0,219 = 54,8 \text{ kg/cm}^2$ .

$\sigma_a = 12/0,0103 = 1160 \text{ kg/cm}^2$ .

## CONTOH II, 4

Menghitung momen maximum  $\bar{M}$  yang dapat ditahan. Balok persegi berukuran  $b = 25 \text{ cm}$ ,  $h = 40 \text{ cm}$  ditulangi sebelah dengan  $4 \varnothing 16$  ( $5/8''$ )  $= 9,93 \text{ cm}^2$ . Beraakah momen yang dapat dipikul,  $\bar{M}$ . Jadi diketahui  $bh = 1000 \text{ cm}^2$ ,  $bh^2 = 40.000 \text{ cm}^3$ ;  $\omega = 0,00993$ .

a). Beton K 125 dengan baja U 22.

Pembebanan tetap:  $n = 30$ ,  $p_o = 1200/40 = 30$ ;  $(p/n)_o = p_o/n = 1,0$ ;  $n\omega = 30 \cdot 0,00993 = 0,298$ ;  $p/n = 0,88 < p_o/n$ . Jadi didasarkan atas  $\sigma'_b = \bar{\sigma}'_b = 40 \text{ kg/cm}^2$ ;  $k/\sigma'_b = 0,219$ ;  $\bar{k} = (k/\sigma'_b) \bar{\sigma}'_b = 0,219 \cdot 40 = 8,76 \text{ kg/cm}^2$ .  $\bar{M} = \bar{k} bh^2 = 8,76 \cdot 40000 \text{ kg cm} = 3,5 \text{ tm}$ .

Beban sementara:  $n = 20$ ;  $p_o = 1800/75 = 24$ ;  $p_o/n = 1,2$ .  $n\omega = 20 \cdot 0,00993 = 0,199$ ;  $p/n = 1,16 < p_o/n$ .  $k/\sigma'_b = 0,195$ ;  $\bar{k} = (k/\sigma'_b) \bar{\sigma}'_b = 0,195 \cdot 75 = 14,8 \text{ kg/cm}^2$ .  $\bar{M} = \bar{k} bh^2 = 14,8 \cdot 40000 \text{ kg cm} = 5,9 \text{ tm}$ .

b). Beton K 175, baja U 24.

Muatan tetap:  $n = 24$ ;  $p_o = 1300/55 = 23,64$ ;  $p_o/n = 0,985$ .

$n\omega = 24 \cdot 0,00993 = 0,238$ ;  $p/n = 1,03 > p_o/n$ ; jadi didasarkan atas  $\sigma_a = \bar{\sigma}_a$ ;  $nk/\sigma_a = 0,198$ ;  $\bar{k} = (nk/\sigma_a) (\bar{\sigma}_a/n) = 0,198 \cdot 1300/24 = 10,7 \text{ kg/cm}^2$ .

$\bar{M} = \bar{k} bh^2 = 10,7 \cdot 40000 \text{ kg cm} = 4,28 \text{ tm}$

Beban sementara:  $n = 16$ ;  $p_o = 2300/100 = 23$ ;  $p_o/n = 23/16 = 1,44$ .

$n\omega = 16 \cdot 0,00993 = 0,159$ ;  $p/n = 1,34 < p_o/n$ .

$k/\sigma'_b = 0,155$ ;  $\bar{k} = 0,155 \cdot 100 = 15,5 \text{ kg/cm}^2$ .

$\bar{M} = 15,5 \cdot 40000 \text{ kg cm} = 6,2 \text{ tm}$ .

Catatan:

Mendimensi secara analisa berdasarkan  $nk/\sigma_a = nk/\bar{\sigma}_a$  mendapatkan persamaan pangkat tiga untuk menghitung  $\xi$  atau  $p/n$ ; oleh karena itu disediakan nomogram. Sebagai cara pendekatan yang cukup seksama juga boleh menggunakan rumus (8):

$$n\omega \approx \frac{nk/\sigma_a}{0,8} \leq 0,01$$

Jika didasarkan atas  $k/\sigma'_b$  dapat menghitung besaran  $\xi$  dengan (7), kemudian  $p/n$  dengan (2) dan  $n\omega$  dengan (3).

## § 2. Balok persegi dengan tulangan rangkap

a). Rumus-rumus pokok.

Tulangan di bagian beton tertekan, sebetulnya mengurangi luasnya, akan tetapi ini boleh diabaikan; jadi luas bagian beton yang tertekan, tetap = by. Notasi-notasi selanjutnya:

$A'$  = luas tampang tulangan tekan.

$\omega' = A'/bh$ .

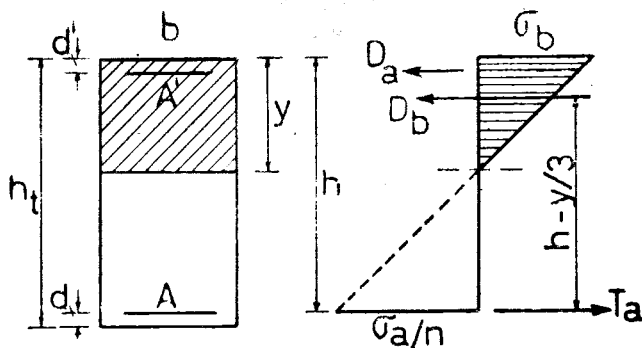
$\sigma'_a$  = tegangan baja pada tulangan tekan

$$\text{Tetap berlaku } \xi = \frac{1}{1 + p/n}$$

$$p' = \sigma'_a/\sigma'_b = n (y - d')/y = n \left( 1 - \frac{d'/h}{\xi} \right)$$

$$(10). \quad p'/n = 1 - (d'/h)/\xi = 1 - (d'/h)(1 + p/n)$$

$$T_a = D_b + D_a.$$



Gambar II, 2

$A\sigma_a = \frac{1}{2} b y \sigma'_b + A' \sigma'_a$ ; dibagi dengan  $bh \sigma_a$ :

$$\omega = \frac{\xi}{2p} + \omega' p'/p.$$

$$(11). \quad n\omega = \frac{\xi}{2p/n} + n\omega' \cdot p'/p = (n\omega) \text{ tul. seb.} + n\omega' p'/p.$$

Momen terhadap  $D_b = M$ .

$$M = T_a \cdot (h - y/3) + D_a(y/3 - d').$$

$$k = M/bh^2 = \omega (1 - \xi/3) \sigma_a + \omega' (\xi/3 - d'/h) \sigma'_a$$

$$k/\sigma_a = \omega (1 - \xi/3) + \omega' (\xi/3 - d'/h) p'/p.$$

$$(12). \quad nk/\sigma_a = n\omega (1 - \xi/3) + n\omega' (\xi/3 - d'/h) p'/p$$

Sekarang momen terhadap  $T_a = M$ .

$$M = D_b (h - y/3) + D_a (h - d') = \frac{1}{2} b y \sigma'_b (h - y/3) + A' \sigma'_a (h - d')$$

$$k = M/bh^2 = \frac{1}{2} \xi (1 - \xi/3) \sigma'_b + \omega' p' \sigma'_b (1 - d'/h)$$

$$(13). \quad nk/\sigma_a = \frac{\xi}{2p/n} (1 - \xi/3) + n\omega' (p'/p) (1 - d'/h) = (nk/\sigma_a)$$

tul. seb. +  $(n\omega' p'/p) (1 - d'/h)$ .

Nomogram II bagian kanan melukiskan (11) dan yang kiri, (13). Setelah  $A$  dan  $A'$  atau  $n\omega$  dan  $n\omega'$  diketahui, juga dapat menghitung besaran  $\xi$ :

$$p/n = (1 - \xi)/\xi.$$

$$p'/p = \frac{p'/n}{p/n} = \frac{\xi - d'/h}{1 - \xi}; \text{ kemudian diisikan dalam}$$

(11);

$$n\omega = \frac{\xi^2}{2(1 - \xi)} + n\omega' \frac{(\xi - d'/h)}{1 - \xi}.$$

$$(14). \quad \xi^2 + 2(n\omega + n\omega')\xi - 2(n\omega + n\omega' d'/h) = 0$$

$$\xi^2 + 2\varphi\xi - 2\beta = 0; \quad \xi = -\alpha + \sqrt{\alpha^2 + 2\beta}.$$

Setelah  $\xi$  ini terdapat, menghitung  $p/n = (1 - \xi)/\xi$ ,  $p'$  dan  $nk/\sigma_a$  dengan (12) atau (13). Kemudian:

$$\sigma_a = \frac{k}{k/\sigma_a} \text{ dan } \sigma'_b = \sigma_a/p.$$

Di dalam hitungan mendimensi, diambil:  $\sigma_a = \bar{\sigma}_a$

dan  $\sigma'_b = \bar{\sigma}'_b$ , jadi  $p = p_o$  atau  $p/n = (p/n)_o$  diketahui.

## CONTOH II, 5

Balok beton K 175 ditulangi dengan baja U 24 berukuran:  $b = 30 \text{ cm}$ ;  $h_t = 60 \text{ cm}$ ,  $d = d' = 5 \text{ cm}$ . Menahan momen dari beban tetap  $M = 13,5 \text{ tm}$ .

Jadi  $n = 24$ ;  $p_o = 1300/55 = 23,64$ ;  $p_o/n = 0,985$ ;  $h = 55 \text{ cm}$ ;  $d'/h = 5/55 = 0,09$ ;  $bh = 30 \cdot 55 = 1650 \text{ cm}^2$ ;  $bh^2 = 90750 \text{ cm}^2$ ;

$k = M/bh^2 = 1350000/90750 = 14,85 \text{ kg/cm}^2 > k_o = 11,54 \text{ kg/cm}^2$  (lihat § 1b).

$nk/\sigma_a = 24 \cdot 14,85/1300 = 0,274$ ;  $p/n = p_o/n = 0,985$ ;  $d'/h = 0,09$ .

Nom. II kiri. Titik potong antara garis-garis  $p/n = 0,985$  dan  $d'/h = 0,09$  dihubungkan dengan titik  $nk/\sigma_a = 0,274$ ; garis penghubung ini memotong pengukur  $n\omega'$  di titik  $n\omega' = 0,051$ .

Pindah ke nom II, kanan. Titik potong antara garis-garis  $p/n = 0,985$  dan  $d'/h = 0,09$  dihubungkan dengan titik  $n\omega' = 0,081$  itu, garis penghubung ini memotong pengukur  $n\omega$  di titik:  $n\omega = 0,323$ .

Jadi terdapat:  $n\omega = 0,323$ ;  $\omega = 0,323/24 = 0,0135$ ;  $n\omega' = 0,081$ ;  $\omega' = 0,081/24 = 0,0034$ .

$A = \omega bh = 0,0135 \cdot 1650 \text{ cm}^2 = 22,3 \text{ cm}^2 < 5 \varnothing 26$  ( $1''$ ) =  $25,3 \text{ cm}^2$

$A' = \omega' bh = 0,0034 \cdot 1650 \text{ cm}^2 = 5,6 \text{ cm}^2 < 2 \varnothing 19$  ( $\frac{3}{4}''$ ) =  $5,66 \text{ cm}^2$ .

Kontrol. Tersedia  $\omega = 25,3/1650 = 0,0154$ ;  $n\omega = 24 \cdot 0,0154 = 0,369$ .

$\omega' = 5,66/1650 = 0,00343$ ;  $n\omega' = 24 \cdot 0,00343 = 0,082$ ; tetap  $d'/h = 0,09$ .

Nom. II kanan. Tarik garis yang menghubungkan  $n\omega = 0,369$  dengan  $n\omega' = 0,082$ ; garis ini memotong garis  $d'/h = 0,09$  yang terletak di atas garis  $p/n = 0,90$ .

Nom. II kiri. Hubungkan titik potong antara garis-garis  $d'/h = 0,09$  dan  $p/n = 0,90$  ini dengan titik  $n\omega' = 0,082$ . Garis penghubung ini memotong pengukur  $nk/\sigma_a$  di titik  $0,309$ .

Jadi terdapat:  $p/n = 0,90$ ;  $p = 24 \cdot 0,90 = 21,6$ .

$nk/\sigma_a = 0,309$ ;  $k/\sigma_a = 0,309/24 = 0,0128$ , sedang  $k = 14,85 \text{ kg/cm}^2$ .

$\sigma_a = \frac{k}{k/\sigma_a} = 14,85/0,0128 = 1160 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma}_a = 1300 \text{ kg/cm}^2$

$\sigma'_b = \sigma_a/p = 1160/21,6 = 54 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma}'_b$ .

## CONTOH II,6

Pada balok yang ditulangi seperti di atas itu, menghitung momen  $\bar{M}$  yang dapat dipikul pada pembebanan sementara.

Sekarang  $n = 16$ ;  $p_o = 2000/100 = 20$ .

$n\omega = 16 \cdot 0,0154 = 0,246$ ;  $n\omega' = 16 \cdot 0,00343 = 0,055$ ;  $d'/h = 0,09$ .

Nom. II, kanan: garis penghubung antara  $n\omega = 0,246$  dan  $n\omega' = 0,055$  memotong garis  $d'/h = 0,09$  di titik di atas garis  $p/n = 1,12$ .

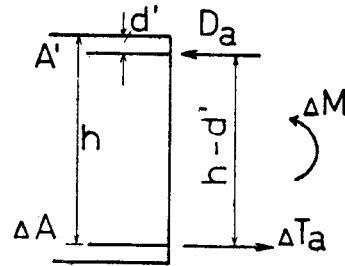
Nom. II, kiri: Titik potong antara garis-garis  $d'/h = 0,09$  dan  $p/n = 1,12$  dihubungkan dengan  $n\omega' = 0,055$  yang menghasilkan  $nk/\sigma_a = 0,215$ ;  $k/\sigma_a = 0,215/16 = 0,0134$ .

