

# STUDI EKSPERIMENTAL PENGUJIAN BEBAN SIKLIK KOLOM LINGKARAN BETON BERTULANG DENGAN PERKUATAN *PEN-BINDER* DAN FRP

Ricky Candra Wijaya

1221008

Pembimbing: Dr. Anang Kristianto, S.T., M.T.

## ABSTRAK

Gempa bumi adalah getaran atau guncangan yang terjadi di permukaan bumi akibat pelepasan energi dari dalam secara tiba-tiba yang menciptakan gelombang seismik. Gempa bumi biasa disebabkan oleh pergerakan kerak bumi (lempeng bumi). Indonesia termasuk salah satu negara yang memiliki tingkat gempa yang cukup tinggi. Hal ini yang mendasari struktur rumah tinggal di Indonesia harus memiliki standar yang benar dengan menggunakan Standar Nasional Indonesia 2847-2013. Salah satu komponen struktur yang harus diwaspadai agar struktur tidak mudah runtuh adalah kolom. Hal ini yang menjadi dasar dilakukannya studi eksperimental tentang perkuatan kolom dengan *pen-binder* dan FRP.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kapasitas kolom persegi beton bertulang dengan menggunakan perkuatan *pen-binder* dan FRP. Benda uji dibuat sebanyak 6 kolom dengan ukuran penampang diameter 180mm dan tinggi 1000mm. Dengan rincian 2 kolom standar, 2 kolom dengan *pen-binder*, dan 2 kolom dengan FRP. Selain itu, 9 silinder dibuat untuk menguji kekuatan tekan dari kolom-kolom tersebut dan didapatkan  $f'_c = 20,75\text{MPa}$ .

Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa kolom dengan perkuatan FRP lebih baik dalam menerima beban siklik dibandingkan dengan kolom dengan perkuatan *pen-binder* dan kolom dengan standar. Kapasitas kolom dengan perkuatan FRP mencapai 1,166% lebih besar dari kolom standar. Kapasitas kolom dengan perkuatan *pen-binder* mencapai 1,118% lebih besar dari kolom standar.

**Kata Kunci:** kolom, retak, standar, *pen-binder*, FRP, *drift ratio*.

# ***EXPERIMENTAL STUDY OF CYCLIC LOADS TESTING CIRCULAR REINFORCED CONCRETE COLUMN USING PEN-BINDER AND FRP STRENGTHENING***

**Ricky Candra Wijaya**

**1221008**

**Supervisor: Dr. Anang Kristianto, S.T., M.T.**

## ***ABSTRACT***

*Earthquake is a vibration or shock that occurs on the surface of the earth due to sudden release of energy from within that caused seismic waves. Earthquake can be caused by the movement of tectonic plates. Indonesia is one of the countries that have a high frequent of earthquake rate. This thing underlying the structure of the house in Indonesia must follow the correct standard by using the Indonesian National Standard 2847-2013. One of the structural components that should be aware of is column so that the structure does not easily collapse. These became the base of doing experimental study about reinforcing columns with pen-binder and FRP.*

*The purpose of this research is to evaluate the capacity of the circular reinforced concrete column using pen-binder and FRP. The test object contains 6 columns with dimensions of 180mm diameter and 1000mm height. The details are 2 standard columns, 2 columns with pen-binder, and 2 columns with FRP. Moreover, 9 cylinders are made to test the compressive strength of columns and obtained  $f'_c = 20,75\text{MPa}$ .*

*The results of this research indicating that columns with FRP are the best amongst columns with pen-binder and standard column when accepting cyclic loads. The capacity of column with FRP is 1,166% larger than standard column. The capacity of column with pen-binder is 1,118% larger than standard column.*

