

## ABSTRAK

Andri Prasetyo, Handry Sun Sumendap :

Skripsi

Studi Lanjut tentang Daktilitas Struktur pada Sistem *Shearwall Frame – Belt Truss* sebagai *Virtual Outrigger*

Pembangunan gedung tinggi harus direncanakan agar tahan terhadap pengaruh beban-beban lateral seperti angin dan gempa bumi. *Outrigger* dan *belt truss* merupakan salah satu sistem struktur yang biasanya digunakan dalam mengontrol simpangan yang terjadi akibat beban lateral secara efektif. Hal yang belum terungkap dengan jelas adalah besar daktilitas struktur yang tersedia apabila bangunan tersebut direncanakan sesuai SNI 03-1726-2002. Penelitian ini memprediksi nilai faktor reduksi gempa ( $R$ ) dari bangunan *shearwal frame – belt truss* 30 tingkat sebesar 6.

Elemen balok dan kolom didesain dengan metode desain kapasitas. Sedangkan elemen *shearwall* didesain sesuai SNI 03-2847-2002 (pasal 23.6) dan *belt truss* didesain sebagai komponen lentur aksial konvensional.

Evaluasi daktilitas bangunan tersebut dilakukan dengan analisis dinamis non-linier riwayat waktu dan analisis *pushover*. Beban gempa yang digunakan untuk analisis dinamis non-linier riwayat waktu adalah gempa El Centro 18 Mei 1940 komponen *North-South* yang telah dimodifikasi dengan periode ulang 50, 200, dan 500 tahun.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa daktilitas yang diharapkan dapat tercapai, ditandai dengan besarnya *damage index* pada semua elemen struktur adalah kurang dari satu dan simpangan antar tingkat tidak lebih dari 2% sesuai *Asian Concrete Model Code* (ACMC). Sendi plastis terjadi pada beberapa elemen balok dan *shearwall*, namun tidak sampai mempengaruhi kestabilan struktur secara keseluruhan.

### Kata kunci :

Daktilitas, *shearwall frame – belt truss*, analisis dinamis non-linier riwayat waktu, *pushover*, *damage index*, simpangan antar tingkat.

## ABSTRACT

Andri Prasetyo, Handry Sun Sumendap :  
Undergraduate Thesis  
Continued Study of Structural Ductility on Shearwall Frame and Belt truss  
System as Virtual Outrigger

Tall building should be designed to adequately resist the lateral loads from wind and earthquake. The outrigger and belt truss system are commonly used as one of the structural system to effectively control the excessive drift due to lateral load. In the present seismic case, SNI 03-1726-2002, structural ductility of such structures are not explicitly stated. This research assumes the seismic reduction factor of a 30 stories shearwall frame – belt truss building is 6.

The element of the beam and the column are designed with the capacity design method. Whereas for the element shearwall is designed according SNI 03-2847-2002 (section 23.6) and the belt truss is designed as the conventional column element.

Seismic performance of the building is evaluated using dynamic non-linear time history analysis and pushover analysis. The earthquake load for dynamic non-linear time history analysis is the modified Mei 18<sup>th</sup>, 1940 El Centro earthquake North-South components with time period of 50, 200, and 500 years.

The result of the research shows that the assumed ductility can be achieved, indicated by value of damage indices in all structure elements are less than one and drifts are smaller than 2% based on Asian Concrete Model Code (ACMC). Plastic hinges occur on some beam and shearwall elements, but do not affect the overall structure's stability.

### **Keywords :**

Ductility, shearwall frame – belt truss, dynamic non-linear time history analysis, pushover, damage index, drift.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL ..... i

LEMBAR PENGESAHAN ..... ii

FORMULIR PERSYARATAN TUGAS AKHIR..... iii

DATA TUGAS AKHIR ..... iv

BERITA ACARA PEMBIMBINGAN TUGAS AKHIR..... v

UCAPAN TERIMA KASIH..... vii

LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH  
UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS ..... ix