Jadi terdapat:  $p/n = 1,12$ ;  $p = 16,1,12 = 18 < p_o = 20$ , berarti harus berdasarkan  $\sigma'_b = \bar{\sigma}'_b = 100 \text{ kg/cm}^2$ ;  $\sigma_a = p \sigma'_b = 18,100 = 1800 \text{ kg/cm}^2$  ( $\bar{\sigma}_a = 2000 \text{ kg/cm}^2$ ).  $\bar{k} = (k/\sigma_a) \sigma_a = 0,0134 \cdot 1800 = 21 \text{ kg/cm}^2$ .  $\bar{M} = \bar{k} bh^2 = 21,80 \cdot 53^3 \text{ kg cm} = 21,8 \text{ tm}$

#### c). Cara dengan rumus

Momen yang dapat ditahan dengan tulangan sebelah atas dengan  $\sigma_a = \bar{\sigma}_a$  dan  $\sigma'_b = \bar{\sigma}'_b$  (jadi  $p = p_o$ ,  $n = n_o$ ).

adalah sebesar  $M_o$ , sedang yang harus ditahan, sebesar  $M > M_o$ . Yang kelebihan ini sebesar  $\Delta M = M - M_o$  harus dipikul oleh tambahan tulangan tarik sebanyak  $\Delta A$  dan tulangan tekan sebanyak  $A'$ .



Gambar II, 3

$$\Delta T_a = D_a = \frac{\Delta M}{h - d'}$$

$$\Delta A \cdot \sigma_a = A' \cdot \sigma'_a = \Delta M / (h - d'); \quad \Delta M / bh^2 = \Delta k;$$

$$\Delta \omega = \Delta A / bh$$

$$(15). \quad \Delta n\omega = n \cdot \Delta \omega = \frac{n \cdot \Delta k \cdot \sigma_a}{1 - d'/h}, \text{ sedang } \sigma_a = \bar{\sigma}_a$$

$$A' : \Delta A = \sigma_a : \sigma'_a = p : p'$$

$$n\omega' = n \cdot \Delta \omega \cdot p/p'$$

$$n\omega = n\omega_o + \Delta n\omega \text{ atau } \omega = \omega_o + \Delta \omega \text{ dan } \omega' = \Delta \omega \cdot p/p'$$

$p'/n = 1 - (d'/h) (1 + p/n)$  dapat ditentukan dengan nom Ie.

Cara ini digunakan pada soal di dalam contoh II, 5 di atas.

#### CONTOH II, 7

$b = 30 \text{ cm}$ ;  $h = 55 \text{ cm}$ ;  $d = d' = 5 \text{ cm}$ ;  $bh = 1650 \text{ cm}^2$ ;  $bh^2 = 90750 \text{ cm}^3$ ;  $M = 13,5 \text{ tm}$ .  $n = 24$ ;  $p_o = 1300/55 = 23,64$ ;

$p_o/n = 0,985$ ;  $n\omega_o = 0,256$ ;  $(nk/\sigma_a)_o = 0,213$ .

Terdapat  $k = M/bh^2 = 14,85 \text{ kg/cm}^2$ ;  $d'/h = 0,09$ ;  $1 - d'/h = 0,91$ .

$nk/\sigma_a = 0,274$  (lihat contoh II, 5).

$\Delta nk/\sigma_a = 0,274 - 0,213 = 0,061$ ;  $p'/n = 1 - (d'/h) (1 + p/n) = 1 - 0,09 \cdot 1,985 = 0,82$ . (nom. Ie: 0,81)

$\Delta n\omega = 0,061/0,91 = 0,067$ ;  $n\omega' = \Delta n\omega \cdot p/p' = 0,067 \cdot 0,985/0,82 = 0,0805$ .

$n\omega = n\omega_o + \Delta n\omega = 0,256 + 0,067 = 0,323$ , dst.

Untuk lengkapnya, dikontrol secara analisa.

Telah terdapat, tersedia:  $n\omega = 0,369$ ;  $n\omega' = 0,082$ ;  $d'/h = 0,09$ .

Menggunakan rumus (14) untuk mendapatkan besaran

$$\xi = -\alpha + \sqrt{\alpha^2 + 2\beta}$$

$$\alpha = n\omega + n\omega' = 0,369 + 0,082 = 0,451; \quad \alpha^2 = 0,203.$$

$$2\beta = 2(n\omega + n\omega' \cdot d'/h) = 2(0,369 + 0,082 \cdot 0,09) = 0,753.$$

$$\xi = -0,451 + \sqrt{(0,203 + 0,753)} = 0,526.$$

$$p/n = (1 - \xi)/\xi = 0,474/0,526 = 0,90 \text{ (dengan nom. 0,90)}.$$

$$p'/n = 1 - 0,09 \cdot 1,90 = 0,82; \quad p'/p = 0,82/0,90 = 0,91$$

(dengan nom. 0,90). Kemudian dengan (12):

$$nk/\sigma_a = n\omega (1 - \xi/3) + n\omega' (\xi/3 - d'/h) p'/p$$

$$= 0,369 \cdot 0,825 + 0,082 \cdot 0,085 \cdot 0,91 = 0,310 \text{ (nom. 0,309); dst.}$$

#### CONTOH II, 8

Balok berukuran  $b = 30 \text{ cm}$ ;  $h_t = 60 \text{ cm}$  diberi tulangan tarik/tekan sejumlah  $11 \varnothing 19 \left(\frac{3}{8}\right) = 31,2 \text{ cm}^2$ . Bagaimanakah pembagiannya kepada bagian-bagian tertarik (A) dan tertekan (A') seefisien-effisiennya. Kemudian menghitung besarnya momen  $\bar{M}$  yang dapat ditahan. Menghitung besaran-besaran yang tetap, ambil  $d = 7 \text{ cm}$ ,  $d' = 5 \text{ cm}$ ; jadi  $h = 53 \text{ cm}$ ;  $bh = 30 \cdot 53 = 1590 \text{ cm}^2$ ;  $bh^2 = 84300 \text{ cm}^3$ ;  $d'/h = 5/53 = 0,10$ .  $\omega + \omega' = 31,2/1590 = 0,0196$ . Kita tentukan pada pembebanan tetap.

a). Beton K 125 dengan baja U 22; jadi  $n = 30$ ;  $p_o = 1200/40 = 30$ .

$(p/n)_o = p_o/n = 1,0$ ;  $n\omega_o = 0,250$ ;  $(nk/\sigma_a)_o = 0,208$ .

$p'/n = 1 - (d'/h) (1 + p_o/n) = 1 - 0,10 \cdot 2 = 0,80$ ;  $p'/p' = 1/0,80 = 1,25$ .

$$n\omega + n\omega' = 30 \cdot 0,0196 = 0,588$$

$$n\omega' = \Delta n\omega \cdot p/p' = 1,25 n \Delta \omega$$

$$\Delta n\omega + n\omega' = 2,25 \cdot \Delta n\omega = n\omega + n\omega' - n\omega_o = 0,588 - 0,250 = 0,338.$$

$$\Delta n\omega = 0,338/2,25 = 0,150.$$

$$n\omega = n\omega_o + \Delta n\omega = 0,400; \quad \omega = 0,400/30 = 0,0133.$$

$$A = \omega bh = 0,0133 \cdot 1590 = 21,1 \text{ cm}^2, \text{ ambil 8 batang} = 22,7 \text{ cm}^2 = 0,0143 bh.$$

$$\text{Jadi } A' = (11 - 8) \text{ batang} = 3 \varnothing 19 = 8,50 \text{ cm}^2 = 0,00535 bh.$$

$$n\omega = 30 \cdot 0,0143 = 0,429; \quad n\omega' = 30 \cdot 0,00535 = 0,160; \quad d'/h = 0,10.$$

Nom. II, kanan:  $p/n = 0,92 < (p/n)_o = 1,0$ ;  $p = 30 \cdot 0,92 = 27,6 < p_o = 30$

Nom. II, kiri: dengan  $p/n = 0,92$  ini terdapat:  $nk/\sigma_a = 0,360$ ;  $k/\sigma_a = 0,360/30 = 0,0120$ .

Oleh karena  $p < p_o$ , maka  $\sigma_a = p \sigma'_b = 27,6 \cdot 40 = 1100 \text{ kg/cm}^2$

$$\bar{k} = (k/\sigma_a) \sigma_a = 0,0120 \cdot 1100 = 13,2 \text{ kg/cm}^2$$

$$\bar{M} = \bar{k} bh^2 = 13,2 \cdot 84300 \text{ kg/cm} = 11,1 \text{ tm}$$

Sekarang pada beban sementara (tanpa merobah tulangannya)  $n = 20$ ;  $p_o = 1800/75 = 24$ .

$$\omega = 20.0,0143 = 0,286; \omega' = 20.0,00535 = 0,107; d'/h = 0,10$$

$$\text{Nom. II, kanan: } p/n = 1,12; p = 1,12.20 = 22,4 < p_o = 24.$$

$$\text{Nom. II, kiri: } nk/\sigma_a = 0,244; k/\sigma_a = 0,244/20 = 0,0122; \sigma_a = 22,4.75 = 1680 \text{ kg/cm}^2.$$

$$\bar{k} = (k/\sigma_a)\sigma_a = 0,0122.1680 = 20,6 \text{ kg/cm}^2.$$

$$\bar{M} = \bar{k}bh^2 = 20,6.84300 \text{ kgcm} = 175 \text{ tm}.$$

$$b). \text{ Beton K 175, baja U 24; } n = 24; p_o = 1300/55 = 23,64 \text{ (p/n)}_o = p_o/n = 0,985.$$

$$n\omega_o = 0,256; p'/n = 1 - 0,10.1,985 = 0,801; p/p' = 0,985/0,801 = 1,23.$$

$$n(\omega + \omega') = 24.0,0196 = 0,470; \omega' = 1,23 \Delta n\omega.$$

$$2,23 \Delta n\omega = 0,470 - 0,256 = 0,214; \Delta n\omega = 0,214/2,23 = 0,096.$$

$$n\omega = n\omega_o + \Delta n\omega = 0,256 + 0,096 = 0,352;$$

$$\omega = 0,352/24 = 0,0147;$$

$$A = 0,0147.1590 = 23,4 \text{ cm}^2; \text{ambil } 8 \varnothing 19 = 22,7 \text{ cm}^2, \text{ jadi } A' = 3 \varnothing 19 = 5,50 \text{ cm}^2.$$

$$\omega = A/bh = 22,7/1590 = 0,0143; \omega' = 8,50/1590 = 0,00535.$$

$$n\omega = 24.0,0143 = 0,343; \omega' = 0,127; d'/h = 0,10$$

$$\text{Nom. II: } p/n = 1,02; p = 24.1,02 = 24,5 > p_o; nk/\sigma_a = 0,295.$$

$$k/\sigma_a = 0,295/24 = 0,0123; \sigma_a = \bar{\sigma}_a = 1300 \text{ kg/cm}^2 \text{ (sebab } p > p_o); \bar{k} = 1300.0,0123 = 16,0 \text{ kg/cm}^2;$$

$$\bar{M} = \bar{k}bh^2 = 16,0.84300 \text{ kg cm} = 13,5 \text{ tm}.$$

$$\text{Beban sementara; } n = 16; p_o = 2000/100 = 20; (p/n)_o = 20/16 = 1,25; n\omega = 16.0,0143 = 0,229; \omega' = 16.0,00535 = 0,086; d'/h = 0,10$$

$$\text{Nom. II: } p/n = 1,25; p = 16.1,25 = 20 = p_o \text{ (kebetulan); } nk/\sigma_a = 0,200; k/\sigma_a = 0,0125.$$

$$\sigma_a = \bar{\sigma}_a = 2000 \text{ kg/cm}^2; \bar{k} = 0,0125.2000 \text{ kg/cm}^2 = 25 \text{ kg/cm}^2.$$

$$\bar{M} = \bar{k}bh^2 = 25.84300 \text{ kg cm} = 21,7 \text{ tm}$$

Catatan:

Apabila pengurangan luas bagian beton tertekan harus diperhitungkan, maka  $\omega'$  dibaca sebagai  $(n-1)\omega'$  yang berarti melipatkan pendapat  $\omega'$  dengan  $n/(n-1)$  kalinya

### § 3. Balok T tulangan sebelah

Notasi-notasi tambahan:

$$\beta = b_o/b_m$$

$$\gamma = t/h$$

$$\omega = A/b_m \cdot h$$

$$k = Mb_m \cdot h^2$$

$$\text{Tetap berlaku: } \xi = y/h = \frac{1}{1 + p/n}.$$

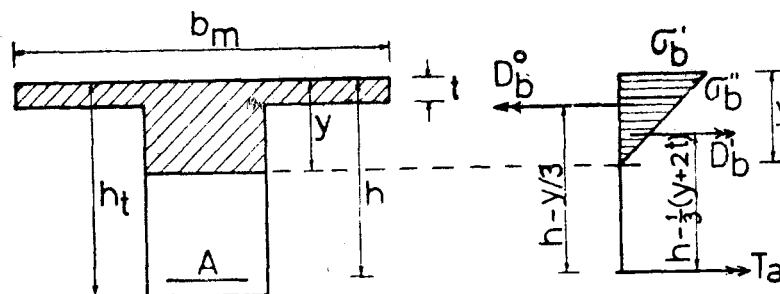
$$\sigma''_b = \sigma'_b (y-t)/y = \sigma'_b \frac{(\xi - \gamma)}{\xi}$$

$$(16). n\omega = \frac{\xi}{2p/n} - \frac{(1-\beta)(\xi-\gamma)^2}{2\xi p/n}, \text{ (nom. III kanan)}$$

$$= (n\omega) \text{ balok persegi} - C_1$$

$$M = D_b^o (h - y/3) - D'_b \{h - y + \frac{2}{3}(y - t)\}$$

$$(17). k = M/bh^2 = [\frac{1}{2} \xi(1 - \xi/3) - \frac{1}{2} (1 - \beta) \frac{(\xi - \gamma)^2}{\xi} \{1 - \frac{1}{3}(\xi + 2\gamma)\}] \sigma'_b.$$



Gambar II, 4

$$D_h^o = \frac{1}{2} b_m y \sigma'_b \text{ (balok persegi selebar } b_m).$$

$$D'_b = \frac{1}{2} (b_m - b_o) (y - t) \sigma'_b \text{ (beton tertekan pada balok persegi selebar } b_m - b_o, \text{ setinggi } y - t)$$

$$D_b = D_h^o - D'_b.$$

$$T_a = D_b$$

$$A \sigma_a = \frac{1}{2} b_m y \sigma'_b - \frac{1}{2} (b_m - b_o) (y - t) \frac{(y - t)}{y} \sigma'_b,$$

dikalikan dengan  $n/b_m h \sigma_a$ .

$$nk/\sigma_a = \frac{\xi(1 - \xi/3)}{2p/n} - \frac{(1 - \beta)(\xi - \gamma)^2}{2\xi p/n} \{1 - (\xi + 2\gamma)/3\}$$

$$= (nk/\sigma_a) \text{ persegi} - C_2 \text{ (nom. III. kiri)}$$

Jadi selalu :  $(n\omega) \text{ balok T} < (n\omega) \text{ balok persegi}$   
 $(nk/\sigma_a) \text{ balok T} < (nk/\sigma_a) \text{ balok persegi}.$

Berarti juga :  $(k_o) \text{ balok T} < (k_o) \text{ balok persegi}$ , yang pertama dipengaruhi oleh  $\beta$  dan  $\gamma$ ;

Jadi tidak tetap pada sesuatu nilai  $p/n$  seperti pada balok persegi dulu.

