

# ANALISIS DAN DESAIN *END BLOCK* BALOK BETON PRATEGANG DENGAN MODEL PENUNJANG DAN PENGIKAT (*STRUT AND TIE MODEL*)

Irfiani Fauzia  
NRP : 1021050

Pembimbing: Winarni Hadipratomo, Ir.

## ABSTRAK

*Strut and tie model* sudah banyak diterapkan pada analisis dan desain dari setiap unsur struktur beton, baik sebagian maupun keseluruhan sistem. Dari berbagai metode yang dipergunakan, banyak kalangan beranggapan bahwa metode pendekatan seperti *strut and tie model* ini merupakan metode yang rasional dan konsisten dalam mengakomodasikan interaksi momen lentur, gaya aksial dan geser termasuk torsi. Perancangan struktur beton bertulang dengan *strut and tie model* membagi struktur dalam daerah D (*discontinuity*) dan B (*beam*), dan menggambarkan alur gaya (*load path*) sebagai transfer gaya yang terjadi pada struktur beton pada kondisi retak.

Tujuan dari studi ini adalah untuk menganalisis dan mendesain *end block* balok beton prategang, dengan jenis beban kerja yaitu beban mati dan beban hidup. Tulangan *end block* diperoleh dari pemodelan *strut* dan *tie* melalui bentuk rangka batang yang sesuai, dan kemudian diverifikasi dengan metode analisis elastis linier.

Dari analisis yang telah dilakukan, metode *strut and tie* menghasilkan nilai gaya tarik sebesar 65,458 kN, sedangkan metode analisis elastis linier menghasilkan nilai gaya tarik sebesar 51,835 kN. Perbedaan nilai gaya tarik kedua metode tersebut sebesar 20,81 %. Gaya tarik yang dihasilkan akan menentukan jumlah tulangan tarik yang dibutuhkan *end block* balok. Metode *strut and tie* menghasilkan jumlah tulangan yang digunakan 5D10, sedangkan metode analisis elastis linier menggunakan tulangan sebanyak 4D10. Hal ini membuktikan bahwa metode analisis elastis linier menghasilkan desain yang lebih ekonomis daripada metode *strut and tie*. Metode analisis elastis linier dapat mereduksi jumlah tulangan tarik sekitar 20 %.

# **ANALYSIS AND DESIGN OF PRESTRESSED CONCRETE BEAM END BLOCKS USING STRUT AND TIE MODELING**

**Irfiani Fauzia  
NRP : 1021050**

**Supervisor: Winarni Hadipratomo, Ir.**

## **ABSTRACT**

*It is acknowledge, that strut and tie modeling is rational and consistent in accommodating the interaction of bending moments, axial and shear forces, and torsion as well. Strut and tie modeling is widely applied in the analysis and design of concrete structures. Strut and tie modeling in reinforced concrete structural design require determining the D-region (discontinuity) and B-region (beam), and then draw the load path describing the force transfer at crack.*

*The purpose of this study is to analyze and design a prestressed concrete beam end blocks, on dead and live working loads. End blocks reinforcement is obtained by strut and tie modeling through an appropriate plan truss model, and then verified by linier elastic analysis.*

*Resulting from this study, tensile strength obtained from strut and tie modeling and linier elastic analysis are 65,458 kN and 51,835 kN respectively, differing 20,81%. The tensile strength will determine the required tensile reinforcement of the end block. Strut and tie model needs 5 D10, while linier elastic analysis needs 4 D10. This proves that the linier elastic analysis design is more economical than the strut and tie model. Linier elastic analysis can reduce the amount of tensile reinforcement about 20%.*