ABSTRAK..... xi

DAFTAR ISI..... xiii

DAFTAR TABEL..... xvi

DAFTAR GAMBAR..... xviii

DAFTAR NOTASI..... xxi

DAFTAR LAMPIRAN..... xxiii

1. PENDAHULUAN ..... 1

    1.1. Latar Belakang..... 1

    1.2. Perumusan Masalah ..... 4

    1.3. Tujuan Penelitian ..... 4

    1.4. Manfaat Penelitian ..... 4

    1.5. Ruang Lingkup Pembahasan ..... 4

    1.6. Metodologi Penelitian..... 6

    1.7. Sistematika Penulisan ..... 6

2. LANDASAN TEORI..... 7

    2.1. Deskripsi Tipe Struktur..... 7

        2.1.1. *Stiffness* dan Pembatasan Simpangan Lateral ..... 7

        2.1.2. Deskripsi Sejumlah Tipe Struktur Bangunan Tinggi..... 7

            2.1.2.1. Dinding Geser (*Shearwall / Cantilever wall*) ..... 7

            2.1.2.2. *Rigid Frame* ..... 10

            2.1.2.3. *Shearwall-Frame* ..... 11

            2.1.2.4. *Shearwall-Outrigger* ..... 13

|                                                                                                |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.1.2.5. <i>Belt truss</i> sebagai <i>Virtual Outrigger</i> .....                              | 15 |
| 2.1.3. Perbandingan Perilaku Sistem Struktur Gedung Tinggi .....                               | 17 |
| 2.2. Persyaratan Gempa Rencana Menurut SNI 03-1726-2002 .....                                  | 19 |
| 2.2.1. Daktilitas Struktur Bangunan dan Perencanaan Kapasitas .....                            | 19 |
| 2.2.2. Perencanaan Struktur Gedung Tidak Beraturan .....                                       | 21 |
| 2.2.2.1. Analisis Respons Dinamik .....                                                        | 21 |
| 2.2.2.2. Analisis Respons Dinamik Riwayat Waktu ( <i>Time History</i> ) .....                  | 22 |
| 2.2.2.3. Analisis Statis <i>Pushover</i> Nonlinier .....                                       | 23 |
| 2.2.2.4. Pengaruh P-Delta .....                                                                | 23 |
| 2.3. Konsep Desain Struktur Beton .....                                                        | 24 |
| 2.3.1. Perencanaan Balok dan Kolom dengan Desain Kapasitas<br>( <i>Capacity Design</i> ) ..... | 24 |
| 2.3.2. Perencanaan Struktur Dinding Geser ( <i>Shearwall</i> ) .....                           | 24 |
| 2.3.2.1. Perencanaan Dinding Geser ( <i>Shearwall</i> ) terhadap Beban<br>Lentur-Aksial .....  | 24 |
| 2.3.2.2. Perencanaan Dinding Geser ( <i>Shearwall</i> ) terhadap Beban<br>Geser .....          | 26 |
| 2.3.3. Perencanaan Struktur <i>Belt Truss</i> .....                                            | 26 |
| 3. INFORMASI PERENCANAAN DAN ANALISIS STRUKTUR .....                                           | 28 |
| 3.1. Informasi Perencanaan .....                                                               | 28 |
| 3.2. Analisis Struktur dengan ETABS v 9.07 .....                                               | 29 |
| 3.2.1. <i>Diaphragm Constraint</i> .....                                                       | 30 |
| 3.2.2. <i>Rigid End Offset</i> .....                                                           | 30 |
| 3.2.3. Pemeriksaan Kinerja Struktur Gedung .....                                               | 31 |
| 3.3. Perencanaan Struktur Bangunan 30 Tingkat .....                                            | 33 |
| 3.3.1. Contoh Perencanaan Balok Portal .....                                                   | 33 |
| 3.3.1.1. Perhitungan Tulangan Longitudinal Balok Portal .....                                  | 33 |
| 3.3.1.2. Perhitungan Tulangan Geser dan Torsi Balok Portal .....                               | 36 |
| 3.3.2. Contoh Perencanaan Kolom Portal .....                                                   | 39 |
| 3.3.2.1. Perhitungan Tulangan Longitudinal Kolom Portal .....                                  | 39 |
| 3.3.2.2. Perhitungan Tulangan Transversal Kolom .....                                          | 44 |
| 3.3.3. Contoh Perencanaan Dinding Geser ( <i>Shearwall</i> ) .....                             | 48 |
| 3.3.3.1. Perhitungan Tulangan Longitudinal Dinding Geser<br>( <i>Shearwall</i> ) .....         | 48 |
| 3.3.3.2. Perhitungan Tulangan Transversal Dinding Geser<br>( <i>Shearwall</i> ) .....          | 54 |
| 3.3.4. Contoh Perencanaan <i>Belt Truss</i> .....                                              | 55 |
| 3.3.4.1. Perhitungan Tulangan Longitudinal <i>Belt Truss</i> .....                             | 55 |
| 3.3.4.2. Perhitungan Tulangan Transversal <i>Belt Truss</i> .....                              | 59 |
| 3.4. Analisis Dinamis Non-Linier Riwayat Waktu dengan Program<br>Komputer Ruaumoko 3D .....    | 61 |
| 3.4.1. Idealisasi Struktur .....                                                               | 61 |
| 3.4.2. Input Program .....                                                                     | 61 |
| 3.4.3. Beban Gempa yang Digunakan .....                                                        | 68 |
| 3.5. Analisis <i>Nonlinear Static Pushover</i> dengan Program ETABS v9.07 .....                | 69 |
| 3.5.1. Pemodelan Struktur .....                                                                | 69 |
| 3.5.2. Input Program .....                                                                     | 70 |

