

PROGRAM KOMPUTER UNTUK PERHITUNGAN KOLOM BETON AKIBAT BEBAN AKSIAL TEKAN DAN LENTUR BIAKSIAL PADA RANGKA DENGAN PENGAKU (*BRACED FRAME*) DAN TANPA PENGAKU (*SWAY FRAME*)

*Computer Program for The Calculation of Concrete Column
as a Result of Axial Load and Biaxial
on Braced Frame and Sway Frame.*

Bagyo Mulyono

bagyo_mulyono@yahoo.com

Program Sarjana Teknik UNSOED, Purwokerto

ABSTRACT

Column calculation on frame system is a long and iterative process. This program is used to calculate column on general aspects, these aspects are slender, biaxial, braced frame and sway frame. This program uses Borland Delphi 7.0 language. Data input consists of material data (f_y , f_c), load data (P_u , M_{1bx} , M_{2bx} , M_{2sx} , M_{1by} , M_{2by} and M_{2sy}), column data (b , h and L) and beam data (b_b , h_b and L_b). The gained result is the table that contains output data of calculation, that is slender limit, $k.L_u/r$, ψ_A , ψ_B , k , δ_B , δ_S , M_c , A_s , A_s/A_g , β , $P_{n\ pl}$, $P_{n\ ada}$, $M_{n\ pl}$, $M_{n\ ada}$ for axe x and axe y .

For validation, output of calculation can be compared between manual and program calculation. The results of comparison are the biggest error percentage 0,0054% and smallest error percentage 0% (not difference). This is because in manual calculation there is always rounding every step, while in the computer calculation rounding is done at the end of process. Performance of the program is proper and satisfying to be used in short time and accurate.

Keywords : Computer program, axial load, biaxial, braced frame, sway frame. Keywords : overload, transport cost, axle load of trucks.

PENDAHULUAN

Kolom adalah batang tekan vertikal dari rangka (*frame*) struktur yang memikul beban dari balok. Kolom merupakan komponen tekan, keruntuhan kolom secara umum disebabkan dua hal, yaitu keruntuhan karena kegagalan material dan keruntuhan akibat tekuk (*buckling*) (Nawy, 1996).

Perencanaan kolom beton bertulang secara uniaksial, kini perlu digantikan dengan cara biaksial, karena menurut kenyataannya kurang cocok. Kolom beton bertulang hasil perencanaan secara uniaksial tidak mengalami keruntuhan karena pemakaian faktor aman yang cukup besar. Oleh karena itu, perencanaan kolom beton bertulang secara uniaksial kurang dapat dipertanggungjawabkan (Morisco, 1990).

Analisis dan desain penampang kolom yang mengalami momen biaksial adalah sulit, karena diperlukan proses coba-coba

dan penyesuaian di dalam mendapatkan posisi miring dan ketinggian dari sumbu netral. Sumbu netral tidak selalu merupakan garis tegak lurus dari hasil eksentrisitas. Dalam perancangan, penampang dan susunan tulangan dapat diasumsikan dan luas tulangan diubah-ubah sampai kapasitas penampang mendekati kapasitas yang dibutuhkan. Oleh karena itu, penggunaan persamaan secara langsung dalam perancangan tidak praktis tanpa bantuan komputer elektronik (Park&Pauly, 1974).

Perencanaan kolom beton dalam sistem rangka merupakan suatu proses perhitungan yang panjang dan iteratif. Untuk itu dalam penelitian ini dikembangkan sebuah program komputer untuk analisis kolom beton untuk beberapa aspek yang umum ditemui, aspek tersebut mencakup aspek pengaruh kelangsingan kolom, beban tekan aksial dan lentur biaksial serta kondisi rangka dengan pengaku (*braced frame*) dan tanpa pengaku (*sway frame*).

Program ini dibatasi pada perhitungan kolom berpenampang persegi dan bulat yang merupakan bagian dari rangka dengan pengaku dan tanpa pengaku dengan kelangsingan ($k.L_u/r$) lebih kecil 100, beban luar yang bekerja aksial tekan dengan momen lentur arah x tidak sama dengan momen lentur arah y tidak sama dengan nol, luas tulangan pada penampang persegi dianggap simetris pada kedua sisi yang berhadapan dan luas tulangan dipasang merata secara melingkar untuk penampang lingkaran, analisis stabilitas kolom dengan metode pembesaran momen, perhitungan momen biaksial menggunakan metode Kontur Beban dari Bresler-Parme.

