**TUGAS AKHIR**

# PERBANDINGAN HASIL ANALISA STRUKTUR BALOK BETON BERTULANG BERDASARKAN SNI 03-2847-2002 DAN SNI 2847:2013 PADA BANGUNAN GEDUNG BERTINGKAT BANYAK

***(COMPARISON OF REINFORCED CONCRETE BEAM STRUCTURE ANALYSIS RESULTS BASED ON SNI 03-2847-2002 AND SNI 2847:2013 ON A MULTI-STOREY BUILDING)***

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Teknik Sipil**


**Azfari Mufti Widyantara**
**14511318**



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL**
**FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN**
**UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

**2021**

**TUGAS AKHIR**

# PERBANDINGAN HASIL ANALISA STRUKTUR BALOK BETON BERTULANG BERDASARKAN SNI 03-2847-2002 DAN SNI 2847:2013 PADA BANGUNAN GEDUNG BERTINGKAT BANYAK

## *(COMPARISON OF REINFORCED CONCRETE BEAM STRUCTURE ANALYSIS RESULTS BASED ON SNI 03-2847-2002 AND SNI 2847:2013 ON A MULTI-STOREY BUILDING)*

Disusun oleh

**Azfari Mufti Widyantara**
**14511318**

Telah diterima sebagai salah satu persyaratan
Untuk memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil

Diuji pada tanggal 8 Desember 2021

Oleh Dewan Penguji

| Pembimbing | Penguji I | Penguji II |
|---|---|---|
| **Astriana Hardawati, S.T., M.Eng** | **Novi Rahmayanti, S.T., M.Eng** | **Anggit Mas Arifudin, S.T., M.T.** |
| **NIK: 165111301** | **NIK: 155111306** | **NIK: 185111304** |

Mengesahkan,

Ketua Program Studi Teknik Sipil

**Dr. Ir. Sri Amini Yuni Astuti, M.T**
**NIK: 885110101**

# PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk penyelesaian program Sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan laporan Tugas Akhir yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan dalam sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila di kemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian laporan Tugas Akhir ini bukan hasil karya saya sendiri atau adanya plagiasi dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai dengan perundang-undangan yang berlaku.

Yogyakarta, 16 November 2021

Yang membuat pernyataan,




Azfari Mufti Widyantara

(14511318)

Teruntuk Ibu – Tyas Istiana Susilowati, perempuan satu-satunya di dunia yang tulus memberi cinta kasih tanpa pamrih, yang selalu memberi wejangan kala hati dilanda perih.

Ayah, Haryo Wicaksono. Adik-adik, Rakan Mufti Widyajana dan Wisam Mufti Widyadama. Terima kasih untuk selalu menyajikan riuh keluarga penuh rasa sayang, yang membuatku selalu rindu akan rumah, terutama disaat jauh dan lelah membutuhkan akan pulang. ☺

"Menginginkan kebahagiaan dunia dan akhirat maka hendaknya dengan Ilmu"

مَنْ أَرَا دَالدُّنْيَا فَعَلَيْهِ بِا لْعِلْمِ، وَمَنْ أَرَادَالْآخِرَةَ فَعَلَيْهِ بِالْعِلْمِ، وَمَنْ أَرَادَهُمَا فَعَلَيْهِ بِالْعِلْمِ

Artinya : *"Barangsiapa yang menginginkan (kebahagiaan) dunia, maka hendaknya dengan ilmu. Dan barangsiapa menginginkan (kebahagiaan) akhirat, maka hendaknya dengan ilmu. Dan barangsiapa menginginkan keduanya, maka hendaknya dengan ilmu".* (*Manaqib Asy Syafi'i*, 2/139)

# KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah S.W.T sehingga penulis dapat menyesaikan Tugas Akhir yang berjudul *Perbandingan Hasil Analisa Struktur Balok Beton Bertulang Berdasarkan SNI 03-2847-2002 dan SNI 2847:2013 pada Bangunan Gedung Bertingkat Banyak*. Tugas akhir ini merupakan syarat akademik dalam menyelesaikan studi Sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Dalam penulisan Tugas Akhir ini banyak hambatan yang dihadapi penulis, namun berkat saran, kritik serta dorongan semangat dari berbagai pihak, Alhamdulillah Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Berkaitan dengan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Dr. Ir. Sri Amini Yuni Astuti, M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
2. Bapak Erik Wahyu Pradana, S.T.,M.Eng. selaku dosen pembimbing lama.
3. Ibu Astriana Hardawati,S.T.,M.Eng. selaku dosen pembimbing baru.
4. Dosen Penguji.
5. Bapak Haryo Wicaksono dan Ibu Tyas Istiana Susilowati selaku orang tua penulis atas doa dan pengorbanan yang begitu banyak baik material maupun non-material hingga selesainya Tugas Akhir ini.
6. Semua pihak yang telah membantu yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Akhirnya penulis berharap agar Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pihak yang membacanya.

Yogyakarta, 16 November 2021

Penulis,



Azfari Mufti Widyantara

# DAFTAR ISI


| | |
|---|---|
| Halaman Judul | i |
| Halaman Pengesahan | ii |
| PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI | iii |
| DEDIKASI | iv |
| KATA PENGANTAR | v |
| DAFTAR ISI | vi |
| DAFTAR TABEL | x |
| DAFTAR GAMBAR | xviii |
| DAFTAR LAMPIRAN | xxiv |
| DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN | xxvi |
| ABSTRAK | xxx |
| *ABSTRACT* | xxxi |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 2 |
| 1.3 Tujuan Penelitian | 2 |
| 1.4 Manfaat Penelitian | 3 |
| 1.5 Batasan Penelitian | 3 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA | 5 |
| 2.1 Tinjauan Umum | 5 |
| 2.2 Penelitian Sebelumnya | 5 |
| 2.3 Persamaan dan Perbedaan Penelitian yang Dilakukan | 8 |
| BAB III LANDASAN TEORI | 14 |
| 3.1 Tinjauan Umum | 14 |
| 3.2 Pembebanan | 14 |
| 3.3 Kombinasi Pembebanan | 34 |
| 3.4 Penentuan Skala Gaya | 35 |

3.5 Ketidakberaturan Struktur Horizontal 36
3.6 Ketidakberaturan Struktur Vertikal 39
3.7 Cek Pengaruh P-delta 42
3.8 Material Beton 43
3.9 Material Baja Tulangan 44
3.9.1 Ukuran Diameter Baja Tulangan 45
3.9.2 Sifat Mekanis Baja Tulangan 46
3.10 Sistem Rangka Pemikul Momen 46
3.11Beton Bertulang 48
3.11.1 Asumsi yang Digunakan Berdasarkan SNI 03-2847-2002 dan SNI 2847:2013 49
3.11.2 Regangan Penampang 51
3.11.3 Faktor Reduksi Kekuatan 54
3.11.4 Persyaratan pada Balok Beton Bertulang 55
3.11.5 Perancangan dan Analisis Geser pada Balok 56
3.11.6 Tulangan Geser Minimum 58
3.12Perancangan Tulangan Balok 60
3.13Perbedaan Standar SNI 03-2847-2002 dan SNI 2847:2013 62
BAB IV METODE PENELITIAN 64
4.1 Tinjauan Umum 64
4.2 Subjek dan Objek Penelitian 64
4.3 Metode Penelitian 64
4.4 Pemodelan Struktur 65
4.5 Data Penelitian 66
4.6 Tahapan Penelitian 67
4.7 Bagan Alir Penelitian 68
BAB V DATA, ANALISIS, DAN PEMBAHASAN 71
5.1 Pendahuluan 71
5.2 Perhitungan pembebanan 71

5.2.1 Beban Mati 71

5.2.2 Beban Mati Tambahan 71

5.2.3 Beban Hidup 75

5.3 Penentuan Dimensi Struktur 77

5.4 Perhitungan Beban Gempa 84

5.5 Pemeriksaan Hasil Analisis Program 89

5.5.1 Pemeriksaan *Participating Mass Ratio* 89

5.5.2 Pemeriksaan Jenis Analisa Ragam 90

5.5.3 Pemeriksaan Gaya Geser Dasar Statis dan Gaya Geser Dasar Dinamis 91

5.5.4 Pemeriksaan Simpangan Antar Lantai 93

5.5.5 Pemeriksaan Koefisien Stabilitas Struktur (θ) 94

5.5.6 Ketidakberaturan Horizontal Torsional Bangunan 99

5.6 Kombinasi Pembebanan 111

5.7 Gaya Dalam Komponen Struktur Balok 112

5.8 Perencanaan Penulangan Balok Berdasarkan SNI 03-2847-2002 117

5.8.1 Desain Lentur Balok Berdasarkan SNI 03-2847-2002 117

5.8.2 Desain Tulangan Geser Balok Berdasarkan SNI 03-2847-2002 134

5.9 Perencanaan Penulangan Balok Berdasarkan SNI 2847:2013 142

5.9.1 Desain Tulangan Lentur Balok Berdasarkan SNI 2847:2013 142

5.9.2 Desain Tulangan Geser Balok Berdasarkan SNI 2847:2013 159

5.10 Perbandingan Hasil Perencanaan Balok Berdasarkan SNI 03-2847-2002 dan SNI 2847:2013 167

5.11 Perencanaan Penulangan Kolom Berdasarkan SNI 2847:2013 210

5.11.1 Desain Tulangan Longitudinal 213

5.11.2 Pengecekan Strong Column Weak Beam (SCWB) 214

5.11.3 Desain Tulangan Transversal 215

5.12 Pembahasan 224

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN 226
6.1 Kesimpulan 226
6.2 Saran 227
DAFTAR PUSTAKA 228
LAMPIRAN 230

# DAFTAR TABEL


Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Sebelumnya 9

Tabel 3.1 Berat Sendiri Bahan Bangunan 15

Tabel 3.2 Berat Sendiri Komponen Gedung 16

Tabel 3.3 Beban Hidup Terdistribusi Merata Minimum, $L_0$ dan Beban Hidup Terpusat Minimum 17

Tabel 3.4 Kategori Risiko Bangunan Untuk Beban Gempa 23

Tabel 3.5 Faktor Keutamaan Gempa 24

Tabel 3.4 Koefisien Situs, $F_a$ 28

Tabel 3.5 Koefisien Situs, $F_v$ 28

Tabel 3.6 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respon Percepatan pada Periode Pendek 30

Tabel 3.7 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respon Percepatan pada Periode 1 detik 31

Tabel 3.8 $R$, $C_d$, dan $\Omega_0$ untuk Sistem Penahan Gaya Gempa 31

Tabel 3.9 Koefisien untuk Batas Atas pada Periode yang Dihitung 32

Tabel 3.10 Nilai Parameter Periode Pendekatan $C_t$ dan $x$ 33

Tabel 3.11 Diameter Baja Tulangan Polos 45

Tabel 3.12 Diameter Baja Tulangan Sirip 45

Tabel 3.13 Analisis dan Desain Penampang 48

Tabel 3.15 Diameter Minimum Tulangan Struktural 56

Tabel 3.16 Perbedaan Standar Berdasarkan SNI 03-2847-2002 dan SNI 2847:2013 62

Tabel 5.1 Rekapitulasi Dimensi Balok 78

Tabel 5.2 Mencari Titik Berat Balok T Terhadap Tepi Atas (y) 82

Tabel 5.3 Mencari Momen Inersia Balok 82

Tabel 5.4 Hasil Pemeriksaan Koefisien Stabilitas Struktur Titik Tinjauan 1 (Arah X) Setelah Penambahan *Shear Wall* 97

Tabel 5.5 Hasil Pemeriksaan Koefisien Stabilitas Struktur Titik Tinjauan 1 (Arah Y) Setelah Penambahan *Shear Wall* 98
Tabel 5.6 Hasil Pemeriksaan Koefisien Stabilitas Struktur Titik Tinjauan 2 (Arah X) Setelah Penambahan *Shear Wall* 98
Tabel 5.7 Hasil Pemeriksaan Koefisien Stabilitas Struktur Titik Tinjauan 2 (Arah Y) Setelah Penambahan *Shear Wall* 99
Tabel 5.8 Perhitungan Momen Torsi Tak Terduga Arah X 102
Tabel 5.9 Perhitungan Momen Torsi Tak Terduga Arah Y 103
Tabel 5.10 Pemeriksaan Ketidakberaturan Struktur Arah X 107
Tabel 5.11 Pemeriksaan Ketidakberaturan Struktur Arah Y 107
Tabel 5.12 Hasil Faktor Pembesaran Torsi Portal Arah Y 108
Tabel 5.13 Pemeriksaan Ketidakberaturan Struktur Arah X Setelah Dikali Faktor Pembesaran Torsi 110
Tabel 5.14 Pemeriksaan Ketidakberaturan Struktur Arah Y Setelah Dikali Faktor Pembesaran Torsi 110
Tabel 5.15 *Output* Gaya Dalam Terbesar Balok BX Exterior 7 meter Setelah Redistribusi Momen 113
Tabel 5.16 *Output* Gaya Dalam Terbesar Balok BX Exterior 4 meter Setelah Redistribusi Momen 113
Tabel 5.17 *Output* Gaya Dalam Terbesar Balok BY Exterior 7 meter Setelah Redistribusi Momen 114
Tabel 5.18 *Output* Gaya Dalam Terbesar Balok BY Exterior 2 meter Setelah Redistribusi Momen 114
Tabel 5.19 *Output* Gaya Dalam Terbesar Balok BX Interior 7 meter Setelah Redistribusi Momen 115
Tabel 5.20 *Output* Gaya Dalam Terbesar Balok BX Interior 4 meter Setelah Redistribusi Momen 115
Tabel 5.21 *Output* Gaya Dalam Terbesar Balok BY Interior 7 meter Setelah Redistribusi Momen 116
Tabel 5.22 *Output* Gaya Dalam Terbesar Balok BY Interior 2 meter Setelah Redistribusi Momen 116

Tabel 5.23 Hasil Perencanaan Tulangan Lentur Balok BX Exterior 7 meter Berdasarkan SNI 03-2847-2002 130
Tabel 5.24 Hasil Perencanaan Tulangan Lentur Balok BX Exterior 4 meter Berdasarkan SNI 03-2847-2002 130
Tabel 5.25 Hasil Perencanaan Tulangan Lentur Balok BY Exterior 7 meter Berdasarkan SNI 03-2847-2002 131
Tabel 5.26 Hasil Perencanaan Tulangan Lentur Balok BY Exterior 2 meter Berdasarkan SNI 03-2847-2002 131
Tabel 5.27 Hasil Perencanaan Tulangan Lentur Balok BX Interior 7 meter Berdasarkan SNI 03-2847-2002 132
Tabel 5.28 Hasil Perencanaan Tulangan Lentur Balok BX Interior 4 meter Berdasarkan SNI 03-2847-2002 132
Tabel 5.29 Hasil Perencanaan Tulangan Lentur Balok BY Interior 7 meter Berdasarkan SNI 03-2847-2002 133
Tabel 5.30 Hasil Perencanaan Tulangan Lentur Balok BY Interior 2 meter Berdasarkan SNI 03-2847-2002 133
Tabel 5.31 Hasil Perencanaan Tulangan Geser Balok BX Exterior 7 meter Berdasarkan SNI 03-2847-2002 138
Tabel 5.32 Hasil Perencanaan Tulangan Geser Balok BX Exterior 4 meter Berdasarkan SNI 03-2847-2002 138
Tabel 5.33 Hasil Perencanaan Tulangan Geser Balok BY Exterior 7 meter Berdasarkan SNI 03-2847-2002 139
Tabel 5.34 Hasil Perencanaan Tulangan Geser Balok BY Exterior 2 meter Berdasarkan SNI 03-2847-2002 139
Tabel 5.35 Hasil Perencanaan Tulangan Geser Balok BX Interior 7 meter Berdasarkan SNI 03-2847-2002 140
Tabel 5.36 Hasil Perencanaan Tulangan Geser Balok BX Interior 4 meter Berdasarkan SNI 03-2847-2002 140
Tabel 5.37 Hasil Perencanaan Tulangan Geser Balok BY Interior 7 meter Berdasarkan SNI 03-2847-2002 141

Tabel 5.38 Hasil Perencanaan Tulangan Geser Balok BY Interior 2 meter Berdasarkan SNI 03-2847-2002 141
Tabel 5.39 Hasil Perencanaan Tulangan Lentur Balok BX Exterior 7 meter Berdasarkan SNI 2847:2013 155
Tabel 5.40 Hasil Perencanaan Tulangan Lentur Balok BX Exterior 4 meter Berdasarkan SNI 2847:2013 155
Tabel 5.41 Hasil Perencanaan Tulangan Lentur Balok BY Exterior 7 meter Berdasarkan SNI 2847:2013 156
Tabel 5.42 Hasil Perencanaan Tulangan Lentur Balok BY Exterior 2 meter Berdasarkan SNI 2847:2013 156
Tabel 5.43 Hasil Perencanaan Tulangan Lentur Balok BX Interior 7 meter Berdasarkan SNI 2847:2013 157
Tabel 5.44 Hasil Perencanaan Tulangan Lentur Balok BX Interior 4 meter Berdasarkan SNI 2847:2013 157
Tabel 5.45 Hasil Perencanaan Tulangan Lentur Balok BY Interior 7 meter Berdasarkan SNI 2847:2013 158
Tabel 5.46 Hasil Perencanaan Tulangan Lentur Balok BY Interior 2 meter Berdasarkan SNI 2847:2013 158
Tabel 5.47 Hasil Perencanaan Tulangan Geser Balok BX Exterior 7 meter Berdasarkan SNI 2847:2013 163
Tabel 5.48 Hasil Perencanaan Tulangan Geser Balok BX Exterior 4 meter Berdasarkan SNI 2847:2013 163
Tabel 5.49 Hasil Perencanaan Tulangan Geser Balok BY Exterior 7 meter Berdasarkan SNI 2847:2013 164
Tabel 5.50 Hasil Perencanaan Tulangan Geser Balok BY Exterior 2 meter Berdasarkan SNI 2847:2013 164
Tabel 5.51 Hasil Perencanaan Tulangan Geser Balok BX Interior 7 meter Berdasarkan SNI 2847:2013 165
Tabel 5.52 Hasil Perencanaan Tulangan Geser Balok BX Interior 4 meter Berdasarkan SNI 2847:2013 165

Tabel 5.53 Hasil Perencanaan Tulangan Geser Balok BY Interior 7 meter Berdasarkan SNI 2847:2013 166
Tabel 5.54 Hasil Perencanaan Tulangan Geser Balok BY Interior 2 meter Berdasarkan SNI 2847:2013 166
Tabel 5.55 Tabel Perbandingan $Mn^-$ BX Exterior 7 m (Tumpuan) 167
Tabel 5.56 Tabel Perbandingan $Mn^+$ BX Exterior 7 m (Tumpuan) 168
Tabel 5.57 Tabel Perbandingan Luas Tulangan Lentur BX Exterior 7 m (Tumpuan) 168
Tabel 5.58 Tabel Perbandingan $Mn^-$ BX Exterior 7 m (Lapangan) 169
Tabel 5.59 Tabel Perbandingan $Mn^+$ BX Exterior 7 m (Lapangan) 170
Tabel 5.60 Tabel Perbandingan Luas Tulangan Lentur BX Exterior 7 m (Lapangan) 170
Tabel 5.61 Tabel Perbandingan Luas Sengkang BX Exterior 7 m (Tumpuan) 171
Tabel 5.62 Tabel Perbandingan Luas Sengkang BX Exterior 7 m (Lapangan) 172
Tabel 5.63 Tabel Perbandingan $Mn^-$ BX Exterior 4 m (Tumpuan) 172
Tabel 5.64 Tabel Perbandingan $Mn^+$ BX Exterior 4 m (Tumpuan) 173
Tabel 5.65 Tabel Perbandingan Luas Tulangan Lentur BX Exterior 4 m (Tumpuan) 174
Tabel 5.66 Tabel Perbandingan $Mn^-$ BX Exterior 4 m (Lapangan) 174
Tabel 5.67 Tabel Perbandingan $Mn^+$ BX Exterior 4 m (Lapangan) 175
Tabel 5.68 Tabel Perbandingan Luas Tulangan Lentur BX Exterior 4 m (Lapangan) 176
Tabel 5.69 Tabel Perbandingan Luas Sengkang BX Exterior 4 m (Tumpuan) 176
Tabel 5.70 Tabel Perbandingan Luas Sengkang BX Exterior 4 m (Lapangan) 177
Tabel 5.70 Tabel Perbandingan $Mn^-$ BY Exterior 7 m (Tumpuan) 178
Tabel 5.71 Tabel Perbandingan $Mn^+$ BY Exterior 7 m (Tumpuan) 178
Tabel 5.72 Tabel Perbandingan Luas Tulangan Lentur BY Exterior 7 m (Tumpuan) 179
Tabel 5.73 Tabel Perbandingan $Mn^-$ BY Exterior 7 m (Lapangan) 180
Tabel 5.74 Tabel Perbandingan $Mn^+$ BY Exterior 7 m (Lapangan) 180

Tabel 5.75 Tabel Perbandingan Luas Tulangan Lentur BY Exterior 7 m (Lapangan) 181
Tabel 5.76 Tabel Perbandingan Luas Sengkang BY Exterior 7 m (Tumpuan) 182
Tabel 5.77 Tabel Perbandingan Luas Sengkang BY Exterior 7 m (Lapangan) 182
Tabel 5.78 Tabel Perbandingan $Mn^-$ BY Exterior 2 m (Tumpuan) 183
Tabel 5.79 Tabel Perbandingan $Mn^+$ BY Exterior 2 m (Tumpuan) 184
Tabel 5.80 Tabel Perbandingan Luas Tulangan Lentur BY Exterior 2 m (Tumpuan) 184
Tabel 5.81 Tabel Perbandingan $Mn^-$ BY Exterior 2 m (Lapangan) 185
Tabel 5.82 Tabel Perbandingan $Mn^+$ BY Exterior 2 m (Lapangan) 186
Tabel 5.83 Tabel Perbandingan Luas Tulangan Lentur BY Exterior 2 m (Lapangan) 186
Tabel 5.84 Tabel Perbandingan Luas Sengkang BY Exterior 2 m (Tumpuan) 187
Tabel 5.85 Tabel Perbandingan Luas Sengkang BY Exterior 2 m (Lapangan) 188
Tabel 5.86 Tabel Perbandingan $Mn^-$ BX Interior 7 m (Tumpuan) 188
Tabel 5.87 Tabel Perbandingan $Mn^+$ BX Interior 7 m (Tumpuan) 189
Tabel 5.88 Tabel Perbandingan Luas Tulangan Lentur BX Interior 7 m (Tumpuan) 190
Tabel 5.89 Tabel Perbandingan $Mn^-$ BX Interior 7 m (Lapangan) 190
Tabel 5.90 Tabel Perbandingan $Mn^+$ BX Interior 7 m (Lapangan) 191
Tabel 5.91 Tabel Perbandingan Luas Tulangan Lentur BX Interior 7 m (Lapangan) 192
Tabel 5.92 Tabel Perbandingan Luas Sengkang BX Interior 7 m (Tumpuan) 192
Tabel 5.93 Tabel Perbandingan Luas Sengkang BX Interior 7 m (Lapangan) 193
Tabel 5.94 Tabel Perbandingan $Mn^-$ BX Interior 4 m (Tumpuan) 194
Tabel 5.95 Tabel Perbandingan $Mn^+$ BX Interior 4 m (Tumpuan) 194
Tabel 5.96 Tabel Perbandingan Luas Tulangan Lentur BX Interior 4 m (Tumpuan) 195
Tabel 5.97 Tabel Perbandingan $Mn^-$ BX Interior 4 m (Lapangan) 196
Tabel 5.98 Tabel Perbandingan $Mn^+$ BX Interior 4 m (Lapangan) 196

Tabel 5.99 Tabel Perbandingan Luas Tulangan Lentur BX Interior 4 m (Lapangan) 197
Tabel 5.100 Tabel Perbandingan Luas Sengkang BX Interior 4 m (Tumpuan) 198
Tabel 5.101 Tabel Perbandingan Luas Sengkang BX Interior 4 m (Lapangan) 198
Tabel 5.102 Tabel Perbandingan $Mn^-$ BY Interior 7 m (Tumpuan) 199
Tabel 5.103 Tabel Perbandingan $Mn^+$ BY Interior 7 m (Tumpuan) 200
Tabel 5.104 Tabel Perbandingan Luas Tulangan Lentur BY Interior 7 m (Tumpuan) 200
Tabel 5.105 Tabel Perbandingan $Mn^-$ BY Interior 7 m (Lapangan) 201
Tabel 5.106 Tabel Perbandingan $Mn^+$ BY Interior 7 m (Lapangan) 202
Tabel 5.107 Tabel Perbandingan Luas Tulangan Lentur BY Interior 7 m (Lapangan) 202
Tabel 5.108 Tabel Perbandingan Luas Sengkang BY Interior 7 m (Tumpuan) 203
Tabel 5.109 Tabel Perbandingan Luas Sengkang BY Interior 7 m (Lapangan) 204
Tabel 5.110 Tabel Perbandingan $Mn^-$ BY Interior 2 m (Tumpuan) 204
Tabel 5.111 Tabel Perbandingan $Mn^+$ BY Interior 2 m (Tumpuan) 205
Tabel 5.112 Tabel Perbandingan Luas Tulangan Lentur BY Interior 2 m (Tumpuan) 206
Tabel 5.113 Tabel Perbandingan $Mn^-$ BY Interior 2 m (Lapangan) 206
Tabel 5.114 Tabel Perbandingan $Mn^+$ BY Interior 2 m (Lapangan) 207
Tabel 5.115 Tabel Perbandingan Luas Tulangan Lentur BY Interior 2 m (Lapangan) 208
Tabel 5.116 Tabel Perbandingan Luas Sengkang BY Interior 2 m (Tumpuan) 208
Tabel 5.126 Tabel Perbandingan Luas Sengkang BY Interior 2 m (Lapangan) 209
Tabel 5.127 Gaya Aksial-Lentur Tinjauan Kolom Tepi 210
Tabel 5.128 Gaya Aksial-Lentur Tinjauan Kolom Tengah 211
Tabel 5.129 Gaya Geser dan Gaya Tekan Terkecil Tinjauan Kolom Tepi 212
Tabel 5.130 Gaya Geser dan Gaya Tekan Terkecil Tinjauan Kolom Tengah 213
Tabel 5.131 Hasil Momen Nominal Kolom ($M_{nc}$) Tinjauan Kolom Tepi Lantai 1-3 215

Tabel 5.131 Hasil Momen Probable Kolom ($M_{pr}$) Tinjauan Kolom Tepi Lantai 1-3 219
Tabel 5.132 Hasil Perencanaan Penulangan Kolom Tepi 223
Tabel 5.133 Hasil Perencanaan Penulangan Kolom Tengah 223

# DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 $S_s$, Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko Tertarget ($MCE_R$), Kelas Situs *SB* 25
Gambar 3.2 $S_1$, Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko Tertarget ($MCE_R$), Kelas Situs *SB* 26
Gambar 3.3 $C_{RS}$, Koefisien Risiko Terpetakan, Periode Respon Spektrum 0,2 detik 26
Gambar 3.4 $C_{R1}$, Koefisien Risiko Terpetakan, Periode Respon Spektrum 1 detik 27
Gambar 3.5 Desain Respon Spektrum 30
Gambar 3.6 Ketidakberaturan Torsional 37
Gambar 3.7 Ketidakberaturan Sudut Dalam 37
Gambar 3.8 Ketidakberaturan Diskontinuitas Diafragma 38
Gambar 3.9 Ketidakberaturan Pergeseran Bidang 38
Gambar 3.10 Ketidakberaturan Sistem Non-Paralel 39
Gambar 3.11 Ketidakberaturan Tingkat Lunak 40
Gambar 3.12 Ketidakberaturan Berat (Massa) 40
Gambar 3.13 Ketidakberaturan Geometri Vertikal 41
Gambar 3.14 Ketidakberaturan Diskontinuitas Arah Bidang 41
Gambar 3.15 Diskontinuitas Kuat Lateral Tingkat 42
Gambar 3.16 Beton 44
Gambar 3.17 Grafik Tegangan-Regangan Baja Tulangan 46
Gambar 3.18 Distribusi Regangan (ε) pada Balok Biasa 49
Gambar 3.19 Distribusi Tegangan Tekan Beton 50
Gambar 3.20 Tegangan Tarik Baja 51
Gambar 3.21 *Balanced Strain Condition* 51
Gambar 3.22 *Compression Controlled Section* 52
Gambar 3.23 *Tension Controlled Section* 52
Gambar 3.24 Regangan Penampang *BSC, CCS,* dan *TCS* 53

Gambar 3.25 Jenis Kegagalan Lentur 53
Gambar 3.26 Grafik Nilai Faktor Reduksi Kekuatan ($\phi$) 54
Gambar 3.27 Gaya-gaya Dalam (*Internal Forces*) 56
Gambar 3.28 Jenis Tulangan Geser pada Balok 57
Gambar 3.29 Tulangan Geser Minimum 59
Gambar 3.30 Jarak Antar Sengkang 60
Gambar 3.31 Penggunaan Sengkang dengan Kaki yang Lebih Banyak 60
Gambar 3.32 Diagram Tegangan-Regangan Penampang Balok Beton Bertulang 62
Gambar 4.1 Pemodelan Struktur (3 Dimensi) 65
Gambar 4.2 Denah Bangunan Lantai 1 (Tampak Atas) 66
Gambar 4.3 Denah Bangunan Lantai 2 s.d. Lantai 10 (Tampak Atas) 66
Gambar 4.4 *Flowchart* Penelitian 69
Gambar 5.1 Tangga 73
Gambar 5.2 Detail Tangga 74
Gambar 5.3 Mencari Tinggi Vertikal pada Pelat Tangga 74
Gambar 5.4 Bagian Pelat yang Diperhitungkan Untuk Balok T 81
Gambar 5.5 Desain Respon Spektrum Bangunan 86
Gambar 5.6 Hasil *Modal Participating Mass Ratio* 90
Gambar 5.7 Periode Tiap Mode 91
Gambar 5.8 Gaya Geser Dasar Dinamis 92
Gambar 5.9 Gaya Geser Dasar Dinamis Skala Ulang 92
Gambar 5.10 Letak Titik Tinjau Portal X dan Portal Y (Tampak Atas) 94
Gambar 5.11 Pemodelan *Shear Wall* Tampak 3 Dimensi 96
Gambar 5.12 Pemodelan *Shear Wall* Tampak 2 Dimensi (Arah YZ) 97
Gambar 5.13 Ketidakberaturan Horizontal Torsional Bangunan 100
Gambar 5.14 Titik Tinjau Ketidakberaturan Torsi Bangunan (Tampak Atas) 101
Gambar 5.15 Gaya Gempa Tiap Lantai 101
Gambar 5.16 *Load Pattern* Torsi 104
Gambar 5.17 *Input* Nilai Torsi Acuan 104
Gambar 5.17 *Input* Kombinasi Beban Gempa dan Torsi 105
Gambar 5.18 Pembacaan Simpangan Antar Lantai Akibat Torsi 105

Gambar 5.19 *Displacement* Min dan Max Pada Portal 106
Gambar 5.20 *Input* Nilai Torsi Setelah Dikalikan Faktor Pembesaran Torsi 109
Gambar 5.21 Konfigurasi Tulangan Daerah Tumpuan BX Interior 7 m Lantai 2 Berdasarkan SNI 03-2847-2002 120
Gambar 5.22 Konfigurasi Tulangan Daerah Lapangan BX Interior 7 m Lantai 2 Berdasarkan SNI 03-2847-2002 126
Gambar 5.22 Konfigurasi Tulangan Daerah Tumpuan BX Interior 7 m Lantai 2 Berdasarkan SNI 2847:2013 145
Gambar 5.24 Konfigurasi Tulangan Daerah Lapangan BX Interior 7 m Lantai 2 Berdasarkan SNI 2847:2013 151
Gambar 5.25 Grafik Perbandingan $Mn^-$ BX Exterior 7 m (Tumpuan) 167
Gambar 5.26 Grafik Perbandingan $Mn^+$ BX Exterior 7 m (Tumpuan) 168
Gambar 5.27 Grafik Perbandingan Luas Tulangan Lentur BX Exterior 7 m (Tumpuan) 169
Gambar 5.28 Grafik Perbandingan $Mn^-$ BX Exterior 7 m (Lapangan) 169
Gambar 5.29 Grafik Perbandingan $Mn^+$ BX Exterior 7 m (Lapangan) 170
Gambar 5.30 Grafik Perbandingan Luas Tulangan Lentur BX Exterior 7 m (Lapangan) 171
Gambar 5.31 Grafik Perbandingan Luas Sengkang BX Exterior 7 m (Tumpuan) 171
Gambar 5.32 Grafik Perbandingan Luas Sengkang BX Exterior 7 m (Lapangan) 172
Gambar 5.33 Grafik Perbandingan $Mn^-$ BX Exterior 4 m (Tumpuan) 173
Gambar 5.34 Grafik Perbandingan $Mn^+$ BX Exterior 4 m (Tumpuan) 173
Gambar 5.35 Grafik Perbandingan Luas Tulangan Lentur BX Exterior 4 m (Tumpuan) 174
Gambar 5.36 Grafik Perbandingan $Mn^-$ BX Exterior 4 m (Lapangan) 175
Gambar 5.37 Grafik Perbandingan $Mn^+$ BX Exterior 4 m (Lapangan) 175
Gambar 5.38 Grafik Perbandingan Luas Tulangan Lentur BX Exterior 4 m (Lapangan) 176

Gambar 5.39 Grafik Perbandingan Luas Sengkang BX Exterior 4 m (Tumpuan) 177
Gambar 5.40 Grafik Perbandingan Luas Sengkang BX Exterior 4 m (Lapangan) 177
Gambar 5.41 Grafik Perbandingan $Mn^-$ BY Exterior 7 m (Tumpuan) 178
Gambar 5.42 Grafik Perbandingan $Mn^+$ BY Exterior 7 m (Tumpuan) 179
Gambar 5.43 Grafik Perbandingan Luas Tulangan Lentur BY Exterior 7 m (Tumpuan) 179
Gambar 5.44 Grafik Perbandingan $Mn^-$ BY Exterior 7 m (Lapangan) 180
Gambar 5.45 Grafik Perbandingan $Mn^+$ BY Exterior 7 m (Lapangan) 181
Gambar 5.46 Grafik Perbandingan Luas Tulangan Lentur BY Exterior 7 m (Lapangan) 181
Gambar 5.47 Grafik Perbandingan Luas Sengkang BY Exterior 7 m (Tumpuan) 182
Gambar 5.48 Grafik Perbandingan Luas Sengkang BY Exterior 7 m (Lapangan) 183
Gambar 5.49 Grafik Perbandingan $Mn^-$ BY Exterior 2 m (Tumpuan) 183
Gambar 5.50 Grafik Perbandingan $Mn^+$ BY Exterior 2 m (Tumpuan) 184
Gambar 5.51 Grafik Perbandingan Luas Tulangan Lentur BY Exterior 2 m (Tumpuan) 185
Gambar 5.52 Grafik Perbandingan $Mn^-$ BY Exterior 2 m (Lapangan) 185
Gambar 5.53 Grafik Perbandingan $Mn^+$ BY Exterior 2 m (Lapangan) 186
Gambar 5.54 Grafik Perbandingan Luas Tulangan Lentur BY Exterior 2 m (Lapangan) 187
Gambar 5.55 Grafik Perbandingan Luas Sengkang BY Exterior 2 m (Tumpuan) 187
Gambar 5.56 Grafik Perbandingan Luas Sengkang BY Exterior 2 m (Lapangan) 188
Gambar 5.57 Grafik Perbandingan $Mn^-$ BX Interior 7 m (Tumpuan) 189
Gambar 5.58 Grafik Perbandingan $Mn^+$ BX Interior 7 m (Tumpuan) 189

Gambar 5.59 Grafik Perbandingan Luas Tulangan Lentur BX Interior 7 m (Tumpuan) 190
Gambar 5.60 Grafik Perbandingan $Mn^-$ BX Interior 7 m (Lapangan) 191
Gambar 5.61 Grafik Perbandingan $Mn^+$ BX Interior 7 m (Lapangan) 191
Gambar 5.62 Grafik Perbandingan Luas Tulangan Lentur BX Interior 7 m (Lapangan) 192
Gambar 5.63 Grafik Perbandingan Luas Sengkang BX Interior 7 m (Tumpuan) 193
Gambar 5.64 Grafik Perbandingan Luas Sengkang BX Interior 7 m (Lapangan) 193
Gambar 5.65 Grafik Perbandingan $Mn^-$ BX Interior 4 m (Tumpuan) 194
Gambar 5.66 Grafik Perbandingan $Mn^+$ BX Interior 4 m (Tumpuan) 195
Gambar 5.67 Grafik Perbandingan Luas Tulangan Lentur BX Interior 4 m (Tumpuan) 195
Gambar 5.68 Grafik Perbandingan $Mn^-$ BX Interior 4 m (Lapangan) 196
Gambar 5.69 Grafik Perbandingan $Mn^+$ BX Interior 4 m (Lapangan) 197
Gambar 5.70 Grafik Perbandingan Luas Tulangan Lentur BX Interior 4 m (Lapangan) 198
Gambar 5.71 Grafik Perbandingan Luas Sengkang BX Interior 4 m (Tumpuan) 198
Gambar 5.72 Grafik Perbandingan Luas Sengkang BX Interior 4 m (Lapangan) 199
Gambar 5.73 Grafik Perbandingan $Mn^-$ BY Interior 7 m (Tumpuan) 199
Gambar 5.74 Grafik Perbandingan $Mn^+$ BY Interior 7 m (Tumpuan) 200
Gambar 5.75 Grafik Perbandingan Luas Tulangan Lentur BY Interior 7 m (Tumpuan) 201
Gambar 5.76 Grafik Perbandingan $Mn^-$ BY Interior 7 m (Lapangan) 201
Gambar 5.77 Grafik Perbandingan $Mn^+$ BY Interior 7 m (Lapangan) 202
Gambar 5.78 Grafik Perbandingan Luas Tulangan Lentur BY Interior 7 m (Lapangan) 203

Gambar 5.79 Grafik Perbandingan Luas Sengkang BY Interior 7 m (Tumpuan) 203
Gambar 5.80 Grafik Perbandingan Luas Sengkang BY Interior 7 m (Lapangan) 204
Gambar 5.81 Grafik Perbandingan $Mn^-$ BY Interior 2 m (Tumpuan) 205
Gambar 5.82 Grafik Perbandingan $Mn^+$ BY Interior 2 m (Tumpuan) 205
Gambar 5.83 Grafik Perbandingan Luas Tulangan Lentur BY Interior 2 m (Tumpuan) 206
Gambar 5.84 Grafik Perbandingan $Mn^-$ BY Interior 2 m (Lapangan) 207
Gambar 5.85 Grafik Perbandingan $Mn^+$ BY Interior 2 m (Lapangan) 207
Gambar 5.86 Grafik Perbandingan Luas Tulangan Lentur BY Interior 2 m (Lapangan) 208
Gambar 5.87 Grafik Perbandingan Luas Sengkang BY Interior 2 m (Tumpuan) 209
Gambar 5.88 Grafik Perbandingan Luas Sengkang BY Interior 2 m (Lapangan) 209
Gambar 5.89 Tinjauan Kolom Tepi dan Kolom Tengah Bentang 210
Gambar 5.90 Pengecekan Terhadap Gaya Dalam Aksial-Lentur Kolom Tepi Lantai 1-3 214
Gambar 5.91 Pemodelan $f_{pr}$ = 1,25 $f_y$ menggunakan *spColumn* v6.0 218

# DAFTAR LAMPIRAN


**Lampiran 1** Denah Bangunan Lantai 1 (Tampak Atas)

**Lampiran 2** Denah Bangunan Lantai 2 s.d. Lantai 10 (Tampak Atas)

**Lampiran 3** Detail Balok BX Exterior 7 m (Lantai 1-3)

**Lampiran 4** Detail Balok BX Exterior 7 m (Lantai 4-6)

**Lampiran 5** Detail Balok BX Exterior 7 m (Lantai 7-9)

**Lampiran 6** Detail Balok BX Exterior 7 m (Lantai 10)

**Lampiran 7** Detail Balok BX Exterior 4 m (Lantai 1-3)

**Lampiran 8** Detail Balok BX Exterior 4 m (Lantai 4-6)

**Lampiran 9** Detail Balok BX Exterior 4 m (Lantai 7-9)

**Lampiran 10** Detail Balok BX Exterior 4 m (Lantai 10)

**Lampiran 11** Detail Balok BY Exterior 7 m (Lantai 1-3)

**Lampiran 12** Detail Balok BY Exterior 7 m (Lantai 4-6)

**Lampiran 13** Detail Balok BY Exterior 7 m (Lantai 7-9)

**Lampiran 14** Detail Balok BY Exterior 7 m (Lantai 10)

**Lampiran 15** Detail Balok BY Exterior 2 m (Lantai 1-3)

**Lampiran 16** Detail Balok BY Exterior 2 m (Lantai 4-6)

**Lampiran 17** Detail Balok BY Exterior 2 m (Lantai 7-9)

**Lampiran 18** Detail Balok BY Exterior 2 m (Lantai 10)

**Lampiran 19** Detail Balok BX Interior 7 m (Lantai 1-3)

**Lampiran 20** Detail Balok BX Interior 7 m (Lantai 4-6)

**Lampiran 21** Detail Balok BX Interior 7 m (Lantai 7-9)

**Lampiran 22** Detail Balok BX Interior 7 m (Lantai 10)

**Lampiran 23** Detail Balok BX Interior 4 m (Lantai 1-3)

**Lampiran 24** Detail Balok BX Interior 4 m (Lantai 4-6)

**Lampiran 25** Detail Balok BX Interior 4 m (Lantai 7-9)

**Lampiran 26** Detail Balok BX Interior 4 m (Lantai 10)

**Lampiran 27** Detail Balok BY Interior 7 m (Lantai 1-3)

**Lampiran 28** Detail Balok BY Interior 7 m (Lantai 4-6)

**Lampiran 29** Detail Balok BY Interior 7 m (Lantai 7-9)
**Lampiran 30** Detail Balok BY Interior 7 m (Lantai 10)
**Lampiran 31** Detail Balok BY Interior 2 m (Lantai 1-3)
**Lampiran 32** Detail Balok BY Interior 2 m (Lantai 4-6)
**Lampiran 33** Detail Balok BY Interior 2 m (Lantai 7-9)
**Lampiran 34** Detail Balok BY Interior 2 m (Lantai 10)

# DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

$A_g$ = luas bruto penampang beton, $mm^2$. Untuk penampang berlubang, $A_g$ adalah luas beton saja dan tidak termasuk luas lubang

$A_s$ = luas tulangan tarik longitudinal non-prategang, $mm^2$

$A_s'$ = luas tulangan tekan, $mm^2$

$A_v$ = luas tulangan geser berspasi s, $mm^2$

$b_w$ = lebar badan (*web*), tebal dinding, atau diameter penampang lingkaran, mm

$c_1$ = dimensi kolom persegi atau persegi ekivalen, kapital (*capital*), atau brakit (*bracket*) yang diukur dalam arah bentang dimana momen ditentukan, mm

$c_2$ = dimensi kolom persegi atau persegi ekivalen, kapital (*capital*), atau brakit (*bracket*) yang diukur dalam arah tegak lurus terhadap $c_1$, mm

$C_s$ = koefisien respons gempa

$DL$ = beban mati, atau momen dan gaya dalam yang terkait

$d$ = jarak dari serat tekan terjauh ke pusat tulangan tarik longitudinal, mm

$d'$ = jarak dari serat tekan terjauh ke pusat tulangan tekan longitudinal, mm

$E$ = pengaruh gempa, atau momen dan gaya dalam yang terkait

$E_c$ = modulus elastisitas beton, MPa

$E_h$ = pengaruh gaya gempa horisontal

$E_s$ = modulus elastisitas tulangan dan baja struktural, MPa

$E_v$ = pengaruh gaya gempa vertikal

$F_a$ = koefisien situs untuk perioda pendek (pada perioda 0,2 detik)

$f'_c$ = kekuatan tekan beton yang disyaratkan, MPa

$f_s$ = tegangan tarik yang dihitung dalam tulangan saat beban layan, MPa

$F_v$ = koefisien situs untuk perioda panjang (pada perioda 1 detik),

$f_y$ = kekuatan leleh tulangan yang disyaratkan, MPa

$f_{yt}$ = kekuatan leleh tulangan transversal yang disyaratkan fy, MPa

$h$ = tebal atau tinggi keseluruhan komponen struktur, mm

$h_{sx}$ = tinggi dari dasar sampai tingkat x, m

$h_w$ = tinggi dinding keseluruhan dari dasar ke tepi atas atau tinggi bersih segmen dinding atau pier dinding yang ditinjau, mm

$I$ = momen inersia penampang terhadap sumbu pusat, $mm^4$

$I_b$ = momen inersia penampang bruto balok terhadap sumbu pusat, $mm^4$

$I_e$ = faktor keutamaan gempa

$I_g$ = momen inersia penampang beton bruto terhadap sumbu pusat, yang mengabaikan tulangan, $mm^4$

$\ell n$ = panjang bentang bersih yang diukur muka ke muka tumpuan, mm

$LL$ = beban hidup, atau momen dan gaya dalam yang terkait

$M_n$ = kekuatan lentur nominal pada penampang, Nmm

$M_{kap}$ = kekuatan lentur mungkin komponen struktur, dengan atau tanpa beban aksial, yang ditentukan menggunakan properti komponen struktur pada muka joint yang mengasumsikan tegangan tarik dalam batang tulangan longitudinal sebesar paling sedikit $1{,}25f_y$ dan faktor reduksi kekuatan, $\phi$ , sebesar 1.0, Nmm

$M_u$ = momen terfaktor pada penampang, Nmm

$M_1$ = momen ujung terfaktor yang lebih kecil pada komponen struktur tekan, diambil sebagai positif jika komponen struktur dibengkokkan dalam kurvatur tunggal, dan negatif jika dibengkokkan dalam kurvatur ganda, Nmm

$M_2$ = momen ujung terfaktor yang lebih besar pada komponen struktur tekan. Jika pembebanan transversal terjadi di antara tumpuan, *M2* diambil sebagai momen terbesar yang terjadi dalam komponen struktur, Nmm

n = jumlah benda, seperti uji kekuatan, batang tulangan, kawat, alat angkur strand tunggal (monostrand), angkur, atau lengan kepala geser (shearhead)

$P_u$ = gaya aksial terfaktor; diambil sebagai positif untuk tekan dan negatif untuk tarik, N

$q_D$ = beban mati terfaktor per satuan luas

$q_L$ = beban hidup terfaktor per satuan luas

$q_u$ = beban terfaktor per satuan luas

$Q_E$ = pengaruh gaya gempa horisontal

$R$ = koefisien modifikasi respons

$R$ = beban hujan, atau momen dan gaya dalam yang terkait

s = spasi pusat ke pusat suatu benda, misalnya tulangan longitudinal, tulangan transversal, tendon, kawat atau angkur prategang, mm

$S_S$ = parameter percepatan respons spektral $M_{CE}$ dari peta gempa pada perioda pendek, redaman 5 persen

$S_1$ = parameter percepatan respons spektral $M_{CE}$ dari peta gempa pada perioda 1 detik, redaman 5 persen

$S_{DS}$ = parameter percepatan respons spektral pada perioda pendek, redaman 5 persen

$S_{D1}$ = parameter percepatan respons spektral pada perioda 1 detik, redaman 5 persen

$S_{MS}$ = parameter percepatan respons spektral $M_{CE}$ pada perioda pendek yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs

$S_{M1}$ = percepatan percepatan respons spektral $M_{CE}$ pada perioda 1 detik yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs

$T$ = perioda fundamental bangunan

$V$ = geser desain total di dasar struktur dalam arah yang ditinjau

$V_c$ = kekuatan geser nominal yang disediakan oleh beton, N

$V_s$ = kekuatan geser nominal yang disediakan oleh tulangan geser, N

$V_u$ = gaya geser terfaktor pada penampang, N

$W$ = beban angin, atau momen dan gaya dalam yang terkait

$W$ = berat seismik efektif bangunan

$W_u$ = beban terfaktor per satuan panjang balok atau pelat satu arah

$\alpha$ = sudut yang menentukan orientasi tulangan

$\beta_1$ = faktor yang menghubungkan tinggi blok tegangan tekan persegi ekivalen dengan tinggi sumbu netral

$\delta s$ = faktor pembesaran momen untuk rangka yang tidak di-breising (*braced*) terhadap simpangan, untuk mencerminkan *drift* lateral yang dihasilkan dari beban lateral dan gravitasi

$\lambda$ = faktor modifikasi yang merefleksikan properti mekanis tereduksi dari beton

ringan, semuanya relatif terhadap beton normal dengan kuat tekan yang sama

$\rho$ = rasio $A_s$ terhadap $bd$

$\rho$ = faktor redundansi struktur

$\phi$ = faktor reduksi kekuatan

# ABSTRAK

Standar perencanaan di Indonesia mengalami pembaharuan dari tahun ke tahun. Pembaharuan terakhir dari standar perencanaan untuk struktur beton bertulang yaitu SNI 2847:2013 yang dimana standar tersebut menggantikan standar sebelumnya yaitu SNI 03-2847-2002. Terdapat beberapa perubahan pada SNI 2847:2013 yang seharusnya dipahami oleh pelaku teknis pada bidang struktur, terutama seorang perencana struktur. Salah satu perubahan yang mendasar pada SNI 2847:2013 yaitu dalam hal perencanaan komponen struktur lentur, yang dimana didasarkan pada regangan tarik *netto* dari tulangan baja tarik terluar ($\varepsilon t$). Berdasarkan nilai $\varepsilon t$, maka suatu penampang struktur lentur dapat dikategorikan sebagai penampang terkendali tarik, tekan, atau berada dalam zona transisi. Sedangkan pada SNI 03-2847-2002, nilai $\phi$ ditentukan seragam sebesar 0,8 sedangkan pada SNI 2847:2013 nilai $\phi$ diperbolehkan diambil sebesar 0,90 jika $\varepsilon t$ mencapai 0,005 atau lebih dan direduksi secara linier hingga $\varepsilon t$ mencapai batas minimum yang diizinkan sebesar 0,004.

Metode analisis yang digunakan adalah dengan menganalisis struktur menggunakan bantuan *software SAP2000* versi 21.1.0 dalam *input* pembebanan. Dalam analisis beban gempa menggunakan standar SNI 1726:2012, pembebanan pada gedung menggunakan standar SNI 1727:2013, dan untuk analisis dan desain balok menggunakan SNI 03-2847-2002 dan SNI 2847:2013.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa momen nominal yang dihasilkan berdasarkan SNI 2847:2013 relatif lebih besar dibandingkan SNI 03-2847-2002 dengan selisih terbesar yaitu 20,48649686% pada momen nominal positif ($M_n^+$) daerah lapangan. Sedangkan untuk jumlah luas kebutuhan tulangan lentur dan sengkang, SNI 2847:2013 membutuhkan relatif lebih sedikit luas kebutuhan tulangan dengan selisih terbesar yaitu 20,22160665% untuk luas tulangan lentur daerah lapangan dan 50% untuk luas sengkang daerah tumpuan.

**Kata kunci**: SNI 03-2847-2002, SNI 2847:2013, momen nominal, luas tulangan lentur, luas sengkang

# *ABSTRACT*

*Planning standards in Indonesia have been updated from year to year. The last update of the planning standard for reinforced concrete structures is SNI 2847: 2013 which replaces the previous standard SNI 03-2847-2002. There are some changes to SNI 2847: 2013 that should be understood by technical actors in the field of structure, especially a structural planner. One of the fundamental changes in SNI 2847: 2013 is in the case of planning flexible structural components, which are based on the net tensile strain of the outermost tensile steel reinforcement (εt). Based on the εt value, a cross-section of a flexible structure can be categorized as a controlled, compressed, or cross-section in a transition zone. Whereas in SNI 03-2847-2002, the value of $\phi$ is uniformly determined at 0.8 while in SNI 2847: 2013 the value of $\phi$ is allowed to be taken at 0.90 if εt reaches 0.005 or more and is reduced linearly until εt reaches the minimum allowable limit of 0.004.*

*The analytical method used is to analyze the structure using the help of SAP2000 software version 21.1.0 in the input loading. In seismic load analysis using SNI 1726: 2012 standard, loading on buildings uses SNI 1727: 2013 standard, and for beam analysis and design using SNI 03-2847-2002 and SNI 2847: 2013.*

*The results of this study indicate that the nominal moment produced based on SNI 2847: 2013 is relatively greater than SNI 03-2847-2002 with the biggest difference of 20,48649686% at the positive nominal moment ($M_n^+$) of the field area. As for the total area of flexural reinforcement and confinement reinforcement needs, SNI 2847: 2013 requires relatively less area of reinforcement needs with the largest difference of 20,22160665% for flexural reinforcement area of the field and 50% for the support of confinement area.*

***Keywords**: SNI 03-2847-2002, SNI 2847: 2013, nominal moment, bending reinforcement area, confinement area*

# BAB I
# PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Beberapa tahun kebelakang ini, terdapat berbagai macam bencana alam di Indonesia, terutama bencana gempa. Hal ini tidak dapat dipungkiri dikarenakan Indonesia merupakan salah satu negara kepulauan yang berada di pertemuan tiga buah lempeng dunia, yaitu lempeng Indo-Australia, lempeng Eurasia, dan lempeng Pasifik. Kemudian Indonesia juga berada di jalur *Pacific Ring of Fire* yang dimana merupakan jalur rangkaian gunung berapi aktif di dunia. Terjadinya gempa tidak dapat diprediksi secara pasti berdasarkan tempat dan waktu, maka dari itu diharuskan adanya sistem pemberitahuan dini akan bahaya gempa.

Prinsip dari suatu perencanaan struktur gedung yaitu dapat menghasilkan suatu bangunan yang aman, kuat, nyaman, efisien, serta ekonomis. Suatu konstruksi gedung harus mampu menahan gaya dan beban yang bekerja pada struktur tersebut dan tahan gempa, sehingga gedung aman dalam jangka waktu yang telah direncanakan serta dapat meminimalisir adanya korban jiwa dan antisipasi terjadinya keruntuhan bangunan tersebut saat terjadi gempa.

Salah satu komponen penting pada suatu gedung adalah beton bertulang. Beton bertulang (*reinforced concrete*) tersusun dari bahan beton dan baja tulangan (*reinforcement*). Antara kedua bahan ini terjadi ikatan/lekatan (*bond*) yang kuat, sehingga membentuk satu kesatuan bahan yang disebut sebagai bahan komposit. Beton mempunyai kekuatan yang besar dalam menahan gaya tekan (*compression*), namun lemah dalam menahan gaya tarik (*tension*). Pada struktur beton bertulang, bagian beton yang menahan gaya tarik diperkuat atau digantikan oleh baja tulangan.

Badan Standarisasi Nasional (BSN) telah menyesuaikan perencanaan dan perancangan dari tahun ke tahun. Pedoman standar yang mengatur perencanaan dan pelaksanaan beton bertulang dimulai dari Peraturan Beton Indonesia 1955 (PBI 1955), kemudian Peraturan Beton Indonesia 1971 (PBI 1971), SNI 03-2847-2002, dan yang terakhir yaitu SNI 2847:2013.

Bidang teknik sipil merupakan salah satu bidang ilmu rekayasa yang menuntut pekerjaan yang cepat, tepat, dan efisien, namun tetap harus mengutamakan unsur keselamatan. Meskipun Badan Standarisasi Nasional (BSN) sudah mengeluarkan pedoman standar terbaru yaitu SNI 2847:2013, akan tetapi masih banyak perencana di bidang teknik sipil dalam mendesain struktur beton bertulang menggunakan SNI 03-2847-2002. Seharusnya secara hukum, SNI 03-2847-2002 tidak boleh dipakai kembali ketika standar yang baru yaitu SNI 2847:2013 telah diresmikan.

Berdasarkan latar belakang ini, maka diperlukan peninjauan kembali terhadap hasil analisis struktur beton bertulang berdasarkan SNI 03-2847-2002 dan SNI 2847:2013. Peninjauan ini menggunakan bantuan aplikasi *SAP2000* versi 21.1.0.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana perbandingan hasil perhitungan momen nominal pada balok beton bertulang SNI 03-2847-2002 dan SNI 2847:2013 ?
2. Bagaimana perbandingan hasil perencanaan tulangan lentur pada balok beton bertulang berdasarkan SNI 03-2847-2002 dan SNI 2847:2013 ?
3. Bagaimana perbandingan hasil perencanaan tulangan geser pada balok beton bertulang berdasarkan SNI 03-2847-2002 dan SNI 2847:2013 ?
4. Apakah perencanaan penulangan kolom pada bangunan gedung ini mampu memikul momen nominal balok dan sudah memenuhi konsep SCWB (*Strong Column Weak Beam*) dan memenuhi persyaratan rasio tulangan ?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Dari permasalahan yang disebutkan diatas, tujuan penelitian yang ingin dicapai adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui dan membandingkan hasil perhitungan momen nominal pada balok beton bertulang berdasarkan SNI 03-2847-2002 dan SNI 2847:2013.

2. Untuk mengetahui dan membandingkan hasil perencanaan tulangan lentur pada balok beton bertulang berdasarkan SNI 03-2847-2002 dan SNI 2847:2013.
3. Untuk mengetahui dan membandingkan hasil perencanaan tulangan geser pada balok beton bertulang berdasarkan SNI 03-2847-2002 dan SNI 2847:2013.

### 1.4 Manfaat Penelitian

Dengan dilakukannya penelitian ini, maka diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Mengetahui perbandingan hasil perhitungan analisa struktur beton bertulang antara SNI 03-2847-2002 dan SNI 2847:2013.
2. Memberikan informasi serta gambaran mengenai perbandingan hasil perencanaan penulangan berdasarkan SNI 03-2847-2002 dan SNI 2847:2013.
3. Sebagai acuan dan bahan referensi bagi penelitian selanjutnya, dengan menambahkan pengetahuan yang lebih khusus tentang struktur beton bertulang bagi semua kalangan baik *civitas academica*, konsultan, kontraktor, maupun masyarakat luas pada umumnya.

### 1.5 Batasan Penelitian

Batasan penelitian ini dimaksudkan agar penelitian sesuai dengan sasaran yang ditinjau serta tidak menyimpang dari tujuan penelitian. Batasan penelitian diantaranya sebagai berikut:

1. Persyaratan perencanaan beton struktural mengacu pada peraturan SNI 03-2847-2002 dan SNI 2847:2013.
2. Persyaratan perencanaan ketahanan gempa mengacu pada peraturan SNI 1726:2012.
3. Persyaratan perencanaan pembebanan untuk perancangan gedung mengacu pada peraturan SNI 1727:2013.
4. Pemodelan struktur menggunakan aplikasi *SAP2000* versi 21.1.0 dalam 3 dimensi. Pemodelan dilakukan untuk mengetahui gaya dalam yang bekerja,

selanjutnya dari data tersebut dapat merancang kebutuhan dimensi elemen struktur.

5. Mutu material beton dan tulangan yang digunakan adalah sebagai berikut:
   pelat lantai dan pelat atap, $f'_c$ = 25 MPa
   balok dan kolom, $f'_c$ = 35 MPa
   tulangan diameter ≤ 12 mm, $f_y$ = 380 MPa
   tulangan diameter > 12 mm, $f_y$ = 400 MPa
6. Bentuk bangunan menggunakan pemodelan sendiri 10 lantai dengan jarak tiap lantai sebesar 3,5 meter.
7. Perhitungan analisis beban akibat gempa yang digunakan adalah beban gempa dengan metode analisis respon spektrum pada wilayah Mataram, NTB dengan asumsi jenis tanah pada lokasi gedung adalah tanah sedang.
8. Pembebanan hanya meninjau akibat beban mati, beban hidup, dan beban gempa.
9. Perancangan dilakukan terhadap elemen struktur yang meliputi balok induk dan kolom, tidak termasuk balok anak, pelat, *shear wall* dan pondasi.
10. Tidak meliputi Rencana Anggaran Biaya (RAB).
11. Tidak meliputi perencanaan detail sambungan dan profil atap.

# BAB II
# TINJAUAN PUSTAKA

## 2.1 Tinjauan Umum

Pada BAB I telah disebutkan mengenai latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan batasan penelitian. Sebagai bahan pertimbangan dan bahan referensi untuk penelitian, maka pada BAB II ini akan dijelaskan mengenai hasil penelitian yang sejenis dan yang sudah pernah dilakukan sekaligus untuk menghindari adanya duplikasi pada penelitian. Karya proposal Tugas Akhir penulis adalah original dan tidak plagiat dari orang lain.

## 2.2 Penelitian Sebelumnya

Hasil penelitian sebelumnya yang berhubungan dengan penelitian ini akan dijelaskan dibawah ini. Isi dari tinjauan pustaka yaitu membuktikan dan mengetahui tentang penelitian terdahulu sebagai acuan dari penulis.

1. Studi Perbandingan Persyaratan Beton Pratekan Menggunakan SNI 03-2847-2002 dan SNI 2847:2013 dengan Tinjauan Gempa, Alfreda, Freddy (2016). Tujuan dari penelitian ini yaitu membandingkan persyaratan struktur beton prategang antara SNI 03-2847-2002 dan SNI 2847:2013 serta menganalisa dan merencanakan beton prategang pasca tarik sesuai SNI 03-2847-2002 dan SNI 2847:2013. Hasil penelitian ini menunjukkan penggunaan prategang ini juga didasari oleh efisiensi yang mampu diberikan balok prategang dibandingkan beton bertulang biasa. Prategang yang menggantikan balok beton bertulang biasa mampu menghemat berat tiap lantai sehingga dapat mengurangi beban gempa yang terjadi. Pada akhirnya dapat memperkecil struktur rangkanya. Antara SNI 03-2847-2002 dan SNI 2847:2013 kelas U tidak ada perubahan banyak dalam mendapatkan gaya prategang awal (Fo) sehingga jumlah strand yang digunakan jumlahnya hampir sama. Sedangkan SNI 2847:2013 kelas T dan C mempunyai gaya prategang awal (Fo) yang berbeda jauh dengan SNI 03-2847-2002 dan SNI 2847:2013 kelas U karena syarat tegangan yang

diijinkan tidak seketat SNI 03- 2847-2002 dan SNI 2847:2013 kelas U. Jadi SNI 2847:2013 kelas T dan C memberikan keleluasaan pada perencana untuk menggunakan jumlah strand yang lebih sedikit.