Contoh:

Pada balok persegi beton K 175 dengan baja U 24 dulu terdapat pada  $n = 24$ ;  $p_o = 1300/55 = 23,64$ ;  $(p/n)_o = 0,985$ ;  $n\omega_o = 0,256$ ;  $(nk/\sigma_a)_o = 0,213$ ;  $k_o = 11,54 \text{ kg/cm}^2$ .

Sekarang balok T dengan  $\beta = b_o/b_m = 0,25$ ;  $\gamma = t/h = 0,15$ ;  $(p/n)_o = 0,985$  juga.

Nom. III, kanan:  $n\omega = n\omega_o = 0,160 < 0,256$ .

Nom. III kiri:  $nk/\sigma_a = (nk/\sigma_a)_o = 0,142$ ;  $k_o = 0,142 \cdot 1300,24 = 7,7 \text{ kg/cm}^2 < 11,54 \text{ kg/cm}^2$ .

### CONTOH II, 9

Balok T berukuran:  $b_o = 30 \text{ cm}$ ,  $b_m = 150 \text{ cm}$ ;  $h_t = 60 \text{ cm}$ ;  $d = 7 \text{ cm}$ ;  $t = 10 \text{ cm}$ , menahan momen  $M = 16 \text{ tm}$  (beban tetap). Menghitung berapa banyak tulangnya.

Menentukan bilangan-bilangan yang tetap:  $h = 60 - 7 = 53 \text{ cm}$ ;

$b_m \cdot h = 150 \cdot 53 = 7950 \text{ cm}^2$ ;  $b_m h^2 = 421000 \text{ cm}^2$ ;  $\beta = 30/150 = 0,20$ ;  $\gamma = 10/53 = 0,19$   $k = M/b_m h^2 = 1600000/421000 = 3,80 \text{ kg/cm}^2$ .

a). Beton K 125 dengan baja U = 22;  $n = 30$ ;  $p_o = 1200/40 = 30$ ;  $(p/n)_o = 1,0$ .

$nk/\sigma_a = 30 \cdot 3,80/1200 = 0,095$ ;  $p/n = (p/n)_o = 1,0$ ;  $\beta = 0,20$ ;  $\gamma = 0,19$

Nom. III, kiri: menarik garis penghubung antara titik-titik  $nk/\sigma_a = 0,095$  dan  $\beta = 0,20$ ; garis ini memotong garis  $\gamma = 0,19$  di titik yang terletak pada garis  $p/n = 1,5 > (p/n)_o = 1,0$  (harus!)

Nom. III, kanan: titik potong antara garis  $p/n = 1,5$  ini dan garis  $\gamma = 0,19$  dihubungkan dengan  $\beta = 0,20$ ; garis-penghubung ini memotong pengukur  $n\omega$  di titik  $n\omega = 0,106$ .

Jadi terdapat:  $n\omega = 0,106$ ;  $\omega = 0,106/30 = 0,0035$ .  $A = \omega b_m \cdot h = 0,0035 \cdot 7950 = 28 \text{ cm}^2 < 6 \varnothing 26 (1") = 30,4 \text{ cm}^2$

Kontrol, tersedia  $\omega \Rightarrow 30,4/7950 = 0,00383$ ;  $n\omega = 30 \cdot 0,00383 = 0,115$ .

Nom. III, kanan: terdapat  $p/n = 1,4$ ; kiri:  $nk/\sigma_a = 0,103$   $p = 30 \cdot 1,4 = 42$ ,  $k/\sigma_a = 0,103/30 = 0,00343$ .

$\sigma_a = \frac{k}{k/\sigma_a} = 3,80/0,00343 = 1110 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma}_a = \frac{1200 \text{ kg/cm}^2}{1,2}$

$\sigma'_b = \sigma_a/p = 1110/42 = 26,5 \text{ kg/cm}^2 < \sigma'_b = 40 \text{ kg/cm}^2$  (kecil oleh karena ada flens)

$\bar{k} = (k/\sigma_a) \bar{\sigma}_a = 0,00343 \cdot 1200 = 4,11 \text{ kg/cm}^2$ ,  $\bar{M} = \bar{k} b_m h^2 = 17,4 \text{ tm}$

$> M$  (juga sebagai kontrol).

Sekarang menghitung  $\bar{M}$  pada beban sementara.

$n = 20$ ;  $p_o = 1800/75 = 24$ ;  $(p/n)_o = 1,2$ .

$n\omega = 20 \cdot 0,00383 = 0,077$ ; tetap  $\beta = 0,20$ ;  $\gamma = 0,19$ .

Nom. III kanan:  $p/n = 1,9$ ; kiri:  $nk/\sigma_a = 0,070$ ;  $k/\sigma_a = 0,070/20 = 0,0035$ .

$p = 20 \cdot 1,9 = 38 > p_o = 24$ ;  $\bar{k} = (k/\sigma_a) \bar{\sigma}_a = 0,0035 \cdot 1800 = 6,3 \text{ kg/cm}^2$ .

$\bar{M} = \bar{k} b_m h^2 = 6,3 \cdot 421000 \text{ kg cm} = 26,5 \text{ tm}$

Catatan:

Jika  $nk/\sigma_a$  terdapat begitu kecil, sehingga satu sama lain jatuh di luar batas nomogram, ini disebabkan oleh karena  $b_m$  yang dihitung relatif besar, atau juga garis-netralnya jatuh di dalam flens (balok menjadi persegi dengan lebar  $b_m$ ). Untuk mengatasi kesulitan ini, maka  $b_m$  diperkecil hingga menjadi separoh misalnya. Dengan demikian,  $nk/\sigma_a$  dan  $\beta = b_o/b_m$  menjadi dua kalinya. Dengan nilai-nilai baru ini,  $(nk/\sigma_a)_1 = 2 nk/\sigma_a$ ,  $\beta_1 = 2\beta$  akan terdapat  $n\omega_1 \approx 2 n\omega$  yang sebangunnya. Pada akhirnya:  $A = \omega_1 \cdot \frac{1}{2} b_m h = \omega b_m h$  (sebab  $\omega_1 \approx 2\omega$ ).

Sarat yang diharuskan ialah bahwa  $(p/n)$  yang terdapat itu harus  $\geq (p/n)_o$  atau  $p_1 \geq p_o$  (tetap dilingkungan tulangan sebelah dengan  $\sigma_a = \bar{\sigma}$ ).

Contoh:  $nk/\sigma_a = 0,05$ ;  $\beta = 0,2$ ;  $\gamma = 0,20$ . Garis penghubung antara titik-titik  $nk/\sigma_a = 0,05$  dan  $\beta = 0,2$  jatuh di luar batas nomogram. Bagilah  $b_m$  dengan dua, yang berarti  $(nk/\sigma_a)_1 = 2 \cdot 0,05 = 0,1$ ;  $\beta_1 = 2\beta = 0,4$ . Nom. III kiri:  $(p/n)_1 = 1,5$  (dianggap  $> p_o/n$ ); Kanan:  $(n\omega)_1 = 0,115$ .  $n\omega \approx 0,5$   $(n\omega)_1 = 0,0575$  (sebetulnya  $< \frac{1}{2}$  nya). Juga boleh digunakan dalam hitungan kontrol.

Atau juga menganggap bahwa  $D_b = D_b^o - D'_b$  bekerja di tengah-tengah tebalnya flens, jadi lengan momen menjadi  $h - t/2 = h(1 - 0,5\gamma)$ . Terdapat

$$A \bar{\sigma}_a = \frac{M}{h(1 - 0,5\gamma)}; A = \frac{M/\bar{\sigma}_a}{h(1 - 0,5\gamma)} \text{ Sebagai}$$

bandingan terdapat juga

$$n\omega = \frac{nk/\sigma_a}{1 - 0,5\gamma}, \text{ di dalam contoh di atas: } n\omega = \frac{0,05}{1 - 0,1} = 0,0556.$$

#### § 4. Balok T dengan tulangan rangkap

itu jarang-jarang terjadi, sebab tujuan balok T itu menambah luasnya beton bagian tertekan dengan flensnya, sehingga  $\sigma'_b$  tidak lekas melampaui batas ( $\sigma'_b \leq \bar{\sigma}_b$ ). Lebih hemat menambah  $h$  yang hanya menambah luas ribnya saja yang relatif sempit sedang banyaknya tulangan (baja) akan berkurang; baja itu relatif lebih mahal dari pada beton (devisa!).

Jadi sedapat-dapat menghindari mendimensi balok T dengan tulangan rangkap, kecuali jika keadaan memaksa.

Caranya menghitung seperti pada contoh II,7 dikombinasikan dengan nomogram III. Dengan nom. III ini, menghitung besaran<sup>2</sup>  $(nk/\sigma_a)_o$  dan  $n\omega_o$  berdasarkan atas  $p/n = (p/n)_o = p_o/n$ ,  $\beta$  dan  $\gamma$ . Kemudian  $\Delta nk/\sigma_a$ ;  $\Delta n\omega$  dan  $n\omega'$ .

##### CONTOH II, 10

Balok T dengan ukuran-ukuran:  $b_o = 40$  cm;  $h_t = 110$  cm;  $b_m = 160$  cm;  $t = 15$  cm.

Momen  $M = 136$  tm (beban tetap).

Ketentuan-ketentuan selanjutnya: ambil  $d = 10$  cm,  $d' = 5$  cm; jadi  $h = 100$  cm;

$b_m h = 160 \cdot 100 = 16000$  cm<sup>2</sup>;  $b_m h^2 = 1600000$  cm<sup>3</sup>;

$\beta = b_o/b_m = 0,25$ ;

$\gamma = t/h = 0,15$ ;  $d'/h = 0,05$ .

Beton K 175;  $n = 24$ ;  $p_o = 1300/55 = 23,64$ ;  $p/n = p_o/n = 0,985$ .

$p'/n = 1 - (d'/h)(1 + p/n) = 1 - 0,05 \cdot 1,985 = 0,90$ ;

$p/p' = 0,985/0,90 = 1,1$ .

$k = M/b_m h^2 = 13600000/1600000 = 8,5$  kg/cm<sup>2</sup>;  $nk/\sigma_a = 24 \cdot 8,5/1300 = 0,157$ .

Dengan  $p/n = 0,985$ ,  $\beta = 0,25$  dan  $\gamma = 0,15$  terdapat menurut:

nom. III, kiri:  $(nk/\sigma_a)_o = 0,143$ ; kanan:  $n\omega_o = 0,160$   
 $\Delta nk/\sigma_a = 0,157 - 0,143 = 0,014$ .

$\Delta n\omega = \frac{\Delta nk/\sigma_a}{1 - d'/h} = 0,014/0,95 = 0,0147$ ;  $n\omega' =$

$\Delta n\omega \cdot p/p' = 0,0147 \cdot 1,1 = 0,0161$ .

$n\omega = n\omega_o + \Delta n\omega = 0,160 + 0,0147 = 0,175$ ;  $\omega = 0,175/24 = 0,0073$ .

$A = \omega b_m h = 0,0073 \cdot 16000 = 116$  cm<sup>2</sup>  $\approx 23 \times 26$  (1") = 118 cm<sup>2</sup>.

$\omega' = 0,0161/24 = 0,0067$ ;  $A' = 0,0067 \cdot 1600 = 10,8$  cm<sup>2</sup>  $< 4 \times 19$  ( $\frac{3}{4}$ ") = 11,34 cm<sup>2</sup>.

Jadi  $A + A' = 116 + 10,8 = 126,8$  cm<sup>2</sup> (menurut hitungan).

Sekarang usaha mencapai tulangan sebelah secara memperbesar  $h$ , yaitu dengan faktor  $\sqrt{k/k_o}$  atau  $\frac{\sqrt{nk/\sigma_a}}{\sqrt{(nk/\sigma_a)_o}}$   
 $= \sqrt{157/143} = 1,05$  dibulatkan sedikit ke atas, sebab  $\gamma = t/h$  akan berkurang, dan begitu juga  $p/n$  yang harus  $\geq p_o/n$ .

Jadi ambil  $h = 1,05 \cdot 100$  cm ditambah sedikit menjadi  $h = 110$  cm.