|                                                                                                |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.6. <i>Damage Index</i> .....                                                                 | 84  |
| 4. EVALUASI DARI HASIL ANALISIS PERILAKU STRUKTUR .....                                        | 85  |
| 4.1. <i>Output Performance Point</i> dari Analisa <i>Pushover</i> .....                        | 85  |
| 4.2. Simpangan ( <i>Displacement</i> ) dan Simpangan Antar Tingkat ( <i>Drift Ratio</i> ) .... | 87  |
| 4.3. Lokasi Sendi Plastis dan <i>Damage Index</i> .....                                        | 88  |
| 4.4. Evaluasi Tingkat Kinerja .....                                                            | 97  |
| 5. DISKUSI, KESIMPULAN, DAN SARAN .....                                                        | 99  |
| 5.1. Diskusi .....                                                                             | 99  |
| 5.2. Kesimpulan .....                                                                          | 100 |
| 5.3. Saran .....                                                                               | 100 |
| DAFTAR PUSTAKA .....                                                                           | 102 |
| LAMPIRAN                                                                                       |     |

## DAFTAR TABEL

|       |                                                                                                                                                                                         |    |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.1.  | Pemeriksaan Kegagalan pada B14 dan B15 Balok Pendek .....                                                                                                                               | 3  |
| 2.1.  | Faktor Daktilitas maksimum, Faktor Reduksi Gempa Maksimum,<br>Faktor Tahanan Lebih Struktur, dan Faktor Tahanan Lebih Total<br>Beberapa Jenis Sistem dan Subsystem Struktur Gedung..... | 20 |
| 3.1.  | Dimensi Elemen Struktur .....                                                                                                                                                           | 28 |
| 3.2.  | Kinerja Batas Layan Gedung .....                                                                                                                                                        | 31 |
| 3.3.  | Kinerja Batas <i>Ultimate</i> Gedung .....                                                                                                                                              | 32 |
| 3.4.  | Momen Tumpuan dan Kombinasi Momen Balok .....                                                                                                                                           | 35 |
| 3.5.  | Geser Tumpuan dan Kombinasi Geser Balok.....                                                                                                                                            | 36 |
| 3.6.  | Torsi dan Kombinasi Torsi Balok.....                                                                                                                                                    | 38 |
| 3.7.  | Momen Nominal Kolom Portal .....                                                                                                                                                        | 40 |
| 3.8.  | Momen Terfaktor Kolom Portal .....                                                                                                                                                      | 42 |
| 3.9.  | Gaya Normal Terfaktor Kolom Portal .....                                                                                                                                                | 42 |
| 3.10. | Perhitungan Cs, Ts dan Mbal Kolom pada Kondisi <i>Balance</i> .....                                                                                                                     | 45 |
| 3.11. | Gaya Geser Terfaktor Kolom Portal .....                                                                                                                                                 | 46 |
| 3.12. | Vu desain Kolom Portal.....                                                                                                                                                             | 46 |
| 3.13. | Momen Terfaktor <i>Shearwall</i> .....                                                                                                                                                  | 49 |
| 3.14. | Gaya Normal Terfaktor <i>Shearwall</i> .....                                                                                                                                            | 49 |
| 3.15. | Perhitungan Cs, Ts dan Mbal <i>Shearwall</i> pada Kondisi <i>Balance</i> .....                                                                                                          | 52 |
| 3.16. | Gaya Geser Terfaktor <i>Shearwall</i> .....                                                                                                                                             | 54 |
| 3.17. | Perhitungan Cs, Ts dan Mbal <i>Belt Truss</i> pada Kondisi <i>Balance</i> .....                                                                                                         | 58 |
| 3.18. | Koordinat Titik A, B, C, D dan E .....                                                                                                                                                  | 76 |
| 3.19. | Koordinat Titik IO, LS dan CP .....                                                                                                                                                     | 76 |

