

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

Nico Nathaniel Sutanto

1221011

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

## ABSTRAK

Gempa bumi merupakan suatu getaran yang disebabkan oleh pergerakan lempeng bumi. Indonesia termasuk salah satu negara yang memiliki tingkat *magnitude* yang 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 170mm x 170mm x 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  $f'_c = 18,53\text{MPa}$ .

Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa kolom standar lebih baik dalam menerima beban siklik dibandingkan dengan kolom dengan perkuatan FRP dan kolom dengan perkuatan *pen-binder*. Selain itu, deformasi kolom standar merupakan deformasi terkecil sehingga kinerja kolom standar paling baik dibandingkan kolom lainnya. Kapasitas kolom standar mencapai sebesar 1036,50kg dan deformasi sebesar 31,54mm. Kapasitas kolom dengan perkuatan FRP sudah mencapai 971,50kg dan deformasi sebesar 31,56mm. Kapasitas kolom dengan perkuatan *pen-binder* sebesar 888,25kg dan deformasi sebesar 31,60mm.

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

# **EXPERIMENTAL STUDY OF CYCLIC LOADS TESTING REINFORCED SQUARE COLUMN WITH STRENGTHENING PEN-BINDER AND FRP**

**Nico Nathaniel Sutanto**

**1221011**

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

*Earthquake is a vibration caused by the movement of tectonic plates. Indonesia is one of the countries that have a high magnitude. 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 reinforced concrete square column using pen-binder and FRP. The test object contains 6 columns with dimensions of 170mm x 170mm x 1000mm. 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  $f'_c = 18,53\text{MPa}$ .*

*The results of this research indicating that standard columns are the best amongst columns with FRP and columns with pen-binder when accepting cyclic loads. Moreover, the deformation of standard column is the smallest deformation so the standard column performance is the best than the other column. The capacity of the standard column is 1036,50kg and the deformation is 31,54mm. The capacity of column with FRP is 971,50kg and the deformation is 31,56mm. The capacity of columns with pen-binder is 888,25kg and the deformation is 31,60mm.*

**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 .....                                                              | x        |
| ABSTRACT .....                                                             | xi       |
| DAFTAR ISI.....                                                            | xii      |
| DAFTAR GAMBAR.....                                                         | xiv      |
| DAFTAR TABEL .....                                                         | xvi      |
| DAFTAR NOTASI.....                                                         | xvii     |
| DAFTAR LAMPIRAN .....                                                      | xx       |
| <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 .....                                         | 5        |
| 2.2.1 Semen <i>Portland</i> .....                                          | 6        |
| 2.2.2 Air.....                                                             | 7        |
| 2.2.3 Agregat .....                                                        | 8        |
| 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 .....                                                  | 17       |
| 2.8 Keruntuhan Kolom .....                                                 | 18       |
| 2.9 Diagram Interaksi Kolom .....                                          | 18       |
| 2.10 Pengujian Kuat Tekan Beton.....                                       | 19       |
| 2.11 Perkuatan Kolom Beton Bertulang.....                                  | 20       |
| 2.11.1 Perkuatan Kolom dengan <i>Pen-Binder</i> .....                      | 22       |
| 2.11.2 Perkuatan Kolom dengan <i>Fiber Reinforced Polymer</i><br>FRP ..... | 22       |
| 2.12 Kurva Histeretik .....                                                | 23       |