$b_m h = 160 \cdot 110 = 1760$  cm<sup>2</sup>;  $b_m h^2 = 1936000$  cm<sup>3</sup>;  $\gamma = 15/110 = 0,135$  (ternyata berkurang).

$k = 136/19,36 = 7,05$  kg/cm<sup>2</sup>;  $nk/\sigma_a = 24 \cdot 7,05/1300 = 0,131$ ;  $\beta = 0,25$  (tetap) Nom III, kiri:  $p/n = 1 > p_o/n$  (aman); kanan:  $n\omega = 0,151$ .

$\omega = 0,151/24 = 0,0063$ ;  $A = 0,0063 \cdot 17600 = 111$  cm<sup>2</sup> = 22  $\times$  26" = 111 cm<sup>2</sup>.

Beda dengan cara di atas terdapat 123,8 — 111 = 12,8 cm<sup>2</sup> baja, berarti pada tiap m panjang balok menghemat baja sebanyak 12,8  $\cdot$  100 cm<sup>3</sup>  $\approx$  10 kg dan menambah beton melulu sebanyak hanya 0,40  $\cdot$  0,010  $\cdot$  1 = 0,04 m<sup>3</sup>.



### III. MOMEN DISERTAI GAYA-NORMAL (GAYA-NORMAL EKSENTRIS)

#### A. SEBAGIAN PENAMPANG TERTARIK

##### § 1. Tulangan sebelah

Rumus-rumus pokok.

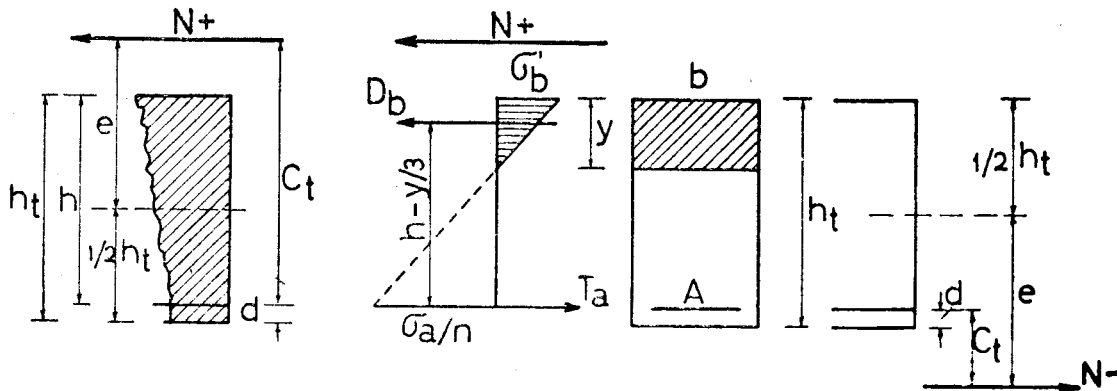
$$D_b - T_s = N$$

$$T_s = D_b - N$$

$$A \sigma_s = \frac{1}{2} b y \sigma'_b - N$$

$$\omega = \frac{\xi}{2p} = \sigma_o / \sigma_a \text{ jika } \sigma_o = N / bh.$$

$e_o = M/N = 3/5 \text{ m} = 0,60 \text{ m}$  (ke-eksentrisan semula).  
Untuk menambah kokoh bangunan terhadap bahaya tekuk, dan berhubung tidak sempurna kedudukannya sumbu tihang, maka menurut PBI 71, ke-eksentrisan semula ini harus ditambah sebagai berikut :  
ke-eksentrisan semula:  $e_o = M/N = \dots 0,60 \text{ m}$



Gambar III, 1

$$(18). \quad n\omega = \frac{\xi}{2p/n} = n \sigma_o / \sigma_a = (n\omega)_{\text{mom}} = n \sigma_o / \sigma_a$$

$$M_t = N c_t \text{ dengan } c_t = e + \frac{1}{2} h_t - d.$$

$$M_t = D_b (h - y/3)$$

$$k_t = M_t / bh^2 = \frac{1}{2} \xi (1 - \xi/3) \sigma'_b.$$

$$(19). \quad k_t / \sigma'_b = \frac{1}{2} \xi (1 - \xi/3) = (k / \sigma'_b)_{\text{mom}}$$

$$(20). \quad nk_t / \sigma_a = \frac{\xi}{2p/n} (1 - \xi/3) = (nk / \sigma_a)_{\text{mom}}$$

Anggauta-anggauta terakhir pada rumus-rumus ini, berlaku juga untuk penampang T.

Selanjutnya N menekan dianggap positif, dan negatif jika menarik.

#### CONTOH III, 1a

Tihang persegi berukuran:  $b = 30 \text{ cm}$ ,  $h_t = 50 \text{ cm}$  dengan  $d = 5 \text{ cm}$  menahan momen  $M = 3 \text{ tm}$  dan N menekan =  $5 \text{ t}$ . (muatan tetap). Panjang tekuk  $l_k = 12 h_t$ .

Beton K 125 dengan  $n = 30$ ;  $p_o = 1200/40 = 30$ ;  $p_o/n = 1,0$ .

$h = 50 - 5 = 45 \text{ cm}$ ;  $bh = 30.45 = 1350 \text{ cm}^2$ ;  $bh^2 = 60750 \text{ cm}^3$ .

bahaya tekuk:  $e_t = 7 h_t (l_k / 100 h_t)^2 =$

$$7.0.50.0.0144 = \dots\dots\dots 0,05 \text{ m}$$

koreksi ketepatan sumbu tihang  $e' =$

$$h_t / 30 = \dots\dots\dots 0,02 \text{ m} (\geq 2 \text{ cm})$$

Oleh karena  $e_o$  makin berkurang (sendi

di kaki tihang),  $e_2 = 0,15 h_t = 0,08 \text{ m}$

$$e = 0,75 \text{ m}$$

$$c_t = e + \frac{1}{2} h_t - d = (0,75 + 0,25 - 0,05) \text{ m} = 0,95 \text{ m}.$$

$$M_t = N c_t = 5.0,95 \text{ tm} = 4,75 \text{ tm}.$$

$$k_t = M_t / bh^2 = 475000 / 60750 \text{ kg/cm}^2 = 7,8 \text{ kg/cm}^2 < k_o = 8,32 \text{ kg/cm}^2.$$

Jadi boleh berdasarkan atas  $\sigma_a = \bar{\sigma}_a = 1200 \text{ kg/cm}^2$ .

$$nk_t / \sigma_a = 30.7,8 / 1200 = 0,195; \sigma_o = N / bh = 5000 / 1350$$

$$= 3,7 \text{ kg/cm}^2, \text{ nom. Id: } p/n = 1,05 > p_o/n.$$

$$\text{Nom. Ia: } (n\omega)_{\text{mom}} = 0,232.$$

$$n\sigma_o / \sigma_a = 30.3,7 / 1200 = 0,092.$$

$$n\omega = 0,140; \omega = 0,140 / 30 = 0,0047;$$

$$A = \omega bh = 0,0047. 1350 \text{ cm}^2 = 6,35 \text{ cm}^2 < 4 \phi 16 (\frac{\pi}{4}) = 7,94 \text{ cm}^2.$$

#### CONTOH III, 1b

Seperti di atas, tetapi N menarik; M tetap 3 tm.

$$\text{Diisi } N = -5 \text{ t}; e = M/N = -0,60 \text{ m}; \sigma_o = -5000 / 1350 = -3,7 \text{ kg/cm}^2$$

$$c_t = e + \frac{1}{2} h_t - d = (-0,60 + 0,20) \text{ m} = 0,40 \text{ m}$$

$$M_t = N c_t = (-5)(-0,40) \text{ tm} = 2 \text{ tm} \text{ (tetap positif).}$$

$$k_t = M_t / bh^2 = 200.000 / 60750 = 3,3 \text{ kg/cm}^2; nk_t / \sigma_a = 3,3 / 40 = 0,0825.$$

$$\text{Nom. Ia: } (n\omega)_{\text{mom}} = 0,094$$

$$\sigma_o / \sigma_a = -3,7 / 1200 = -0,093$$

$$n\omega = \frac{0,187}{0,187}; \omega = 0,187 / 30 = 0,00623. A = 0,00623 \cdot 1350 \text{ cm}^2 = 8,4 \text{ cm}^2 < 3 \varnothing 19 \left(\frac{3}{4}''\right) 8,50 \text{ cm}^2.$$

### CONTOH III, 1c

Sekarang  $N = 0$ ,  $M = 3 \text{ tm}$  (tetap).  
 $k = 300.000 / 60750 = 4,96 \text{ kg/cm}^2; nk / \sigma_a = 4,96 / 40 = 0,124.$   
 Nom. Ia:  $n\omega = 0,145; \omega = 0,145 / 30 = 0,00483; A = \omega bh = 6,52 \text{ cm}^2$   
**Kesimpulan.** Pada kejadian  $N$  menekan, ternyata memerlukan tulangan (tarik) yang terkecil, meskipun  $k_t$  bernilai terbesar, sedang jika  $N$  menarik, memerlukan tulangan (tarik) yang terbesar, meskipun  $k_t$  terkecil. Ini memang mengikuti hukum alam, sebab tekanan memperkecil  $T_a$  sedangkan tarik menambahnya.

### CONTOH III, 2a

Pada tihang di atas,  $N$  menekan diperbesar menjadi 9 t, sedang  $M$  tetap (3 tm).  
 $e_o = M / N = 3 / 9 = 0,33 \text{ m}$   
 $e_1 + e_o' + e_2 \text{ tetap} = 0,15 \text{ m}$   
 $\frac{1}{2} h_t - a = 0,20 \text{ m}$   
 $c_t = 0,68 \text{ m}.$   
 $M_t = N c_t = 6,12 \text{ tm}; k_t = M_t / bh^2 = 612000 / 60750 = 10,05 \text{ kg/cm}^2 > k_o = 8,32 \text{ kg/cm}^2.$   
 Berarti mendasarkan atas  $\sigma'_b = \bar{\sigma}'_b = 40 \text{ kg/cm}^2.$   
 $k_t / \sigma'_b = 10,05 / 40 = 0,251; \text{nom. Ic: } p / n = 0,575; p = 17,2; \sigma_a = p \sigma'_b = 17,2 \cdot 40 = 688 \text{ kg/cm}^2; \sigma_o = 9000 / 1350 = 6,67 \text{ kg/cm}^2.$   
 Nom. Ib:  $(n\omega)_{\text{mom}} = 0,555$   
 $n\sigma_o / \sigma_a = 30 \cdot 6,67 / 688 = 0,291$   
 $n\omega = 0,264; \omega = 0,264 / 30 = 0,0088.$   
 $A = 0,0088 \cdot 1350 = 11,95 \text{ cm}^2 < 5 \varnothing 19 \left(\frac{3}{4}''\right) = 14,17 \text{ cm}^2.$

### CONTOH III, 2b

Seperti di atas,  $N$  menarik.  
 $c = M / N = 3 / 9 \text{ m} = 0,333 \text{ m}.$   
 $c_t = e + \frac{1}{2} h - d = (-0,333 + 0,20) \text{ m} = -0,133 \text{ m}.$   
 $M_t = N c_t = 1,2 \text{ tm}; k_t = M_t / bh^2 = 120000 / 6075 = 1,98 \text{ kg/cm}^2 < k_o = 8,32 \text{ kg/cm}^2.$

$$n k_t / \sigma_a = 1,98 / 40 = 0,0495; \sigma_o = -9000 / 1350 = -6,67 \text{ kg/cm}^2.$$

$$\text{Nom. Ia: } (n\omega)_{\text{mom}} = 0,055$$

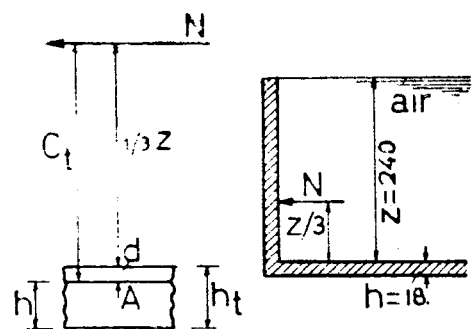
$$n\sigma_o / \sigma_a = -6,67 / 40 = -0,167$$

$$n\omega = 0,222; \omega = 0,222 / 30 = 0,0074.$$

Di sini tulangnya terdapat < daripada di atas. Ini disebabkan oleh karena penambahan ke-exsentrisan ( $e_1 + e_o' + e_2 = 15 \text{ cm}$ ) relatif besar terhadap  $e_o = 33 \text{ cm}.$

### CONTOH III, 13

Bak air persegi dengan tinggi air  $z = 2,40 \text{ m};$   
 tebal pelat-alasnya  $h_t = 18 \text{ cm}.$   
 Beton K 175 dengan baja U 24.  
 $n = 24; p_o = 1300 / 55 = 23,64; p_o / n = 0,985.$   
 $k_o = 11,54 \text{ kg/cm}^2.$



Gambar III, 2

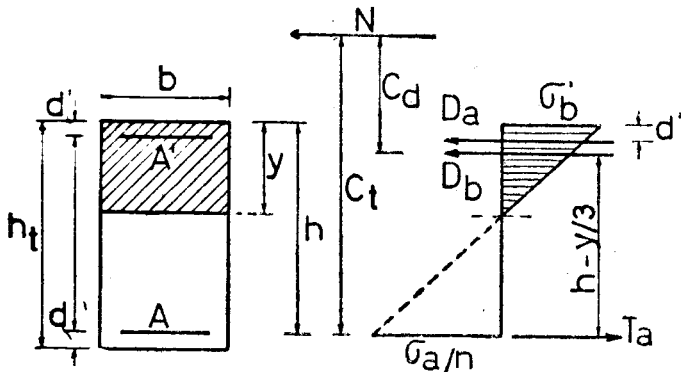
Tentukan  $d = 3 \text{ cm}; h = 18 - 3 = 15 \text{ cm};$   
 Ambil pelat selebar  $b = 100 \text{ cm}; bh = 1500 \text{ cm}^2; bh^2 = 22500 \text{ cm}^3.$   
 $N = \frac{1}{2} \gamma \cdot z^2 = \frac{1}{2} \cdot 1 \cdot 2,40^2 = 2,88 \text{ t} (\gamma = \text{berat jenis air}),$   
 yang menarik eksentris terhadap pelat alas; selanjutnya diambil nilai mutlakanya.  
 $c_t = z/3 + d = 0,80 + 0,03 = 0,83 \text{ m}; \sigma_o = N / bh = 2880 / 1500 = 1,92 \text{ kg/cm}^2.$   
 $M_t = N c_t = 2,88 \cdot 0,83 = 2,4 \text{ tm}; k_t = M_t / (bh^2) = 2400000 / 22500 = 10,67 \text{ kg/cm}^2 < k_o = 11,54 \text{ kg/cm}^2.$   
 $n k_t / \sigma_a = 24 \cdot 10,67 / 1300 = 0,197; \text{nom. Id: } p / n = 1,06 > p_o / n.$   
 $(n\omega)_{\text{mom}} = 0,235 \text{ (nom. Ia)}$   
 $n\sigma_o / \sigma_a = 24 \cdot 1,92 / 1300 = 0,035$   
 $n\omega = 0,270; \omega = 0,270 / 24 = 0,0113.$   
 $A = 1,13 \cdot 15 = 17 \text{ cm}^2 < \varnothing 16 \left(\frac{5}{8}''\right) = 11 \text{ cm} = 18 \text{ cm}^2.$   
*catatan:* Cara-cara hitungan di atas dapat dipergunakan juga pada penampang T.