# 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 .....                                                   | xx   |
| BAB I PENDAHULUAN .....                                                 | 1    |
| 1.1 Latar Belakang.....                                                 | 1    |
| 1.2 Tujuan .....                                                        | 2    |
| 1.3 Ruang Lingkup .....                                                 | 3    |
| 1.4 Metodologi .....                                                    | 3    |
| 1.5 Sistematika Penulisan .....                                         | 5    |
| BAB II TINJAUAN LITERATUR .....                                         | 6    |
| 2.1 Struktur Beton Prategang Pascatarik .....                           | 6    |
| 2.2 Sistem Pengangkuran Balok Beton Prategang .....                     | 7    |
| 2.2.1 Daerah Pengangkuran .....                                         | 7    |
| 2.2.2 Distribusi Tegangan pada <i>End Block</i> .....                   | 8    |
| 2.3 Desain Daerah Pengangkuran pada Balok .....                         | 11   |
| 2.3.1 Metode Beban Imbang .....                                         | 11   |
| 2.3.2 Metode Kekuatan Batas .....                                       | 12   |
| 2.3.1 Metode Analisis Elastis Linier .....                              | 14   |
| 2.4 Metode <i>Strut and Tie</i> .....                                   | 16   |
| 2.4.1 Konsep Dasar Metode <i>Strut and Tie</i> .....                    | 17   |
| 2.4.2 Penentuan Daerah D dan B .....                                    | 20   |
| 2.4.3 Pemodelan dari Daerah D dan B .....                               | 23   |
| 2.4.4 Perancangan pada <i>Strut, Tie</i> dan <i>Node</i> .....          | 28   |
| BAB III STUDI KASUS .....                                               | 30   |
| 3.1 Penentuan Gaya Prategang dan Jumlah <i>Strand</i> yang Diperlukan . | 30   |
| 3.2 Jalannya Kabel ( <i>Cable Lay-Out</i> ) .....                       | 35   |
| 3.3 Desain Daerah Pengangkuran .....                                    | 37   |
| BAB IV ANALISIS <i>END BLOCK</i> BALOK PRATEGANG .....                  | 39   |
| 4.1 Metode Analisis Elastis Linier .....                                | 39   |
| 4.1.1 Daerah Distribusi Primer .....                                    | 42   |
| 4.1.2 Daerah Distribusi Sekunder .....                                  | 44   |
| 4.2 Metode Penunjang dan Pengikat ( <i>Strut and Tie</i> ) .....        | 48   |
| 4.2.1 Menguraikan P sebagai Beban Terfaktor pada Tendon ....            | 48   |

|                                  |                                                                                                                                |    |
|----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.2.2                            | Menentukan Tegangan Tumpu Izin, $f_b$ .....                                                                                    | 49 |
| 4.2.3                            | Menggambar Model <i>Strut and Tie</i> .....                                                                                    | 50 |
| 4.2.4                            | Perhitungan <i>Strut and Tie</i> .....                                                                                         | 50 |
| 4.2.5                            | Titik Nodal .....                                                                                                              | 56 |
| 4.2.6                            | Perbandingan Hasil Analisis dan Desain Berdasarkan<br>Metode Analisis Elastis Linier dan Metode <i>Strut<br/>and Tie</i> ..... | 57 |
| BAB V KESIMPULAN DAN SARAN ..... |                                                                                                                                | 59 |
| 5.1                              | Kesimpulan .....                                                                                                               | 59 |
| 5.2                              | Saran .....                                                                                                                    | 59 |
| DAFTAR PUSTAKA .....             |                                                                                                                                | 61 |
| LAMPIRAN                         |                                                                                                                                |    |