PERANCANGAN KOLOM BETON BERTULANG

Asumsi dalam Perhitungan

Perhitungan di dasarkan pada asumsi :

- 1) Distribusi regangan dalam baja tulangan dan beton adalah *linier*, yaitu berbanding lurus dengan jarak terhadap garis netral.
- 2) Regangan beton maksimum yang dapat digunakan pada serat beton tekan terluar sama dengan 0,003.
- 3) Kekuatan tarik beton diabaikan.
- 4) Distribusi tegangan beton persegi ekuivalen sebesar 0,85.f'c yang terdistribusikan secara merata pada daerah tekan ekuivalen.

Analisis Kekuatan Kolom

Komponen struktur tekan dibedakan menjadi dua, yaitu kolom pendek dan langsing. Semakin langsing atau semakin mudah suatu komponen struktur tekan melentur akan mengalami fenomena tekuk. Suatu kolom digolongkan langsing apabila dimensi atau ukuran penampang lintangnya kecil dibandingkan dengan tinggi bebasnya (tinggi yang tidak ditumpu). Kolom langsing yang menahan kombinasi beban aksial dan lentur akan mendapatkan momen lentur tambahan (momen sekunder) akibat efek P- Δ dan mengalami deformasi ke arah lateral. Dengan demikian jumlah momen menjadi $P_u.e + P_u(\Delta)$, dan selanjutnya tinjauan kekuatan didasarkan pada momen yang sudah diperbesar. Sehingga menghasilkan M_{total} , dan nilai banding M_{total} terhadap M_{asal} disebut faktor perbesaran momen (*magnification factor*, δ) (SK SNI, 1991).

Kolom-kolom pendek biasanya gagal oleh pecahnya beton, tetapi suatu kolom langsing mungkin akan gagal oleh tekuk. Momen-momen ujung pada suatu kolom langsing menyebabkan kolom itu melendut ke samping oleh karenanya menimbulkan suatu momen tambahan (Moesly, 1989). Macam kegagalan kolom suatu kolom dapat berupa salah satu berikut :

- 1) Kegagalan bahan dengan suatu lendutan ke samping yang tidak berarti, biasanya terjadi pada kolom pendek, tetapi dapat juga terjadi pada suatu kolom dengan ratio kelangsingan sedang apabila terdapat momen-momen ujung yang besar.
- 2) Kegagalan bahan diperhebat oleh lendutan ke samping dan momen tambahan. Tipe kegagalan ini adalah standar untuk kolom-kolom sedang.
- 3) Kegagalan goyang yang terjadi pada kolom-kolom langsing dan mungkin didahului oleh lendutan-lendutan yang berlebihan.

Apabila angka kelangsingan $k.L_u/r$ melebihi persyaratan maka digunakan metode analisis stabilitas, yaitu analisis pembesaran momen dan analisis orde dua. Analisis pembesaran momen yang digunakan adalah metode perbesaran momen (SK SNI 1991).

Bila dalam suatu bangunan selain portal terdapat dinding-dinding atau struktur inti, kemudian daya tahan dinding-dinding maupun struktur inti terhadap gerak transversal relatif tinggi dibanding portal, maka struktur demikian dikatakan struktur dengan pengaku (*braced frame*) (Gideon, 1994).

Momen Biaksial

Dalam praktek, bentuk kolom tidak prismatis dan sumbu batang tidak lurus sempurna. Oleh karena itu, pada umumnya gaya pengaruh beban luar mempunyai eksentrisitas terhadap sumbu batang, sehingga kolom juga memikul momen lentur dalam arah x dan y (Wang, 1997).

Kolom-kolom pojok suatu bangunan adalah elemen struktur yang mengalami lentur biaksial yaitu momen lentur yang bekerja secara bersamaan terhadap sumbu x dan sumbu y. Kolom yang mengalami momen M_{xx} terhadap sumbu x menghasilkan eksentrisitas e_y dan momen M_{yy} terhadap sumbu y menghasilkan eksentrisitas e_x , dengan demikian sumbu

netralnya membentuk sudut terhadap garis horisontal (Nawy, 1996).

