

**KAJIAN ANALITIS KAPASITAS KOLOM DENGAN  
PENAMPANG SEGI EMPAT TERHADAP LENTUR BIAKSIAL  
(STUDY OF ANALYSIS CAPACITY COLUMNS WITH RECTANGULAR SECTION  
TO FLEXURAL BIAXIAL)**

**<sup>1</sup>N. Retno Setiati**

<sup>1</sup>*Pusat Litbang Jalan dan Jembatan, Jl. A.H. Nasution No. 264 Bandung 40294*

e-mail : [retnosetiati@yahoo.com](mailto:retnosetiati@yahoo.com)

**Abstrak.** Kolom adalah komponen struktur bangunan yang fungsi utamanya adalah meneruskan beban dari sistem lantai ke fondasi. Kegagalan kolom akan berakibat langsung pada runtuhnya komponen struktur lain yang berhubungan dengannya, atau bahkan merupakan batas runtuh total keseluruhan struktur bangunan. Pada umumnya kegagalan atau keruntuhan komponen tekan tidak diawali dengan tanda peringatan yang jelas, bersifat mendadak. Oleh karena itu, dalam merencanakan struktur kolom harus memperhitungkan secara cermat dengan memberikan cadangan kekuatan lebih tinggi daripada untuk komponen struktur lainnya. Batas keruntuhan suatu kolom ditentukan oleh diagram interaksi antara gaya dengan momen lentur. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan hasil analisis program perhitungan kapasitas penampang kolom segiempat dengan kajian yang sudah dilakukan dalam beberapa studi literatur. Program perhitungan kapasitas kolom menggunakan Bahasa Software Turbo Pascal. Sebagai contoh, dibuat perhitungan kapasitas kolom segi empat terhadap lentur biaksial. Berdasarkan analisis dan pembahasan diperoleh bahwa gaya-gaya yang dihasilkan dari program memberikan nilai keakuratan sampai 99 % dibandingkan dengan hasil yang diperoleh dari metode keseimbangan dan keserasian regangan.

**Kata kunci** : kolom segiempat, gaya aksial, momen dua arah, garis netral, sudut rotasi.

## 1. Pendahuluan

Kolom pendek tipe beton bertulang (*Reinforced Concrete*) yang dibebani kombinasi gaya aksial dan lentur biaksial banyak dijumpai dalam konstruksi struktur beton bertulang seperti pada gedung dan jembatan. Berbagai desain penampang kolom yang berkembang sampai saat ini sebagian besar menggunakan kolom dengan penampang segiempat maupun lingkaran.

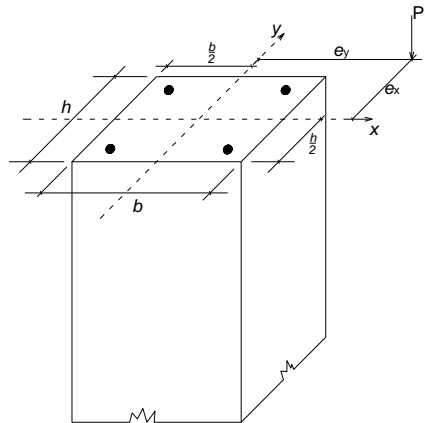
Kadang-kadang dari segi estetis, seorang engineer menghendaki bentuk penampang kolom yang tidak umum bagi perencanaan struktur gedung, jembatan, atau infrastruktur lain, misalnya bentuk penampang kolom *hollow*, poligon, maupun octagonal. Untuk hal tersebut perlu dilakukan berbagai analisis dalam mengevaluasi beberapa desain bentuk penampang kolom.

Kajian ini bertujuan untuk menganalisis kapasitas penampang kolom terhadap beban eksentris. Pembebanan eksentris pada kolom menimbulkan momen dua arah (*biaxial bending*) sehingga proses perhitungan menjadi lebih kompleks. Analisis kapasitas penampang kolom dalam kajian ini diwujudkan dalam bentuk program komputer. Keluaran (*ouput*) program berupa nilai kapasitas penampang berupa gaya aksial dan momen dua arah yang dapat dipikul oleh penampang kolom.