## DAFTAR GAMBAR

|             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |    |
|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 1.1  | Penentuan Daerah D dan B pada Balok Akibat Beban Merata .....                                                                                                                                                                                                                                                         | 2  |
| Gambar 1.2  | Balok Beton Prategang<br>(a) <i>End Block</i> pada Ujung Kiri<br>(b) Detail <i>End Block</i> .....                                                                                                                                                                                                                    | 2  |
| Gambar 1.3  | Diagram Alir Studi Analisis dan Desain <i>End Block</i> Balok<br>Beton Prategang .....                                                                                                                                                                                                                                | 4  |
| Gambar 2.1  | Struktur Beton Prategang Pascatarik.....                                                                                                                                                                                                                                                                              | 7  |
| Gambar 2.2  | Pengaruh dari Perubahan Potongan Penampang<br>(a) Penampang Persegi $T \approx 0,25 P$<br>(b) Penampang Berflens dengan Diafragma Ujung $T \approx 0,5 P$ .....                                                                                                                                                       | 8  |
| Gambar 2.3  | (a) Segmen Elevasi Balok<br>(b) Distribusi Tegangan pada Potongan Horizontal.....                                                                                                                                                                                                                                     | 9  |
| Gambar 2.4  | Perubahan Tegangan <i>End Block</i><br>(a) Daerah Tegangan Tarik $T_s$<br>(b) Detail Aliran Tegangan $T_0$ .....                                                                                                                                                                                                      | 10 |
| Gambar 2.5  | Zona Angkur Ujung untuk Tendon Terlekat<br>(a) Transisi ke Daerah Solid di Tumpuan<br>(b) Zona Ujung dan Retak <i>Spalling</i> .....                                                                                                                                                                                  | 11 |
| Gambar 2.6  | Tegangan Longitudinal pada tengah bentang dari Berbagai<br>Balok dengan Tinggi yang Berbeda dengan Beban merata<br>(a) Balok dengan Rasio Tinggi Balok $d = 1/4$<br>(b) Balok dengan Rasio Tinggi Balok $d = 1/2$<br>(c) Balok dengan Rasio Tinggi Balok $d = 1$<br>(d) Balok dengan Rasio Tinggi Balok $d > 1$ ..... | 16 |
| Gambar 2.7  | Skema Aliran Gaya Prategang untuk Angkur Sentris<br>dan Eksentris<br>(a) Balok dengan Angkur Sentris<br>(b) Balok dengan Angkur di Atas dan Bawah<br>(c) Balok dengan Angkur di Atas<br>(d) Balok dengan Angkur di Bawah<br>(e) Balok dengan Banyak Angkur .....                                                      | 18 |
| Gambar 2.8  | Rangka Batang Ideal pada Model <i>Strut and Tie</i> pada Kasus<br>Eksentris dan Konsentris dengan $T = 0,25 P$<br>(a) Penampang Persegi Panjang $P$ Konsentris<br>(b) Penampang Bersayap $P$ Konsentris<br>(c) Penampang Bersayap $P$ Eksentris .....                                                                 | 20 |
| Gambar 2.9  | Daerah D<br>(a) Daerah D Disebabkan oleh Diskontinuitas Geometri<br>(b) Daerah D Disebabkan oleh Diskontinuitas Statika Dengan<br>atau Tanpa Diskontinuitas Geometri.....                                                                                                                                             | 21 |
| Gambar 2.10 | Contoh Pembagian Daerah D dan B dari Berbagai Sistem<br>dan Komponen Struktur .....                                                                                                                                                                                                                                   | 22 |