*Rumus-rumus*

$$D_b' + D_a' - T_a = N.$$

$$T_a = D_b + D_a - N.$$

$A\sigma_a = \frac{1}{2}$  by  $\sigma'_b + A'\sigma'_a - N$ , dikalikan dengan  $n$  bh  $\sigma_a$ .



*Gambar III, 3*

$$(18). \quad n\omega = \frac{\xi}{2p/n} + n\omega' p'/p - \sigma_o/\sigma_a$$

$$n\omega = (n\omega)_{\text{mom}} - \sigma_0/\sigma_a.$$

$$\bar{M}_t - N C_t = D_b (h - y/3) + D_s (h - d')$$

$$k_t = M_t/bh^2 = \{ \frac{1}{2} \xi (1 - \xi/3) + \omega' p' (1 - d' h) \} \sigma'_t$$

$$(19). \quad k_t' \sigma'_b = \frac{1}{4} \xi (1 - \xi/3) + n \omega' (1 - d' \text{hwp}' n) \dots$$

(nom IV kanan).

$$(19a). \quad nk_t' \sigma_s = \frac{\xi}{2p/n} (1 - \xi/3) + n\omega' (1 - d'/h) p'/p$$

$$M_d = Nc_d = T_a(h - d') - D_b(y/3 - d') = \omega bh \sigma_a$$

$$(h - d') - \frac{1}{3} \text{ by } \sigma'_b, (y/3 - d').$$

$$(20). \quad k_d/\sigma'_p = n\omega (1 - d'/h)(p/n) - \frac{1}{2}\xi (\xi/3 - d'/h):.$$

(nom IV kiri).

$$(20a). \quad nk_d/\sigma_a = n\omega (1 - d'/h) - \frac{\xi}{2p/n}(\xi/3 - d'/h).$$

Dengan nomogram IV besaran-besaran  $n\omega'$  dan  $n\omega$  dapat dihitung dengan (19) dan (20) pada  $p \leq p_0$  dengan  $\sigma'_b = \bar{\sigma}'_b$ ; dan dengan (19a) serta (20a) jika  $p \geq p_0$  sedang  $\sigma_a = \bar{\sigma}_a$ . Besaran  $p$  boleh dipilih, dengan mengingat bahwa  $n\omega'$  berkurang jika  $p$  berkurang, sedang sebaliknya  $n\omega$  bertambah jika  $p$  berkurang. Memilih  $p$  (atau  $p/n$ ) supaya  $n\omega' \leq n\omega$ . Lebih baik mendimensi supaya  $n\omega' = n\omega$  (tulangan kembar), jadi  $A' = A$ . Ini oleh karena tandanya momen  $M$  dapat berganti (dari  $+$  ke  $-$ ) dan supaya letaknya  $A$  dan  $A'$

tidak tertukar (salah) di dalam pelaksanaan, maka lebih tepat serta praktis mengadakan tulangan **rangkap kembar**. Untuk mencapai ini, nilai  $p/n$  harus ditentukan (dihitung), yang dipengaruhi oleh:  $d'$ ,  $k_t$  dan  $\sigma_o$ .

Nomogram V menghasilkan nilai  $p/n$  yang memenuhi syarat itu sebagai fungsi dari  $d'/h$ ,  $\sigma_o/\sigma'_b$  dan  $k_t/\sigma'_b$  berdasarkan  $\sigma'_b = \bar{\sigma}'_b$  dan harus terdapat  $p \leq p_o$ .

Nomogram VI mendapatkan  $p/n$  yang disaratkan dengan perantaraan besaran-besaran  $d/h$ ,  $nk/\sigma_a$ , dan  $n\sigma_0/\sigma_a$ , sedang  $\sigma_a = \bar{\sigma}_a$ ; harus terdapat  $p \geq p_0$ .

*CONTOH III, 4*

Penampang persegi berukuran  $b = 40 \text{ cm}$ ;  $h_t = 60 \text{ cm}$  menahan  $N = 22 \text{ t}$  (menekan) dengan jumlah ke-eksentrisan  $e = 0,55 \text{ m}$ .

Beton K 125 dengan baja U 22;  $n = 30$ ;  $p_o = 1200/40 = 30$ ;  $p_o/n = 1$ .

Tentukan  $d = d' = 5 \text{ cm}$ ;  $h = 60 - 5 = 55 \text{ cm}$ ;  $bh = 40.55 = 2200 \text{ cm}^2$ ;  $bh^2 = 121000 \text{ cm}^3$ ;  $\frac{1}{2} h_c - d = 0,30 - 0,05 = 0,25 \text{ m}$ ;  $\sigma_o = N \cdot bh = 22000 \cdot 2200 = 10 \text{ kg cm}^2$ .

$$c_t = e \div \frac{1}{2} h_t - d = 0,55 \div 0,25 = 0,80 \text{ m}; c_d =$$

$$e - (1 h - d)' = 0,55 - 0,25 = 0,30 \text{ m.}$$

$$M_z = N_z = 22,080 = 17.6 \text{ tm}; k_z = 1760000/121000 \\ = 14.6 \text{ kg/cm}^2; k_z \sigma_{bz} = 14.6 \cdot 40 = 0,365.$$

$$M_2 = \text{Ne}_2 = 22.020 = 6.6 \text{ tm}; \quad k_d = 660000/121000$$

$$\sigma_3 \sigma'_3 = 11,40 = 0,250; d' h = 5,55 = 0,09.$$

Nom. V dengan  $d' \cdot h = 0,09$ ;  $\sigma_o \cdot \sigma'_b = 0,250$  dan  $k_t/\sigma'_b = 0,365$  mendapatkan  $p/n = 0,9 < p_o/n$ .

Nom. IV kiri:  $n\omega = 0,195$ .

Nom IV. kanan:  $n\omega' = 0,195$ ;  $\omega = \omega' = 0,192/30 = 0,0065$  A = A' = 0,0065.  $2200 \text{ cm}^2 = 14,30 \text{ cm}^2 \approx 5 \varnothing 19 (3/4'') = 14,17 \text{ cm}^2$ .

*CONTOH III, 5*

Tiang seperti di atas terbuat dari beton K 175 ditulangi dengan baja U 24 menahan tekanan eksentris  $N \approx 16 \text{ t}$  dengan jumlah ke-eksentrisan  $e = 1,30 \text{ m}$ ;  $n = 24$ ;  $p_o = 1300/55 = 23,64$ ;  $p_o/n = 0,985$ .

Jadi  $bh = 2200 \text{ cm}^2$ ;  $bh^2 = 121000 \text{ cm}^2$ ;  $d'/h = 0,09$ ;  
 $\frac{1}{2} h_s - d = 0,25$ .

$$c_t = e + \frac{1}{2} h_t - d = 1,30 + 0,25 = 1,55 \text{ m}; c_d =$$

$$1,30 - 0,25 = 1,05 \text{ m.}$$

$$M_t = N_{c_t} = 16,1,55 = 24,8 \text{ tm}; M_d = N_{c_d} = 16,1,05 = 16,80 \text{ tm}.$$

$$k_t = M_t / bh^2 = 2480000 / 121000 = 20,5 \text{ kg/cm}^2; nk_t / \sigma_a = 24,20,5 / 1300 = 0,378$$

$$k_d = M_d / bh^2 = 1680000 / 121000 = 13,85 \text{ kg/cm}^2; nk_d / \sigma_a = 24.13,85 / 1300 = 0,257$$

$\sigma_o = N/bh = 16000/2200 = 7,3 \text{ kg/cm}^2$ ;  $n \cdot \sigma_o / \sigma_a = 24,7,3/1300 = 0,135$ .  
 Nom. VI dengan  $d'/h = 0,09$ ;  $n \cdot \sigma_o / \sigma_a = 0,135$  dan  $n k_t / \sigma_a = 0,378$  mendapatkan  $p/n = 1,1 > p_o/n$ .  
 Berarti  $p = 24,1,1 = 26,4$ ;  $\sigma'_b = \sigma_a/p = 1300/26,4 = 49 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma}'_b$ .  
 $k_t / \sigma'_b = 20,5/49 = 0,420$ ;  $k_d / \sigma'_a = 0,283$ ;  $d'/h = 0,09$ .\*)  
 Nom. IV kanan:  $n\omega' = 0,300$ ; kiri  $n\omega = 0,300$ ; jadi  $\omega = \omega' = 0,300/24 = 0,0125$ .  
 $A = A' = 0,0125 \cdot 2200 = 27,5 \text{ cm}^2 < 6 \varnothing 26 (1'') = 30,4 \text{ cm}^2$ .

### CONTOH III, 6

Tiang bujur sangkar  $30 \times 30 \text{ cm}^2$  dari beton K 125 dengan baja U 22 memikul tekanan eksentris  $N = 15 \text{ t}$  dengan jumlah  $e = 0,115 \text{ m}$ ;  $d = d' = 5 \text{ cm}$ .  
 $n = 30$ ;  $p_o = 1200/40 = 30$ ;  $p_o/n = 1$ .

### B. SELURUH PENAMPANG TERTEKAN/TERTARIK

Berarti bahwa  $N$  bekerja di dalam bidang inti, jadi  $e \leq \frac{1}{6} h_t$ .

#### §. 1. Tekan

Pengurangan luas beton akibat tulangan-tulangannya diperhitungkan, jadi besaran  $n = E'_a E'_b$  dikurangi menjadi  $n - 1$ .

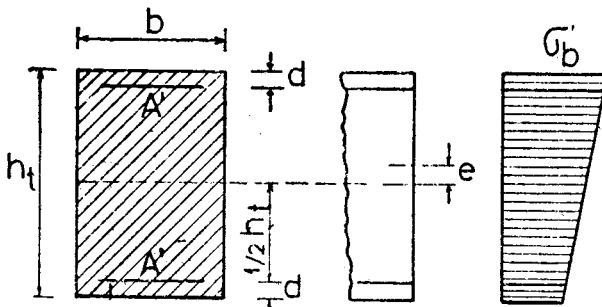
$$F = bh_t + 2(n - 1) A' = bh_t \{1 + 2(n - 1)\omega'\}$$

$$I = \frac{1}{12} bh_t^3 + 2(n - 1) A' (\frac{1}{2} h_t - d')^2 = bh_t^3 \{ \frac{1}{12} + \frac{1}{2} (n - 1)\omega' (1 - 2d'/h_t)^2 \}$$

$$W = \frac{I}{\frac{1}{2} h_t} = bh_t^2 \{ \frac{1}{6} + (n - 1)\omega' (1 - 2d'/h_t)^2 \}$$

$$N_e = M; \sigma_o = N/bh_t; k = M/bh_t^2$$

$$\sigma'_b = N/F + M/W$$



Gambar III, 4

$$(21). \sigma'_b = \frac{\sigma_o}{1 + \frac{2(n-1)\omega'}{k}} + \frac{k}{1/6 + (n-1)\omega'(1-2d'/h)^2} \quad (\text{buat kontrol})$$

$$(22). 1 = \frac{\sigma_o/\sigma'_b}{1 + 2(n-1)\omega'} + \frac{k/\sigma'_b}{1/6 + (n-1)\omega'(1-2d'/h)^2}$$

nom. VII (mendimensi)

\*) Atau juga:  
 $k_t / \sigma'_b = (n k_t' / \sigma_a) (p/n)$   
 $k_d / \sigma'_b = (n k_d / \sigma_a) (p/n)$

$bh = 30,25 = 750 \text{ cm}^2$ ;  $bh^2 = 18750 \text{ cm}^3$ ;  $d'/h = 5/25 = 0,20$ ;  $\frac{1}{2} h_t - d = 0,10 \text{ m}$ .

$c_t = e + \frac{1}{2} h_t - d = 0,115 + 0,10 = 0,215 \text{ m}$ ;  $c_d = 0,115 - 0,10 = 0,015 \text{ m}$ .

$M_t = N c_t = 15,0,215 = 3,23 \text{ tm}$ ;  $M_d = N c_d = 0,225 \text{ tm}$ .  
 $k_t = M_t / bh^2 = 323000 / 18750 = 17,2 \text{ kg/cm}^2$ ;  $k_t / \sigma'_b = 17,2/40 = 0,43$ .