## 2. Kajian Pustaka

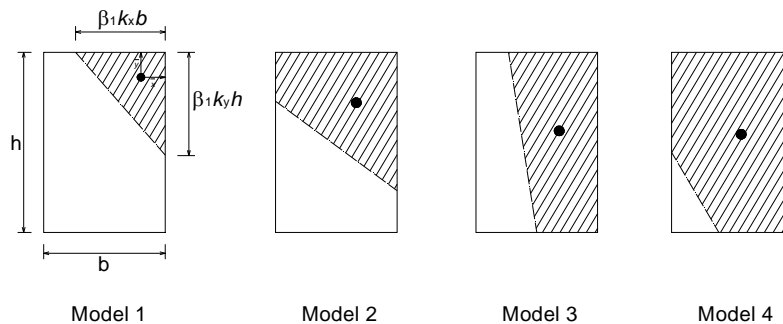
### 2.1 Pembebanan Eksentris Kolom Pendek dengan Lentur Dua Arah

Teori mengenai kolom yang selama ini dibahas pada umumnya hanya untuk beban yang mengakibatkan lentur dalam satu arah (lentur uniaksial). Akan tetapi dalam kenyataannya, pada kolom bekerja lentur dalam dua arah secara bersama-sama (misalnya kolom pada bagian tepi sudut suatu struktur gedung atau jembatan). Sebagai ilustrasi, pada Gambar 1. adalah contoh penampang kolom dengan tulangan simetris yang dibebani secara eksentris ( $P_u$ ).



Gambar 1. Penampang kolom dengan beban eksentris (Park, R, 1975)

Berdasarkan Gambar 1. dalam menentukan posisi garis netral, ada beberapa bentuk hubungan diagram tegangan – regangan dari kolom yang memikul beban eksentris, sebagaimana dilihat dalam Gambar 2.



Gambar 2. Bentuk model diagram tegangan - regangan

Berdasarkan Gambar 2. dapat ditentukan gaya resultant beton yang tergantung pada bentuk blok tegangan ekuivalen. Tegangan beton yang bekerja ( $C_c$ ) dapat dihitung dengan rumus :

$$C_c = 0,425 f_c' \beta_1^2 k_x k_y b h \quad \dots (1)$$

$$\bar{x} = \frac{1}{3} \beta_1 k_x b \quad \dots (2)$$

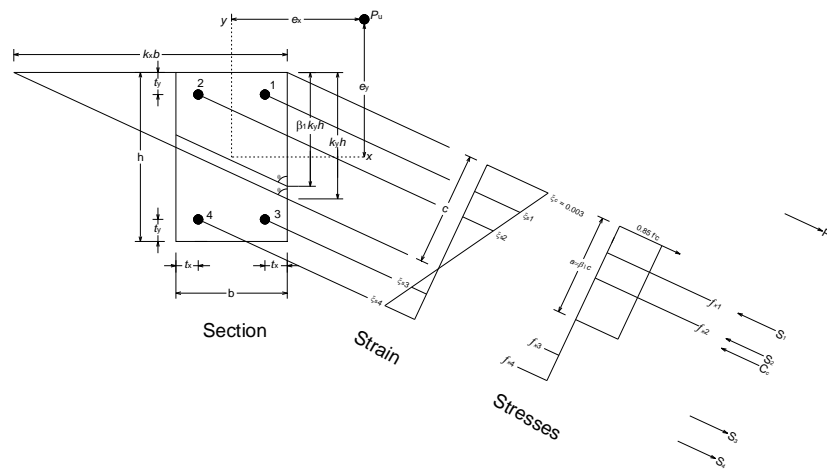
$$\bar{y} = \frac{1}{3} \beta_1 k_y h \tag{3}$$

Untuk tulangan baja simetris, persamaan keseimbangan dapat ditentukan dengan rumus :

$$P_u = C_c + S_1 + S_2 + S_3 + S_4 \tag{4}$$

$$M_{ux} = P_u e_y = C_c \left\{ \frac{h}{2} - y \right\} + \{S_1 + S_2\} \left\{ \frac{h}{2} - t_y \right\} - \{S_3 + S_4\} \left\{ \frac{h}{2} - t_y \right\} \tag{5}$$

$$M_{uy} = P_u e_x = C_c \left\{ \frac{b}{2} - x \right\} + \{S_1 + S_3\} \left\{ \frac{b}{2} - t_x \right\} - \{S_2 + S_4\} \left\{ \frac{b}{2} - t_x \right\} \tag{6}$$



Gambar 3. Penampang kolom dengan momen biaksial pada kondisi beban ultimate (Nawy, E.G.,1998)

Rumus (1) sampai (6) mengacu pada Gambar 3. Analisis dan desain untuk penampang kolom yang dibebani lentur dua arah tidaklah mudah karena kita harus melakukan *trial and error* (metode coba-coba) untuk menentukan sudut kemiringan (*inclination*) dari garis netral dan jarak sumbu garis netral yang sesuai dengan persamaan keseimbangan gaya.