***Keywords: columns, crack, standard, pen-binder, FRP, drift ratio.***

# DAFTAR ISI

|                                                                            |          |
|----------------------------------------------------------------------------|----------|
| HALAMAN JUDUL .....                                                        | i        |
| LEMBAR PENGESAHAN .....                                                    | ii       |
| PERNYATAAN ORISINALITAS LAPORAN PENELITIAN.....                            | iii      |
| PERNYATAAN PUBLIKASI LAPORAN PENELITIAN .....                              | iv       |
| SURAT KETERANGAN TUGAS AKHIR .....                                         | v        |
| SURAT KETERANGAN SELESAI TUGAS AKHIR .....                                 | vi       |
| KATA PENGANTAR.....                                                        | vii      |
| ABSTRAK .....                                                              | ix       |
| ABSTRACT .....                                                             | x        |
| DAFTAR ISI.....                                                            | xi       |
| DAFTAR GAMBAR.....                                                         | xiii     |
| DAFTAR TABEL .....                                                         | xv       |
| DAFTAR NOTASI.....                                                         | xvi      |
| DAFTAR LAMPIRAN .....                                                      | xviii    |
| <b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>                                              | <b>1</b> |
| 1.1 Latar Belakang .....                                                   | 1        |
| 1.2 Tujuan Penelitian .....                                                | 2        |
| 1.3 Ruang Lingkup Penelitian.....                                          | 2        |
| 1.4 Metode Penelitian .....                                                | 2        |
| 1.5 Sistematika Penulisan .....                                            | 3        |
| <b>BAB II TINJAUAN LITERATUR.....</b>                                      | <b>4</b> |
| 2.1 Struktur Beton Bertulang.....                                          | 4        |
| 2.2 Material Pembentuk Beton .....                                         | 6        |
| 2.2.1 Agregat .....                                                        | 6        |
| 2.2.2 Semen <i>Portland</i> .....                                          | 10       |
| 2.2.3 Air.....                                                             | 11       |
| 2.2.4 Baja Tulangan.....                                                   | 11       |
| 2.3 Campuran Beton.....                                                    | 12       |
| 2.4 Daktilitas.....                                                        | 13       |
| 2.5 Kolom Beton Bertulang.....                                             | 14       |
| 2.6 Penulangan Pada Kolom.....                                             | 16       |
| 2.6.1 Tulangan Utama .....                                                 | 16       |
| 2.6.2 Tulangan Pengekang .....                                             | 17       |
| 2.7 Kapasitas Kolom .....                                                  | 18       |
| 2.8 Keruntuhan Kolom .....                                                 | 18       |
| 2.9 Diagram Interaksi Kolom .....                                          | 19       |
| 2.10 Pengujian Kuat Tekan Beton.....                                       | 20       |
| 2.11 Perkuatan Kolom Beton Bertulang.....                                  | 21       |
| 2.11.1 Perkuatan Kolom dengan <i>Pen-Binder</i> .....                      | 22       |
| 2.11.2 Perkuatan Kolom dengan <i>Fiber Reinforced Polymer</i><br>FRP ..... | 23       |
| 2.12 Kurva Histeretik .....                                                | 24       |