TAHAPAN PERANCANGAN

Untuk memperoleh program yang bisa berjalan dengan baik sesuai dengan keinginan maka diperlukan langkah-langkah proses yang akan membawa alur penyelesaian suatu masalah menuju kebenaran. Jika langkah-langkah tidak benar maka program tidak bisa berjalan sesuai rencana, kalau bisa berjalan pasti tidak sesuai dengan yang diinginkan.

Urutan proses dalam perhitungan ini dibuat dalam bagan alir. Secara garis besar bagan alir pada perhitungan ini urutannya dimulai dari tersedianya data material (f_y , f'_c), data beban (P_{ux} , P_{uy} , M_{1bx} , M_{2bx} , M_{2sx} , M_{1by} , M_{2by} , M_{2sy}), data Kolom (b , h , L) dan data balok (b_b , h_b , L_b) sebagai *input*.

Input data pertama kali adalah data material f_y , f'_c yang diikuti pilihan bentuk daripada penampang kolom. Disini tersedia dua pilihan penampang kolom yaitu persegi dan lingkaran, kemudian diikuti pilihan arah dari pada sumbu, yaitu arah sumbu x dan arah sumbu y.

Setelah arah sumbu ditentukan, maka dihadapkan dua pilihan untuk jenis rangka, yaitu dengan pengaku dan tanpa pengaku. Untuk rangka dengan pengaku, *input* data beban (P_{ux} , M_{1bx} , M_{2bx} , M_{2sx}), data kolom (b , h , L) dan data balok (b_b , h_b , L_b) hanya dilakukan sekali, akan tetapi untuk jenis rangka tanpa pengaku *input* data beban (M_{1bx} , M_{2bx} , M_{2sx}), data kolom (b , h , L) dan data balok (b_b , h_b , L_b) dilakukan beberapa kali sebanyak kolom pendukung lainnya, begitu juga untuk *input* data arah sumbu y.

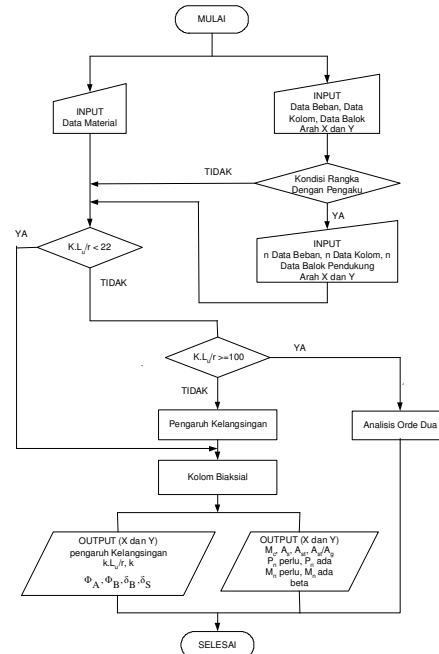
Dari data *input* selanjutnya dilakukan proses perhitungan. Perhitungan pertama kali adalah menentukan faktor panjang efektif k dari kolom sebagai dasar untuk menentukan angka kelangsingan kolom ($k.L_u/r$). Bila $k.L_u/r \geq 34 - 12 \frac{M_{1b}}{M_{2b}}$ (*frame* dengan pengaku) dan $k.L_u/r \geq 22$ (tanpa pengaku) maka kolom termasuk kolom panjang.

Apabila kolom termasuk kolom panjang maka momen berfaktornya mengalami pembesaran. Momen berfaktor yang mengalami pembesaran dihitung dengan metode Perbesaran Momen.

Selanjutnya momen berfaktor yang mengalami perbesaran (arah x dan arah y)

dan P_u , sebagai data pada proses perhitungan kapasitas kolom dengan cara biaksial. Metode yang digunakan adalah metode Kontur Beban dari Bresler-Parme.

Untuk lebih jelasnya berikut disajikan diagram alir dan contoh perhitungan secara manual dan dengan program yang mengikuti langkah-langkah berikut.



Gambar 1 Tahapan perancangan.

Dasar Operasi Program

Program ini terdiri dari sebuah menu utama dan beberapa menu sekunder. Pada menu sekunder terdapat sub-sub menu di dalamnya. Menu Utama terdiri dari Data, Analisis, Hasil dan Cetak. Pada menu-sekunder, menu Data, menu Hasil dan menu Cetak terdapat sub-sub menu. Urutan penulisan prosedur utama pada program menunjukkan tahapan operasi program.