### 3. Hipotesis

Kapasitas penampang kolom beton bertulang dapat dinyatakan dalam bentuk diagram interaksi aksial-momen (P-M) yang menunjukkan hubungan beban aksial dan momen lentur pada kondisi batas. Setiap titik kurva menunjukkan kombinasi P dan M sebagai kapasitas penampang terhadap suatu garis netral tertentu.

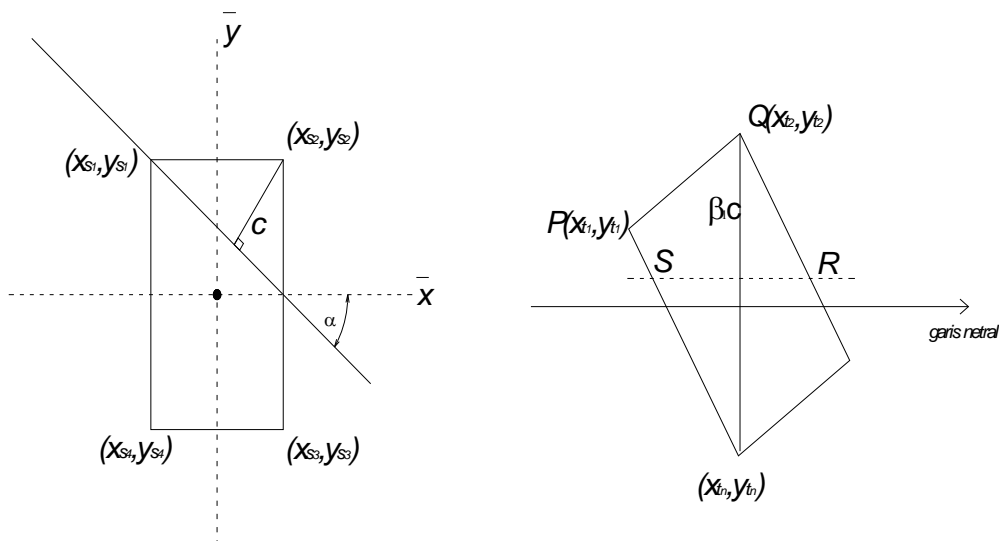
### 4. Metodologi

Metodologi yang digunakan dalam pengkajian ini adalah dengan membuat program analisis kapasitas penampang kolom sembarang dengan tahapan sebagai berikut :

- Input data berupa titik koordinat dari dimensi penampang kolom, mutu beton, dimensi dan mutu baja tulangan
- Menghitung luas total penampang sembarang dan titik sentral dari penampang
- Menentukan letak koordinat relatif terhadap titik sentral
- Merotasikan titik koordinat relatif penampang terhadap sumbu netral
- Menghitung gaya tekan beton
- Menetapkan fungsi regangan
- Menghitung gaya total yang bekerja akibat baja tulangan dan beton
- Melakukan evaluasi penampang yang dibebani gaya aksial dengan eksentrisitas tertentu.
- Membandingkan hasil analisis yang diperoleh dari program dengan analisis perhitungan berdasarkan metoda keseimbangan dan keserasian regangan. Sebagai studi kasus akan ditentukan analisis penampang kolom beton berbentuk segiempat.

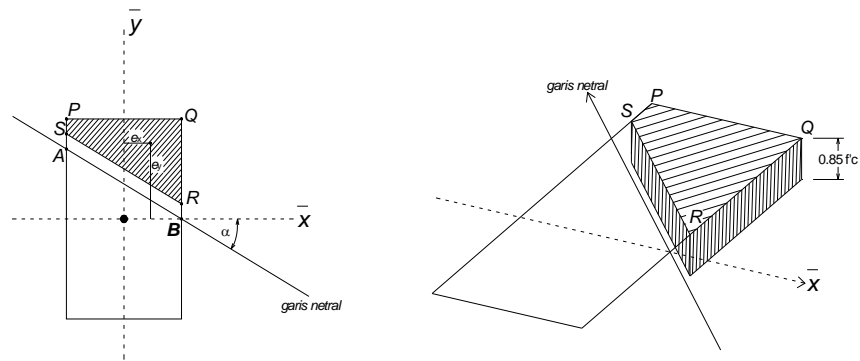
## 5. Hasil dan Analisis

- Masukkan data penampang :
- Tentukan koordinat geometri penampang  $(x_{si}, y_{si})$  terhadap titik berat penampang  $(x_0, y_0)$  :
- Rotasikan koordinat geometri penampang  $(x_{si}, y_{si})$  terhadap sumbu netral dengan kemiringan  $(\alpha)$   $15^\circ$  dan  $c = 25$  cm melalui proses transformasi