$k_d = M_d / bh^2 = 22500 / 18750 = 1,2 \text{ kg/cm}^2$ ;  $k_d / \sigma'_b = 1,2/40 = 0,03$ .

$\sigma_o = N/bh = 15000/750 = 20 \text{ kg/cm}^2$ ;  $\sigma_o / \sigma'_b = 0,20/40 = 0,50$ .

Nom. V:  $p/n = 0,3 < p_s/n = 1$ .

Nom. IV kanan:  $n\omega' = 0,24$ ;  $\omega = \omega' = 0,24/30 = 0,0080$ .

$A = A' = 0,0080 \cdot 750 = 6,0 \text{ cm}^2 < 3 \varnothing 16 (5/8'') = 5,95 \text{ cm}^2$ .

Catatan: Apabila  $\sigma_o = 0$  soal menjadi tulangan rangkap kembar pada momen pribadi;  $k_t = k_d = M/bh^2 = k$

### CONTOH III, 7

Tiang bujur sangkar  $25 \times 25 \text{ cm}^2$  dari beton K 125 dengan baja U 22 memikul beban sentris  $N = 20 \text{ t}$ , sedang  $I_k/h_t = 12$ .

Lagi  $n = 30$ ;  $p_o = 1200/40 = 30$ .

$d' = 5 \text{ cm}$ ;  $d'/h_t = 0,20$ .

$bh_t = 625 \text{ cm}^2$ ;  $bh_t^2 = 15625 \text{ cm}^3$

$e_o = \dots\dots\dots = 0,0 \text{ m}$

$e_l = 4(I_k/100 h_t)^2 h_t = 4,0,0144,0,25 \text{ m} \dots = 0,015 \text{ m}$

$e'_o = h_t/30 \geq 0,02 \text{ m} \dots = 0,020 \text{ m}$

$e = 0,035 \text{ m} < \frac{1}{8} h_t = 0,041 \text{ m}$ .

$\sigma_o = N/bh_t = 20000/625 = 32 \text{ kg/cm}^2$ ;  $\sigma_o / \sigma'_b = 32/40 = 0,80$ .

$k = N_e/bh_t^2 = 20,000,3,5/15625 = 4,5 \text{ kg/cm}^2$ ;  $k/\sigma'_b = 4,5/40 = 0,113$ ;  $d'/h = 0,20$ .

Nom. VII:  $(n - 1)\omega' = 0,25$ ;  $\omega' = 0,25/29 = 0,00862$   
 $A' = 0,00862 \cdot 625 = 5,4 \text{ cm}^2 < 2 \varnothing 19 (3/4'') = 5,67 \text{ cm}^2 = 0,00906 bh_t$ .

Kontrol dengan (21); tersedia  $(n - 1)\omega' = 29,0,00906 = 0,263$ ;  $(1 - 2d'/h_t)^2 = 0,6^2 = 0,36$ .

$\sigma'_b = \frac{32}{1 + 2,0,263} + \frac{4,5}{0,167 + 0,263,0,36} = 20,6 + 17,2 = 37,8 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma}'_b = 40 \text{ kg/cm}^2$ .

Sekarang beton K 175;  $n = 24$ ;  $\bar{\sigma}'_b = 55 \text{ kg/cm}^2$ .

$\sigma_o / \sigma'_b = 32/55 = 0,582$ ;  $k/\sigma'_b = 4,5/55 = 0,082$ ;  $d'/h = 0,20$ .

Nom. VII:  $(n-1)\omega' = 0,05$ ;  $\omega' = 0,05/23 = 0,0022$   
 $A = 0,0022 \cdot 625 = 1,4 \text{ cm}^2 < 2 \cdot 13 (\frac{1}{2}'' ) = 2,5 \text{ cm}^2$   
 $= 0,004 \text{ bh}_t$ .

Kontrol:  $(n-1)\omega' = 23 \cdot 0,004 = 0,092$ ;  $(n-1)\omega'$   
 $(1 - 2d'/h_t)^2 = 0,092 \cdot 0,36 = 0,033$ .

$$\sigma'_b = \frac{32}{1 + 0,092} + \frac{4,5}{0,167 + 0,033} = 30 + 22,5 = 52,5$$

$$\text{kg/cm}^2 < \bar{\sigma}'_b = 55 \text{ kg/cm}^2.$$

## § 2. Tarik

Besarnya momen seluruhnya, jadi hanya baja yang

Ditentukan sebagai kombinasi dari N sentris dan  $M = Ne$ .

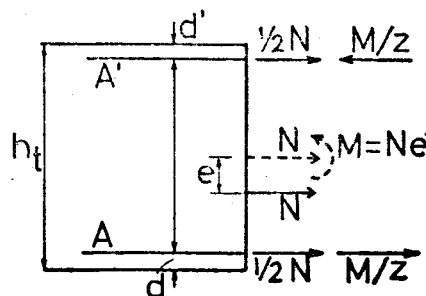
$T_{a \max} = \frac{1}{2} N + M/z = A \sigma_a$ . (terdekat pada N).

$A = T_{a \max} / \sigma_a$  dengan  $\sigma_a = \bar{\sigma}_a$ .

## CONTOH III, 8.

$N = 49 \text{ t}$ ;  $e = 7,5 \text{ cm}$ ;  $h_t = 60 \text{ cm}$ ;  $d = 5 \text{ cm}$ ;  $\bar{\sigma}_a =$   
 $1200 \text{ kg/cm}^2$ .

$z = h_t - 2d = 50 \text{ cm}$ ;  $T_{a \max} = \frac{1}{2} \cdot 40 + 40 \cdot 7,5/50 =$   
 $26 \text{ t}$ ;  $A = 26/1,2 = 21,67 \text{ cm}^2 < 6 \cdot 22 = 132 \text{ cm}^2$ .



Gambar III, 5

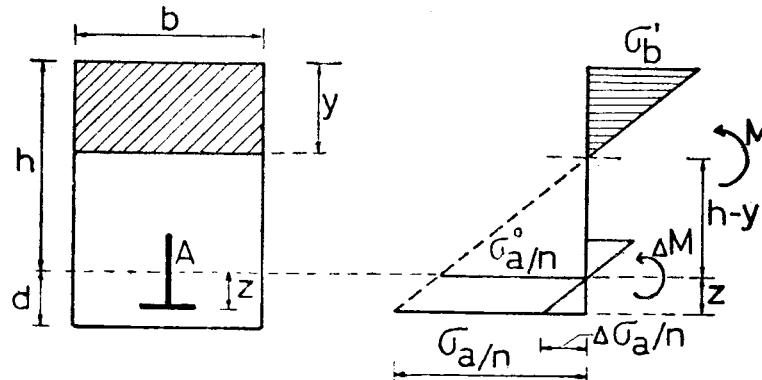
#### IV. TULANGAN PROFIL KAKU

$\sigma_a^o$  = tegangan tarik baja pada garis netralnya profil (dulu  $\sigma_a$ ).

Profil dapat menahan momen secara langsung sebesar  $\Delta M$ , yang menimbulkan tegangan tarik pada tepi bawahnya sebesar  $\Delta \sigma_a = \Delta M z / I = \Delta M / W_b$ .

$I$  = momen inersianya profil pribadi,

$W_b = I / z$  = momen perlawanan tepi bawahnya.



Gambar IV, 1

$$\Delta \sigma_a : \sigma_a^o = z : (h - y).$$

$$\Delta \sigma_a = \sigma_a^o \cdot z / (h - y) = \sigma_a^o \frac{z/h}{1 - \xi}; \quad \sigma_a = \sigma_a^o + \Delta \sigma_a = \sigma_a^o$$

$$\left(1 + \frac{z/h}{1 - \xi}\right)$$

$$p = \sigma_a^o / \sigma'_b = n(1 - \xi) / \xi \text{ seperti biasa; atau } p/n = (1 - \xi) / \xi.$$

$$T_a = D_b$$

$$A \sigma_a^o = \frac{1}{2} b y \sigma'_b$$

$$n\omega = \frac{\xi}{2p/n} \text{ seperti biasa.}$$

$$M = D_b (h - y/3) + \Delta M = D_b (h - y/3) + W \cdot \Delta \sigma_a$$

$$k = M / bh^2 = \frac{1}{2} \xi (1 - \xi/3) \sigma'_b + \frac{W}{bh^2} \Delta \sigma_a \cdot \frac{z/h}{1 - \xi}$$

$$k / \sigma_a^o = \frac{\xi}{2p} (1 - \xi/3) + \frac{W}{bh^2} \cdot \frac{z/h}{(1 - \xi)} = (k / \sigma_a^o)_o +$$

$$\Delta k / \sigma_a^o : (k / \sigma_a^o)_o = (k / \sigma_a)_o \text{ biasa.}$$

$$nk / \sigma_a^o = (nk / \sigma_a)_o \text{ biasa} + \Delta nk / \sigma_a^o = (nk / \sigma_a^o)_o + \Delta nk / \sigma_a^o.$$

##### CONTOH IV, 1

Lantai setebal  $h_t = 25$  cm ditulangi dengan baja DNP-I No. 12 pada tiap-tiap jarak 60 cm menahan  $M_{100} = 2,25$  tm. Luas tampang satu profil F = 14,2 cm<sup>2</sup>;  $W_b = W = 54,7$  cm<sup>2</sup>; tingginya =  $2z = 12$  cm; jadi  $z = 6$  cm.

Selanjutnya diambil  $d = 3$  cm +  $z = 9$  cm; jadi  $h = 25 - 9 = 16$  cm.

Pada tiap m' lebar lantai terdapat  $A = \frac{100}{60} \cdot 14,2$  cm<sup>2</sup> = 23,67 cm<sup>2</sup>.

$bh = 100 \cdot 16 = 1600$  cm<sup>2</sup>;  $bh^2 = 25600$  cm<sup>3</sup>;  $z/h = 6/16 = 0,375$ .

$\omega = 23,67/1600 = 0,0148$ ;

Beton K 175 dengan  $n = 24$  dan  $\bar{\sigma}'_b = 55$  kg/cm<sup>2</sup>.

$n\omega = 24 \cdot 0,0148 = 0,355$ ;  $p/n = 0,79$  (nom. Ib atau daftar I);  $p = 19$ ;  $\xi = 0,562$ .

$$(n k / \sigma_a)_o \text{ biasa} = (n k / \sigma_a^o)_o = 0,288; (k / \sigma_a^o)_o = 0,288/24 = 0,012.$$

$$\Delta k / \sigma_a^o = \frac{W}{bh^2} \frac{z/h}{(1 - \xi)} = \frac{54,7}{25600} \cdot \frac{0,375}{0,438} = 0,0018$$

$$k / \sigma_a^o = 0,012 + 0,0018 = 0,0138.$$

$$k = M / bh^2 = 225000 / 25600 = 8,8 \text{ kg/cm}^2.$$

$$\sigma_a^o = \frac{k}{k / \sigma_a^o} = 8,8 / 0,0138 = 640 \text{ kg/cm}^2; \quad \sigma'_b = \sigma_a^o / p =$$

$$= 640 / 19 = 34 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma}'_b = 55 \text{ kg/cm}^2.$$

$$\Delta \sigma_a / \sigma_a^o = \frac{z/h}{1 - \xi} = 0,375 / 0,438 = 0,855$$

$$\sigma_a = \sigma_a^o + \Delta \sigma_a = 1,855 \cdot \sigma_a^o = 1,855 \cdot 640 = 1190 \text{ kg/cm}^2$$

##### CONTOH IV, 2

Balok T dari beton K 175 ditulangi dengan 2 DNP-I No. 12 (lihat soal atas).

Ukuran-ukuran:  $b_o = 25$  cm;  $b_m = 120$  cm;  $h_t = 50$  cm;  $t = 8$  cm.

Berapakan momen  $\bar{M}$  yang dapat ditahan ?

Tentukan  $d = 10$  cm, jadi  $h = 50 - 10 = 40$  cm;

$\gamma = t/h = 8/40 = 0,20$ ;  $\beta = b_o/b_m = 0,208$ ;  $z/h = 6/40 = 0,15$ .

$b_m h = 120 \cdot 40 = 4800$  cm<sup>2</sup>;  $b_m h^2 = 192000$  cm<sup>3</sup>.

$A = 2 \cdot 14,2 = 28,4$  cm<sup>2</sup>;  $\omega = 28,4/4800 = 0,0059$ ;

$n\omega = 24 \cdot 0,0059 = 0,142$ .

Nom. III kanan dengan:  $n\omega = 0,142$ ;  $\beta = 0,208$  dan  $\gamma = 0,20$  mendapatkan  $p/n = 1,2$ ;  $\xi = 0,455$ .

Kiri:  $(n k/\sigma_a)$  biasa =  $(n k/\sigma_a)_0 = 0,124$ .