1) Data

Pada Menu ini menerangkan tentang input data. Menu ini terdiri dari 4 sub menu, yaitu isi data, panggil data, koreksi data dan simpan data. Karena data yang dimasukkan berjumlah banyak (arah x dan y) dan berulang-ulang maka keempat sub menu data tersebut merupakan satu kesatuan yang sangat diperlukan untuk efisiensi.

2) Analisis

Menu ini menerangkan tahapan-tahapan proses yang harus dijalankan oleh komputer. Tahapan-tahapan

tersebut terdiri dari beberapa prosedur yang di dalamnya terdapat unit-unit, deklarasi-deklarasi dan *statement* dalam bentuk matematis dari bagan alir, yang disesuaikan dengan bentuk pemrograman bahasa Borland Delphi 7.0.

- 3) Hasil
Menu ini berfungsi untuk menampilkan data maupun hasil analisis dalam layar monitor.
- 4) Cetak
Menu cetak terdiri dua sub menu, yaitu cetak data dan cetak hasil. *Output* dari menu ini adalah kertas kerja yang berisi data (material, beban, kolom dan balok) maupun hasil daripada analisis.

Spesifikasi Perangkat Komputer

Perangkat lunak yang dipergunakan dalam pengoperasian terdiri dari sistem operasi Microsoft Windows 98, 2000 atau XP. Sedang perangkat keras yang dipergunakan dalam pengoperasian minimum terdiri dari prosessor intel pentium 166 MHz (dianjurkan P2 400), monitor berwarna jenis VGA atau sejenisnya, ruang *hardisk* kosong minimal 475 Mbyte dan memiliki *mouse*.

Listing Program

Pada pemrograman aplikasi visual, sebagai komponen dasar untuk merancang antarmuka bagi pemakai aplikasi adalah dengan membuat *form*. *Form* atau *window* yang memiliki kontrol menu, tombol *minimize*, *maximize*, *title bar* dan lain-lain.

VALIDASI PROGRAM

Untuk validasi program, akan disajikan contoh hasil perhitungan manual dan hasil perhitungan dengan program komputer.

Contoh Perhitungan

Struktur portal bertingkat dari bangunan perkantoran dengan sistem portal yang tidak ditahan terhadap goyangan samping (*unbraced*) (dengan kolom pendukung kearah sumbu x sebanyak 5 dan 4 kearah sumbu y), dengan tinggi lantai pertama 5500 mm. Mutu material yang digunakan $f'_c = 25$ MPa, $f_y = 390$ MPa. Dimensi kolom 400x450 mm dan balok 300x500 mm. Rencanakan kolom pojok bangunan dengan momen biaksial.

Dengan bantuan program SAP didapatkan gaya-gaya dalam sebagai berikut.

Gaya aksial

Arah sb x	Arah sb y
$P_{u7} = 1681500$ N	$P_{u1} = 179400$ N
$P_{u8} = 1795400$ N	$P_{u6} = 972320$ N
$P_{u9} = 1657700$ N	$P_{u11} = 972300$ N
$P_{u10} = 972300$ N	$P_{u16} = 179400$ N

Momen yang terjadi

	Arah sb x (Nmm)	Arah sb y (Nmm)
$M_D =$	7100000	24800000
Ujung bawah kolom $M_{1bu} =$	800000	17340000
Ujung atas kolom $M_{2bu} =$	11720000	38560000

Perhitungan akibat pengaruh jenis frame dan faktor kelangsingan.

Penyelesaian dengan manual

Perhitungan akibat pengaruh jenis frame dan faktor kelangsingan.

Momen inersia kolom (I)	3037500000	2400000000 mm ⁴
Faktor kekangan ujuang atas (ψ_A)	1,1392	0,0827
Faktor kekangan ujuang bawah (ψ_B)	1,00	1,00
Faktor panjang efektif (k)	1,3617	1,2079
Faktor kelangsingan ($K.L/r$)	55,4767	55,36
Perbesaran momen yang ditahan (δ_B)	1,5409	1,6719
Perbesaran momen tanpa ditahan (δ_S)	1,9164	1,3119
Momen diperbesar (M_C)	133920704,80	174323690,30 Nmm

Perhitungan akibat momen biaksial.