|                                                                  |           |
|------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>                           | <b>27</b> |
| 3.1 Bagan Alir Penelitian .....                                  | 27        |
| 3.2 Dimensi Benda Uji .....                                      | 29        |
| 3.3 Pengujian Bahan Material Penyusun Beton Bertulang .....      | 30        |
| 3.3.1 Agregat Halus .....                                        | 30        |
| 3.3.2 Agregat Kasar .....                                        | 31        |
| 3.3.3 Semen .....                                                | 32        |
| 3.3.4 Baja Tulangan .....                                        | 32        |
| 3.3.5 Perencanaan Campuran Beton .....                           | 33        |
| 3.3.6 Perencanaan Benda Uji .....                                | 33        |
| 3.3.6.1 Hasil Kuat Tekan Beton Silinder .....                    | 33        |
| 3.3.6.2 Penentuan Tulangan Utama dan Tulangan<br>Pengekang ..... | 33        |
| 3.3.7 Kapasitas Kolom Rencana .....                              | 35        |
| 3.4 Pelaksanaan Pembuatan Benda Uji .....                        | 37        |
| 3.4.1 Pembuatan Besi Tulangan .....                              | 37        |
| 3.4.2 Pembuatan Bekisting .....                                  | 37        |
| 3.4.3 Pemasangan <i>Strain Gauge</i> .....                       | 38        |
| 3.4.4 Pembuatan Benda Uji .....                                  | 42        |
| 3.4.5 Perawatan Benda Uji .....                                  | 47        |
| 3.4.6 Pengecatan dan Penggarisan Benda Uji .....                 | 47        |
| 3.4.7 Pemasangan FRP .....                                       | 48        |
| 3.5 <i>Set-Up</i> Alat Pengujian .....                           | 49        |
| 3.6 Proses Pengujian Benda Uji .....                             | 51        |
| 3.7 Deformasi Kolom Rencana .....                                | 51        |
| <b>BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN .....</b>                 | <b>53</b> |
| 4.1 Pola Retak Kolom .....                                       | 53        |
| 4.1.1 Pola Retak Kolom Standar .....                             | 53        |
| 4.1.2 Pola Retak Kolom dengan <i>Pen-Binder</i> .....            | 55        |
| 4.1.3 Pola Retak Kolom dengan FRP .....                          | 58        |
| 4.2 Hasil Pengujian Kolom .....                                  | 60        |
| 4.2.1 Kolom Standar .....                                        | 60        |
| 4.2.2 Kolom dengan <i>Pen-Binder</i> .....                       | 63        |
| 4.2.3 Kolom dengan FRP .....                                     | 66        |
| <b>BAB V SIMPULAN DAN SARAN .....</b>                            | <b>72</b> |
| 5.1 Simpulan .....                                               | 72        |
| 5.2 Saran .....                                                  | 73        |
| DAFTAR PUSTAKA .....                                             | 74        |
| LAMPIRAN .....                                                   | 76        |

## DAFTAR GAMBAR

|                                                                                                                                                         |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 2.1 Semen .....                                                                                                                                  | 7  |
| Gambar 2.2 Agregat Kasar .....                                                                                                                          | 9  |
| Gambar 2.3 Agregat Halus .....                                                                                                                          | 9  |
| Gambar 2.4 Baja Tulangan .....                                                                                                                          | 12 |
| Gambar 2.5 Hubungan Regangan dan Tegangan.....                                                                                                          | 13 |
| Gambar 2.6 (a) Kolom Persegi; (b) Kolom Spiral; (c) Kolom Komposit .....                                                                                | 15 |
| Gambar 2.7 Diagram Interaksi Kolom.....                                                                                                                 | 19 |
| Gambar 2.8 Kurva Histeretik Ideal .....                                                                                                                 | 24 |
| Gambar 2.9 Model Kurva Histeretik Ramberg-Osgood .....                                                                                                  | 24 |
| Gambar 2.10 Model Kurva Histeretik Clough .....                                                                                                         | 25 |
| Gambar 2.11 Model Kurva Histeretik <i>Isotropic Hardening</i> .....                                                                                     | 26 |
| Gambar 2.12 Model Kurva Histeretik <i>Kinematic Hardening</i> .....                                                                                     | 26 |
| Gambar 2.13 Model Kurva Histeretik <i>Combined Hardening</i> .....                                                                                      | 26 |
| Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian .....                                                                                                                | 28 |
| Gambar 3.2 (a) Benda Uji Silinder; (b) Benda Uji Kolom Standar; (c) Benda Uji Kolom dengan Pen-Binder; dan (d) Benda Uji Kolom dengan FRP.....          | 29 |
| Gambar 3.3 (a) Pengujian Berat Isi Agregat Halus; (b) Berat Jenis Kering dan Penyerapan Agregat Halus; (c) Pengujian Berat Jenis SSD Agregat Halus..... | 30 |
| Gambar 3.4 (a) Pengujian Berat Isi Agregat Kasar; (b) Berat Jenis Kering, Berat Jenis SSD, dan Penyerapan Agregat Kasar .....                           | 31 |
| Gambar 3.5 Pengujian Berat Jenis Semen .....                                                                                                            | 32 |
| Gambar 3.6 Hasil Uji Kuat Tarik.....                                                                                                                    | 32 |
| Gambar 3.7 Diagram Interaksi Kolom.....                                                                                                                 | 36 |
| Gambar 3.8 Beban dan Momen Lentur Pada Kolom.....                                                                                                       | 36 |
| Gambar 3.9 Pembuatan Besi Tulangan.....                                                                                                                 | 37 |
| Gambar 3.10 Pembuatan Bekisting.....                                                                                                                    | 38 |
| Gambar 3.11 Perataan Tulangan Ulir .....                                                                                                                | 38 |
| Gambar 3.12 Perataan Tulangan Polos .....                                                                                                               | 39 |
| Gambar 3.13 Pemasangan <i>Strain Gauge</i> di atas Lem Besi.....                                                                                        | 39 |
| Gambar 3.14 Pemasangan Isolasi Bening di atas <i>Strain Gauge</i> .....                                                                                 | 40 |
| Gambar 3.15 Pemasangan Isolasi Aspal .....                                                                                                              | 40 |
| Gambar 3.16 Pemasangan Isolasi Hitam .....                                                                                                              | 41 |
| Gambar 3.17 Pengikatan <i>Strain Gauge</i> .....                                                                                                        | 41 |
| Gambar 3.18 <i>Strain Gauge</i> Telah Dipasang .....                                                                                                    | 42 |
| Gambar 3.19 Pengolesan Oli Pada Bekisting .....                                                                                                         | 43 |
| Gambar 3.20 Pemasukkan Besi Tulangan dan Penyambungan Bekisting .....                                                                                   | 43 |
| Gambar 3.21 Pengecoran Campuran Beton.....                                                                                                              | 44 |
| Gambar 3.22 Pengujian <i>Slump</i> .....                                                                                                                | 44 |
| Gambar 3.23 Pemasukkan Campuran Beton .....                                                                                                             | 45 |
| Gambar 3.24 (a) dan (b) Pembukaan Bekisting.....                                                                                                        | 45 |
| Gambar 3.25 Perbaikan Struktur Kolom .....                                                                                                              | 46 |
| Gambar 3.26 Perawatan Benda Uji.....                                                                                                                    | 47 |