2. Studi Komparasi Perancangan Struktur Gedung Berdasarkan SNI 03-2847-2002 dan SNI 2847:2013 dengan SNI 03-1726-2012 (Studi Kasus: Apartemen 11 Lantai Malioboro City Yogyakarta), Paramita, Andini (2016). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan hasil rancangan struktur gedung menggunakan SNI 03-2847-2002 dan SNI 2847:2013 pada gedung apartemen 11 lantai Malioboro City Yogyakarta menggunakan aplikasi *SAP2000* versi 14.0.0. Pada studi kasus ini perencana gedung apartemen tersebut menggunakan SNI lama yaitu SNI 03-2847-2002. Hasil penelitian menunjukkan terdapat perbedaan hasil yang cukup signifikan antara perencanaan menggunakan SNI beton yang lama dengan SNI beton yang baru. Hasil perhitungan penulangan lentur balok menggunakan peraturan SNI 2847:2013 diperoleh jumlah tulangan yang lebih banyak dengan selisih 0,176% untuk lentur di tumpuan balok dan 2,493% untuk lentur di lapangan balok. Untuk penulangan geser balok di tumpuan dan lapangan juga mengalami peningkatan dengan selisih sebesar 29,866%, dan 6,459%. Dari perencanaan analisis kolom pada penulangan lentur menggunakan peraturan SNI 2847:2013 diperoleh jumlah penulangan lebih banyak dibandingkan dengan perencanaan penulangan dengan peraturan SNI 03 – 2847 – 2002 yaitu dengan selisih 17,803%, sedangkan untuk perencanaan tulangan geser kolom mengalami pengurangan jumlah penulangan pada tumpuan maupun lapangan yaitu dengan selisih 15,515%. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor, diantaranya gaya geser yang dihasilkan akibat kombinasi pembebanan gempa dengan standar lama lebih kecil dari gaya geser dasar akibat kombinasi pembebanan gempa dengan standar baru dan beberapa balok dan kolom dengan perencanaan standar yang baru mengalami perubahan dimensi dari kondisi *existing* yang dipakai di perencanaan standar lama.
3. Perbandingan Analisa Perhitungan Beton Struktural pada Proyek Pembangunan Gedung F Universitas Pekalongan, Pangestuti, Endah Kanti

(2016). Tujuan dari penelitian ini adalah membandingkan tata cara perhitungan struktur beton SK SNI T-15-1991-03 dan untuk mengetahui tata cara yang diperbaharui pada SNI 2847:2013. Hasil penelitian ini menunjukkan pada perhitungan struktur atas terjadi kenaikan terhadap dimensi balok dan kolom yaitu sebesar 1,43%. Perhitungan analisis dengan menggunakan program *SAP2000* v.17 dan menghasilkan dimensi yang lebih besar menunjukkan bahwa elemen struktur Gedung F Universitas Pekalongan ini aman secara analisis dengan pembebanan gempa.

4. Perbandingan Perhitungan Struktur Bangunan Gedung Hotel Sala View yang Berpedoman pada SNI 1726-2002 dan SNI 1726-2012, Chadaffi, Muchamad (2017). Tujuan penelitian ini untuk mengetahui perbedaan perhitungan gaya geser dasar, *output* gaya dalam, dan penulangan struktur bangunan gedung Hotel Sala View di Solo Jawa Tengah 8 lantai antara menggunakan SNI 1726 – 2002 dan SNI 1726 – 2012. Hasil dari penelitian ini menunjukkan nilai puncak percepatan respon spektrum SNI 1726-2002 dan SNI 1726-2012 mengalami peningkatan sebesar 9,1% pada titik puncaknya, nilai koefisien respon seismik mengalami peningkatan sebesar 18% dari SNI 1726-2002 terhadap SNI 1726-2012, peningkatan $V_{statik}$ SNI 1726-2002 terhadap SNI 1726-2012 sebesar 18%, peningkatan perpindahan tiap lantai rata-rata sampai dengan 60%. Dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa akibat perubahan peraturan gempa terbaru SNI 1726-2012 membuat gaya geser dasar menjadi lebih besar dibanding SNI 1726-2002, maka dari hal tersebut mengakibatkan perlunya peninjauan ulang bangunan-bangunan yang sudah berdiri untuk dikaji ulang menggunakan peraturan terbaru.
5. Analisis Perbandingan Respon Struktur Akibat Beban Gempa Dinamik pada Gedung Bertingkat menurut SNI 03-1726-2002 dan SNI 03-1726-2012 (Studi Kasus: Gedung Bank Mandiri Syariah Yogyakarta), Haryata, Budi Agung (2018). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai gaya geser dasar yang terjadi berdasarkan SNI 03-1726-2002 dan SNI 03-1726-2012 serta mengetahui nilai simpangan dan simpangan antar lantai yang terjadi pada struktur bangunan gedung berdasarkan SNI 03-1726-2002 dan SNI 03-1726-

2012. Hasil penelitian menunjukkan gaya geser yang dialami gedung Bank Mandiri Syariah Yogyakarta menurut SNI 03-1726-2012 lebih besar dibandingkan gaya geser menurut SNI 03-1726-2002 namun masih memenuhi syarat masing-masing standar. Peningkatan gaya geser untuk akselorogram *Elnashay*, *El Centro* dan *Bucharest* secara berurutan sebesar 9,37 %, 5,67 %, dan 10,73 % dari gaya geser dasar menurut SNI 03-1726-2002, simpangan per lantai menurut SNI 03- 1726-2012 memiliki nilai lebih besar dibandingkan dengan nilai simpangan perlantai SNI 03-1726-2002, Simpangan antar lantai menurut SNI 03- 1726-2012 memiliki nilai lebih besar dibandingkan dengan nilai simpangan dan simpangan antar lantai menurut SNI 03- 1726-2002 namun masih memenuhi syarat masing – masing standar. Berdasarkan penelitian ini, gedung Bank Mandiri Syariah masih memenuhi ketentuan masing-masing standar. Apabila gedung Bank Mandiri Syariah dirancang untuk gedung daktail dianjurkan menggunakan SNI 03-1726- 2002. Hal tersebut dikarenakan nilai simpangan perlantai dan simpangan antar lantai menurut SNI 03-1726-2002 lebih kecil dari SNI 03-1726-2012.

## 2.3 Persamaan dan Perbedaan Penelitian yang Dilakukan

Penelitian yang akan dilakukan penulis dengan judul “Perbandingan Hasil Analisa Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SNI 03-2847-2002 dan SNI 2847:2013 pada Bangunan Gedung Bertingkat Banyak” memiliki persamaan maupun perbedaan dengan penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Perbandingan penelitian sebelumnya dapat dilihat pada Tabel 2.1.

**Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Sebelumnya**

| No. | Peneliti | Judul Penelitian | Tujuan dan Hasil Penelitian |
|---|---|---|---|
| 1. | Alfreda, Freddy (2016) | Studi Perbandingan Persyaratan Beton Pratekan Menggunakan SNI 03-2847-2002 dan SNI 2847:2013 dengan Tinjauan Gempa | - Membandingkan persyaratan struktur beton prategang antara SNI 03-2847-2002 dan SNI 2847:2013<br>- Menganalisa dan merencanakan beton prategang pasca tarik sesuai SNI 03-2847-2002 dan SNI 2847:2013<br>- Menggunakan beton prategang. Hasil penelitian prategang yang menggantikan balok beton bertulang biasa mampu menghemat berat tiap lantai sehingga dapat mengurangi beban gempa yang terjadi |
| 2. | Paramita, Andini (2016) | Studi Komparasi Perancangan Struktur Gedung Berdasarkan SNI 03-2847-2002 dan SNI 2847:2013 dengan SNI 03-1726-2012 (Studi Kasus: Apartemen 11 Lantai Malioboro City Yogyakarta) | - Mengetahui perbandingan hasil rancangan struktur gedung menggunakan SNI 03-2847-2002 dan SNI 2847:2013 pada gedung apartemen 11 lantai Malioboro City Yogyakarta menggunakan aplikasi *SAP2000* versi 14.0.0<br>- Hasil penelitian menunjukkan terdapat perbedaan hasil yang cukup signifikan antara perencanaan menggunakan SNI beton yang lama dengan SNI beton yang baru |

**Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Sebelumnya**

| No. | Peneliti | Judul Penelitian | Tujuan dan Hasil Penelitian |
|---|---|---|---|
| 3. | Pangestuti, Endah Kanti (2016) | Perbandingan Analisa Perhitungan Beton Struktural pada Proyek Pembangunan Gedung F Universitas Pekalongan | - Membandingkan tata cara perhitungan struktur beton SK SNI T-15-1991-03<br>- Mengetahui tata cara yang diperbaharui pada SNI 2847:2013<br>- Hasil perhitungan struktur atas terjadi kenaikan terhadap dimensi balok dan kolom yaitu sebesar 1,43%. Perhitungan analisis dengan menggunakan program *SAP2000* v.17 dan menghasilkan dimensi yang lebih besar |
| 4. | Chadaffi, Muchamad (2017) | Perbandingan Perhitungan Struktur Bangunan Gedung Hotel Sala View yang Berpedoman pada SNI 1726-2002 dan SNI 1726-2012 | - Mengetahui perbedaan perhitungan gaya geser dasar, *output* gaya dalam, dan penulangan struktur bangunan gedung Hotel Sala View di Solo Jawa Tengah 8 lantai antara menggunakan SNI 1726 – 2002 dan SNI 1726 – 2012<br>- Akibat perubahan peraturan gempa terbaru SNI 1726-2012 membuat gaya geser dasar menjadi lebih besar dibanding SNI 1726-2002, maka dari hal tersebut mengakibatkan perlunya peninjauan ulang bangunan-bangunan yang sudah berdiri untuk dikaji ulang menggunakan peraturan terbaru |

**Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Sebelumnya**

| No. | Peneliti | Judul Penelitian | Tujuan dan Hasil Penelitian |
|---|---|---|---|
| 5. | Haryata, Budi Agung (2018) | Analisis Perbandingan Respon Struktur Akibat Beban Gempa Dinamik pada Gedung Bertingkat menurut SNI 03-1726-2002 dan SNI 03-1726-2012 (Studi Kasus: Gedung Bank Mandiri Syariah Yogyakarta) | - Mengetahui nilai gaya geser dasar yang terjadi berdasarkan SNI 03-1726-2002 dan SNI 03-1726-2012<br>- Mengetahui nilai simpangan dan simpangan antar lantai yang terjadi pada struktur bangunan gedung berdasarkan SNI 03-1726-2002 dan SNI 03-1726-2012<br>- Gaya geser yang dialami gedung Bank Mandiri Syariah Yogyakarta menurut SNI 03-1726-2012 lebih besar dibandingkan gaya geser menurut SNI 03-1726-2002 namun masih memenuhi syarat masing-masing standar |
| 6. | Widyantara, Azfari Mufti (2019) | Perbandingan Hasil Analisa Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SNI 03-2847-2002 dan SNI 2847:2013 pada Bangunan Gedung Bertingkat Banyak | - Untuk mengetahui dan membandingkan hasil perencanaan momen nominal balok beton bertulang berdasarkan SNI 03-2847-2002 dan SNI 2847:2013<br>- Untuk mengetahui dan membandingkan hasil perencanaan tulangan lentur balok beton bertulang antara SNI 03-2847-2002 dan SNI 2847:2013<br>- Untuk mengetahui dan membandingkan hasil perencanaan tulangan geser balok beton bertulang berdasarkan SNI 03-2847-2002 dan SNI 2847:2013 |

Dari rangkuman penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, dapat dilihat bahwa terdapat beberapa persamaan dan perbedaan penelitian yang dilakukan penulis dengan penelitian-penelitian sebelumnya sebagai berikut:

1. Persamaan dengan penelitian Alfreda, Freddy (2016) adalah membandingkan analisa struktur beton sesuai persyaratan SNI 03-2847-2002 dan SNI 2847:2013. Perbedaannya yaitu pada penelitian tersebut menggunakan jenis beton prategang, sedangkan pada penelitian yang dilakukan penulis menggunakan jenis beton bertulang konvensional.
2. Persamaan dengan penelitian Paramita, Andini (2016) adalah membandingkan analisa struktur beton sesuai persyaratan SNI 03-2847-2002 dan SNI 2847:2013. Perbedaannya yaitu pada penelitian tersebut struktur yang ditinjau pada bangunan gedung Apartemen 11 lantai meliputi struktur balok dan kolom, merupakan bangunan simetris, dan dalam analisa beban gempa menggunakan data wilayah D.I.Yogyakarta, sedangkan pada penelitian yang dilakukan penulis menggunakan bangunan asimetris, dan data gempa berada di wilayah Mataram, NTB.
3. Persamaan dengan penelitian Pangestuti, Endah Kanti (2016) adalah membandingkan analisa struktur beton sesuai persyaratan SNI 2847:2013. Perbedaannya yaitu pada penelitian Pangestuti, Endah Kanti membandingkan antara persyaratan SK SNI T-15-1991-03 dan SNI 2847:2013 pada pembangunan Gedung F Universitas Pekalongan, analisa beban gempa menggunakan data wilayah Pekalongan, Jawa Tengah, sedangkan penelitian yang dilakukan penulis membandingkan antara persyaratan SNI 03-2847-2002 dan SNI 2847:2013, analisa beban gempa menggunakan data wilayah Mataram, NTB.
4. Persamaan dengan penelitian Chadaffi, Muchamad (2017) adalah membandingkan persyaratan SNI lama dengan SNI baru pada suatu bangunan gedung. Perbedaannya yaitu pada penelitian tersebut membandingkan SNI 1726-2002 dan SNI 1726-2012 yang dimana merupakan persyaratan perencanaan ketahanan gempa, sedangkan penelitian yang dilakukan penulis membandingkan SNI 03-2847-2002 dan SNI 2847:2013.

5. Persamaan dengan penelitian Haryata, Budi Agung (2018) adalah membandingkan persyaratan SNI lama dengan SNI baru pada suatu bangunan gedung dan menggunakan beban gempa dinamik. Perbedaannya yaitu pada penelitian tersebut membandingkan SNI 1726-2002 dan SNI 1726-2012 yang dimana merupakan persyaratan perencanaan ketahanan gempa, sedangkan penelitian yang dilakukan penulis membandingkan SNI 03-2847-2002 dan SNI 2847:2013.

# BAB III
# LANDASAN TEORI

## 3.1 Tinjauan Umum

Pada BAB II telah dijelaskan tentang penelitian-penelitian yang sejenis dengan penelitian yang akan dilakukan, pada BAB III ini akan dijelaskan mengenai landasan teori sebagaimana pedoman dalam menyelesaikan masalah-masalah dalam penelitian yang akan dilakukan.

Struktur beton berbeda dengan struktur baja. Elemen-elemen struktur baja umumnya terdiri atas profil baja yang ada di pasaran dan ukurannya tertentu sehingga desain lebih difokuskan pada evaluasi profil tersebut serta sistem sambungan yang dipilih. Sedangkan struktur beton bertulang mempunyai variasi bentuk dan ukuran yang lebih bebas sehingga perencanaan lebih menekankan pemilihan geometri dan konfigurasi tulangan (Wiryanto Dewobroto, 2005)

## 3.2 Pembebanan

Dalam suatu proyek konstruksi, langkah perancangan suatu struktur bangunan harus memenuhi peraturan yang berlaku sehingga diperoleh hasil struktur bangunan yang aman secara konstruksi. Struktur yang dirancang harus dapat menahan beban yang bekerja pada struktur tersebut. Beban tersebut diantaranya beban mati, beban hidup, beban gempa, beban angin, dan kombinasi dari beban-beban tersebut. Berdasarkan persyaratan SNI 1727:2013 mengenai beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain dijelaskan sebagai berikut:

1. Beban mati

   Beban mati adalah berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, *finishing*, klading gedung dan komponen arsitektural dan struktural lainnya serta peralatan layan terpasang lain termasuk berat keran. (SNI 1727:2013 pasal 3.1.1). Berat sendiri bahan bangunan dan berat komponen gedung dapat dilihat pada Tabel 3.1 dan Tabel 3.2 berikut ini.

**Tabel 3.1 Berat Sendiri Bahan Bangunan**

| Bahan Bangunan | Berat Jenis |
|---|---|
| Baja | 7850 kg/m$^3$ |
| Batu alam | 2600 kg/m$^3$ |
| Batu belah, batu bulat, batu gunung (berat tumpuk) | 1500 kg/m$^3$ |
| Batu karang (berat tumpuk) | 700 kg/m$^3$ |
| Batu pecah | 1450 kg/m$^3$ |
| Batu tuang | 7250 kg/m$^3$ |
| Beton | 2200 kg/m$^3$ |
| Beton bertulang | 2400 kg/m$^3$ |
| Kayu (Kelas I) | 1000 kg/m$^3$ |
| Kerikil, koral (kering udara sampai lembab, tanpa diayak) | 1650 kg/m$^3$ |
| Pasangan bata merah | 1700 kg/m$^3$ |
| Pasangan batu belah, batu bulat, batu gunung | 2200 kg/m$^3$ |
| Pasangan batu cetak | 2200 kg/m$^3$ |
| Pasangan batu karang | 1450 kg/m$^3$ |
| Pasir (kering udara sampai lembab) | 1600 kg/m$^3$ |
| Pasir (jenuh air) | 1800 kg/m$^3$ |
| Pasir kerikil, koral (kering udara sampai lembab) | 1850 kg/m$^3$ |
| Tanah, lempung dan lanau (kering udara sampai lembab) | 1700 kg/m$^3$ |
| Tanah, lempung dan lanau (basah) | 2000 kg/m$^3$ |
| Timah hitam (timbel) | 11400 kg/m$^3$ |
| Tanah lempung dan lanau (kering udara sampai lembab) | 1700 kg/m$^3$ |

Sumber: PPPURG (1987)

**Tabel 3.2 Berat Sendiri Komponen Gedung**

| Komponen Gedung | Berat Jenis |
|---|---|
| Adukan, per cm tebal:<br>- dari semen<br>- dari kapur, semen merah atau tras | <br>21 kg/m$^2$<br>17 kg/m$^2$ |
| Aspal, termasuk bahan-bahan mineral penambah per cm tebal | 14 kg/m$^2$ |
| Dinding pasangan bata merah<br>- satu batu<br>- setengah batu | <br>450 kg/m$^2$<br>250 kg/m$^2$ |
| Dinding pasangan batako:<br>Berlubang:<br>- tebal dinding 20 cm (HB 20)<br>- tebal dinding 10 cm (HB 10) | <br><br>200 kg/m$^2$<br>120 kg/m$^2$ |
| Tanpa lubang:<br>- tebal dinding 15 cm<br>- tebal dinding 10 cm | <br>300 kg/m$^2$<br>200 kg/m$^2$ |
| Langit-langit dan dinding (termasuk rusuk-rusuknya tanpa penggantung langit-langit atau pengaku), terdiri dari:<br>- semen asbes (eternit dan bahan lain sejenis), dengan tebal maksimum 4 mm<br>- kaca, dengan tebal 3-5 mm | 11 kg/m$^2$ |
| Lantai kayu sederhana dengan balok kayu, tanpa langit-langit dengan bentang maksimum 5 m dan untuk beban hidup maksimum 200 kg/m$^2$ | 40 kg/m$^2$ |
| Penggantung langit-langit (dari kayu), dengan bentang maksimum 5 m dan jarak s.k.s minimum 0,80 m | 7 kg/m$^2$ |
| Penutup atap genting dengan reng dan usuk/kaso, per m$^2$ bidang atap | 50 kg/m$^2$ |
| Penutup atap sirap dengan reng dan usuk/kaso, per m$^2$ bidang atap | 40 kg/m$^2$ |
| Penutup atap seng gelombang (BJLS-25) tanpa gordeng | 10 kg/m$^2$ |
| Penutup lantai dari ubin semen Portland, teraso dan beton, tanpa adukan, per cm tebal | 24 kg/m$^2$ |
| Semen asbes gelombang (tebal 5 mm) | 11 kg/m$^2$ |
| Langit-langit dan dinding (termasuk rusuk-rusuknya tanpa penggantung langit-langit atau pengaku), terdiri dari:<br>- semen asbes (eternit dan bahan lain sejenis), dengan tebal maksimum 4 mm<br>- kaca, dengan tebal 3-5 mm | <br>11 kg/m$^2$<br><br>10 kg/m$^2$ |

Sumber: PPPURG (1987)

2. Beban hidup

Beban hidup adalah beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung atau struktur lain yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan, seperti beban angin, beban hujan, beban gempa, beban banjir, atau beban mati. (SNI 1727:2013 pasal 4.1). Beban hidup minimum dapat dilihat pada Tabel 3.3 berikut ini.

**Tabel 3.3 Beban Hidup Terdistribusi Merata Minimum, $L_0$ dan Beban Hidup Terpusat Minimum**

| Hunian atau penggunaan | Merata psf (kN/m$^2$) | Terpusat lb (kN) |
|---|---|---|
| Apartemen (lihat rumah tinggal) | | |
| Sistem lantai akses<br>- Ruang kantor<br>- Ruang computer | <br>50 (2,4)<br>100 (4,79) | <br>2000 (8,9)<br>2000 (8,9) |
| Gudang persenjataan dan ruang latihan | 150 (7,18)[a] | |
| Ruang pertemuan<br>Kursi tetap (terikat di lantai)<br>- Lobi<br>- Kursi dapat dipindahkan<br>- Panggung pertemuan<br>- Lantai podium | <br>100 (4,79)[a]<br>100 (4,79)[a]<br>100 (4,79)[a]<br>100 (4,79)[a]<br>150 (7,18)[a] | |
| Balkon dan dek | 1,5 kali beban hidup untuk daerah yang dilayani. Tidak perlu melebihi 100 psf (4,79 kN/m$^2$) | |
| Jalur untuk akses pemeliharaan | 40 (1,92) | 300 (1,33) |
| Koridor<br>- Lantai pertama<br>- Lantai lain | <br>100 (4,79)<br>sama seperti pelayanan hunian kecuali disebutkan lain | |
| Ruang makan dan restoran | 100 (4,79)[a] | |
| Hunian (lihat rumah tinggal) | | |
| Ruang mesin elevator (pada daerah 2 in. x 2 in. [50 mm x 50 mm]) | | 300 (1,33) |

Sumber : SNI 1727:2013

**Lanjutan Tabel 3.3**

| Hunian atau penggunaan | Merata psf (kN/m$^2$) | Terpusat lb (kN) |
|---|---|---|
| Konstruksi pelat lantai *finishing* ringan (pada area 1 in. x 1 in. [25 mm x 25 mm]) | | 200 (0,89) |
| Jalur penyelamatan terhadap kebakaran<br>- Hunian satu keluarga saja | 100 (4,79)<br>40 (1,92) | |
| Tangga permanen | Lihat pasal 4.5 | |
| Garasi/Parkir<br>Mobil penumpang saja<br>Truk dan bus | 40 (1,92) [a,b,c]<br>[c] | |
| Susuran tangga, rel pengaman dan batang pegangan | Lihat pasal 4.5 | |
| Helipad | 60 (2,87)[d,e] tidak boleh direduksi | [e,f,g] |
| Rumah sakit:<br>- Ruang operasi, laboratorium<br>- Ruang pasien<br>Koridor diatas lantai pertama | <br>60 (2,87)<br>40 (1,92)<br>80 (3,83) | <br>1000 (4,45)<br>1000 (4,45)<br>1000 (4,45) |
| Hotel (lihat rumah tinggal) | | |
| Perpustakaan<br>- Ruang baca<br>- Ruang penyimpanan<br>Koridor di atas lantai pertama | <br>60 (2,87)<br>150 (7,18)[a,h]<br>80 (3,83) | <br>1000 (4,45)<br>1000 (4,45)<br>1000 (4,45) |
| Pabrik<br>- Ringan<br>- Berat | <br>125 (6,00)[a]<br>250 (11,97)[a] | <br>2000 (8,90)<br>3000 (13,40) |
| Gedung perkantoran:<br>- Ruang arsip dan komputer yang harus dirancang untuk beban yang lebih berat berdasarkan pada perkiraan hunian<br>- Lobi dan koridor lantai pertama<br>- Kantor<br>- Koridor di atas lantai pertama | <br><br><br><br>100 (4,79)<br>50 (2,40)<br>80 (3,83) | <br><br><br><br>2000 (8,90)<br>2000 (8,90)<br>2000 (8,90) |
| Lembaga hukum<br>- Blok sel<br>- Koridor | <br>40 (1,92)<br>100 (4,79) | |

Sumber: SNI 1727:2013

**Lanjutan Tabel 3.3**

| Hunian atau penggunaan | Merata psf (kN/m$^2$) | Terpusat lb (kN) |
|---|---|---|
| Tempat rekreasi<br>- Tempat bowling, Kolam renang, dan penggunaan yang sama<br>Bangsal dansa dan Ruang dansa<br>Gimnasium<br>Tempat menonton baik terbuka atau tertutup<br>- Stadium dan tribun/arena dengan tempat duduk tetap (terikat pada lantai) | <br>75 (3,59)[a]<br>100 (4,79)[a]<br>100 (4,79)[a]<br>100 (4,79)[a,k]<br>60 (2,87)[a,k] | |
| Rumah tinggal<br>- Hunian (satu keluarga dan dua keluarga)<br>- Loteng yang tidak dapat didiami tanpa gudang<br>- Loteng yang tidak dapat didiami dengan gudang<br>- Loteng yang dapat didiami dengan ruang tidur<br>- Semua ruang kecuali tangga dan balkon<br>Semua hunian rumah tinggal lainnya<br>- Ruang pribadi dan koridor yang melayani mereka<br>- Ruang publik[a] dan koridor yang melayani mereka | <br><br>10 (0,48)[l]<br>20 (0,96)[m]<br>30 (1,44)<br>40 (1,92)<br><br>40 (1,92)<br>100 (4,79) | |
| Atap<br>Atap datar, berbubung, dan lengkung<br>Atap digunakan untuk taman atap<br>Atap yang digunakan untuk tujuan lain<br><br><br>Atap yang digunakan untuk hunian lainnya<br>Awning dan kanopi<br>Konstruksi pabrik yang didukung oleh struktur rangka kaku ringan<br>Rangka tumpu layar penutup | <br>20 (0,96)n<br>100 (4,79)<br>Sama seperti hunian dilayani[a]<br><br><br>5 (0,24) tidak boleh direduksi<br><br>5 (0,24) tidak boleh direduksi dan berdasarkan luas tributari dari atap yang ditumpu oleh rangka | [l]<br><br><br><br><br><br>200 (0,89) |

Sumber: SNI 1727:2013

**Lanjutan Tabel 3.3**

| Hunian atau penggunaan | Merata psf (kN/m$^2$) | Terpusat lb (kN) |
|---|---|---|
| Semua konstruksi lainnya | 20 (0,96) | 2000 (8,9) |
| Komponen struktur atap utama, yang terhubung langsung dengan pekerjaan lantai | | |
| Titik panel tunggal dari batang bawah rangka atap atau setiap titik sepanjang komponen struktur utama yang mendukung atap diatas pabrik, gudang, dan perbaikan garasi | | 300 (1,33) |
| Semua komponen struktur atap utama lainnya | | 300 (1,33) |
| Semua permukaan atap dengan beban pekerja pemeliharaan | | |
| Sekolah | | |
| - Ruang kelas | 40 (1,92) | 1000 (4,5) |
| - Koridor di atas lantai pertama | 80 (3,83) | 1000 (4,5) |
| - Koridor lantai pertama | 100 (4,79) | 1000 (4,5) |
| Bak-bak/*scuttles*, rusuk untuk atap kaca dan langit-langit yang dapat diakses | | 200 (0,89) |
| Pinggir jalan untuk pejalan kaki, jalan lintas kendaraan, dan lahan/jalan untuk truk-truk | 250 (11,97)[a,p] | 8000 (35,6)[q] |
| Tangga dan jalan keluar | | |
| - Rumah tinggal untuk satu dan dua keluarga saja | 100 (4,79)<br>40 (1,92) | 300[r]<br>300[r] |
| Gudang diatas langit-langit | 20 (0,96) | |
| Gudang penyimpanan barang sebelum disalurkan ke pengecer (jika diantisipasi menjadi gudang penyimpanan, harus dirancang untuk beban lebih berat) | | |
| - Ringan | 125 (6,00)[a] | |
| - Berat | 250 (11,97)[a] | |
| Toko | | |
| Eceran | | |
| Lantai pertama | 100 (4,79) | 1000 (4,45) |
| Lantai diatasnya | 75 (3,59) | 1000 (4,45) |
| Grosir, di semua lantai | 125 (6,0)[a] | 1000 (4,45) |
| Penghalang kendaraan | Lihat Pasal 4.5 | |
| Susuran jalan dan panggung yang ditinggikan (selain jalan keluar) | 60 (2,87) | |
| Pekarangan dan teras, jalur pejalan kaki | 100 (4,79)[a] | |

Sumber: SNI 1727:2013

Berdasarkan pasal 4.7.2 SNI 1727:2013, diperlukan adanya reduksi beban hidup apabila nilai perkalian antara faktor elemen beban hidup dengan luas tributari yaitu 37,16 $m^2$ atau lebih, maka dicari beban hidup tereduksi dengan rumus sebagai berikut.

$$L = L_o\ (0{,}25 + \frac{4{,}57}{\sqrt{K_{LL} x A_T}}) \qquad (3.1)$$

Keterangan:

$L$ = beban hidup rencana tereduksi per $m^2$ dari luasan yang didukung oleh komponen struktur

$L_o$ = beban hidup rencana tanpa reduksi per $m^2$ dari luasan yang didukung oleh komponen struktur

$K_{LL}$ = faktor elemen beban hidup

$A_T$ = luas daerah tributari ($m^2$)

Dimana nilai $L$ tidak boleh kurang dari 0,50 $L_o$, untuk komponen struktur yang mendukung satu lantai dan $L$ tidak boleh kurang dari 0,40 $L_o$, pada komponen struktur yang mendukung dua lantai atau lebih dari dua lantai.

Berdasarkan SNI 1727:2013 pasal 4.8.2, atap datar biasa, berbubung, dan atap lengkung, dan awning, dan kanopi, selain dari konstruksi atap pabrikasi yang ditumpu oleh suatu struktur rangka, diizinkan untuk dirancang dengan beban hidup atap yang direduksi sebagaimana persamaan berikut.

$$L_r = L_o.R_1.R_2 \text{ di mana } 0{,}58 \leq L_r \leq 0{,}96 \qquad (3.2)$$

Keterangan:

$L_r$ = beban hidup atap tereduksi per m2 dari proyeksi horizontal yang ditumpu oleh komponen struktur

$L_o$ = beban hidup atap desain tanpa reduksi per m2 dari proyeksi horizontal yang ditumpu oleh komponen struktur

Faktor reduksi $R_1$ dan $R_2$ harus ditentukan sebagai berikut.

$$R_1 = \begin{cases} 1 & \text{untuk } A_T \leq 18{,}58 \text{ m}^2 \\ 1{,}2 - 0{,}001\ A_T & \text{untuk } 18{,}58 \text{ m}^2 \leq A_T \leq 55{,}74 \text{ m}^2 \\ 0{,}6 & \text{untuk } A_T \geq 55{,}74 \text{ m}^2 \end{cases} \quad (3.3)$$

$$R_2 = \begin{cases} 1 & \text{untuk } F \leq 4 \\ 1{,}2 - 0{,}05\ F & \text{untuk } 4 < F < 12 \\ 0{,}6 & \text{untuk } F \geq 12 \end{cases} \quad (3.4)$$

Keterangan:

$A_T$ = luas tributari dalam $m^2$ yang didukung oleh setiap komponen struktural

$F$ = jumlah peninggian [dalam SI: $F$ = 0,12 x kemiringan/slope (dinyatakan dalam persentase), dan untuk atap lengkung atau kubah, maka $F$ = rasio tinggi terhadap bentang dikalikan dengan 32]

3. Beban gempa

Beban gempa adalah semua beban statik ekivalen yang bekerja pada suatu bangunan atau bagian bangunan yang menirukan pengaruh dari pergerakan tanah akibat gempa itu sendiri, baik arah vertikal maupun arah horizontal. Pengaruh gempa pada struktur ditentukan berdasarkan analisa dinamik, maka yang diartikan dalam beban gempa yaitu gaya-gaya di dalam struktur tersebut yang terjadi oleh tanah akibat gempa tersebut. Beban gempa atau gempa rencana ditetapkan sebagai gempa dengan kemungkinan terlewati besarannya selama umur struktur bangunan 50 tahun adalah sebesar 2%. Pembebanan gempa rencana sesuai SNI 1726:2012 adalah sebagai berikut:

a. Menentukan kategori risiko bangunan

Kategori risiko suatu bangunan dikategorikan menjadi beberapa jenis penggunaan bangunan tersebut, yang dimana akan berpengaruh pada beban yang akan ditanggung oleh struktur bangunan tersebut. Kategori risiko bangunan untuk beban gempa dapat dilihat pada Tabel 3.4 berikut.

**Tabel 3.4 Kategori Risiko Bangunan Untuk Beban Gempa**

| Jenis Pemanfaatan | Kategori Risiko |
|---|---|
| Gedung dan non gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain:<br>- Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan, dan perikanan<br>- Fasilitas sementara<br>- Gudang penyimpanan<br>- Rumah jaga dan struktur kecil lainnya | I |
| Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:<br>- Perumahan<br>- Rumah toko dan rumah kantor<br>- Pasar<br>- Gedung perkantoran<br>- Gedung apartemen/ rumah susun<br>- Pusat perbelanjaan/ mall<br>- Bangunan industri<br>- Fasilitas manufaktur<br>- Pabrik | II |
| Gedung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:<br>- Bioskop<br>- Gedung pertemuan<br>- Stadion<br>- Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat<br>- Fasilitas penitipan anak<br>- Penjara<br>- Bangunan untuk orang jompo<br><br>Gedung dan non gedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:<br>- Pusat pembangkit listrik biasa<br>- Fasilitas penanganan air<br>- Fasilitas penanganan limbah<br>- Pusat telekomunikasi<br><br>Gedung dan non gedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran. | III |

Sumber: SNI 1726-2012

**Lanjutan Tabel 3.4**

| Jenis Pemanfaatan | Kategori Risiko |
|---|---|
| Gedung dan non gedung yang ditunjukkan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:<br>- Bangunan-bangunan monumental<br>- Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan<br>- Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat<br>- Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans , dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat<br>- Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya<br>- Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat<br>- Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat<br><br>Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mepertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV. | IV |

Sumber: SNI 1726-2012

b. Faktor keutamaan gempa

Nilai faktor keutamaan gempa ditentukan berdasarkan kategori risiko bangunan. Faktor keutamaan gempa dapat dilihat pada Tabel 3.5 berikut.

**Tabel 3.5 Faktor Keutamaan Gempa**

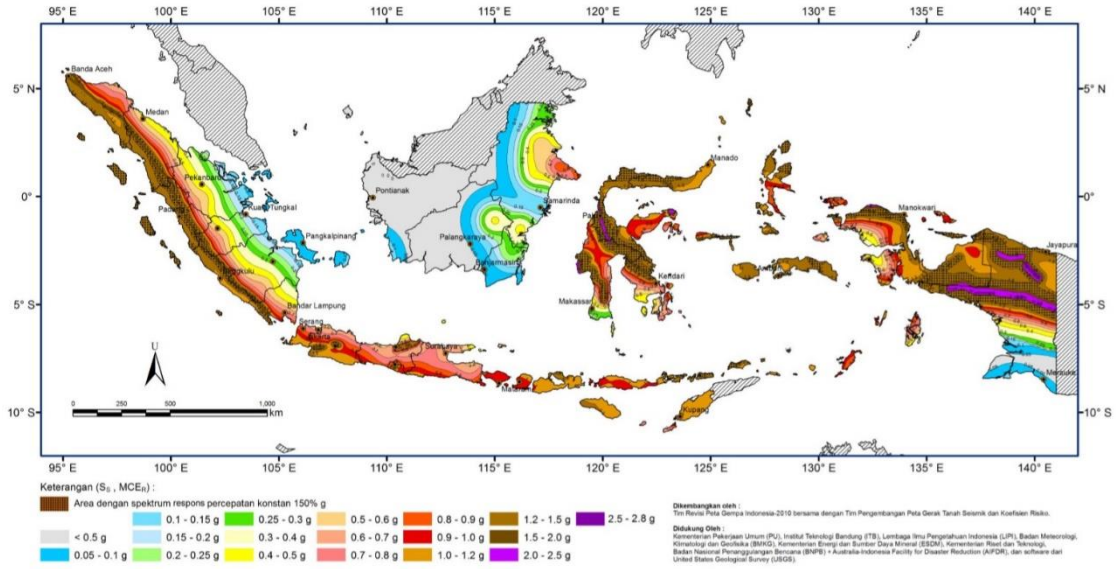
| Kategori Risiko | Faktor Keutamaan Gempa, $I_e$ |
|---|---|
| I atau II | 1,0 |
| III | 1,25 |
| IV | 1,50 |

Sumber: SNI 1726:2012

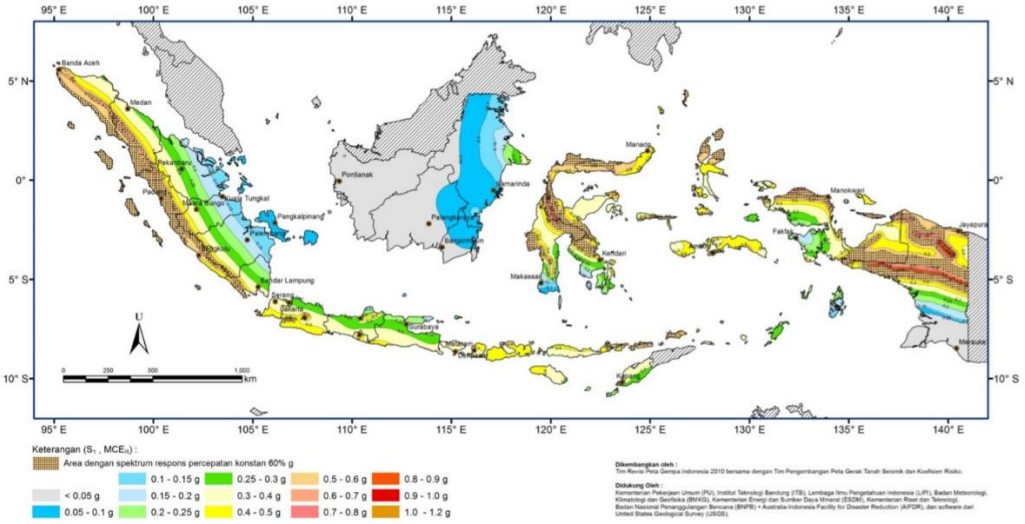
c. Analisis respon spektrum

Widodo (2012) menyimpulkan respon spektrum adalah suatu spektrum yang disajikan dalam bentuk grafik atau plot antara periode getar struktur T, lawan respon-respon maksimum dapat berupa simpangan maksimum

(*Spectral Displacement*, SD), kecepatan maksimum (*Spectral Velocity*, SV), atau percepatan maksimum (*Spectral Acceleration*, SA) suatu massa struktur dengan derajat kebebasan tunggal (*Single Degree of Freedom*). Parameter $S_s$ (percepatan batuan dasar pada perioda pendek) dan $S_1$ (percepatan batuan dasar pada perioda 1 detik) masing-masing harus ditetapkan respon spektral percepatan 0,2 detik dan 1 detik dalam peta gerak tanah seismik dengan kemungkinan 2% terlampaui dalam 50 tahun ($MCE_R$, 2 persen dalam 50 tahun), dan dinyatakan dalam bilangan desimal terhadap percepatan gravitas. Bila $S_1 \leq 0{,}04$ g dan $S_s \leq 0{,}15$ g, maka struktur bangunan boleh dimasukkan ke dalam kategori desain seismik A. Nilai parameter $S_s$ dan $S_1$ dapat ditentukan berdasarkan Gambar 3.1 dan Gambar 3.2 berikut ini.

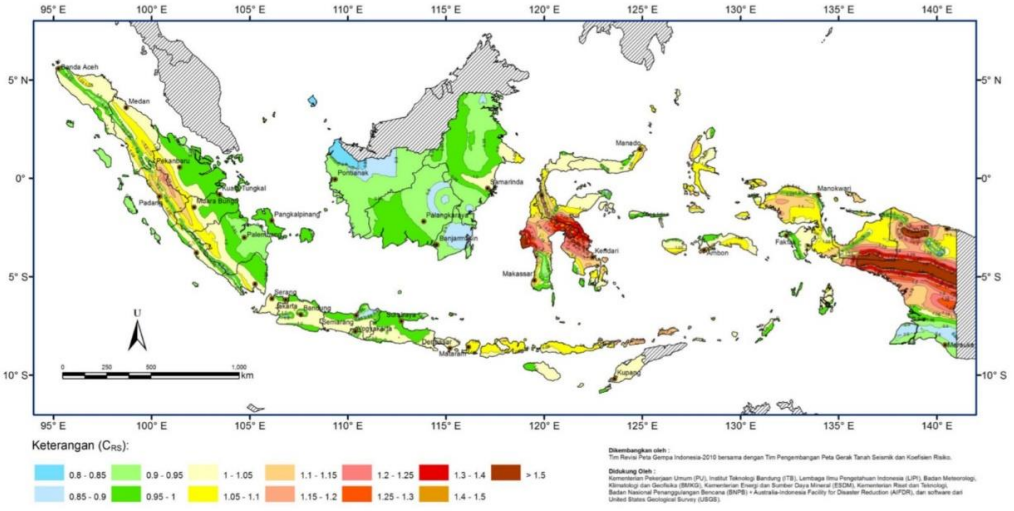



**Gambar 3.1 $S_s$, Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko Tertarget ($MCE_R$), Kelas Situs *SB***
(Sumber: SNI 1726:2012)

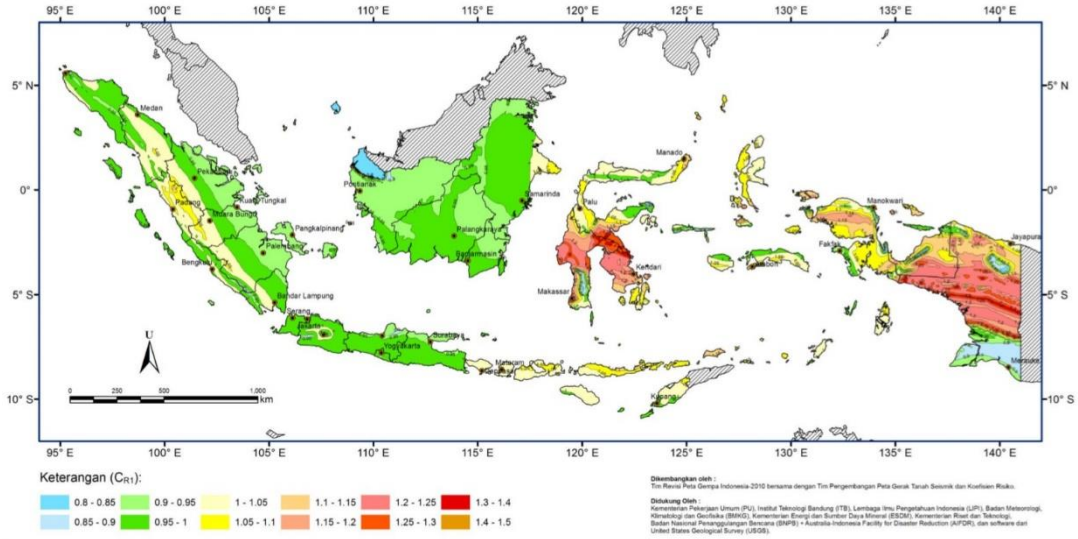



**Gambar 3.2 $S_1$, Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko Tertarget ($MCE_R$), Kelas Situs *SB***
(Sumber: SNI 1726:2012)

Nilai koefisien risiko juga terpetakan yaitu $C_{RS}$ dan $C_{R1}$, dimana $C_{RS}$ merupakan koefisien risiko terpetakan untuk respon spektrum periode pendek dan $C_{R1}$ merupakan koefisien risiko terpetakan untuk respon spektrum periode 1 detik. Nilai $C_{RS}$ dan $C_{R1}$ dapat ditentukan berdasarkan Gambar 3.3 dan Gambar 3.4 berikut ini.




**Gambar 3.3 $C_{RS}$, Koefisien Risiko Terpetakan, Periode Respon Spektrum 0,2 detik**
(Sumber: SNI 1726:2012)




**Gambar 3.4 $C_{R1}$, Koefisien Risiko Terpetakan, Periode Respon Spektrum 1 detik**
(Sumber: SNI 1726:2012)

Penentuan respon spektrum percepatan gempa $MCE_R$ di permukaan tanah memerlukan faktor amplifikasi seismik pada periode 0,2 detik dan periode 1 detik. Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek ($F_a$) dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik ($F_v$), parameter respon spektrum percepatan pada periode pendek ($S_{MS}$) dan periode 1 detik ($S_{M1}$) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs tanah ditentukan dengan persamaan berikut ini:

$$S_{MS} = F_a \times S_s \quad (3.5)$$

$$S_{M1} = F_v \times S_1 \quad (3.6)$$

Keterangan:

$S_s$ = parameter respon spektrum percepatan gempa $MCE_R$ terpetakan untuk periode pendek

$S_1$ = parameter respon spektrum percepatan gempa $MCE_R$ terpetakan untuk periode 1 detik

Koefisien situs $F_a$ dan $F_v$ dapat dilihat pada Tabel 3.4 dan Tabel 3.5 berikut ini.

**Tabel 3.4 Koefisien Situs, $F_a$**

| Kelas Situs | Parameter Respon Spektrum Percepatan Gempa ($MCE_R$) terpetakan pada periode pendek, T=0,2 detik, $S_s$ | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | $S_s \leq 0{,}25$ | $S_s = 0{,}5$ | $S_s = 0{,}75$ | $S_s = 1{,}0$ | $S_s \geq 1{,}25$ |
| *SA* | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 |
| *SB* | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| *SC* | 1,2 | 1,2 | 1,1 | 1,0 | 1,0 |
| *SD* | 1,6 | 1,4 | 1,2 | 1,1 | 1,0 |
| *SE* | 2,5 | 1,7 | 1,2 | 0,9 | 0,9 |
| *SF* | SS[b] | | | | |

Catatan:

(a) Untuk nilai-nilai antara $S_s$ dapat dilakukan interpolasi linier

(b) SS = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik

Sumber: SNI 1726-2012

**Tabel 3.5 Koefisien Situs, $F_v$**

| Kelas Situs | Parameter Respon Spektrum Percepatan Gempa ($MCE_R$) terpetakan pada periode 1 detik, $S_1$ | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | $S_1 \leq 0{,}1$ | $S_1 = 0{,}2$ | $S_1 = 0{,}3$ | $S_1 = 0{,}4$ | $S_1 \geq 0{,}5$ |
| *SA* | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 |
| *SB* | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| *SC* | 1,7 | 1,6 | 1,5 | 1,4 | 1,3 |
| *SD* | 2,4 | 2 | 1,8 | 1,6 | 1,5 |
| *SE* | 3,5 | 3,2 | 2,8 | 2,4 | 2,4 |
| *SF* | SS[b] | | | | |

Catatan:

(a) Untuk nilai-nilai antara $S_s$ dapat dilakukan interpolasi linier

(b) SS = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik

Sumber: SNI 1726-2012

d. Parameter percepatan spektrum desain

Nilai parameter percepatan spektrum periode pendek ($S_{DS}$) dan nilai periode 1 detik ($S_{D1}$) dapat ditentukan sebagai berikut.

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (3.7)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (3.8)$$

$$T_0 = 0{,}2 \text{ x } \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (3.9)$$

$$T_S = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (3.10)$$

Untuk periode yang lebih kecil daripada $T_0$, maka digunakan persamaan berikut

$$S_a = S_{DS}\left(0{,}4 + 0{,}6\frac{T}{T_0}\right) \quad (3.11)$$

Untuk periode yang lebih besar atau sama dengan $T_0$ dan lebih kecil dari atau sama dengan $T_S$, maka

$$S_a = S_{DS} \quad (3.12)$$

Untuk periode yang lebih besar dari $T_S$, maka digunakan persamaan berikut

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (3.13)$$

Keterangan:

$S_{DS}$ = respon spektrum pada percepatan periode pendek

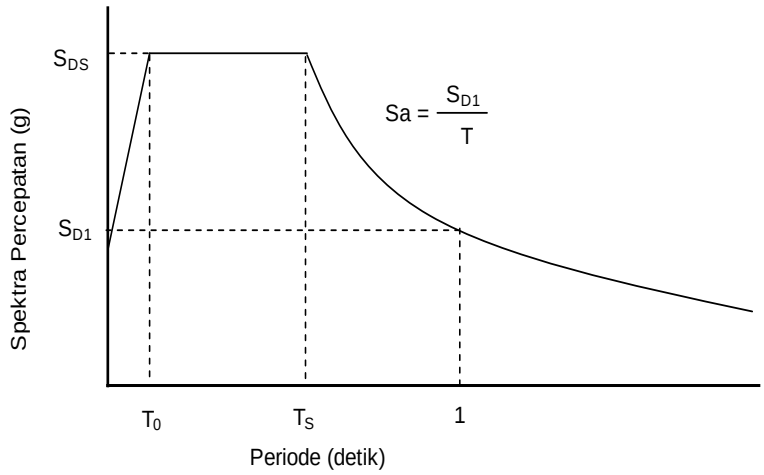
$S_{D1}$ = respon spektrum pada percepatan periode 1 detik

$S_{MS}$ = parameter percepatan spektrum desain untuk periode pendek

$S_{M1}$ = parameter percepatan spektrum desain untuk periode 1 detik

$T$ = periode getar fundamental struktur

Penggambaran desain respon spektrum dapat dilihat pada Gambar 3.5 berikut ini.




**Gambar 3.5 Desain Respon Spektrum**
(Sumber: SNI 1726:2012)

e. Kategori desain seismik struktur

Struktur harus ditetapkan dalam kategori desain seismik berdasarkan kategori risiko dan parameter respon spektrum percepatan desain ($S_{DS}$ dan $S_{D1}$). Tabel parameter tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.6 dan 3.7 berikut ini.

**Tabel 3.6 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respon Percepatan pada Periode Pendek**

| Nilai $S_{DS}$ | Kategori Risiko | |
|---|---|---|
| | I atau II atau III | IV |
| $S_{DS} < 0{,}167$ | A | A |
| $0{,}167 \leq S_{DS} < 0{,}33$ | B | C |
| $0{,}33 \leq S_{DS} < 0{,}50$ | C | D |
| $0{,}50 \leq S_{DS}$ | D | D |

Sumber: SNI 1726:2012

**Tabel 3.7 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respon Percepatan pada Periode 1 detik**

| Nilai $S_{D1}$ | Kategori Risiko | |
|---|---|---|
| | I atau II atau III | IV |
| $S_{D1} < 0{,}167$ | A | A |
| $0{,}067 \leq S_{D1} < 0{,}133$ | B | C |
| $0{,}133 \leq S_{D1} < 0{,}20$ | C | D |
| $0{,}20 \leq S_{D1}$ | D | D |

Sumber: SNI 1726:2012

f. Penentuan sistem penahan gaya gempa

Sistem penahan gaya gempa ditentukan oleh kategori desain seismik bangunan dan tinggi struktur bangunan, jenis penahan gaya gempa tersebut mempengaruhi nilai koefisien modifikasi respon (*R*), faktor kuat lebih sistem ($\Omega_0$), dan faktor pembesaran defleksi ($C_d$). Rekapitulasi tabel penentuan sistem penahan gaya seismik dapat dilihat pada Tabel 3.8 berikut ini.

**Tabel 3.8 *R*, $C_d$, dan $\Omega_0$ untuk Sistem Penahan Gaya Gempa**

| Sistem penahan gaya seismik | *R* | $\Omega_0$ | $C_d$ | Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, $h_n$ (m) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Kategori desain seismik | | | | |
| | | | | B | C | D | E | F |
| Rangka beton bertulang pemikul momen khusus | 8 | 3 | $5\frac{1}{2}$ | TB | TB | TB | TB | TB |
| Rangka beton bertulang pemikul momen menengah | $5\frac{1}{2}$ | 3 | $4\frac{1}{2}$ | TB | TB | TI | TI | TI |
| Rangka beton bertulang pemikul momen biasa | 3 | 3 | $2\frac{1}{2}$ | TB | TI | TI | TI | TI |

Catatan:
TB = Tidak dibatasi
TI = Tidak diijinkan

Sumber: SNI 1726-2012

g. Penentuan periode fundamental struktur

Periode fundamental struktur didapat dari hasil analisis struktur, nilai periode yang digunakan harus sesuai dengan batasan yang ada. Apabila periode hasil analisis lebih besar dari nilai $T_{max}$, maka digunakan nilai $T_{max}$. Apabila nilai periode hasil analisis diantara nilai $T_a$ dan $T_{max}$, maka digunakan nilai periode hasil analisis. Tetapi apabila nilai periode hasil analisis kurang dari nilai $T_a$, maka digunakan nilai $T_a$ untuk bangunan tersebut dengan persamaan sebagai berikut.

$$T_a = C_t \text{ x } h_n^x \quad (3.14)$$

$$T_{max} = C_u \text{ x } T_a \quad (3.15)$$

Keterangan:

$T_a$ = periode fundamental pendekatan (detik)

$C_t$ = koefisien faktor pengali periode pendekatan

$h_n$ = ketinggian struktur (m)

$x$ = koefisien faktor pengali periode pendekatan

Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung ($C_u$) dan nilai parameter periode pendekatan $C_t$ dan $x$ dapat dilihat pada Tabel 3.9 dan Tabel 3.10 berikut ini.

**Tabel 3.9 Koefisien untuk Batas Atas pada Periode yang Dihitung**

| **Parameter percepatan respon spektrum desain pada 1 detik, $S_{D1}$** | **Koefisien $C_u$** |
|---|---|
| ≥ 0,4 | 1,4 |
| 0,3 | 1,4 |
| 0,2 | 1,5 |
| 0,15 | 1,6 |
| ≤ 0,1 | 1,7 |

Sumber: SNI 1726:2012

**Tabel 3.10 Nilai Parameter Periode Pendekatan $C_t$ dan $x$**

| Tipe Struktur | $C_t$ | $x$ |
|---|---|---|
| Sistem rangka pemikul momen dimana rangka memikul 100 persen gaya gempa yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya gempa: | | |
| Rangka baja pemikul momen | 0,0724[a] | 0,8 |
| Rangka beton pemikul momen | 0,0466[a] | 0,9 |
| Rangka baja dengan bresing eksentris | 0,0731[a] | 0,75 |
| Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk | 0,0731[a] | 0,75 |
| Semua sistem struktur lainnya | 0,0488[a] | 0,75 |

Sumber: SNI 1726:2012

h. Perhitungan gaya geser dasar

Nilai gaya geser dasar (*Base Shear*) merupakan pemodelan dan penyederhanaan dari getaran gempa yang bekerja pada dasar bangunan yang selanjutnya akan digunakan sebagai gaya gempa rencana ditinjau dari perencanaan dan evaluasi struktur bangunan gedung. Gaya geser dasar gempa ($V$) ditentukan berdasarkan persamaan berikut.

$$V = C_s \text{ x } W \tag{3.16}$$

Keterangan:

$C_s$ = koefisien respon gempa

$W$ = berat seismik efektif bangunan

Nilai koefisien respon seismik ($C_s$) menggunakan persamaan berikut.

$$C_s = \frac{S_{DSR}}{\frac{R}{I_e}} \tag{3.17}$$

Keterangan:

$S_{DSR}$ = parameter percepatan respon spektrum periode pendek

$R$ = koefisien modifikasi respon

$I_e$ = faktor keutamaan gedung

Nilai $C_s$ yang dihitung sesuai dengan persamaan 3.14 tidak perlu melebihi nilai sebagai berikut.

$$C_s = \frac{S_{D1R}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3.18)$$

$C_s$ harus tidak kurang dari

$$C_s = 0{,}0044.S_{DS}.I_e \geq 0{,}01 \quad (3.19)$$

### 3.3 Kombinasi Pembebanan

Pada tahap perencanaan struktur bangunan, seluruh beban yang akan diterima struktur harus diperhitungkan agar bangunan tersebut tidak runtuh pada saat menerima kombinasi beban yang kemungkinan terjadi. Beban-beban yang diterima struktur tersebut tidak hanya satu jenis, melainkan kombinasi dari beban-beban yang bekerja pada struktur tersebut. Maka dari itu, agar struktur bangunan memenuhi persyaratan terhadap kombinasi beban maka harus direncanakan untuk mampu menahan kombinasi pembebanan untuk metode ultimit mengacu pada SNI 1726:2012 pasal 4.2.2 dibawah ini.

$1{,}4D$ (3.20)

$1{,}2D + 1{,}6L + 0{,}5$ ($L_r$ atau $R$) (3.21)

$1{,}2D + 1{,}6(L_r$ atau $R) + (L$ atau $0{,}5W)$ (3.22)

$1{,}2D + 1{,}0W + L + 0{,}5(L_r$ atau $R)$ (3.23)

$1{,}2D \pm 1{,}0E + L$ (3.24)

$0{,}9D + 1{,}0W$ (3.25)

$0{,}9D \pm 1{,}0E$ (3.26)

Keterangan:

$D$ = beban mati akibat dari berat konstruksi, beban ini meliputi dinding bangunan, lantai, atap, plafon, partisi tetap, tangga, dan peralatan layan yang bersifat tetap

$L$ = beban hidup yang terjadi akibat dari penggunaan gedung, tetapi tidak meliputi beban lingkungan seperti beban angin, beban hujan, dan lain-lain

$L_r$ = beban hidup pada atap yang muncul selama proses perawatan oleh pekerja bangunan, material, dan peralatan, atau selama penggunaan biasa dan benda bergerak

$R$ = beban hujan, tetapi bukan beban yang diakibatkan oleh adanya genangan air

$W$ = beban angin yang diterima bangunan

$E$ = beban gempa yang dialami bangunan sesuai dengan SNI 1726:2012

Berdasarkan pasal 7.4.2.1 SNI 1726:2012 perlu adanya tambahan beban kombinasi dalam memperhitungkan beban gempa yang diterima oleh struktur bangunan. Khusus untuk beban horizontal ($E_h$) harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut.

$$E_h = \rho.Q_E \tag{3.27}$$

Keterangan:

$Q_E$ = pengaruh gaya gempa horizontal yang dialami struktur bangunan

ρ = faktor redundansi (nilai ρ diizinkan bernilai 1,0 untuk struktur yang dirancang pada kategori desain seismik B atau C. Untuk bangunan kategori desain seismik D sampai F digunakan nilai ρ sebesar 1,3 kecuali jika ada satu dari dua kondisi pada pasal 7.3.4.2 SNI 1726:2012 terpenuhi, maka diizinkan diambil nilai redundansi sebesar 1,0)

Jika pengaruh gaya gempa ditetapkan ($E$) yang didefinisikan dalam pasal 7.4.2, dikombinasikan dengan pengaruh beban lainnya seperti ditetapkan dalam pasal 4, kombinasi beban gempa berikut untuk struktur yang tidak dikenai beban banjir harus digunakan beban kombinasi tambahan sebagai berikut.

$$(1,2 + 0,2S_{DS})D + \rho.Q_E + L \tag{3.28}$$

$$(0,9 – 0,2S_{DS})D + \rho.Q_E + 1,6H \tag{3.29}$$

**3.4 Penentuan Skala Gaya**

Sesuai dengan pasal 7.9.4.1 SNI 1726:2012, periode $C_uT_a$ harus digunakan sebagai periode struktur dalam hasil analisis apabila periode yang dihitung dalam arah itu melalui program hasil nilainya melebihi $C_uT_a$. Gaya geser (*Base Shear*)

akibat beban dinamik perlu diselaraskan dengan gaya geser akibat beban statis. Penyelarasan gaya geser tersebut dapat dilihat pada persamaan sebagai berikut.

$$0{,}85\frac{V}{V_T} \tag{3.30}$$

Keterangan:

$V$ = gaya geser prosedur gaya lateral ekivalen, yang dihitung sesuai dengan pasal 7.8

$V_T$ = gaya geser dasar dari kombinasi ragam yang disyaratkan

### 3.5 Ketidakberaturan Struktur Horizontal

Ketidakberaturan struktur dapat terjadi akibat bentuk bangunan yang asimetris. Berdasarkan SNI 1726:2012 ketidakberaturan horizontal dibedakan menjadi 5 jenis sebagai berikut:

1. Ketidakberaturan torsional (*Torsional Irregularity*)

   Ketidakberaturan torsional diklasifikasikan menjadi 2 jenis, yaitu:

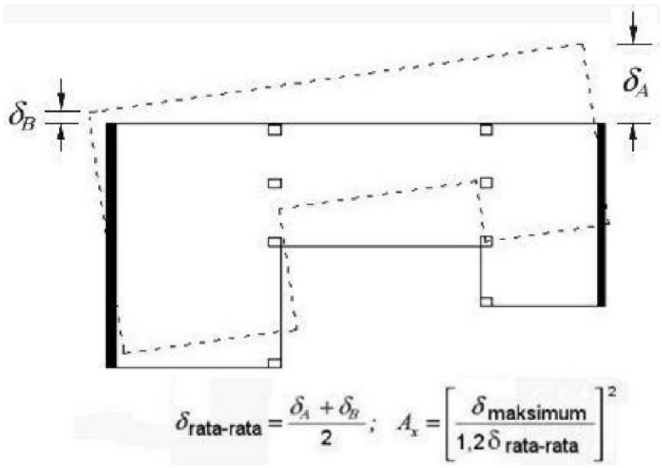
   a. Ketidakberaturan torsi terjadi apabila simpangan antar lantai tingkat maksimum di sebuah ujung struktur melintang, bernilai lebih dari 1,2 kali simpangan antar tingkat rata-rata pada kedua ujung strukturnya dengan persamaan sebagai berikut.

   $$1{,}2\ \delta_{rerata} \leq \delta_{max} < 1{,}4\ \delta_{rerata} \tag{3.31}$$

   b. Ketidakberaturan torsi berlebihan yang terjadi apabila simpangan antar lantai tingkat maksimum pada ujung struktur melebihi dari 1,4 kali simpangan antar lantai tingkat rata-rata di kedua ujung struktur dengan persamaan sebagai berikut.

   $$\delta_{max} > 1{,}4\ \delta_{rerata} \tag{3.32}$$

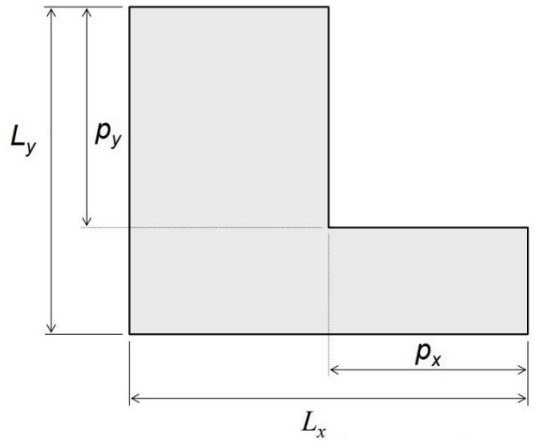
   Ilustrasi ketidakberaturan torsional dapat dilihat pada Gambar 3.6 berikut ini.