|                                                                  |           |
|------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>                           | <b>28</b> |
| 3.1 Bagan Alir Penelitian .....                                  | 28        |
| 3.2 Dimensi Benda Uji .....                                      | 30        |
| 3.3 Pengujian Bahan Material Penyusun Beton Bertulang .....      | 31        |
| 3.3.1 Agregat Halus .....                                        | 31        |
| 3.3.2 Agregat Kasar .....                                        | 32        |
| 3.3.3 Semen .....                                                | 33        |
| 3.3.4 Baja Tulangan .....                                        | 33        |
| 3.3.5 Perencanaan Campuran Beton .....                           | 34        |
| 3.3.6 Perencanaan Benda Uji .....                                | 34        |
| 3.3.6.1 Hasil Kuat Tekan Beton Silinder .....                    | 34        |
| 3.3.6.2 Penentuan Tulangan Utama dan Tulangan<br>Pengekang ..... | 35        |
| 3.3.7 Kapasitas Kolom Rencana .....                              | 36        |
| 3.4 Pelaksanaan Pembuatan Benda Uji .....                        | 38        |
| 3.4.1 Pembuatan Besi Tulangan .....                              | 38        |
| 3.4.2 Pembuatan Bekisting .....                                  | 38        |
| 3.4.3 Pemasangan <i>Strain Gauge</i> .....                       | 39        |
| 3.4.4 Pengecoran Benda Uji .....                                 | 43        |
| 3.4.5 Perawatan Benda Uji .....                                  | 46        |
| 3.4.6 Pengecatan dan Penggarisan Benda Uji .....                 | 46        |
| 3.4.7 Pemasangan FRP .....                                       | 47        |
| 3.5 <i>Set-Up</i> Alat Pengujian .....                           | 47        |
| 3.6 Proses Pengujian Benda Uji .....                             | 50        |
| 3.7 Deformasi Kolom Rencana .....                                | 51        |
| <b>BAB IV ANALISIS DATA .....</b>                                | <b>52</b> |
| 4.1 Pola Retak Kolom .....                                       | 52        |
| 4.1.1 Pola Retak Kolom Standar .....                             | 52        |
| 4.1.2 Pola Retak Kolom dengan <i>Pen-Binder</i> .....            | 54        |
| 4.1.3 Pola Retak Kolom dengan FRP .....                          | 56        |
| 4.2 Hasil Pengujian Kolom .....                                  | 58        |
| 4.2.1 Kolom Standar .....                                        | 59        |
| 4.2.2 Kolom dengan <i>Pen-Binder</i> .....                       | 61        |
| 4.2.3 Kolom dengan FRP .....                                     | 63        |
| <b>BAB V SIMPULAN DAN SARAN .....</b>                            | <b>67</b> |
| 5.1 Simpulan .....                                               | 67        |
| 5.2 Saran .....                                                  | 67        |
| DAFTAR PUSTAKA .....                                             | 68        |
| LAMPIRAN .....                                                   | 70        |