|             |                                                                                                                                                                                                                                                            |    |
|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 2.11 | Prosedur Penentuan Daerah D dan B pada Balok yang Ditumpu Langsung Dua Tumpuan<br>(a) Struktur Balok Rill<br>(b) Struktur Balok Fiktif<br>(c) Sistem Keseimbangan pada Suatu Sistem Struktur<br>(d) Struktur Balok yang Menggambarkan Daerah D dan B ..... | 23 |
| Gambar 2.12 | Berbagai Jenis <i>Strut</i><br>(a) Kipas<br>(b) Botol<br>(c) Prisma .....                                                                                                                                                                                  | 24 |
| Gambar 2.13 | Berbagai Bentuk <i>Node</i><br>(a) CCC- <i>Node</i><br>(b) CCT- <i>Node</i><br>(c) CTT- <i>Node</i><br>(d) TTT- <i>Node</i> .....                                                                                                                          | 27 |
| Gambar 3.1  | Balok dengan Penampang Bentuk Persegi .....                                                                                                                                                                                                                | 30 |
| Gambar 3.2  | Momen Akibat Beban Mati (DL) .....                                                                                                                                                                                                                         | 31 |
| Gambar 3.3  | Momen Akibat Beban Kerja Terfaktor .....                                                                                                                                                                                                                   | 31 |
| Gambar 3.4  | <i>Cable Lay-Out</i> (Skala Vertikal 1:20 dan Skala Horisontal 1:40) .                                                                                                                                                                                     | 37 |
| Gambar 3.5  | Penampang Angkur VSL Tipe EC.....                                                                                                                                                                                                                          | 37 |
| Gambar 3.6  | Balok dengan Angkur Eksentris di Sisi Atas.....                                                                                                                                                                                                            | 38 |
| Gambar 4.1  | Momen Akibat Beban Mati di Akhir <i>End Block</i> (Penampang U) .                                                                                                                                                                                          | 39 |
| Gambar 4.2  | Diagram Tegangan di Penampang U (Akhir <i>End Block</i> ) .....                                                                                                                                                                                            | 41 |
| Gambar 4.3  | Diagram Tegangan<br>(a) <i>End Block</i><br>(b) $\sigma_y$<br>(c) $b \sigma_y$ .....                                                                                                                                                                       | 41 |
| Gambar 4.4  | Detail Jarak Antar Angkur pada Balok .....                                                                                                                                                                                                                 | 42 |
| Gambar 4.5  | Distribusi Tulangan .....                                                                                                                                                                                                                                  | 44 |
| Gambar 4.6  | <i>End Block</i> dengan Detail Letak Jangkar .....                                                                                                                                                                                                         | 45 |
| Gambar 4.7  | Penulangan Daerah Sekunder .....                                                                                                                                                                                                                           | 46 |
| Gambar 4.8  | Penulangan pada Daerah Primer dan Daerah Sekunder .....                                                                                                                                                                                                    | 47 |
| Gambar 4.9  | Model <i>Strut and Tie</i> pada <i>End Block</i> Balok .....                                                                                                                                                                                               | 48 |
| Gambar 4.10 | (a) Penampang Balok<br>(b) Model <i>Strut and Tie</i> .....                                                                                                                                                                                                | 50 |
| Gambar L1.1 | Denah Struktur.....                                                                                                                                                                                                                                        | 64 |
| Gambar L2.1 | Arah Pendistribusian Beban pada Balok Anak.....                                                                                                                                                                                                            | 66 |
| Gambar L2.2 | Reaksi Perletakan Akibat Beban $w_D$ .....                                                                                                                                                                                                                 | 67 |
| Gambar L2.3 | Reaksi Perletakan Akibat Beban $w_L$ .....                                                                                                                                                                                                                 | 67 |
| Gambar L2.4 | Pembebanan pada Balok Prategang .....                                                                                                                                                                                                                      | 68 |
| Gambar L2.5 | <i>Input</i> Beban Hidup, $w_L$ pada SAP 2000 .....                                                                                                                                                                                                        | 69 |
| Gambar L2.6 | <i>Input</i> Beban Mati, $P_D$ pada SAP 2000.....                                                                                                                                                                                                          | 69 |
| Gambar L2.7 | <i>Input</i> Beban Hidup, $P_L$ pada SAP 2000.....                                                                                                                                                                                                         | 69 |
| Gambar L2.8 | Diagram Momen Akibat Beban Mati (DL) .....                                                                                                                                                                                                                 | 70 |
| Gambar L2.9 | Diagram Momen Akibat Beban Kerja Terfaktor .....                                                                                                                                                                                                           | 70 |

## DAFTAR TABEL

|           |                                                                                                                            |    |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabel 2.1 | Nilai $\beta_s$ untuk <i>Strut</i> .....                                                                                   | 25 |
| Tabel 2.2 | Nilai $\beta_n$ untuk <i>Nodal Zone</i> .....                                                                              | 26 |
| Tabel 4.1 | Perhitungan $T_o$ pada <i>Spalling Zone</i> .....                                                                          | 42 |
| Tabel 4.2 | Perhitungan $T_s$ pada <i>Bursting Zone</i> .....                                                                          | 43 |
| Tabel 4.3 | Perhitungan Letak Angkur (1) .....                                                                                         | 44 |
| Tabel 4.4 | Perhitungan Letak Angkur (2) .....                                                                                         | 45 |
| Tabel 4.5 | Kekuatan dari <i>Strut</i> .....                                                                                           | 54 |
| Tabel 4.6 | Kekuatan dari Titik Nodal ( <i>Node</i> ) .....                                                                            | 57 |
| Tabel 4.7 | Perbandingan Hasil Analisis dan Desain Berdasarkan Metode<br><i>Strut and Tie</i> dan Metode Analisis Elastis Linier ..... | 58 |