|       |                                                                          |    |
|-------|--------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.20. | Tipe Bangunan Berdasarkan ATC-40.....                                    | 82 |
| 4.1.  | Matriks <i>Performance</i> Berdasarkan <i>Damage Index</i> .....         | 98 |
| 4.2.  | Matriks <i>Performance</i> Bangunan Berdasarkan <i>Drift Ratio</i> ..... | 98 |

## DAFTAR GAMBAR

|       |                                                                                                    |    |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.1.  | Visualisasi Penempatan <i>Belt Truss</i> pada Bangunan Tinggi.....                                 | 2  |
| 1.2.  | Posisi Balok Pendek yang Hancur .....                                                              | 3  |
| 1.3.  | Denah Struktur dan Potongan Bangunan .....                                                         | 4  |
| 2.1.  | Respons Lenturan Simultan Balok dan Kolom.....                                                     | 10 |
| 2.2.  | Mekanisme Penahanan Beban Lateral sebagai Interaksi antara <i>Shearwall</i> dan <i>Frame</i> ..... | 13 |
| 2.3.  | Mekanisme Transfer Gaya pada Sistem <i>Outrigger</i> .....                                         | 15 |
| 2.4.  | Transfer <i>Overturning Moment</i> dari <i>Core</i> ke Diafragma Lantai.....                       | 16 |
| 2.5.  | Transfer Gaya dari Diafragma Lantai ke Kolom Eksterior.....                                        | 17 |
| 2.6.  | Perbandingan Besar Simpangan pada Beberapa Sistem Struktur Bangunan Tinggi.....                    | 17 |
| 2.7.  | Perbandingan Nilai Momen pada Beberapa Sistem Struktur Bangunan Tinggi.....                        | 18 |
| 2.8.  | Diagram Gaya Geser Tingkat Nominal Sepanjang tinggi Struktur .....                                 | 22 |
| 2.9.  | Bidang Momen yang diperhitungkan dalam Perencanaan <i>Shearwall</i> .....                          | 25 |
| 2.10. | Bidang Geser yang Diperhitungkan dalam Perencanaan.....                                            | 26 |
| 3.1.  | Denah Bangunan.....                                                                                | 29 |
| 3.2.  | <i>Rigid End Offset</i> pada <i>Shearwall</i> .....                                                | 30 |
| 3.3.  | Posisi Balok dan Kolom yang Ditinjau.....                                                          | 34 |
| 3.4.  | Geser Rencana Balok Portal .....                                                                   | 37 |
| 3.5.  | Momen pada Kolom Portal akibat Beban Gempa .....                                                   | 40 |
| 3.6.  | Grafik untuk Mencari Besarnya $\Phi$ .....                                                         | 43 |
| 3.7.  | Dimensi <i>Core</i> .....                                                                          | 48 |
| 3.8.  | Model Mn untuk Perencanaan <i>Shearwall</i> .....                                                  | 50 |