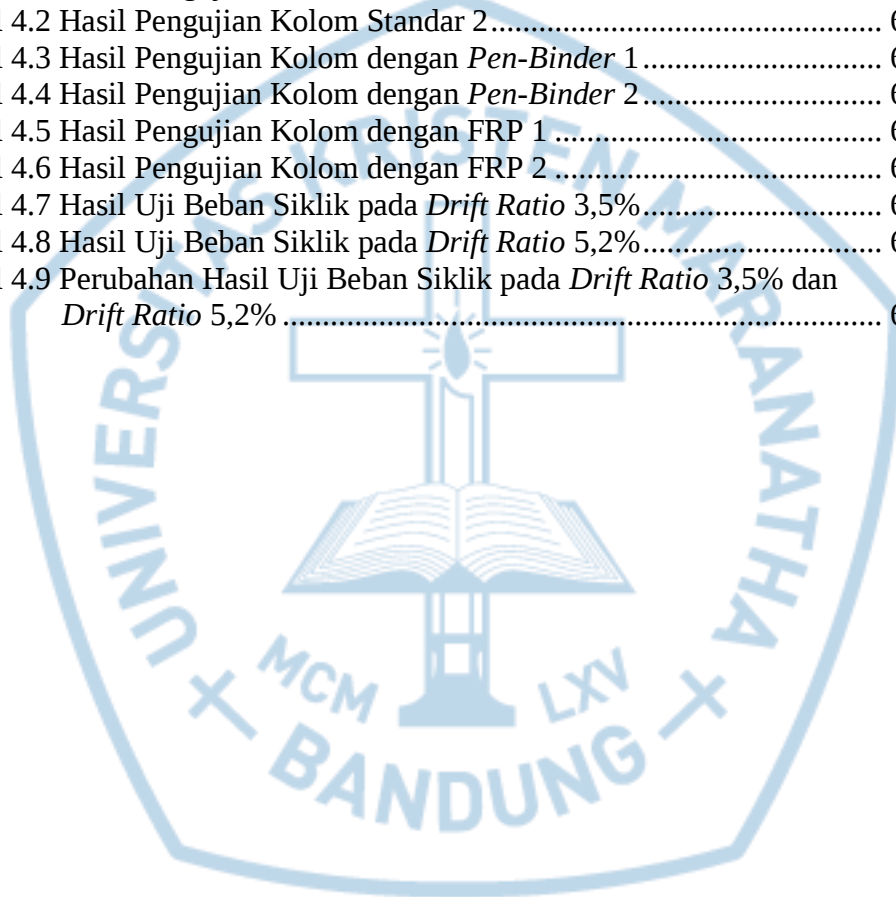
## DAFTAR GAMBAR

|                                                                                                                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 2.1 Agregat Kasar.....                                                                                                                                  | 7  |
| Gambar 2.2 Agregat Halus.....                                                                                                                                  | 8  |
| Gambar 2.3 Semen.....                                                                                                                                          | 11 |
| Gambar 2.4 Baja Tulangan .....                                                                                                                                 | 12 |
| Gambar 2.5 Hubungan Regangan dan Tegangan.....                                                                                                                 | 13 |
| Gambar 2.6 (a) Kolom Persegi; (b) Kolom Spiral; (c) dan (d) Kolom<br>Komposit .....                                                                            | 15 |
| Gambar 2.7 Diagram Interaksi Kolom.....                                                                                                                        | 20 |
| Gambar 2.8 Kurva Histeretik Ideal .....                                                                                                                        | 25 |
| Gambar 2.9 Model Kurva Histeretik Ramberg-Osgood .....                                                                                                         | 25 |
| Gambar 2.10 Model Kurva Histeretik Clough .....                                                                                                                | 26 |
| Gambar 2.11 Model Kurva Histeretik <i>Isotropic Hardening</i> .....                                                                                            | 26 |
| Gambar 2.12 Model Kurva Histeretik <i>Kinematic Hardening</i> .....                                                                                            | 27 |
| Gambar 2.13 Model Kurva Histeretik <i>Combined Hardening</i> .....                                                                                             | 27 |
| Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian .....                                                                                                                       | 29 |
| Gambar 3.2 (a) Benda Uji Silinder; (b) Benda Uji Kolom Standar; (c)<br>Benda Uji Kolom dengan Pen-Binder; dan (d) Benda Uji<br>Kolom dengan FRP .....          | 30 |
| Gambar 3.3 (a) Pengujian Berat Isi Agregat Halus; (b) Berat Jenis<br>Kering dan Penyerapan Agregat Halus; (c) Pengujian Berat<br>Jenis SSD Agregat Halus ..... | 31 |
| Gambar 3.4 (a) Pengujian Berat Isi Agregat Kasar; (b) Berat Jenis<br>Kering, Berat Jenis SSD, dan Penyerapan Agregat Kasar .....                               | 32 |
| Gambar 3.5 Pengujian Berat Jenis Semen .....                                                                                                                   | 33 |
| Gambar 3.6 Hasil Uji Kuat Tarik.....                                                                                                                           | 33 |
| Gambar 3.7 Diagram Interaksi Kolom.....                                                                                                                        | 37 |
| Gambar 3.8 Beban dan Momen Lentur Pada Kolom.....                                                                                                              | 37 |
| Gambar 3.9 Pembuatan Besi Tulangan.....                                                                                                                        | 38 |
| Gambar 3.10 Pembuatan Bekisting.....                                                                                                                           | 38 |
| Gambar 3.11 Perataan Tulangan Ulir .....                                                                                                                       | 39 |
| Gambar 3.12 Perataan Tulangan Polos.....                                                                                                                       | 40 |
| Gambar 3.13 Pemasangan <i>Strain Gauge</i> di atas Lem Besi .....                                                                                              | 40 |
| Gambar 3.14 Pemasangan Isolasi Bening di atas <i>Strain Gauge</i> .....                                                                                        | 41 |
| Gambar 3.15 Pemasangan Isolasi Aspal .....                                                                                                                     | 41 |
| Gambar 3.16 Pemasangan Isolasi Hitam .....                                                                                                                     | 42 |
| Gambar 3.17 Pengikatan <i>Strain Gauge</i> .....                                                                                                               | 42 |
| Gambar 3.18 <i>Strain Gauge</i> Telah Dipasang .....                                                                                                           | 42 |
| Gambar 3.19 Pemasukkan Besi Tulangan dan Penyambungan Bekisting .....                                                                                          | 43 |
| Gambar 3.20 Pengujian <i>Slump</i> .....                                                                                                                       | 44 |
| Gambar 3.21 Pemasukkan Campuran Beton .....                                                                                                                    | 45 |
| Gambar 3.22 Pembukaan Bekisting.....                                                                                                                           | 45 |
| Gambar 3.23 Perbaikan Struktur Kolom.....                                                                                                                      | 46 |
| Gambar 3.24 Perawatan Benda Uji.....                                                                                                                           | 46 |
| Gambar 3.25 Pemasangan FRP .....                                                                                                                               | 47 |