|                                                                                                                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 3.27 Pengecatan dan Penggarisan Benda Uji.....                                                                                                                                        | 47 |
| Gambar 3.28 Pemasangan FRP.....                                                                                                                                                              | 48 |
| Gambar 3.29 2D <i>Set-Up</i> Alat Pengujian.....                                                                                                                                             | 49 |
| Gambar 3.30 3D <i>Set-Up</i> Alat Pengujian.....                                                                                                                                             | 50 |
| Gambar 3.31 <i>Set-Up</i> Alat Pengujian.....                                                                                                                                                | 50 |
| Gambar 4.1 Pola Retak Kolom Standar 1: (a) Kolom Standar 1, (b) Tampak Samping Kiri, (c) Tampak Samping Kanan, (d) Tampak Belakang, (e) Tampak Depan .....                                   | 53 |
| Gambar 4.2 Pola Retak Kolom Standar 2: (a) Kolom Standar 2, (b) Tampak Samping Kiri, (c) Tampak Samping Kanan, (d) Tampak Belakang, (e) Tampak Depan .....                                   | 54 |
| Gambar 4.3 Pola Retak Kolom dengan <i>Pen-Binder</i> 1: (a) Kolom dengan <i>Pen-Binder</i> 1, (b) Tampak Samping Kiri, (c) Tampak Samping Kanan, (d) Tampak Belakang, (e) Tampak Depan ..... | 56 |
| Gambar 4.4 Pola Retak Kolom dengan <i>Pen-Binder</i> 2: (a) Kolom dengan <i>Pen-Binder</i> 2, (b) Tampak Samping Kiri, (c) Tampak Samping Kanan, (d) Tampak Belakang, (e) Tampak Depan ..... | 57 |
| Gambar 4.5 Pola Retak Kolom dengan FRP 1: (a) Kolom dengan FRP 1, (b) Tampak Samping Kiri, (c) Tampak Samping Kanan, (d) Tampak Belakang, (e) Tampak Depan .....                             | 58 |
| Gambar 4.6 Pola Retak Kolom dengan FRP 2: (a) Kolom dengan FRP 2, (b) Tampak Samping Kiri, (c) Tampak Samping Kanan, (d) Tampak Belakang, (e) Tampak Depan .....                             | 59 |
| Gambar 4.7 Kurva Histeretik Kolom Standar 1.....                                                                                                                                             | 61 |
| Gambar 4.8 Kurva Histeretik Kolom Standar 2.....                                                                                                                                             | 62 |
| Gambar 4.9 Kurva <i>Envelope</i> Kolom Standar .....                                                                                                                                         | 63 |
| Gambar 4.10 Kurva Histeretik Kolom dengan <i>Pen-Binder</i> 1.....                                                                                                                           | 64 |
| Gambar 4.11 Kurva Histeretik Kolom dengan <i>Pen-Binder</i> 2.....                                                                                                                           | 65 |
| Gambar 4.12 Kurva <i>Envelope</i> Kolom dengan <i>Pen-Binder</i> .....                                                                                                                       | 66 |
| Gambar 4.13 Kurva Histeretik Kolom dengan FRP 1 .....                                                                                                                                        | 67 |
| Gambar 4.14 Kurva Histeretik Kolom dengan FRP 2 .....                                                                                                                                        | 68 |
| Gambar 4.15 Kurva <i>Envelope</i> Kolom dengan FRP .....                                                                                                                                     | 69 |