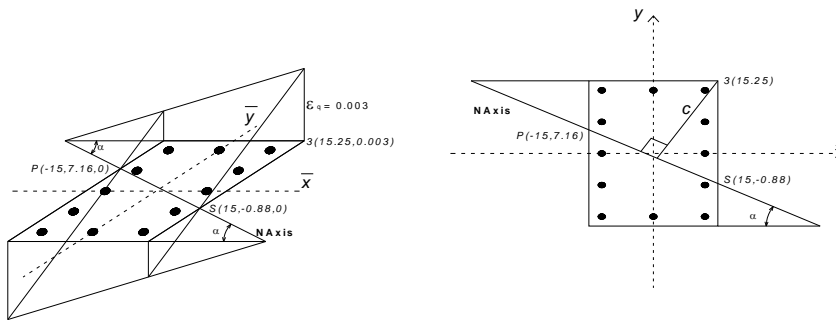
**Gambar 4.** Proses transformasi penampang segiempat terhadap sumbu rotasi

- Hitung luas (A) dan titik berat  $(x_c, y_c)$  dari blok tegangan tekan ekuivalen:



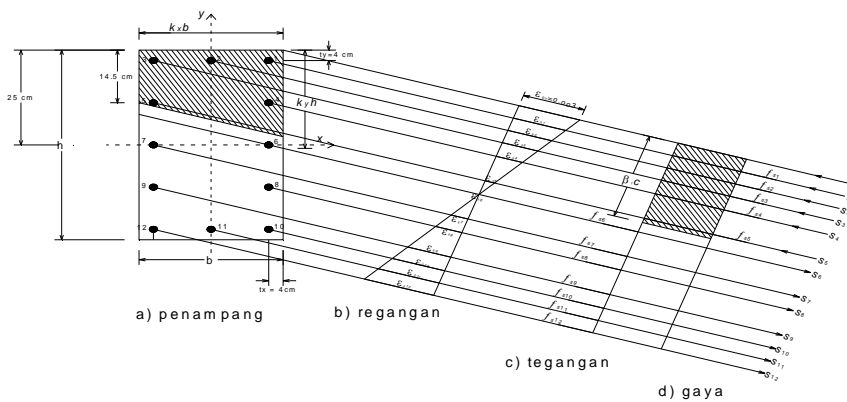
Gambar 5. Luas blok tegangan tekan ekuivalen

- Hitung gaya tekan beton ekuivalen :
  - Hitung gaya akibat tulangan :
- Gambar 6 merupakan diagram regangan pada penampang kolom segiempat untuk menentukan fungsi regangan.



Gambar 6 Diagram regangan akibat tulangan (Erasito, T, 1993)

Dengan studi kasus yang sama, akan dihitung kapasitas penampang kolom persegi dengan menggunakan metode keseimbangan dan keserasian regangan sebagai mana ditampilkan pada Gambar 7 berikut :



Gambar 7. Metode keseimbangan dan keserasian regangan (Timoshenko, S, 1952)

Berdasarkan gambar 7 diperoleh persamaan sebagai berikut :

$$\tan \alpha = \frac{k_y \cdot h}{k_x \cdot b} = \tan(15^\circ) = 0,268$$

Regangan baja :

$$\varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s} = \frac{3900}{2100000} = 0,001857$$

untuk gaya-gaya tulangan dapat dilihat pada Tabel 1 berikut :