**Gambar 3.6 Ketidakberaturan Torsional**
(Sumber: SNI 1726:2012)

2. Ketidakberaturan sudut dalam (*Re-entrant Corner Irregularity*)

   Ketidakberaturan sudut dalam dapat terjadi apabila kedua proyeksi denah struktur dari dalam lebih besar 15% dari dimensi denah struktur pada arah yang telah ditentukan. Ilustrasi ketidakberaturan sudut dalam dapat dilihat pada Gambar 3.7 berikut ini.



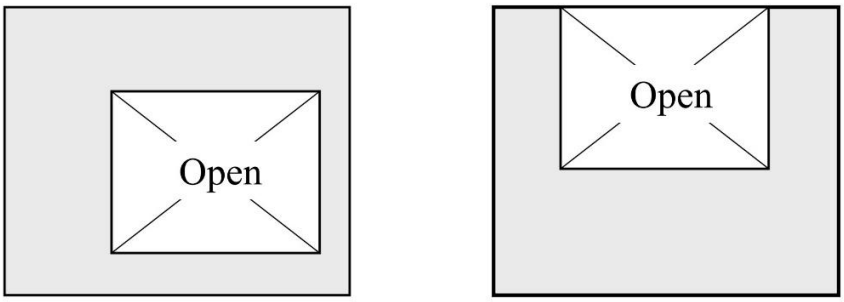

**Gambar 3.7 Ketidakberaturan Sudut Dalam**
(Sumber: FEMA 451B)

Berdasarkan Gambar 3.7 diatas maka ketidakberaturan ini terjadi jika memenuhi persamaan sebagai berikut.

$$p_y > 0{,}15L_y \text{ dan } p_x > 0{,}15L_x \tag{3.33}$$

3. Ketidakberaturan diskontinuitas diafragma (*Diaphragm Discontinuity Irregularity*)

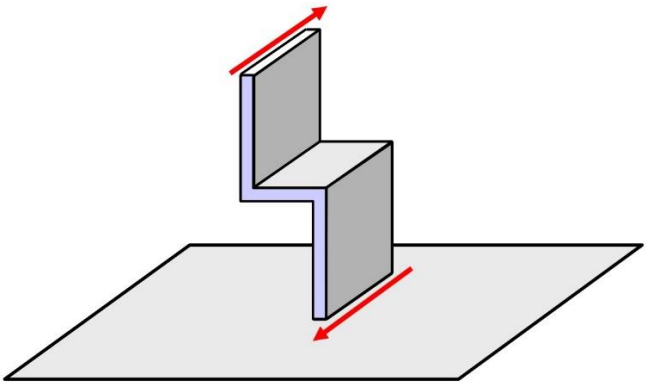
   Ketidakberaturan ini dapat terjadi jika terdapat diafragma dengan variasi kekakuan yang mendadak dari satu lantai ke lantai berikutnya, termasuk di daerah yang terbuka lebih besar dari 50% daerah diafragma keseluruhan yang melingkupi. Ilustrasi ketidakberaturan diskontinuitas diafragma dapat dilihat pada Gambar 3.8 berikut ini.




**Gambar 3.8 Ketidakberaturan Diskontinuitas Diafragma**
(Sumber: FEMA 451B)

4. Ketidakberaturan pergeseran bidang (*Out of Plane Offsets*)

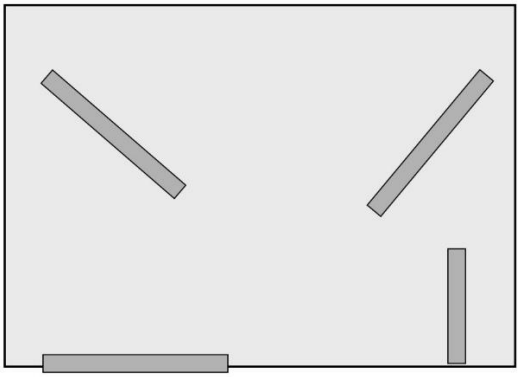
   Ketidakberaturan pergeseran ini dapat terjadi apabila pada suatu bangunan terdapat diskontinuitas dalam lintasan tahanan gaya lateral bangunan, seperti adanya pergeseran melintang terhadap bidang vertikalnya. Ilustrasi ketidakberaturan pergeseran bidang dapat dilihat pada Gambar 3.9 berikut ini.



**Gambar 3.9 Ketidakberaturan Pergeseran Bidang**
(Sumber: FEMA 451B)

5. Ketidakberaturan sistem non-paralel (*Nonparallel Systems Irregularity*)

Ketidakberaturan sistem non-paralel dapat terjadi apabila elemen penahan gaya lateral vertikal tidak sejajar atau simetris dengan sumbu orthogonal utama dari sistem penahan gaya gempa. Ilustrasi ketidakberaturan sistem non-paralel dapat dilihat pada Gambar 3.10 berikut ini.



**Gambar 3.10 Ketidakberaturan Sistem Non-Paralel**
(Sumber: FEMA 451B)

### 3.6 Ketidakberaturan Struktur Vertikal

Berdasarkan SNI 1726:2012, ketidakberaturan struktur vertikal diklasifikasikan menjadi 5 jenis sebagai berikut:

1. Ketidakberaturan tingkat lunak (*Soft Story Irregularity*)

   Ketidakberaturan jenis ini dibagi menjadi 2 tipe yaitu:

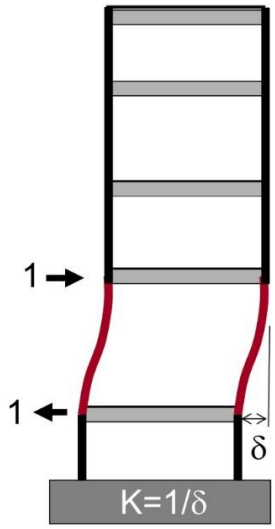
   a. Ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak

      Ketidakberaturan ini dapat terjadi apabila terdapat suatu tingkat dengan kekakuan lateralnya kurang dari 70% nilai kekakuan lateral tingkat diatasnya, atau kurang dari 80% nilai kekakuan rata-rata dari tiga tingkat diatasnya.

   b. Ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak berlebihan

      Ketidakberaturan ini dapat terjadi apabila terdapat suatu tingkat dengan kekakuan lateralnya kurang dari 60% nilai kekakuan lateral tingkat diatasnya atau kurang dari 70% nilai kekakuan rata-rata tingkat diatasnya.

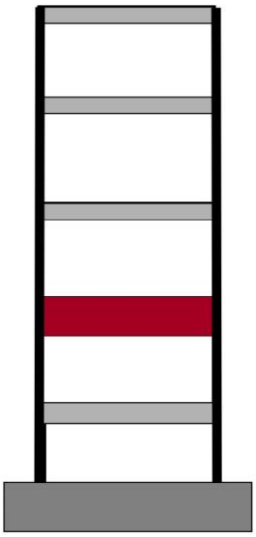
   Ilustrasi ketidakberaturan tingkat lunak dapat dilihat pada Gambar 3.11 berikut.




**Gambar 3.11 Ketidakberaturan Tingkat Lunak**
(Sumber: FEMA 451B)

2. Ketidakberaturan berat (massa) [*Weight (Mass) Irregularity*]

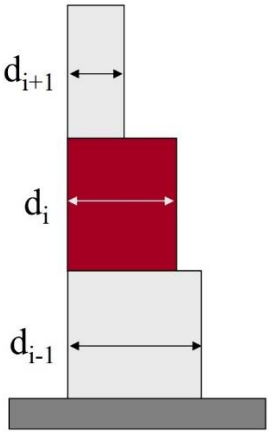
   Ketidakberaturan jenis ini dapat terjadi apabila massa pada suatu tingkat lebih dari 150% massa tingkat yang berdekatan. Atap yang lebih ringan dari lantai dibawahnya tidak perlu ditinjau. Ilustrasi ketidakberaturan berat (massa) dapat dilihat pada Gambar 3.12 berikut.



**Gambar 3.12 Ketidakberaturan Berat (Massa)**
(Sumber: FEMA 451B)

3. Ketidakberaturan geometri vertikal (*Vertical Geometric Irregularity*)

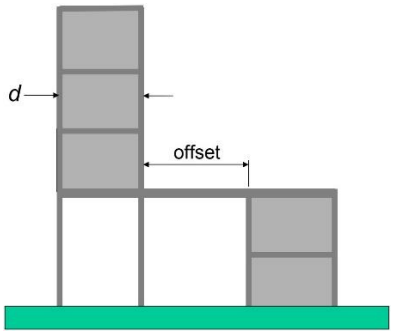
Ketidakberaturan jenis ini dapat terjadi apabila dimensi horizontal sistem penahan gaya gempa di seluruh tingkat lebih dari 130% dimensi horizontal sistem penahan gaya gempa terdekatnya. Ilustrasi ketidakberaturan geometri vertikal dapat dilihat pada Gambar 3.13 berikut.




**Gambar 3.13 Ketidakberaturan Geometri Vertikal**
(Sumber: FEMA 451B)

4. Ketidakberaturan diskontinuitas arah bidang (*In-Plane Discontinuity Irregularity*)

   Ketidakberaturan jenis ini dapat terjadi apabila pergeseran arah bidang elemen penahan gaya lateral lebih besar daripada panjang elemen tersebut atau terdapat reduksi kekakuan elemen penahan di tingkat bawahnya. Ilustrasi ketidakberaturan diskontinuitas arah bidang dapat dilihat pada Gambar 3.14 berikut.



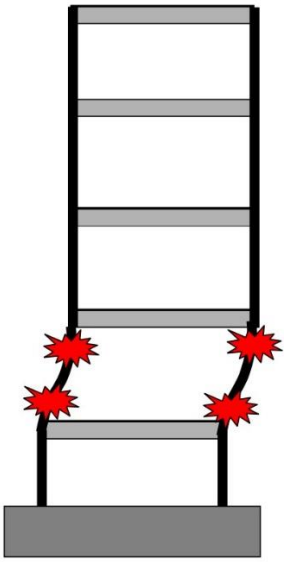

**Gambar 3.14 Ketidakberaturan Diskontinuitas Arah Bidang**
(Sumber: FEMA 451B)

5. Diskontinuitas Kuat Lateral Tingkat [*Strength (Weak Story) Irregularity*]

Ketidakberaturan jenis ini diklasifikasikan menjadi 2 jenis yaitu:

a. Diskontinuitas dalam ketidakberaturan kuat lateral tingkat
   Ketidakberaturan jenis ini dapat terjadi apabila kuat lateral tingkat kurang dari 80% kuat lateral tingkat diatasnya.
b. Diskontinuitas dalam ketidakberaturan kuat lateral tingkat yang berlebih
   Ketidakberaturan ekstrim jenis ini dapat terjadi apabila kuat lateral tingkat kurang dari 65% kuat lateral tingkat diatasnya.

Ilustrasi diskontinuitas kuat lateral tingkat dapat dilihat pada Gambar 3.15 berikut.



**Gambar 3.15 Diskontinuitas Kuat Lateral Tingkat**
(Sumber: FEMA 451B)

### 3.7 Cek Pengaruh P-delta

Efek P-delta adalah pengaruh beban atau gaya aksial terhadap perpindahan horizontal yang diakibatkan oleh gaya lateral yang terjadi. Koefisien stabilitas ($\theta$) mempengaruhi suatu struktur bangunan sehingga harus memperhitungkan adanya pengaruh P-delta atau tidak. Berdasarkan SNI 1726:2012 pasal 7.8.7, pengaruh P-delta pada geser dan momen tingkat, gaya dan momen elemen struktur yang dihasilkan, dan simpangan antar lantai tingkat yang timbul oleh pengaruh ini tidak

disyaratkan untuk diperhitungkan bila koefisien stabilitas ($\theta$) sama atau kurang dari 0,10. Koefisien stabilitas ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\theta = \frac{P_x \,.\, \Delta \,.\, I_e}{V_x \,.\, h_{sx} \,.\, C_d} \tag{3.34}$$

Keterangan:

$P_x$ = beban desian vertikal total pada dan diatas tingkat *x* (kN)

$\Delta$ = simpangan antar lantai tingkat desain (mm)

$I_e$ = faktor keutamaan gempa

$V_x$ = gaya geser seismik yang bekerja antara tingkat *x* dan *x*-1 (kN)

$h_{sx}$ = tinggi tingkat di bawah tingkat *x* (mm)

$C_d$ = faktor pembesaran defleksi

Koefisien stabilitas ($\theta$) harus tidak melebihi dari koefisien stabilitas maksimum ($\theta_{max}$), nilai tersebut ditentukan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$\theta_{max} = \frac{0{,}5}{\beta . C_d} \tag{3.35}$$

Dimana $\beta$ adalah rasio kebutuhan geser terhadap kapasitas geser untuk tingkat diantara tingkat *x* dan *x*-1. Rasio ini diizinkan secara konservatif diambil nilai sebesar 1,0. Jika koefisien stabilitas ($\theta$) lebih besar dari 0,10 tetapi kurang dari atau sama dengan $\theta_{max}$, faktor peningkatan terkait dengan pengaruh P-delta pada perpindahan dan gaya komponen struktur harus ditentukan dengan analisis rasional. Sebagai alternatif, diizinkan untuk mengalikan perpindahan dan gaya komponen struktur dengan 1,0/(1-$\theta$). Jika $\theta$ lebih besar dari $\theta_{max}$, struktur berpotensi tidak stabil dan harus didesain ulang.

## 3.8 Material Beton

Dalam suatu proyek konstruksi, beton merupakan bahan bangunan komposit yang terdiri dari kombinasi agregat serta pengikat semen. Beton memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan bahan-bahan bangunan yang telah diketahui dan digunakan pada konstruksi umumnya. Kelebihan dari beton diantaranya beton

memiliki kekuatan tekan yang tinggi, harga dari bahan-bahan dasar pembuatan beton relatif murah., memiliki daya tahan terhadap perkaratan dan pembusukan oleh kondisi lingkungan sekitarnya, dan juga memiliki sifat-sifat lain yang menguntungkan, sehingga dalam dunia konstruksi saat ini sering dijadikan sebagai salah satu bahan bangunan yang sering digunakan.



**Gambar 3.16 Beton**
(sumber: dokumentasi pribadi, 2019)

### 3.9 Material Baja Tulangan

Baja tulangan yaitu baja yang berbentuk batang berpenampang lingkaran yang digunakan untuk penulangan pada beton. Baja tulangan diproduksi dari bahan baku billet dengan cara *hot rolling*. Berdasarkan bentuk, baja tulangan dibedakan menjadi dua jenis yaitu baja tulangan polos dan baja tulangan sirip.

Baja tulangan polos (BJTP) yaitu baja tulangan yang berpenampang lingkaran dengan permukaan rata tidak bersirip, sedangkan baja tulangan sirip (BJTS) yaitu baja tulangan dengan bentuk khusus yang permukaannya mempunyai sirip melintang dan rusuk memanjang yang dimaksud untuk meningkatkan daya lekat terhadap beton dan menahan gerakan mebujur dari batang secara relatif terhadap beton.

Bentuk permukaan batang baja tulangan polos harus rata tidak bersirip sedangkan bentuk permukaan batang baja tulangan sirip harus bersirip secara teratur. Setiap batang diperkenankan mempunyai rusuk memanjang searah dan sejajar sumbu batang, sirip harus melintanag sepanjang batang baja tulangan pada jarak yang teratur dan mempunyai ukuran yang sama.

### 3.9.1 Ukuran Diameter Baja Tulangan

Ukuran diameter baja tulangan polos dan baja tulangan sirip disesuaikan dengan Standar Nasional Indonesia (SNI). Berikut merupakan ukuran diameter untuk masing-masing baja tulangan polos dan baja tulangan sirip yang tersaji pada tabel 3.11 dan tabel 3.12.

**Tabel 3.11 Diameter Baja Tulangan Polos**

| No. | Penamaan | Diameter Nominal, d (mm) | Luas Penampang Nominal, L ($cm^2$) | Berat Nominal per meter (kg/m) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | P6 | 6 | 0,2827 | 0,222 |
| 2 | P8 | 8 | 0,5027 | 0,395 |
| 3 | P10 | 10 | 0,7854 | 0,617 |
| 4 | P12 | 12 | 1,131 | 0,888 |
| 5 | P14 | 14 | 1,539 | 1,21 |
| 6 | P16 | 16 | 2,011 | 1,58 |

Sumber: SNI 2052-2014

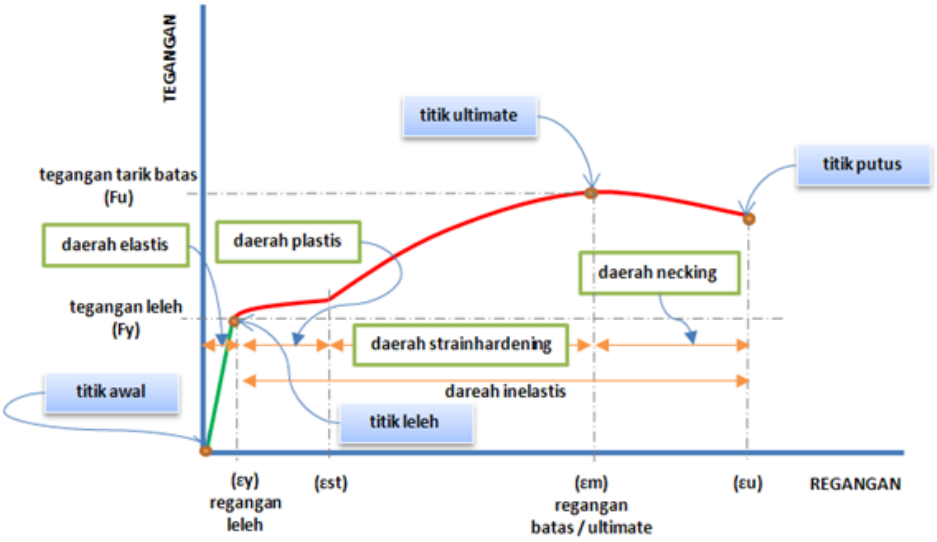
**Tabel 3.12 Diameter Baja Tulangan Sirip**

| No. | Penamaan | Diameter Nominal, d (mm) | Luas Penampang Nominal, L ($cm^2$) | Diameter dalam minimal, $d_o$ (mm) | Tinggi sirip (mm) | | Jarak sirip melintang (maks) (mm) | Lebar sirip membujur (maks) (mm) | Berat nominal per meter (kg/m) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | min | maks | | | |
| 1 | S6 | 6 | 0,2827 | 5,5 | 0,3 | 0,6 | 4,2 | 4,7 | 0,222 |
| 2 | S8 | 8 | 0,5027 | 7,3 | 0,4 | 0,8 | 5,6 | 6,3 | 0,395 |
| 3 | S10 | 10 | 0,7854 | 8,9 | 0,5 | 1,0 | 7,0 | 7,9 | 0,617 |
| 4 | S13 | 13 | 1,327 | 12,0 | 0,7 | 1,3 | 9,1 | 10,2 | 1,04 |
| 5 | S16 | 16 | 2,011 | 15,0 | 0,8 | 1,6 | 11,2 | 12,6 | 1,58 |
| 6 | S19 | 19 | 2,835 | 17,8 | 1,0 | 1,9 | 13,3 | 14,9 | 2,23 |
| 7 | S22 | 22 | 3,801 | 20,7 | 1,1 | 2,2 | 15,4 | 17,3 | 2,98 |
| 8 | S25 | 25 | 4,909 | 23,6 | 1,3 | 2,5 | 17,5 | 19,7 | 3,85 |
| 9 | S29 | 29 | 6,625 | 27,2 | 1,5 | 2,9 | 20,3 | 22,8 | 5,18 |

Sumber: SNI 2052-2014

### 3.9.2 Sifat Mekanis Baja Tulangan

Baja tulangan pada umumnya dikelompokkan menurut karakteristik tegangan leleh dan kandungan karbon material tersebut. Berikut ini Gambar 3.17 grafik hubungan antara tegangan dan regangan dari material baja tulangan.




**Gambar 3.17 Grafik Tegangan-Regangan Baja Tulangan**
(Sumber: doc.player.info, 2019)

### 3.10 Sistem Rangka Pemikul Momen

Sistem rangka pemikul momen memiliki kemampuan untuk menyerap energi yang baik, tetapi juga memerlukan terjadinya simpangan antar lantai yang cukup besar, agar dapat timbul sendi-sendi plastis pada komponen balok, hal ini terjadi untuk menyerap energi gempa yang diterima bangunan. Bangunan yang tinggi menambah simpangan yang akan terjadi dan dapat mengakibatkan kerusakan struktural ataupun non-struktural. Pada sistem rangka pemikul momen ini dibedakan menjadi 3 jenis berdasarkan sifat *momen resisting frames*, yaitu:

1. Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB)

   SRPMB merupakan sistem yang memiliki deformasi inelastik dan tingkat daktilitas yang paling kecil tetapi memiliki kekuatan yang besar, oleh karena itu desain SRPMB dapat mengabaikan persyaratan "*Strong Column, Weak Beam*" yang dipakai untuk mendesain struktur yang mengandalkan daktilitas yang tinggi. SRPMB masih jarang digunakan untuk wilayah gempa yang besar

namun efektif untuk wilayah gempa yang kecil. SRPMB digunakan untuk perhitungan struktur gedung pada wilayah dengan tingkat kegempaan rendah.

2. Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)

   SRPMM merupakan suatu metode perencanaan struktur sistem rangka pemikul momen yang menitikberatkan kewaspadaannya terhadap kegagalan struktur akibat keruntuhan geser. Pada SNI 03-2847-2002 terdapat bahwa SRPMM dijelaskan secara tersendiri pada pasal 23.10. Pada pasal tersebut dijelaskan tata cara perhitungan beban geser batas berikut pemasangan tulangan gesernya. Kemampuan penampang dalam mengantisipasi perbalikan momen juga disyaratkan pada peraturan tersebut. SRPMM digunakan untuk perhitungan struktur gedung pada wilayah dengan tingkat kegempaan sedang.

3. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

   SRPMK merupakan komponen struktur yang mampu memikul gaya akibat beban gempa dan direncanakan untuk memikul lentur. Komponen struktur SRPMK harus memenuhi syarat-syarat yaitu:

   a. Gaya aksial tekan terfaktor pada komponen struktur tidak boleh melebihi $0{,}1.A_g.f'_c$
   b. Bentang bersih komponen struktur tidak boleh kurang dari 4 kali tinggi efektifnya.
   c. Perbandingan antara lebar dan tinggi tidak boleh kurang dari 0,3.
   d. Lebarnya tidak boleh kurang dari 250 mm dan lebih dari lebar komponen struktur pendukung (diukur pada bidang tegak lurus terhadap sumbu longitudinal komponen struktur lentur) ditambah jarak pada tiap sisi komponen struktur pendukung yang tidak melebihi $^3/_4$ dari tinggi komponen struktur lentur. SRPMK digunakan untuk perhitungan struktur gedung pada wilayah dengan tingkat kegempaan tinggi.

Perbedaan dari ketiga sistem struktur diatas terdapat pada kemampuannya dalam mengalami deformasi inelastis dan tingkat daktilitas. Selain faktor deformasi inelastis dari ketiga sistem struktur tersebut, sistem rangka pemikul momen ini juga dapat dibedakan dari perilaku kinerja struktur gedung dalam mengalami daktilitas

yang berbeda-beda. Pada SRPMB dan SRPMM tingkat daktilitasnya adalah daktail parsial, sedangkan pada SRPMK tingkat daktilitasnya adalah daktail penuh.

### 3.11 Beton Bertulang

Beton bertulang adalah kombinasi dari material beton dan baja tulangan, dimana baja tulangan memberikan kekuatan tarik yang tidak dimiliki beton. Baja tulangan juga memberi tambahan kekuatan tekan pada struktur beton tersebut. Kelebihan dari beton bertulang sebagai bahan struktur yaitu memiliki masa layan yang sangat panjang. Sangat ekonomis untuk pondasi tapak, dinding *basement*, tiap tumpuan jembatan, *abutment*, dan sebagainya. Keahlian tukang yang dibutuhkan untuk membangun konstruksi beton bertulang lebih mudah dibanding dengan bahan lain seperti struktur baja.

Dalam analisis struktur beton bertulang terdapat 2 (dua) jenis metode yang akan dicari, yaitu metode analisis penampang dan desain penampang. Dari kedua metode tersebut terdapat perbedaan dalam metode tersebut dari data yang diketahui dan data yang dihitung. Dapat dilihat pada tabel 3.13 berikut ini.

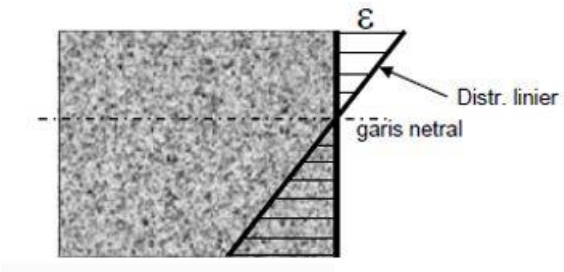
**Tabel 3.13 Analisis dan Desain Penampang**

| | **Analisis** | **Desain** |
|---|---|---|
| **Diketahui** | - Dimensi penampang (misal: *b* dan *h*)<br>- Mutu bahan ($f'_c$ dan $f_y$)<br>- Jumlah, diameter, dan posisi tulangan ($A_s$, $A_s'$, *d*, *ds*, dan *ds'*) | - Dimensi penampang (*b* dan *h*)<br>- Mutu bahan ($f'_c$ dan $f_y$)<br>- Gaya-gaya dalam terfaktor (contoh: $M_u$) |
| **Dihitung** | - Kuat nominal penampang (contoh: kuat lentur nominal $M_n$)<br>- Selanjutnya dicek :<br>$\phi.M_n \geq M_u$ | - Kebutuhan tulangan ($A_s$ dan $A_s'$), berdasarkan:<br>$M_n = M_u / \phi$ |

### 3.11.1 Asumsi yang Digunakan Berdasarkan SNI 03-2847-2002 dan SNI 2847:2013

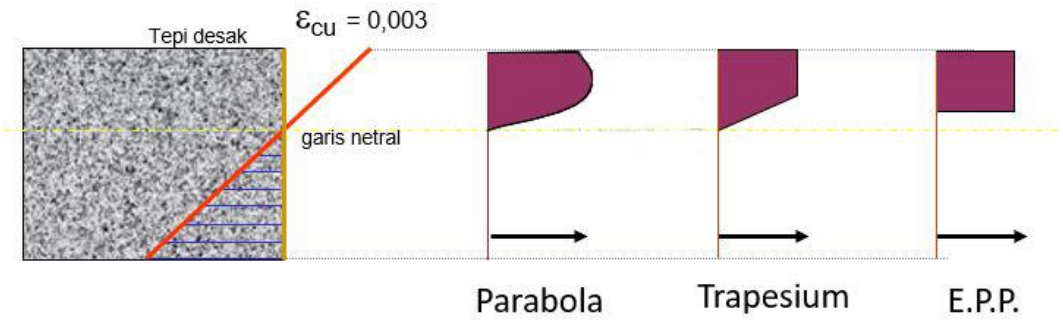
Dalam proses desain balok beton bertulang dengan metode kekuatan (*Strength Design Method*) atau yang dikenal dengan metode ultimit. Asumsi-asumsi yang digunakan dalam analisis atau desain penampang lentur dan aksial balok beton bertulang sebagai berikut:

1. Regangan yang terjadi pada beton dan tulangan baja adalah sama.
2. Regangan pada beton berbanding lurus terhadap jaraknya ke sumbu netral penampang balok.



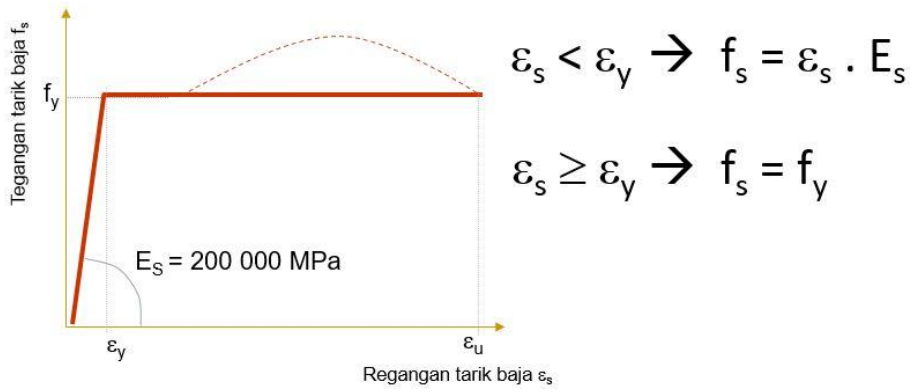

**Gambar 3.18 Distribusi Regangan (ε) pada Balok Biasa**
(Sumber: Bahan Ajar Tim Dosen Pengampu Mata Kuliah DPBB UII, 2019)

3. Regangan tekan maksimum yang dapat dimanfaatkan untuk beton pada serat tepi tekan terluar, $\varepsilon_{cu} = 0{,}003$.
4. Distribusi tegangan tekan beton dapat dianggap berbentuk parabola, trapesium, atau empat persegi panjang (E.P.P), atau bentuk lain yang dapat merepresentasikan kuat lentur dari penampang. Untuk penyederhanaan dalam analisis maupun desain penampang beton, maka dalam SNI 2847:2013 pasal 10.2.7, diijinkan untuk menggunakan distribusi blok tegangan ekuivalen berbentuk empat persegi panjang (E.P.P) untuk perhitungan kuat lentur nominal.




**Gambar 3.19 Distribusi Tegangan Tekan Beton**
(Sumber: Bahan Ajar Tim Dosen Pengampu Mata Kuliah DPBB UII, 2019)

5. Distribusi tegangan tekan ekuivalen merata 0,85 $f'_c$ diasumsikan terdistribusi merata pada daerah tekan ekuivalen yang dibatasi oleh tepi penampang dan suatu garis lurus yang sejajar sumbu netral sejarak a = $\beta_1$.c dari serat beton yang mengalami regangan tekan maksimum.
6. Jarak c dari serat dengan regangan tekan maksimum ke sumbu netral harus diukur tegak lurus sumbu tersebut.
7. Faktor $\beta_1$ harus diambil sebesar 0,85 untuk beton dengan nilai kuat tekan $f'_c$ lebih kecil daripada atau sama dengan 30 MPa. Untuk beton dengan nilai kuat tekan diatas 30 MPa, $\beta_1$ harus direduksi sebesar 0,05 untuk setiap kelebihan 7 MPa diatas 30 MPa, tetapi tidak boleh diambil kurang dari 0,65. (SNI 03-2847-2002 pasal 12.2.7.3)
8. Untuk $f'_c$ antara 17 dan 28 MPa, $\beta_1$ diambil sebesar 0,85. Untuk $f'_c$ diatas 28 MPa, $\beta_1$ harus direduksi sebesar 0,05 untuk setiap kelebihan kekuatan sebesar 7 MPa di atas 28 MPa, tetapi $\beta_1$ tidak boleh diambil kurang dari 0,65. (SNI 2847:2013 pasal 10.2.7.3)
9. Bagian tarik pada beton diabaikan.
10. Tegangan tarik baja dianggap elastis linier – plastis.



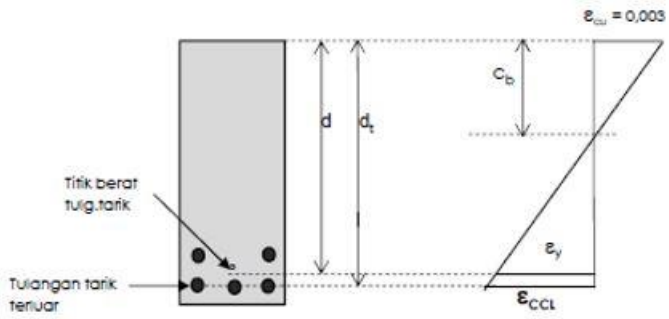

**Gambar 3.20 Tegangan Tarik Baja**
(Sumber: Bahan Ajar Tim Dosen Pengampu Mata Kuliah DPBB UII, 2019)

### 3.11.2 Regangan Penampang

Ketentuan perencanaan penampang beton bertulang biasa terdapat dalam SNI 2847:2013 pasal 10.3, didasarkan pada konsep regangan yang terjadi pada penampang beton dan tulangan baja. Secara umum ada 3 (tiga) macam regangan penampang yaitu:

1. Kondisi regangan seimbang (*Balanced Strain Condition / BSC*)

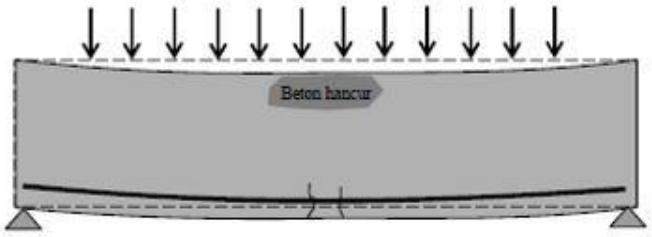
   Kondisi ini terjadi pada suatu penampang ketika tulangan baja tarik mencapai regangan leleh ($\varepsilon_y$), sedangkan beton yang tertekan mencapai regangan ultimitnya sebesar 0,003. Kondisi demikian dinamakan sebagai penampang seimbang. Untuk tinjauan kondisi seimbang, regangan leleh baja ditinjau pada titik berat tulangan tarik, yaitu pada tinggi efektif balok (d). Dengan $d_t$ adalah jarak lapis terluar tulangan tarik dari sisi tekan beton.




**Gambar 3.21 *Balanced Strain Condition***
(Sumber: Bahan Ajar Tim Dosen Pengampu Mata Kuliah DPBB UII, 2019)

2. Penampang terkendali tekan (*Compression Controlled Section / CCS*)

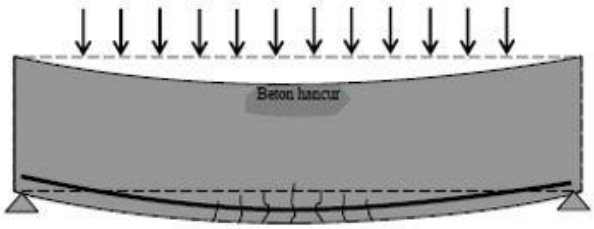
   Kondisi ini terjadi ketika tulangan tarik terluar sama atau kurang dari batasan regangan yang diijinkan, sedangkan beton telah mencapai regangan ultimit sebesar 0,003. Untuk tulangan baja dengan $f_y$ = 400 MPa, maka batasan regangan tekan tersebut sama dengan 0,002. Kondisi ini bisa disebut kegagalan *over reinforced*, yang biasanya terjadi pada komponen struktur kolom yang menerima gaya aksial dan momen lentur. Keruntuhan dapat terjadi secara tiba-tiba. Kegagalan balok berupa hancurnya beton di daerah tekan secara mendadak, tidak ditandai dengan adanya lendutan dan tidak ada retak pada beton di daerah tarik dimana yang berarti tulangan tarik belum leleh.




**Gambar 3.22 *Compression Controlled Section***
(Sumber: Bahan Ajar Tim Dosen Pengampu Mata Kuliah DPBB UII, 2019)

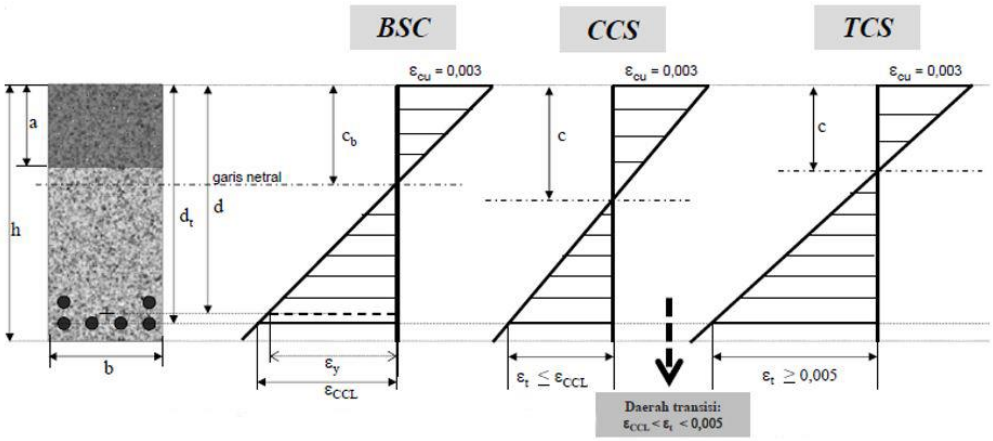
3. Penampang terkendali tarik (*Tension Controlled Section / TCS*)

   Kondisi ini terjadi ketika regangan baja tarik terluar mencapai nilai sebesar 0,005 atau lebih, yang terjadi ketika beton telah mencapai regangan ultimitnya sebesar 0,003. Kondisi ini memperlihatkan akan tanda-tanda keruntuhan. Kegagalan balok berupa hancurnya beton di daerah tekan didahului dengan terjadinya lendutan yang besar dan banyak retak pada beton di daerah tarik dimana yang berarti tulangan tarik sudah leleh.



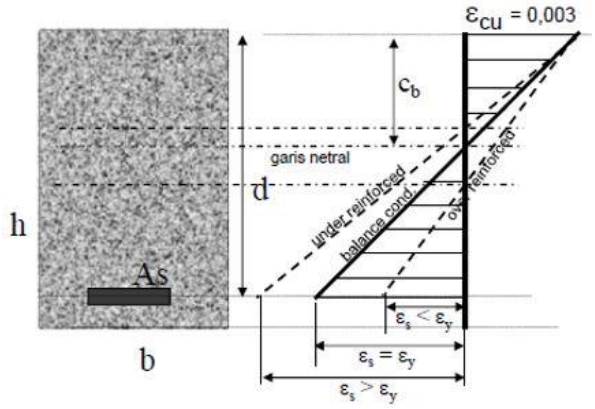

**Gambar 3.23 *Tension Controlled Section***
(Sumber: Bahan Ajar Tim Dosen Pengampu Mata Kuliah DPBB UII, 2019)

Suatu penampang balok beton bertulang dengan beban lentur didefinisikan mencapai kekuatan maksimumnya, yaitu nilai $M_n$ yang telah tercapai, jika regangan pada sisi terluar beton tekan mencapai nilai $\varepsilon_{cu} = 0{,}003$. Dapat didefinisikan kondisi-kondisi sebagai berikut.




**Gambar 3.24 Regangan Penampang *BSC, CCS,* dan *TCS***
(Sumber: Bahan Ajar Tim Dosen Pengampu Mata Kuliah DPBB UII, 2019)

Jika hal tersebut didahului dengan lelehnya baja tulangan tarik ($\varepsilon_s > \varepsilon_y$), maka penampang tersebut dalam kondisi *under reinforced*. Jika hal tersebut terjadi tepat bersamaan dengan tercapainya tegangan leleh baja tulangan tarik ($\varepsilon_s = \varepsilon_y$), maka penampang tersebut dalam kondisi *balanced*. Jika hal tersebut terjadi sedangkan baja tulangan tarik masih elastis ($\varepsilon_s < \varepsilon_y$), maka penampang tersebut dalam kondisi *over reinforced*. Hal-hal tersebut dinamakan kegagalan lentur.




**Gambar 3.25 Jenis Kegagalan Lentur**
(Sumber: Bahan Ajar Tim Dosen Pengampu Mata Kuliah DPBB UII, 2019)

### 3.11.3 Faktor Reduksi Kekuatan

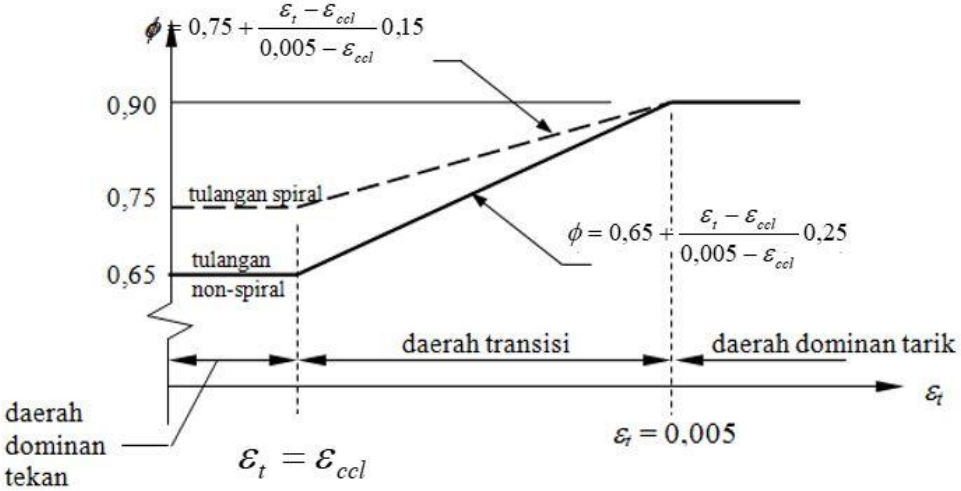
Kuat nominal dari suatu komponen struktur, baik yang memikul lentur, beban aksial, gaya geser, maupun momen puntir, yang dihitung berdasarkan kaidah-kaidah yang berlaku, harus dikalikan dengan suatu faktor reduksi yang besarnya kurang dari 1 (satu). Dalam SNI 2847:2013 pasal 9.3, digunakan beberapa nilai faktor reduksi kekuatan ($\phi$) sebagai berikut:

**Tabel 3.14 Nilai Faktor Reduksi Kekuatan ($\phi$) Berdasarkan Jenis**

| Jenis | Nilai Faktor Reduksi Kekuatan ($\phi$) |
|---|---|
| Penampang dominan tarik | 0,90 |
| Penampang dominan tekan : | |
| dengan tulangan spiral | 0,75 |
| dengan tulangan non-spiral | 0,65 |
| Untuk gaya geser dan momen puntir | 0,75 |
| Untuk tumpu pada beton | 0,65 |

Sumber: SNI 2847:2013

Pada grafik dibawah ini berlaku untuk semua mutu baja tulangan, dimana $\varepsilon_{CCL} = \varepsilon_y$ . Untuk komponen struktur lentur beton bertulang, nilai $\varepsilon_t$ harus sama atau lebih besar daripada 0,004.




**Gambar 3.26 Grafik Nilai Faktor Reduksi Kekuatan ($\phi$)**
(Sumber: SNI 2847:2013)

### 3.11.4 Persyaratan pada Balok Beton Bertulang

Balok beton bertulang harus memenuhi persyaratan-persyaratan tersebut:

1. Kuat menahan momen akibat beban, sehingga $M_n \geq M_u$.
2. Kuat menahan gaya geser akibat beban, sehingga $V_n \geq V_u$.
3. Kuat menahan momen torsi akibat beban, sehingga $T_n \geq T_u$.
4. Bersifat daktail, serta memenuhi persyaratan *under reinforced* yaitu :
   a. Pada penampang dengan tulangan tunggal

   $$A_s < A_{s,\,max} = 0{,}75\, A_{sb} \tag{3.36}$$

   b. Pada penampang dengan tulangan rangkap

   $$(A_s - A_{s'}) < A_{s,\,max} = 0{,}75\, A_{sb} \tag{3.37}$$

5. Besar lendutan dan lebar retak pada keadaan layan tidak melebihi batas yang diijinkan.
6. Jumlah tulangan lentur minimum :

   $$A_{s,\,min\,1} = \frac{\sqrt{f'c}}{4\,.\,fy}\,.\,b_w\,.\,d \tag{3.38}$$

   Tetapi tidak boleh lebih kecil dari

   $$A_{s,\,min\,2} = \frac{1{,}4}{fy}\,.\,b_w\,.\,d \tag{3.39}$$

7. Jarak antar tulangan ≥ 25 mm, digunakan jarak ≥ 40 mm apabila lebih besar dari ukuran agregat terbesar.
8. Jarak antar tulangan begel ≤ 150 mm (pada daerah momen maksimum), dan jarak antar tulangan ≤ 300 mm (pada daerah lainnya).
9. Selimut beton ≥ 40 mm (apabila tertutup), dan selimut beton ≥ 50 mm (apabila terbuka atau berhubungan langsung dengan tanah).
10. Diameter minimum tulangan struktural dapat dilihat pada Tabel 3.15 dibawah ini.

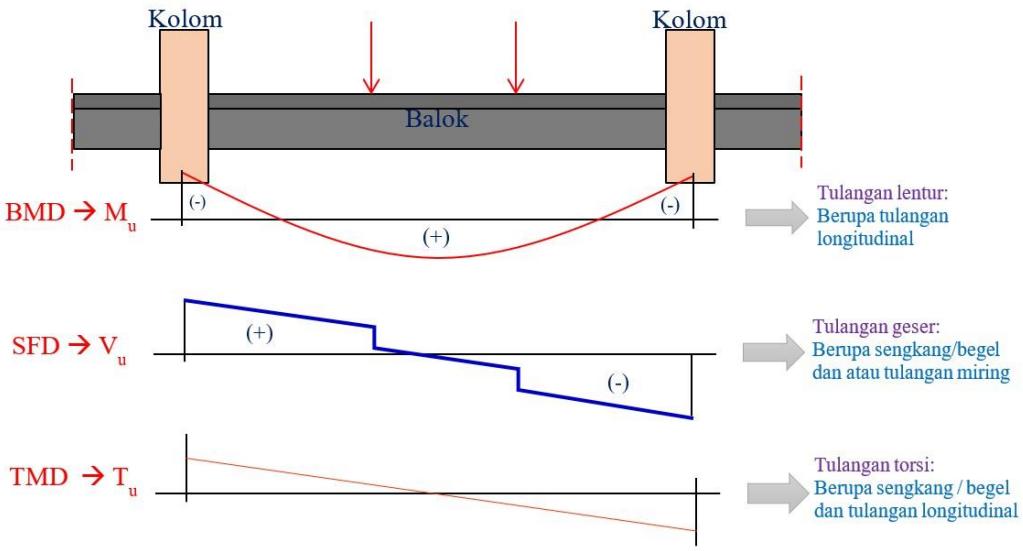
**Tabel 3.15 Diameter Minimum Tulangan Struktural**

| Jenis Tulangan | Tulangan Polos | Tulangan *Deform* |
|---|---|---|
| Utama | 10 mm | 8 mm |
| Samping | 8 mm | 6 mm |
| Sengkang | 8 mm | 6 mm |

Sumber: SNI 2847:2013

### 3.11.5 Perancangan dan Analisis Geser pada Balok

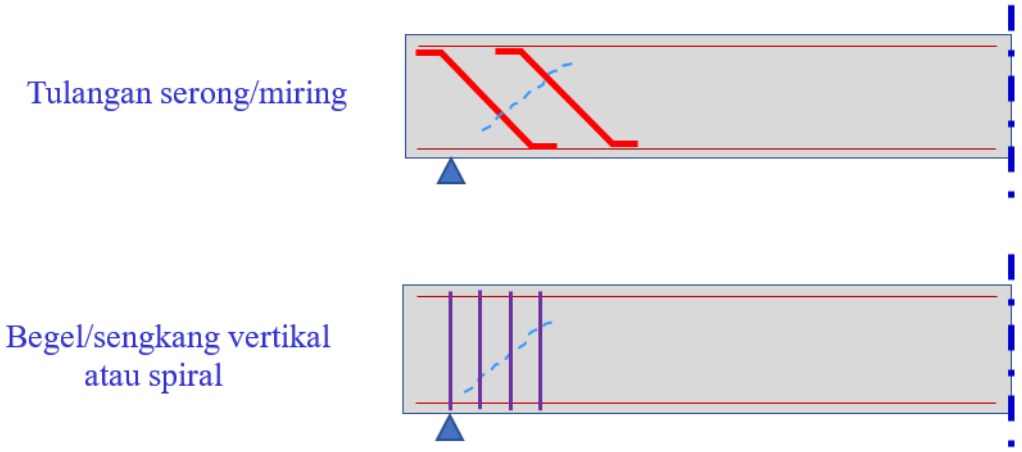
Pada umumnya akibat pembebanan yang ada pada balok akan mengalami berbagai macam gaya-gaya dalam (*internal forces*) sekaligus momen lentur, gaya aksial, gaya geser, dan momen torsi.




**Gambar 3.27 Gaya-gaya Dalam (*Internal Forces*)**
(Sumber: Bahan Ajar Tim Dosen Pengampu Mata Kuliah DPBB UII, 2019)

Tegangan geser dan tegangan lentur akan timbul disepanjang komponen struktur dimana bekerja gaya geser dan momen lentur. Penampang komponen struktur akan mengalami tegangan-tegangan tersebut secara bersama-sama selain pada garis netral dan serat tepi penampang. Komposisi tegangan-tegangan tersebut disuatu titik akan secara alami menyesuaikan diri dengan membentuk tegangan geser dan tegangan normal dalam suatu bidang dengan sudut kemiringan terhadap sumbu balok.

Struktur beton hanya mempunyai kekuatan tarik yang kecil, sekitar 10% dari kuat tekan struktur beton tersebut. Jika kemampuannya terlampaui maka kelebihan gaya tarik akibat gaya geser yang terjadi harus ditahan oleh tulangan geser yang dapat berupa tulangan serong atau tulangan miring, begel atau sengkang vertikal atau spiral, dan jaring tulangan las atau *wire mesh* (biasanya dipasang pada balok tinggi). Dapat dilihat pada SNI 2847:2013 pasal 11.4.1.




**Gambar 3.28 Jenis Tulangan Geser pada Balok**
(Sumber: Bahan Ajar Tim Dosen Pengampu Mata Kuliah DPBB UII, 2019)

Tulangan serong atau miring biasanya dipasang di ujung balok, dimana merupakan tempat gaya geser mencapai nilai maksimum, dan hanya cocok untuk balok yang hanya menahan beban gravitas sehingga gaya geser tidak berubah arah. Tulangan miring merupakan tulangan geser yang paling efisien, karena arahya sesuai dengan arah gaya tarik yang terjadi akibat gaya geser.

Sedangkan tulangan sengkang atau begel vertikal hanya akan menahan gaya tarik komponen vertikal dari gaya tarik miring yang terjadi. Komponen horizontal dari gaya tarik miring tadi akan dilimpahkan kepada beton dan tulangan longitudinal. Namun tulangan sengkang atau begel vertikal ini mampu menahan gaya geser yang berubah arah (semisal akibat beban gempa atau angin). Diameter begel atau sengkang biasanya dibatasi ≤ 12 mm dan dibuat dari baja tulangan dengan $f_y \leq 420$ MPa. Nilai $\sqrt{f'c}$ yang digunakan dalam analisis atau desain geser tidak boleh melebihi dari $\frac{25}{3}$ MPa.

Menurut SNI 2847:2013 kemampuan geser lentur beton pada suatu balok dinyatakan secara empiris sebagai berikut:

$$V_c = 0{,}17 \sqrt{f'c} \, . \, b_w \, . \, d \tag{3.40}$$

Gaya geser yang harus didukung oleh penampang balok akibat beban luar adalah $V_u$ dan harus dipenuhi syarat sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 11.1 sebagai berikut:

$$\phi . V_n > V_u \tag{3.41}$$

dengan :

$V_n = V_c + V_s$

$V_n$ = kemampuan geser nominal balok

$V_c$ = kemampuan nominal geser beton

$V_s$ = kemampuan nominal geser dari tulangan geser

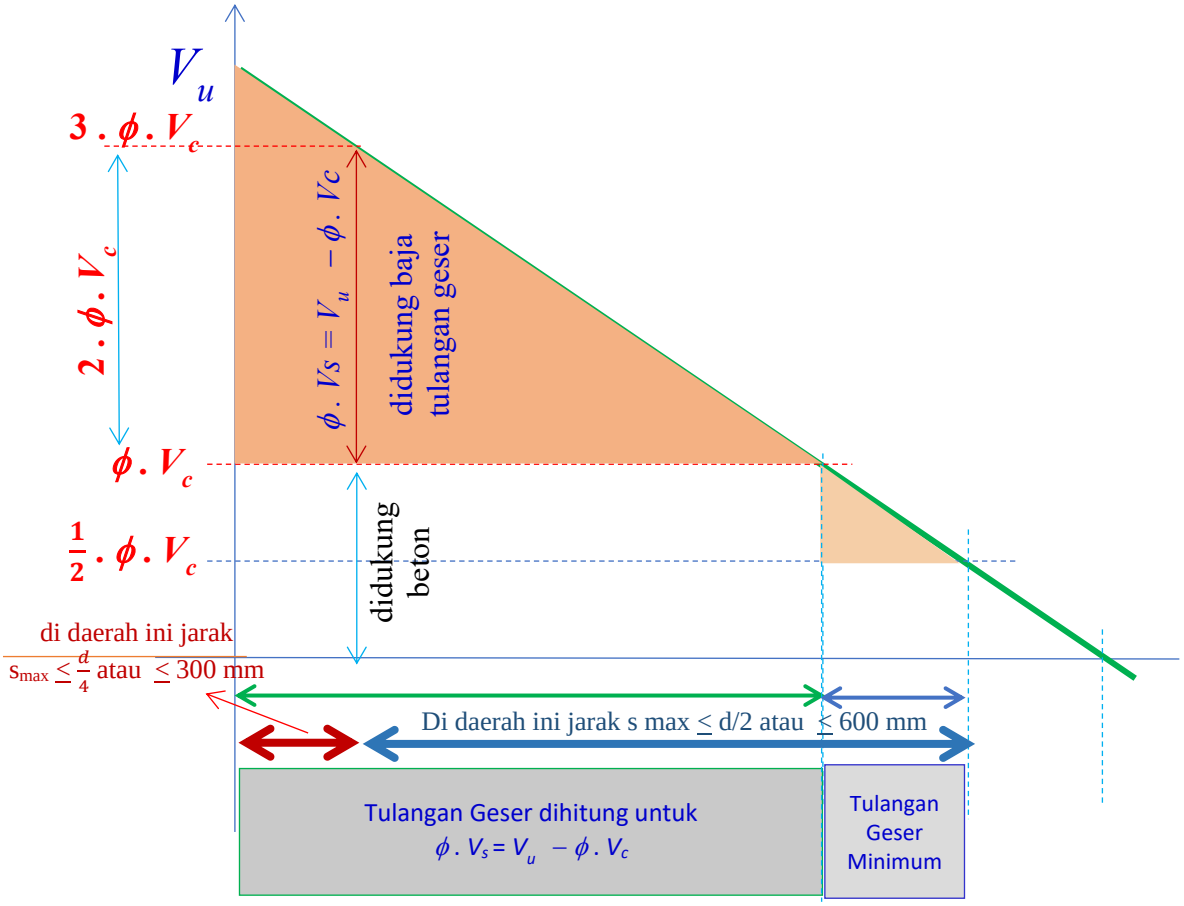
$\phi$ = faktor reduksi untuk geser yaitu 0,75

### 3.11.6 Tulangan Geser Minimum

Kegagalan geser bersifat getas atau tiba-tiba. Untuk mencegah kegagalan geser akibat beban yang tak terduga, maka perlu dipasang tulangan geser minimum pada daerah dengan syarat:

$$\frac{1}{2} . \phi . V_c < V_u \leq \phi . V_c \tag{3.42}$$

Sedangkan pada daerah dengan $V_u \leq \frac{1}{2} . \phi . V_c$ teoritis tidak perlu diberi tulangan geser, tetapi dengan pertimbangan lain (semisal bahaya tekuk pada tulangan tekan untuk lentur) maka disini perlu dipasang tulangan geser.




**Gambar 3.29 Tulangan Geser Minimum**
(Sumber: Bahan Ajar Tim Dosen Pengampu Mata Kuliah DPBB UII, 2019)

Dengan tulangan geser minimum yaitu,

$$A_v = \frac{75\sqrt{f'c}.\, b_w .\, s}{1200 .\, f_y} \tag{3.43}$$

dan untuk syarat $A_v$ yaitu,

$$A_v = \frac{1}{3}\,\frac{bw .\, s}{fy} \tag{3.44}$$

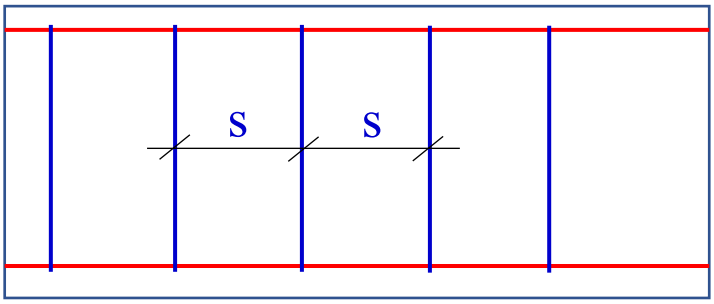
dengan jarak antar sengkang (s) sebesar,

$$s \leq \frac{d}{2} \tag{3.45}$$

atau diambil jarak antar sengkang (s) sebesar,

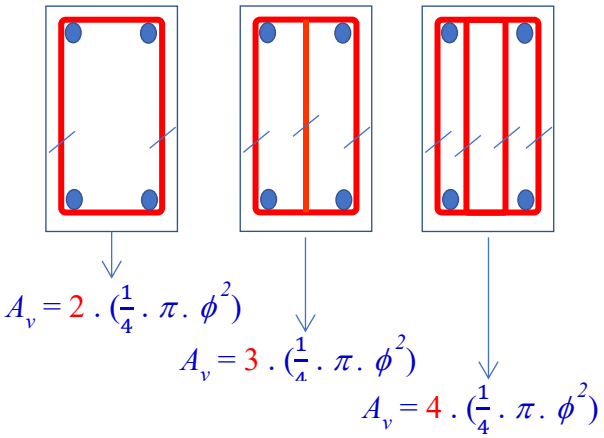
$$s \leq 600 \text{ mm} \qquad (3.46)$$

dimana $b_w$ adalah lebar balok (dalam satuan mm) dan jarak antar sengkang (dalam satuan mm) diambil nilai yang terkecil dari kedua persyaratan tersebut.




**Gambar 3.30 Jarak Antar Sengkang**
(Sumber: Bahan Ajar Tim Dosen Pengampu Mata Kuliah DPBB UII, 2019)

Agar tidak menyulitkan pada saat pengecoran dan pemadatan beton, maka jarak antar sengkang (s) pada balok sebaiknya ≥ 100 mm. Jika memang belum cukup, maka dapat digunakan sengkang dengan kaki yang lebih banyak. Misal sengkang 2 kaki digunakan P10-100, sengkang 3 kaki digunakan 1,5P-100, sengkang 4 kaki digunakan 4P-100, dan seterusnya.




**Gambar 3.31 Penggunaan Sengkang dengan Kaki yang Lebih Banyak**
(Sumber: Bahan Ajar Tim Dosen Pengampu Mata Kuliah DPBB UII, 2019)

## 3.12 Perancangan Tulangan Balok

Perancangan tulangan balok harus memperhatikan beberapa persyaratan agar desain tulangan memenuhi standar keamanan yang ada.

1. Persyaratan Dimensi Balok

   Menurut SNI 03-2847-2002 pasal 23.3 ayat 1 dan SNI 2847:2013 pasal 21.5 ayat 1 untuk komponen-komponen struktur pada Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) yang memikul gaya akibat beban gempa dan dirancang untuk memikul lentur, batasan penampang komponen struktur tersebut harus memenuhi syarat-syarat diantaranya:

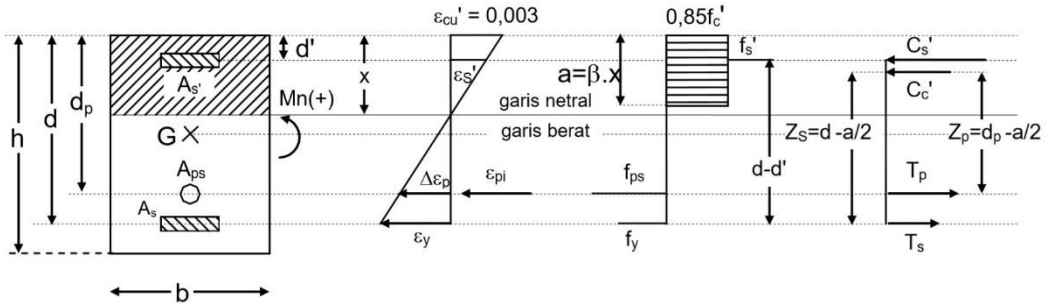
   a. Gaya aksial tekan terfaktor pada komponen struktur tidak boleh melebihi 0,1. $A_g$ . $f'_c$.
   b. Bentang bersih komponen struktur tidak boleh kurang dari empat kali tinggi efektifnya.
   c. Perbandingan lebar terhadap tinggi tidak boleh kurang dari 0,3.
   d. Lebarnya tidak boleh kurang dari 250 mm dan tidak boleh lebih dari lebar komponen struktur pendukung (diukur pada bidang tegak lurus terhadap sumbu longitudinal komponen struktur lentur) ditambah jarak pada tiap sisi komponen struktur pendukung yang tidak melebihi $^3/_4$ tinggi komponen struktur lentur.