|       |                                                                                                                                                                          |    |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.9.  | Skematis <i>Stress Diagram Shearwall</i> .....                                                                                                                           | 51 |
| 3.10. | M-N Diagram <i>Shearwall</i> .....                                                                                                                                       | 54 |
| 3.11. | Skematis <i>Stress Diagram Belt Truss</i> .....                                                                                                                          | 57 |
| 3.12. | M-N Diagram <i>Belt Truss</i> .....                                                                                                                                      | 59 |
| 3.13. | Tampak 3-D Struktur Bangunan 30 Tingkat yang akan Diteliti dengan Program RUAUMOKO 3D .....                                                                              | 61 |
| 3.14. | Posisi Sumbu Lokal dari Balok Struktur .....                                                                                                                             | 62 |
| 3.15. | Diagram Interaksi Momen Lentur Arah Sumbu Lokal y dan z pada Elemen Balok.....                                                                                           | 63 |
| 3.16. | Posisi Sumbu Lokal dari Kolom Struktur .....                                                                                                                             | 63 |
| 3.17. | Input Data Tulangan pada Program ESDAP .....                                                                                                                             | 65 |
| 3.18. | Input Data <i>Windows Cross-Section Analysis</i> pada Program ESDAP .....                                                                                                | 66 |
| 3.19. | Input Data <i>Windows Material Properties</i> pada Program ESDAP .....                                                                                                   | 66 |
| 3.20. | Hasil Output pada Program ESDAP dalam Bentuk Grafik .....                                                                                                                | 67 |
| 3.21. | Respons Spektrum Gempa El Centro 18 Mei 1940 <i>North-South</i> .....                                                                                                    | 68 |
| 3.22. | Rekaman Gempa El Centro 18 Mei 1940 <i>North-South</i> Asli.....                                                                                                         | 69 |
| 3.23. | Rekaman Gempa El Centro 18 Mei 1940 <i>North-South</i> yang Dimodifikasi terhadap Periode Ulang 500 Tahun Sesuai Wilayah 2 Peta Gempa Indonesia (SNI 03-1726-2002) ..... | 69 |
| 3.24. | Model Struktur Gedung 30 Lantai pada ETABS v9.07 .....                                                                                                                   | 70 |
| 3.25. | Posisi Sumbu Lokal Balok pada ETABS v 9.07.....                                                                                                                          | 70 |
| 3.26. | Penentuan Letak Titik A,B,C,D,E pada Kurva <i>Moment- Curvature</i> .....                                                                                                | 72 |
| 3.27. | <i>Input Hinge Properties</i> pada Program ETABS v9.07 Balok Jenis 1, Bangunan 30 Lantai .....                                                                           | 75 |
| 3.28. | Posisi Sumbu Lokal Kolom pada ETABS v 9.07 .....                                                                                                                         | 75 |
| 3.29. | <i>Option</i> untuk Menentukan <i>Frame Hinge P-M-M Interaction Surface</i> Secara Otomatis .....                                                                        | 77 |