## 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 (PBI<br>1971) .....                           | 20 |
| Tabel 3.1 Data Pengujian Agregat Halus.....                                                                   | 30 |
| Tabel 3.2 Data Pengujian Agregat Kasar.....                                                                   | 31 |
| Tabel 3.3 Hasil Uji Kuat Tekan Beton Silinder .....                                                           | 33 |
| Tabel 3.4 <i>Drift Ratio</i> dan Simpangan .....                                                              | 51 |
| Tabel 4.1 Hasil Pengujian Kolom Standar 1.....                                                                | 61 |
| Tabel 4.2 Hasil Pengujian Kolom Standar 2.....                                                                | 62 |
| Tabel 4.3 Hasil Rata-Rata Kolom Standar.....                                                                  | 63 |
| Tabel 4.4 Hasil Pengujian Kolom dengan <i>Pen-Binder</i> 1.....                                               | 64 |
| Tabel 4.5 Hasil Pengujian Kolom dengan <i>Pen-Binder</i> 2.....                                               | 65 |
| Tabel 4.6 Hasil Rata-Rata Kolom dengan <i>Pen-Binder</i> .....                                                | 66 |
| Tabel 4.7 Hasil Pengujian Kolom dengan FRP 1 .....                                                            | 67 |
| Tabel 4.8 Hasil Pengujian Kolom dengan FRP 2 .....                                                            | 68 |
| Tabel 4.9 Hasil Rata-Rata Kolom dengan FRP .....                                                              | 69 |
| Tabel 4.10 Hasil Uji Beban Siklik Pada <i>Drift Ratio</i> 3,5%.....                                           | 70 |
| Tabel 4.11 Hasil Uji Beban Siklik Pada <i>Drift Ratio</i> 5,2%.....                                           | 70 |
| Tabel 4.12 Perubahan Hasil Uji Beban Siklik pada <i>Drift Ratio</i> 3,5% dan<br><i>Drift Ratio</i> 5,2% ..... | 70 |

## DAFTAR NOTASI

|                 |                                                                                                               |
|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $A$             | Luas penampang ( $\text{mm}^2$ )                                                                              |
| $A_g$           | Luas kotor penampang kolom ( $\text{mm}^2$ )                                                                  |
| $A_{sd}$        | Luas tulangan baja tulangan yang digunakan ( $\text{mm}^2$ )                                                  |
| $A_{sv}$        | Luas tulangan pengekang ( $\text{mm}^2$ )                                                                     |
| $A_{st}$        | Luas tulangan total yang digunakan ( $\text{mm}^2$ )                                                          |
| $A_{stmin}$     | Luas tulangan total minimum yang diperlukan ( $\text{mm}^2$ )                                                 |
| $b$             | Lebar penampang melintang kolom (mm)                                                                          |
| $B_{ba}$        | Berat agregat di dalam air (gr)                                                                               |
| $b_c$           | Dimensi penampang inti kolom (mm)                                                                             |
| $B_j$           | Berat benda uji kondisi ssd (gr)                                                                              |
| $B_{jsemen}$    | Berat jenis semen <i>portland</i>                                                                             |
| $B_j bulk_{hl}$ | Berat jenis kering agregat halus                                                                              |
| $B_j bulk_{ks}$ | Berat jenis kering agregat kasar                                                                              |
| $B_k$           | Berat benda uji kondisi kering oven (gr)                                                                      |
| $B_p$           | Berat piknometer diisi air (gr)                                                                               |
| $B_{pj}$        | Berat piknometer + benda uji ssd + air (gr)                                                                   |
| $c$             | Jarak dari serat tekan terluar ke garis netral (mm)                                                           |
| $C_c$           | Sumbangan gaya tekan beton (kN)                                                                               |
| $d$             | Berat isi air pada temperatur ruang yang tetap, $\left[ \frac{1}{\text{gr/ml}} \right]$                       |
| $D_a$           | Bobot isi agregat ( $\text{gr/cm}^3$ )                                                                        |
| $e$             | Perbandingan antara momen nominal penampang dan kuat tekan aksial normal (mm)                                 |
| $e_b$           | Perbandingan antara momen nominal penampang dan kuat tekan aksial nominal pada kondisi regangan seimbang (mm) |
| $E$             | Modulus elastisitas ( $\text{N/mm}^2$ )                                                                       |
| $E_s$           | Modulus elastis baja (MPa)                                                                                    |
| $F$             | Besar gaya tekan (N)                                                                                          |
| $f'_c$          | Kuat tekan beton karakteristik (MPa)                                                                          |
| $f'_{cc}$       | Kuat tekan beton terkekang (MPa)                                                                              |