$(k/\sigma_a)_0 = 0,124/24 = 0,00517$ ; W profil = 254,7 = 109,4 cm<sup>3</sup>.

$$\Delta k/\sigma_a^0 = \frac{W}{b_m h^2} \cdot \frac{z h}{1 - \xi} = \frac{109,4}{192000} \cdot \frac{0,15}{(1-0,455)} = 0,00076$$

$$k/\sigma_a^0 = 0,00517 - 0,00076 = 0,00593$$

$$\Delta \sigma_a^0 = \frac{z h}{1 - \xi} = \frac{0,15}{0,545} = 0,276.$$

$$\sigma_a = (1 + \Delta \sigma_a/\sigma_a^0) \sigma_a^0 = 1,276 \sigma_a^0 = \bar{\sigma}_a = 1250 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_a^0 = 1250/1,276 = 980 \text{ kg/cm}^2.$$

$$\bar{k} = (k/\sigma_a^0) \sigma_a^0 = 0,00593 \cdot 980 = 5,8 \text{ kg/cm}^2.$$

$$\bar{M} = \bar{k} b_m h^2 = 5,8 \cdot 192000 \text{ kg cm} \approx 11 \text{ tm}.$$

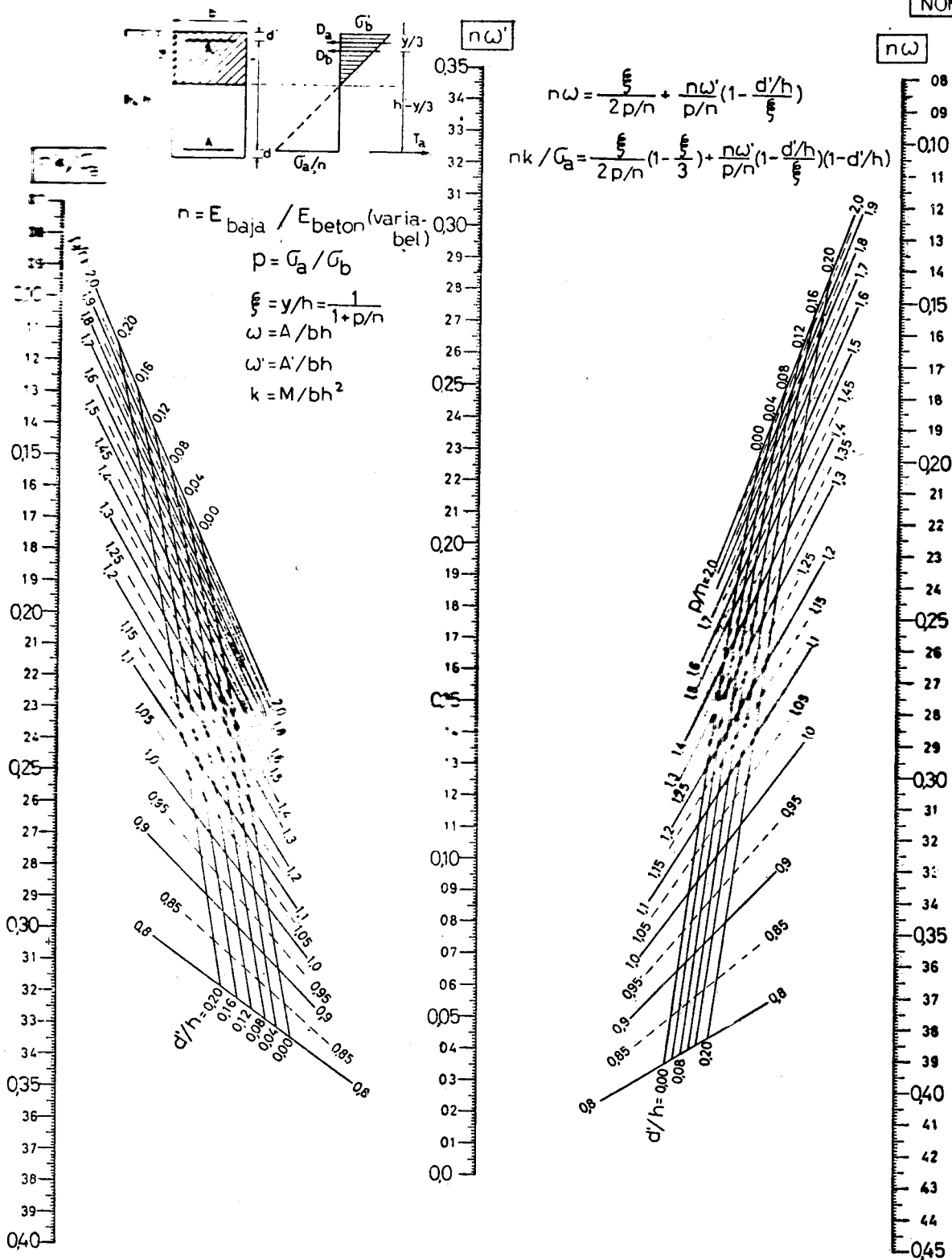
Terdapat diatas:  $p/n = 1,2$ ,  $p = 24$ .  $1,2 = 28,8$ ;

$$\sigma'_b = \sigma_a/p = 980/28,8 = 34 \text{ kg/cm}^2 < \sigma'_b = 55 \text{ kg/cm}^2.$$

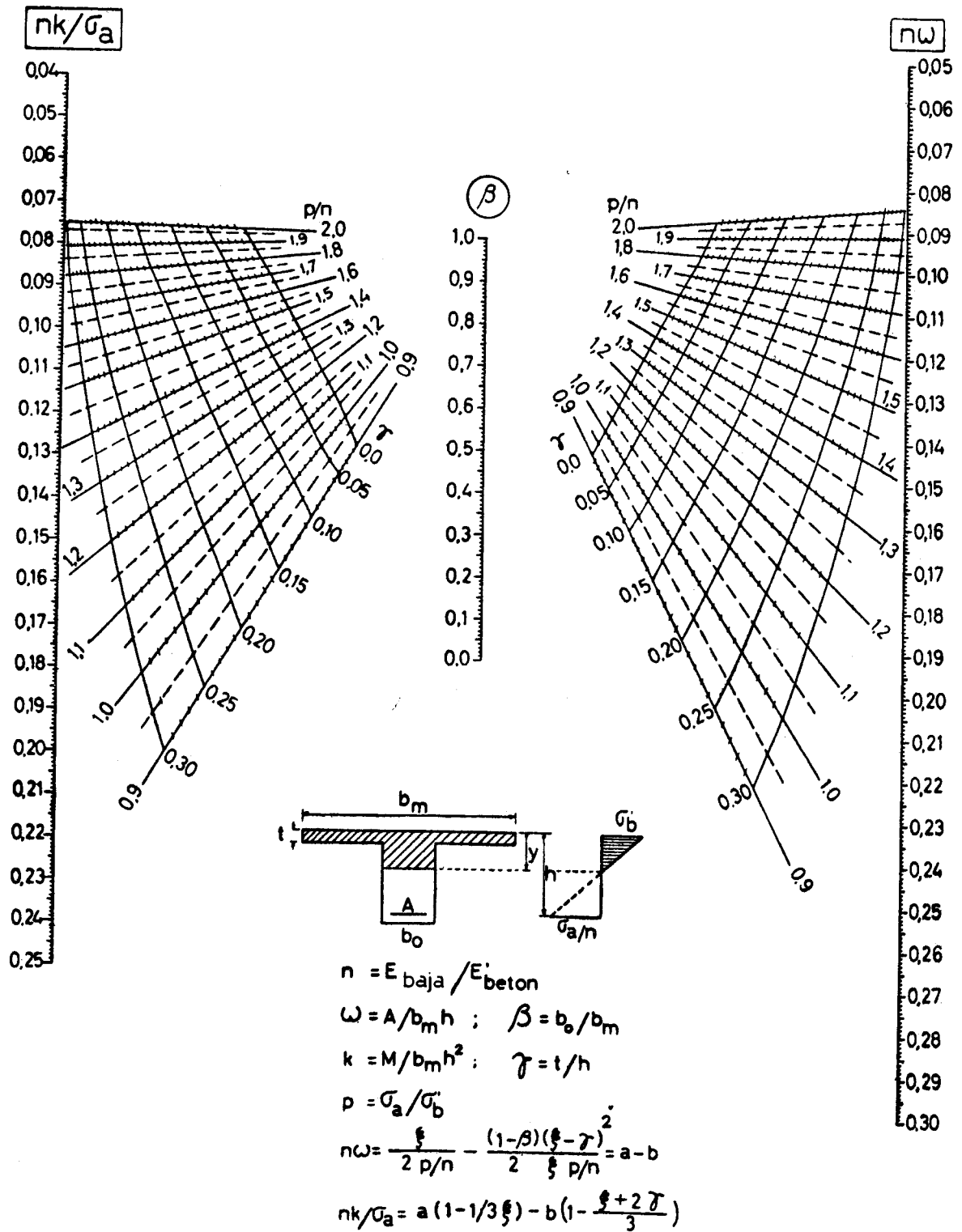
DAFTAR BAJA BULAT													
DIAMETER		BERAT kg/m <sup>1</sup>	KELILING (cm)	LUAS PENAMPANG (cm <sup>2</sup> )									
inch	mm			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
—	5	0,153	1,571	0,20	0,39	0,59	0,78	0,98	1,18	1,37	1,57	1,77	1,96
—	6	0,220	1,800	0,28	0,56	0,85	1,13	1,41	1,70	1,98	2,26	2,54	2,83
1/4	6,35	0,251	1,995	0,32	0,63	0,95	1,27	1,58	1,90	2,22	2,53	2,85	3,17
—	7	0,300	2,199	0,38	0,77	1,15	1,54	1,92	2,31	2,69	3,08	3,46	3,85
5/16	7,94	0,385	2,494	0,49	0,99	1,48	1,98	2,47	2,97	3,47	3,96	4,46	4,95
—	8	0,393	2,510	0,50	1,00	1,51	2,01	2,51	3,01	3,52	4,02	4,52	5,03
3/8	9,52	0,557	2,991	0,71	1,42	2,13	2,85	3,56	4,27	4,98	5,69	6,41	7,12
—	10	0,620	3,142	0,79	1,57	2,36	3,14	3,93	4,71	5,50	6,28	7,07	7,85
—	12	0,887	3,770	1,13	2,26	3,39	4,52	5,65	6,79	7,91	9,05	10,18	11,31
1/2	12,70	0,997	3,990	1,27	2,53	3,80	5,07	6,33	7,60	8,87	10,13	11,40	12,67
—	13	1,034	4,084	1,33	2,65	3,98	5,31	6,64	7,96	9,29	10,62	11,95	13,27
—	14	1,209	4,400	1,54	3,08	4,62	6,16	7,70	9,24	10,77	12,32	13,86	15,39
9/16	14,29	1,265	4,492	1,61	3,21	4,82	6,42	8,03	9,64	11,24	12,85	14,45	16,06
—	15	1,377	4,714	1,77	3,53	5,30	7,07	8,84	10,60	12,37	14,14	15,91	17,67
5/8	15,87	1,554	4,995	1,98	3,97	5,96	7,94	9,93	11,91	13,90	15,88	17,87	19,86
—	16	1,578	5,030	2,01	4,02	6,03	8,04	10,05	12,06	14,07	16,08	18,09	20,11
—	18	1,994	5,660	2,54	5,09	7,63	10,18	12,72	15,26	17,81	20,36	22,90	25,45
3/4	19,05	2,222	5,970	2,83	5,67	8,50	11,34	14,18	17,01	19,85	22,68	25,52	28,35
—	20	2,465	6,283	3,14	6,28	9,42	12,57	15,71	18,84	21,99	25,14	28,28	31,42
—	22	2,983	6,910	3,80	7,60	11,40	15,21	19,01	22,81	26,61	30,41	34,21	38,01
7/8	22,22	3,038	6,974	3,87	7,74	11,61	15,48	19,35	23,22	27,09	30,97	34,84	38,71
—	25	3,854	7,854	4,91	9,82	14,73	19,63	24,54	29,45	34,35	39,27	44,18	49,09
1 1/16	25,40	3,980	7,980	5,07	10,13	15,20	20,27	25,33	30,40	35,47	40,54	45,60	50,67
—	26	4,136	8,168	5,31	10,62	15,93	21,24	26,55	31,86	37,17	42,47	47,78	53,09
—	28	4,836	8,796	6,16	12,31	18,47	24,63	30,76	36,94	43,10	49,26	55,42	61,58
1 1/8	28,57	5,040	8,985	6,42	12,85	19,27	25,70	32,12	38,54	44,97	51,39	57,82	64,24
—	30	5,510	9,425	7,07	14,14	21,21	28,27	35,34	42,41	49,48	56,55	63,62	70,68
1 1/4	31,75	6,194	9,960	7,89	15,78	23,68	31,57	39,46	47,35	55,25	63,14	71,03	78,92
—	32	6,311	10,050	8,04	16,08	24,13	32,17	40,21	48,26	56,30	64,34	72,38	80,42
—	34	7,100	10,681	9,08	18,16	27,24	36,32	45,40	54,48	63,56	72,63	81,71	90,79
1 3/8	34,92	7,512	10,964	9,57	19,13	28,70	38,26	47,83	57,40	66,96	76,53	86,10	95,66
—	35	7,600	10,995	9,62	19,24	28,86	38,48	48,11	57,73	67,34	76,97	86,59	96,21
—	36	7,991	11,310	10,18	20,36	30,54	40,72	50,90	61,07	71,26	81,43	91,61	101,79
—	38	8,850	11,938	11,34	22,68	34,02	45,36	56,70	68,04	79,38	90,73	102,07	113,41
1 1/2	38,10	8,949	11,970	11,40	22,80	34,20	45,60	57,00	68,40	79,81	91,21	102,61	114,01
—	40	9,850	12,568	12,56	25,13	37,70	50,26	62,83	75,40	87,96	100,53	113,09	125,66