**Tabel 1. Gaya tarik baja**

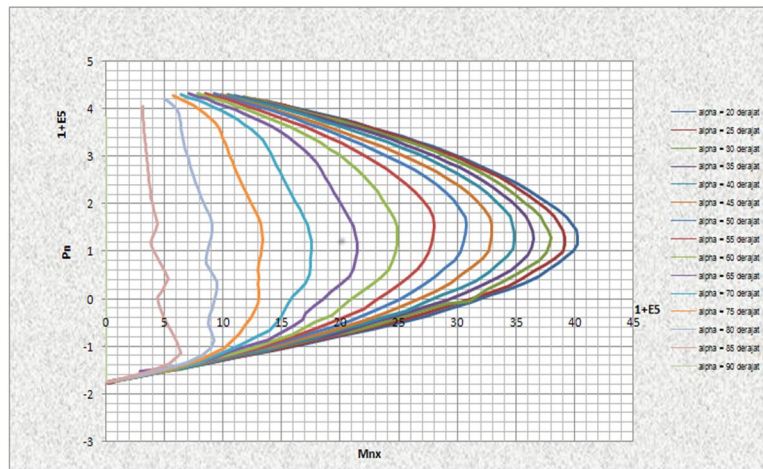
| No baja<br>(i)      | Rumus gaya tarik<br>(Si)          | Gaya tarik<br>(kg) |
|---------------------|-----------------------------------|--------------------|
| 1                   | $f_y * a_{s1}$                    | 14265              |
| 2                   | $f_y * a_{s2}$                    | 14265              |
| 3                   | $\varepsilon_{s3} * E_s * a_{s3}$ | 13615,875          |
| 4                   | $\varepsilon_{s4} * E_s * a_{s4}$ | 9410,07            |
| 5                   | $\varepsilon_{s5} * E_s * a_{s5}$ | 4032               |
| 6                   | $\varepsilon_{s6} * E_s * a_{s6}$ | -173,25            |
| 7                   | $\varepsilon_{s7} * E_s * a_{s7}$ | -5559,75           |
| 8                   | $\varepsilon_{s8} * E_s * a_{s8}$ | -9757,125          |
| 9                   | $-f_y * a_{s9}$                   | -14265             |
| 10                  | $-f_y * a_{s10}$                  | -14265             |
| 11                  | $-f_y * a_{s11}$                  | -14265             |
| 12                  | $-f_y * a_{s12}$                  | -14265             |
| Total gaya baja (S) |                                   | -17682,18          |

Luas blok tekan ekuivalen :

Total gaya akibat beton dan baja (N) :  $N = C_c + S_{total} = 96940,32 \text{ kg}$ ,  $M_x = 4036631,1 \text{ kgcm}$  dan  $M_y = 311211,33 \text{ kgcm}$

**Tabel 2. Hasil analisis program dan metode keseimbangan gaya**

|    | Gaya-gaya dalam   | Selisih | Keterangan                     |
|----|-------------------|---------|--------------------------------|
| N  | 96945.580 kg      | 0.005   | program<br>metode keseimbangan |
|    | 96940.320 kg      |         |                                |
| Mx | 4036643.470 kg.cm | 0.000   | program<br>metode keseimbangan |
|    | 4036631.100 kg.cm |         |                                |
| My | 311146.020 kg.cm  | -0.021  | program<br>metode keseimbangan |
|    | 311211.330 kg.cm  |         |                                |



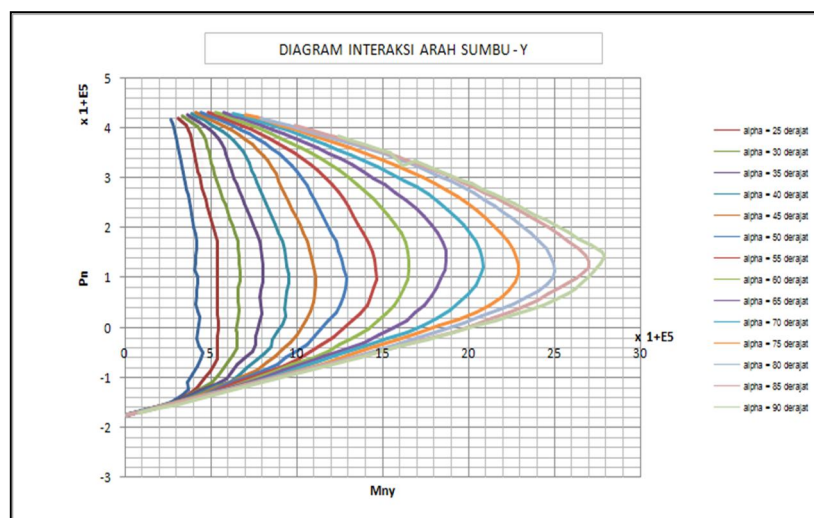
Gambar 8. Kurva Interaksi Penampang Kolom Segiempat Terhadap Sumbu – X (Hasil program Turbo Pascal)

## 6. Pembahasan

Program analisis kapasitas penampang kolom menggunakan Turbo Pascal. Berdasarkan hasil analisis dari dua cara tersebut dapat dilihat bahwa nilai gaya total dan lentur biaksial ( $M_x$  dan  $M_y$ ) akibat tulangan dan beton antara hasil analisis program dengan metode keseimbangan gaya adalah mendekati nilai yang sama (Tabel 2).