## DAFTAR NOTASI

|          |                                                                                                                                   |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $a$      | Tinggi daerah tekan, mm                                                                                                           |
| $A_b$    | Luas netto efektif plat tumpu yang dihitung sebagai luas $A_g$ dikurangi dengan luas lubang-lubang di plat tumpu, mm <sup>2</sup> |
| $A_c$    | Luas penampang balok prategang, mm <sup>2</sup>                                                                                   |
| $A_{cs}$ | Luas potongan melintang pada ujung <i>strut</i> , mm <sup>2</sup>                                                                 |
| $A_g$    | Luas bruto plat tumpu, mm <sup>2</sup>                                                                                            |
| $A_{nz}$ | Luas penampang pada titik nodal, mm <sup>2</sup>                                                                                  |
| $A_p$    | Luas baja tulangan, mm <sup>2</sup>                                                                                               |
| $A_{ps}$ | Luas penampang <i>strand</i> pada beton prategang, mm <sup>2</sup>                                                                |
| $A_s$    | Luas tulangan tarik, mm <sup>2</sup>                                                                                              |
| $A_s'$   | Luas tulangan tekan, mm <sup>2</sup>                                                                                              |
| $A_{st}$ | Luas penampang baja tulangan tarik pada metode <i>strut and tie</i> , mm <sup>2</sup>                                             |
| $b$      | Lebar penampang balok, mm                                                                                                         |
| $B$      | <i>Beam</i>                                                                                                                       |
| $b_w$    | Lebar <i>web</i> pada penampang balok, mm                                                                                         |
| $c_b$    | Jarak garis berat penampang balok ke tepi bawah ( <i>bottom</i> ), mm                                                             |
| $c_t$    | Jarak garis berat penampang balok ke tepi atas ( <i>top</i> ), mm                                                                 |
| $D$      | Diameter tulangan, mm                                                                                                             |
| $D$      | <i>Discontinuity</i>                                                                                                              |
| $d$      | Kedalaman efektif penampang diukur dari serat tekan ekstrim ke sentroid tulangan tarik, mm                                        |
| $d'$     | Jarak dari serat tekan ekstrim ke sentroid (titik pusat) baja tekan, mm                                                           |
| $d_p$    | Jarak dari serat tekan ke garis berat tendon ( <i>cgs</i> ), mm                                                                   |

|              |                                                                                         |
|--------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| $e$          | Eksentrisitas kabel, mm                                                                 |
| $f_b$        | Tegangan akhir pada tepi bawah ( <i>bottom</i> ), <i>MPa</i>                            |
| $f_b$        | Tegangan tumpu izin, <i>MPa</i>                                                         |
| $f_{ce}$     | Kekuatan keruntuhan tekan dari <i>strut</i> , <i>MPa</i>                                |
| $f_{cu}$     | Kekuatan keruntuhan tarik dari <i>tie</i> , <i>MPa</i>                                  |
| $f'_c$       | Kuat tekan karakteristik beton, <i>MPa</i>                                              |
| $f'_{ci}$    | Kuat tekan beton pada saat diberi tegangan awal, <i>MPa</i>                             |
| $f_p$        | Tegangan akibat gaya prategang, <i>MPa</i>                                              |
| $f^b_M$      | Tegangan akibat momen lentur pada tepi bawah ( <i>bottom</i> ), <i>MPa</i>              |
| $f^b_{pe,e}$ | Tegangan akibat eksentrisitas kabel pada tepi bawah ( <i>bottom</i> ), <i>MPa</i>       |
| $f_{pe}$     | Tegangan prategang efektif, <i>MPa</i>                                                  |
| $f_{pi}$     | Tegangan awal tendon pascatarik, <i>MPa</i>                                             |
| $f_{ps}$     | Tegangan runtuh nominal baja prategang, <i>MPa</i>                                      |
| $f_{pu}$     | Mutu baja prategang, <i>MPa</i>                                                         |
| $f_s$        | Tegangan tarik pada tulangan, <i>MPa</i>                                                |
| $f_{pe}$     | Tegangan prategang efektif, <i>MPa</i>                                                  |
| $f^t$        | Tegangan akhir pada tepi atas ( <i>top</i> ), <i>MPa</i>                                |
| $f^t_M$      | Tegangan akibat momen lentur pada tepi atas ( <i>top</i> ), <i>MPa</i>                  |
| $f^t_{pe,e}$ | Tegangan akibat eksentrisitas kabel pada tepi atas ( <i>top</i> ), <i>MPa</i>           |
| $f_y$        | Tegangan leleh baja non-prategang, <i>MPa</i>                                           |
| $F_{nn}$     | Kekuatan nominal titik nodal ( <i>node</i> ), kN                                        |
| $F_{ns}$     | Kekuatan nominal <i>strut</i> , kN                                                      |
| $F_{nt}$     | Kekuatan nominal <i>tie</i> , kN                                                        |
| $F_u$        | Tegangan terfaktor pada <i>strut</i> , <i>tie</i> atau daerah nodal ( <i>node</i> ), kN |