2. Perancangan tulangan lentur balok

   Tulangan lentur pada balok didesain sebagai tulangan balok rangkap karena balok yang didesain tahan gempa, maka balok akan mengalami secara bergantian momen positif maupun momen negatif sehingga satu sisi penampang balok harus bisa menahan momen positif sekaligus momen negatif. Selain itu pemakaian tulangan rangkap memiliki fungsi yaitu:

   a. Meningkatkan besar momen yang dapat dipikul.
   b. Meningkatkan kapasitas rotasi penampang yang berkaitan dengan peningkatan daktilitas penampang.
   c. Meningkatkan kekakuan penampang.
   d. Dapat mengatasi kemungkinan momen berubah arah yang diakibatkan oleh beban gempa.

   Diagram tegangan-regangan penampang balok beton bertulang dapat dilihat pada Gambar 3.34 berikut ini.




**Gambar 3.32 Diagram Tegangan-Regangan Penampang Balok Beton Bertulang**
(Sumber: Widodo (2013))

3. Perancangan tulangan geser balok

   Berdasarkan SNI 03-2847-2002 pasal 23.3 ayat 4 dan SNI 2847:2013 pasal 21.5 ayat 4, gaya geser rencana ($V_e$) harus ditentukan dari peninjauan gaya statik pada bagian komponen struktur antara dua muka tumpuan. Momen-momen dengan tanda berlawanan sehubungan dengan kuat lentur maksimum ($M_{pr}$) harus dianggap bekerja pada muka-muka tumpuan, dan komponen struktur tersebut dibebani dengan beban gravitasi terfaktor di sepanjang bentangnya. Momen ujung $M_{pr}$ didasarkan pada tegangan tarik 1,25$f_y$.

## 3.13 Perbedaan Standar SNI 03-2847-2002 dan SNI 2847:2013

Perbedaan mendasar dalam perhitungan beton dalam mendesain bangunan dapat dilihat pada Tabel 3.16 berikut.

**Tabel 3.16 Perbedaan Standar Berdasarkan SNI 03-2847-2002 dan SNI 2847:2013**

| No. | Perbedaan | SNI 03-2847-2002 | SNI 2847:2013 |
|---|---|---|---|
| 1. | Kekuatan tekan rata-rata perlu, untuk kekuatan tekan $21 \leq f'_c \leq 35$ | $f'_{cr} = f'_c + 8{,}5$ | $f'_{cr} = f'_c + 8{,}3$ |
| 2. | Kekuatan tekan rata-rata perlu, untuk kekuatan tekan $f'_c > 35$ | $f'_{cr} = f'_c + 10$ | $f'_{cr} = 1{,}10\, f'_c + 5{,}0$ |

**Lanjutan Tabel 3.16**

| No. | Perbedaan | SNI 03-2847-2002 | SNI 2847:2013 |
|---|---|---|---|
| 3. | Tebal selimut beton minimum untuk batang tulangan D16, jaring kawat polos P16 atau ulir D16 dan yang lebih kecil | 15 mm | 13 mm |
| 4. | Faktor reduksi kekuatan lentur ($\phi$) | 0,8 | 0,65-0,9 |
| 5. | Faktor reduksi kekuatan geser dan torsi ($\phi$) | 0,75 (kecuali pada struktur yang bergantung pada sistem rangka pemikul momen khusus atau sistem dinding khusus untuk menahan pengaruh gempa) | 0,75 |
| 6. | Hubungan antara distribusi tekan beton dan regangan beton | Untuk $f'_c$ kurang dari atau sama dengan 30 MPa, $\beta_1$ harus diambil sebesar 0,85. Untuk $f'_c$ diatas 30 MPa, $\beta_1$ harus direduksi sebesar 0,05 untuk setiap kelebihan kekuatan sebesar 7 MPa di atas 30 MPa, tetapi $\beta_1$ tidak boleh diambil kurang dari 0,65 | Untuk $f'_c$ antara 17 dan 28 MPa, $\beta_1$ harus diambil sebesar 0,85. Untuk $f'_c$ diatas 28 MPa, $\beta_1$ harus direduksi sebesar 0,05 untuk setiap kelebihan kekuatan sebesar 7 MPa di atas 28 MPa, tetapi $\beta_1$ tidak boleh diambil kurang dari 0,65 |
| 7. | Perancangan balok terhadap beban lentur | $A_{s\,min} = \frac{\sqrt{f'_c}}{4\,.\,f_y}\ b_w\ d$ | $A_{s\,min} = \frac{0{,}25\sqrt{f'_c}}{4\,.\,f_y}\ b_w\ d$ |
| 8. | Modulus hancur beton | $f_r = 0{,}7\sqrt{f'_c}$ | $f_r = 0{,}62\ \lambda\sqrt{f'_c}$ |
| 9. | Kuat geser nominal | $V_c = 0{,}17\sqrt{f'_c}\ b_w\ d$<br>$V_c = \left(\sqrt{f'_c} + 120\ \rho_w\ \frac{V_u\ d}{M_u}\right)\frac{b_w\ d}{7}$<br>$V_c \le \left(0{,}3\sqrt{f'_c}\ b_w\ d\right)$<br>$V_c = \left(1 + \frac{N_u}{14\ A_g}\right)\sqrt{\frac{f'_c}{6}}\ b_w\ d$ | $V_c = 0{,}17\ \lambda\sqrt{f'_c}\ b_w\ d$<br>$V_c = \left(0{,}16\ \lambda\sqrt{f'_c} + 17\ \rho_w\ \frac{V_u\ d}{M_u}\right)\ b_w\ d$<br>$V_c \le \left(0{,}29\ \lambda\sqrt{f'_c}\ b_w\ d\right)$<br>$V_c = 0{,}17\left(1 + \frac{N_u}{14\ A_g}\right)\lambda\sqrt{f'_c}\ b_w\ d$<br>$V_c = 0{,}29\ \lambda\sqrt{f'_c}\ b_w d\ \sqrt{1 + \frac{0{,}29N_u}{A_g}}$ |

# BAB IV
# METODE PENELITIAN

## 4.1 Tinjauan Umum

Metode penelitian merupakan tata cara atau suatu urutan pelaksanaan penelitian dalam hal mencari solusi atau jawaban atas permasalahan penelitian yang sedang diajukan. Menurut Sugiyono (2010) menjelaskan bahwa metode penelitian adalah cara-cara ilmiah untuk mendapatkan data yang *valid*, dengan tujuan untuk dapat ditemukan, dikembangkan dan dibuktikan, pada suatu pengetahuan tertentu sehingga pada masanya dapat digunakan untuk memahami, memecahkan, dan mengantisipasi masalah. Pada BAB IV ini akan dijelaskan mengenai data penelitian, dan tahapan-tahapan penelitian.

## 4.2 Subjek dan Objek Penelitian

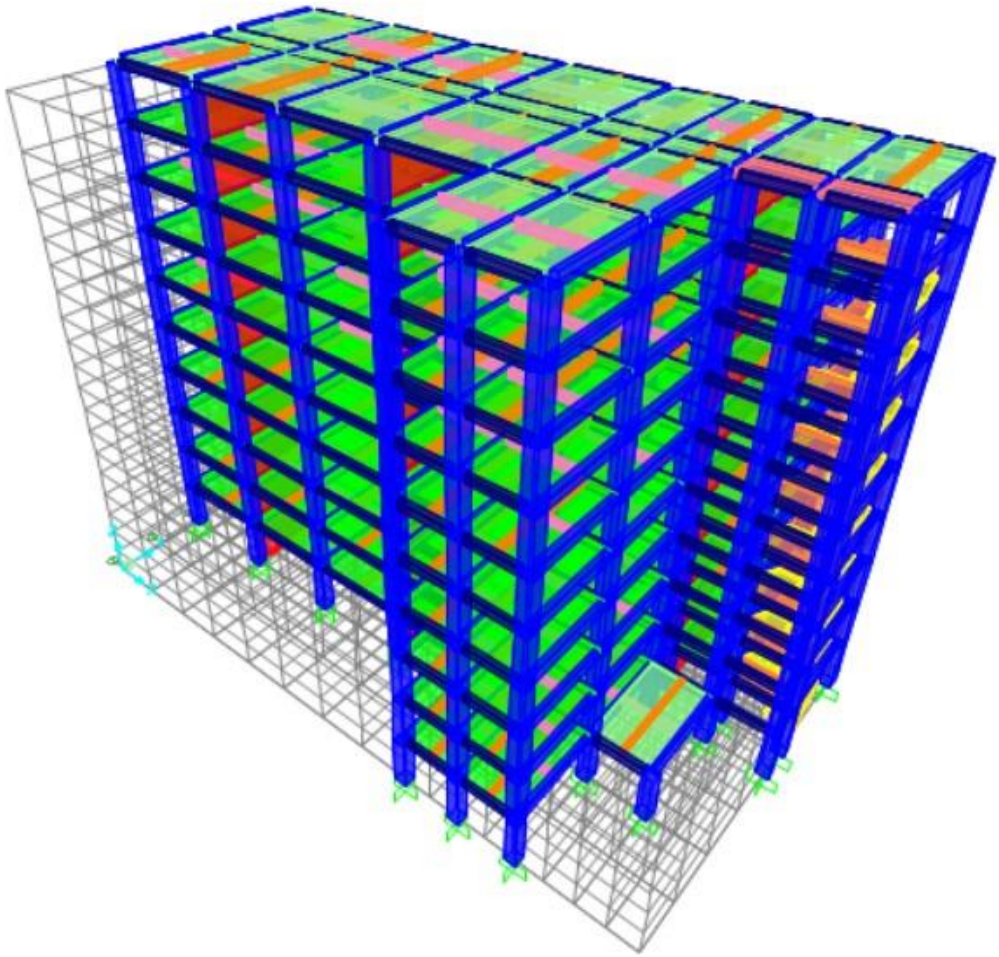
Pada penelitian ini, lokasi penelitian direncanakan berada di Mataram, NTB. Perhitungan struktur balok beton bertulang ini berdasarkan standar SNI 03-2847-2002 dan SNI 2847:2013. Penentuan letak lokasi penelitian berpengaruh terhadap besaran beban gempa yang terjadi pada saat perencanaan gedung.

## 4.3 Metode Penelitian

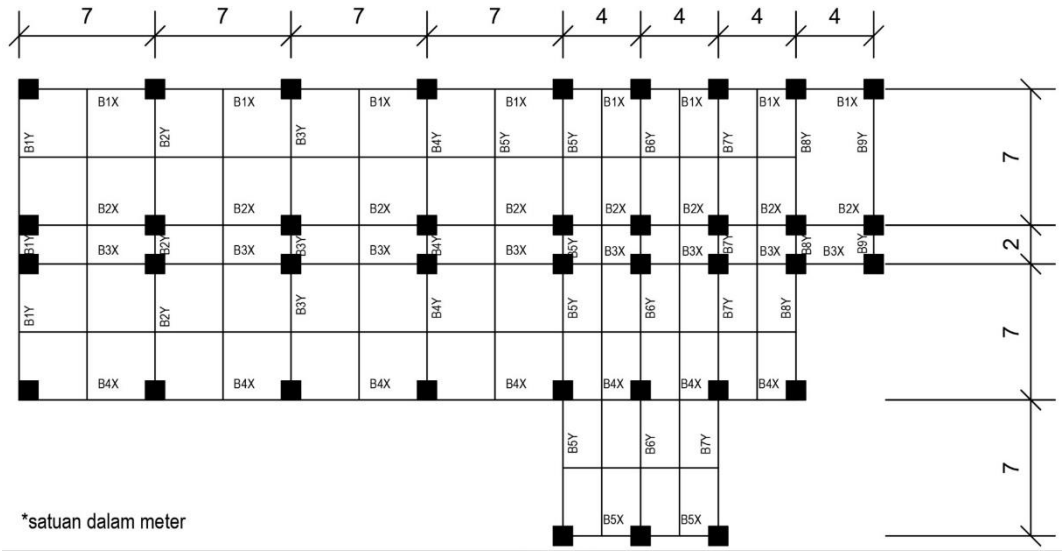
Metode yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan analisis perencanaan. Di dalam suatu perencanaan diperlukan analisis struktur agar diperoleh kemampuan dukung dari suatu struktur, sehingga tidak menyebabkan keruntuhan pada bangunan yang akan direncanakan. Agar perencanaan dapat dilaksanakan, maka analisis dilakukan berdasarkan data yang diperlukan sesuai dengan struktur yang direncanakan.

## 4.4 Pemodelan Struktur

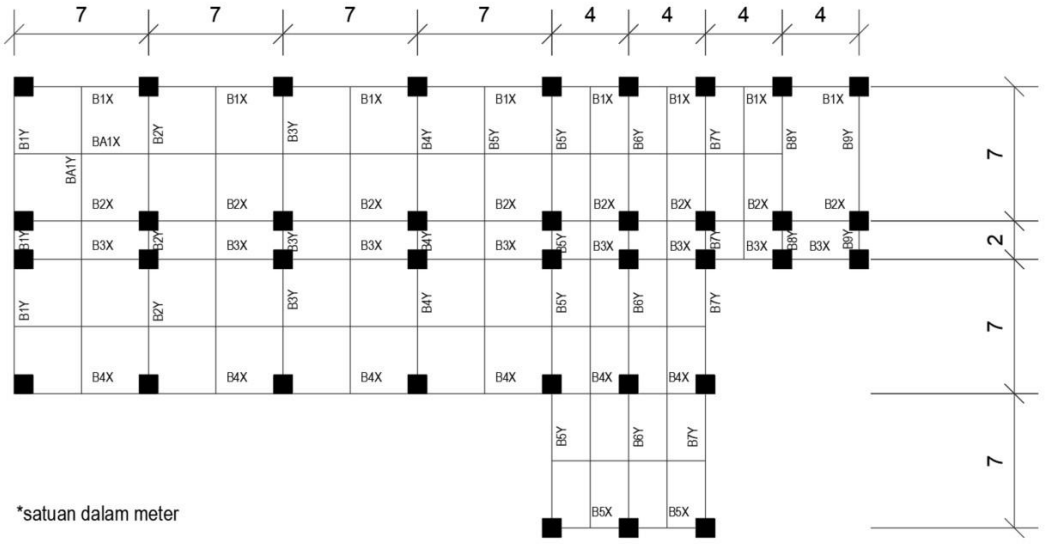
Pada penelitian ini dilakukan pemodelan sendiri oleh penulis, pemodelan struktur dan denah bangunan dapat dilihat pada Gambar 4.1, Gambar 4.2, dan Gambar 4.3 dibawah ini.



**Gambar 4.1 Pemodelan Struktur (3 Dimensi)**




**Gambar 4.2 Denah Bangunan Lantai 1 (Tampak Atas)**




**Gambar 4.3 Denah Bangunan Lantai 2 s.d. Lantai 10 (Tampak Atas)**

## 4.5 Data Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui berapa banyak perbedaan perhitungan struktur balok beton bertulang menggunakan persyaratan SNI 03-2847-2002 dan SNI 2847:2013 pada struktur asimetris. Struktur bangunan yang akan direncanakan memiliki spesifikasi sebagai berikut:

1. Kuat tekan ($f'_c$) untuk pelat lantai = 25 MPa
2. Kuat tekan ($f'_c$) untuk balok dan kolom = 35 MPa

3. Mutu baja tulangan ($f_y$) untuk diameter ≤ 12 mm = 380 MPa.
4. Mutu baja tulangan ($f_y$) untuk diameter > 12 mm = 400 MPa.
5. Data denah struktur bangunan seperti pada Gambar 4.1, Gambar 4.2, dan Gambar 4.3.
6. Spesifikasi pembebanan material menggunakan Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Rumah dan Gedung (PPPURG) 1987.
7. Spesifikasi pembebanan beban hidup terdistribusi berdasarkan SNI 1727:2013.
8. Pembebanan gempa menggunakan metode *response spectrum* yang berlokasi di Mataram, NTB dengan asumsi jenis tanah pada lokasi gedung adalah tanah sedang.
9. Beban gempa diperoleh berdasarkan analisis pembebanan berdasarkan SNI 1726:2012.

## 4.6 Tahapan Penelitian

Berikut dibawah ini merupakan tahapan-tahapan dalam penelitian ini:

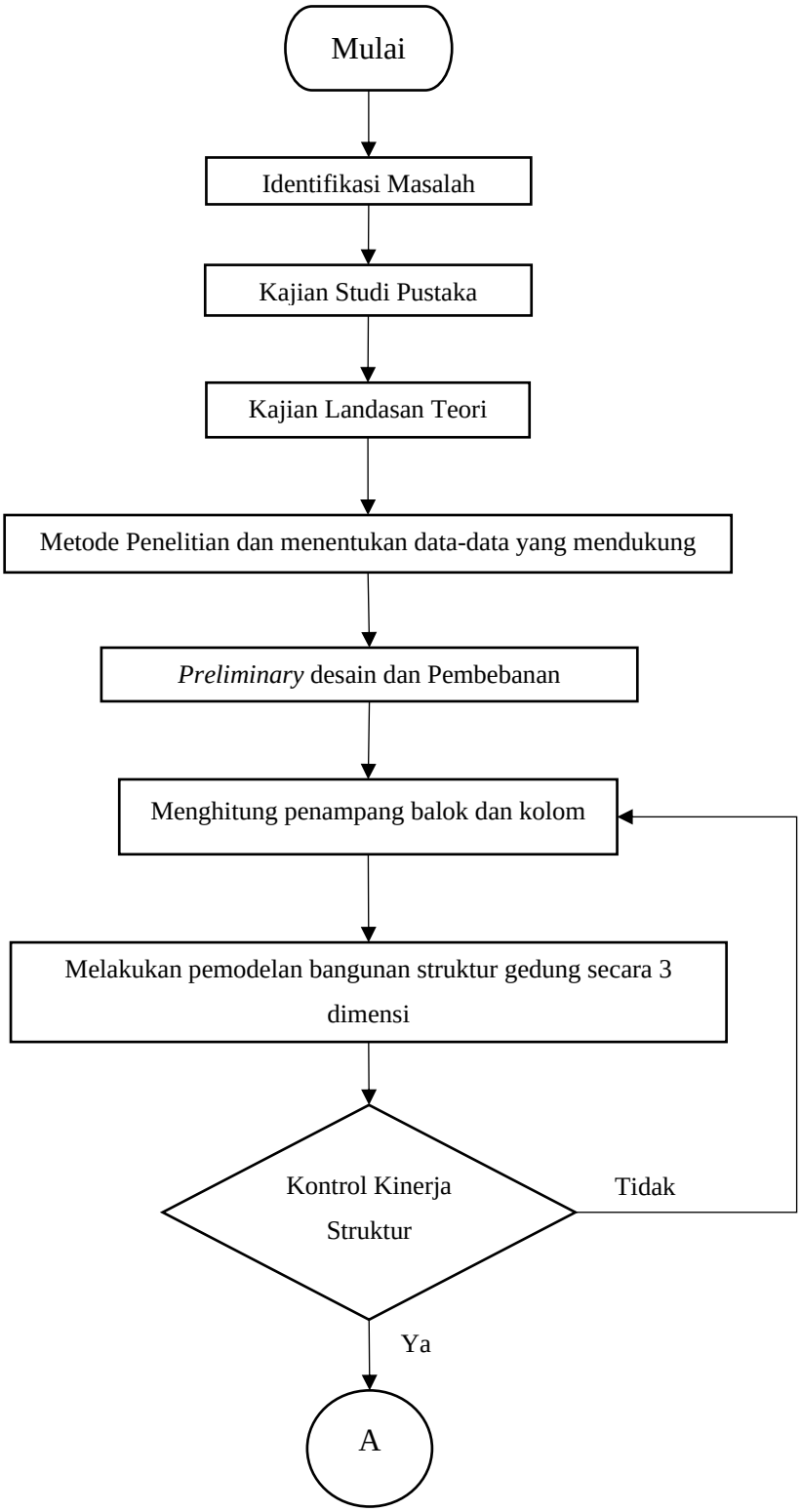
1. Tahap perumusan masalah, meliputi perumusan topik penelitian yang termasuk perumusan tujuan serta manfaat penelitian.
2. Tahap studi pustaka, untuk menemukan informasi dari berbagai literatur, buku, catatan, hasil penelitian sejenis yang pernah dilakukan dan relevan sesuai dengan objek yang sedang diteliti.
3. Tahap perumusan teori, yaitu pengkajian teori yang melandasi penelitian saat ini serta ketentuan-ketentuan yang dijadikan acuan dalam pelaksanaan penelitian.
4. Mencari data-data yang mendukung analisa struktur penelitian.
5. Menentukan dan menghitung jenis beban struktur, antara lain beban mati, beban gempa, dan beban hidup.
6. Menghitung dan menentukan bentuk penampang balok dan kolom bangunan.
7. Melakukan analisis struktur terhadap pemodelan struktur bangunan dengan program *SAP2000* v21.1.0 untuk mengetahui respon struktur bangunan.
8. Melakukan beberapa kontrol struktur terhadap model struktur untuk mengetahui bahwa struktur sudah aman dan dapat digunakan.

9. Melakukan perhitungan untuk struktur balok beton bertulang berupa tulangan lentur dan tulangan geser.
10. Tahap penulisan, pembahasan, dan penarikan kesimpulan. Tahap ini meliputi penulisan laporan penelitian berdasarkan aturan-aturan yang berlaku kemudian pembahasan didapatkan dari hasil validasi perangkat lunak. Kesimpulan yang diambil berdasarkan teori dan hasil validasi yang digunakan untuk menjawab masalah-masalah yang timbul.

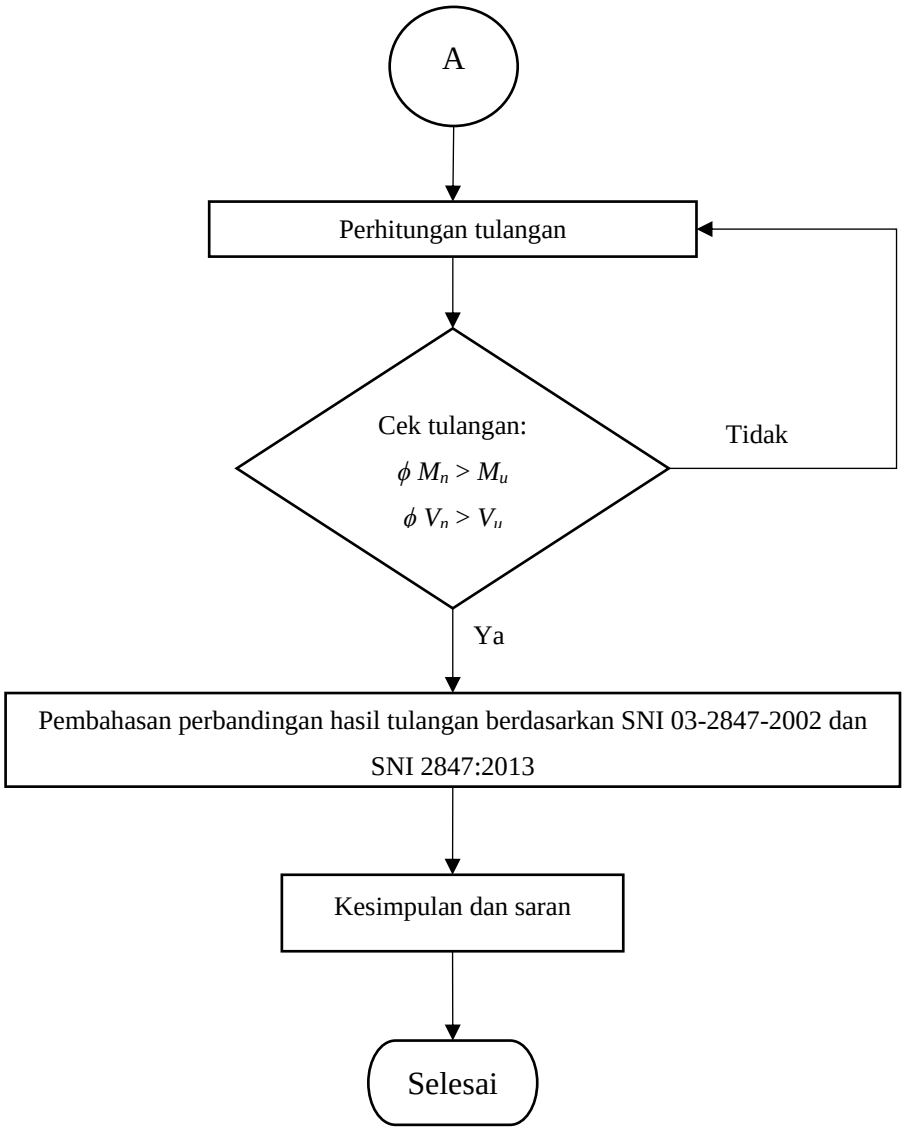
### 4.7 Bagan Alir Penelitian

Bagan alir atau diagram alir penelitian digunakan untuk membantu analisis dalam memecahkan suatu masalah. Bagan alir merupakan gambaran secara grafik yang terdiri dari simbol-simbol yang menyatakan urutan dari kegiatan yang dijalani dalam suatu penelitian. Bagan alir dapat diartikan sebagai sebuah proses yang menampilkan langkah-langkah yang disimbolkan dalam bentuk persegi atau diagram dengan simbol grafis, dimana simbol tersebut menyatakan aliran algoritma dan atau beserta urut-urutannya dengan menghubungkan masing-masing langkah tersebut menggunakan tanda anak panah. Bagan alir bisa memberi solusi tahapan untuk penyelesaian masalah yang ada di dalam proses suatu penelitian.

Sugiyono (2010) menyatakan *flowchart* atau diagram alir adalah “Gambar simbol-simbol yang digunakan untuk menggambarkan urutan proses atau instruksi-instruksi yang terjadi di dalam suatu program komputer secara sistematis dan logis”. Bagan alir penelitian merupakan suatu penjelasan secara singkat mengenai tahapan-tahapan dalam menjalankan suatu rangkaian penelitian. Bagan alir penelitian atau *flowchart* penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.4.




**Gambar 4.4 *Flowchart* Penelitian**




**Lanjutan Gambar 4.4 *Flowchart* Peneliti**

# BAB V
# DATA, ANALISIS, DAN PEMBAHASAN

## 5.1 Pendahuluan

Analisis dan pembahasan hasil penelitian akan dibahas pada BAB V ini. Hasil dari analisis dan pembahasan ini nantinya akan disajikan dalam bentuk tabel maupun grafik.

## 5.2 Perhitungan pembebanan

Beban-beban yang diperhitungkan dalam analisis adalah beban mati, beban hidup, dan beban gempa.

### 5.2.1 Beban Mati

Beban sendiri komponen struktur sudah dihitung otomatis oleh *SAP2000* berdasarkan input data dimensi dan karakteristik material yang direncanakan.

### 5.2.2 Beban Mati Tambahan

1. Pelat

   Perhitungan beban mati tambahan pada pelat dapat dilihat pada uraian berikut ini:

   a. Beban mati tambahan pelat lantai

| | | |
|---|---|---|
| Pasir | = 0,05 m x 18 kN/m$^3$ | = 0,9 kN/m$^2$ |
| Spesi | = 0,02 m x 0,21 kN/m$^3$ | = 0,0042 kN/m$^2$ |
| Keramik | | = 0,15 kN/m$^2$ |
| Plafon | | = 0,18 kN/m$^2$ |
| M/E | | = 0,15 kN/m$^2$ + |
| Total | | = 1,3842 kN/m$^2$ |

b. Beban mati tambahan pelat atap

| | |
|---|---|
| Plafon | = 0,18 kN/m$^2$ |
| *Waterproofing* = 0,03 m x 18 kN/m$^3$ | = 0,54 kN/m$^2$ |
| M/E | = 0,15 kN/m$^2$ + |
| Total | = 0,87 kN/m$^2$ |

2. Dinding

Pada penelitian ini dinding hanya dimodelkan sebagai beban mati tambahan pada balok. Beban mati dinding didapatkan dengan cara mengurangi tinggi lantai dikurangi tinggi balok diatasnya. Seluruh dinding diasumsikan memiliki rasio bukaan sebesar 40% dan terbuat dari pasangan bata merah. Contoh perhitungan beban mati tambahan dinding dapat dilihat pada perhitungan berikut.

a. Dinding di bawah balok dimensi BX (300 x 500 mm$^2$)

Tinggi dinding = Tinggi antar lantai – Tinggi balok diatas dinding
= 3,5 m – 0,5 m
= 3 m

Berat dinding = Berat jenis pasangan bata merah tebal 15 cm x Tinggi dinding x % luas efektif dinding
= (16,677 kN/m$^3$ x 0,15 m) x 3 m x 60%
= 4,503 kN/m

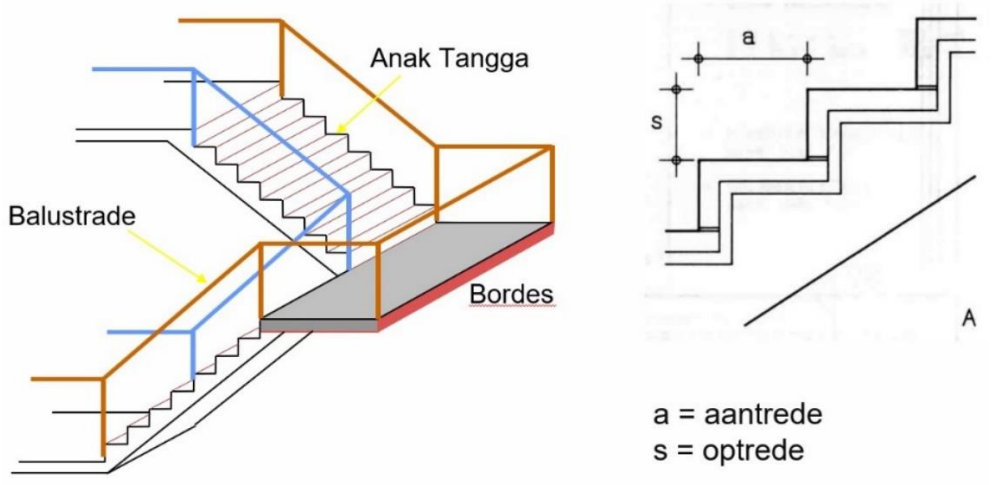
b. Dinding di bawah balok dimensi BY (350 x 700 mm$^2$)

Tinggi dinding = Tinggi antar lantai – Tinggi balok diatas dinding
= 3,5 m – 0,7 m
= 2,8 m

Berat dinding = Berat jenis pasangan bata merah tebal 15 cm x Tinggi dinding x % luas efektif dinding
= (16,677 kN/m$^3$ x 0,15 m) x 2,8 m x 60%
= 4,203 kN/m

3. Tangga

Pada penelitian ini tangga tidak dimodelkan, namun tetap memasukkan berat sendiri tangga sebagai pembebanan. Struktur tangga dimodelkan terpisah secara 2 dimensi dan diasumsikan sebagai balok sederhana.




**Gambar 5.1 Tangga**

Pertama-tama ditentukan dahulu jumlah anak tangga, diasumsikan dengan optrede (s) = 17 cm dan aantrede (a) = 29 cm.

Cek keamanan dan kenyamanan tangga :

2s + a = 63 cm (OK!)

Beda tinggi antar lantai = 3,5 m = 350 cm

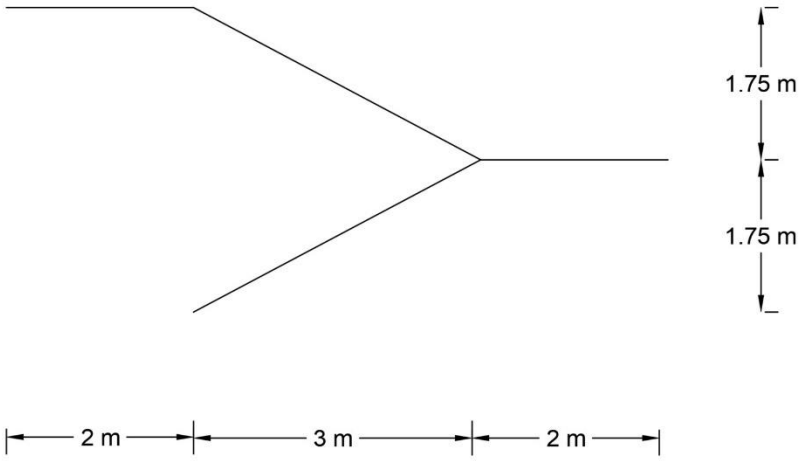
Jumlah anak tangga = (350/17) – 1

= 19,588 ≈ 20 buah

Tangga akan dibagi menjadi 2 bagian, yaitu bagian atas dan bagian bawah

Bagian bawah = 10 optrede

Bagian atas = 10 optrede

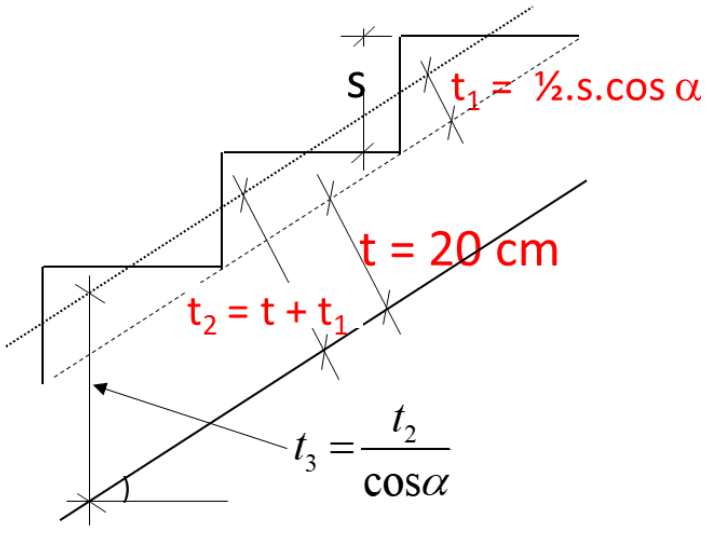



**Gambar 5.2 Detail Tangga**

Sudut miring tangga ($\alpha$) $= \tan^{-1}\left(\frac{1{,}75}{3}\right)$

$= 30{,}256°$

Diketahui tebal pelat tangga (t) = 20 cm yang merupakan tebal miring dari pelat tangga. Diperlukan tebal vertikal pada pelat tangga untuk menghitung berat sendiri. Perhitungan mencari tebal vertikal pada pelat tangga dapat dilihat pada Gambar 5.3 berikut.




**Gambar 5.3 Mencari Tinggi Vertikal pada Pelat Tangga**

$t_1 = \frac{1}{2} . s . \cos \alpha$

$= \frac{1}{2}$ . 17 . cos 30,256°

= 7,342 cm

$t_2 = t + t_1$

= 20 + 7,342

= 27,342 cm

$t_3 = \frac{t_2}{\cos \alpha}$

$= \frac{27,342}{\cos 30,256°}$

= 31,654 cm

Ukuran tebal ini sudah dianggap tebal, sehingga termasuk beban *finishing*. Sistem struktur tangga dianggap sebagai balok jepit-jepit dengan semua beban arah vertikal ke bawah. Beban tangga ditinjau untuk lebar tangga 2 m.

Berat sendiri bagian miring = $t_3$ x 2 m x 24 kN/$m^3$

= 0,31654 m x 2 m x 24 kN/$m^3$

= 15,194 kN/m

Berat sendiri bordes = t x 4 m x 24 kN/$m^3$

= 0,2 m x 4 m x 24 kN/$m^3$

= 19,2 kN/m

### 5.2.3 Beban Hidup

Perhitungan beban hidup dalam penelitian ini menggunakan persyaratan SNI 1727:2013 tentang beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain. Beban hidup dibedakan sesuai dengan fungsi ruangannya. Berdasarkan SNI 1727:2013 perlu dilakukan reduksi beban hidup sesuai dengan persamaan 3.1 apabila nilai perkalian antara faktor elemen beban hidup ($K_{LL}$) dengan luasan tributari ($A_T$) melebihi 37,16 $m^2$. Sehingga perlu dilakukan pengecekan perlu tidaknya reduksi pada beban hidup masing-masing fungsi bangunan seperti berikut:

1. Beban hidup pada lantai
   a. Fungsi penggunaan = Ruang rapat, Ruang tunggu, Ruang arsip, Ruang makan, Lobi

$A_T$ = 7 m x 7 m = 49 $m^2$

$K_{LL}$ = 1

$K_{LL}$ x $A_T$ = 1 x 49 $m^2$ = 49 $m^2$ (Tidak Boleh Reduksi, SNI 1727:2013 pasal 4.7.5)

$L$ = 4,79 $kN/m^2$

b. Fungsi penggunaan = Ruang kantor

$A_T$ = 7 m x 7 m = 49 $m^2$

$K_{LL}$ = 1

$K_{LL}$ x $A_T$ = 1 x 49 $m^2$ = 49 $m^2$ (Perlu Reduksi)

$L_o$ = 2,40 $kN/m^2$

$L$ = 2,167 $kN/m^2$

Karena $L > 0{,}40L_o$ maka dipakai nilai $L$ sebesar 2,167 $kN/m^2$

c. Fungsi penggunaan = Koridor lantai pertama

$A_T$ = 2 m x 7 m = 14 $m^2$

$K_{LL}$ = 1

$K_{LL}$ x $A_T$ = 1 x 14 $m^2$ = 14 $m^2$ (Tidak Perlu Reduksi)

$L$ = 4,79 $kN/m^2$

d. Fungsi penggunaan = Koridor di atas lantai pertama

$A_T$ = 2 m x 7 m = 14 $m^2$

$K_{LL}$ = 1

$K_{LL}$ x $A_T$ = 1 x 14 $m^2$ = 14 $m^2$ (Tidak Perlu Reduksi)

$L$ = 3,83 $kN/m^2$

e. Fungsi penggunaan = Tangga

$A_T$ = 4 m x 7 m = 28 $m^2$

$K_{LL}$ = 1

$K_{LL}$ x $A_T$ = 1 x 28 $m^2$ = 28 $m^2$ (Tidak Perlu Reduksi)

$L$ = 4,79 $kN/m^2$

f. Fungsi penggunaan = Ruang mesin elevator

$L$ = $\frac{4256\ kN}{4\ m\ x\ 2\ m}$

= 532 $kN/m^2$

2. Beban hidup pada atap

   Beban hidup yang digunakan pada atap berdasarkan SNI 1727:2013 perlu ditinjau luasannys sehingga apabila luasannya memenuhi syarat, maka nilai beban hidup pada atap dapat direduksi sesuai dengan persamaan 3.2. Perhitungan nilai beban hidup pada atap sebagai berikut.

   a. Fungsi penggunaan = Atap untuk taman atap

      $A_T$ = 4 m x 7 m = 28 $m^2$

      $K_{LL}$ = 1

      $K_{LL}$ x $A_T$ = 1 x 28 $m^2$ = 28 $m^2$ (Perlu Reduksi)

      $L_o$ = 4,79 $kN/m^2$

      $R_1$ = 1,2 – 0,011 $A_T$

      = 0,892

      $R_2$ = 1

      $L_r$ = 4,273 $kN/m^2$

   b. Fungsi penggunaan = Atap datar

      $A_T$ = 7 m x 7 m = 49 $m^2$

      $K_{LL}$ = 1

      $K_{LL}$ x $A_T$ = 1 x 49 $m^2$ = 49 $m^2$ (Perlu Reduksi)

      $L_o$ = 0,96 $kN/m^2$

      $R_1$ = 1,2 – 0,011 $A_T$

      = 0,661

      $R_2$ = 1

      $L_r$ = 0,635 $kN/m^2$

## 5.3 Penentuan Dimensi Struktur

Sebelum melakukan analisis struktur bangunan yang dimodelkan pada penelitian ini, dilakukan penentuan dimensi struktur bangunan yang akan digunakan. Dalam menentukan dimensi ini mengacu pada SNI 2847:2013 tentang persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung. Komponen struktur yang dihitung adalah komponen struktur balok, kolom, dan pelat gedung.

1. Perhitungan dimensi balok

   Untuk perencanaan dimensi balok mengacu pada SNI 2847:2013 pasal 9.5.2.1 tabel 9.5a. Terdapat tiga tipe bentang yaitu bentang 7 m, 4 m, dan 2 m.

   $h_{min} = \left(\frac{l}{16}\right) x \left(0{,}4 + \frac{f_y}{700}\right)$

   $= \left(\frac{7000}{16}\right) x \left(0{,}4 + \frac{400}{700}\right)$

   = 425 mm

   $h_{min} = \left(\frac{l}{16}\right) x \left(0{,}4 + \frac{f_y}{700}\right)$

   $= \left(\frac{4000}{16}\right) x \left(0{,}4 + \frac{400}{700}\right)$

   = 242,857 mm

   $h_{min} = \left(\frac{l}{16}\right) x \left(0{,}4 + \frac{f_y}{700}\right)$

   $= \left(\frac{2000}{16}\right) x \left(0{,}4 + \frac{400}{700}\right)$

   = 121,429 mm

   Setelah mengetahui nilai $h_{min}$, kemudian merencanakan lebar balok (b) dengan asumsi b sebesar 0,5 $h_{min}$. Rencana dimensi balok dapat dilihat pada Tabel 5.1 berikut.

**Tabel 5.1 Rekapitulasi Dimensi Balok**

| Kodefikasi Balok | Jenis Balok | Dimensi Balok | |
|---|---|---|---|
| | | b (mm) | h (mm) |
| B1X | Induk | 300 | 500 |
| B2X | Induk | 300 | 500 |
| B3X | Induk | 300 | 500 |
| B4X | Induk | 300 | 500 |
| B5X | Induk | 300 | 500 |
| B1Y | Induk | 350 | 700 |
| B2Y | Induk | 350 | 700 |
| B3Y | Induk | 350 | 700 |

**Lanjutan Tabel 5.1**

| Kodefikasi Balok | Jenis Balok | Dimensi Balok | |
|---|---|---|---|
| | | b (mm) | h (mm) |
| B4Y | Induk | 350 | 700 |
| B5Y | Induk | 350 | 700 |
| B6Y | Induk | 350 | 700 |
| B7Y | Induk | 350 | 700 |
| B8Y | Induk | 350 | 700 |
| B9Y | Induk | 350 | 700 |
| BA1X | Anak | 250 | 450 |
| BA1Y | Anak | 250 | 450 |

2. Perhitungan dimensi kolom

   Untuk menentukan dimensi kolom rencana untuk kolom yang paling bawah (lantai 1) dapat ditentukan dengan cara sebagai berikut.

   $\sigma = \frac{P}{A}$

   Keterangan:

   $\sigma$ = tegangan beton

   $P$ = total beban ditanggung kolom paling bawah

   $A$ = luas penampang kolom rencana

   Nilai $\sigma$ diambil berdasarkan mutu beton untuk kolom ($f'_c$) = 35/3 sehingga nilainya adalah ≈ 11,667 MPa. Perkiraan total beban per $m^2$ dari berat pelat, balok, beban mati tambahan, dan beban hidup pada masing-masing lantai adalah:

   a. Beban mati (*DL*)

      Pelat dengan asumsi tebal 200 mm

      0,2 m x 24 $kN/m^3$ = 4,8 $kN/m^2$

      Kolom asumsi 600 x 600 $mm^2$ pada keempat sisi tiap pelat, tinggi 3,5 m per lantai

$\frac{0{,}6 \text{ m x } 0{,}6 \text{ m x } 3{,}5 \text{ m x } 24 \text{ kN/m}^3 \text{ x } 37}{704\ m^2}$ = 1,589 kN/m$^2$

Balok induk ukuran 300x500 mm$^2$ dan 350x700 mm$^2$ masing-masing pada kedua sisi pelat, serta balok anak. Panjang total tiap kodefikasi balok sebagai berikut.

$\frac{0{,}3 \text{ m x } 0{,}5 \text{ m x } 176 \text{ m x } 24 \text{ kN/m}^3}{704\ m^2}$ = 0,9 kN/m$^2$

$\frac{0{,}35 \text{ m x } 0{,}7 \text{ m x } 151 \text{ m x } 24 \text{ kN/m}^3}{704\ m^2}$ = 1,261 kN/m$^2$

$\frac{0{,}25 \text{ m x } 0{,}45 \text{ m x } 84 \text{ m x } 24 \text{ kN/m}^3}{704\ m^2}$ = 0,3222 kN/m$^2$

$\frac{0{,}25 \text{ m x } 0{,}45 \text{ m x } 119 \text{ m x } 24 \text{ kN/m}^3}{704\ m^2}$ = 0,4564 kN/m$^2$

Beban mati tambahan = 1,3842 kN/m$^2$ +

Total *DL* = 10,7128 kN/m$^2$

Beban hidup (*LL*) = 4,79 kN/m$^2$

1,2 *DL* + 1,6 *LL* = 1,2 (10,7128) + 1,6 (4,79)

= 20,519 kN/m$^2$ ≈ 2092,356 kg/m$^2$

Beban kolom paling bawah

*P* = 2092,356 kg/m$^2$ x *n* x 31,5

= 2092,356 kg/m$^2$ x 10 x 31,5

= 659092,14 kg

$\sigma$ = 11,667 x $\frac{1/9{,}81}{1/1000000}$

= 1189296,636 kg/m$^2$

A = $\frac{P}{\sigma}$

= $\frac{659092{,}14 \text{ kg}}{1189296{,}636 \text{ kg/m}^2}$

= 0,5542 m$^2$

b = h = $\sqrt{0{,}5542}$

= 0,744 m

= 744 mm

Dicoba pakai ukuran kolom 800x800 mm$^2$.

3. Perhitungan dimensi pelat

Untuk perencanaan pelat dengan balok yang membentang di antara tumpuan pada semua sisinya, tebal minimum pelat harus memenuhi SNI 2847:2013 pasal 9.5.3.3. Untuk perhitungan awal tebal pelat dipakai 200 mm. Beban dihitung dengan cara sebagai berikut.

a. Beban mati (*DL*)

| | | |
|---|---|---|
| Berat pelat sendiri | = 0,2 m x 24 kN/m$^2$ | = 4,8 kN/m$^2$ |
| Beban mati tambahan | | = 1,3842 kN/m$^2$ + |
| Total *DL* | | = 6,1842 kN/m$^2$ |

b. Beban hidup (*LL*)

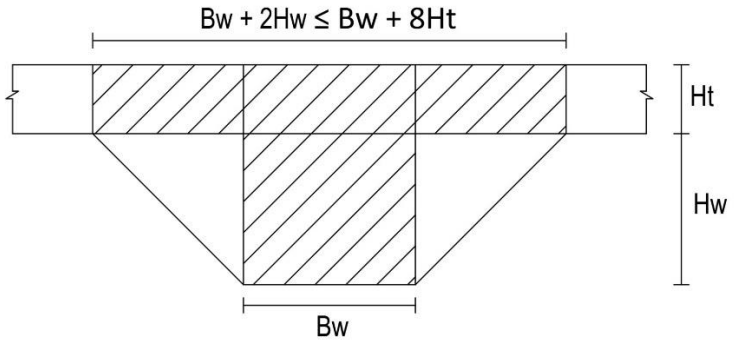
*LL* = 5,417 kN/m$^2$

2*DL* = 2 x 6,1842

= 12,3684 kN/m$^2$ > LL = 5,417 kN/m$^2$ (OK!)

c. Perhitungan $\alpha_m$

Suatu balok mencakup juga bagian pelat pada setiap sisi balok sebesar proyeksi balok yang berada di atas atau di bawah pelat sesuai SNI 2847:2013 pasal 13.2.4. Bagian pelat yang diperhitungkan untuk balok T dapat dilihat pada Gambar 5.4 berikut.




**Gambar 5.4 Bagian Pelat yang Diperhitungkan Untuk Balok T**

*Bw* = 350 mm

*Hw* = 500 mm

*Ht* = 200 mm

*Be* = 2*Hw* + *Bw*

= 2(500) + 350

= 1350 mm < $Bw+8Ht$ =1950 mm (OK!)

**Tabel 5.2 Mencari Titik Berat Balok T Terhadap Tepi Atas (y)**

| **Bagian** | ***A* (mm²)** | ***y* (mm)** | ***A* . *y*** |
|---|---|---|---|
| Atas | 1350x200 = 270000 | 100 | 27000000 |
| Bawah | 350x500 =175000 | 450 | 78750000 |
| Total (∑) | 445000 | | 105750000 |

$y = \frac{\sum A.y}{\sum A}$ = 237,64 mm

**Tabel 5.3 Mencari Momen Inersia Balok**

| **Bagian** | **$y_i$ (mm)** | ***A* . $y_i^2$** | **$I_x$** |
|---|---|---|---|
| Atas | 237,64 - 100 = 137,64 | 270000x137,64² = 5115087792 | $\frac{1}{12}$x1350x200³ = 900000000 |
| Bawah | 700 - 237,64 - $\frac{500}{2}$ = 212,36 | 175000x212,36² = 7891934680 | $\frac{1}{12}$x350x500³ = 3645833333 |
| Total(∑) | | 13007022472 | 4545833333 |

Momen inersia balok

$I_b = \sum A.y_i^2 + \sum I_x$

= 17552855805 mm⁴

Momen inersia pelat

$I_p = \frac{1}{12}$ x $Ht^3$ x $L$

= $\frac{1}{12}$ x 200³ x 7000

= 4666666667 mm⁴

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 13.6.1.6 untuk panel dengan balok diantara tumpuan pada semua sisinya menggunakan persamaan berikut.

$\alpha_m = \frac{E_{cb}I_b}{E_{cp}I_p}$

Dimana:

$\alpha_m$ = rata-rata kekakuan lentur penampang balok terhadap kekakuan lentur pelat dengan lebar yang dibatasi dalam arah lateral oleh sumbu dari panel yang bersebelahan pada tiap sisi balok

$E_{cb}$ = modulus elastisitas balok beton

$E_{cp}$ = modulus elastisitas pelat beton

$I_b$ = momen inersia balok

$I_p$ = momen inersia pelat

Diketahui $f'_c$ untuk balok dan pelat yaitu 25 MPa, sehingga

$E_{cb} = E_{cp} = 4700 \sqrt{f'_c} = 4700 \sqrt{25} = 23500$ N/mm$^2$

$\alpha_m = \frac{23500x17552855805}{23500x4666666667} = 3{,}761 > 2$

Diketahui nilai $\alpha_m > 2$, maka untuk mencari tebal pelat sesuai dengan pasal 9.5.3.3.(c) yaitu

h = $\frac{l_n\left(0{,}8-\frac{fy}{1500}\right)}{36-9\beta}$ , dan tidak boleh kurang dari 90 mm.

$\beta$ = $\frac{l_{ny}}{l_{nx}} = 1$

$l_n$ = 7000 - $\left(\frac{1}{2}\right.$ lebar balok tumpuan kiri + $\frac{1}{2}$ lebar balok tumpuan kanan$\left.\right)$

= 7000 – ($\frac{1}{2}$ x 350 + $\frac{1}{2}$ x 350)

= 6650 mm

$f_y$ = 400 MPa

h = $\frac{6650\left(\frac{400}{1500}\right)}{36-(9x1)} = 65{,}679$ mm

Jadi asumsi awal tebal pelat 200 mm telah memenuhi persyaratan.

## 5.4 Perhitungan Beban Gempa

Pada penelitian ini perhitungan beban gempa menggunakan peraturan SNI 1726:2012 tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung. Langkah-langkah perhitungannya adalah sebagai berikut.

1. Menentukan kategori risiko bangunan dan faktor keutamaan gempa ($I_e$)

   Gedung direncanakan berfungsi sebagai gedung perkantoran sehingga menurut Tabel 3.4 sebelumnya, masuk ke dalam kategori risiko II. Maka dari itu memiliki faktor keutamaan gempa ($I_e$) sebesar 1,0.

2. Menentukan parameter percepatan gempa ($S_s$ dan $S_1$)

   Jenis tanah pada rencana letak gedung berjenis tanah sedang (SD). Percepatan batuan dasar pada periode pendek ($S_s$) berdasarkan Gambar 3.1 sebelumnya, pada wilayah Mataram, NTB memiliki rentang nilai 0,9-1,0 g. Diambil nilai terbesar yaitu 1 g dan untuk nilai percepatan batuan dasar pada periode 1 detik ($S_1$) wilayah Mataram, NTB memiliki rentang nilai 0,3-0,4 g. Diambil nilai terbesar yaitu 0,4 g.

3. Menentukan koefisien situs dan parameter respon spektrum percepatan gempa ($MCE_R$)

   Berdasarkan nilai $S_s$ dan $S_1$ yang telah didapatkan, selanjutnya menentukan nilai faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek ($F_a$) dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik ($F_v$). Berdasarkan Tabel 3.4 dan Tabel 3.5 sebelumnya, maka didapatkan nilai $F_a$ sebesar 1,1 dan nilai $F_v$ sebesar 1,6.

4. Menentukan parameter respon spektrum percepatan pada periode pendek dan periode 1 detik ($S_{MS}$ dan $S_{M1}$)

   Perhitungan nilai parameter respon spektrum percepatan pada periode pendek dan periode 1 detik dapat dihitung menggunakan persamaan 3.5 dan persamaan 3.6 sebelumnya.

   $S_{MS} = F_a \times S_s$

   $= 1{,}1 \times 1$

   $= 1{,}1$ g

   $S_{M1} = F_v \times S_1$

= 1,6 x 0,4

= 0,64 g

5. Menentukan nilai parameter percepatan spektrum desain periode pendek dan periode 1 detik ($S_{DS}$ dan $S_{D1}$)

   Perhitungan nilai parameter percepatan spektrum desain periode pendek dan periode 1 detik dapat dihitung menggunakan persamaan 3.6 dan persamaan 3.7 sebelumnya.

   $S_{DS}$ $= \frac{2}{3}$ x $S_{MS}$

   $= \frac{2}{3}$ x 1,1

   = 0,733 g

   $S_{D1}$ $= \frac{2}{3}$ x $S_{M1}$

   $= \frac{2}{3}$ x 0,64

   = 0,427 g

6. Menentukan koefisien risiko terpetakan ($C_{RS}$ dan $C_{R1}$)

   nilai koefisien risiko terpetakan spesifik situs untuk periode pendek ($C_{RS}$) dan nilai koefisien risiko terpetakan spesifik situs untuk periode 1 detik ($C_{R1}$) bergantuk dari letak bangunan tersebut. Nilai $C_{RS}$ dan $C_{R1}$ di dapat dari mengamati pada Gambar 3.3 dan Gambar 3.4 sebelumnya. Pada wilayah Mataram, NTB rentang nilai $C_{RS}$ yaitu 1,05-1,1 dan diambil nilai terbesar yaitu 1,1. Untuk nilai $C_{R1}$ terdapat pada rentang nilai 1-1,05 dan diambil nilai terbesar yaitu 1,05.

7. Perhitungan nilai $S_{DSR}$ dan $S_{D1R}$

   Nilai $S_{DSR}$ dan $S_{D1R}$ didapatkan dengan mengalikan nilai $S_{DS}$ dan $S_{D1}$ dengan masing-masing nilai $C_{RS}$ dan $C_{R1}$ seperti pada perhitungan berikut.

   $S_{DSR}$ $= S_{DS}$ x $C_{RS}$

   = 0,733 g x 1,1

   = 0,8063 g

   $S_{D1R}$ $= S_{D1}$ x $C_{R1}$

   = 0,427 g x 1,05

   = 0,44835 g

8. Desain respon spektrum

Desain respon spektrum mengacu pada SNI 1726:2012 pasal 6.4. Desain respon spektrum akan digunakan sebagai input data gempa pada program *SAP2000*. Uraian perhitungan adalah sebagai berikut.

a. Menentukan periode getar fundamental struktur ($T_0$ dan $T_S$)

$$T_0 = 0{,}2 \times \frac{S_{D1R}}{S_{DSR}}$$

$$= 0{,}2 \times \frac{0{,}44835}{0{,}8063}$$

$$= 0{,}1112 \text{ detik}$$

$$T_S = \frac{S_{D1R}}{S_{DSR}}$$

$$= \frac{0{,}44835}{0{,}8063}$$

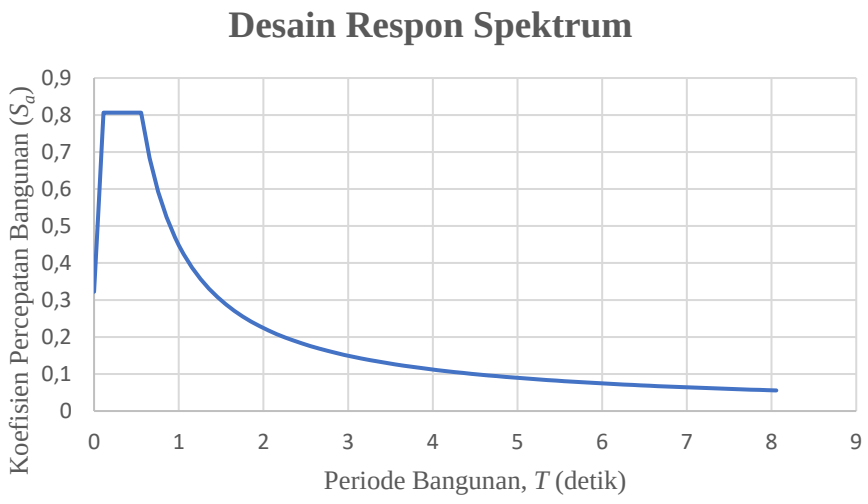
$$= 0{,}5561 \text{ detik}$$

b. Perhitungan percepatan spektrum ($S_a$)

Nilai percepatan spektrum bergantung pada periode $T_0$, nilai $S_a$ dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$S_a = S_{DSR}\left(0{,}4 + 0{,}6\frac{T}{T_0}\right)$$

Dari persamaan tersebut kemudian dibuat grafik hubungan antara $T$ dan $S_a$ sehingga didapatkan hasil desain respon spektrum seperti pada Gambar 5.5 berikut ini.




**Gambar 5.5 Desain Respon Spektrum Bangunan**

9. Penentuan nilai $R$, $\Omega_0$, dan $C_d$

   Nilai koefisien modifikasi respon ($R$), faktor kuat lebih sistem ($\Omega_0$), dan faktor pembesaran defleksi ($C_d$) bergantung pada sistem penahan gaya seismik bangunan, nilai tersebut ditentukan berdasarkan SNI 1726:2012. Struktur bangunan yang dianalisis memiliki sistem penahan gaya seismik kombinasi yaitu rangka beton bertulang pemikul momen khusus dan dinding geser, dan kategori desain seismik bangunan masuk kategori D. Sehingga didapatkan nilai $R$ = 7, $\Omega_0$ = 3, dan $C_d$ = 5,5. Selain dipengaruhi oleh sistem penahan gaya seismik, nilai tersebut juga dipengaruhi oleh kategori desain seismik bangunan dan tinggi total bangunan.

10. Penentuan nilai $T_{pakai}$

    Pada analisis ini harus dilakukan perbandingan antara periode hasil analisis ($T_c$), periode minimum ($T_a$), dan periode maksimum ($T_{max}$), penentuan Tpakai harus berdasarkan syarat berikut.

    a. Jika $T_c > T_{max}$. maka pakai $T_{max}$
    b. Jika $T_a < T_c < T_{max}$, maka pakai $T_c$
    c. Jika $T_c < T_a$, maka pakai $T_a$

    Periode hasil analisis didapat dari hasil analisis menggunakan program *SAP2000* v21.1.0, periode batas bawah bergantung pada nilai $C_t$ dan $x$. Nilai $C_t$ dan $x$ didapatkan pada Tabel 3.10 sebelumnya, sedangkan nilai $h_n$ merupakan tinggi struktur. Penentuan besaran $C_t$ dan $x$ berdasarkan tipe struktur sistem rangka beton pemikul momen yaitu $C_t$ = 0,0466 dan $x$ = 0,9. Nilai periode minimum ditentukan dengan persamaan berikut.

    $$T_a = C_t.h_n^x$$

    $T_a$ = 1,143 detik

    Periode maksimum ditentukan berdasarkan nilai $C_u$. Nilai $C_u$ didapat dari Tabel 3.9 sebelumnya. Berdasarkan nilai $S_{D1R}$ maka nilai Cu = 1,4. Nilai periode maksimum ditentukan dengan persamaan berikut.

    $$T_{a\ max} = C_u.T_a$$

    $T_{a\ max}$ = 1,6002 detik

Periode yang akan dipakai pada perhitungan struktur diambil berdasarkan nilai periode minimum ($T_a$), periode hasil analisis struktur pada SAP2000 ($T_c$), dan periode maksimum ($T_{a\ max}$). Periode hasil analisis struktur pada SAP2000 didapat 1,80777 detik dimana nilai tersebut lebih besar dari nilai $T_{a\ max}$, maka periode bangunan yang dipakai yaitu periode $T_{pakai}$ sebesar 1,6002 detik.

11. Perhitungan nilai koefisien respon seismik ($C_s$)

    Langkah-langkah untuk perhitungan nilai koefisien respon seismik sebagai berikut.

    a. Nilai $C_s$ dapat diambil dengan persamaan berikut.

    $$C_s = \frac{S_{DSR}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)}$$

    $$C_s = \frac{0{,}8063}{\left(\frac{7}{1}\right)}$$

    $$C_s = 0{,}115186$$

    b. Nilai $C_s$ tidak perlu melebihi nilai $C_s$ dengan persamaan berikut.

    $$C_s = \frac{S_{D1R}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)}$$

    $$C_s = \frac{0{,}44835}{1{,}6002\left(\frac{7}{1}\right)}$$

    $$C_s = 0{,}04003$$

    c. Nilai $C_s$ tidak boleh kurang dari nilai $C_s$ dengan persamaan berikut.

    $$C_s = 0{,}044.S_{DSR}.I_e \geq 0{,}01$$

    $$C_s = 0{,}03548 \geq 0{,}01$$

    $$C_s = 0{,}03548$$

    Maka nilai $C_s$ yang diambil batas maksimum yaitu sebesar 0,04003.

12. Berat seismik efektif struktur ($W_{\text{total bangunan}}$)

    Berat efektif struktur diambil sebesar masing-masing 1 kali tiap beban yang dimasukkan ke dalam *SAP2000* yaitu beban mati dan beban hidup. Berat seismik efektif diambil dari perhitungan otomatis pada program *SAP2000*. Berat seismik efektif untuk beban mati yaitu 100011,328 kN dan untuk beban hidup yaitu 31766,141 kN. Sehingga berat seismik efektif struktur tersebut sebesar 131777,469 kN. Dari perhitungan manual didapat beban mati yaitu

84641,91354 kN dan beban hidup yaitu 35281,8920 kN, sehingga beban total hasil perhitungan manual yaitu 119923,8055 kN. Terdapat selisih beban sebesar 131777,469 kN dengan persentase 4,709417336% lebih besar hasil pada perhitungan program *SAP2000*. Maka digunakan hasil program *SAP2000* sebagai acuan berat seismik efektif struktur.