|                                                                                                                                                                                       |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 3.26 2D <i>Set-Up</i> Alat Pengujian.....                                                                                                                                      | 48 |
| Gambar 3.27 3D <i>Set-Up</i> Alat Pengujian.....                                                                                                                                      | 49 |
| Gambar 3.28 <i>Set-Up</i> Alat Pengujian.....                                                                                                                                         | 49 |
| Gambar 4.1 Pola Retak Kolom Standar 1: (a) Kolom Standar 1, (b) Tampak Depan, (c) Tampak Samping Kanan, (d) Tampak Belakang, (e) Tampak Samping Kiri .....                            | 52 |
| Gambar 4.2 Pola Retak Kolom Standar 2: (a) Kolom Standar 2, (b) Tampak Depan, (c) Tampak Samping Kanan, (d) Tampak Belakang, (e) Tampak Samping Kiri .....                            | 53 |
| Gambar 4.3 Pola Retak Kolom dengan <i>Pen-Binder</i> 1: (a) Kolom <i>Pen-binder</i> 1, (b) Tampak Depan, (c) Tampak Samping Kanan, (d) Tampak Belakang, (e) Tampak Samping Kiri ..... | 54 |
| Gambar 4.4 Pola Retak Kolom dengan <i>Pen-Binder</i> 2: (a) Kolom <i>Pen-binder</i> 2, (b) Tampak Depan, (c) Tampak Samping Kanan, (d) Tampak Belakang, (e) Tampak Samping Kiri ..... | 55 |
| Gambar 4.5 Pola Retak Kolom dengan FRP 1: (a) Kolom FRP 1, (b) Tampak Depan, (c) Tampak Samping Kanan, (d) Tampak Belakang, (e) Tampak Samping Kiri .....                             | 56 |
| Gambar 4.6 Pola Retak Kolom dengan FRP 2: (a) Kolom FRP 2, (b) Tampak Depan, (c) Tampak Samping Kanan, (d) Tampak Belakang, (e) Tampak Samping Kiri .....                             | 57 |
| Gambar 4.7 Kurva Histeretik Kolom Standar 1.....                                                                                                                                      | 59 |
| Gambar 4.8 Kurva Histeretik Kolom Standar 2.....                                                                                                                                      | 60 |
| Gambar 4.10 Kurva Histeretik Kolom dengan <i>Pen-Binder</i> 1.....                                                                                                                    | 61 |
| Gambar 4.11 Kurva Histeretik Kolom dengan <i>Pen-Binder</i> 2.....                                                                                                                    | 62 |
| Gambar 4.13 Kurva Histeretik Kolom dengan FRP 1 .....                                                                                                                                 | 63 |
| Gambar 4.14 Kurva Histeretik Kolom dengan FRP 2 .....                                                                                                                                 | 64 |