|           |                                                                                             |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| $h$       | Tinggi penampang balok, mm                                                                  |
| $I_x$     | Inersia penampang terhadap sumbu x, mm <sup>4</sup>                                         |
| $L$       | Bentang balok prategang, mm                                                                 |
| $M_{u,u}$ | Momen di titik U (pada akhir <i>end block</i> ), kN m                                       |
| $M_A$     | Momen di titik A (pada ujung awal <i>end block</i> ), kN m                                  |
| $M_n$     | Momen nominal, kN m                                                                         |
| $M_{u,A}$ | Momen <i>ultimate</i> di titik A (pada ujung awal <i>end block</i> ), kN m                  |
| $n$       | Jumlah <i>strand</i> yang digunakan                                                         |
| $P$       | Beban terfaktor untuk masing-masing tendon, kN                                              |
| $P_D$     | Beban mati terpusat ( <i>dead</i> ) pada balok, kN                                          |
| $P_e$     | Gaya prategang efektif, N                                                                   |
| $P_i$     | Gaya prategang awal, N                                                                      |
| $P_L$     | Beban hidup terpusat ( <i>live</i> ) pada balok, kN                                         |
| $S_b$     | Modulus penampang pada tepi bawah ( <i>bottom</i> ), mm <sup>3</sup>                        |
| $S^t$     | Modulus penampang pada tepi atas ( <i>top</i> ), mm <sup>3</sup> , mm <sup>3</sup>          |
| $T$       | Gaya tarik pada batang tarik ( <i>tie</i> ), kN                                             |
| $T_o$     | Gaya tarik pada <i>spalling zone</i> , N                                                    |
| $T_s$     | Gaya tarik pada <i>bursting zone</i> , N                                                    |
| $w_b$     | Beban imbang ( <i>balance</i> ), kN/m                                                       |
| $w_{bs}$  | Beban merata akibat berat sendiri balok, kN/m                                               |
| $w_D$     | Total beban merata akibat beban mati ( <i>dead</i> ), kN/m                                  |
| $w_L$     | Beban merata akibat beban hidup ( <i>live</i> ), kN/m                                       |
| $W_s$     | Lebar efektif <i>strut</i> , mm                                                             |
| $w_{SD}$  | Beban merata akibat beban mati, selain berat sendiri balok ( <i>super dead load</i> ), kN/m |

|            |                                                                                |
|------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| $W_t$      | Lebar efektif <i>tie</i> , mm                                                  |
| $x$        | Jarak yang ditinjau dari ujung balok untuk penentuan <i>cable lay-out</i> , mm |
| $Y_o$      | Jarak dari tepi atas di tumpuan, mm                                            |
| $Y_u$      | Jarak garis gaya dari tepi atas pada potongan U, mm                            |
| $\phi$     | Faktor reduksi kekuatan                                                        |
| $\beta_s$  | Faktor efek retak pada <i>strut</i>                                            |
| $\beta_n$  | Faktor efek pengangkuran pada <i>tie</i>                                       |
| $\sigma_y$ | Tegangan akhir pada penampang U, <i>MPa</i>                                    |
| $\omega_p$ | Indeks penulangan                                                              |

## DAFTAR LAMPIRAN

|                                                          |    |
|----------------------------------------------------------|----|
| Lampiran L.1 Pengumpulan Data Struktur Bangunan .....    | 63 |
| Lampiran L.2 Perhitungan Gaya Dalam Momen Balok.....     | 65 |
| Lampiran L.3 <i>Stressing Anchorage</i> VSL Type EC..... | 71 |