13. Penentuan gaya geser statis dasar gempa (*V*)

    Gaya geser statis dasar gempa ditentukan sesuai dengan persamaan 3.16 sebelumnya yaitu menggunakan persamaan sebagai berikut.

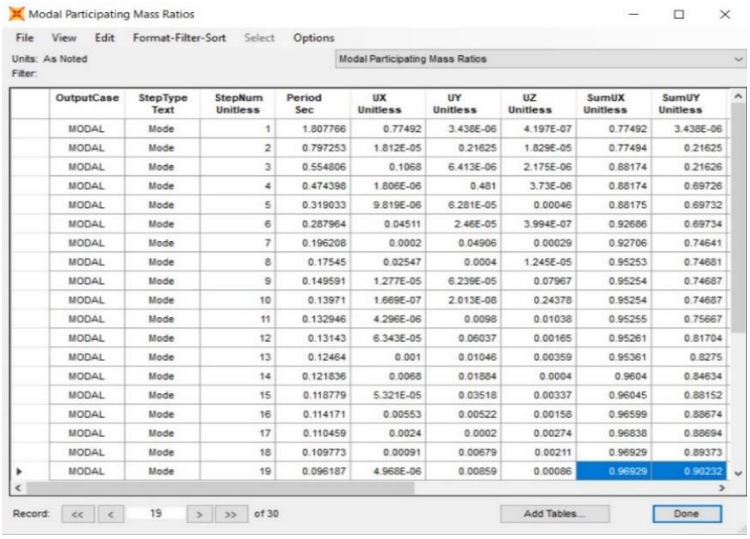
$$V_{static} = C_s \cdot W$$
$$= 0{,}04003 \cdot 131777{,}469 \text{ kN}$$
$$= 5274{,}546 \text{ kN}$$

## 5.5 Pemeriksaan Hasil Analisis Program

Struktur gedung yang telah dianalisis kemudian perlu diperika untuk hasil analisisnya sehingga hasilnya sesuai dengan peraturan yang ada yaitu SNI 1726:2012.

### 5.5.1 Pemeriksaan *Participating Mass Ratio*

Berdasarkan SNI 1726:2012 pasal 7.9.1 dimana analisis harus menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar paling sedikit 90% dari massa aktual yang dimodelkan. Apabila nilai belum mencapai 90% maka perlu ditambahkan jumlah mode nya dalam analisis tersebut. Jumlah mode dalam analisis bangunan ini sebanyak 30 mode dengan jumlah lantai dikali 3 *DOF* (*Degree of* Freedom). Pada Gambar 5.6 kolom SumUX dan SumUY menunjukkan bahwa pada ragam mode ke-9 partisipasi rasio untuk arah X dan arah Y sudah melebihi 90% yang berarti sudah memenuhi persyarat SNI 1726:2012.

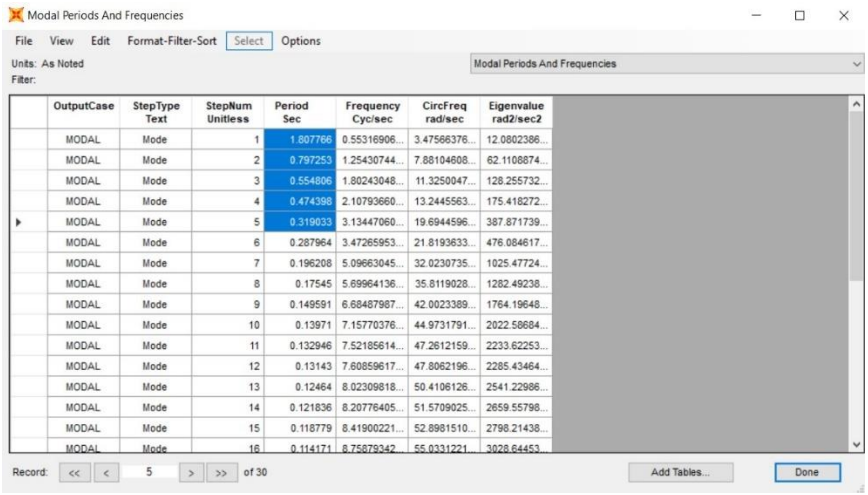



| OutputCase | StepType Text | StepNum Unitless | Period Sec | UX Unitless | UY Unitless | UZ Unitless | SumUX Unitless | SumUY Unitless |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| MODAL | Mode | 1 | 1.807766 | 0.77492 | 3.438E-06 | 4.197E-07 | 0.77492 | 3.438E-06 |
| MODAL | Mode | 2 | 0.797253 | 1.812E-05 | 0.21625 | 1.829E-05 | 0.77494 | 0.21625 |
| MODAL | Mode | 3 | 0.554806 | 0.1068 | 6.413E-06 | 2.175E-06 | 0.88174 | 0.21626 |
| MODAL | Mode | 4 | 0.474398 | 1.806E-06 | 0.481 | 3.73E-06 | 0.88174 | 0.69726 |
| MODAL | Mode | 5 | 0.319033 | 9.819E-06 | 6.281E-05 | 0.00046 | 0.88175 | 0.69732 |
| MODAL | Mode | 6 | 0.287964 | 0.04511 | 2.46E-05 | 3.994E-07 | 0.92686 | 0.69734 |
| MODAL | Mode | 7 | 0.196208 | 0.0002 | 0.04906 | 0.00029 | 0.92706 | 0.74641 |
| MODAL | Mode | 8 | 0.17545 | 0.02547 | 0.0004 | 1.245E-05 | 0.95253 | 0.74681 |
| MODAL | Mode | 9 | 0.149591 | 1.277E-05 | 6.239E-05 | 0.07967 | 0.95254 | 0.74687 |
| MODAL | Mode | 10 | 0.13971 | 1.669E-07 | 2.013E-08 | 0.24378 | 0.95254 | 0.74687 |
| MODAL | Mode | 11 | 0.132946 | 4.296E-06 | 0.0098 | 0.01038 | 0.95255 | 0.75667 |
| MODAL | Mode | 12 | 0.13143 | 6.343E-05 | 0.06037 | 0.00165 | 0.95261 | 0.81704 |
| MODAL | Mode | 13 | 0.12464 | 0.001 | 0.01046 | 0.00359 | 0.95361 | 0.8275 |
| MODAL | Mode | 14 | 0.121836 | 0.0068 | 0.01884 | 0.0004 | 0.9604 | 0.84634 |
| MODAL | Mode | 15 | 0.118779 | 5.321E-05 | 0.03518 | 0.00337 | 0.96045 | 0.88152 |
| MODAL | Mode | 16 | 0.114171 | 0.00553 | 0.00522 | 0.00158 | 0.96599 | 0.88674 |
| MODAL | Mode | 17 | 0.110459 | 0.0024 | 0.0002 | 0.00274 | 0.96838 | 0.88694 |
| MODAL | Mode | 18 | 0.109773 | 0.00091 | 0.00679 | 0.00211 | 0.96929 | 0.89373 |
| MODAL | Mode | 19 | 0.096187 | 4.968E-06 | 0.00859 | 0.00086 | 0.96929 | 0.90232 |

**Gambar 5.6 Hasil *Modal Participating Mass Ratio***

### 5.5.2 Pemeriksaan Jenis Analisa Ragam

Berdasarkan SNI 1726:2012 pasal 7.9.3 nilai untuk masing-masing parameter yang ditinjau yang dihitung untuk berbagai ragam, harus dikombinasikan dengan menggunakan metode SRSS atau CQC. Metode CQC harus digunakan untuk masing-masing nilai ragam di mana ragam berjarak dekat dan berkorelasi silang yang signifikan di antara respons translasi dan rotasi. Waktu getar alami dianggap berdekatan apabila selisih nilainya kurang dari 15%. Untuk gedung yang memiliki waktu getar alami berjauhan (lebih dari 15%), penjumlahan respons ragam tersebut dapat dilakukan dengan metode SRSS. Penentuan metode didasarkan pada interval presentase periode yang terjadi antar mode hasil analisa modal. Metode yang digunakan di awal pengerjaan analisis modal adalah metode CQC. Metode yang telah digunakan akan ditinjau apakah metode yang digunakan sesuai dengan peraturan yang telah ditentukan atau perlu diganti. Pengecekan nilai periode merupakan langkah awal untuk perhitungan interval presentase periode. Hasil periode setiap mode dapat dilihat pada Gambar 5.7 berikut ini.




| OutputCase | StepType Text | StepNum Unitless | Period Sec | Frequency Cyc/sec | CircFreq rad/sec | Eigenvalue rad2/sec2 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| MODAL | Mode | 1 | 1.807766 | 0.55316906... | 3.47566376... | 12.0802386... |
| MODAL | Mode | 2 | 0.797253 | 1.25430744... | 7.88104608... | 62.1108874... |
| MODAL | Mode | 3 | 0.554806 | 1.80243048... | 11.3250047... | 128.255732... |
| MODAL | Mode | 4 | 0.474398 | 2.10793660... | 13.2445563... | 175.418272... |
| MODAL | Mode | 5 | 0.319033 | 3.13447060... | 19.6944596... | 387.871739... |
| MODAL | Mode | 6 | 0.287964 | 3.47265953... | 21.8193633... | 476.084617... |
| MODAL | Mode | 7 | 0.196208 | 5.09663045... | 32.0230735... | 1025.47724... |
| MODAL | Mode | 8 | 0.17545 | 5.69964136... | 35.8119028... | 1282.49238... |
| MODAL | Mode | 9 | 0.149591 | 6.68487987... | 42.0023389... | 1764.19648... |
| MODAL | Mode | 10 | 0.13971 | 7.15770376... | 44.9731791... | 2022.58684... |
| MODAL | Mode | 11 | 0.132946 | 7.52185614... | 47.2612159... | 2233.62253... |
| MODAL | Mode | 12 | 0.13143 | 7.60859617... | 47.8062196... | 2285.43464... |
| MODAL | Mode | 13 | 0.12464 | 8.02309818... | 50.4106126... | 2541.22986... |
| MODAL | Mode | 14 | 0.121836 | 8.20776405... | 51.5709025... | 2659.55798... |
| MODAL | Mode | 15 | 0.118779 | 8.41900221... | 52.8981510... | 2798.21438... |
| MODAL | Mode | 16 | 0.114171 | 8.75879342... | 55.0331221... | 3028.64453... |

**Gambar 5.7 Periode Tiap Mode**

Perhitungan interval presentase periode dijabarkan sebagai berikut.

$$T_1 - T_2 = \left(\frac{1{,}8078-0{,}7973}{1{,}8078}\right) \text{ x } 100\% = 55{,}897\%$$

$$T_2 - T_3 = \left(\frac{0{,}7973-0{,}5549}{0{,}7973}\right) \text{ x } 100\% = 30{,}402\%$$

$$T_3 - T_4 = \left(\frac{0{,}5549-0{,}4744}{0{,}5549}\right) \text{ x } 100\% = 14{,}507\%$$

$$T_4 - T_5 = \left(\frac{0{,}4744-0{,}319}{0{,}4744}\right) \text{ x } 100\% = 32{,}757\%$$

Selisih antara periode ke-1 dan periode ke-2 cukup besar yaitu 55,897%. Selisih periode melebihi 15% sehingga akan digunakan jenis analisis ragam SRSS. Metode awal digunakan metode CQC, maka diperlukan analisa ulang dan mengganti jenis analisis ragam ke SRSS.

### 5.5.3 Pemeriksaan Gaya Geser Dasar Statis dan Gaya Geser Dasar Dinamis

Berdasarkan SNI 1726:2012 pasal 7.9.4.1 mengenai skala gaya, mengisyaratkan bahwa gaya geser dasar dinamis ($V_D$) harus lebih besar dari 85% gaya geser statis ($V_S$). Hasil gaya geser dasar dinamik dapat dilihat pada Gambar 5.8 berikut.




| OutputCase | CaseType Text | StepType Text | GlobalFX KN | GlobalFY KN | GlobalFZ KN | GlobalMX KN-m | GlobalMY KN-m | GlobalMZ KN-m | GlobalX m | GlobalY m |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| DX | LinRespSpec | Max | 4022.417 | 253.157 | 69.149 | 1752.5544 | 90494.0573 | 59510.9455 | 0 | 0 |
| DY | LinRespSpec | Max | 241.066 | 7735.066 | 313.487 | 196524.3033 | 9695.0269 | 140466.5226 | 0 | 0 |

**Gambar 5.8 Gaya Geser Dasar Dinamis**

$V_D$ arah X = 4022,417 kN

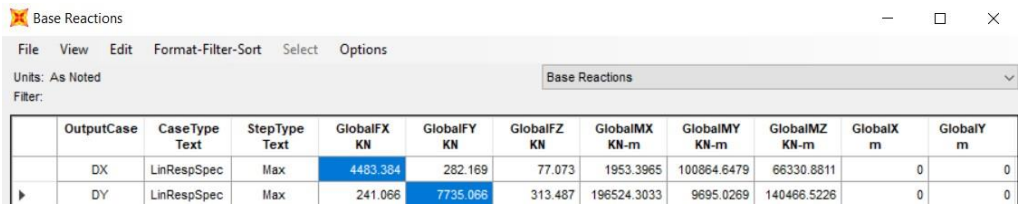
$V_D$ arah Y = 7735,066 kN

Gaya geser dasar statis berdasarkan perhitungan sebelumnya yaitu 5274,546 kN untuk arah X dan arah Y. 85% dari gaya geser statis sebesar 4483,364 kN, gaya geser dinamis dari arah X tersebut masih belum memenuhi sehingga perlu di skala ulang. Perhitungan skala ulang gaya geser dinamis adalah sebagai berikut.

$V_D$ skala arah X = 85% x $\frac{Vs}{V_{DX}}$

= 1,1146

Hasil skala ulang selanjutnya dikalikan dengan faktor pengali beban gempa pada program sehingga nilai gaya geser dinamis minimal setara dengan 85% gaya geser dasar statis. Hasil gaya geser dasar dinamis setelah skala ulang dapat dilihat pada Gambar 5.9 berikut.




| | OutputCase | CaseType Text | StepType Text | GlobalFX KN | GlobalFY KN | GlobalFZ KN | GlobalMX KN-m | GlobalMY KN-m | GlobalMZ KN-m | GlobalX m | GlobalY m |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | DX | LinRespSpec | Max | 4483.384 | 282.169 | 77.073 | 1953.3965 | 100864.6479 | 66330.8811 | 0 | 0 |
| ▶ | DY | LinRespSpec | Max | 241.066 | 7735.066 | 313.487 | 196524.3033 | 9695.0269 | 140466.5226 | 0 | 0 |

**Gambar 5.9 Gaya Geser Dasar Dinamis Skala Ulang**

$V_D$ arah X = 4483,384 kN

$V_D$ arah Y = 7735,066 kN

Gaya geser dasar statis berdasarkan perhitungan sebelumnya yaitu 5274,546 kN untuk arah X dan arah Y. 85% dari gaya geser statis sebesar 4483,364 kN, gaya geser dinamis dari kedua arah tersebut sudah memenuhi syarat 85% dari gaya geser statis.

### 5.5.4 Pemeriksaan Simpangan Antar Lantai

Penentuan simpangan antar lantai (Δ) dihitung sebagai perbedaan defleksi pada pusat massa di tingkat teratas dan terbawah yang ditinjau. Batasan simpangan lantai diatur dalam SNI 1726:2012 pasal 7.8.6.

$$\Delta = \frac{(\delta 2 - \delta 1)\,.\,C_d}{I_e} < \Delta_a$$

Keterangan:

$\Delta_x$ = simpangan antar lantai

$\delta$ = defleksi yang terjadi

$I_e$ = faktor keutamaan gempa

$h_{sx}$ = tinggi tingkat di bawah tingkat x

$C_d$ = faktor pembesaran defleksi

$\Delta_a$ = simpangan antar lantai tingkat izin

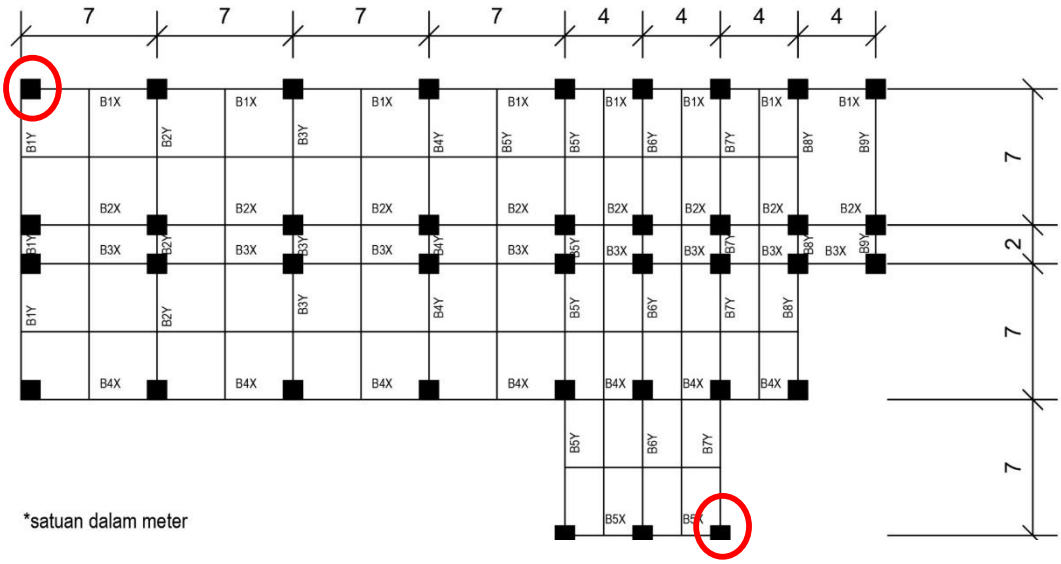
Fungsi bangunan sebagai gedung perkantoran (kategori desain seismik II). Jenis struktur merupakan kombinasi dari berbagai jenis struktur, maka nilai simpangan antar lantai tingkat izin sebagai berikut.

$\Delta_a = 0{,}020\ h_{sx}$

$\Delta_a = 0{,}020\ .\ 3500$

$\Delta_a = 70$ mm

Berdasarkan SNI 1726:2012 pasal 7.12.1.1 untuk sistem penahan gaya gempa yang terdiri dari hanya rangka momen pada struktur yang dirancang untuk kategori desain seismik D, E, atau F, simpangan antar lantai tingkat desain (Δ) tidak boleh melebihi $\Delta_a/\rho$ untuk semua tingkat. $\rho$ harus ditentukan sesuai dengan pasal 7.3.4.2. Nilai $\rho$ untuk gedung lebih dari 2 tingkat yaitu $\rho$ = 1,3. Pemeriksaan simpangan diambil dari joint terujung dari setiap portal terpanjang masing-masing arah X dan arah Y.




**Gambar 5.10 Letak Titik Tinjau Portal X dan Portal Y (Tampak Atas)**

$$\Delta_{max} = \frac{\Delta_a}{\rho}$$

$$\Delta_{max} = \frac{70}{1{,}3}$$

$$\Delta_{max} = 53{,}846 \text{ mm}$$

### 5.5.5 Pemeriksaan Koefisien Stabilitas Struktur (θ)

Koefisien stabilitas (θ) seperti dalam pasal 7.8.7 dalam persyaratan SNI 1726:2012 menyatakan bahwa suatu struktur apabila memiliki nilai koefisien stabilitas melebihi dari batas yang diijinkan maka perlu adanya perhitungan efek P-delta atau koefisien stabilitas yang dimana harus kurang dari 0,1. Suatu struktur juga tidak boleh memiliki nilai koefisien stabilitas pada suatu titik yang melebihi koefisien stabilitas maksimumnya, bila hal itu terjadi maka desain struktur tersebut tidak dapat digunakan karena termasuk dalam kategori tidak aman, berpotensi tidak stabil, dan perlu adanya usaha untuk meningkatkan kestabilan struktur, seperti dengan berubah profil komponen strukturnya (*redesign*) atau penambahan *shear wall* pada struktur bangunan tersebut. Pada tugas akhir ini digunakan titik tinjauan pada ujung denah bangunan, sama seperti titik yang ditinjau dalam memperhitungkan simpangan antar lantai. Nilai koefisien stabilitas juga tidak boleh

melebihi $\theta_{max}$. Persamaan yang digunakan untuk mencari θ dan $\theta_{max}$ adalah sebagai berikut.

$$\theta = \frac{P_x.\Delta.I_e}{V_x.h_{sx}.C_d}$$

$$\theta_{max} = \frac{0,5}{\beta \,.\, C_d} \leq 0,25$$

Keterangan:

θ = koefisien stabilitas

$P_x$ = beban vertikal antar lantai (kN)

$V_x$ = gaya geser antar lantai (kN)

Δ = simpangan antar lantai

$I_e$ = faktor keutamaan gempa

$h_{sx}$ = tinggi antar lantai

$C_d$ = faktor pembesar defleksi

$\beta$ = rasio kebutuhan geser terhadap kapasitas geser untuk tingkat antara tingkat x dan x-1 (secara konservatif diambil sebesar 1,0)

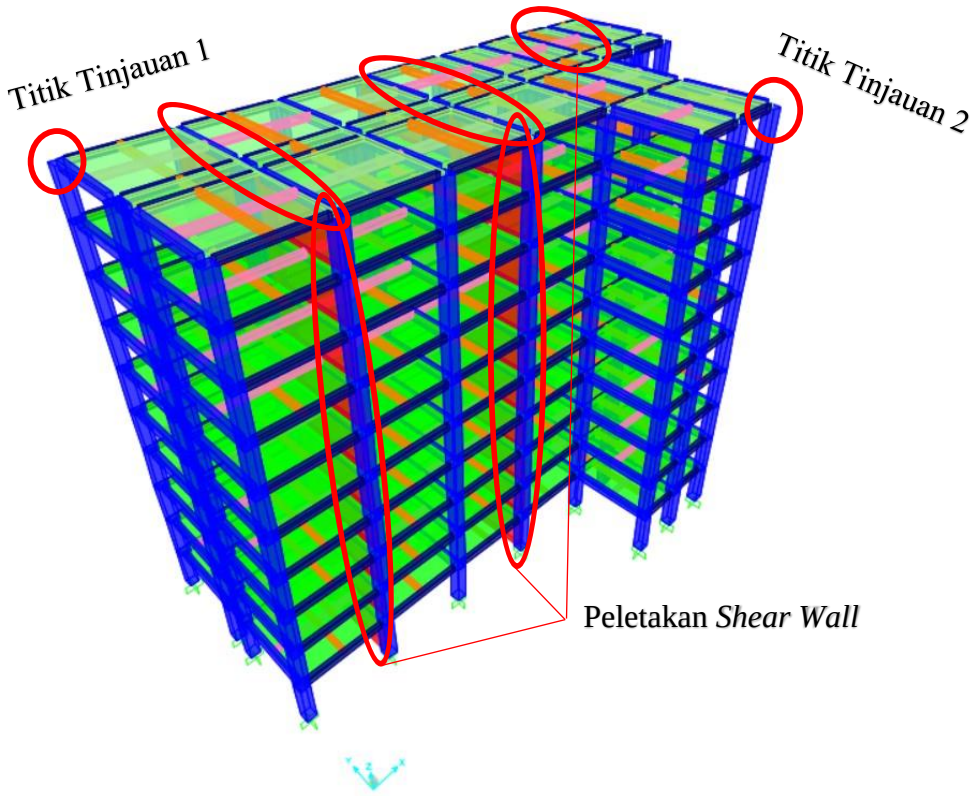
Jika koefisien stabilitas (θ) lebih besar dari 0,10 tetapi kurang dari atau sama dengan $\theta_{max}$, faktor peningkatan terkait dengan pengaruh P-delta pada perpindahan dan gaya komponen struktur harus ditentukan dengan analisis rasional. Sebagai alternatif diizinkan untuk mengalikan perpindahan dan gaya komponen struktur dengan 1,0/(1-θ). Jika θ lebih besar daripada $\theta_{max}$ maka struktur berpotensi tidak stabil dan harus didesain ulang. Pemeriksaan koefisien stabilitas dilakukan pada 2 titik tinjau yaitu di ujung portal tiap bentang terpanjang masing-masing arah X dan arah Y.

$$\theta_{max} = \frac{0,5}{\beta \,.\, C_d} \leq 0,25$$

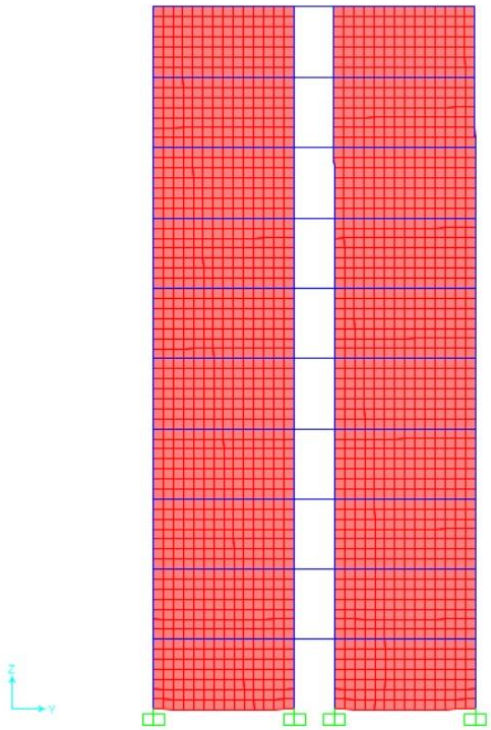
$$\theta_{max} = \frac{0,5}{1 \,.\, 5,5} \leq 0,25$$

$$\theta_{max} = 0,0909$$

Pada percobaan ini dilakukan asumsi penambahan *shear wall* tipe I di tiap lantai dengan ketebalan 400 mm. *Shear wall* diletakkan pada bagian tengah bangunan bukan pada tepi bangunan agar lebih dekat dengan pusat massa bangunan sehingga dapat mengurangi besar eksentrisitas bangunan dan deformasi bangunan. Denah perletakan *shear wall* dapat dilihat pada Gambar 5.11 dan 5.12 berikut.




**Gambar 5.11 Pemodelan *Shear Wall* Tampak 3 Dimensi**



**Gambar 5.12 Pemodelan *Shear Wall* Tampak 2 Dimensi (Arah YZ)**

Pemeriksaan koefisien stabilitas (θ) pada titik tinjauan 1 setelah penambahan *shear wall* dapat dilihat pada Tabel 5.4 dan Tabel 5.5 berikut ini.

**Tabel 5.4 Hasil Pemeriksaan Koefisien Stabilitas Struktur Titik Tinjauan 1 (Arah X) Setelah Penambahan *Shear Wall***

| Joint | $P_x$ (kN) | $V_x$ (kN) | $C_d$ | $I_e$ | $\Delta_x$ (mm) | $h_{sx}$ (mm) | $\theta_x$ | $\Delta_x < \Delta_{max}$ | $\theta_x < \theta_{max}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 80 (Lantai 1) | 116970,216 | 5115,704 | 5,5 | 1 | 15,0425 | 3500 | 0,01786731 | OK | OK |
| 89 (Lantai 2) | 88397,756 | 3932,25 | | | 27,61 | 3500 | 0,032243026 | OK | OK |
| 260 (Lantai 3) | 76598,487 | 3546,766 | | | 31,3665 | 3500 | 0,035190301 | OK | OK |
| 344 (Lantai 4) | 67298,311 | 3185,186 | | | 31,119 | 3500 | 0,034155785 | OK | OK |
| 428 (Lantai 5) | 58385,465 | 2901,341 | | | 29,0345 | 3500 | 0,030352159 | OK | OK |
| 512 (Lantai 6) | 49534,872 | 2670,99 | | | 26,1855 | 3500 | 0,025227192 | OK | OK |
| 596 (Lantai 7) | 40706,927 | 2449,817 | | | 22,979 | 3500 | 0,019835131 | OK | OK |
| 680 (Lantai 8) | 31900,345 | 2165,636 | | | 19,5305 | 3500 | 0,014944884 | OK | OK |
| 764 (Lantai 9) | 23099,808 | 1754,246 | | | 15,818 | 3500 | 0,010820285 | OK | OK |
| 848 (Lantai 10) | 14393,123 | 1266,945 | | | 12,3805 | 3500 | 0,007306422 | OK | OK |

**Tabel 5.5 Hasil Pemeriksaan Koefisien Stabilitas Struktur Titik Tinjauan 1 (Arah Y) Setelah Penambahan *Shear Wall***

| Joint | $P_x$ (kN) | $V_y$ (kN) | $C_d$ | $I_e$ | $\Delta_y$ (mm) | $h_{sx}$ (mm) | $\theta_y$ | $\Delta_y < \Delta_{max}$ | $\theta_y < \theta_{max}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 80 (Lantai 1) | 116970,216 | 5115,704 | 5,5 | 1 | 3,707 | 3500 | 0,007334631 | OK | OK |
| 89 (Lantai 2) | 88397,756 | 3932,25 | | | 6,2975 | 3500 | 0,029364384 | OK | OK |
| 260 (Lantai 3) | 76598,487 | 3546,766 | | | 7,7385 | 3500 | 0,040929029 | OK | OK |
| 344 (Lantai 4) | 67298,311 | 3185,186 | | | 8,866 | 3500 | 0,051485557 | OK | OK |
| 428 (Lantai 5) | 58385,465 | 2901,341 | | | 9,57 | 3500 | 0,061424193 | OK | OK |
| 512 (Lantai 6) | 49534,872 | 2670,99 | | | 9,867 | 3500 | 0,070279525 | OK | OK |
| 596 (Lantai 7) | 40706,927 | 2449,817 | | | 9,8505 | 3500 | 0,07736309 | OK | OK |
| 680 (Lantai 8) | 31900,345 | 2165,636 | | | 9,581 | 3500 | 0,081445684 | OK | OK |
| 764 (Lantai 9) | 23099,808 | 1754,246 | | | 9,0365 | 3500 | 0,078887008 | OK | OK |
| 848 (Lantai 10) | 14393,123 | 1266,945 | | | 8,0905 | 3500 | 0,058207077 | OK | OK |

Pemeriksaan koefisien stabilitas (θ) pada titik tinjauan 2 setelah penambahan *shear wall* dapat dilihat pada Tabel 5.6 dan Tabel 5.7 berikut ini.

**Tabel 5.6 Hasil Pemeriksaan Koefisien Stabilitas Struktur Titik Tinjauan 2 (Arah X) Setelah Penambahan *Shear Wall***

| Joint | $P_x$ (kN) | $V_x$ (kN) | $C_d$ | $I_e$ | $\Delta_x$ (mm) | $h_{sx}$ (mm) | $\theta_x$ | $\Delta_x < \Delta_{max}$ | $\theta_x < \theta_{max}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 38 (Lantai 1) | 116970,216 | 5115,704 | 5,5 | 1 | 14,8775 | 3500 | 0,017671325 | OK | OK |
| 126 (Lantai 2) | 88397,756 | 3932,25 | | | 27,5715 | 3500 | 0,032198066 | OK | OK |
| 296 (Lantai 3) | 76598,487 | 3546,766 | | | 31,3225 | 3500 | 0,035140937 | OK | OK |
| 380 (Lantai 4) | 67298,311 | 3185,186 | | | 31,0145 | 3500 | 0,034041087 | OK | OK |
| 464 (Lantai 5) | 58385,465 | 2901,341 | | | 28,9245 | 3500 | 0,030237167 | OK | OK |
| 548 (Lantai 6) | 49534,872 | 2670,99 | | | 26,0645 | 3500 | 0,025110621 | OK | OK |
| 632 (Lantai 7) | 40706,927 | 2449,817 | | | 22,8525 | 3500 | 0,019725938 | OK | OK |
| 716 (Lantai 8) | 31900,345 | 2165,636 | | | 19,371 | 3500 | 0,014822833 | OK | OK |
| 800 (Lantai 9) | 23099,808 | 1754,246 | | | 15,631 | 3500 | 0,010692368 | OK | OK |
| 884 (Lantai 10) | 14393,123 | 1266,945 | | | 12,1055 | 3500 | 0,007144129 | OK | OK |

**Tabel 5.7 Hasil Pemeriksaan Koefisien Stabilitas Struktur Titik Tinjauan 2 (Arah Y) Setelah Penambahan *Shear Wall***

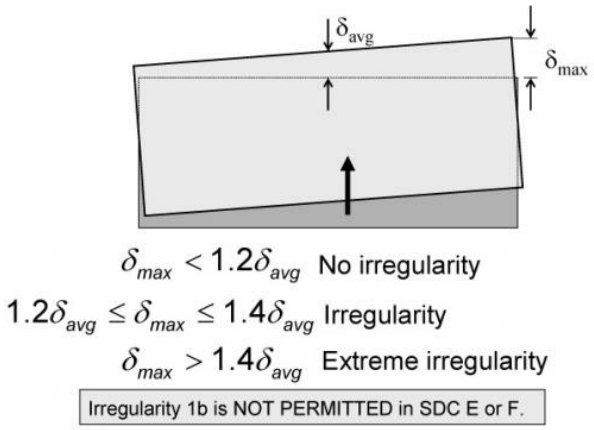
| Joint | $P_x$ (kN) | $V_y$ (kN) | $C_d$ | $I_e$ | $\Delta_y$ (mm) | $h_{sx}$ (mm) | $\theta_y$ | $\Delta_y < \Delta_{max}$ | $\theta_y < \theta_{max}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 38 (Lantai 1) | 116970,216 | 3071,064 | 5,5 | 1 | 2,2165 | 3500 | 0,004385544 | OK | OK |
| 126 (Lantai 2) | 88397,756 | 1564,534 | | | 4,3945 | 3500 | 0,019404062 | OK | OK |
| 296 (Lantai 3) | 76598,487 | 1724,984 | | | 5,7915 | 3500 | 0,028609721 | OK | OK |
| 380 (Lantai 4) | 67298,311 | 1806,827 | | | 6,8585 | 3500 | 0,037267966 | OK | OK |
| 464 (Lantai 5) | 58385,465 | 1786,451 | | | 7,6395 | 3500 | 0,045671287 | OK | OK |
| 548 (Lantai 6) | 49534,872 | 1685,945 | | | 8,1455 | 3500 | 0,053490341 | OK | OK |
| 632 (Lantai 7) | 40706,927 | 1527,877 | | | 8,448 | 3500 | 0,060197512 | OK | OK |
| 716 (Lantai 8) | 31900,345 | 1332,259 | | | 8,5855 | 3500 | 0,064780275 | OK | OK |
| 800 (Lantai 9) | 23099,808 | 1133,47 | | | 8,4645 | 3500 | 0,06409715 | OK | OK |
| 884 (Lantai 10) | 14393,123 | 1061,09 | | | 7,689 | 3500 | 0,048080231 | OK | OK |

Berdasarkan hasil pemeriksaan di atas didapatkan nilai koefisien stabilitas (θ) di tiap titik tinjau baik arah X dan arah Y setelah ditambahkan *shear wall* pada struktur tersebut tidak melebihi $\theta_{max}$ yaitu 0,0909 sehingga pemodelan struktur bangunan tersebut relatif akan stabil, tidak menimbulkan pengaruh P-delta pada struktur tersebut.

### 5.5.6 Ketidakberaturan Horizontal Torsional Bangunan

Dikarenakan bangunan yang dianalisa pada penelitian ini memiliki bentuk denah bangunan yang tidak beraturan atau asimetris, maka diperlukan parameter kontrol terkait dengan torsi yang terjadi akibat adanya perpindahan joint atau *joint displacement* (δ). Nilai tersebut didapatkan dari hasil analisis struktur menggunakan *SAP2000* v.21.1.0. Ketidakberaturan torsi didefinisikan ada jika simpangan antar lantai tingkat maksimum ($\delta_{max}$). Ketidakberaturan torsi 1a yaitu dimana torsi yang dihitung termasuk torsi tak terduga di sebuah ujung struktur melintang terhadap sumbu lebih dari 1,2 kali simpangan antar lantai tingkat rata-rata ($\delta_{avg}$). Ketidakberaturan torsi 1b atau ketidakberaturan torsi berlebihan yaitu dimana torsi yang dihitung termasuk torsi tak terduga bilamana simpangan maksimum ($\delta_{max}$) melebihi 1,4 kali simpangan rata-rata ($\delta_{avg}$). Berdasarkan pasal 7.3.3 SNI

1726:2012 ketidakberaturan torsi 1b tidak diperbolehkan pada kategori desain seismik E dan F. Persyaratan torsi dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur dimana diafragma *rigid* atau *semi-rigid*.




**Gambar 5.13 Ketidakberaturan Horizontal Torsional Bangunan**

Berdasarkan pasal 7.8.4.3 SNI 1726:2012, struktur yang dirancang untuk kategori desain seismik C, D, E, atau F, di mana tipe 1a atau 1b ketidakberaturan torsi terjadi seperti didefinisikan dalam Tabel 10 harus mempunyai pengaruh yang diperhitungkan dengan mengalikan Mta di masing-masing tingkat dengan faktor pembesaran torsi ($A_x$). Faktor pembesar torsi digunakan jika nilai $A_x > 1$. Persamaan yang digunakan dalam mencari faktor pembesaran torsi adalah sebagai berikut.

$$A_x = \left(\frac{\delta_{max}}{1{,}2\ \delta_{avg}}\right)^2 > 1$$

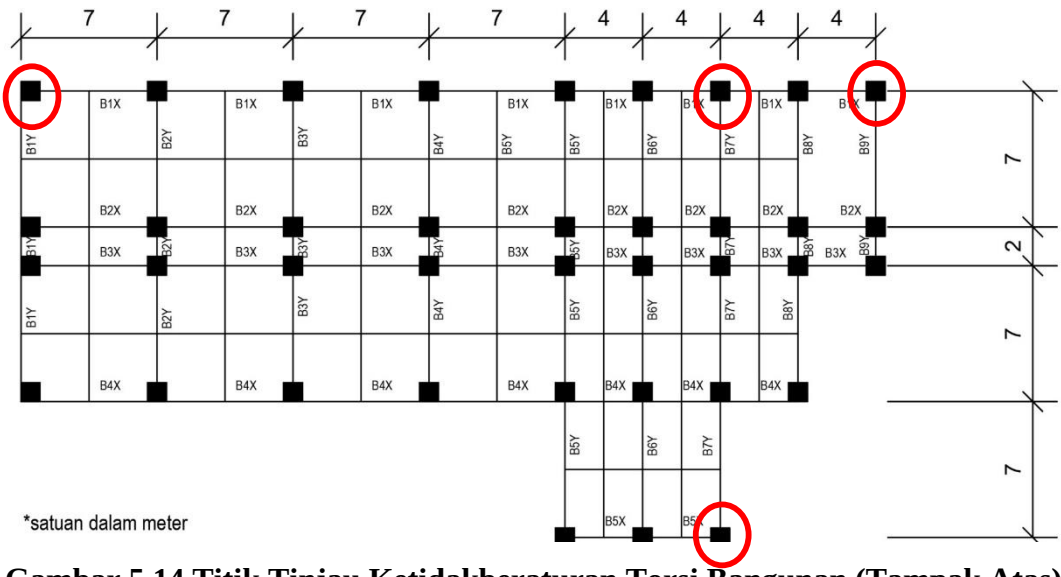
Keterangan :

$\delta_{max}$ = perpindahan maksimum di tingkat *x* (mm) yang dihitung dengan mengasumsikan $A_x = 1$

$\delta_{avg}$ = rata-rata perpindahan di titik-titik terjauh struktur di tingkat *x* yang dihitung dengan mengasumsikan $A_x = 1$

Dalam mencari nilai torsi tak terduga digunakan tinjauan pada tiap tepi bangunan di masing-masing portal arah X dan arah Y. Pada tiap titik tersebut

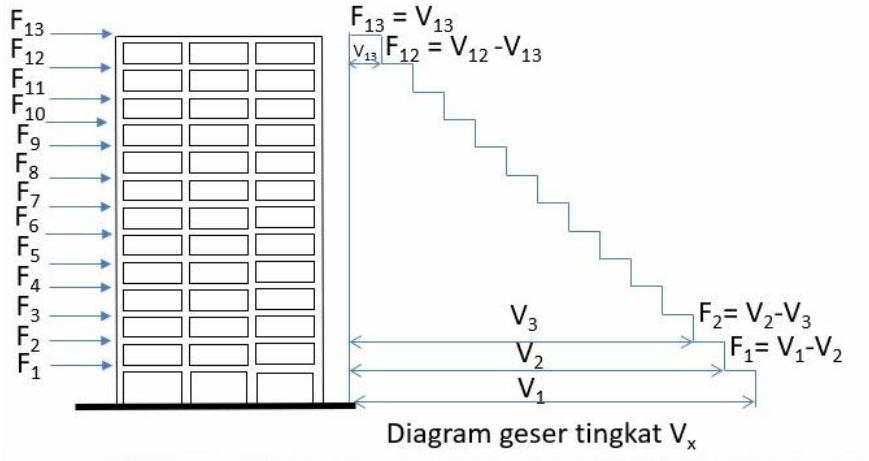
diambil nilai maksimum. Titik tinjau bangunan dapat dilihat pada Gambar 5.14 berikut.




**Gambar 5.14 Titik Tinjau Ketidakberaturan Torsi Bangunan (Tampak Atas)**

Dikarenakan menggunakan *analysis dynamic* pada SAP2000 maka yang diperoleh adalah gaya geser tingkat ($V_x$ dan $V_y$), bukan gaya gempa tiap lantai ($F_x$ dan $F_y$). Gaya gempa per lantai diperoleh dengan persamaan sebagai berikut.

$$F_x = | V_x - V_{x+1} |$$




**Gambar 5.15 Gaya Gempa Tiap Lantai**

Setelah didapatkan gaya gempa tiap lantai masing-masing arah X dan Y, selanjutnya dihitung momen torsi tak terduga tiap lantai ($Mta_x$ dan $Mta_y$) dengan persamaan sebagai berikut.

$$Mta_x = F_x \text{ x } \Delta y$$
$$Mta_y = F_y \text{ x } \Delta x$$

Keterangan :

$Mta_x$ = momen torsi tak terduga arah X

$Mta_y$ = momen torsi tak terduga arah Y

$F_x$ = gaya gempa tiap lantai arah X

$F_y$ = gaya gempa tiap lantai arah Y

$\Delta y$ = perpindahan pusat massa arah Y dari lokasi aktualnya yang diasumsikan dengan jarak sama dengan 5% dimensi struktur terpanjang tegak lurus terhadap arah gaya yang diterapkan

$\Delta x$ = perpindahan pusat massa arah X dari lokasi aktualnya yang diasumsikan dengan jarak sama dengan 5% dimensi struktur terpanjang tegak lurus terhadap arah gaya yang diterapkan

Perhitungan momen torsi masing-masing arah X dan arah Y dapat dilihat pada Tabel 5.8 dan Tabel 5.9 berikut.

**Tabel 5.8 Perhitungan Momen Torsi Tak Terduga Arah X**

| ***Section Cut*** | ***$P_x$* (kN)** | ***$V_x$* (kN)** | ***$F_x$* (kN)** | ***$L_x$* (m)** | **$\Delta_x$ (m)** | ***$Mta_x$* (kNm)** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Lantai 1 | 116970,216 | 5115,704 | 1183,454 | 44 | 2,2 | 1360,9721 |
| Lantai 2 | 88397,756 | 3932,25 | 385,484 | 44 | 2,2 | 443,3066 |
| Lantai 3 | 76598,487 | 3546,766 | 361,58 | 44 | 2,2 | 415,817 |
| Lantai 4 | 67298,311 | 3185,186 | 283,845 | 44 | 2,2 | 326,42175 |
| Lantai 5 | 58385,465 | 2901,341 | 230,351 | 44 | 2,2 | 264,90365 |

**Lanjutan Tabel 5.8**

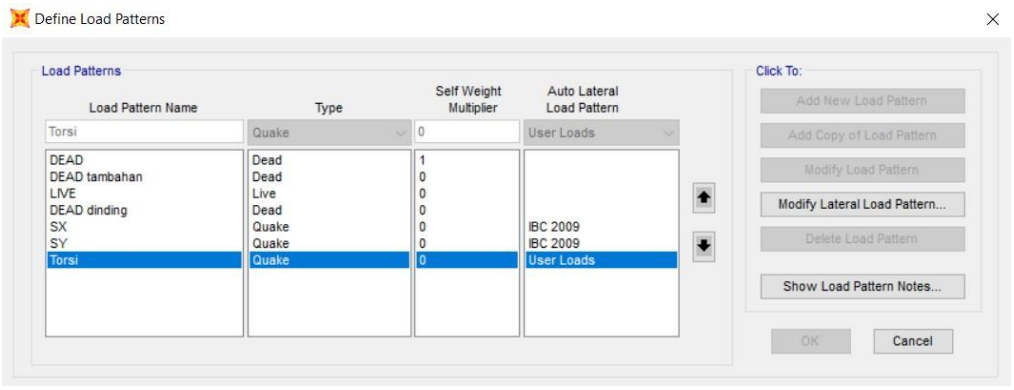
| ***Section Cut*** | $P_x$ **(kN)** | $V_x$ **(kN)** | $F_x$ **(kN)** | $L_x$ **(m)** | $\Delta_x$ **(m)** | $Mta_x$ **(kNm)** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Lantai 6 | 49534,872 | 2670,99 | 1685,945 | 44 | 2,2 | 254,34895 |
| Lantai 7 | 40706,927 | 2449,817 | 1527,877 | 44 | 2,2 | 326,80815 |
| Lantai 8 | 31900,345 | 2165,636 | 1332,259 | 44 | 2,2 | 473,0985 |
| Lantai 9 | 23099,808 | 1754,246 | 1133,47 | 44 | 2,2 | 560,39615 |
| Lantai 10 | 14393,123 | 1266,945 | 1061,09 | 44 | 2,2 | 1456,98675 |
| | | | | | $\sum Mta_x$ = | 5883,0596 |

**Tabel 5.9 Perhitungan Momen Torsi Tak Terduga Arah Y**

| ***Section Cut*** | $P_x$ **(kN)** | $V_y$ **(kN)** | $F_y$ **(kN)** | $L_y$ **(m)** | $\Delta_y$ **(m)** | $Mta_y$ **(kNm)** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Lantai 1 | 116970,216 | 3314,366 | 1506,53 | 23 | 1,15 | 3423,2572 |
| Lantai 2 | 88397,756 | -352,99 | -160,45 | 23 | 1,15 | 148,9972 |
| Lantai 3 | 76598,487 | -180,0546 | -81,843 | 23 | 1,15 | 56,5774 |
| Lantai 4 | 67298,311 | 44,8272 | 20,376 | 23 | 1,15 | 127,7078 |
| Lantai 5 | 58385,465 | 221,1132 | 100,506 | 23 | 1,15 | 282,4888 |
| Lantai 6 | 49534,872 | 347,7496 | 158,068 | 23 | 1,15 | 412,0028 |
| Lantai 7 | 40706,927 | 430,3596 | 195,618 | 23 | 1,15 | 515,0398 |
| Lantai 8 | 31900,345 | 437,3358 | 198,789 | 23 | 1,15 | 576,5914 |
| Lantai 9 | 23099,808 | 159,236 | 72,38 | 23 | 1,15 | 577,7486 |
| Lantai 10 | 14393,123 | 2334,398 | 1061,09 | 23 | 1,15 | 1779,0102 |
| | | | | | $\sum Mta_y$ = | 6756,3408 |

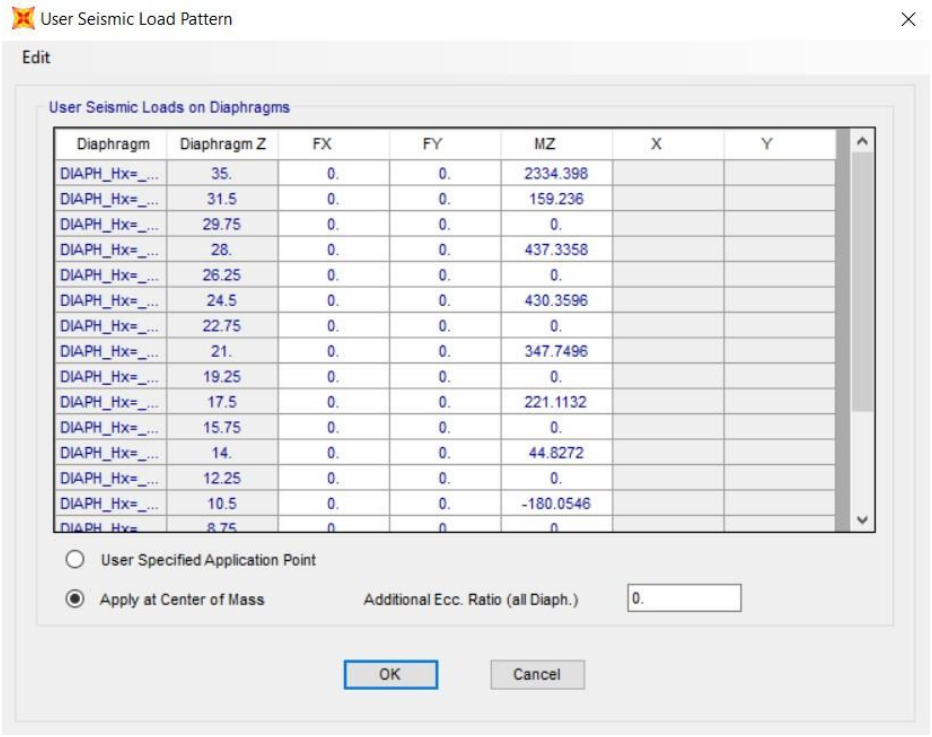
Dari hasil perhitungan kedua arah diatas, yang memiliki nilai torsi terbesar adalah di arah Y sehingga torsi tersebut dijadikan acuan untuk penelitian ini. Setelah itu, untuk mengecek dampak akibat torsi makan *input* terlebih dahulu nilai torsi masing-masing arah X dan arah Y sebagai tambahan beban gempa ke dalam

SAP2000, dengan cara klik *Define – Load Pattern – Type* beban: *Quake – Auto Lateral Load Pattern: User Loads – Add New Load Pattern*



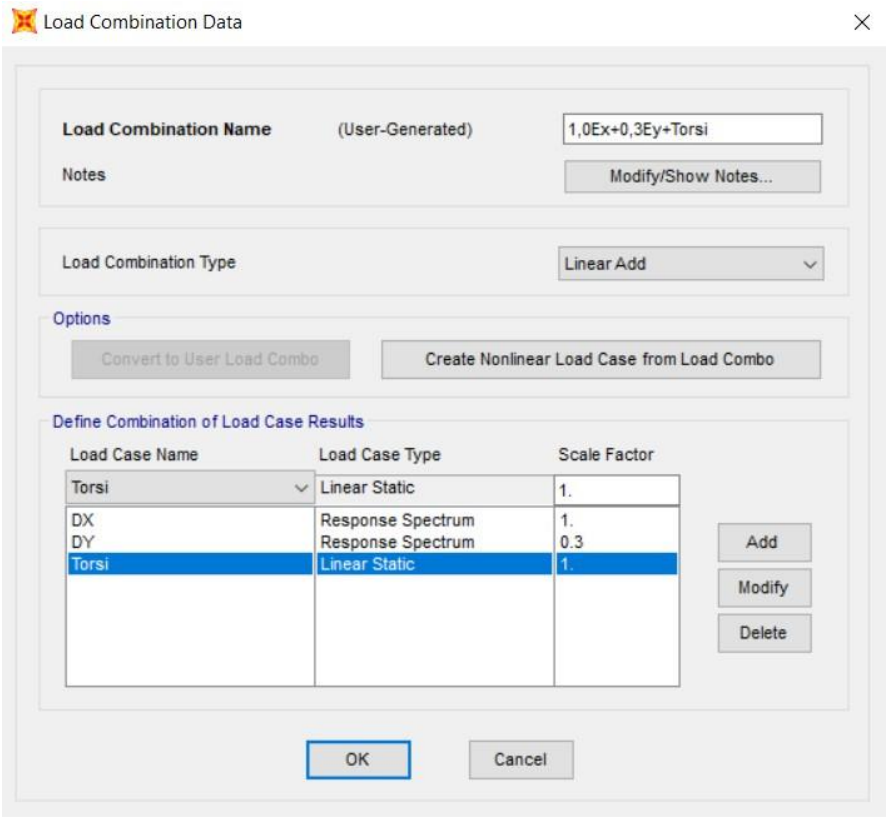

**Gambar 5.16 *Load Pattern* Torsi**

Kemudian klik *Modify Lateral Load Pattern* untuk input nilai torsi arah Y yang dijadikan sebagai acuan torsi sesuai dengan lokasi tingkat lantainya masing-masing. Kemudian klik *Apply at Center of Mass* dengan nilai *Additional Ecc. Ratio (all Diaph.)* sama dengan 0.



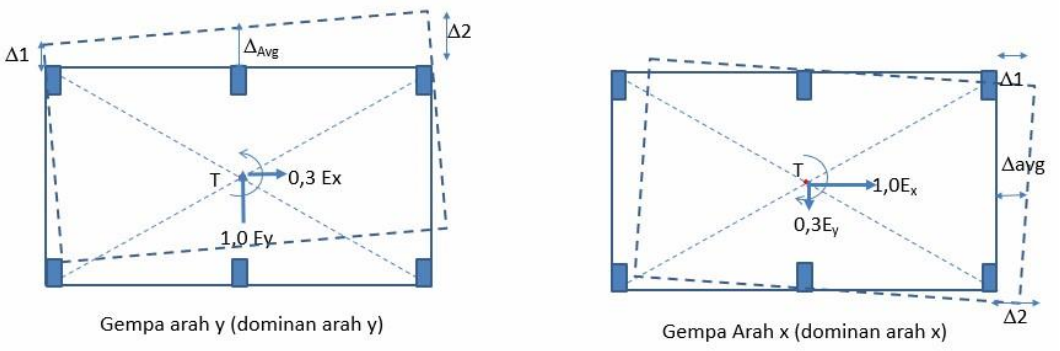

**Gambar 5.17 *Input* Nilai Torsi Acuan**

Kemudian masukkan beban kombinasi gempa 2 arah beserta torsi yang terjadi pada struktur. Gempa dominan arah Y (1,0Ey + 0,3 Ex + Torsi) dan gempa dominan arah X (1,0 Ex + Ey + Torsi). Kemudian *running* kembali semua beban pada SAP 2000.



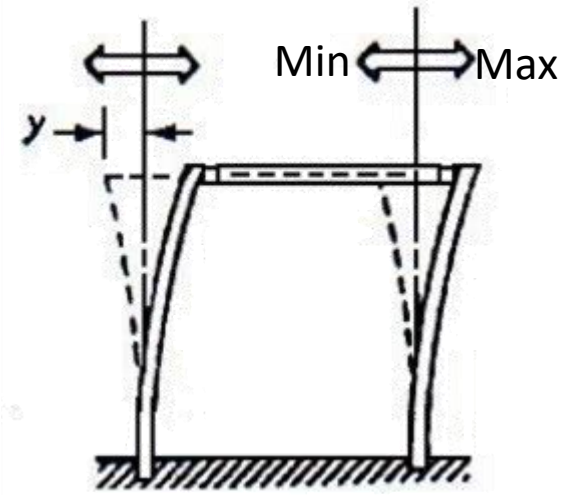

**Gambar 5.17 *Input* Kombinasi Beban Gempa dan Torsi**

Pembacaan simpangan antar lantai untuk gempa arah Y, maka dibaca simpangan ke arah Y. Untuk gempa arah X, maka dibaca simpangan ke arah X.




**Gambar 5.18 Pembacaan Simpangan Antar Lantai Akibat Torsi**

Pembacaan nilai *displacement* dilakukan di tiap ujung kiri dan kanan masing-masing portal terpanjang arah X maupun arah Y. Akan terdapat nilai *displacement* min dan max yang dimana merupakan arah gerak *displacement* tersebut ke kiri atau ke kanan. Digunakan nilai *displacement* terbesar dari nilai min dan max tersebut. Pada penelitian ini digunakan acuan *displacement* max yang memiliki nilai lebih besar daripada *displacement* min. Pemeriksaan ketidakberaturan struktur arah X dan arah Y dapat dilihat pada Tabel 5.10 dan Tabel 5.11 berikut.




**Gambar 5.19 *Displacement* Min dan Max Pada Portal**

**Tabel 5.10 Pemeriksaan Ketidakberaturan Struktur Arah X**

| Letak | Joint Kiri | U1 (mm) | dx kiri (mm) | δx kiri (mm) | Joint Kanan | U1 (mm) | dx kanan (mm) | δx kanan (mm) | δmax | δavg | 1,2 δavg | δmax < 1,2 δavg | 1,4 δavg | δmax < 1,4 δavg |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Lt 1 | 178 | 2,764 | 15,203 | 15,203 | 38 | 2,858 | 15,717 | 15,717 | 15,717 | 15,460 | 18,552 | OK | 21,64408785 | OK |
| Lt 2 | 95 | 7,887 | 43,376 | 28,173 | 126 | 8,091 | 44,502 | 28,784 | 28,784 | 28,479 | 34,175 | OK | 39,8703998 | OK |
| Lt 3 | 266 | 13,684 | 75,263 | 31,887 | 296 | 14,066 | 77,364 | 32,863 | 32,863 | 32,375 | 38,850 | OK | 45,3249027 | OK |
| Lt 4 | 350 | 19,451 | 106,982 | 31,719 | 380 | 20,048 | 110,265 | 32,900 | 32,900 | 32,310 | 38,771 | OK | 45,2333497 | OK |
| Lt 5 | 434 | 24,856 | 136,710 | 29,728 | 464 | 25,689 | 141,288 | 31,023 | 31,023 | 30,375 | 36,451 | OK | 42,52559465 | OK |
| Lt 6 | 518 | 29,754 | 163,648 | 26,938 | 548 | 30,830 | 169,567 | 28,279 | 28,279 | 27,609 | 33,131 | OK | 38,65242535 | OK |
| Lt 7 | 602 | 34,072 | 187,397 | 23,749 | 632 | 35,395 | 194,671 | 25,104 | 25,104 | 24,426 | 29,311 | OK | 34,19662785 | OK |
| Lt 8 | 686 | 37,761 | 207,688 | 20,291 | 716 | 39,324 | 216,281 | 21,610 | 21,610 | 20,951 | 25,141 | OK | 29,33105945 | OK |
| Lt 9 | 770 | 40,798 | 224,389 | 16,701 | 800 | 42,554 | 234,047 | 17,766 | 17,766 | 17,234 | 20,680 | OK | 24,1269336 | OK |
| Lt 10 | 854 | 43,154 | 237,346 | 12,957 | 884 | 45,093 | 248,011 | 13,964 | 13,964 | 13,460 | 16,152 | OK | 18,84449105 | OK |

**Tabel 5.11 Pemeriksaan Ketidakberaturan Struktur Arah Y**

| Letak | Joint Kiri | U2 (mm) | dx kiri (mm) | δx kiri (mm) | Joint Kanan | U2 (mm) | dx kanan (mm) | δx kanan (mm) | δmax | δavg | 1,2 δavg | δmax < 1,2 δavg | 1,4 δavg | δmax < 1,4 δavg |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Lt 1 | 80 | 0,633 | 3,479 | 3,479 | 180 | 0,640 | 3,520 | 3,520 | 3,520 | 3,499 | 4,199 | OK | 4,899 | OK |
| Lt 2 | 89 | 1,738 | 9,558 | 6,079 | 97 | 1,818 | 9,999 | 6,479 | 6,479 | 6,279 | 7,535 | OK | 8,791 | OK |
| Lt 3 | 260 | 3,092 | 17,007 | 7,449 | 268 | 3,321 | 18,266 | 8,267 | 8,267 | 7,858 | 9,430 | OK | 11,001 | OK |
| Lt 4 | 344 | 4,632 | 25,475 | 8,467 | 352 | 5,086 | 27,976 | 9,710 | 9,710 | 9,089 | 10,906 | OK | 12,724 | OK |
| Lt 5 | 428 | 6,288 | 34,585 | 9,110 | 436 | 7,047 | 38,759 | 10,784 | 10,784 | 9,947 | 11,936 | OK | 13,926 | OK |
| Lt 6 | 512 | 7,996 | 43,976 | 9,390 | 520 | 9,142 | 50,279 | 11,520 | 11,520 | 10,455 | 12,546 | OK | 14,637 | OK |
| Lt 7 | 596 | 9,699 | 53,344 | 9,369 | 604 | 11,320 | 62,263 | 11,984 | 11,984 | 10,676 | 12,812 | OK | 14,947 | OK |
| Lt 8 | 680 | 11,356 | 62,458 | 9,113 | 688 | 13,570 | 74,636 | 12,374 | 12,374 | 10,744 | 12,892 | OK | 15,041 | OK |
| Lt 9 | 764 | 12,919 | 71,054 | 8,597 | 772 | 15,978 | 87,877 | 13,240 | 13,240 | 10,919 | 13,102 | NOT OK | 15,286 | OK |
| Lt 10 | 848 | 14,315 | 78,732 | 7,678 | 856 | 18,417 | 101,294 | 13,417 | 13,417 | 10,547 | 12,657 | NOT OK | 14,766 | OK |

Pada hasil pemeriksaan ketidakberaturan struktur arah X dan arah Y tersebut, pada arah X nilai $\delta_{max}$ tidak ada yang melebihi 1,2 $\delta_{avg}$ atau 1,4 $\delta_{avg}$. Artinya pada struktur arah X tidak terjadi ketidakberaturan horizontal torsional bangunan 1a dan 1b. Sedangkan pada arah Y ada beberapa nilai $\delta_{max}$ yang melebihi 1,2 $\delta_{avg}$ namun tidak melebihi 1,4 $\delta_{avg}$. Artinya pada struktur arah Y terjadi ketidakberaturan horizontal torsional bangunan 1a, namun tidak terjadi ketidakberaturan horizontal torsional bangunan 1b. Berdasarkan pasal 7.8.4.3 pada SNI 1726:2012 maka perlu mencari faktor pembesar torsi yang terjadi pada torsi 1a. Hasil faktor pembesaran torsi dapat dilihat pada Tabel 5.12 dan contoh perhitungan faktor pembesaran torsi pada lantai 1 arah Y adalah sebagai berikut.