## DAFTAR TABEL

|                                                                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabel 2.1 Klasifikasi Beton Berdasarkan Kuat Tekan .....                                                     | 4  |
| Tabel 2.2 Jenis-jenis Tulangan.....                                                                          | 12 |
| Tabel 2.3 Angka Konversi Kekuatan Tekan Beton dengan Umur Beton ....                                         | 21 |
| Tabel 3.1 Data Pengujian Agregat Halus.....                                                                  | 31 |
| Tabel 3.2 Data Pengujian Agregat Kasar.....                                                                  | 32 |
| Tabel 3.3 Hasil Uji Kuat Tekan Beton Silinder .....                                                          | 35 |
| Tabel 3.4 <i>Drift Ratio</i> dan Simpangan .....                                                             | 50 |
| Tabel 4.1 Hasil Pengujian Kolom Standar 1.....                                                               | 59 |
| Tabel 4.2 Hasil Pengujian Kolom Standar 2.....                                                               | 60 |
| Tabel 4.3 Hasil Pengujian Kolom dengan <i>Pen-Binder</i> 1 .....                                             | 61 |
| Tabel 4.4 Hasil Pengujian Kolom dengan <i>Pen-Binder</i> 2.....                                              | 62 |
| Tabel 4.5 Hasil Pengujian Kolom dengan FRP 1 .....                                                           | 63 |
| Tabel 4.6 Hasil Pengujian Kolom dengan FRP 2 .....                                                           | 64 |
| Tabel 4.7 Hasil Uji Beban Siklik pada <i>Drift Ratio</i> 3,5%.....                                           | 65 |
| Tabel 4.8 Hasil Uji Beban Siklik pada <i>Drift Ratio</i> 5,2%.....                                           | 65 |
| Tabel 4.9 Perubahan Hasil Uji Beban Siklik pada <i>Drift Ratio</i> 3,5% dan<br><i>Drift Ratio</i> 5,2% ..... | 65 |



## DAFTAR NOTASI

|                            |                                                                                                          |
|----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $A$                        | Luas penampang                                                                                           |
| $A_g$                      | Luas kotor penampang kolom                                                                               |
| $A_{sd}$                   | Luas tulangan baja tulangan yang digunakan                                                               |
| $A_{sv}$                   | Luas tulangan pengekang                                                                                  |
| $A_{st}$                   | Luas tulangan total yang digunakan                                                                       |
| $A_{stmin}$                | Luas tulangan total minimum yang diperlukan                                                              |
| $b$                        | Lebar penampang melintang kolom                                                                          |
| $B_{ba}$                   | Berat agregat di dalam air                                                                               |
| $b_c$                      | Dimensi penampang inti kolom                                                                             |
| $B_j$                      | Berat benda uji kondisi ssd                                                                              |
| $B_{j\text{ semen}}$       | Berat jenis semen <i>portland</i>                                                                        |
| $B_{j\text{ bulk}_{hl}}$   | Berat jenis kering agregat halus                                                                         |
| $B_{j\text{ bulk}_{ks}}$   | Berat jenis kering agregat kasar                                                                         |
| $B_k$                      | Berat benda uji kondisi kering oven                                                                      |
| $B_p$                      | Berat piknometer diisi air                                                                               |
| $B_{pj}$                   | Berat piknometer + benda uji ssd + air                                                                   |
| $c$                        | Jarak dari serat tekan terluar ke garis netral                                                           |
| $C_c$                      | Sumbangan gaya tekan beton                                                                               |
| $d$                        | Berat isi air pada temperatur ruang yang tetap,                                                          |
| $D_a$                      | Bobot isi agregat                                                                                        |
| $e$                        | Perbandingan antara momen nominal penampang dan kuat tekan aksial normal                                 |
| $e_b$                      | Perbandingan antara momen nominal penampang dan kuat tekan aksial nominal pada kondisi regangan seimbang |
| $E$                        | Modulus elastisitas                                                                                      |
| $E_s$                      | Modulus elastis baja                                                                                     |
| $F$                        | Besar gaya tekan                                                                                         |
| $f'_c$                     | Kuat tekan beton karakteristik                                                                           |
| $f'_{cc}$                  | Kuat tekan beton terkekang                                                                               |
| $f'_{co}$                  | Kuat tekan beton tidak terkekang                                                                         |
| $f'_{co\text{ rata-rata}}$ | Kuat tekan beton terkekang aktual rata-rata                                                              |
| $f_{si}$                   | Tegangan pada setiap baris tulangan                                                                      |
| $F_{si}$                   | Sumbangan gaya masing-masing baris tulangan                                                              |
| $f_y$                      | Tegangan leleh tulangan                                                                                  |
| $f_1$                      | Tegangan leleh tulangan pengekang                                                                        |
| $f_{1e}$                   | Tegangan lateral ekuivalen                                                                               |
| $h$                        | Tinggi penampang melintang kolom                                                                         |
| $h_c$                      | Lebar inti beton                                                                                         |
| $k_1$                      | Koefisien yang menyatakan hubungan antara tegangan pengekang dan peningkatan kekuatan                    |
| $k_2$                      | Koefisien yang menyatakan efisiensi tulangan pengekang                                                   |
| $L$                        | Panjang awal                                                                                             |
| $M_n$                      | Kekuatan momen nominal penampang                                                                         |
| $M_{nb}$                   | Kekuatan momen nominal penampang pada kondisi seimbang                                                   |