Berdasarkan Tabel 2, selisih nilai gaya aksial ( $N$ ) dan momen lentur biaksial ( $M_x$ ,  $M_y$ ) antara hasil analisis program dan metode keseimbangan gaya adalah sangat kecil, dengan pengertian lain bahwa analisis dengan menggunakan program yang dibuat memberikan hasil yang akurat.

Kurva interaksi untuk penampang kolom sembarang dapat dibuat dari hasil output program dengan beberapa variasi sumbu netral ( $\alpha$ ). Berikut adalah gambar kurva interaksi untuk penampang kolom segiempat yang dibuat berdasarkan analisis program.



Gambar 9. Kurva Interaksi Penampang Kolom Segiempat Terhadap Sumbu – Y

Gambar 8. dan Gambar 9. menunjukkan kurva interaksi hasil program dari gaya-gaya berdasarkan kapasitas penampang kolom segiempat. Gaya-gaya tersebut bervariasi sesuai dengan kemiringan garis netral ( $\alpha = 20^0 - 90^0$ , dengan rentang kemiringan  $5^0$ ). Rangkaian kurva dengan variasi sudut kemiringan garis netral ( $\alpha$ ) menggambarkan permukaan runtuh (*failure surface*) dari kapasitas penampang kolom. Bentuk kurva interaksi secara umum adalah kompleks karena sangat ditentukan oleh variasi bentuk geometri penampang, kekuatan bahan rencana, kapasitas tulangan, dan tingkat pembebanan.

## 7. Kesimpulan

- Pembuatan program perhitungan kapasitas penampang kolom sembarang digunakan untuk menentukan gaya aksial dan momen lentur dua arah dengan meng-iterasi jarak garis netral ( $c$ ) dan sudut kemiringan garis netral ( $\alpha$ ) sedemikian sehingga diperoleh nilai eksentrisitas dua arah ( $e_x, e_y$ ) yang sama dengan nilai eksentrisitas dari beban rencana.
- Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan, gaya dan momen lentur yang diperoleh dari program analisis penampang kolom sembarang memberikan nilai yang akurat jika dibandingkan dengan teori keseimbangan dan keserasian regangan.
- Program analisis penampang kolom sembarang dapat digunakan untuk menganalisis kolom yang ukuran geometrik penampangnya tidak tentu.
- Untuk keperluan desain, program analisis penampang kolom sembarang dapat dikembangkan untuk membuat kurva interaksi dalam bentuk tiga dimensi, sehingga dapat diketahui titik potong permukaan interaksi yang menunjukkan satu bagian rangkaian beban aksial ( $P$ ) dan momen dalam arah sumbu utama ( $M_x, M_y$ ) yang secara bersama-sama menyebabkan penampang mengalami keruntuhan.

## 8. Daftar Pustaka

- Bresler, B., (1960). "Desain Criteria for Reinforced Concrete Columns Under Axial Load and Biaxial Bending", ACI Journal, Proceedings V. 57, No. 5, Nov.
- Erasito, T., (1993). "Analysis of Reinforced Concrete Short Columns Subjected to Biaxial Bending", Master of Engineering Thesis, school of Civil Engineering, The University of New South Wales, Sydney.
- Mac Gregor, James G., (1992). *Reinforced Concrete Mechanics and Design*, Edisi kedua, Prentice Hall Inc.
- Mattock, A.H., Kriz, L.B., and Hognestad, E.N., (1961). "Rectangular Stress Distribution in Ultimate Strength Design", ACI Journal, Proceedings V. 58, Feb.
- Nawy, E.G., (1998). "Reinforced Concrete A Fundamental Approach".
- Park, R., and Paulay, T., (1975). "Reinforced Concrete Structure", Wiley, New York.
- Timoshenko, S., (1952). "Strength of Materials", Part II : Advanced Theory, D. Van Nostrand, New York.
- Vis, W.C. dan Kusuma, G.H., (1993). *Dasar-Dasar Perencanaan Beton Bertulang*, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Wang, C.K., and Salmon, C.G., "Reinforced Concrete Design", 4 rd ed., Harper and Row, New York.
- Wahyudi, L. dan Rahim, Syahril A., (1997). *Struktur Beton Bertulang*, PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.