$\delta_{max}$ = 13,417

$\delta_{avg}$ = 10,547

$A_x = \left(\frac{\delta_{max}}{1{,}2\ \delta_{avg}}\right)^2 > 1$

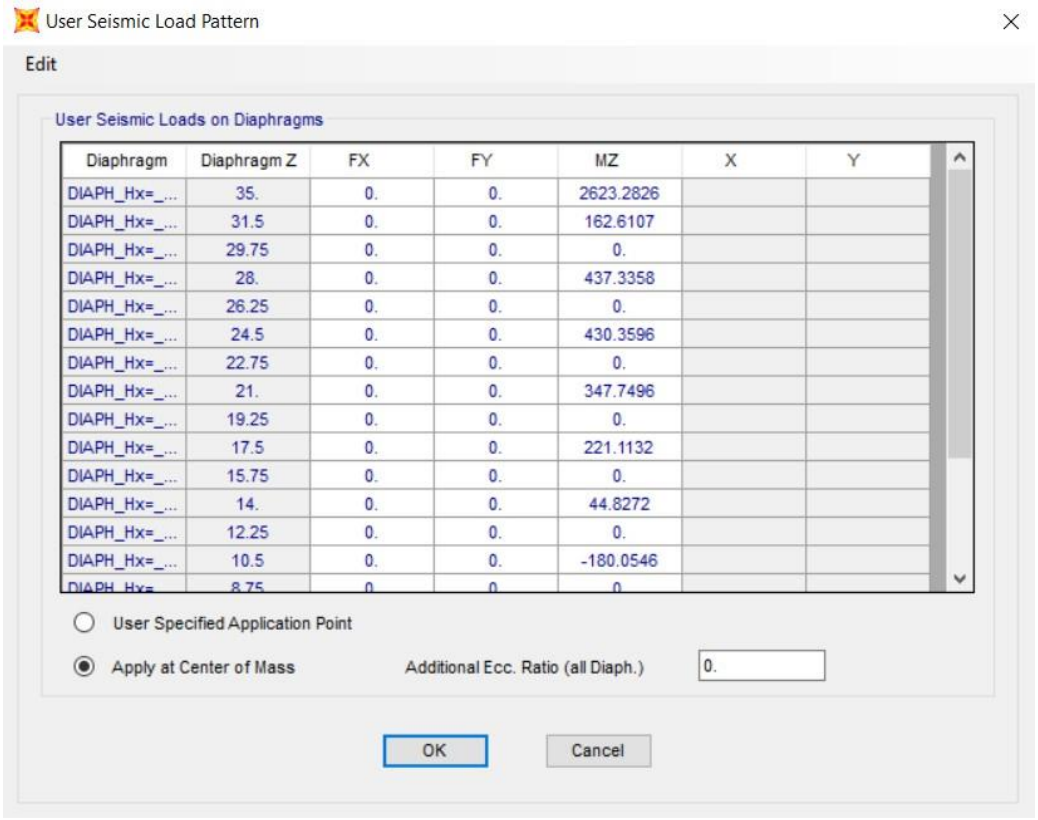
$= \left(\frac{13{,}417}{1{,}2\ x\ 10{,}547}\right)^2$

= 1,12375

**Tabel 5.12 Hasil Faktor Pembesaran Torsi Portal Arah Y**

| **Letak** | **$\delta_{max}$ (mm)** | **$\delta_{avg}$ (mm)** | $A_x$ | $Mta_y$ (kNm) | $Mta_y . A_x$ |
|---|---|---|---|---|---|
| Lantai 1 | 3,520 | 3,499 | 0,70250 | 3314,366 | - |
| Lantai 2 | 6,479 | 6,279 | 0,73943 | -352,99 | - |
| Lantai 3 | 8,267 | 7,858 | 0,76857 | -180,0546 | - |
| Lantai 4 | 9,710 | 9,089 | 0,79262 | 44,8272 | - |
| Lantai 5 | 10,784 | 9,947 | 0,81618 | 221,1132 | - |
| Lantai 6 | 11,520 | 10,455 | 0,84307 | 347,7496 | - |
| Lantai 7 | 11,984 | 10,676 | 0,87495 | 430,3596 | - |
| Lantai 8 | 12,374 | 10,744 | 0,92118 | 437,3358 | - |
| Lantai 9 | 13,240 | 10,919 | 1,02119 | 159,236 | 162,6107 |
| Lantai 10 | 13,417 | 10,547 | 1,12375 | 2334,398 | 2623,2826 |

Pada perhitungan faktor pembesaran torsi portal arah Y di atas, pada lantai 1 s.d. lantai 8 memiliki nilai faktor pembesaran torsi kurang dari 1 dikarenakan pada lantai tersebut tidak termasuk torsi 1a sehingga pada lantai tersebut tidak perlu menggunakan faktor pembesaran torsi dan tetap menggunakan momen torsi tak terduga sebelumnya. Setelah mendapatkan nilai $Mta_y$ dikalikan $A_x$ masukkan nilai tersebut ke dalam *Load Pattern* Torsi sebelumnya, kemudian *running* kembali program SAP2000.




**Gambar 5.20 *Input* Nilai Torsi Setelah Dikalikan Faktor Pembesaran Torsi**

Dilakukan pembacaan ulang nilai *displacement* dilakukan di tiap ujung kiri dan kanan masing-masing portal terpanjang arah X maupun arah Y setelah *input* nilai torsi yang dikalikan faktor pembesaran torsi. Pemeriksaan ketidakberaturan struktur arah X dan arah Y setelah dikali faktor pembesaran torsi dapat dilihat pada Tabel 5.13 dan Tabel 5.14 berikut.

**Tabel 5.13 Pemeriksaan Ketidakberaturan Struktur Arah X Setelah Dikali Faktor Pembesaran Torsi**

| Letak | Joint Kiri | U1 (mm) | dx kiri (mm) | δx kiri (mm) | Joint Kanan | U1 (mm) | dx kanan (mm) | δx kanan (mm) | δmax | δavg | 1,2 δavg | δmax < 1,2 δavg | 1,4 δavg | δmax < 1,4 δavg |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Lt 1 | 178 | 2,763 | 15,198 | 15,198 | 38 | 2,859 | 15,725 | 15,725 | 15,725 | 15,461 | 18,554 | OK | 21,646 | OK |
| Lt 2 | 95 | 7,884 | 43,362 | 28,164 | 126 | 8,095 | 44,525 | 28,800 | 28,800 | 28,482 | 34,178 | OK | 39,875 | OK |
| Lt 3 | 266 | 13,679 | 75,236 | 31,874 | 296 | 14,074 | 77,409 | 32,884 | 32,884 | 32,379 | 38,855 | OK | 45,331 | OK |
| Lt 4 | 350 | 19,444 | 106,940 | 31,703 | 380 | 20,061 | 110,336 | 32,927 | 32,927 | 32,315 | 38,778 | OK | 45,241 | OK |
| Lt 5 | 434 | 24,845 | 136,650 | 29,710 | 464 | 25,707 | 141,390 | 31,054 | 31,054 | 30,382 | 36,458 | OK | 42,535 | OK |
| Lt 6 | 518 | 29,740 | 163,568 | 26,919 | 548 | 30,855 | 169,704 | 28,314 | 28,314 | 27,616 | 33,139 | OK | 38,663 | OK |
| Lt 7 | 602 | 34,054 | 187,295 | 23,727 | 632 | 35,426 | 194,845 | 25,141 | 25,141 | 24,434 | 29,321 | OK | 34,208 | OK |
| Lt 8 | 686 | 37,738 | 207,560 | 20,265 | 716 | 39,363 | 216,496 | 21,651 | 21,651 | 20,958 | 25,150 | OK | 29,341 | OK |
| Lt 9 | 770 | 40,768 | 224,222 | 16,662 | 800 | 42,601 | 234,305 | 17,809 | 17,809 | 17,236 | 20,683 | OK | 24,130 | OK |
| Lt 10 | 854 | 43,112 | 237,117 | 12,895 | 884 | 45,147 | 248,309 | 14,004 | 14,004 | 13,449 | 16,139 | OK | 18,829 | OK |

**Tabel 5.14 Pemeriksaan Ketidakberaturan Struktur Arah Y Setelah Dikali Faktor Pembesaran Torsi**

| Letak | Joint Kiri | U2 (mm) | dx kiri (mm) | δx kiri (mm) | Joint Kanan | U2 (mm) | dx kanan (mm) | δx kanan (mm) | δmax | δavg | 1,2 δavg | δmax < 1,2 δavg | 1,4 δavg | δmax < 1,4 δavg |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Lt 1 | 80 | 0,631 | 3,468 | 3,468 | 180 | 0,642 | 3,533 | 3,533 | 3,533 | 3,501 | 4,201 | OK | 4,901 | OK |
| Lt 2 | 89 | 1,732 | 9,525 | 6,058 | 97 | 1,825 | 10,040 | 6,507 | 6,507 | 6,282 | 7,539 | OK | 8,795 | OK |
| Lt 3 | 260 | 3,081 | 16,947 | 7,421 | 268 | 3,335 | 18,344 | 8,304 | 8,304 | 7,863 | 9,435 | OK | 11,008 | OK |
| Lt 4 | 344 | 4,615 | 25,381 | 8,434 | 352 | 5,109 | 28,100 | 9,755 | 9,755 | 9,094 | 10,913 | OK | 12,732 | OK |
| Lt 5 | 428 | 6,264 | 34,453 | 9,072 | 436 | 7,079 | 38,935 | 10,836 | 10,836 | 9,954 | 11,945 | OK | 13,936 | OK |
| Lt 6 | 512 | 7,964 | 43,802 | 9,349 | 520 | 9,184 | 50,513 | 11,578 | 11,578 | 10,464 | 12,556 | OK | 14,649 | OK |
| Lt 7 | 596 | 9,660 | 53,128 | 9,326 | 604 | 11,375 | 62,564 | 12,051 | 12,051 | 10,688 | 12,826 | OK | 14,964 | OK |
| Lt 8 | 680 | 11,309 | 62,198 | 9,070 | 688 | 13,641 | 75,024 | 12,460 | 12,460 | 10,765 | 12,918 | OK | 15,071 | OK |
| Lt 9 | 764 | 12,864 | 70,751 | 8,553 | 772 | 16,071 | 88,391 | 13,367 | 13,367 | 10,960 | 13,152 | NOT OK | 15,344 | OK |
| Lt 10 | 848 | 14,252 | 78,387 | 7,636 | 856 | 18,537 | 101,952 | 13,561 | 13,561 | 10,599 | 12,718 | NOT OK | 14,838 | OK |

Berdasarkan hasil pemeriksaan di atas, struktur bangunan tidak termasuk dalam ketidakberaturan horizontal torsi 1b, yang berarti struktur bangunan tersebut aman terhadap ketidakberaturan horizontal dan layak untuk digunakan.

### 5.6 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan yang digunakan berdasarkan pada pasal 7.4.2 SNI 1726:2012. Kombinasi beban yang digunakan tidak hanya dipengaruhi oleh beban gempa horizontal tetapi juga memperhatikan beban gempa vertikal. Pengaruh beban vertikal didasarkan pada nilai faktor redundansi ($\rho$) dan nilai $S_{DS}$. Beban kombinasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. 1,4D
2. 1,2D + 1,6L
3. $1{,}2D + 1L \pm 0{,}3(\rho.Q_{Ex} + 0{,}2S_{DS}.D) \pm 1(\rho.Q_{Ey} + 0{,}2.S_{DS}.D) + 0{,}5L$
4. $1{,}2D + 1L \pm 1(\rho.Q_{Ex} + 0{,}2S_{DS}.D) \pm 0{,}3(\rho.Q_{Ey} + 0{,}2.S_{DS}.D) + 0{,}5L$
5. $0{,}9D \pm 0{,}3(\rho.Q_{Ex} - 0{,}2S_{DS}.D) \pm 1(\rho.Q_{Ey} - 0{,}2.S_{DS}.D)$
6. $0{,}9D \pm 1(\rho.Q_{Ex} - 0{,}2S_{DS}.D) \pm 0{,}3(\rho.Q_{Ey} - 0{,}2.S_{DS}.D)$

Keterangan :

D = beban mati

L = beban hidup

$Q_{Ex}$ = beban gempa arah X

$Q_{Ey}$ = beban gempa arah Y

Faktor redundansi ditentukan menggunakan pasal 7.3.4.2. Bangunan dengan kategori risiko D , maka nilai faktor redundansi ($\rho$) adalah sebesar 1,3. Nilai $S_{DS}$ telah dihitung dalam perhitungan sebelumnya adalah sebesar 0,8063. Berikut penjabaran kombinasi pembebanan yang digunakan dalam penelitian ini.

1. 1,4D
2. 1,2D + 1,6L
3. 1,36126D + 1,3Ex + 0,39Ey + 0,5L
4. 1,36126D+ 1,3Ex - 0,39Ey + 0,5L
5. 1,36126D - 1,3Ex + 0,39Ey + 0,5L
6. 1,36126D - 1,3Ex - 0,39Ey + 0,5L

7. 1,36126D + 0,39Ex + 1,3Ey + 0,5L
8. 1,36126D + 0,39Ex - 1,3Ey + 0,5L
9. 1,36126D - 0,39Ex + 1,3Ey + 0,5L
10. 1,36126D - 0,39Ex - 1,3Ey + 0,5L
11. 0,73874D + 1,3Ex + 0,39Ey
12. 0,73874D + 1,3Ex - 0,39Ey
13. 0,73874D - 1,3Ex + 0,39Ey
14. 0,73874D - 1,3Ex - 0,39Ey
15. 0,73874D + 0,39Ex + 1,3Ey
16. 0,73874D + 0,39Ex - 1,3Ey
17. 0,73874D - 0,39Ex + 1,3Ey
18. 0,73874D - 0,39Ex - 1,3Ey

### 5.7 Gaya Dalam Komponen Struktur Balok

Balok pada suatu gedung akan menghasilkan reaksi apabila diberi beban berupa gaya-gaya dalam. Gaya dalam balok terdiri dari momen, gaya geser, gaya puntir, dan gaya aksial. Gaya yang tidak terlalu dominan dan biasanya diabaikan adalah gaya aksial karena nilainya yang kecil. Balok pada portal gedung yang dianalisis menggunakan beban gempa memiliki dua buah nilai momen yaitu momen akibat tarik dan momen akibat tekan pada daerah tepi (tumpuan) dan tengah (lapangan) bentang. Gaya geser dan gaya torsi memiliki nilai yang terbesar pada daerah tepi (tumpuan). Balok pada struktur gedung ini terdiri dari 16 kodefikasi balok yang terdiri dari 8 tipikal balok, yaitu balok exterior arah X bentang 7 meter, balok exterior arah X bentang 4 meter, balok exterior arah Y bentang 7 meter, balok exterior arah Y bentang 2 meter, balok interior arah X bentang 7 meter, balok interior arah X bentang 4 meter, balok interior arah Y bentang 7 meter, dan balok interior arah Y bentang 2 meter. Untuk denah bangunan dapat dilihat di Lampiran. *Output SAP2000* nilai gaya dalam balok setelah redistribusi momen ditampilkan dalam bentuk tabel pada Tabel 5.15, Tabel 5.16, Tabel 5.17, Tabel 5.18, Tabel 5.19, Tabel 5.20, Tabel 5.21, dan Tabel 5.22 berikut.

**Tabel 5.15 *Output* Gaya Dalam Terbesar Balok BX Exterior 7 meter Setelah Redistribusi Momen**

| Lantai | Tumpuan | | | | Lapangan | | | | $Tu^+$ (kNm) | $Tu^-$ (kNm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $Mu^-$ (kNm) | $Mu^+$ (kNm) | $Vu^-$ (kN) | $Vu^+$ (kN) | $Mu^-$ (kNm) | $Mu^+$ (kNm) | $Vu^-$ (kN) | $Vu^+$ (kN) | | |
| 1-3 | 149,68044 | 76,68786 | -226,305 | 205,037 | 44,667 | 40,2422 | -46,77 | 62,805 | 40,308 | -40,4052 |
| 4-6 | 147,22767 | 75,48643 | -222,987 | 201,306 | 46,4878 | 40,0768 | -65,364 | 61,744 | 39,9139 | -39,9668 |
| 7-9 | 125,809658 | 64,965442 | -202,849 | 177,504 | 42,0867 | 40,0561 | -60,446 | 55,845 | 36,4344 | -36,5114 |
| 10 | 77,441324 | 39,154376 | -122,817 | 108,329 | 29,2756 | 24,7683 | -38,781 | 36,854 | 24,8296 | -24,8774 |

**Tabel 5.16 *Output* Gaya Dalam Terbesar Balok BX Exterior 4 meter Setelah Redistribusi Momen**

| Lantai | Tumpuan | | | | Lapangan | | | | $Tu^+$ (kNm) | $Tu^-$ (kNm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $Mu^-$ (kNm) | $Mu^+$ (kNm) | $Vu^-$ (kN) | $Vu^+$ (kN) | $Mu^-$ (kNm) | $Mu^+$ (kNm) | $Vu^-$ (kN) | $Vu^+$ (kN) | | |
| 1-3 | 183,0187 | 151,9233 | -258,712 | 267,285 | 78,8785 | 74,6705 | -132,795 | 134,958 | 32,0673 | -29,9065 |
| 4-6 | 182,1983 | 150,1793 | -256,204 | 265,517 | 78,5779 | 74,3916 | -131,776 | 134,336 | 31,6715 | -29,5959 |
| 7-9 | 157,7779 | 123,5956 | -216,205 | 228,14 | 67,5279 | 63,4808 | -112,923 | 117,159 | 27,5628 | -26,6244 |
| 10 | 397,505151 | 201,654749 | -934,291 | 910,232 | 96,308812 | 192,100088 | -504,551 | 480,491 | 19,3092 | -19,0332 |

**Tabel 5.17 *Output* Gaya Dalam Terbesar Balok BY Exterior 7 meter Setelah Redistribusi Momen**

| Lantai | Tumpuan | | | | Lapangan | | | | $Tu^+$ (kNm) | $Tu^-$ (kNm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $Mu^-$ (kNm) | $Mu^+$ (kNm) | $Vu^-$ (kN) | $Vu^+$ (kN) | $Mu^-$ (kNm) | $Mu^+$ (kNm) | $Vu^-$ (kN) | $Vu^+$ (kN) | | |
| 1-3 | 340,344576 | 171,028224 | -395,046 | 177,017 | 92,2139 | 161,4232 | -271,508 | 145,766 | 87,164 | -86,9174 |
| 4-6 | 326,92065 | 164,14295 | -383,149 | 186,675 | 92,9801 | 156,1451 | -262,182 | 136,063 | 83,7776 | -85,8951 |
| 7-9 | 274,295048 | 140,334052 | -326,973 | 186,199 | 64,440328 | 126,576672 | -218,743 | 100,173 | 78,2581 | -77,969 |
| 10 | 134,315192 | 68,054708 | -142,724 | 140,27 | 50,8235 | 47,6381 | -71,419 | 73,036 | 52,8481 | -52,6453 |

**Tabel 5.18 *Output* Gaya Dalam Terbesar Balok BY Exterior 2 meter Setelah Redistribusi Momen**

| Lantai | Tumpuan | | | | Lapangan | | | | $Tu^+$ (kNm) | $Tu^-$ (kNm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $Mu^-$ (kNm) | $Mu^+$ (kNm) | $Vu^-$ (kN) | $Vu^+$ (kN) | $Mu^-$ (kNm) | $Mu^+$ (kNm) | $Vu^-$ (kN) | $Vu^+$ (kN) | | |
| 1-3 | 123,8626 | 110,6383 | -198,623 | 203,64 | 84,3225 | 72,3332 | -198,623 | 202,8 | 5,0923 | -5,1078 |
| 4-6 | 128,0802 | 114,7254 | -183,635 | 210,569 | 72,5703 | 63,8891 | -183,635 | 205,078 | 5,1626 | -5,1458 |
| 7-9 | 121,3817 | 113,2031 | -133,939 | 203,722 | 51,5884 | 42,3274 | -133,939 | 198,232 | 4,794 | -4,6465 |
| 10 | 120,16759 | 60,10261 | -251,824 | 472,528 | 31,674252 | 62,062548 | -75,806 | 265,167 | 8,3838 | -4,7376 |

**Tabel 5.19 *Output* Gaya Dalam Terbesar Balok BX Interior 7 meter Setelah Redistribusi Momen**

| Lantai | Tumpuan | | | | Lapangan | | | | $Tu^+$ (kNm) | $Tu^-$ (kNm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $Mu^-$ (kNm) | $Mu^+$ (kNm) | $Vu^-$ (kN) | $Vu^+$ (kN) | $Mu^-$ (kNm) | $Mu^+$ (kNm) | $Vu^-$ (kN) | $Vu^+$ (kN) | | |
| 1-3 | 168,365379 | 85,012921 | -382,775 | 353,392 | 42,7325 | 43,4142 | -54,872 | 51,693 | 14,8355 | -14,8571 |
| 4-6 | 164,894821 | 83,313779 | -375,645 | 345,297 | 42,735 | 41,6931 | -54,042 | 50,436 | 14,6773 | -14,6902 |
| 7-9 | 138,704013 | 70,408487 | -335,334 | 299,944 | 37,9616 | 41,6488 | -49,278 | 45,308 | 13,4154 | -13,3074 |
| 10 | 95,3666 | 49,0435 | -226,462 | 209,655 | 25,3551 | 26,3118 | -34,795 | 33,729 | 8,6146 | -8,5526 |

**Tabel 5.20 *Output* Gaya Dalam Terbesar Balok BX Interior 4 meter Setelah Redistribusi Momen**

| Lantai | Tumpuan | | | | Lapangan | | | | $Tu^+$ (kNm) | $Tu^-$ (kNm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $Mu^-$ (kNm) | $Mu^+$ (kNm) | $Vu^-$ (kN) | $Vu^+$ (kN) | $Mu^-$ (kNm) | $Mu^+$ (kNm) | $Vu^-$ (kN) | $Vu^+$ (kN) | | |
| 1-3 | 207,4062 | 166,0913 | -432,795 | 461,538 | 83,573 | 79,8098 | -144,704 | 150,461 | 30,6828 | -34,5249 |
| 4-6 | 205,5132 | 159,8074 | -418,66 | 437,224 | 84,5478 | 80,8463 | -139,997 | 146,639 | 28,3162 | -34,3912 |
| 7-9 | 174,1204 | 141,6706 | -335,135 | 370,794 | 76,1318 | 72,6058 | -126,532 | 125,713 | 24,8833 | -30,7339 |
| 10 | 409,119894 | 205,189206 | -1016,446 | 963,338 | 98,13956 | 193,74684 | -495,165 | 470,112 | 62,3502 | -59,6628 |

**Tabel 5.21 *Output* Gaya Dalam Terbesar Balok BY Interior 7 meter Setelah Redistribusi Momen**

| Lantai | Tumpuan | | | | Lapangan | | | | $Tu^+$ (kNm) | $Tu^-$ (kNm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $Mu^-$ (kNm) | $Mu^+$ (kNm) | $Vu^-$ (kN) | $Vu^+$ (kN) | $Mu^-$ (kNm) | $Mu^+$ (kNm) | $Vu^-$ (kN) | $Vu^+$ (kN) | | |
| 1-3 | 288,950778 | 146,031722 | -458,726 | 567,046 | 42,39 | 71,3115 | -199,999 | 131,077 | 66,8594 | -65,382 |
| 4-6 | 277,330372 | 142,531928 | -441,982 | 356,067 | 58,9131 | 110,9701 | -191,183 | 130,502 | 65,1453 | -63,1974 |
| 7-9 | 233,229108 | 119,945392 | -360,275 | 351,946 | 81,0205 | 133,9547 | -149,909 | 130,136 | 53,417 | -51,3069 |
| 10 | 154,628876 | 79,310724 | -236,414 | 257,79 | 83,8089 | 137,0951 | -85,321 | 93,265 | 34,4001 | -30,4112 |

**Tabel 5.22 *Output* Gaya Dalam Terbesar Balok BY Interior 2 meter Setelah Redistribusi Momen**

| Lantai | Tumpuan | | | | Lapangan | | | | $Tu^+$ (kNm) | $Tu^-$ (kNm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $Mu^-$ (kNm) | $Mu^+$ (kNm) | $Vu^-$ (kN) | $Vu^+$ (kN) | $Mu^-$ (kNm) | $Mu^+$ (kNm) | $Vu^-$ (kN) | $Vu^+$ (kN) | | |
| 1-3 | 422,2878 | 422,3342 | -890,374 | 900,184 | 336,855 | 333,3258 | -890,374 | 900,184 | 10,4307 | -11,0934 |
| 4-6 | 458,909 | 459,2834 | -971,055 | 975,548 | 365,1032 | 362,8841 | -971,055 | 975,548 | 10,2821 | -10,9141 |
| 7-9 | 396,7583 | 397,2681 | -847,739 | 843,944 | 315,9278 | 313,7123 | -847,739 | 843,944 | 9,1597 | -8,994 |
| 10 | 230,823 | 232,4931 | -761,679 | 678,558 | 185,1662 | 182,5229 | -570,543 | 495,577 | 7,5217 | -12,3463 |

## 5.8 Perencanaan Penulangan Balok Berdasarkan SNI 03-2847-2002

Struktur balok beton berfungsi sebagai penyalur beban dari pelat ke kolom. Struktur balok beton memerlukan tulangan dalam menahan beban yang diampunya. Tulangan yang digunakan pada balok terdiri dari tulangan yang menahan momen ultimit dan tulangan yang menahan gaya geser. Kebutuhan tulangan dihitung berdasarkan momen ultimit dan gaya geser yang terjadi pada balok. Kebutuhan tulangan ini perlu diperhitungkan sehingga didapatkan jumlah tulangan yang efektif dan efisien. Struktur balok beton dalam perhitungan kebutuhan tulangan lentur dibedakan menjadi dua macam daerah balok yaitu daerah tumpuan dan daerah lapangan. Daerah tumpuan balok lebih dominan digunakan untuk menahan momen negatif sedangkan daerah lapangan balok lebih dominan digunakan untuk menahan momen positif. Struktur balok beton dapat didesain dengan tulangan tunggal dan tulangan rangkap. Balok yang menahan beban gempa didesain menggunakan tulangan rangkap. Tulangan rangkap terdiri dari tulangan tunggal ditambah tulangan kembar. Tulangan tunggal dan tulangan rangkap dianalisis kebutuhan luas tulangannya sesuai dengan ketentuan SNI 03-2847-2002.

### 5.8.1 Desain Lentur Balok Berdasarkan SNI 03-2847-2002

Perancangan penulangan balok terdiri dari tulangan lentur, tulangan geser, dan tulangan torsi balok yang dirancang sesuai dengan masing-masing tipe balok yang ada. Penulangan balok dirancang berdasarkan momen dan gaya geser terbesar dari hasil analisis struktur menggunakan program *SAP2000* v.21.1 pada sub bab 5.7. Pada contoh perhitungan ini diambil balok B1X yang merupakan salah satu balok BX interior 7 m pada lantai 1-3.

1. Daerah Tumpuan

   Diketahui:

   Kodefikasi Balok = B1X

   Panjang Balok (Lb) = 7000 mm

   $f'_c$ (kuat tekan beton) = 35 MPa

   $f_y$ (kuat tarik tulangan baja) = 400 MPa

   $\beta_1$ $= 0{,}85 - \left[\left(\frac{f'_c - 30}{7}\right) x\ 0{,}05\right]$

= 0,814285714

$E_s$ (modulus elastisitas baja) = 200000 MPa

$\varepsilon_y$ (regangan tarik baja) = $\frac{f_y}{E_s}$ = 0,002

$\varepsilon_{cu}$ (regangan tekan beton) = 0,003

$Mu^-$ (momen ultimit negatif) = 168,365379 kNm

$Mu^+$ (momen ultimit positif) = 85,012921 kNm

$\phi_p$ (diameter tul. pokok) = 16 mm

$\phi_s$ (diameter tul. sengkang) = 10 mm

Dimensi Balok (b x h) = 300 mm x 500 mm

$P_b$ (selimut beton) = 40 mm

$d_s = P_b + \phi_s + \frac{\phi_p}{2}$ = 58 mm

$d' = P_b + \phi_s + \phi_p + \frac{25}{2}$ = 78,5 mm

Persyaratan dimensi berdasarkan SNI 03-2847-2002

| | | | |
|---|---|---|---|
| h | ≥ | $\frac{Lb}{21}$ | |
| 500 mm | ≥ | $\frac{7000}{21}$ | |
| 500 mm | ≥ | 333,333 mm | (OK!) |
| b | ≥ | 250 mm | |
| 300 mm | ≥ | 250 mm | (OK!) |
| b/h | ≥ | 0,3 | |
| 300/500 | ≥ | 0,3 | |
| 0,6 | ≥ | 0,3 | (OK!) |
| Lb/h | ≥ | 4 | |
| 7000/500 | ≥ | 4 | |
| 7000/500 | ≥ | 4 | |
| 14 | ≥ | 4 | (OK!) |

Perhitungan awal

$m = \frac{f_y}{0{,}85\ x\ f'_c}$ = 13,44537815

$\rho_b = \frac{\beta}{m}\left(\frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_{cu}+\varepsilon_y}\right)$ = 0,0363375

$R_b = \rho_b \, . \, f_y \left[1 - \frac{1}{2} \, (\rho_b \; x \; m)\right]$ = 10,98430714 MPa

$\rho_m$ = 0,75 . $\rho_b$ = 0,027253125

$R_m = \rho_m \, . \, f_y \left[1 - \frac{1}{2} \, (\rho_m \; x \; m)\right]$ = 8,903985268 MPa

Tinggi efektif balok

$h^-$ = h – $d'$ = 421,5 mm

$h^+$ = h – $d_s$ = 442 mm

Bagian tulangan sebelah

$R_1$ = 0,25.$R_b$ (asumsi) = 2,746076786 MPa

$M_1 = R_1$ x b x $(h^-)^2$ = 146362254,1 MPa

Menghitung nilai tinggi beton tekan ($a$) menggunakan persamaan:

$M_1 = C_c \left(h^- - \frac{a}{2}\right)$

$M_1 = 0{,}85 . f'_c \, . \, a \, . \, b \, . \left(h^- - \frac{a}{2}\right)$

$146362254{,}1 = 8925 \, . \, a \, . \, 421{,}5 - \left(\frac{a}{2}\right)$

Diperoleh persamaan kuadrat sebagai berikut

$8925a^2 - 7523775a + 292724508{,}3 = 0$

Nilai $a$ dapat diperoleh menggunakan rumus abc

$a_1$ = 802,110018 mm

$a_2$ = 40,88998204 mm

$a_{pakai}$ = 40,88998204 mm

$c = \frac{a}{\beta}$ = 50,21576742 mm

asumsi tul. tarik sudah leleh

$\varepsilon_s = \varepsilon_t = \frac{h^- - c}{c} \; x \; \varepsilon_{cu}$ = 0,022181334 > $\varepsilon_y$ (pernyataan benar, tul.tarik sudah leleh)

Luas tulangan komponen tulangan sebelah

$C_c = T_s$ = 0,85 . $f'_c$ . $a$ . $b$ = 364943,0897 kN

$A_s = \frac{T_s}{f_y}$ = 912,3577243 $mm^2$

$n_{1\ perlu} = \frac{A_s}{\frac{1}{4}.\pi.{\phi_p}^2}$ = 4,537695053 buah

$n_{1\ pakai}$ = 5 buah

Cek JBD = $\frac{b-2Pb-2\phi_s-(\phi_p.n_{pakai})}{n_{pakai}-1}$ = 30 mm > 25 mm (AMAN!)

Momen yang dapat dikerahkan tulangan sebelah

$A_{s\ pakai} = n_{pakai}$ x $\frac{1}{4}.\pi.\phi_p{}^2$ = 1005,309649 mm$^2$

$a = \frac{A_{s\ pakai}\cdot f_y}{0{,}85\ .\ f'_c\ .\ b}$ = 45,05589464 mm

$c = \frac{a}{\beta_1}$ = 55,33180043 mm

$M_1 = C_c\left(h^- - \frac{a}{2}\right)$

$M_1 = 0{,}85.f'_c\ .\ a\ .\ b\ .\left(h^- - \frac{a}{2}\right)$ = 160436181,7 Nmm ≈ 160,4361817 kNm

Komponen tulangan kembar

$\phi$ = 0,8

$M_n = \frac{M_u{}^-}{\phi}$ = 210,4567238 kNm

$M_2 = M_n - M_1$ = 50,02054203 kNm ≈ 50020542,03 Nmm

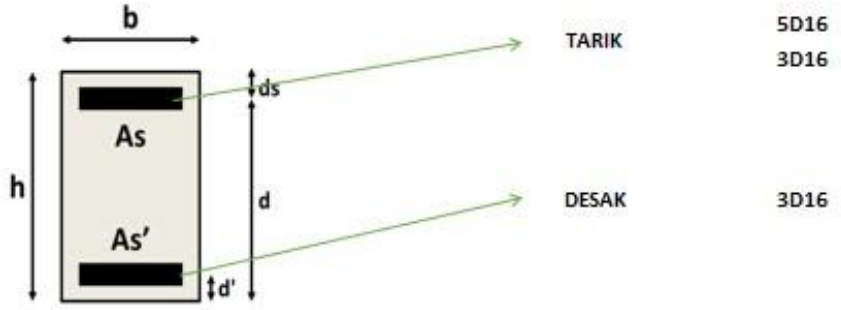
$A_s{}' = \frac{M_2}{f_y(h^- - d_s)}$ = 344,020234 mm$^2$

$n_{2\ perlu} = \frac{A_s{}'}{\frac{1}{4}.\pi.\phi_p{}^2}$ = 1,711016274 buah

$n_{2\ pakai}$ = 3 buah

Cek JBD = $\frac{b-2Pb-2\phi_s-(\phi_p.n_{pakai})}{n_{pakai}-1}$ = 76 mm > 25 mm (AMAN!)

| DAERAH TUMPUAN MENGGUNAKAN TULANGAN | DESAK TARIK | 3D16 8D16 |
|---|---|---|




**Gambar 5.21 Konfigurasi Tulangan Daerah Tumpuan BX Interior 7 m Lantai 2 Berdasarkan SNI 03-2847-2002**

Cek Momen Nominal Negatif ($M_n^-$)

asumsi tulangan tekan belum leleh

$A_s' = n_2 . \left(\frac{1}{4} . \pi . \phi_p{}^2\right)$ = 603,1857895 mm$^2$

$A_s = (n_1+n_2) . \left(\frac{1}{4} . \pi . \phi_p{}^2\right)$ = 1608,495439 mm$^2$

Persamaan *a*

$0{,}85 . f'_c . b\ (a^2) + [(A_s' . \varepsilon_{cu} . E_s) - (A_s . f_y)]\ (a) - A_s' . d' . E_s . \varepsilon_{cu} . \beta = 0$

$8925\ (a^2) - 281486{,}7018\ (a) - 17092561{,}89 = 0$

maka didapatkan nilai *a* menggunakan rumus abc

$a$ = 62,28635693 mm

$c = \frac{a}{\beta_1}$ = 76,49201728 mm

$\varepsilon_s' = \varepsilon_{cu} . \frac{c-d_s}{c}$ = 0,000725253 < $\varepsilon_y$ (Pernyataan benar, tul. tekan belum leleh)

$f_s = \varepsilon_s' . E_s$ = 145,0505655 MPa

Momen yang dapat dikerahkan dengan mengambil momen terhadap baja tarik

$M_1 = C_c \left(h^- - \frac{a}{2}\right)$

$M_1 = 0{,}85 . f'_c . a . b . \left(h^- - \frac{a}{2}\right)$ = 217001596 Nmm

$M_2 = A_s' . f_s\ (h^- - d_s)$ = 31803501,9 Nmm

$M_n^- = M_1 + M_2$ = 248805097,9 Nmm

$M_t = \phi\ M_n^-$ = 199044078,3 Nmm ≈ 199,0440783 kNm

Cek $\phi\ M_n^- > M_u^-$

199,0440783 kNm > 168,365379 kNm (OK!)

Cek Momen Nominal Positif ($M_n^+$)

asumsi tulangan tekan belum leleh

$A_s' = n_2 . \left(\frac{1}{4} . \pi . \phi_p{}^2\right)$ = 603,1857895 mm$^2$

$A_s = (n_1+n_2) . \left(\frac{1}{4} . \pi . \phi_p{}^2\right)$ = 1608,495439 mm$^2$

Persamaan *a*

$0{,}85 . f'_c . b\ (a^2) + [(A_s . \varepsilon_{cu} . E_s) - (A_s' . f_y)]\ (a) - A_s . d' . E_s . \varepsilon_{cu} . \beta = 0$

$8925\ (a^2) + 723822{,}9474\ (a) - 61690395{,}77 = 0$

maka didapatkan nilai *a* menggunakan rumus abc

$a$ = 51,95059434 mm

$c = \frac{a}{\beta_1}$ = 63,79897551 mm

$\varepsilon_s' = \varepsilon_{cu} \cdot \frac{c-d'}{c}$ = -0,000691282 < $\varepsilon_y$ (Pernyataan benar, tul. tekan belum leleh)

$f_s = \varepsilon_s' \cdot E_s$ = -138,2563689 MPa

Momen yang dapat dikerahkan dengan mengambil momen terhadap baja tarik

$M_1 = C_c \left(h^+ - \frac{a}{2}\right)$

$M_1 = 0{,}85 . f'_c . a . b . \left(h^+ - \frac{a}{2}\right)$ = 192893620,4 Nmm

$M_2 = A_s . f_s (h^+ - d')$ = -80836852,53 Nmm

$M_n^+ = M_1 + M_2$ = 112056767,8 Nmm

$M_t = \phi M_n^+$ = 89645414,28 Nmm ≈ 89,64541428 kNm

Cek $\phi M_n^+ > M_u^+$

89,64541428 kNm > 85,012921 kNm (OK!)

Momen Kapasitas Negatif ($M_{kap}^-$)

asumsi tulangan tekan belum leleh

$A_s' = n_2 . \left(\frac{1}{4} . \pi . \phi_p^{\,2}\right)$ = 603,1857895 mm$^2$

$A_s = (n_1+n_2) . \left(\frac{1}{4} . \pi . \phi_p^{\,2}\right)$ = 1608,495439 mm$^2$

Persamaan *a*

$0{,}85 . f'_c . b (a^2) + [(A_s' . \varepsilon_{cu} . E_s) - (A_s . f_y . \phi_o)] (a) - A_s' . d' . E_s . \varepsilon_{cu} . \beta = 0$

$8925 (a^2) - 442336{,}2456 (a) - 17092561{,}89 = 0$

maka didapatkan nilai *a* menggunakan rumus abc

$a$ = 75,07207491 mm

$c = \frac{a}{\beta_1}$ = 92,19377621 mm

$\varepsilon_s' = \varepsilon_{cu} . \frac{c-d_s}{c}$ = 0,001112671 < $\varepsilon_y$ (Pernyataan benar, tul. tekan belum leleh)

$f_s = \varepsilon_s' . E_s$ = 222,5341728 MPa

Momen yang dapat dikerahkan dengan mengambil momen terhadap baja tarik

$M_1 = C_c \left(h^- - \frac{a}{2}\right)$

$M_1 = 0{,}85 . f'_c . a . b . \left(h^- - \frac{a}{2}\right)$ = 257262869,4 Nmm

$M_2 = A_s' . f_s (h^- - d_s)$ = 48792405,33 Nmm

$M_{kap}^- = M_1 + M_2$ = 306055274,7 Nmm ≈ 306,0552747 kNm

Momen Kapasitas Positif ($M_{kap}^+$)

asumsi tulangan tekan belum leleh

$A_s' = n_2 . \left(\frac{1}{4} . \pi . \phi_p^{\,2}\right)$ = 603,1857895 mm$^2$

$A_s = (n_1+n_2) . \left(\frac{1}{4} . \pi . \phi_p^{\,2}\right)$ = 1608,495439 mm$^2$

Persamaan *a*

$0{,}85 . f'_c . b (a^2) + [(A_s . \varepsilon_{cu} . E_s) – (A_s' . f_y . \phi_o)] (a) – A_s . d' . E_s . \varepsilon_{cu} . \beta = 0$

$8925 (a^2) + 663504{,}3684 (a) – 61690395{,}77 = 0$

maka didapatkan nilai *a* menggunakan rumus abc

*a* = 53,89908408 mm

$c = \frac{a}{\beta_1}$ = 66,19185764 mm

$\varepsilon_s' = \varepsilon_{cu} . \frac{c-d'}{c}$ = -0,000557839 < $\varepsilon_y$ (Pernyataan benar, tul. tekan belum leleh)

$f_s = \varepsilon_s' . E_s$ = -111,5678828 MPa

Momen yang dapat dikerahkan dengan mengambil momen terhadap baja tarik

$M_1 = C_c \left(h^+ - \frac{a}{2}\right)$

$M_1 = 0{,}85 . f'_c . a . b . \left(h^+ - \frac{a}{2}\right)$ = 199659742,8 Nmm

$M_2 = A_s . f_s (h^+ - d')$ = -65232412,54 Nmm

$M_{kap}^+ = M_1 + M_2$ = 134427330,3 Nmm ≈ 134,4273303 kNm

2. Daerah Lapangan

| | |
|---|---|
| Kodefikasi Balok | = B1X |
| $f'_c$ (kuat tekan beton) | = 35 MPa |
| $f_y$ (kuat tarik tulangan baja) | = 400 MPa |
| $\beta_1$ | $= 0{,}85 - \left[\left(\frac{f'_c - 30}{7}\right) x\ 0{,}05\right]$ |
| | = 0,814285714 |

$E_s$ (modulus elastisitas baja) = 200000 MPa

$\varepsilon_y$ (regangan tarik baja) = $\frac{f_y}{E_s}$ = 0,002

$\varepsilon_{cu}$ (regangan tekan beton) = 0,003

$Mu^-$ (momen ultimit negatif) = 42,7325 kNm

$Mu^+$ (momen ultimit positif) = 43,4142 kNm

$\phi_p$ (diameter tul. pokok) = 16 mm

$\phi_s$ (diameter tul. sengkang) = 10 mm

Dimensi Balok (b x h) = 300 mm x 500 mm

$P_b$ (selimut beton) = 40 mm

$d_s = P_b + \phi_s + \frac{\phi_p}{2}$ = 58 mm

$d' = P_b + \phi_s + \phi_p + \frac{25}{2}$ = 78,5 mm

Perhitungan awal

$m = \frac{f_y}{0{,}85\ x\ f'_c}$ = 13,44537815

$\rho_b = \frac{\beta}{m}\left(\frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_{cu}+\varepsilon_y}\right)$ = 0,0363375

$R_b = \rho_b . f_y\left[1 - \frac{1}{2}\ (\rho_b\ x\ m)\right]$ = 10,98430714 MPa

$\rho_m$ = 0,75 . $\rho_b$ = 0,027253125

$R_m = \rho_m . f_y\left[1 - \frac{1}{2}\ (\rho_m\ x\ m)\right]$ = 8,903985268 MPa

Tinggi efektif balok

$h^-$ = h – $d'$ = 421,5 mm

$h^+$ = h – $d_s$ = 442 mm

Bagian tulangan sebelah

$R_1$ = 0,25.$R_b$ (asumsi) = 2,746076786 MPa

$M_1$ = $R_1$ x b x $(h^-)^2$ = 146362254,1 MPa

Menghitung nilai tinggi beton tekan ($a$) menggunakan persamaan:

$M_1 = C_c\left(h^- - \frac{a}{2}\right)$

$M_1 = 0{,}85 . f'_c . a . b . \left(h^- - \frac{a}{2}\right)$

$146362254{,}1 = 8925 . a . 421{,}5\ -\left(\frac{a}{2}\right)$

Diperoleh persamaan kuadrat sebagai berikut

$8925a^2 - 7523775a + 292724508{,}3 = 0$

Nilai $a$ dapat diperoleh menggunakan rumus abc

$a_1$ = 802,110018 mm

$a_2$ = 40,88998204 mm

$a_{pakai}$ = 40,88998204 mm

$c = \frac{a}{\beta}$ = 50,21576742 mm

asumsi tul. tarik sudah leleh

$\varepsilon_s = \varepsilon_t = \frac{h^- - c}{c} \; x \; \varepsilon_{cu}$ = 0,022181334 > $\varepsilon_y$ (pernyataan benar, tul.tarik sudah leleh)

Luas tulangan komponen tulangan sebelah

$C_c = T_s = 0{,}85 \; . \; f'_c \; . \; a \; . \; b$ = 364943,0897 kN

$A_s = \frac{T_s}{f_y}$ = 912,3577243 mm$^2$

$n_{1\ perlu} = \frac{A_s}{\frac{1}{4}.\pi.\phi_p{}^2}$ = 4,537695053 buah

$n_{1\ pakai}$ = 5 buah

Cek JBD = $\frac{b - 2Pb - 2\phi_s - (\phi_p . n_{pakai})}{n_{pakai} - 1}$ = 30 mm > 25 mm (AMAN!)

Momen yang dapat dikerahkan tulangan sebelah

$A_{s\ pakai} = n_{pakai}$ x $\frac{1}{4}.\pi.\phi_p{}^2$ = 1005,309649 mm$^2$

$a = \frac{A_{s\ pakai} \cdot f_y}{0{,}85 \; . \; f'_c \; . \; b}$ = 45,05589464 mm

$c = \frac{a}{\beta_1}$ = 55,33180043 mm

$M_1 = C_c \left( h^- - \frac{a}{2} \right)$

$M_1 = 0{,}85 . f'_c \; . \; a \; . \; b \; . \left( h^- - \frac{a}{2} \right)$ = 160436181,7 Nmm ≈ 160,4361817 kNm

Komponen tulangan kembar

$\phi$ = 0,8

$M_n = \frac{M_u{}^+}{\phi}$ = 54,26775 kNm

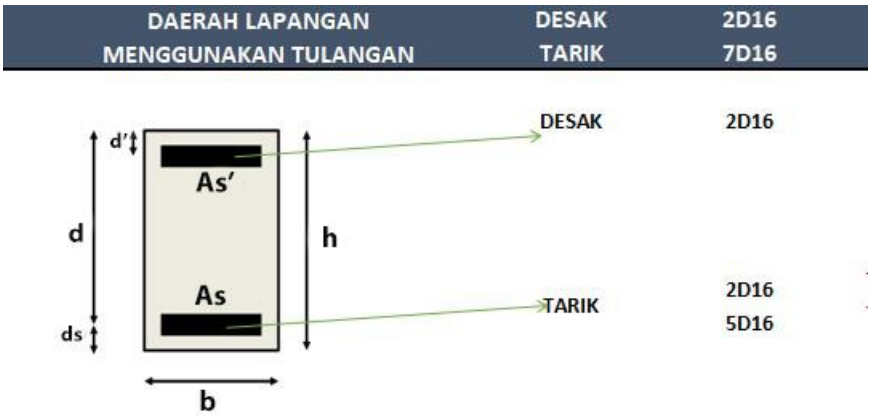
$M_2 = M_n - M_1$ = -106,1684317 kNm ≈ -106168431,7 Nmm

$A_s{}' = \frac{M_2}{f_y(h^- - d_s)}$ = -730,1817862 mm$^2$

$n_{2\ perlu} = \frac{A_s'}{\frac{1}{4}.\pi.\phi_p^{\ 2}}$ = -3,63162627 buah

$n_{2\ pakai}$ = 2 buah

Cek JBD = $\frac{b-2Pb-2\phi_s-(\phi_p.n_{pakai})}{n_{pakai}-1}$ = 168 mm > 25 mm (AMAN!)




**Gambar 5.22 Konfigurasi Tulangan Daerah Lapangan BX Interior 7 m Lantai 2 Berdasarkan SNI 03-2847-2002**

Cek Momen Nominal Positif ($M_n^+$)

asumsi tulangan tekan belum leleh

$A_s' = n_2 . \left(\frac{1}{4}.\pi.\phi_p^{\ 2}\right)$ = 402,1238597 mm$^2$

$A_s = (n_1+n_2) . \left(\frac{1}{4}.\pi.\phi_p^{\ 2}\right)$ = 1407,433509 mm$^2$

Persamaan *a*

$0{,}85 . f'_c . b\ (a^2) + [(A_s'. \varepsilon_{cu} . E_s) – (A_s . f_y)]\ (a) – A_s'. d'. E_s. \varepsilon_{cu} . \beta = 0$

$8925\ (a^2) – 321699{,}0877\ (a) – 11395041{,}26 = 0$

maka didapatkan nilai *a* menggunakan rumus abc

*a* = 58,04186192 mm

$c = \frac{a}{\beta_1}$ = 71,27947955 mm

$\varepsilon_s' = \varepsilon_{cu} . \frac{c-d_s}{c}$ = 0,000558905 < $\varepsilon_y$ (Pernyataan benar, tul. tekan belum leleh)

$f_s = \varepsilon_s' . E_s$ = 111,7809471 MPa

Momen yang dapat dikerahkan dengan mengambil momen terhadap baja tarik

$M_1 = C_c \left(h^- - \frac{a}{2}\right)$

$M_1 = 0{,}85 . f'_c . a . b . \left(h^- - \frac{a}{2}\right) = 203313427{,}2$ Nmm

$M_2 = A_s' . f_s (h^- - d_s) = 16339247{,}17$ Nmm

$M_n^+ = M_1 + M_2 = 219652674{,}4$ Nmm

$M_t = \phi M_n^+ = 175722139{,}5$ Nmm ≈ 175,7221395 kNm

Cek $\phi M_n^+ > M_u^+$

175,7221395 kNm > 43,4142 kNm (OK!)

Cek Momen Nominal Negatif ($M_n^-$)

asumsi tulangan tekan belum leleh

$A_s' = n_2 . \left(\frac{1}{4} . \pi . \phi_p^{\,2}\right)$ = 402,1238597 mm$^2$

$A_s = (n_1 + n_2) . \left(\frac{1}{4} . \pi . \phi_p^{\,2}\right)$ = 1407,433509 mm$^2$

Persamaan $a$

$0{,}85 . f'_c . b (a^2) + [(A_s . \varepsilon_{cu} . E_s) - (A_s' . f_y)] (a) - A_s . d' . E_s . \varepsilon_{cu} . \beta = 0$

$8925 (a^2) + 683610{,}5614 (a) - 53979096{,}3 = 0$

maka didapatkan nilai $a$ menggunakan rumus abc

$a = 48{,}39030487$ mm

$c = \frac{a}{\beta_1} = 59{,}42669019$ mm

$\varepsilon_s' = \varepsilon_{cu} . \frac{c - d'}{c} = -0{,}000962866 < \varepsilon_y$ (Pernyataan benar, tul. tekan belum leleh)

$f_s = \varepsilon_s' . E_s = -192{,}5731662$ MPa

Momen yang dapat dikerahkan dengan mengambil momen terhadap baja tarik

$M_1 = C_c \left(h^+ - \frac{a}{2}\right)$

$M_1 = 0{,}85 . f'_c . a . b . \left(h^+ - \frac{a}{2}\right) = 180443007{,}7$ Nmm

$M_2 = A_s . f_s (h^+ - d') = -98520832{,}49$ Nmm

$M_n^- = M_1 + M_2 = 81922175{,}25$ Nmm

$M_t = \phi M_n^- = 65537740{,}2$ Nmm ≈ 65,5377402 kNm

Cek $\phi M_n^- > M_u^-$

65,5377402 kNm > 42,7325 kNm (OK!)

Momen Kapasitas Positif ($M_{kap}^{+}$)

asumsi tulangan tekan belum leleh

$A_s' = n_2 . \left(\frac{1}{4} . \pi . \phi_p^{\,2}\right)$ = 402,1238597 mm$^2$

$A_s = (n_1+n_2) . \left(\frac{1}{4} . \pi . \phi_p^{\,2}\right)$ = 1407,433509 mm$^2$

Persamaan *a*

$0{,}85 . f'_c . b\,(a^2) + [(A_s'. \varepsilon_{cu} . E_s) – (A_s . f_y . \phi_o)]\,(a) – A_s'. d'. E_s. \varepsilon_{cu} . \beta = 0$

$8925\,(a^2) – 462442{,}4386\,(a) – 11395041{,}26 = 0$

maka didapatkan nilai *a* menggunakan rumus abc

$a$ = 70,04255825 mm

$c = \frac{a}{\beta_1}$ = 86,0171768 mm

$\varepsilon_s' = \varepsilon_{cu} . \frac{c-d_s}{c}$ = 0,000977148 < $\varepsilon_y$ (Pernyataan benar, tul. tekan belum leleh)

$f_s = \varepsilon_s' . E_s$ = 195,4296422 MPa

Momen yang dapat dikerahkan dengan mengambil momen terhadap baja tarik

$M_1 = C_c \left(h^- - \frac{a}{2}\right)$

$M_1 = 0{,}85. f'_c . a . b . \left(h^- - \frac{a}{2}\right)$ = 241599378 Nmm

$M_2 = A_s' . f_s\,(h^- - d_s)$ = 28566346,14 Nmm

$M_{kap}^{+} = M_1 + M_2$ = 270165724,2 Nmm ≈ 270,1657242 kNm

Momen Kapasitas Negatif ($M_{kap}^{-}$)

asumsi tulangan tekan belum leleh

$A_s' = n_2 . \left(\frac{1}{4} . \pi . \phi_p^{\,2}\right)$ = 402,1238597 mm$^2$

$A_s = (n_1+n_2) . \left(\frac{1}{4} . \pi . \phi_p^{\,2}\right)$ = 1407,433509 mm$^2$

Persamaan *a*

$0{,}85 . f'_c . b\,(a^2) + [(A_s . \varepsilon_{cu} . E_s) – (A_s' . f_y . \phi_o)]\,(a) – A_s . d'. E_s. \varepsilon_{cu} . \beta = 0$

$8925\,(a^2) + 643398{,}1755\,(a) – 53979096{,}3 = 0$

maka didapatkan nilai *a* menggunakan rumus abc

$a$ = 49,67167448 mm

$c = \frac{a}{\beta_1}$ = 61,00030199 mm

$\varepsilon_s' = \varepsilon_{cu} \cdot \frac{c-d'}{c}$ = -0,000860637 < $\varepsilon_y$ (Pernyataan benar, tul. tekan belum leleh)

$f_s = \varepsilon_s' \cdot E_s$ = -172,1273249 MPa

Momen yang dapat dikerahkan dengan mengambil momen terhadap baja tarik

$M_1 = C_c \left(h^+ - \frac{a}{2}\right)$

$M_1 = 0{,}85 . f'_c . a . b . \left(h^+ - \frac{a}{2}\right)$ = 184937089,3 Nmm

$M_2 = A_s . f_s (h^+ - d')$ = -88060697,55 Nmm

$M_{kap}^- = M_1 + M_2$ = 96876391,75 Nmm ≈ 96,87639175 kNm

Rekapitulasi hasil desain tulangan lentur untuk semua balok berdasarkan SNI 03-2847-2002 dapat dilihat pada Tabel 5.23, Tabel 5.24, Tabel 5.25, Tabel 5.26, Tabel 5.27, Tabel 5.28, Tabel 5.29, dan Tabel 5.30 berikut.

**Tabel 5.23 Hasil Perencanaan Tulangan Lentur Balok BX Exterior 7 meter Berdasarkan SNI 03-2847-2002**

| Lantai | Tumpuan | | | | | | Lapangan | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $M_n^-$ (kNm) | $M_n^+$ (kNm) | $M_{kap}^-$ (kNm) | $M_{kap}^+$ (kNm) | Tul. Lentur Atas | Tul. Lentur Bawah | $M_n^-$ (kNm) | $M_n^+$ (kNm) | $M_{kap}^-$ (kNm) | $M_{kap}^+$ (kNm) | Tul. Lentur Atas | Tul. Lentur Bawah |
| 1-3 | 199,0440783 | 89,64541428 | 306,0552747 | 134,4273303 | 8D16 | 3D16 | 65,5377402 | 175,7221395 | 96,87639175 | 270,1657242 | 2D16 | 7D16 |
| 4-6 | 199,0440783 | 89,64541428 | 306,0552747 | 134,4273303 | 8D16 | 3D16 | 65,5377402 | 175,7221395 | 96,87639175 | 270,1657242 | 2D16 | 7D16 |
| 7-9 | 175,7221395 | 65,5377402 | 270,1657242 | 96,87639175 | 7D16 | 2D16 | 65,5377402 | 175,7221395 | 96,87639175 | 270,1657242 | 2D16 | 7D16 |
| 10 | 176,7017964 | 65,17929287 | 271,7920756 | 96,57399451 | 7D16 | 2D16 | 65,17929287 | 176,7017964 | 96,57399451 | 271,7920756 | 2D16 | 7D16 |

**Tabel 5.24 Hasil Perencanaan Tulangan Lentur Balok BX Exterior 4 meter Berdasarkan SNI 03-2847-2002**

| Lantai | Tumpuan | | | | | | Lapangan | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $M_n^-$ (kNm) | $M_n^+$ (kNm) | $M_{kap}^-$ (kNm) | $M_{kap}^+$ (kNm) | Tul. Lentur Atas | Tul. Lentur Bawah | $M_n^-$ (kNm) | $M_n^+$ (kNm) | $M_{kap}^-$ (kNm) | $M_{kap}^+$ (kNm) | Tul. Lentur Atas | Tul. Lentur Bawah |
| 1-3 | 272,3773058 | 152,6256661 | 418,4352499 | 232,0743112 | 8D19 | 4D19 | 86,02539713 | 207,9150668 | 128,3208954 | 319,2449513 | 2D19 | 6D19 |
| 4-6 | 272,3773058 | 152,6256661 | 418,4352499 | 232,0743112 | 8D19 | 4D19 | 86,02539713 | 207,9150668 | 128,3208954 | 319,2449513 | 2D19 | 6D19 |
| 7-9 | 245,462687 | 137,4715538 | 377,5740658 | 208,9309524 | 10D16 | 5D16 | 89,64541428 | 199,0440783 | 134,4273303 | 306,0552747 | 3D16 | 8D16 |
| 10 | 441,6505294 | 301,2165283 | 676,6074262 | 460,1334965 | 8D25 | 5D25 | 139,0087002 | 284,6230527 | 207,7270304 | 435,6625484 | 2D25 | 5D25 |

**Tabel 5.25 Hasil Perencanaan Tulangan Lentur Balok BY Exterior 7 meter Berdasarkan SNI 03-2847-2002**

| Lantai | Tumpuan | | | | | | Lapangan | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $M_n^-$ (kNm) | $M_n^+$ (kNm) | $M_{kap}^-$ (kNm) | $M_{kap}^+$ (kNm) | Tul. Lentur Atas | Tul. Lentur Bawah | $M_n^-$ (kNm) | $M_n^+$ (kNm) | $M_{kap}^-$ (kNm) | $M_{kap}^+$ (kNm) | Tul. Lentur Atas | Tul. Lentur Bawah |
| 1-3 | 469,6114008 | 177,3092333 | 724,0105784 | 269,6965735 | 9D19 | 3D19 | 125,8181587 | 419,4273676 | 189,3631084 | 646,4802622 | 2D19 | 8D19 |
| 4-6 | 469,6114008 | 177,3092333 | 724,0105784 | 269,6965735 | 9D19 | 3D19 | 125,8181587 | 419,4273676 | 189,3631084 | 646,4802622 | 2D19 | 8D19 |
| 7-9 | 471,6906293 | 177,2465485 | 727,3509985 | 269,9335934 | 9D19 | 3D19 | 125,4345551 | 421,1554921 | 189,0925996 | 649,2545003 | 2D19 | 8D19 |
| 10 | 421,1554921 | 125,4345551 | 649,2545003 | 189,0925996 | 8D19 | 2D19 | 125,4345551 | 421,1554921 | 189,0925996 | 649,2545003 | 2D19 | 8D19 |

**Tabel 5.26 Hasil Perencanaan Tulangan Lentur Balok BY Exterior 2 meter Berdasarkan SNI 03-2847-2002**

| Lantai | Tumpuan | | | | | | Lapangan | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $M_n^-$ (kNm) | $M_n^+$ (kNm) | $M_{kap}^-$ (kNm) | $M_{kap}^+$ (kNm) | Tul. Lentur Atas | Tul. Lentur Bawah | $M_n^-$ (kNm) | $M_n^+$ (kNm) | $M_{kap}^-$ (kNm) | $M_{kap}^+$ (kNm) | Tul. Lentur Atas | Tul. Lentur Bawah |
| 1-3 | 419,4273676 | 125,8181587 | 646,4802622 | 189,3631084 | 8D19 | 2D19 | 125,8181587 | 419,4273676 | 189,3631084 | 646,4802622 | 2D19 | 8D19 |
| 4-6 | 419,4273676 | 125,8181587 | 646,4802622 | 189,3631084 | 8D19 | 2D19 | 125,8181587 | 419,4273676 | 189,3631084 | 646,4802622 | 2D19 | 8D19 |
| 7-9 | 419,4273676 | 125,8181587 | 646,4802622 | 189,3631084 | 8D19 | 2D19 | 125,8181587 | 419,4273676 | 189,3631084 | 646,4802622 | 2D19 | 8D19 |
| 10 | 419,4273676 | 125,8181587 | 646,4802622 | 189,3631084 | 8D19 | 2D19 | 125,8181587 | 419,4273676 | 189,3631084 | 646,4802622 | 2D19 | 8D19 |

**Tabel 5.27 Hasil Perencanaan Tulangan Lentur Balok BX Interior 7 meter Berdasarkan SNI 03-2847-2002**

| Lantai | Tumpuan | | | | | | Lapangan | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $M_n^-$ (kNm) | $M_n^+$ (kNm) | $M_{kap}^-$ (kNm) | $M_{kap}^+$ (kNm) | Tul. Lentur Atas | Tul. Lentur Bawah | $M_n^-$ (kNm) | $M_n^+$ (kNm) | $M_{kap}^-$ (kNm) | $M_{kap}^+$ (kNm) | Tul. Lentur Atas | Tul. Lentur Bawah |
| 1-3 | 199,0440783 | 89,64541428 | 306,0552747 | 134,4273303 | 8D16 | 3D16 | 65,5377402 | 175,7221395 | 96,87639175 | 270,1657242 | 2D16 | 7D16 |
| 4-6 | 207,9150668 | 86,02539713 | 319,2449513 | 128,3208954 | 6D19 | 2D19 | 86,02539713 | 207,9150668 | 128,3208954 | 319,2449513 | 2D19 | 6D19 |
| 7-9 | 207,9150668 | 86,02539713 | 319,2449513 | 128,3208954 | 6D19 | 2D19 | 86,02539713 | 207,9150668 | 128,3208954 | 319,2449513 | 2D19 | 6D19 |
| 10 | 176,7017964 | 65,17929287 | 271,7920756 | 96,57399451 | 7D16 | 2D16 | 65,17929287 | 176,7017964 | 96,57399451 | 271,7920756 | 2D16 | 7D16 |

**Tabel 5.28 Hasil Perencanaan Tulangan Lentur Balok BX Interior 4 meter Berdasarkan SNI 03-2847-2002**

| Lantai | Tumpuan | | | | | | Lapangan | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $M_n^-$ (kNm) | $M_n^+$ (kNm) | $M_{kap}^-$ (kNm) | $M_{kap}^+$ (kNm) | Tul. Lentur Atas | Tul. Lentur Bawah | $M_n^-$ (kNm) | $M_n^+$ (kNm) | $M_{kap}^-$ (kNm) | $M_{kap}^+$ (kNm) | Tul. Lentur Atas | Tul. Lentur Bawah |
| 1-3 | 302,2552038 | 184,9329852 | 464,2220648 | 282,0865962 | 9D19 | 5D19 | 86,26208269 | 206,6581595 | 128,4099353 | 317,1729084 | 2D19 | 6D19 |
| 4-6 | 302,2552038 | 184,9329852 | 464,2220648 | 282,0865962 | 9D19 | 5D19 | 86,26208269 | 206,6581595 | 128,4099353 | 317,1729084 | 2D19 | 6D19 |
| 7-9 | 270,4444022 | 152,2225903 | 415,2756315 | 231,1501754 | 8D19 | 4D19 | 86,26208269 | 206,6581595 | 128,4099353 | 317,1729084 | 2D19 | 6D19 |
| 10 | 441,6505294 | 301,2165283 | 676,6074262 | 460,1334965 | 8D25 | 5D25 | 139,0087002 | 284,6230527 | 207,7270304 | 435,6625484 | 2D25 | 5D25 |

**Tabel 5.29 Hasil Perencanaan Tulangan Lentur Balok BY Interior 7 meter Berdasarkan SNI 03-2847-2002**

| Lantai | Tumpuan | | | | | | Lapangan | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $M_n^-$ (kNm) | $M_n^+$ (kNm) | $M_{kap}^-$ (kNm) | $M_{kap}^+$ (kNm) | Tul. Lentur Atas | Tul. Lentur Bawah | $M_n^-$ (kNm) | $M_n^+$ (kNm) | $M_{kap}^-$ (kNm) | $M_{kap}^+$ (kNm) | Tul. Lentur Atas | Tul. Lentur Bawah |
| 1-3 | 467,5536926 | 177,3957339 | 720,6957338 | 269,4897764 | 9D19 | 3D19 | 126,2244167 | 417,715934 | 189,6622298 | 643,725194 | 2D19 | 8D19 |
| 4-6 | 469,6114008 | 177,3092333 | 724,0105784 | 269,6965735 | 9D19 | 3D19 | 125,8181587 | 419,4273676 | 189,3631084 | 646,4802622 | 2D19 | 8D19 |
| 7-9 | 421,1554921 | 125,4345551 | 649,2545003 | 189,0925996 | 8D19 | 2D19 | 125,4345551 | 421,1554921 | 189,0925996 | 649,2545003 | 2D19 | 8D19 |
| 10 | 421,1554921 | 125,4345551 | 649,2545003 | 189,0925996 | 8D19 | 2D19 | 125,4345551 | 421,1554921 | 189,0925996 | 649,2545003 | 2D19 | 8D19 |

**Tabel 5.30 Hasil Perencanaan Tulangan Lentur Balok BY Interior 2 meter Berdasarkan SNI 03-2847-2002**

| Lantai | Tumpuan | | | | | | Lapangan | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $M_n^-$ (kNm) | $M_n^+$ (kNm) | $M_{kap}^-$ (kNm) | $M_{kap}^+$ (kNm) | Tul. Lentur Atas | Tul. Lentur Bawah | $M_n^-$ (kNm) | $M_n^+$ (kNm) | $M_{kap}^-$ (kNm) | $M_{kap}^+$ (kNm) | Tul. Lentur Atas | Tul. Lentur Bawah |
| 1-3 | 774,8501956 | 458,2513641 | 1192,527593 | 705,5016516 | 9D25 | 5D25 | 373,1651731 | 691,3474346 | 572,8702013 | 1063,783318 | 4D25 | 8D25 |
| 4-6 | 806,8515385 | 493,869974 | 1242,965326 | 758,8253158 | 7D29 | 4D29 | 380,3642905 | 695,6674094 | 581,938104 | 1071,425052 | 3D29 | 6D29 |
| 7-9 | 774,8501956 | 458,2513641 | 1192,527593 | 705,5016516 | 9D25 | 5D25 | 377,7243615 | 695,6365213 | 578,7548095 | 1071,793907 | 4D25 | 8D25 |
| 10 | 615,5998155 | 297,4965733 | 947,9643718 | 456,2489796 | 9D22 | 4D22 | 233,4780725 | 553,0473156 | 355,352695 | 852,5989761 | 3D22 | 8D22 |

### 5.8.2 Desain Tulangan Geser Balok Berdasarkan SNI 03-2847-2002

Balok memerlukan tulangan sengkang dalam menahan gaya geser yang terjadi. Tulangan sengkang dipasang di setiap pias pada balok yang telah diperhitungkan jaraknya. Jarak tulangan sengkang tergantung dari besarnya gaya geser yang diampu oleh balok. Gaya geser dalam perhitungan jarak tulangan sengkang diambil dari nilai gaya geser akibat beban mati dan beban hidup serta nilai momen kapasitas balok sesuai dengan desain tulangan lentur pada balok. Contoh hitungan tulangan sengkang berupa perhitungan balok BX interior 7 m pada lantai 1-3.