|       |                                                                                                                                                 |    |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.30. | <i>Input Hinge Properties</i> pada Program ETABS v9.07 Kolom Jenis 1, Bangunan 30 Lantai .....                                                  | 77 |
| 3.31. | Tipe - tipe Asumsi Elemen <i>Shearwall</i> .....                                                                                                | 79 |
| 3.32. | <i>Input Pushover Case</i> untuk Beban Gravitasi .....                                                                                          | 80 |
| 3.33. | <i>Input Pushover Case</i> Beban Lateral Gempa Arah X .....                                                                                     | 81 |
| 3.34. | Hasil <i>Static Pushover Curve</i> untuk Periode Ulang 500 Tahun .....                                                                          | 82 |
| 3.35. | Faktor <i>Peak Ground Acceleration</i> yang Digunakan .....                                                                                     | 83 |
| 3.36. | Tingkat Kinerja Struktur Berdasarkan ACMC .....                                                                                                 | 84 |
| 4.1.  | Penentuan <i>Performance Point</i> .....                                                                                                        | 85 |
| 4.2.  | Arah <i>Pushover</i> dan Kode Portal pada Bangunan .....                                                                                        | 86 |
| 4.3.  | <i>Pushover Curve</i> dan <i>Performance Point</i> Bangunan untuk Berbagai Periode Ulang Gempa .....                                            | 86 |
| 4.4.  | Perbandingan Displacement dan Drift Ratio Bangunan .....                                                                                        | 88 |
| 4.5.  | Lokasi Terjadinya Sendi-Sendi Plastis dari Hasil Analisa <i>Pushover</i> pada Portal Arah X Bangunan dengan Periode Ulang Gempa 50 tahun .....  | 90 |
| 4.6.  | Lokasi Terjadinya Sendi-Sendi Plastis dari Hasil Analisa <i>Pushover</i> pada Portal Arah Y Bangunan dengan Periode Ulang Gempa 50 tahun .....  | 91 |
| 4.7.  | Lokasi Terjadinya Sendi-Sendi Plastis dari Hasil Analisa <i>Pushover</i> pada Portal Arah X Bangunan dengan Periode Ulang Gempa 200 tahun ..... | 92 |
| 4.8.  | Lokasi Terjadinya Sendi-Sendi Plastis dari Hasil Analisa <i>Pushover</i> pada Portal Arah Y Bangunan dengan Periode Ulang Gempa 200 tahun ..... | 93 |
| 4.9.  | Lokasi Terjadinya Sendi-Sendi Plastis dari Hasil Analisa <i>Pushover</i> pada Portal Arah X Bangunan dengan Periode Ulang Gempa 500 tahun ..... | 94 |
| 4.10. | Lokasi Terjadinya Sendi-Sendi Plastis dari Hasil Analisa <i>Pushover</i> pada Portal Arah Y Bangunan dengan Periode Ulang Gempa 500 tahun ..... | 95 |
| 4.11. | Kode Portal pada Bangunan dengan Analisa <i>Time History</i> .....                                                                              | 96 |

## DAFTAR NOTASI

|          |                                                                                                                                          |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $a$      | = Tinggi Blok Tegangan Persegi Ekivalen                                                                                                  |
| $A_{cp}$ | = Luas Gross Penampang Beton                                                                                                             |
| $A_{gr}$ | = Luas Bruto Penampang                                                                                                                   |
| $A_l$    | = Luas Total Tulangan Longitudinal yang Memikul Torsi                                                                                    |
| $A_o$    | = Luas Bruto yang Dibatasi oleh Lintasan Aliran Geser                                                                                    |
| $A_t$    | = Luas Satu Kaki Sengkang Tertutup yang Menahan Torsi dalam Daerah Sejarak $s$                                                           |
| $A_v$    | = Luas Tulangan Geser dalam Daerah Sejarak $s$                                                                                           |
| $c$      | = Jarak dari Serat Tekan Terluar ke Garis Netral                                                                                         |
| $d$      | = Jarak dari Serat Tekan Terluar ke Pusat Tulangan Tarik                                                                                 |
| $db$     | = Diameter Tulangan Utama                                                                                                                |
| $ds$     | = Diameter Tulangan Sengkang                                                                                                             |
| $d'$     | = Jarak dari Serat Tekan Terluar ke Pusat Tulangan Tekan                                                                                 |
| $EI$     | = <i>Stiffness</i> Lentur                                                                                                                |
| $f_c'$   | = Kuat Tekan Beton yang Disyaratkan                                                                                                      |
| $f_y$    | = Kuat Leleh Tulangan yang Disyaratkan                                                                                                   |
| $H_n$    | = Tinggi Bersih Kolom                                                                                                                    |
| $l_p$    | = Panjang Sendi Plastis                                                                                                                  |
| $M_D$    | = Momen Lentur Akibat Beban Mati Tak Terfaktor                                                                                           |
| $M_E$    | = Momen Lentur Akibat Beban Gempa Tak Terfaktor                                                                                          |
| $M_L$    | = Momen Lentur Akibat Beban Hidup Tak Terfaktor                                                                                          |
| $M_{pr}$ | = Kuat Momen Lentur Nominal dari Suatu Komponen Struktur, dengan atau Tanpa Beban Aksial, yang Didasarkan Pada Tegangan Tarik $1,25 f_y$ |
| $M_u$    | = Nilai Kombinasi Momen Akibat Beban Luar yang Bersesuaian                                                                               |
| $N_D$    | = Gaya Aksial Akibat Beban Mati Tak Terfaktor                                                                                            |
| $N_E$    | = Gaya Aksial Akibat Beban Gempa Tak Terfaktor                                                                                           |
| $N_L$    | = Gaya Aksial Akibat Beban Hidup Tak Terfaktor                                                                                           |
| $N_u$    | = Nilai Kombinasi Aksial Akibat Beban Luar yang Bersesuaian                                                                              |
| $Ph$     | = Keliling Sengkang Tertutup Terluar                                                                                                     |