- 1) Arah sumbu x
 - a) Untuk perhitungan awal disarakan $\beta = 0,65$ (*trial and error 1*)
 - b) Luas tulangan prarencana $A_{s \min} = 1\% \times A_g \text{ mm}^2$ (*trial and error 2*)
Dicoba $A_s = 1400 \text{ mm}^2$
 - c) Kontrol $P_{nx} > P_n$ nominal (bila tidak ulangi langkah 2)
 $P_{nx} = 1510087,485 \text{ N} > P_n = 1495876,923 \text{ N}$ (*checking 1*)
 - d) $M_{oxn} > M_{ox}$ (bila tidak ulangi langkah 2) (*checking 2*)
- 2) Arah sumbu y
 - a) Dimensi penampang $b_y = h_x$ dan $h_y = b_x$
 - b) Menentukan tinggi blok tegangan a (*trial and error 3*)
Dicoba $a = 156,4326 \text{ mm}$
 - c) Kontrol $P_{ny} > P_n$ nominal (bila tidak ulangi langkah 6)
 $P_{ny} = 1495886,80 \text{ N} > P_n = 1495876,923 \text{ N}$ (*checking 3*)
 - d) Dengan melihat faktor Kontur Interaksi β dari Parme

Kontrol M_{nx} ada > M_{nx} perlu dan
 M_{ny} ada > M_{ny} perlu (bila tidak
ulangi langkah 1)
 M_{nx} ada = 268190292,80 > M_{nx}
perlu = 268190292,80
 M_{ny} ada = 215237731,70 > M_{ny}
perlu = 206031853,20 (*checking*
4)

Penyelesaian dengan program

Dasar Operasi program.

1) Masukkan data

Gambar 2 Form input data.

2) Perhitungan dan hasil

Gambar 3 Form keluaran hasil.

Perbandingan prosentase kesalahan
antara perhitungan dengan manual dan
menggunakan program.

Tabel 1 Perbandingan hasil perhitungan manual dengan
perhitungan program arah sumbu x.

Item	Manual	Program	Satuan	Selisih	Persen Kesalahan (%)
$k \cdot L_u / r$	55,36	56,48		0	0
ψ_A	1,14	1,14		0	0
ψ_B	1,00	1,00		0	0
k	1,36	1,36		0	0
δ_B	1,54	1,54		0	0
δ_S	1,92	1,92		0	0
M_c	133920704,80	133922253,37	N mm	1548,50	0,0012
A_s	1400	1400	mm ²	0	0
β	0,65	0,65		0	0
$P_{n \text{ ada}}$	1510087,49	1510017,69	N	69,80	0,0046
$M_{n \text{ perlu}}$	268190292,80	268202000,00	N mm	12608,30	0,0045
$M_{n \text{ ada}}$	268190292,80	268202000,00	N mm	12608,30	0,0045

Tabel 2 Perbandingan hasil perhitungan manual dengan
perhitungan program arah sumbu y.

Item	Manual	Program	Satuan	Selisih	Persen Kesalahan (%)
$k \cdot L_u / r$	55,36	55,36		0	0
ψ_A	0,08	0,08		0	0
ψ_B	1,00	1,00		0	0
k	1,21	1,21		0	0
δ_B	1,67	1,67		0	0
δ_S	1,31	1,31		0	0
M_c	174323690,30	174331885,75	N mm	8195,40	0,0047
A_s	1400	1400	mm ²	0	0
β	0,65	0,65		0	0
$P_{n \text{ ada}}$	1495886,49	1495886,80	N	0,31	0
$M_{n \text{ perlu}}$	206031853,20	206034000,00	N mm	2382,60	0,0012
$M_{n \text{ ada}}$	215237731,70	215226000,00	N mm	11731,70	0,0054

Pembahasan

Dari data input yaitu data material (f_y ,
 f_c), data beban (P_{ux} , P_{uy} , M_{1bx} , M_{2bx} , M_{2sx} ,
 M_{1by} , M_{2by} dan M_{2sy}) data kolom (b , h dan
 L) dan data balok (b_b , h_b dan L_b) akan
menghasilkan berupa hasil perhitungan
kolom, yaitu : batas syarat kelangsingan,
 $k \cdot L_u / r$, jenis kolom, ψ_A , ψ_B , k , δ_B , δ_S , M_c , A_s ,
 A_s / A_g , β , $P_{n \text{ pl}}$, $P_{n \text{ ada}}$, $M_{n \text{ pl}}$, $M_{n \text{ ada}}$ untuk arah
 x maupun arah y .