Diketahui:

$M_{kap}^-$ (momen kapasitas negatif) = 306,0552747 kNm

$M_{kap}^+$ (momen kapasitas positif) = 134,4273303 kNm

$f'_c$ (kuat tekan beton) = 35 MPa

$f_{yt}$ (kuat tarik tulangan sengkang) = 380 MPa

$\phi_p$ (diameter tul. pokok) = 16 mm

$\phi_s$ (diameter tul. sengkang) = 10 mm

Dimensi Balok (b x h) = 300 mm x 500 mm

Dimensi Kolom (b x h) = 800 mm x 800 mm

$P_b$ (selimut beton) = 40 mm

ℓn (bentang bersih balok) $= 7\text{ m} - \left[\left(\frac{1}{2}x800\right) + \left(\frac{1}{2}x800\right)\right]$

= 6,2 m

Penyelesaian:

$\phi V_n \geq V_u$

$V_n = V_c + V_s$

Untuk menghitung beban terfaktor $W_u$ :

Beban mati (*DL*) terdiri dari:

pelat lantai = 0,2 m x 24 kN/m$^3$ = 4,8 kN/m$^2$

pasir = 0,05 m x 18 kN/m$^3$ = 0,9 kN/m$^2$

spesi = 0,02 m x 0,21 kN/m$^3$ = 0,0042 kN/m$^2$

keramik = 0,15 kN/m$^2$

plafon = 0,18 kN/m$^2$

M/E = 0,15 kN/m$^2$ +

Total = 6,1842 kN/m$^2$

q ekuivalen = 6,1842 kN/m$^2$ x 7 m = 43,2894 kN/m

berat balok = 0,3 m x 0,5 m x 24 kN/m$^3$ = 3,6 kN/m

$W_u$ beban mati ($DL$) = 46,8894 kN/m

Beban hidup ($LL$) = 4,79 kN/m$^2$

$W_u$ beban hidup ($LL$) = 4,79 kN/m$^2$ x 7 m = 33,53 kN/m

$W_u$ = 1,2$DL$ + 1,0$LL$

= 1,2 (46,8894) + 33,53

= 89,79728 kN/m

Dengan demikian kuat geser rencana, $V_e$ :

$$V_e = \frac{M_{kap}^{-} + M_{kap}^{+}}{\ell n} \pm \frac{W_u . \ell n}{2}$$

$$= \frac{306,0552747 + 134,4273303}{6,2} + \frac{89,79728 \,.\, 6,2}{2}$$

= 71,04558145 kN + 278,371568 kN

= 349,4171494 kN

Dapat diasumsikan $V_c$ = 0 apabila gaya geser yang ditimbulkan gempa ($M_{kap}$) > total gaya geser $V_e$ (akibat $M_{kap}$ + beban gravitasi)

$V$ akibat $M_{kap}$ = 71,04558145 kN < 0,5 x 349,4171494 kN

= 71,04558145 kN < 174,7085747 kN (TIDAK MEMENUHI)

Kuat geser yang disumbangkan beton, $V_c$ :

$$V_c = 0,17 \,.\, \lambda \sqrt{f'c} \,.\, b_w \,.\, d$$

$$= 0,17 \,.\, 1 \sqrt{35} \,.\, 300 \,.\, (500\text{-}40)$$

= 138791,2317 N ≈ 138,7912317 kN

Sengkang tertutup pertama harus ditempatkan tidak lebih dari 50 mm dari muka komponen struktur penumpu. Spasi sengkang tertutup tidak boleh melebihi yang terkecil dari:

1. d/4 = (500-40)/4 = 115 mm
2. 8 x diameter tul.longitudinal = 8 x 16 = 128 mm
3. 24 x diameter sengkang = 24 x 10 = 240 mm
4. 300 mm

Dicoba pakai tulangan geser 5 kaki, $\phi_s$ = 10 mm, dan jarak antar sengkang 100 mm.

$A_v$ = jumlah kaki x $\frac{1}{4}.\pi.\phi_s{}^2$

= 392,6990817 mm$^2$

$V_s$ = $\frac{A_v.f_{yt}.d}{s}$

= 686437,9948 N ≈ 686,4379948 kN

$\phi$ ($V_s$+ $V_c$) = 0,55 (686,4379948 + 138,7912317)

= 453,8760746 kN

$V_u$ = 382,775 kN (*output* SAP2000)

$\phi V_n \geq V_u$

453,8760746 kN > 382,775 kN (OK!)

Dipakai tulangan geser pada daerah tumpuan 5P10-100, sengkang pertama dipasang 50 mm dari muka kolom di kedua ujung balok.

Sengkang terpasang = $\frac{1750-50}{100} + 1$ = 18 buah di ujung kiri dan 18 buah di ujung kanan

Pada bagian tengah bentang :

$V_u$ = 54,872 kN (*output* SAP2000)

$V_n$ = $\frac{V_u}{\phi}$ = 99,76727273 kN

$V_s$ = $\frac{A_v.\ f_{yt}.\ d}{s}$

Bila dipasang tulangan geser 2 kaki, $\phi_s$ = 10 mm, maka

$A_v$ = jumlah kaki x $\frac{1}{4}.\pi.\phi_s{}^2$

= 157,0796327 mm$^2$

s = $\frac{A_v.\ f_{yt}.\ d}{V_s}$

= 275,2156999 mm

Spasi tulangan geser tidak boleh melebihi d/2

d/2 = (500-40)/2 = 230 mm

$s_{pakai}$ = 230 mm

Dipakai tulangan geser pada daerah lapangan 2P10-230. Jumlah tulangan geser yang terpasang adalah $\frac{6200-(1750x2)}{230} + 1$ = 12,73913043 ≈ 12 buah di tengah balok. Rekapitulasi hasil desain tulangan geser untuk semua balok berdasarkan SNI 03-2847-2002 dapat dilihat pada Tabel 5.31, Tabel 5.32, Tabel 5.33, Tabel 5.34, Tabel 5.35, Tabel 5.36, Tabel 5.37, dan Tabel 5.38 berikut.

**Tabel 5.31 Hasil Perencanaan Tulangan Geser Balok BX Exterior 7 meter Berdasarkan SNI 03-2847-2002**

| Lantai | $V_e$ *gempa* (kN) | $V_e$ *gravitasi* (kN) | $V_e$ (kN) | Lokasi | $V_c$ (kN) | $V_s$ (kN) | Tulangan Terpasang (mm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1-3 | 71,04558145 | 295,122728 | 366,1683094 | Tumpuan | 138,7912317 | 227,3515363 | 2P10-100 (18 buah) |
| | | | | Lapangan | 0 | 114,1909091 | 2P10-230 (12 buah) |
| 4-6 | 71,04558145 | 295,122728 | 366,1683094 | Tumpuan | 138,7912317 | 227,3515363 | 2P10-100 (18 buah) |
| | | | | Lapangan | 0 | 118,8436364 | 2P10-230 (12 buah) |
| 7-9 | 59,20034127 | 295,122728 | 354,3230693 | Tumpuan | 138,7912317 | 227,3515363 | 2P10-100 (18 buah) |
| | | | | Lapangan | 0 | 109,9018182 | 2P10-230 (12 buah) |
| 10 | 59,41388227 | 295,122728 | 354,5366103 | Tumpuan | 138,7912317 | 172,9856471 | 2P8-100 (18 buah) |
| | | | | Lapangan | 0 | 70,51090909 | 2P8-230 (12 buah) |

**Tabel 5.32 Hasil Perencanaan Tulangan Geser Balok BX Exterior 4 meter Berdasarkan SNI 03-2847-2002**

| Lantai | $V_e$ *gempa* (kN) | $V_e$ *gravitasi* (kN) | $V_e$ (kN) | Lokasi | $V_c$ (kN) | $V_s$ (kN) | Tulangan Terpasang (mm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1-3 | 203,2842379 | 93,708416 | 296,9926539 | Tumpuan | 0 | 549,1503958 | 4P10-100 (10 buah) |
| | | | | Lapangan | 0 | 245,3781818 | 2P10-120 (11 buah) |
| 4-6 | 203,2842379 | 93,708416 | 296,9926539 | Tumpuan | 0 | 549,1503958 | 4P10-100 (10 buah) |
| | | | | Lapangan | 0 | 244,2472727 | 2P10-110 (11 buah) |
| 7-9 | 183,2828182 | 93,708416 | 276,9912342 | Tumpuan | 0 | 549,1503958 | 4P10-100 (10 buah) |
| | | | | Lapangan | 0 | 213,0163636 | 2P10-130 (10 buah) |
| 10 | 355,2315383 | 93,708416 | 448,9399543 | Tumpuan | 0 | 1849,769754 | 5P16-100 (10 buah) |
| | | | | Lapangan | 0 | 917,3654545 | 3P16-120 (11 buah) |

**Tabel 5.33 Hasil Perencanaan Tulangan Geser Balok BY Exterior 7 meter Berdasarkan SNI 03-2847-2002**

| Lantai | $V_e$ *gempa* (kN) | $V_e$ *gravitasi* (kN) | $V_e$ (kN) | Lokasi | $V_c$ (kN) | $V_s$ (kN) | Tulangan Terpasang (mm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1-3 | 160,2753471 | 302,488328 | 462,7636751 | Tumpuan | 232,3244531 | 590,9335781 | 3P10-100 (18 buah) |
| | | | | Lapangan | 0 | 493,6509091 | 4P10-120 (23 buah) |
| 4-6 | 160,2753471 | 302,488328 | 462,7636751 | Tumpuan | 232,3244531 | 590,9335781 | 3P10-100 (18 buah) |
| | | | | Lapangan | 0 | 476,6945455 | 4P10-120 (23 buah) |
| 7-9 | 160,8523535 | 302,488328 | 463,3406815 | Tumpuan | 232,3244531 | 378,19749 | 3P8-100 (18 buah) |
| | | | | Lapangan | 0 | 397,7145455 | 5P8-110 (25 buah) |
| 10 | 135,2172742 | 302,488328 | 437,7056022 | Tumpuan | 232,3244531 | 266,4508622 | 2P8-100 (18 buah) |
| | | | | Lapangan | 0 | 252,13166 | 2P8-140 (20 buah) |

**Tabel 5.34 Hasil Perencanaan Tulangan Geser Balok BY Exterior 2 meter Berdasarkan SNI 03-2847-2002**

| Lantai | $V_e$ *gempa* (kN) | $V_e$ *gravitasi* (kN) | $V_e$ (kN) | Lokasi | $V_c$ (kN) | $V_s$ (kN) | Tulangan Terpasang (mm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1-3 | 696,5361422 | 21,913008 | 718,4491502 | Tumpuan | 0 | 393,9557188 | 2P10-100 (5 buah) |
| | | | | Lapangan | 0 | 368,7272727 | 3P10-120 (2 buah) |
| 4-6 | 696,5361422 | 21,913008 | 718,4491502 | Tumpuan | 0 | 393,9557188 | 2P10-100 (5 buah) |
| | | | | Lapangan | 0 | 372,8690909 | 3P10-110 (3 buah) |
| 7-9 | 696,5361422 | 21,913008 | 718,4491502 | Tumpuan | 0 | 393,9557188 | 2P10-100 (5 buah) |
| | | | | Lapangan | 0 | 360,4218182 | 3P10-120 (2 buah) |
| 10 | 696,5361422 | 21,913008 | 718,4491502 | Tumpuan | 0 | 984,8892969 | 5P10-100 (5 buah) |
| | | | | Lapangan | 0 | 482,1218182 | 4P10-120 (2 buah) |

**Tabel 5.35 Hasil Perencanaan Tulangan Geser Balok BX Interior 7 meter Berdasarkan SNI 03-2847-2002**

| Lantai | $V_e$ *gempa* (kN) | $V_e$ *gravitasi* (kN) | $V_e$ (kN) | Lokasi | $V_c$ (kN) | $V_s$ (kN) | Tulangan Terpasang (mm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1-3 | 71,04558145 | 278,371568 | 349,4171494 | Tumpuan | 138,7912317 | 686,4379948 | 5P10-100 (18 buah) |
| | | | | Lapangan | 0 | 99,76727273 | 2P10-230 (12 buah) |
| 4-6 | 72,1880398 | 278,371568 | 350,5596078 | Tumpuan | 138,7912317 | 549,1503958 | 4P10-100 (18 buah) |
| | | | | Lapangan | 0 | 98,25818182 | 2P10-230 (12 buah) |
| 7-9 | 72,1880398 | 278,371568 | 350,5596078 | Tumpuan | 138,7912317 | 549,1503958 | 4P10-100 (18 buah) |
| | | | | Lapangan | 0 | 89,59636364 | 2P10-230 (12 buah) |
| 10 | 59,41388227 | 278,371568 | 337,7854503 | Tumpuan | 138,7912317 | 351,4562533 | 4P8-100 (18 buah) |
| | | | | Lapangan | 0 | 63,26363636 | 2P8-230 (12 buah) |

**Tabel 5.36 Hasil Perencanaan Tulangan Geser Balok BX Interior 4 meter Berdasarkan SNI 03-2847-2002**

| Lantai | $V_e$ *gempa* (kN) | $V_e$ *gravitasi* (kN) | $V_e$ (kN) | Lokasi | $V_c$ (kN) | $V_s$ (kN) | Tulangan Terpasang (mm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1-3 | 233,2214566 | 93,708416 | 326,9298726 | Tumpuan | 0 | 988,4707125 | 5P12-100 (10 buah) |
| | | | | Lapangan | 0 | 273,5654545 | 2P12-150 (9 buah) |
| 4-6 | 233,2214566 | 93,708416 | 326,9298726 | Tumpuan | 0 | 988,4707125 | 5P12-100 (10 buah) |
| | | | | Lapangan | 0 | 266,6163636 | 2P12-150 (9 buah) |
| 7-9 | 202,0080646 | 93,708416 | 295,7164806 | Tumpuan | 0 | 790,77657 | 4P12-100 (10 buah) |
| | | | | Lapangan | 0 | 230,0581818 | 2P12-180 (7 buah) |
| 10 | 355,2315383 | 93,708416 | 448,9399543 | Tumpuan | 0 | 1849,769754 | 5P16-100 (10 buah) |
| | | | | Lapangan | 0 | 900,3 | 3P16-130 (10 buah) |

**Tabel 5.37 Hasil Perencanaan Tulangan Geser Balok BY Interior 7 meter Berdasarkan SNI 03-2847-2002**

| Lantai | $V_e$ *gempa* (kN) | $V_e$ *gravitasi* (kN) | $V_e$ (kN) | Lokasi | $V_c$ (kN) | $V_s$ (kN) | Tulangan Terpasang (mm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1-3 | 159,7073403 | 286,853168 | 446,5605083 | Tumpuan | 232,3244531 | 850,9443525 | 3P12-100 (18 buah) |
| | | | | Lapangan | 0 | 363,6345455 | 2P12-110 (25 buah) |
| 4-6 | 160,2753471 | 286,853168 | 447,1285151 | Tumpuan | 232,3244531 | 590,9335781 | 3P10-100 (18 buah) |
| | | | | Lapangan | 0 | 347,6054545 | 3P10-120 (23 buah) |
| 7-9 | 135,2172742 | 286,853168 | 422,0704422 | Tumpuan | 232,3244531 | 504,26332 | 4P8-100 (18 buah) |
| | | | | Lapangan | 0 | 272,5618182 | 4P8-130 (21 buah) |
| 10 | 135,2172742 | 286,853168 | 422,0704422 | Tumpuan | 232,3244531 | 252,13166 | 2P8-100 (18 buah) |
| | | | | Lapangan | 0 | 169,5727273 | 2P8-110 (25 buah) |

**Tabel 5.38 Hasil Perencanaan Tulangan Geser Balok BY Interior 2 meter Berdasarkan SNI 03-2847-2002**

| Lantai | $V_e$ *gempa* (kN) | $V_e$ *gravitasi* (kN) | $V_e$ (kN) | Lokasi | $V_c$ (kN) | $V_s$ (kN) | Tulangan Terpasang (mm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1-3 | 1581,691037 | 18,886848 | 1600,577885 | Tumpuan | 0 | 2123,213979 | 4P16-100 (5 buah) |
| | | | | Lapangan | 0 | 1636,698182 | 5P16-120 (2 buah) |
| 4-6 | 1655,351931 | 18,886848 | 1674,238779 | Tumpuan | 0 | 2123,213979 | 4P16-100 (5 buah) |
| | | | | Lapangan | 0 | 1773,723636 | 5P16-110 (2 buah) |
| 7-9 | 1581,691037 | 18,886848 | 1600,577885 | Tumpuan | 0 | 1592,410484 | 3P16-100 (5 buah) |
| | | | | Lapangan | 0 | 1541,343636 | 4P16-100 (3 buah) |
| 10 | 1085,893344 | 18,886848 | 1104,780192 | Tumpuan | 0 | 1418,240588 | 5P12-100 (5 buah) |
| | | | | Lapangan | 0 | 1037,350909 | 5P12-100 (3 buah) |

## 5.9 Perencanaan Penulangan Balok Berdasarkan SNI 2847:2013

Struktur balok beton berfungsi sebagai penyalur beban dari pelat ke kolom. Struktur balok beton memerlukan tulangan dalam menahan beban yang diampunya. Tulangan yang digunakan pada balok terdiri dari tulangan yang menahan momen ultimit dan tulangan yang menahan gaya geser. Kebutuhan tulangan dihitung berdasarkan momen ultimit dan gaya geser yang terjadi pada balok. Kebutuhan tulangan ini perlu diperhitungkan sehingga didapatkan jumlah tulangan yang efektif dan efisien. Struktur balok beton dalam perhitungan kebutuhan tulangan lentur dibedakan menjadi dua macam daerah balok yaitu daerah tumpuan dan daerah lapangan. Daerah tumpuan balok lebih dominan digunakan untuk menahan momen negatif sedangkan daerah lapangan balok lebih dominan digunakan untuk menahan momen positif. Struktur balok beton dapat didesain dengan tulangan tunggal dan tulangan rangkap. Balok yang menahan beban gempa didesain menggunakan tulangan rangkap. Tulangan rangkap terdiri dari tulangan tunggal ditambah tulangan kembar. Tulangan tunggal dan tulangan rangkap dianalisis kebutuhan luas tulangannya sesuai dengan ketentuan SNI 2847:2013.

### 5.9.1 Desain Tulangan Lentur Balok Berdasarkan SNI 2847:2013

Perancangan penulangan balok terdiri dari tulangan lentur, tulangan geser, dan tulangan torsi balok yang dirancang sesuai dengan masing-masing tipe balok yang ada. Penulangan balok dirancang berdasarkan momen dan gaya geser terbesar dari hasil analisis struktur menggunakan program *SAP2000* v.21.1 pada sub bab 5.7. Pada contoh perhitungan ini diambil balok B1X yang merupakan salah satu balok BX interior 7 m pada lantai 1-3.

1. Daerah Tumpuan

   Diketahui:

   Kodefikasi Balok = B1X

   $f'_c$ (kuat tekan beton) = 35 MPa

   $f_y$ (kuat tarik tulangan baja) = 400 MPa

   $\beta_1$ $= 0{,}85 - \left[\left(\frac{f'_c - 28}{7}\right) x\ 0{,}05\right]$

   $= 0{,}8$

$E_s$ (modulus elastisitas baja) = 200000 MPa

$\varepsilon_y$ (regangan tarik baja) = $\frac{f_y}{E_s}$ = 0,002

$\varepsilon_{cu}$ (regangan tekan beton) = 0,003

$Mu^-$ (momen ultimit negatif) = 168,365379 kNm

$Mu^+$ (momen ultimit positif) = 85,012921 kNm

$\phi_p$ (diameter tul. pokok) = 16 mm

$\phi_s$ (diameter tul. sengkang) = 10 mm

Dimensi Balok (b x h) = 300 mm x 500 mm

$P_b$ (selimut beton) = 40 mm

$d_s = P_b + \phi_s + \frac{\phi_p}{2}$ = 58 mm

$d' = P_b + \phi_s + \phi_p + \frac{25}{2}$ = 78,5 mm

Persyaratan dimensi berdasarkan SNI 03-2847-2013

| | | | |
|---|---|---|---|
| h | ≥ | $\frac{Lb}{21}$ | |
| 500 mm | ≥ | $\frac{7000}{21}$ | |
| 500 mm | ≥ | 333,333 mm | (OK!) |
| b | ≥ | 250 mm | |
| 300 mm | ≥ | 250 mm | (OK!) |
| b/h | ≥ | 0,3 | |
| 300/500 | ≥ | 0,3 | |
| 0,6 | ≥ | 0,3 | (OK!) |
| Lb/h | ≥ | 4 | |
| 7000/500 | ≥ | 4 | |
| 7000/500 | ≥ | 4 | |
| 14 | ≥ | 4 | (OK!) |

Perhitungan awal

$m = \frac{f_y}{0{,}85\ x\ f'_c}$ = 13,44537815

$\rho_b = \frac{\beta}{m}\left(\frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_{cu}+\varepsilon_y}\right)$ = 0,0357

$R_b = \rho_b \,.\, f_y \left[1 - \frac{1}{2}\,(\rho_b \; x \; m)\right]$ = 10,8528 MPa

$\rho_m$ = 0,75 . $\rho_b$ = 0,026775

$R_m = \rho_m \,.\, f_y \left[1 - \frac{1}{2}\,(\rho_m \; x \; m)\right]$ = 8,7822 MPa

Tinggi efektif balok

$h^-$ = h – $d'$ = 421,5 mm

$h^+$ = h – $d_s$ = 442 mm

Bagian tulangan sebelah

$R_1$ = 0,25.$R_b$ (asumsi) = 2,7132 MPa

$M_1 = R_1$ x b x $(h^-)^2$ = 144609965 MPa

Menghitung nilai tinggi beton tekan ($a$) menggunakan persamaan:

$M_1 = C_c \left(h^- - \frac{a}{2}\right)$

$M_1$ = 0,85. $f'_c$ . $a$ . $b$ . $\left(h^- - \frac{a}{2}\right)$

144609965 = 8925 . a . 421,5 $- \left(\frac{a}{2}\right)$

Diperoleh persamaan kuadrat sebagai berikut

8925$a^2$ - 7523775$a$ + 289219930 = 0

Nilai $a$ dapat diperoleh menggunakan rumus abc

$a_1$ = 802,6255116 mm

$a_2$ = 40,37448839 mm

$a_{\text{pakai}}$ = 40,37448839 mm

$c = \frac{a}{\beta}$ = 50,46811049 mm

asumsi tul. tarik sudah leleh

$\varepsilon_s = \varepsilon_t = \frac{h^- - c}{c} \; x \; \varepsilon_{cu}$ = 0,022055426 > $\varepsilon_y$ (pernyataan benar, tul.tarik sudah leleh)

Luas tulangan komponen tulangan sebelah

$C_c = T_s$ = 0,85 . $f'_c$ . $a$ . $b$ = 360342,3089 kN

$A_s = \frac{T_s}{f_y}$ = 900,8557722 mm$^2$

$n_{1\ perlu} = \frac{A_s}{\frac{1}{4}.\pi.{\phi_p}^2}$ = 4,480489036 buah

$n_{1\ pakai}$ = 5 buah

Cek JBD = $\frac{b-2Pb-2\phi_s-(\phi_p.n_{pakai})}{n_{pakai}-1}$ = 30 mm > 25 mm (AMAN!)

Momen yang dapat dikerahkan tulangan sebelah

$A_{s\ pakai}$ = $n_{pakai}$ x $\frac{1}{4}.\pi.\phi_p{}^2$ = 1005,309649 mm$^2$

$a$ = $\frac{A_{s\ pakai}\cdot f_y}{0{,}85\ .\ f'_c\ .\ b}$ = 45,05589464 mm

$c$ = $\frac{a}{\beta_1}$ = 56,3198683 mm

$M_1$ = $C_c\left(h^- - \frac{a}{2}\right)$

$M_1$ = 0,85. $f'_c$ . $a$ . $b$ . $\left(h^- - \frac{a}{2}\right)$ = 160436181,7 Nmm ≈ 160,4361817 kNm

Komponen tulangan kembar

$\phi$ = 0,9 (asumsi)

$M_n$ = $\frac{M_u{}^-}{\phi}$ = 187,0726433 kNm

$M_2$ = $M_n$ – $M_1$ = 26,63646161 kNm ≈ 26636461,61 Nmm

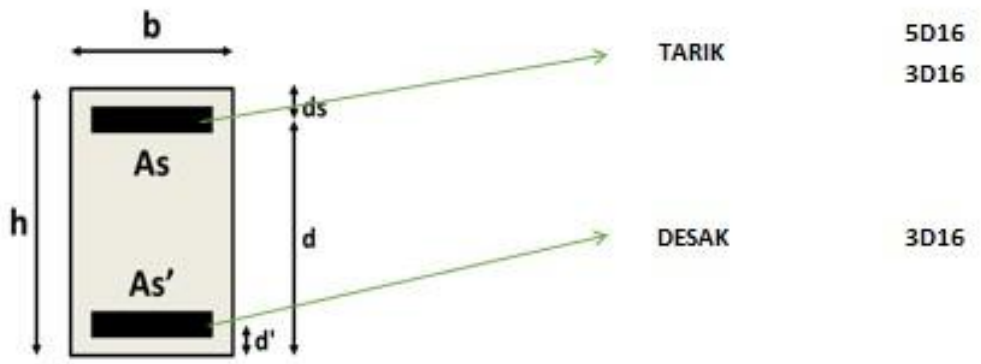
$A_s$ ' = $\frac{M_2}{f_y(h^- - d_s)}$ = 183,1943715 mm$^2$

$n_{2\ perlu}$ = $\frac{A_s{}'}{\frac{1}{4}.\pi.\phi_p{}^2}$ = 0,911134055 buah

$n_{2\ pakai}$ = 3 buah

Cek JBD = $\frac{b-2Pb-2\phi_s-(\phi_p.n_{pakai})}{n_{pakai}-1}$ = 76 mm > 25 mm (AMAN!)

| DAERAH TUMPUAN MENGGUNAKAN TULANGAN | DESAK TARIK | 3D16 8D16 |
|---|---|---|




**Gambar 5.22 Konfigurasi Tulangan Daerah Tumpuan BX Interior 7 m Lantai 2 Berdasarkan SNI 2847:2013**

Cek Momen Nominal Negatif ($M_n^-$)

asumsi tulangan tekan belum leleh

$A_s' = n_2 . \left(\frac{1}{4} . \pi . \phi_p{}^2\right)$ = 603,1857895 mm$^2$

$A_s = (n_1+n_2) . \left(\frac{1}{4} . \pi . \phi_p{}^2\right)$ = 1608,495439 mm$^2$

Persamaan *a*

$0{,}85 . f'_c . b\ (a^2) + [(A_s'. \varepsilon_{cu} . E_s) - (A_s . f_y)]\ (a) - A_s'. d'. E_s. \varepsilon_{cu} . \beta = 0$

$8925\ (a^2) - 281486{,}7018\ (a) - 16792692{,}38 = 0$

maka didapatkan nilai *a* menggunakan rumus abc

$a$ = 61,92379675 mm

$c = \frac{a}{\beta_1}$ = 77,40474593 mm

$\varepsilon_s' = \varepsilon_{cu} . \frac{c-d_s}{c}$ = 0,000752076 < $\varepsilon_y$ (Pernyataan benar, tul. tekan belum leleh)

$f_s = \varepsilon_s' . E_s$ = 150,4151641 MPa

Momen yang dapat dikerahkan dengan mengambil momen terhadap baja tarik

$M_1 = C_c \left(h^- - \frac{a}{2}\right)$

$M_1 = 0{,}85. f'_c . a . b . \left(h^- - \frac{a}{2}\right)$ = 215838648,1 Nmm

$M_2 = A_s' . f_s\ (h^- - d_s)$ = 32979733,23 Nmm

$M_n^- = M_1 + M_2$ = 248818381,3 Nmm

$\varepsilon_t = \frac{h^- - c}{c}$ x $\varepsilon_{cu}$ = 0,013336208 > 0,005 (asumsi $\phi$ = 0,9 benar)

$M_t = \phi\ M_n^-$ = 223936543,2 Nmm ≈ 223,9365432 kNm

Cek $\phi\ M_n^- > M_u^-$

223,9365432 kNm > 168,365379 kNm (OK!)

Cek Momen Nominal Positif ($M_n^+$)

asumsi tulangan tekan belum leleh

$A_s' = n_2 . \left(\frac{1}{4} . \pi . \phi_p{}^2\right)$ = 603,1857895 mm$^2$

$A_s = (n_1+n_2) . \left(\frac{1}{4} . \pi . \phi_p{}^2\right)$ = 1608,495439 mm$^2$

Persamaan *a*

$0{,}85 . f'_c . b\ (a^2) + [(A_s . \varepsilon_{cu} . E_s) - (A_s' . f_y)]\ (a) - A_s . d'. E_s. \varepsilon_{cu} . \beta = 0$

8925 ($a^2$) + 723822,9474 ($a$) – 60608108,13 = 0

maka didapatkan nilai $a$ menggunakan rumus abc

$a$ = 51,29277671 mm

$c = \frac{a}{\beta_1}$ = 64,11597089 mm

$\varepsilon_s' = \varepsilon_{cu} \cdot \frac{c-d'}{c}$ = -0,000673032 < $\varepsilon_y$ (Pernyataan benar, tul. tekan belum leleh)

$f_s = \varepsilon_s' \cdot E_s$ = -134,6063602 MPa

Momen yang dapat dikerahkan dengan mengambil momen terhadap baja tarik

$M_1 = C_c \left(h^+ - \frac{a}{2}\right)$

$M_1 = 0{,}85 . f'_c . a . b . \left(h^+ - \frac{a}{2}\right)$ = 190601700,5 Nmm

$M_2 = A_s . f_s (h^+ - d')$ = -78702735,88 Nmm

$M_n^+ = M_1 + M_2$ = 111898964,7 Nmm

$\varepsilon_t = \frac{h^+ - c}{c}$ x $\varepsilon_{cu}$ = 0,017681275 > 0,005 (asumsi $\phi$ = 0,9 benar)

$M_t = \phi M_n^+$ = 100709068,2 Nmm ≈ 100,7090682 kNm

Cek $\phi M_n^+ > M_u^+$

100,7090682 kNm > 85,012921 kNm (OK!)

Momen Kapasitas Negatif ($M_{kap}^-$)

asumsi tulangan tekan belum leleh

$A_s' = n_2 . \left(\frac{1}{4} . \pi . \phi_p^{\,2}\right)$ = 603,1857895 mm$^2$

$A_s = (n_1+n_2) . \left(\frac{1}{4} . \pi . \phi_p^{\,2}\right)$ = 1608,495439 mm$^2$

Persamaan $a$

0,85 . $f'_c$ . $b$ ($a^2$) + [($A_s'$ . $\varepsilon_{cu}$ . $E_s$) – ($A_s$ . $f_y$ . $\phi_o$)] ($a$) – $A_s'$ . $d'$ . $E_s$ . $\varepsilon_{cu}$ . $\beta$ = 0

8925 ($a^2$) – 442336,2456 ($a$) – 16792692,38 = 0

maka didapatkan nilai $a$ menggunakan rumus abc

$a$ = 74,73691621 mm

$c = \frac{a}{\beta_1}$ = 93,42114527 mm

$\varepsilon_s' = \varepsilon_{cu} \cdot \frac{c-d_s}{c}$ = 0,001137467 < $\varepsilon_y$ (Pernyataan benar, tul. tekan belum leleh)

$f_s = \varepsilon_s' . E_s$ = 227,4933271 MPa

Momen yang dapat dikerahkan dengan mengambil momen terhadap baja tarik

$M_1 = C_c \left(h^- - \frac{a}{2}\right)$

$M_1 = 0{,}85 . f'_c . a . b . \left(h^- - \frac{a}{2}\right) = 256226101{,}2$ Nmm

$M_2 = A_s' . f_s (h^- - d_s) = 49879739{,}76$ Nmm

$M_{kap}^- = M_1 + M_2 = 306105841$ Nmm ≈ 306,105841 kNm

Momen Kapasitas Positif ($M_{kap}^+$)

asumsi tulangan tekan belum leleh

$A_s' = n_2 . \left(\frac{1}{4} . \pi . \phi_p{}^2\right) = 603{,}1857895$ mm$^2$

$A_s = (n_1 + n_2) . \left(\frac{1}{4} . \pi . \phi_p{}^2\right) = 1608{,}495439$ mm$^2$

Persamaan $a$

$0{,}85 . f'_c . b (a^2) + [(A_s . \varepsilon_{cu} . E_s) – (A_s' . f_y . \phi_o)] (a) – A_s . d' . E_s . \varepsilon_{cu} . \beta = 0$

$8925 (a^2) + 663504{,}3684 (a) – 60608108{,}13 = 0$

maka didapatkan nilai $a$ menggunakan rumus abc

$a = 53{,}23085641$ mm

$c = \frac{a}{\beta_1} = 66{,}53857051$ mm

$\varepsilon_s' = \varepsilon_{cu} . \frac{c - d'}{c} = -0{,}000539301 < \varepsilon_y$ (Pernyataan benar, tul. tekan belum leleh)

$f_s = \varepsilon_s' . E_s = -107{,}8601124$ MPa

Momen yang dapat dikerahkan dengan mengambil momen terhadap baja tarik

$M_1 = C_c \left(h^+ - \frac{a}{2}\right)$

$M_1 = 0{,}85 . f'_c . a . b . \left(h^+ - \frac{a}{2}\right) = 197343142{,}7$ Nmm

$M_2 = A_s . f_s (h^+ - d') = -63064523{,}29$ Nmm

$M_{kap}^+ = M_1 + M_2 = 134278619{,}4$ Nmm ≈ 134,2786194 kNm

3. Daerah Lapangan

Kodefikasi Balok = B1X

$f'_c$ (kuat tekan beton) = 35 MPa

$f_y$ (kuat tarik tulangan baja) = 400 MPa

$\beta_1$ $= 0{,}85 - \left[\left(\frac{f'_c - 28}{7}\right) x\ 0{,}05\right]$

$= 0{,}8$

$E_s$ (modulus elastisitas baja) = 200000 MPa

$\varepsilon_y$ (regangan tarik baja) $= \frac{f_y}{E_s} = 0{,}002$

$\varepsilon_{cu}$ (regangan tekan beton) = 0,003

$Mu^-$ (momen ultimit negatif) = 42,7325 kNm

$Mu^+$ (momen ultimit positif) = 43,4142 kNm

$\phi_p$ (diameter tul. pokok) = 16 mm

$\phi_s$ (diameter tul. sengkang) = 10 mm

Dimensi Balok (b x h) = 300 mm x 500 mm

$P_b$ (selimut beton) = 40 mm

$d_s = P_b + \phi_s + \frac{\phi_p}{2}$ = 58 mm

$d' = P_b + \phi_s + \phi_p + \frac{25}{2}$ = 78,5 mm

Perhitungan awal

$m = \frac{f_y}{0{,}85\ x\ f'_c}$ = 13,44537815

$\rho_b = \frac{\beta}{m}\left(\frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_{cu}+\varepsilon_y}\right)$ = 0,0357

$R_b = \rho_b . f_y\left[1 - \frac{1}{2}\ (\rho_b\ x\ m)\right]$ = 10,8528 MPa

$\rho_m = 0{,}75 .\ \ \rho_b$ = 0,026775

$R_m = \rho_m . f_y\left[1 - \frac{1}{2}\ (\rho_m\ x\ m)\right]$ = 8,7822 MPa

Tinggi efektif balok

$h^-$ = h – $d'$ = 421,5 mm

$h^+$ = h – $d_s$ = 442 mm

Bagian tulangan sebelah

$R_1 = 0{,}25.R_b$ (asumsi) = 2,7132 MPa

$M_1 = R_1$ x b x $(h^-)^2$ = 144609965 MPa

Menghitung nilai tinggi beton tekan ($a$) menggunakan persamaan:

$M_1 = C_c \left(h^- - \frac{a}{2}\right)$

$M_1 = 0{,}85 . f'_c . a . b . \left(h^- - \frac{a}{2}\right)$

$144609965 = 8925 . a . 421{,}5 - \left(\frac{a}{2}\right)$

Diperoleh persamaan kuadrat sebagai berikut

$8925a^2 - 7523775a + 289219930 = 0$

Nilai $a$ dapat diperoleh menggunakan rumus abc

$a_1$ = 802,6255116 mm

$a_2$ = 40,37448839 mm

$a_{pakai}$ = 40,37448839 mm

$c = \frac{a}{\beta}$ = 50,46811049 mm

asumsi tul. tarik sudah leleh

$\varepsilon_s = \varepsilon_t = \frac{h^- - c}{c} \; x \; \varepsilon_{cu}$ = 0,022055426 > $\varepsilon_y$ (pernyataan benar, tul.tarik sudah leleh)

Luas tulangan komponen tulangan sebelah

$C_c = T_s = 0{,}85 . f'_c . a . b$ = 360342,3089 kN

$A_s = \frac{T_s}{f_y}$ = 900,8557722 mm$^2$

$n_{1\ perlu} = \frac{A_s}{\frac{1}{4}.\pi.\phi_p{}^2}$ = 4,480489036 buah

$n_{1\ pakai}$ = 5 buah

Cek JBD = $\frac{b - 2Pb - 2\phi_s - (\phi_p . n_{pakai})}{n_{pakai} - 1}$ = 30 mm > 25 mm (AMAN!)

Momen yang dapat dikerahkan tulangan sebelah

$A_{s\ pakai} = n_{pakai}$ x $\frac{1}{4}.\pi.\phi_p{}^2$ = 1005,309649 mm$^2$

$a = \frac{A_{s\ pakai} \cdot f_y}{0{,}85 . f'_c . b}$ = 45,05589464 mm

$c = \frac{a}{\beta_1}$ = 56,3198683 mm

$M_1 = C_c \left(h^- - \frac{a}{2}\right)$

$M_1 = 0{,}85. f'_c . a . b . \left(h^- - \frac{a}{2}\right)$ = 160436181,7 Nmm ≈ 160,4361817 kNm

Komponen tulangan kembar

$\phi$ = 0,9 (asumsi)

$M_n = \frac{M_u^+}{\phi}$ = 48,238 kNm

$M_2 = M_n - M_1$ = -112,1981817 kNm ≈ -112198181,7 Nmm

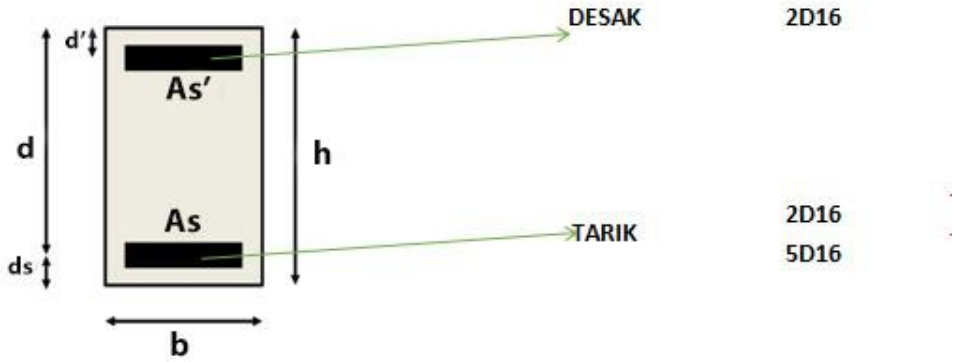
$A_s' = \frac{M_2}{f_y(h^- - d_s)}$ = -771,6518688 mm$^2$

$n_{2\ perlu} = \frac{A_s'}{\frac{1}{4}.\pi.\phi_p^{\ 2}}$ = -3,837881539buah

$n_{2\ pakai}$ = 2 buah

Cek JBD = $\frac{b-2Pb-2\phi_s-(\phi_p.n_{pakai})}{n_{pakai}-1}$ = 168 mm > 25 mm (AMAN!)

| DAERAH LAPANGAN MENGGUNAKAN TULANGAN | DESAK TARIK | 2D16 7D16 |
|---|---|---|




**Gambar 5.24 Konfigurasi Tulangan Daerah Lapangan BX Interior 7 m Lantai 2 Berdasarkan SNI 2847:2013**

Cek Momen Nominal Positif ($M_n^+$)

asumsi tulangan tekan belum leleh

$A_s' = n_2 . \left(\frac{1}{4}.\pi.\phi_p^{\ 2}\right)$ = 402,1238597 mm$^2$

$A_s = (n_1+n_2) . \left(\frac{1}{4}.\pi.\phi_p^{\ 2}\right)$ = 1407,433509 mm$^2$

Persamaan *a*

$0{,}85 . f'_c . b\ (a^2) + [(A_s'. \varepsilon_{cu} . E_s) - (A_s . f_y)]\ (a) - A_s'. d'. E_s. \varepsilon_{cu} . \beta = 0$

$8925\ (a^2) - 321699{,}0877\ (a) - 11195128{,}25 = 0$

maka didapatkan nilai *a* menggunakan rumus abc

*a* = 57,76102277 mm

$c = \frac{a}{\beta_1}$ = 72,20127847 mm

$\varepsilon_s' = \varepsilon_{cu} \cdot \frac{c - d_s}{c}$ = 0,00059007 < $\varepsilon_y$ (Pernyataan benar, tul. tekan belum leleh)

$f_s = \varepsilon_s' \cdot E_s$ = 118,0140748 MPa

Momen yang dapat dikerahkan dengan mengambil momen terhadap baja tarik

$M_1 = C_c \left(h^- - \frac{a}{2}\right)$

$M_1 = 0{,}85 . f'_c . a . b . \left(h^- - \frac{a}{2}\right)$ = 202402071,3 Nmm

$M_2 = A_s' . f_s (h^- - d_s)$ = 17250356,06 Nmm

$M_n^+ = M_1 + M_2$ = 219652427,3 Nmm

$\varepsilon_t = \frac{h^- - c}{c}$ x $\varepsilon_{cu}$ = 0,01451354 > 0,005 (asumsi $\phi$ = 0,9 benar)

$M_t = \phi M_n^+$ = 197687184,6 Nmm ≈ 197,6871846 kNm

Cek $\phi M_n^+ > M_u^+$

197,6871846 kNm > 43,4142 kNm (OK!)

Cek Momen Nominal Negatif ($M_n^-$)

asumsi tulangan tekan belum leleh

$A_s' = n_2 . \left(\frac{1}{4} . \pi . \phi_p^{\,2}\right)$ = 402,1238597 mm$^2$

$A_s = (n_1 + n_2) . \left(\frac{1}{4} . \pi . \phi_p^{\,2}\right)$ = 1407,433509 mm$^2$

Persamaan *a*

$0{,}85 . f'_c . b (a^2) + [(A_s . \varepsilon_{cu} . E_s) - (A_s' . f_y)] (a) - A_s . d' . E_s . \varepsilon_{cu} . \beta = 0$

$8925 (a^2) + 683610{,}5614 (a) - 53032094{,}61 = 0$

maka didapatkan nilai *a* menggunakan rumus abc

$a$ = 47,77612484 mm

$c = \frac{a}{\beta_1}$ = 59,72015605 mm

$\varepsilon_s' = \varepsilon_{cu} . \frac{c - d'}{c}$ = -0,000943392 < $\varepsilon_y$ (Pernyataan benar, tul. tekan belum leleh)

$f_s = \varepsilon_s' . E_s$ = -188,6784482 MPa

Momen yang dapat dikerahkan dengan mengambil momen terhadap baja tarik

$M_1 = C_c \left(h^+ - \frac{a}{2}\right)$

$M_1 = 0{,}85 . f'_c . a . b . \left(h^+ - \frac{a}{2}\right) = 178283730{,}5$ Nmm

$M_2 = A_s . f_s (h^+ - d') = -96528286{,}62$ Nmm

$M_n^- = M_1 + M_2 = 81755443{,}92$ Nmm

$\varepsilon_t = \frac{h^+ - c}{c}$ x $\varepsilon_{cu} = 0{,}019203559 > 0{,}005$ (asumsi $\phi = 0{,}9$ benar)

$M_t = \phi M_n^- = 73579899{,}53$ Nmm $\approx 73{,}57989953$ kNm

Cek $\phi M_n^- > M_u^-$

73,57989953 kNm > 42,7325 kNm (OK!)

Momen Kapasitas Positif ($M_{kap}^+$)

asumsi tulangan tekan belum leleh

$A_s' = n_2 . \left(\frac{1}{4} . \pi . \phi_p^{\,2}\right)$ = 402,1238597 mm$^2$

$A_s = (n_1 + n_2) . \left(\frac{1}{4} . \pi . \phi_p^{\,2}\right)$ = 1407,433509 mm$^2$

Persamaan $a$

$0{,}85 . f'_c . b (a^2) + [(A_s' . \varepsilon_{cu} . E_s) - (A_s . f_y . \phi_o)] (a) - A_s' . d' . E_s . \varepsilon_{cu} . \beta = 0$

$8925 (a^2) - 462442{,}4386 (a) - 11195128{,}25 = 0$

maka didapatkan nilai $a$ menggunakan rumus abc

$a = 69{,}78806898$ mm

$c = \frac{a}{\beta_1} = 87{,}23508623$ mm

$\varepsilon_s' = \varepsilon_{cu} . \frac{c - d_s}{c} = 0{,}00100539 < \varepsilon_y$ (Pernyataan benar, tul. tekan belum leleh)

$f_s = \varepsilon_s' . E_s = 201{,}0779435$ MPa

Momen yang dapat dikerahkan dengan mengambil momen terhadap baja tarik

$M_1 = C_c \left(h^- - \frac{a}{2}\right)$

$M_1 = 0{,}85 . f'_c . a . b . \left(h^- - \frac{a}{2}\right) = 240800817{,}8$ Nmm

$M_2 = A_s' . f_s (h^- - d_s) = 29391969{,}78$ Nmm

$M_{kap}^+ = M_1 + M_2 = 270192787{,}6$ Nmm $\approx 270{,}1927876$ kNm

Momen Kapasitas Negatif ($M_{kap}^-$)

asumsi tulangan tekan belum leleh

$A_s' = n_2 . \left(\frac{1}{4} . \pi . \phi_p{}^2\right)$ = 402,1238597 mm$^2$

$A_s = (n_1+n_2) . \left(\frac{1}{4} . \pi . \phi_p{}^2\right)$ = 1407,433509 mm$^2$

Persamaan *a*

$0{,}85 . f'_c . b\ (a^2) + [(A_s . \varepsilon_{cu} . E_s) - (A_s' . f_y . \phi_o)]\ (a) - A_s . d'. E_s. \varepsilon_{cu} . \beta = 0$

$8925\ (a^2) + 643398{,}1755\ (a) - 53032094{,}61 = 0$

maka didapatkan nilai *a* menggunakan rumus abc

$a$ = 49,05048342 mm

$c = \frac{a}{\beta_1}$ = 61,31310428 mm

$\varepsilon_s' = \varepsilon_{cu} . \frac{c-d'}{c}$ = -0,000840941 < $\varepsilon_y$ (Pernyataan benar, tul. tekan belum leleh)

$f_s = \varepsilon_s' . E_s$ = -168,1881476 MPa

Momen yang dapat dikerahkan dengan mengambil momen terhadap baja tarik

$M_1 = C_c \left(h^+ - \frac{a}{2}\right)$

$M_1 = 0{,}85 . f'_c . a . b . \left(h^+ - \frac{a}{2}\right)$ = 182760248 Nmm

$M_2 = A_s . f_s\ (h^+ - d')$ = -86045406,22 Nmm

$M_{kap}^- = M_1 + M_2$ = 96714841,77 Nmm ≈ 96,71484177 kNm

Rekapitulasi hasil desain tulangan lentur untuk semua balok berdasarkan SNI 2847:2013 dapat dilihat pada Tabel 5.39, Tabel 5.40, Tabel 5.41, Tabel 5.42, Tabel 5.43, Tabel 5.44, Tabel 5.45, dan Tabel 5.46 berikut.

**Tabel 5.39 Hasil Perencanaan Tulangan Lentur Balok BX Exterior 7 meter Berdasarkan SNI 2847:2013**

| Lantai | Tumpuan | | | | | | Lapangan | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $M_n^-$ (kNm) | $M_n^+$ (kNm) | $M_{kap}^-$ (kNm) | $M_{kap}^+$ (kNm) | Tul. Lentur Atas | Tul. Lentur Bawah | $M_n^-$ (kNm) | $M_n^+$ (kNm) | $M_{kap}^-$ (kNm) | $M_{kap}^+$ (kNm) | Tul. Lentur Atas | Tul. Lentur Bawah |
| 1-3 | 225,2896589 | 100,5583352 | 308,0961793 | 134,330897 | 8D16 | 3D16 | 73,18434789 | 198,7925037 | 96,42089814 | 271,8218355 | 2D16 | 7D16 |
| 4-6 | 225,2896589 | 100,5583352 | 308,0961793 | 134,330897 | 8D16 | 3D16 | 73,18434789 | 198,7925037 | 96,42089814 | 271,8218355 | 2D16 | 7D16 |
| 7-9 | 198,7925037 | 73,18434789 | 271,8218355 | 96,42089814 | 7D16 | 2D16 | 73,32670448 | 198,789521 | 96,57399451 | 271,7920756 | 2D16 | 7D16 |
| 10 | 198,7925037 | 73,18434789 | 271,8218355 | 96,42089814 | 7D16 | 2D16 | 73,18434789 | 198,7925037 | 96,42089814 | 271,8218355 | 2D16 | 7D16 |

**Tabel 5.40 Hasil Perencanaan Tulangan Lentur Balok BX Exterior 4 meter Berdasarkan SNI 2847:2013**

| Lantai | Tumpuan | | | | | | Lapangan | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $M_n^-$ (kNm) | $M_n^+$ (kNm) | $M_{kap}^-$ (kNm) | $M_{kap}^+$ (kNm) | Tul. Lentur Atas | Tul. Lentur Bawah | $M_n^-$ (kNm) | $M_n^+$ (kNm) | $M_{kap}^-$ (kNm) | $M_{kap}^+$ (kNm) | Tul. Lentur Atas | Tul. Lentur Bawah |
| 1-3 | 278,0751818 | 154,89111 | 380,4322851 | 209,5825418 | 10D16 | 5D16 | 100,5583352 | 225,2896589 | 134,330897 | 308,0961793 | 3D16 | 8D16 |
| 4-6 | 278,0751818 | 154,89111 | 380,4322851 | 209,5825418 | 10D16 | 5D16 | 100,5583352 | 225,2896589 | 134,330897 | 308,0961793 | 3D16 | 8D16 |
| 7-9 | 251,7054538 | 127,7842129 | 344,2894451 | 172,0398852 | 9D16 | 4D16 | 73,18434789 | 198,7925037 | 96,42089814 | 271,8218355 | 2D16 | 7D16 |
| 10 | 438,1747625 | 278,2726159 | 596,6651747 | 376,4555311 | 7D25 | 4D25 | 138,8061266 | 320,2421452 | 207,4924616 | 435,7796653 | 2D25 | 5D25 |

**Tabel 5.41 Hasil Perencanaan Tulangan Lentur Balok BY Exterior 7 meter Berdasarkan SNI 2847:2013**

| Lantai | Tumpuan | | | | | | Lapangan | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $M_n^-$ (kNm) | $M_n^+$ (kNm) | $M_{kap}^-$ (kNm) | $M_{kap}^+$ (kNm) | Tul. Lentur Atas | Tul. Lentur Bawah | $M_n^-$ (kNm) | $M_n^+$ (kNm) | $M_{kap}^-$ (kNm) | $M_{kap}^+$ (kNm) | Tul. Lentur Atas | Tul. Lentur Bawah |
| 1-3 | 530,7245313 | 199,2359933 | 727,488413 | 269,7616111 | 9D19 | 3D19 | 140,9349399 | 473,8455772 | 188,9011739 | 649,3445482 | 2D19 | 8D19 |
| 4-6 | 530,7245313 | 199,2359933 | 727,488413 | 269,7616111 | 9D19 | 3D19 | 140,9349399 | 473,8455772 | 188,9011739 | 649,3445482 | 2D19 | 8D19 |
| 7-9 | 473,8455772 | 140,9349399 | 649,3445482 | 188,9011739 | 8D19 | 2D19 | 140,9349399 | 473,8455772 | 188,9011739 | 649,3445482 | 2D19 | 8D19 |
| 10 | 473,8455772 | 140,9349399 | 649,3445482 | 188,9011739 | 8D19 | 2D19 | 140,9349399 | 473,8455772 | 188,9011739 | 649,3445482 | 2D19 | 8D19 |

**Tabel 5.42 Hasil Perencanaan Tulangan Lentur Balok BY Exterior 2 meter Berdasarkan SNI 2847:2013**

| Lantai | Tumpuan | | | | | | Lapangan | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $M_n^-$ (kNm) | $M_n^+$ (kNm) | $M_{kap}^-$ (kNm) | $M_{kap}^+$ (kNm) | Tul. Lentur Atas | Tul. Lentur Bawah | $M_n^-$ (kNm) | $M_n^+$ (kNm) | $M_{kap}^-$ (kNm) | $M_{kap}^+$ (kNm) | Tul. Lentur Atas | Tul. Lentur Bawah |
| 1-3 | 473,8455772 | 140,9349399 | 649,3445482 | 188,9011739 | 8D19 | 2D19 | 140,9349399 | 473,8455772 | 188,9011739 | 649,3445482 | 2D19 | 8D19 |
| 4-6 | 473,8455772 | 140,9349399 | 649,3445482 | 188,9011739 | 8D19 | 2D19 | 140,9349399 | 473,8455772 | 188,9011739 | 649,3445482 | 2D19 | 8D19 |
| 7-9 | 473,8455772 | 140,9349399 | 649,3445482 | 188,9011739 | 8D19 | 2D19 | 140,9349399 | 473,8455772 | 188,9011739 | 649,3445482 | 2D19 | 8D19 |
| 10 | 471,898562 | 141,356947 | 646,5686325 | 189,1612371 | 8D19 | 2D19 | 141,356947 | 471,898562 | 189,1612371 | 646,5686325 | 2D19 | 8D19 |

**Tabel 5.43 Hasil Perencanaan Tulangan Lentur Balok BX Interior 7 meter Berdasarkan SNI 2847:2013**

| Lantai | Tumpuan | | | | | | Lapangan | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $M_n^-$ (kNm) | $M_n^+$ (kNm) | $M_{kap}^-$ (kNm) | $M_{kap}^+$ (kNm) | Tul. Lentur Atas | Tul. Lentur Bawah | $M_n^-$ (kNm) | $M_n^+$ (kNm) | $M_{kap}^-$ (kNm) | $M_{kap}^+$ (kNm) | Tul. Lentur Atas | Tul. Lentur Bawah |
| 1-3 | 223,9365432 | 100,7090682 | 306,105841 | 134,2786194 | 8D16 | 3D16 | 73,57989953 | 197,6871846 | 96,71484177 | 270,1927876 | 2D16 | 7D16 |
| 4-6 | 223,9365432 | 100,7090682 | 306,105841 | 134,2786194 | 8D16 | 3D16 | 73,57989953 | 197,6871846 | 96,71484177 | 270,1927876 | 2D16 | 7D16 |
| 7-9 | 198,7925037 | 73,18434789 | 271,8218355 | 96,42089814 | 7D16 | 2D16 | 73,18434789 | 198,7925037 | 96,42089814 | 271,8218355 | 2D16 | 7D16 |
| 10 | 198,7925037 | 73,18434789 | 271,8218355 | 96,42089814 | 7D16 | 2D16 | 73,18434789 | 198,7925037 | 96,42089814 | 271,8218355 | 2D16 | 7D16 |

**Tabel 5.44 Hasil Perencanaan Tulangan Lentur Balok BX Interior 4 meter Berdasarkan SNI 2847:2013**

| Lantai | Tumpuan | | | | | | Lapangan | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $M_n^-$ (kNm) | $M_n^+$ (kNm) | $M_{kap}^-$ (kNm) | $M_{kap}^+$ (kNm) | Tul. Lentur Atas | Tul. Lentur Bawah | $M_n^-$ (kNm) | $M_n^+$ (kNm) | $M_{kap}^-$ (kNm) | $M_{kap}^+$ (kNm) | Tul. Lentur Atas | Tul. Lentur Bawah |
| 1-3 | 306,4877701 | 171,5768036 | 418,5742522 | 231,9558112 | 8D19 | 4D19 | 96,62220067 | 233,922236 | 128,1555444 | 319,3027002 | 2D19 | 6D19 |
| 4-6 | 306,4877701 | 171,5768036 | 418,5742522 | 231,9558112 | 8D19 | 4D19 | 96,62220067 | 233,922236 | 128,1555444 | 319,3027002 | 2D19 | 6D19 |
| 7-9 | 276,1871933 | 154,5334921 | 377,6776636 | 208,8143913 | 10D16 | 5D16 | 100,7090682 | 223,9365432 | 134,2786194 | 306,105841 | 3D16 | 8D16 |
| 10 | 438,1747625 | 278,2726159 | 596,6651747 | 376,4555311 | 7D25 | 4D25 | 151,232389 | 257,7102312 | 202,0404094 | 351,3974086 | 2D25 | 4D25 |

**Tabel 5.45 Hasil Perencanaan Tulangan Lentur Balok BY Interior 7 meter Berdasarkan SNI 2847:2013**

| Lantai | Tumpuan | | | | | | Lapangan | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $M_n^-$ (kNm) | $M_n^+$ (kNm) | $M_{kap}^-$ (kNm) | $M_{kap}^+$ (kNm) | Tul. Lentur Atas | Tul. Lentur Bawah | $M_n^-$ (kNm) | $M_n^+$ (kNm) | $M_{kap}^-$ (kNm) | $M_{kap}^+$ (kNm) | Tul. Lentur Atas | Tul. Lentur Bawah |
| 1-3 | 528,3823598 | 199,2971872 | 724,1464478 | 269,514507 | 9D19 | 3D19 | 141,356947 | 471,898562 | 189,1612371 | 646,5686325 | 2D19 | 8D19 |
| 4-6 | 530,7245313 | 199,2359933 | 727,488413 | 269,7616111 | 9D19 | 3D19 | 140,9349399 | 473,8455772 | 188,9011739 | 649,3445482 | 2D19 | 8D19 |
| 7-9 | 473,8455772 | 140,9349399 | 649,3445482 | 188,9011739 | 8D19 | 2D19 | 140,9349399 | 473,8455772 | 188,9011739 | 649,3445482 | 2D19 | 8D19 |
| 10 | 473,8455772 | 140,9349399 | 649,3445482 | 188,9011739 | 8D19 | 2D19 | 140,9349399 | 473,8455772 | 188,9011739 | 649,3445482 | 2D19 | 8D19 |

**Tabel 5.46 Hasil Perencanaan Tulangan Lentur Balok BY Interior 2 meter Berdasarkan SNI 2847:2013**

| Lantai | Tumpuan | | | | | | Lapangan | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $M_n^-$ (kNm) | $M_n^+$ (kNm) | $M_{kap}^-$ (kNm) | $M_{kap}^+$ (kNm) | Tul. Lentur Atas | Tul. Lentur Bawah | $M_n^-$ (kNm) | $M_n^+$ (kNm) | $M_{kap}^-$ (kNm) | $M_{kap}^+$ (kNm) | Tul. Lentur Atas | Tul. Lentur Bawah |
| 1-3 | 790,4630096 | 423,416807 | 1081,918363 | 579,1464775 | 8D25 | 4D25 | 423,416807 | 790,4630096 | 579,1464775 | 1081,918363 | 4D25 | 8D25 |
| 4-6 | 881,7176985 | 519,215335 | 1206,867921 | 711,5241939 | 9D25 | 5D25 | 422,1281939 | 786,2622536 | 576,9729379 | 1075,957655 | 4D25 | 8D25 |
| 7-9 | 767,2180906 | 410,4761273 | 1050,483519 | 561,4017001 | 10D22 | 5D22 | 334,5197113 | 692,7031342 | 456,09762 | 948,2433479 | 4D22 | 9D22 |
| 10 | 582,1408442 | 256,7911684 | 797,8407647 | 348,9027011 | 10D19 | 4D19 | 199,5702007 | 525,9979042 | 269,4897764 | 720,6957338 | 3D19 | 9D19 |

### 5.9.2 Desain Tulangan Geser Balok Berdasarkan SNI 2847:2013

Balok memerlukan tulangan sengkang dalam menahan gaya geser yang terjadi. Tulangan sengkang dipasang di setiap pias pada balok yang telah diperhitungkan jaraknya. Jarak tulangan sengkang tergantung dari besarnya gaya geser yang diampu oleh balok. Gaya geser dalam perhitungan jarak tulangan sengkang diambil dari nilai gaya geser akibat beban mati dan beban hidup serta nilai momen kapasitas balok sesuai dengan desain tulangan lentur pada balok. Contoh hitungan tulangan sengkang berupa perhitungan balok BX interior 7 m pada lantai 1-3.