|                         |                                                           |
|-------------------------|-----------------------------------------------------------|
| $n$                     | Jumlah tulangan                                           |
| $P$                     | Tekanan                                                   |
| $P_c$                   | Kuat beban aksial akibat kontribusi beton                 |
| $P_{st}$                | Kuat beban aksial akibat kontribusi baja                  |
| $P_o$                   | Kuat beban aksial nominal akibat beban aksial konsentrik  |
| $P_o \text{ rata-rata}$ | Kuat beban aksial aktual rata-rata                        |
| $P_n$                   | Kuat beban aksial maksimum yang telah direduksi           |
| $P_{nb}$                | Kuat beban aksial nominal pada kondisi regangan seimbang  |
| $s$                     | Jarak tulangan pengekang sepanjang tinggi kolom           |
| $S_x$                   | Jarak spasi antar tulangan sengkang                       |
| $s_1$                   | Jarak pusat antar tulangan utama                          |
| $t$                     | Tinggi benda uji                                          |
| $V$                     | Volume cawan silinder                                     |
| $V_1$                   | Volume awal semen <i>Portland</i>                         |
| $V_2$                   | Volume akhir semen <i>Portland</i>                        |
| $W$                     | Berat benda uji semen <i>Portland</i>                     |
| $W_a$                   | Berat agregat                                             |
| $Z$                     | Suatu nilai sembarang untuk membuat diagram interaksi     |
| $\phi$                  | Koefisien reduksi                                         |
| $\phi P_{n(max)}$       | Kuat tekan rencana maksimum yang telah direduksi          |
| $\beta_1$               | Rasio tinggi tekan ekuivalen, a ke jarak garis netral, c. |
| $\epsilon$              | Regangan                                                  |
| $\epsilon_{cu}$         | Batas regangan beton                                      |
| $\epsilon_{si}$         | Regangan pada setiap baris tulangan                       |
| $\epsilon_y$            | Regangan leleh baja                                       |
| $\rho_s$                | Rasio tulangan                                            |
| $\sigma$                | Tegangan                                                  |
| $\Delta L$              | Pertambahan panjang                                       |

## DAFTAR LAMPIRAN

|                                                |    |
|------------------------------------------------|----|
| Lampiran L.1 Pengujian Bahan Material .....    | 70 |
| Lampiran L.2 Perancangan Campuran Beton .....  | 76 |
| Lampiran L.3 Proses Pengerjaan Benda Uji ..... | 82 |
| Lampiran L.4 Hasil Uji Kolom .....             | 94 |