|                             |                                                                                       |
|-----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| $f'_{co}$                   | Kuat tekan beton tidak terkekang (MPa)                                                |
| $f'_{cc \text{ rata-rata}}$ | Kuat tekan beton terkekang aktual rata-rata (MPa)                                     |
| $f_{si}$                    | Tegangan pada setiap baris tulangan (Mpa)                                             |
| $F_{si}$                    | Sumbangan gaya masing-masing baris tulangan (kN)                                      |
| $f_y$                       | Tegangan leleh tulangan (MPa)                                                         |
| $f_1$                       | Tegangan leleh tulangan pengekang (MPa)                                               |
| $f_{1s}$                    | Tegangan lateral ekuivalen (MPa)                                                      |
| $h$                         | Tinggi penampang melintang kolom (mm)                                                 |
| $h_c$                       | 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 (mm)                                                                     |
| $M_n$                       | Kekuatan momen nominal penampang (kNm)                                                |
| $M_{nb}$                    | Kekuatan momen nominal penampang pada kondisi seimbang (kNm)                          |
| $n$                         | Jumlah tulangan                                                                       |
| $P$                         | Tekanan (N)                                                                           |
| $P_c$                       | Kuat beban aksial akibat kontribusi beton (kN)                                        |
| $P_{st}$                    | Kuat beban aksial akibat kontribusi baja (kN)                                         |
| $P_0$                       | Kuat beban aksial nominal akibat beban aksial konsentrik (kN)                         |
| $P_0 \text{ rata-rata}$     | Kuat beban aksial aktual rata-rata (kN)                                               |
| $P_n$                       | Kuat beban aksial maksimum yang telah direduksi (kN)                                  |
| $P_{nb}$                    | Kuat beban aksial nominal pada kondisi regangan seimbang (kN)                         |
| $s$                         | Jarak tulangan pengekang sepanjang tinggi kolom (mm)                                  |
| $S_x$                       | Jarak spasi antar tulangan sengkang (mm)                                              |
| $s_1$                       | Jarak pusat antar tulangan utama (mm)                                                 |
| $t$                         | Tinggi benda uji (mm)                                                                 |
| $V$                         | Volume cawan silinder (cm <sup>3</sup> )                                              |
| $V_1$                       | Volume awal semen <i>Portland</i> (ml)                                                |
| $V_2$                       | Volume akhir semen <i>Portland</i> (ml)                                               |
| $W$                         | Berat benda uji semen <i>Portland</i> (gr)                                            |
| $W_a$                       | Berat agregat (gr)                                                                    |

|                   |                                                               |
|-------------------|---------------------------------------------------------------|
| $Z$               | Suatu nilai sembarang untuk membuat diagram interaksi         |
| $\phi$            | Koefisien reduksi                                             |
| $\phi P_{n(max)}$ | Kuat tekan rencana maksimum yang telah direduksi (kN)         |
| $\beta_1$         | Rasio tinggi tekan ekivalen, $a$ 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 (N/mm <sup>2</sup> )                                 |
| $\Delta L$        | Pertambahan panjang (mm)                                      |



## DAFTAR LAMPIRAN

|                                             |     |
|---------------------------------------------|-----|
| Lampiran 1 Pengujian Bahan Material .....   | 76  |
| Lampiran 2 Perancangan Campuran Beton ..... | 82  |
| Lampiran 3 Proses Pengerjaan Benda Uji..... | 88  |
| Lampiran 4 Hasil Uji Kuat Tekan Kolom.....  | 101 |