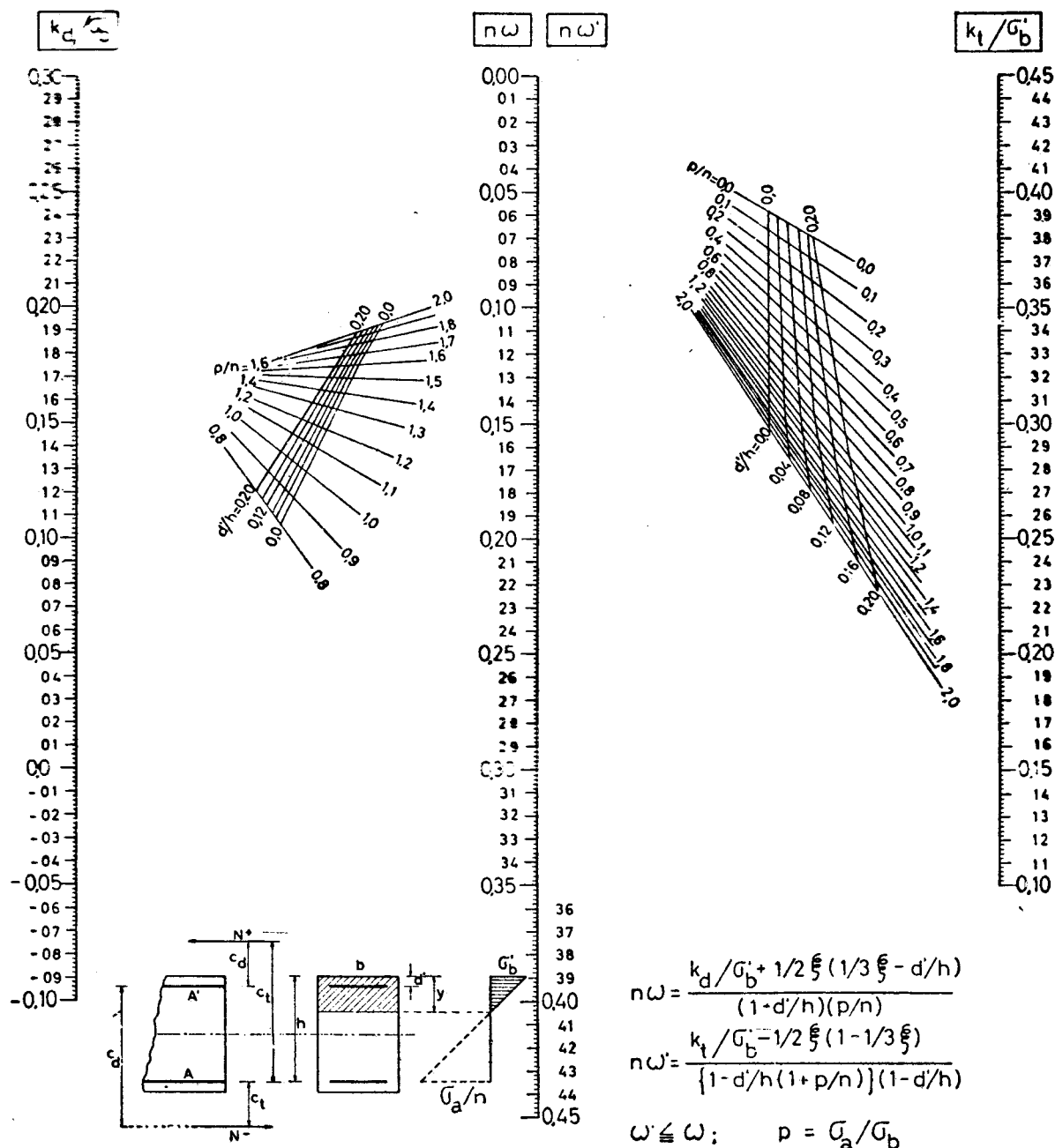






NOMOGRAM BETON BERTULANG  
Prof. Ir. Soemoro


 NOMOGRAM BETON BERTULANG  
 Prof. Ir. Soemono



$$n = E_{\text{baja}} / E'_{\text{beton}}$$

$$\omega = A / bh ; \omega' = A' / bh$$

$$p = G_a / G_b ; \xi = y / h = \frac{1}{1 + p/n}$$

$$k_t = N c_t / b h^2$$

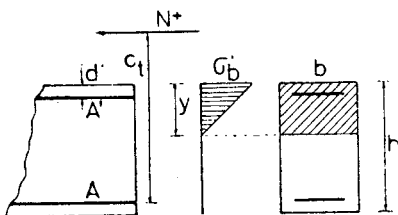
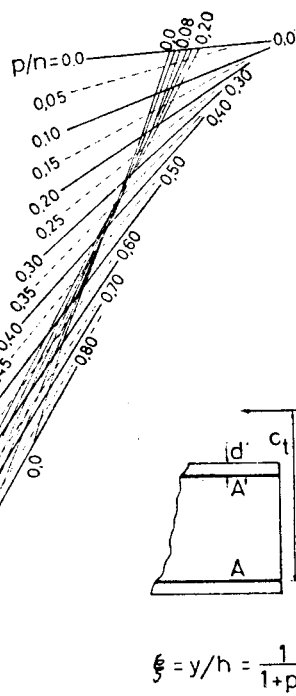
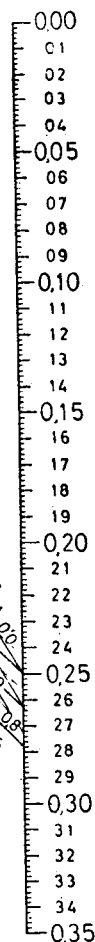
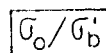
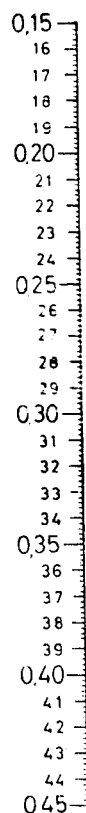
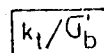
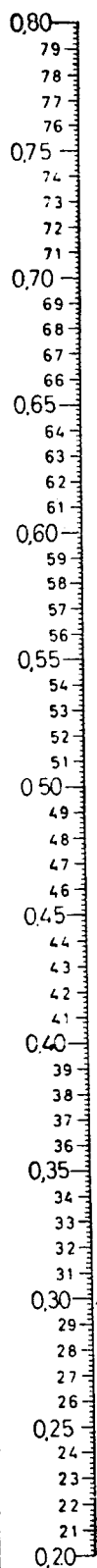
$$k_d = N c_d / b h^2$$

$$n\omega = \frac{k_d / G_b + 1/2 \xi (1/3 \xi - d'/h)}{(1 - d'/h)(p/n)}$$

$$n\omega' = \frac{k_t / G_b - 1/2 \xi (1 - 1/3 \xi)}{\{1 - d'/h(1 + p/n)\}(1 - d'/h)}$$

$$\omega' \leq \omega ; \quad p = G_a / G_b$$

NOMOGRAM BETON BERTULANG  
Prof. Ir. Soemono



$$\xi = y/h = \frac{1}{1+p/n}$$

$$\omega' = A' / bh$$

$$p = \sigma_a / \sigma_b$$

$$k_t = Nc/bh^2$$

$$p' = G_a' / G_b' = n(1 - \frac{d'/h}{5})$$

$$\sigma_0 = N/bh$$

$$\omega = A / bh$$

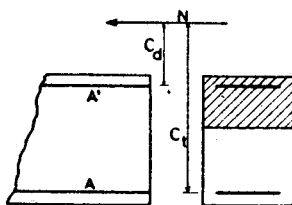
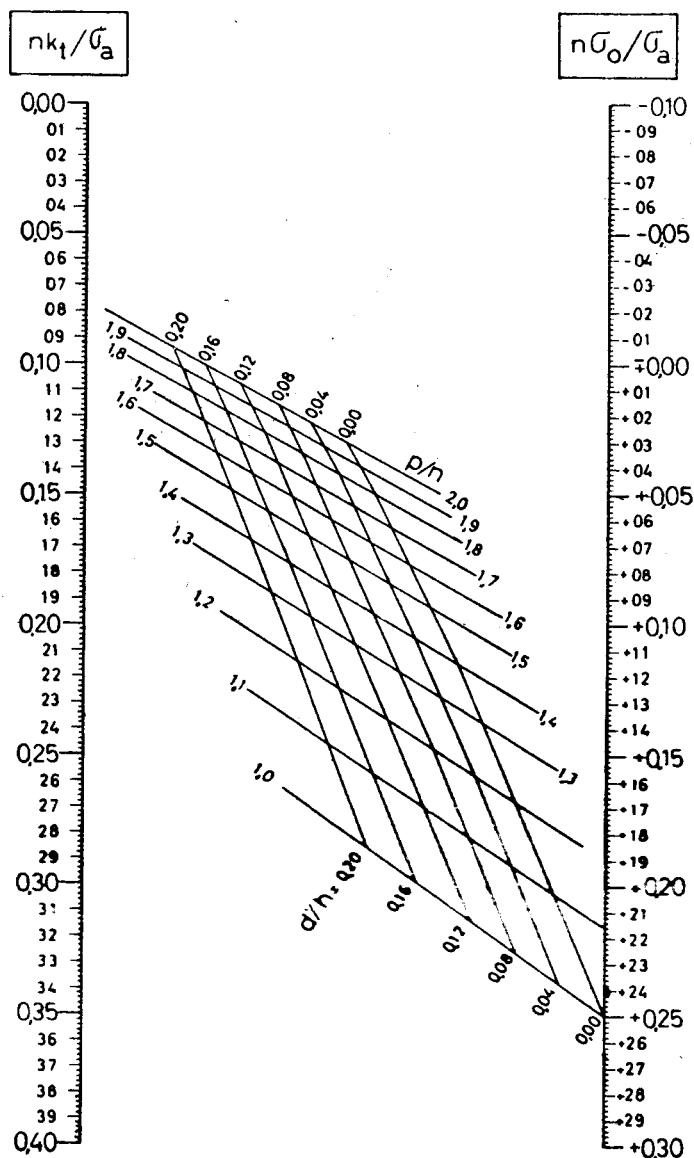
Usaha supaya  $\omega = \omega'$

$$\frac{(1/2 \xi - G_o/G_b)}{p/n - p'/n} = \frac{k_1/G_{bd} - 1/2 \xi (1 - 1/3 \xi)}{(1 - d/h) p'/n}$$

Setelah p/n terdapat, ke NOM IV

$$(p \leq p_0 = \bar{G}_a / \bar{G}_b)$$

NOMOGRAM BETON BERTULANG  
Prof. Ir. Soemono



Usaha supaya  $\omega = \omega'$  berdasarkan

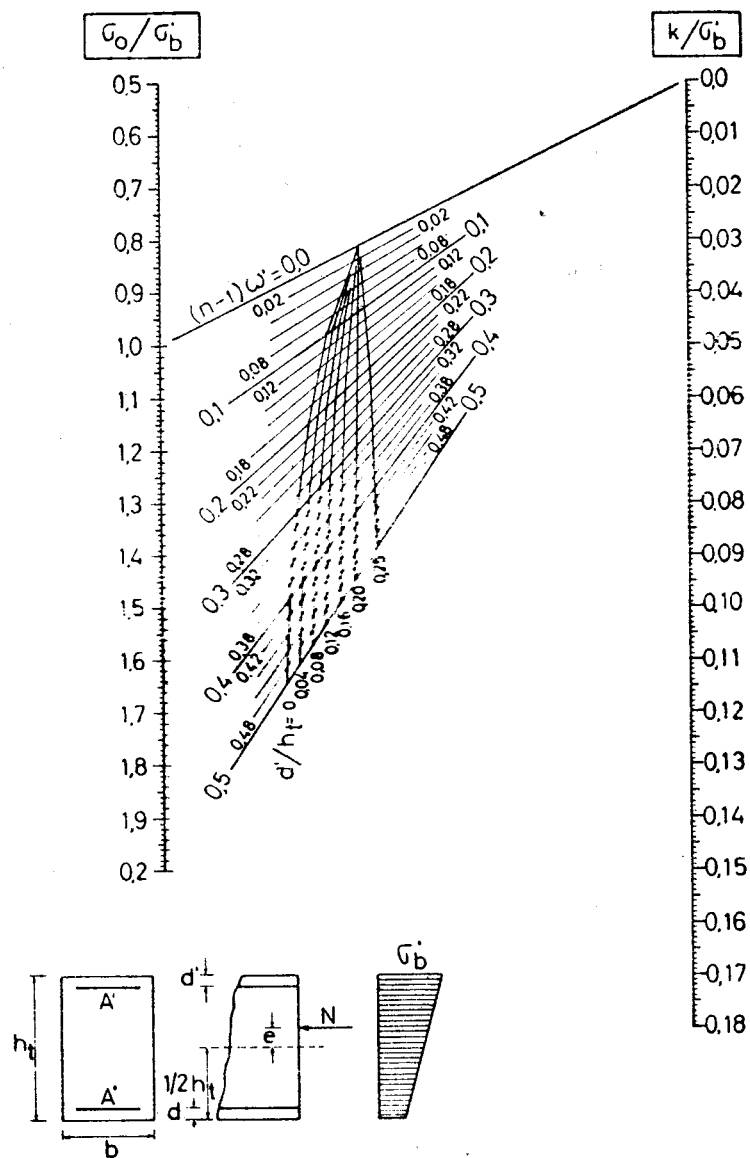
$$\bar{\sigma}_a = \bar{\sigma}_a \text{ dengan } p \geq p_0$$

Setelah  $p$  terdapat, menentukan

$$\bar{\sigma}_b = \bar{\sigma}_a / p, \quad k_t / \bar{\sigma}_b \text{ dan } k_d / \bar{\sigma}_b$$

kemudian NOM. IV

NOMOGRAM BETON BERTULANG  
Prof. Ir. Soemono



$$A'/bh = \omega'$$

$$\sigma_o = N/bh_t$$

$$k = Ne/bh_t^2$$

$$\frac{\sigma_o}{\sigma_b} + \frac{k/\sigma_b}{1/6 + (n-1)\omega'(1-2d'/h_t)^2} = 1 \quad (\text{mendimensi, } \sigma_b' = \bar{\sigma}_b)$$

$$\sigma_b' = \frac{\sigma_o}{1 + 2(n-1)\omega'} + \frac{k}{1/6 + (n-1)\omega'(1-2d'/h_t)^2} \leq \sigma_b' \quad (\text{kontrol})$$

 NOMOGRAM BETON BERTULANG  
 Prof. Ir. Soemono