Pembahasan ini akan menerangkan
dua hal pokok kesimpulan, yaitu proses
perhitungan kolom beton dengan tekan
aksial dan lentur biaksial pada rangka
dengan pengaku (*braced frame*) dan tanpa
pengaku (*sway frame*) dan perbandingan
validasi secara manual dengan program.

- Hasil perhitungan secara manual
secara garis besar terdiri dari tiga
proses. Pertama menentukan panjang
efektif k kolom menurut SK SNI 1991.
Selanjutnya menentukan momen hasil
pembesaran akibat faktor
kelangsingan kolom dengan metode
Pembesaran Momen. Terakhir,
perhitungan kolom dengan tekan
aksial dan momen biaksial dengan
cara Bresler-Parme.
- Dari validasi perhitungan secara
manual dengan program secara garis
besar tidak terdapat perbedaan.
Walaupun hasil perhitungan secara
manual dengan program terdapat
selisih, hal ini disebabkan oleh
pembulatan masing-masing
perhitungan tersebut. Perhitungan
secara manual pembulatan angka
dilakukan di setiap perhitungan,
sedangkan pada perhitungan dengan
program pembulatan dilakukan pada
akhir perhitungan. Dari hasil
perbandingan, didapat nilai persentase
kesalahan yang terbesar adalah
0,0054 % dan nilai persentase
kesalahan terkecil 0 % (tanpa

perbedaan) sehingga dapat dikatakan program tersebut sudah layak dan memuaskan untuk digunakan dengan waktu yang lebih cepat.

KESIMPULAN

1. Sesuai dengan tujuan dari penelitian ini telah dihasilkan program komputer untuk perhitungan kolom beton dengan tekan aksial dan lentur biaksial pada rangka dengan pengaku (*braced frame*) dan tanpa pengaku (*sway frame*) dan tabel yang memuat data kolom dan hasil perhitungan yang dapat dilihat di layar monitor atau dicetak melalui printer.
2. Selisih nilai perhitungan secara manual dengan memakai program yang terbesar adalah pada nilai M_n ada arah sumbu y sebesar 11529,20 Nmm dan selisih terkecil adalah 0, sedangkan nilai persentase kesalahan yang terbesar adalah 0,0054 % dan nilai persentase kesalahan terkecil adalah 0 %.
3. Program komputer yang dihasilkan lebih efektif dan efisien jika dibandingkan perhitungan secara manual.

SARAN

Dalam mendapatkan luas blok tegangan ekuivalen beton disarankan menggunakan metode Eksak, yang mana perhitungan luas blok tegangan ekuivalen beton lebih akurat sehingga hasil akhir yang diperoleh lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

Standart SK SNI T-15-1991-03. 1991. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*. Departemen Pekerjaan Umum, Yayasan LPMB, Bandung.

Anonim. 2003. *Panduan Praktis Pemrograman Borland Delphi 7.0*. Wahana Komputer, Semarang.

Jogiyanto. 1995. *Teori dan Aplikasi Program Komputer Bahasa Pascal*. Andi Offset, Yogyakarta.

Morisco. 1990. *Kolom Beton Biaksial*, Gelagar. Jurnal Teknik Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta, No 1-11.

Mosley, W.H. 1989. *Perencanaan Beton Bertulang*. Jilid 2. Alih bahasa Elly Madyayanti, Erlangga, Jakarta.

Napitupulu, A.J. 2005. *Pengembangan Program Tanggap Kolom Akibat Pembebanan Aksial dan Lentur*. Thesis. <http://www.jbptitbsi.go.id>. Diakses pada 7 Desember 2005.

Nawy, E.G. 1997. *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar*. Penerjemah Bambang Suryatmono, Eresco, Bandung.

Park. R and Pauly. T. 1975. *Reinforced Concrete Structures*. London, John Wiley & Sons.

Sudarmoko. 1998. *Perencanaan dan Analisis Kolom Beton Bertulang* (mengacu SK SNI-T-15-1991-03). KMTS UGM, Yogyakarta.

Wang, Chu-Kia and Salmon, C.G. 1997. *Desain Beton Bertulang*. Jilid 2. Alih Bahasa Binsar Hariandja, Erlangga, Jakarta.

W.C. Vis. Gideon Kusuma. 1994. *Dasar-dasar Perencanaan Beton Bertulang, Berdasarkan SK SNI T-15-1991-03*. Seri Beton 1, Erlangga, Jakarta.