|                      |                                                                                                   |
|----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $r$ ( <i>slope</i> ) | = <i>Bi-linear Factor</i>                                                                         |
| $R_m$                | = Faktor Reduksi Gempa                                                                            |
| $s$                  | = Jarak Tulangan Geser Terpasang                                                                  |
| $T_D$                | = Torsi Akibat Beban Mati Tak Terfaktor                                                           |
| $T_E$                | = Torsi Akibat Beban Gempa Tak Terfaktor                                                          |
| $T_L$                | = Torsi Akibat Beban Hidup Tak Terfaktor                                                          |
| $T_u$                | = Nilai Kombinasi Torsi Akibat Beban Luar yang Bersesuaian                                        |
| $V_c$                | = Kuat Geser Nominal yang Disumbangkan Oleh Beton                                                 |
| $V_D$                | = Gaya Geser Akibat Beban Mati Tak Terfaktor                                                      |
| $V_E$                | = Gaya Geser Akibat Beban Gempa Tak Terfaktor                                                     |
| $V_L$                | = Gaya Geser Akibat Beban Hidup Tak Terfaktor                                                     |
| $V_s$                | = Kuat Geser Nominal yang Disumbangkan oleh Tulangan Geser                                        |
| $V_u$                | = Nilai Kombinasi Geser Akibat Beban Luar yang Bersesuaian                                        |
| $\beta_{eff}$        | = <i>Effective Damping Ratio</i> Akibat Perubahan Kekakuan Struktur Setelah Terjadi Sendi Plastis |
| $\delta_m$           | = Kondisi di Ambang Keruntuhan                                                                    |
| $\delta_y$           | = Simpangan Struktur pada Saat Pelelehan Pertama                                                  |
| $\xi$                | = Faktor Pengali pada Pengecekan Kinerja Batas <i>Ultimate</i>                                    |
| $\xi_s$              | = Regangan Tulangan Tarik                                                                         |
| $\xi_s'$             | = Regangan Tulangan Tekan                                                                         |
| $\phi$               | = Faktor Reduksi Kekuatan                                                                         |
| $\phi_y$             | = <i>Yield Curvature</i>                                                                          |
| $\phi_u$             | = <i>Ultimate Curvature</i>                                                                       |
| $\rho_{bal}$         | = Rasio Tulangan pada Kondisi <i>Balance</i>                                                      |
| $\theta$             | = <i>Rotation</i>                                                                                 |
| $\mu$                | = <i>Curvature Ductility</i>                                                                      |
| $\mu_m$              | = Daktilitas Struktur Gedung                                                                      |

## DAFTAR LAMPIRAN

- LAMPIRAN 1: Hasil Desain Tulangan Balok, Kolom, *Shearwall* dan *Belt Truss*
- LAMPIRAN 2: *Displacement* dan *Drift Ratio*
- LAMPIRAN 3: Contoh Input Data RUAUMOKO 3D untuk Struktur *Shearwall*  
*Frame* dengan *Belt Truss*
- LAMPIRAN 4: *Damage Index* dari Hasil Analisis *Time History*
- LAMPIRAN 5: *Pushover Curve* dan *Performance Point* untuk Tiap Panjang Sendi  
Plastis