Diketahui:

$M_{kap}^-$ (momen kapasitas negatif) = 306,105841 kNm

$M_{kap}^+$ (momen kapasitas positif) = 134,2786194 kNm

$f'_c$ (kuat tekan beton) = 35 MPa

$f_{yt}$ (kuat tarik tulangan sengkang) = 380 MPa

$\phi_p$ (diameter tul. pokok) = 16 mm

$\phi_s$ (diameter tul. sengkang) = 10 mm

Dimensi Balok (b x h) = 300 mm x 500 mm

Dimensi Kolom (b x h) = 800 mm x 800 mm

$P_b$ (selimut beton) = 40 mm

ℓn (bentang bersih balok) $= 7\text{ m} - \left[\left(\frac{1}{2}x800\right) + \left(\frac{1}{2}x800\right)\right]$

= 6,2 m

Penyelesaian:

$\phi V_n \geq V_u$

$V_n = V_c + V_s$

Untuk menghitung beban terfaktor $W_u$ :

Beban mati (*DL*) terdiri dari:

pelat lantai = 0,2 m x 24 kN/m$^3$ = 4,8 kN/m$^2$

pasir = 0,05 m x 18 kN/m$^3$ = 0,9 kN/m$^2$

spesi = 0,02 m x 0,21 kN/m$^3$ = 0,0042 kN/m$^2$

keramik = 0,15 kN/m$^2$

plafon = 0,18 kN/m$^2$

M/E = 0,15 kN/m$^2$ +

Total = 6,1842 kN/m$^2$

q ekuivalen = 6,1842 kN/m2 x 7 m = 43,2894 kN/m

berat balok = 0,3 m x 0,5 m x 24 kN/m$^3$ = 3,6 kN/m

$W_u$ beban mati ($DL$) = 46,8894 kN/m

Beban hidup ($LL$) = 4,79 kN/m$^2$

$W_u$ beban hidup ($LL$) = 4,79 kN/m$^2$ x 7 m = 33,53 kN/m

$W_u$ = 1,2$DL$ + 1,0$LL$

= 1,2 (46,8894) + 33,53

= 89,79728 kN/m

Dengan demikian kuat geser rencana, $V_e$ :

$$V_e = \frac{M_{kap}^{-} + M_{kap}^{+}}{\ell n} \pm \frac{W_u . \ell n}{2}$$

$$= \frac{306,105841 + 134,2786194}{6,2} + \frac{89,79728 \,.\, 6,2}{2}$$

= 71,02975168 kN + 278,371568 kN

= 349,4013197 kN

Dapat diasumsikan $V_c$ = 0 apabila gaya geser yang ditimbulkan gempa ($M_{kap}$) > total gaya geser $V_e$ (akibat $M_{kap}$ + beban gravitasi)

$V$ akibat $M_{kap}$ = 71,02975168 kN < 0,5 x 349,4013197 kN

= 71,02975168 kN < 174,7006598 kN (TIDAK MEMENUHI)

Kuat geser yang disumbangkan beton, $V_c$ :

$$V_c = 0,17 \,.\, \lambda \sqrt{f'c} \,.\, b_w \,.\, d$$

$$= 0,17 \,.\, 1 \sqrt{35} \,.\, 300 \,.\, (500\text{-}40)$$

= 138791,2317 N ≈ 138,7912317 kN

Sengkang tertutup pertama harus ditempatkan tidak lebih dari 50 mm dari muka komponen struktur penumpu. Spasi sengkang tertutup tidak boleh melebihi yang terkecil dari:

5. d/4 = (500-40)/4 = 115 mm
6. 6 x tul.longitudinal = 6 x 16 = 96 mm
7. 150 mm

Dicoba pakai tulangan geser 3 kaki, $\phi_s$ = 10 mm, dan jarak antar sengkang 100 mm.

$A_v$ = jumlah kaki x $\frac{1}{4}.\pi.\phi_s{}^2$

= 235,619449 mm$^2$

$V_s$ = $\frac{A_v.f_{yt}.d}{s}$

= 411862,7969 N ≈ 411,8627969 kN

$\phi$ ($V_s$+ $V_c$) = 0,75 (411,8627969 + 138,7912317)

= 412,9905214 kN

$V_u$ = 382,775 kN (*output* SAP2000)

$\phi V_n \geq V_u$

412,9905214 kN > 382,775 kN (OK!)

Dipakai tulangan geser pada daerah tumpuan 3P10-100, sengkang pertama dipasang 50 mm dari muka kolom di kedua ujung balok.

Sengkang terpasang = $\frac{1750-50}{100} + 1$ = 18 buah di ujung kiri dan 18 buah di ujung kanan.

Pada bagian tengah bentang :

$V_u$ = 54,872 kN (*output* SAP2000)

$V_s$ = $\frac{V_u}{\phi}$ = 73,16266667 kN

$V_s$ = $\frac{A_v.\ f_{yt}.\ d}{s}$

Bila dipasang tulangan geser 2 kaki, $\phi_s$ = 10 mm, maka

$A_v$ = jumlah kaki x $\frac{1}{4}.\pi.\phi_s{}^2$

= 157,0796327 mm$^2$

s = $\frac{A_v.\ f_{yt}.\ d}{V_s}$

= 375,2941362 mm

Spasi tulangan geser tidak boleh melebihi d/2

d/2 = (500-40)/2 = 230 mm

$s_{pakai}$ = 230 mm

Dipakai tulangan geser pada daerah lapangan 2P10-230. Jumlah tulangan geser yang terpasang adalah = $\frac{6200-(1750x2)}{230} + 1$ = 12,73913043 ≈ 12 buah di tengah balok. Rekapitulasi hasil desain tulangan geser untuk semua balok berdasarkan SNI 2847:2013 dapat dilihat pada Tabel 5.47, Tabel 5.48, Tabel 5.49, Tabel 5.50, Tabel 5.51, Tabel 5.52, Tabel 5.53, dan Tabel 5.54 berikut.

**Tabel 5.47 Hasil Perencanaan Tulangan Geser Balok BX Exterior 7 meter Berdasarkan SNI 2847:2013**

| Lantai | $V_e$ *gempa* (kN) | $V_e$ *gravitasi* (kN) | $V_e$ (kN) | Lokasi | $V_c$ (kN) | $V_s$ (kN) | Tulangan Terpasang (mm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1-3 | 71,35920584 | 295,122728 | 366,4819338 | Tumpuan | 138,7912317 | 175,7281267 | 2P8-100 (18 buah) |
| | | | | Lapangan | 0 | 83,74 | 2P8-210 (13 buah) |
| 4-6 | 71,35920584 | 295,122728 | 366,4819338 | Tumpuan | 138,7912317 | 175,7281267 | 2P8-100 (18 buah) |
| | | | | Lapangan | 0 | 87,152 | 2P8-200 (14 buah) |
| 7-9 | 59,39398929 | 295,122728 | 354,5167173 | Tumpuan | 138,7912317 | 175,7281267 | 2P8-100 (18 buah) |
| | | | | Lapangan | 0 | 80,59466667 | 2P8-220 (13 buah) |
| 10 | 59,39398929 | 295,122728 | 354,5167173 | Tumpuan | 138,7912317 | 175,7281267 | 2P8-100 (18 buah) |
| | | | | Lapangan | 0 | 51,708 | 2P8-230 (12 buah) |

**Tabel 5.48 Hasil Perencanaan Tulangan Geser Balok BX Exterior 4 meter Berdasarkan SNI 2847:2013**

| Lantai | $V_e$ *gempa* (kN) | $V_e$ *gravitasi* (kN) | $V_e$ (kN) | Lokasi | $V_c$ (kN) | $V_s$ (kN) | Tulangan Terpasang (mm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1-3 | 184,3796334 | 93,708416 | 278,0880494 | Tumpuan | 0 | 439,3203167 | 5P8-100 (10 buah) |
| | | | | Lapangan | 0 | 179,944 | 2P8-100 (13 buah) |
| 4-6 | 184,3796334 | 93,708416 | 278,0880494 | Tumpuan | 0 | 439,3203167 | 5P8-100 (10 buah) |
| | | | | Lapangan | 0 | 179,1146667 | 2P8-100 (13 buah) |
| 7-9 | 161,3529157 | 93,708416 | 255,0613317 | Tumpuan | 0 | 351,4562533 | 4P8-100 (10 buah) |
| | | | | Lapangan | 0 | 156,212 | 2P8-120 (11 buah) |
| 10 | 304,1002205 | 93,708416 | 397,8086365 | Tumpuan | 0 | 1479,815804 | 4P16-100 (10 buah) |
| | | | | Lapangan | 0 | 672,7346667 | 2P16-110 (11 buah) |

**Tabel 5.49 Hasil Perencanaan Tulangan Geser Balok BY Exterior 7 meter Berdasarkan SNI 2847:2013**

| Lantai | $V_e$ *gempa* (kN) | $V_e$ *gravitasi* (kN) | $V_e$ (kN) | Lokasi | $V_c$ (kN) | $V_s$ (kN) | Tulangan Terpasang (mm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1-3 | 160,8467781 | 302,488328 | 463,3351061 | Tumpuan | 232,3244531 | 378,19749 | 3P8-100 (18 buah) |
| | | | | Lapangan | 0 | 362,0106667 | 4P8-100 (28 buah) |
| 4-6 | 160,8467781 | 302,488328 | 463,3351061 | Tumpuan | 232,3244531 | 378,19749 | 3P8-100 (18 buah) |
| | | | | Lapangan | 0 | 349,576 | 4P8-100 (28 buah) |
| 7-9 | 135,2009229 | 302,488328 | 437,6892509 | Tumpuan | 232,3244531 | 252,13166 | 2P8-100 (18 buah) |
| | | | | Lapangan | 0 | 291,6573333 | 3P8-100 (28 buah) |
| 10 | 135,2009229 | 302,488328 | 437,6892509 | Tumpuan | 232,3244531 | 252,13166 | 2P8-100 (18 buah) |
| | | | | Lapangan | 0 | 97,38133333 | 2P8-180 (16 buah) |

**Tabel 5.50 Hasil Perencanaan Tulangan Geser Balok BY Exterior 2 meter Berdasarkan SNI 2847:2013**

| Lantai | $V_e$ *gempa* (kN) | $V_e$ *gravitasi* (kN) | $V_e$ (kN) | Lokasi | $V_c$ (kN) | $V_s$ (kN) | Tulangan Terpasang (mm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1-3 | 698,5381018 | 21,913008 | 720,4511098 | Tumpuan | 0 | 378,19749 | 3P8-100 (5 buah) |
| | | | | Lapangan | 0 | 270,4 | 3P8-100 (3 buah) |
| 4-6 | 698,5381018 | 21,913008 | 720,4511098 | Tumpuan | 0 | 378,19749 | 3P8-100 (5 buah) |
| | | | | Lapangan | 0 | 273,4373333 | 3P8-100 (3 buah) |
| 7-9 | 698,5381018 | 21,913008 | 720,4511098 | Tumpuan | 0 | 378,19749 | 3P8-100 (5 buah) |
| | | | | Lapangan | 0 | 264,3093333 | 3P8-100 (3 buah) |
| 10 | 696,441558 | 21,913008 | 718,354566 | Tumpuan | 0 | 787,9114375 | 4P10-100 (5 buah) |
| | | | | Lapangan | 0 | 353,556 | 3P10-120 (2 buah) |

**Tabel 5.51 Hasil Perencanaan Tulangan Geser Balok BX Interior 7 meter Berdasarkan SNI 2847:2013**

| Lantai | $V_e$ *gempa* (kN) | $V_e$ *gravitasi* (kN) | $V_e$ (kN) | Lokasi | $V_c$ (kN) | $V_s$ (kN) | Tulangan Terpasang (mm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1-3 | 71,02975168 | 278,371568 | 349,4013197 | Tumpuan | 138,7912317 | 411,8627969 | 3P10-100 (18 buah) |
| | | | | Lapangan | 0 | 73,16266667 | 2P10-230 (12 buah) |
| 4-6 | 71,02975168 | 278,371568 | 349,4013197 | Tumpuan | 138,7912317 | 411,8627969 | 3P10-100 (18 buah) |
| | | | | Lapangan | 0 | 72,056 | 2P10-230 (12 buah) |
| 7-9 | 59,39398929 | 278,371568 | 337,7655573 | Tumpuan | 138,7912317 | 351,4562533 | 4P8-100 (18 buah) |
| | | | | Lapangan | 0 | 65,704 | 2P8-230 (12 buah) |
| 10 | 59,39398929 | 278,371568 | 337,7655573 | Tumpuan | 138,7912317 | 175,7281267 | 2P8-100 (18 buah) |
| | | | | Lapangan | 0 | 46,39333333 | 2P8-230 (12 buah) |

**Tabel 5.52 Hasil Perencanaan Tulangan Geser Balok BX Interior 4 meter Berdasarkan SNI 2847:2013**

| Lantai | $V_e$ *gempa* (kN) | $V_e$ *gravitasi* (kN) | $V_e$ (kN) | Lokasi | $V_c$ (kN) | $V_s$ (kN) | Tulangan Terpasang (mm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1-3 | 203,2906448 | 85,062656 | 288,3533008 | Tumpuan | 0 | 686,4379948 | 5P10-100 (11 buah) |
| | | | | Lapangan | 0 | 200,6146667 | 2P10-140 (9 buah) |
| 4-6 | 203,2906448 | 85,062656 | 288,3533008 | Tumpuan | 0 | 686,4379948 | 5P10-100 (11 buah) |
| | | | | Lapangan | 0 | 195,5186667 | 2P10-140 (9 buah) |
| 7-9 | 183,2787672 | 85,062656 | 268,3414232 | Tumpuan | 0 | 549,1503958 | 4P10-100 (11 buah) |
| | | | | Lapangan | 0 | 168,7093333 | 2P10-170 (8 buah) |
| 10 | 291,2250004 | 85,062656 | 376,2876564 | Tumpuan | 0 | 1479,815804 | 4P16-100 (11 buah) |
| | | | | Lapangan | 0 | 660,22 | 2P16-110 (11 buah) |

**Tabel 5.53 Hasil Perencanaan Tulangan Geser Balok BY Interior 7 meter Berdasarkan SNI 2847:2013**

| Lantai | $V_e$ *gempa* (kN) | $V_e$ *gravitasi* (kN) | $V_e$ (kN) | Lokasi | $V_c$ (kN) | $V_s$ (kN) | Tulangan Terpasang (mm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1-3 | 160,8467781 | 286,853168 | 447,6999461 | Tumpuan | 232,3244531 | 590,9335781 | 3P10-100 (18 buah) |
| | | | | Lapangan | 0 | 266,6653333 | 2P10-110 (25 buah) |
| 4-6 | 160,8467781 | 286,853168 | 447,6999461 | Tumpuan | 232,3244531 | 378,19749 | 3P8-100 (18 buah) |
| | | | | Lapangan | 0 | 257,448 | 3P8-110 (25 buah) |
| 7-9 | 135,2009229 | 286,853168 | 422,0540909 | Tumpuan | 232,3244531 | 378,19749 | 3P8-100 (18 buah) |
| | | | | Lapangan | 0 | 258,5813333 | 3P8-110 (25 buah) |
| 10 | 135,2009229 | 286,853168 | 422,0540909 | Tumpuan | 232,3244531 | 252,13166 | 2P8-100 (18 buah) |
| | | | | Lapangan | 0 | 247,5893333 | 2P8-150 (19 buah) |

**Tabel 5.54 Hasil Perencanaan Tulangan Geser Balok BY Interior 2 meter Berdasarkan SNI 2847:2013**

| Lantai | $V_e$ *gempa* (kN) | $V_e$ *gravitasi* (kN) | $V_e$ (kN) | Lokasi | $V_c$ (kN) | $V_s$ (kN) | Tulangan Terpasang (mm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1-3 | 1384,220701 | 18,886848 | 1403,107549 | Tumpuan | 0 | 1592,410484 | 3P16-100 (5 buah) |
| | | | | Lapangan | 0 | 1200,245333 | 4P16-120 (2 buah) |
| 4-6 | 1598,660096 | 18,886848 | 1617,546944 | Tumpuan | 0 | 1592,410484 | 3P16-100 (5 buah) |
| | | | | Lapangan | 0 | 1300,730667 | 4P16-110 (2 buah) |
| 7-9 | 1343,237683 | 18,886848 | 1362,124531 | Tumpuan | 0 | 1592,410484 | 3P16-100 (5 buah) |
| | | | | Lapangan | 0 | 1130,318667 | 4P16-130 (2 buah) |
| 10 | 955,6195548 | 18,886848 | 974,5064028 | Tumpuan | 0 | 1134,59247 | 4P12-100 (5 buah) |
| | | | | Lapangan | 0 | 760,724 | 4P12-110 (2 buah) |

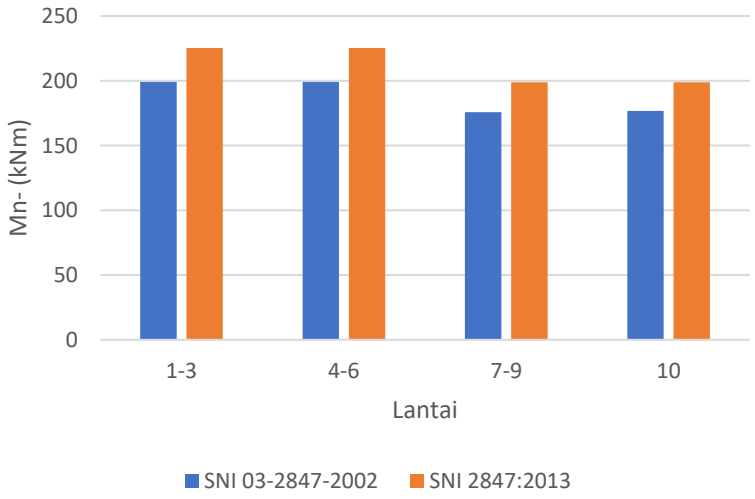
## 5.10 Perbandingan Hasil Perencanaan Balok Berdasarkan SNI 03-2847-2002 dan SNI 2847:2013

Perbandingan hasil analisis dan desain struktur balok beton bertulang pada gedung ini antara SNI 03-2847-2002 dan SNI 2847:2013 dapat dilihat pada tabel dan grafik dibawah ini.

1. BX Exterior 7 meter
   a. Momen nominal negatif (tumpuan)

**Tabel 5.55 Tabel Perbandingan $Mn^-$ BX Exterior 7 m (Tumpuan)**

| Lantai | SNI 03-2847-2002 | SNI 2847:2013 | Selisih (%) |
|---|---|---|---|
| 1-3 | 199,0440783 | 225,2896589 | 13,18581332 |
| 4-6 | 199,0440783 | 225,2896589 | 13,18581332 |
| 7-9 | 175,7221395 | 198,7925037 | 13,12888873 |
| 10 | 176,7017964 | 198,7925037 | 12,50168796 |

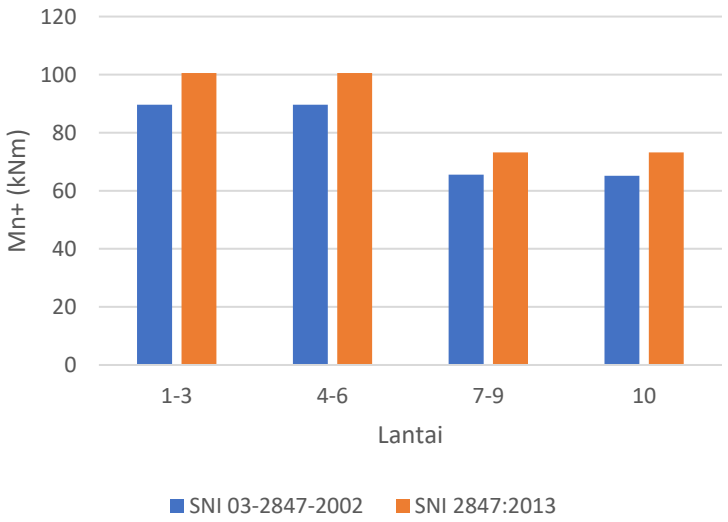



**Gambar 5.25 Grafik Perbandingan $Mn^-$ BX Exterior 7 m (Tumpuan)**

b. Momen nominal positif (tumpuan)

**Tabel 5.56 Tabel Perbandingan $Mn^+$ BX Exterior 7 m (Tumpuan)**

| Lantai | SNI 03-2847-2002 | SNI 2847:2013 | Selisih (%) |
|---|---|---|---|
| 1-3 | 89,64541428 | 100,5583352 | 12,17342907 |
| 4-6 | 89,64541428 | 100,5583352 | 12,17342907 |
| 7-9 | 65,5377402 | 73,18434789 | 11,66748757 |
| 10 | 65,17929287 | 73,18434789 | 12,28159231 |

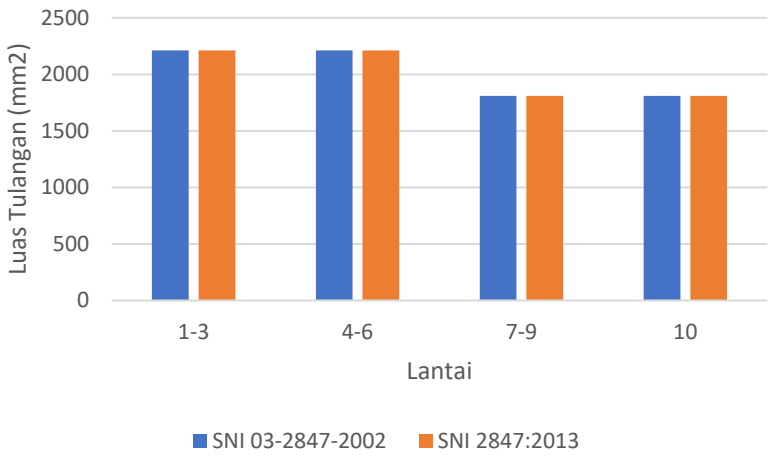



**Gambar 5.26 Grafik Perbandingan $Mn^+$ BX Exterior 7 m (Tumpuan)**

c. Luas tulangan lentur terpasang (tumpuan)

**Tabel 5.57 Tabel Perbandingan Luas Tulangan Lentur BX Exterior 7 m (Tumpuan)**

| Lantai | SNI 03-2847-2002 | SNI 2847:2013 | Selisih (%) |
|---|---|---|---|
| 1-3 | 2211,681228 | 2211,681228 | 0 |
| 4-6 | 2211,681228 | 2211,681228 | 0 |
| 7-9 | 1809,557368 | 1809,557368 | 0 |
| 10 | 1809,557368 | 1809,557368 | 0 |

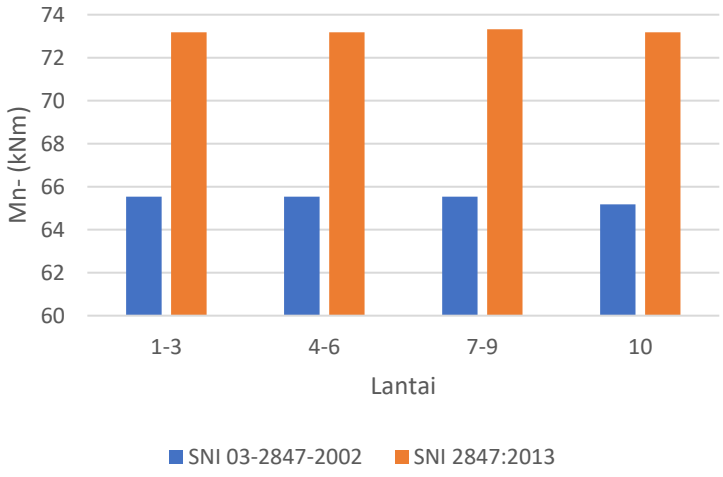



**Gambar 5.27 Grafik Perbandingan Luas Tulangan Lentur BX Exterior 7 m (Tumpuan)**

d. Momen nominal negatif (lapangan)

**Tabel 5.58 Tabel Perbandingan $Mn^-$ BX Exterior 7 m (Lapangan)**

| Lantai | SNI 03-2847-2002 | SNI 2847:2013 | Selisih (%) |
|---|---|---|---|
| 1-3 | 65,5377402 | 73,18434789 | 11,66748757 |
| 4-6 | 65,5377402 | 73,18434789 | 11,66748757 |
| 7-9 | 65,5377402 | 73,32670448 | 11,88470072 |
| 10 | 65,17929287 | 73,18434789 | 12,28159231 |

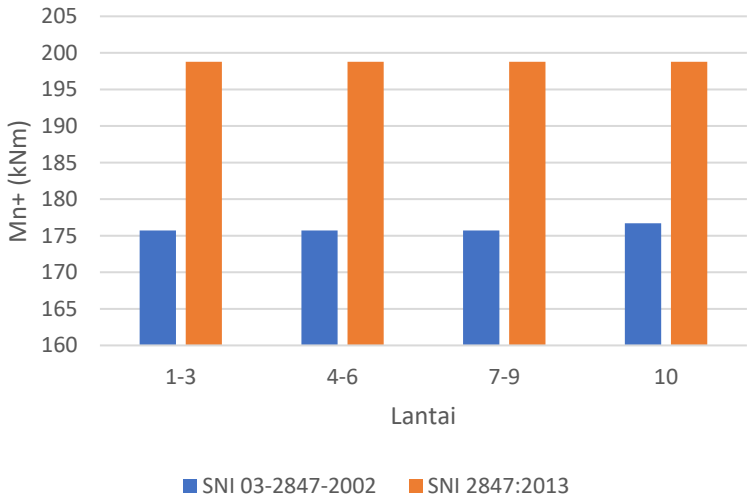



**Gambar 5.28 Grafik Perbandingan $Mn^-$ BX Exterior 7 m (Lapangan)**

e. Momen nominal positif (lapangan)

**Tabel 5.59 Tabel Perbandingan $Mn^+$ BX Exterior 7 m (Lapangan)**

| Lantai | SNI 03-2847-2002 | SNI 2847:2013 | Selisih (%) |
|---|---|---|---|
| 1-3 | 175,7221395 | 198,7925037 | 13,12888873 |
| 4-6 | 175,7221395 | 198,7925037 | 13,12888873 |
| 7-9 | 175,7221395 | 198,789521 | 13,12719136 |
| 10 | 176,7017964 | 198,7925037 | 12,50168796 |

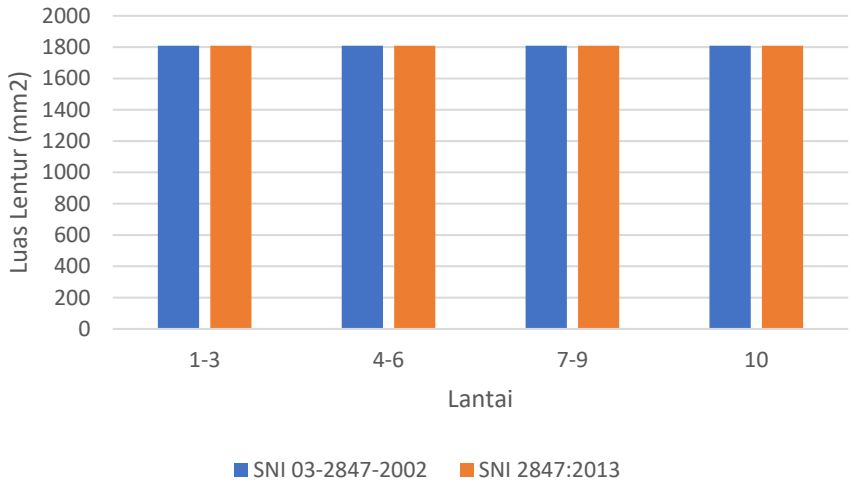



**Gambar 5.29 Grafik Perbandingan $Mn^+$ BX Exterior 7 m (Lapangan)**

f. Luas tulangan lentur terpasang (lapangan)

**Tabel 5.60 Tabel Perbandingan Luas Tulangan Lentur BX Exterior 7 m (Lapangan)**

| Lantai | SNI 03-2847-2002 | SNI 2847:2013 | Selisih (%) |
|---|---|---|---|
| 1-3 | 1809,557368 | 1809,557368 | 0 |
| 4-6 | 1809,557368 | 1809,557368 | 0 |
| 7-9 | 1809,557368 | 1809,557368 | 0 |
| 10 | 1809,557368 | 1809,557368 | 0 |

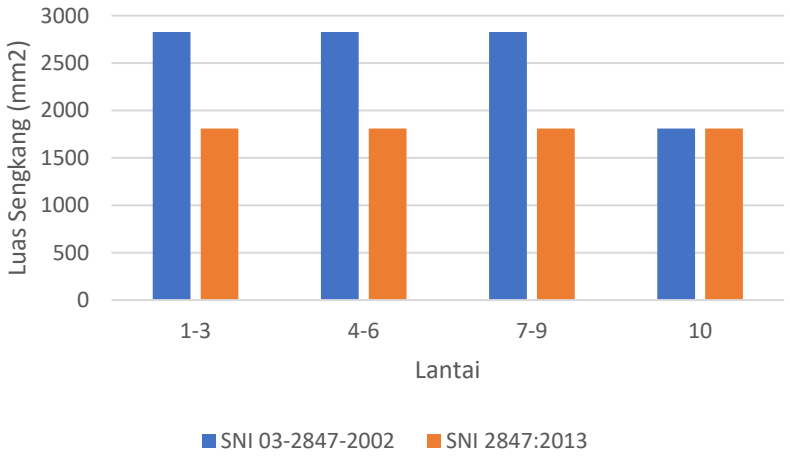



**Gambar 5.30 Grafik Perbandingan Luas Tulangan Lentur BX Exterior 7 m (Lapangan)**

g. Luas sengkang terpasang (tumpuan)

**Tabel 5.61 Tabel Perbandingan Luas Sengkang BX Exterior 7 m (Tumpuan)**

| Lantai | SNI 03-2847-2002 | SNI 2847:2013 | Selisih (%) |
|---|---|---|---|
| 1-3 | 2827,433388 | 1809,557368 | -36 |
| 4-6 | 2827,433388 | 1809,557368 | -36 |
| 7-9 | 2827,433388 | 1809,557368 | -36 |
| 10 | 1809,557368 | 1809,557368 | 0 |

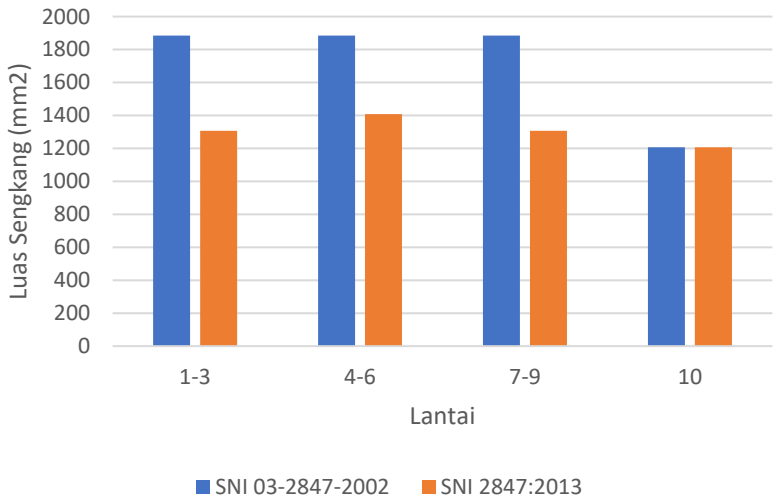



**Gambar 5.31 Grafik Perbandingan Luas Sengkang BX Exterior 7 m (Tumpuan)**

h. Luas sengkang terpasang (lapangan)

**Tabel 5.62 Tabel Perbandingan Luas Sengkang BX Exterior 7 m (Lapangan)**

| Lantai | SNI 03-2847-2002 | SNI 2847:2013 | Selisih (%) |
|---|---|---|---|
| 1-3 | 1884,955592 | 1306,902544 | -30,66666667 |
| 4-6 | 1884,955592 | 1407,433509 | -25,33333333 |
| 7-9 | 1884,955592 | 1306,902544 | -30,66666667 |
| 10 | 1206,371579 | 1206,371579 | 0 |



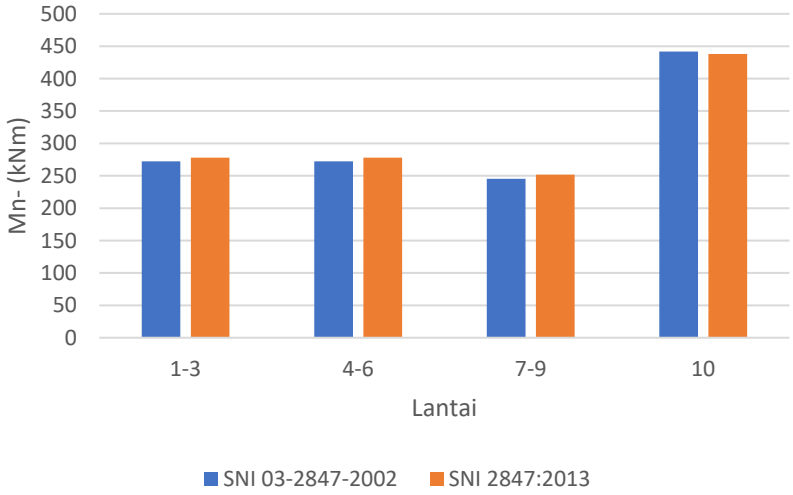

**Gambar 5.32 Grafik Perbandingan Luas Sengkang BX Exterior 7 m (Lapangan)**

2. BX Exterior 4 meter

a. Momen nominal negatif (tumpuan)

**Tabel 5.63 Tabel Perbandingan $Mn^-$ BX Exterior 4 m (Tumpuan)**

| Lantai | SNI 03-2847-2002 | SNI 2847:2013 | Selisih (%) |
|---|---|---|---|
| 1-3 | 272,3773058 | 278,0751818 | 2,091905575 |
| 4-6 | 272,3773058 | 278,0751818 | 2,091905575 |
| 7-9 | 245,462687 | 251,7054538 | 2,543265084 |
| 10 | 441,6505294 | 438,1747625 | -0,786994841 |

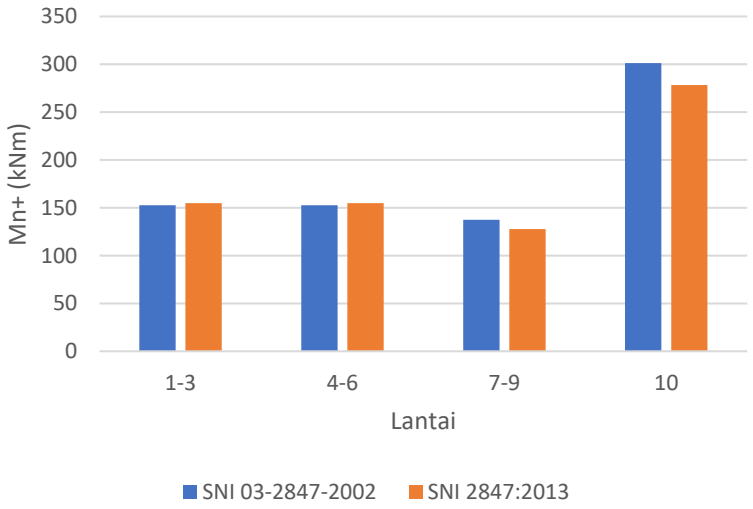



**Gambar 5.33 Grafik Perbandingan $Mn^-$ BX Exterior 4 m (Tumpuan)**

b. Momen nominal positif (tumpuan)

**Tabel 5.64 Tabel Perbandingan $Mn^+$ BX Exterior 4 m (Tumpuan)**

| Lantai | SNI 03-2847-2002 | SNI 2847:2013 | Selisih (%) |
|---|---|---|---|
| 1-3 | 152,6256661 | 154,89111 | 1,484313914 |
| 4-6 | 152,6256661 | 154,89111 | 1,484313914 |
| 7-9 | 137,4715538 | 127,7842129 | -7,046796747 |
| 10 | 301,2165283 | 278,2726159 | -7,617082839 |

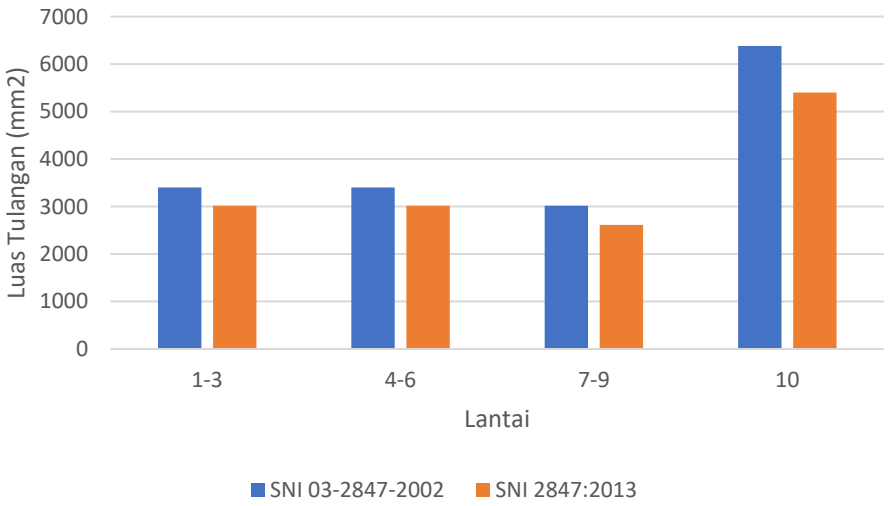



**Gambar 5.34 Grafik Perbandingan $Mn^+$ BX Exterior 4 m (Tumpuan)**

c. Luas tulangan lentur terpasang (tumpuan)

**Tabel 5.65 Tabel Perbandingan Luas Tulangan Lentur BX Exterior 4 m (Tumpuan)**

| Lantai | SNI 03-2847-2002 | SNI 2847:2013 | Selisih (%) |
|---|---|---|---|
| 1-3 | 3402,344844 | 3015,928947 | -11,35734072 |
| 4-6 | 3402,344844 | 3015,928947 | -11,35734072 |
| 7-9 | 3015,928947 | 2613,805088 | -13,33333333 |
| 10 | 6381,360078 | 5399,612373 | -15,38461538 |

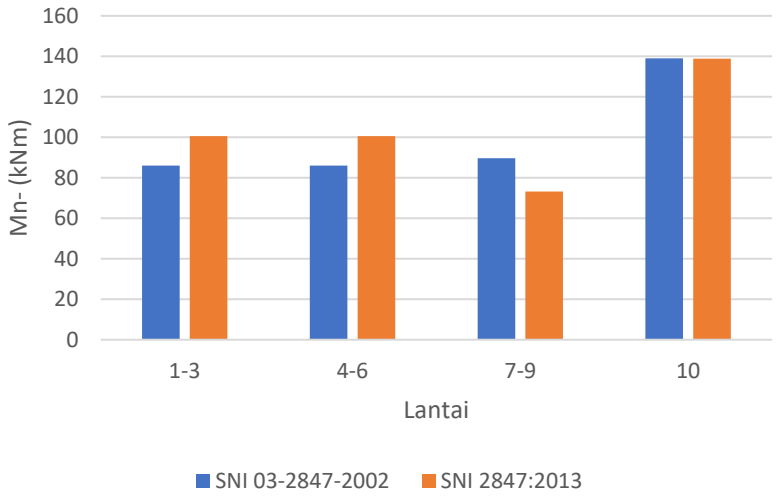



**Gambar 5.35 Grafik Perbandingan Luas Tulangan Lentur BX Exterior 4 m (Tumpuan)**

d. Momen nominal negatif (lapangan)

**Tabel 5.66 Tabel Perbandingan *Mn*⁻ BX Exterior 4 m (Lapangan)**

| Lantai | SNI 03-2847-2002 | SNI 2847:2013 | Selisih (%) |
|---|---|---|---|
| 1-3 | 86,02539713 | 100,5583352 | 16,89377621 |
| 4-6 | 86,02539713 | 100,5583352 | 16,89377621 |
| 7-9 | 89,64541428 | 73,18434789 | -18,36241878 |
| 10 | 139,0087002 | 138,8061266 | -0,145727284 |

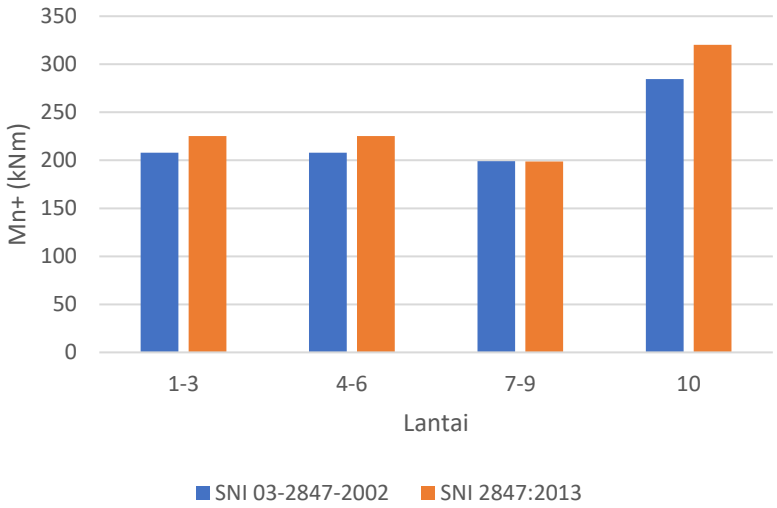



**Gambar 5.36 Grafik Perbandingan $Mn^-$ BX Exterior 4 m (Lapangan)**

e. Momen nominal positif (lapangan)

**Tabel 5.67 Tabel Perbandingan $Mn^+$ BX Exterior 4 m (Lapangan)**

| Lantai | SNI 03-2847-2002 | SNI 2847:2013 | Selisih (%) |
|---|---|---|---|
| 1-3 | 207,9150668 | 225,2896589 | 8,356581574 |
| 4-6 | 207,9150668 | 225,2896589 | 8,356581574 |
| 7-9 | 199,0440783 | 198,7925037 | -0,126391438 |
| 10 | 284,6230527 | 320,2421452 | 12,51447914 |

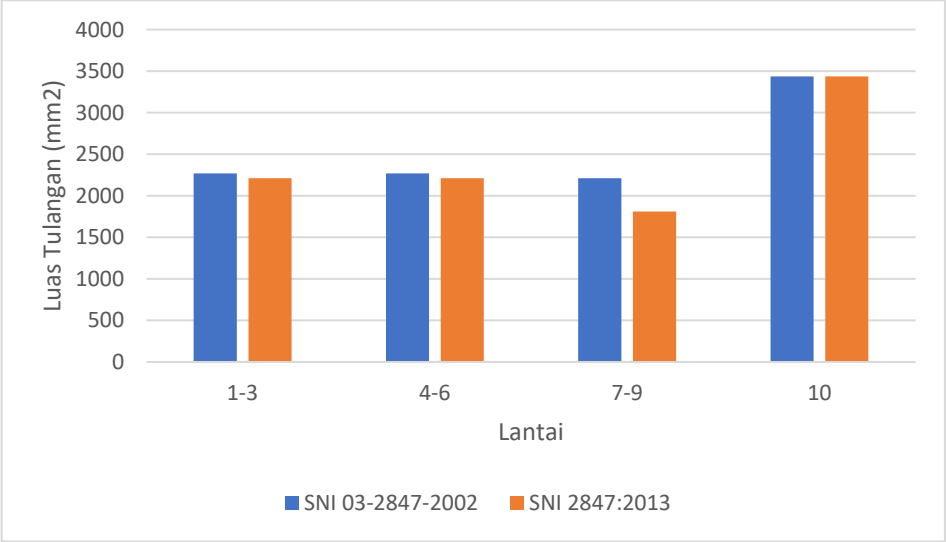



**Gambar 5.37 Grafik Perbandingan $Mn^+$ BX Exterior 4 m (Lapangan)**

f. Luas tulangan lentur terpasang (lapangan)

**Tabel 5.68 Tabel Perbandingan Luas Tulangan Lentur BX Exterior 4 m (Lapangan)**

| Lantai | SNI 03-2847-2002 | SNI 2847:2013 | Selisih (%) |
|---|---|---|---|
| 1-3 | 2268,229896 | 2211,681228 | -2,493074792 |
| 4-6 | 2268,229896 | 2211,681228 | -2,493074792 |
| 7-9 | 2211,681228 | 1809,557368 | -18,18181818 |
| 10 | 3436,116965 | 3436,116965 | 0 |

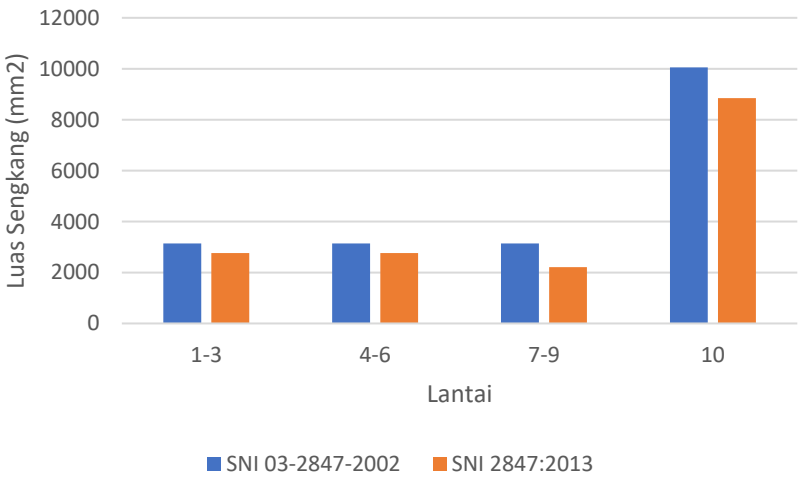



**Gambar 5.38 Grafik Perbandingan Luas Tulangan Lentur BX Exterior 4 m (Lapangan)**

g. Luas sengkang terpasang (tumpuan)

**Tabel 5.69 Tabel Perbandingan Luas Sengkang BX Exterior 4 m (Tumpuan)**

| Lantai | SNI 03-2847-2002 | SNI 2847:2013 | Selisih (%) |
|---|---|---|---|
| 1-3 | 3141,592654 | 2764,601535 | -12 |
| 4-6 | 3141,592654 | 2764,601535 | -12 |
| 7-9 | 3141,592654 | 2211,681228 | -29,6 |
| 10 | 10053,09649 | 8846,724913 | -12 |

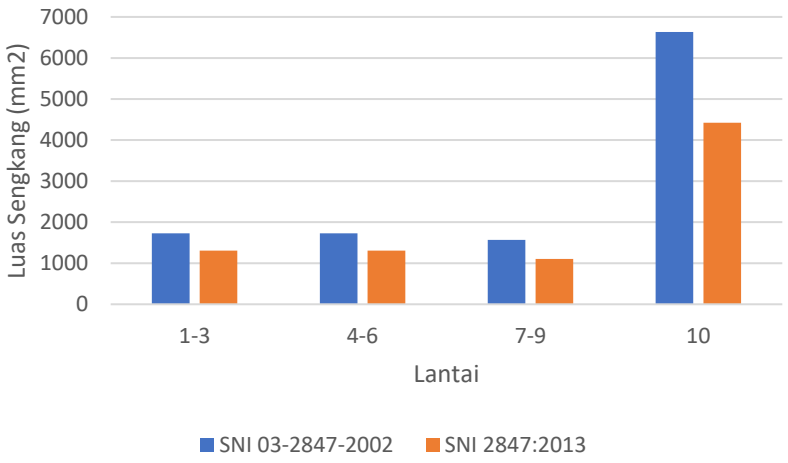



**Gambar 5.39 Grafik Perbandingan Luas Sengkang BX Exterior 4 m (Tumpuan)**

h. Luas sengkang terpasang (lapangan)

**Tabel 5.70 Tabel Perbandingan Luas Sengkang BX Exterior 4 m (Lapangan)**

| Lantai | SNI 03-2847-2002 | SNI 2847:2013 | Selisih (%) |
|---|---|---|---|
| 1-3 | 1727,875959 | 1306,902544 | -24,36363636 |
| 4-6 | 1727,875959 | 1306,902544 | -24,36363636 |
| 7-9 | 1570,796327 | 1105,840614 | -29,6 |
| 10 | 6635,043684 | 4423,362456 | -33,33333333 |



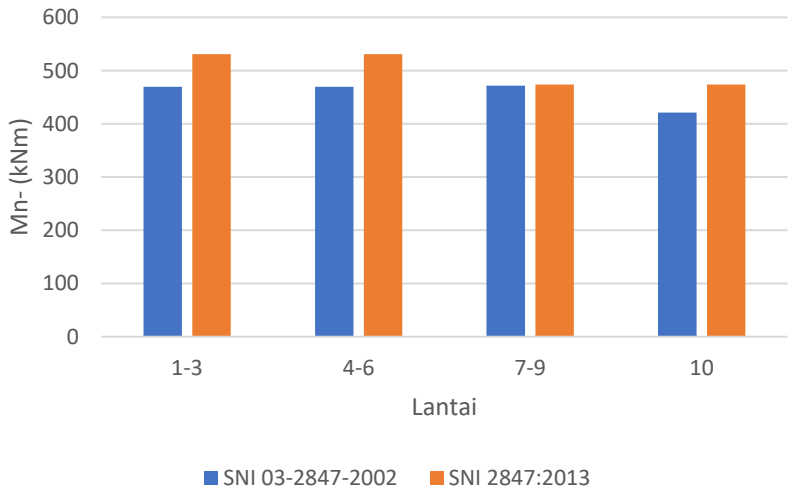

**Gambar 5.40 Grafik Perbandingan Luas Sengkang BX Exterior 4 m (Lapangan)**

3. BY Exterior 7 meter

a. Momen nominal negatif (tumpuan)

**Tabel 5.70 Tabel Perbandingan *Mn*⁻ BY Exterior 7 m (Tumpuan)**

| Lantai | SNI 03-2847-2002 | SNI 2847:2013 | Selisih (%) |
|---|---|---|---|
| 1-3 | 469,6114008 | 530,7245313 | 13,01355343 |
| 4-6 | 469,6114008 | 530,7245313 | 13,01355343 |
| 7-9 | 471,6906293 | 473,8455772 | 0,456856197 |
| 10 | 421,1554921 | 473,8455772 | 12,5108389 |

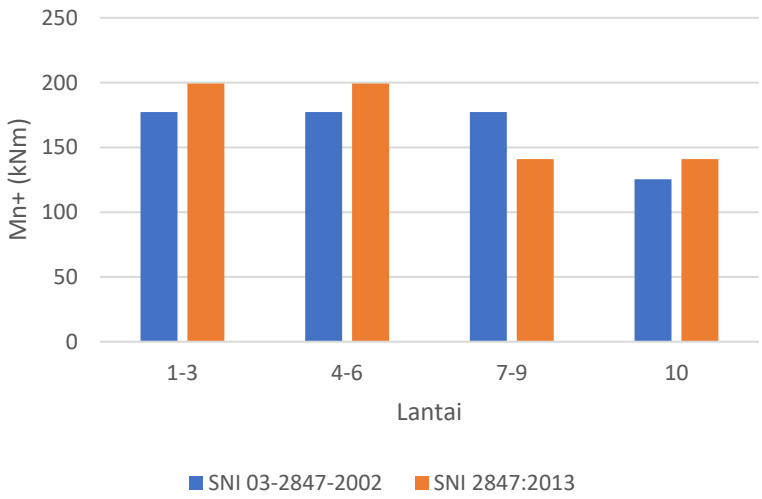



**Gambar 5.41 Grafik Perbandingan *Mn*⁻ BY Exterior 7 m (Tumpuan)**

b. Momen nominal positif (tumpuan)

**Tabel 5.71 Tabel Perbandingan *Mn*⁺ BY Exterior 7 m (Tumpuan)**

| Lantai | SNI 03-2847-2002 | SNI 2847:2013 | Selisih (%) |
|---|---|---|---|
| 1-3 | 177,3092333 | 199,2359933 | 12,36639489 |
| 4-6 | 177,3092333 | 199,2359933 | 12,36639489 |
| 7-9 | 177,2465485 | 140,9349399 | -20,48649686 |
| 10 | 125,4345551 | 140,9349399 | 12,35734822 |

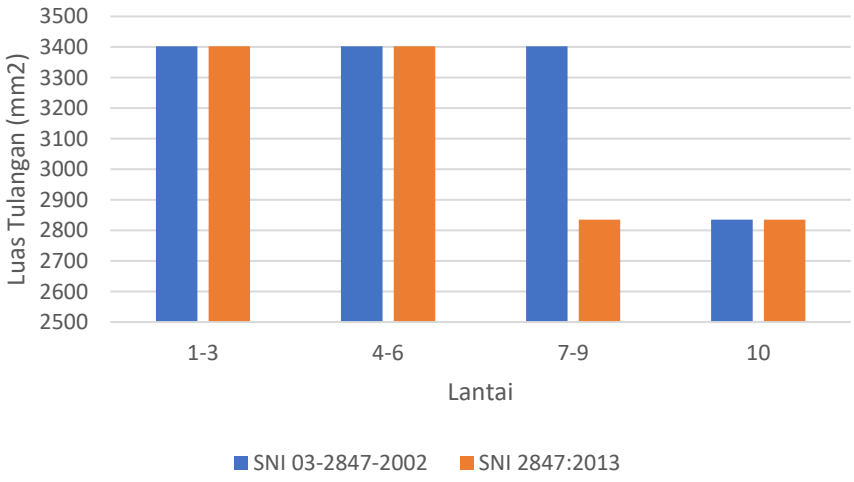



**Gambar 5.42 Grafik Perbandingan $Mn^{+}$ BY Exterior 7 m (Tumpuan)**

c. Luas tulangan lentur terpasang (tumpuan)

**Tabel 5.72 Tabel Perbandingan Luas Tulangan Lentur BY Exterior 7 m (Tumpuan)**

| Lantai | SNI 03-2847-2002 | SNI 2847:2013 | Selisih (%) |
|---|---|---|---|
| 1-3 | 3402,344844 | 3402,344844 | 0 |
| 4-6 | 3402,344844 | 3402,344844 | 0 |
| 7-9 | 3402,344844 | 2835,28737 | -16,66666667 |
| 10 | 2835,28737 | 2835,28737 | 0 |

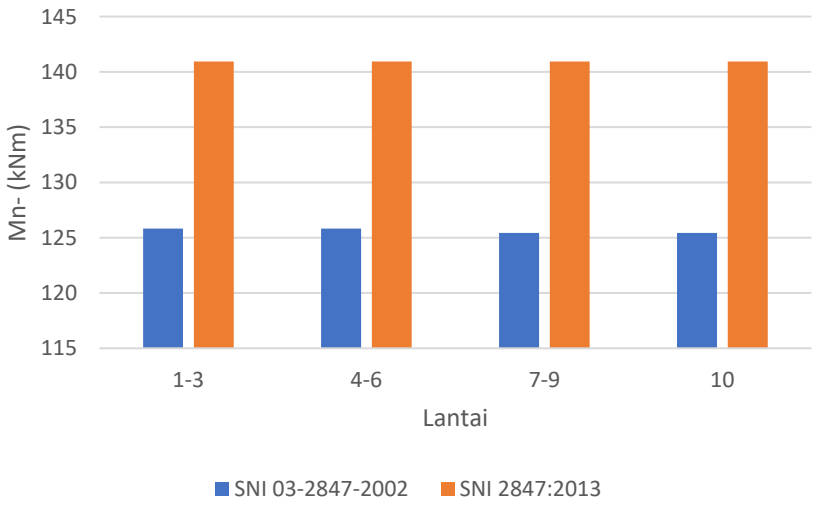



**Gambar 5.43 Grafik Perbandingan Luas Tulangan Lentur BY Exterior 7 m (Tumpuan)**

d. Momen nominal negatif (lapangan)

**Tabel 5.73 Tabel Perbandingan $Mn^-$ BY Exterior 7 m (Lapangan)**

| Lantai | SNI 03-2847-2002 | SNI 2847:2013 | Selisih (%) |
|---|---|---|---|
| 1-3 | 125,8181587 | 140,9349399 | 12,0147849 |
| 4-6 | 125,8181587 | 140,9349399 | 12,0147849 |
| 7-9 | 125,4345551 | 140,9349399 | 12,35734822 |
| 10 | 125,4345551 | 140,9349399 | 12,35734822 |

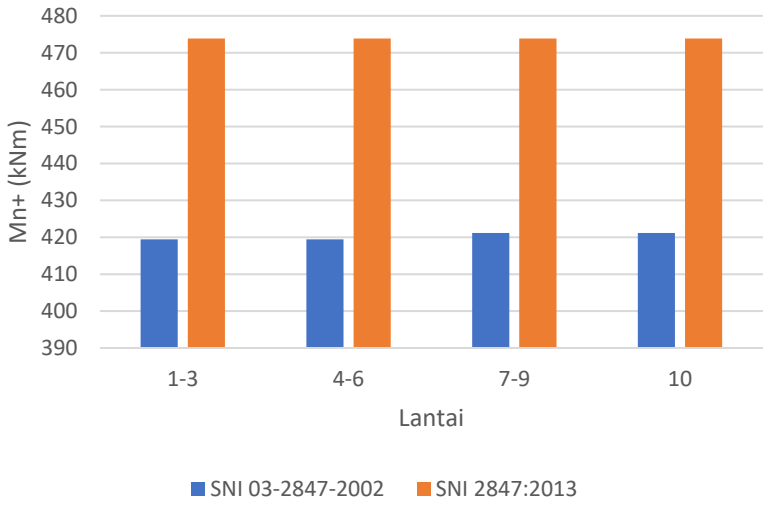



**Gambar 5.44 Grafik Perbandingan $Mn^-$ BY Exterior 7 m (Lapangan)**

e. Momen nominal positif (lapangan)

**Tabel 5.74 Tabel Perbandingan $Mn^+$ BY Exterior 7 m (Lapangan)**

| Lantai | SNI 03-2847-2002 | SNI 2847:2013 | Selisih (%) |
|---|---|---|---|
| 1-3 | 419,4273676 | 473,8455772 | 12,97440601 |
| 4-6 | 419,4273676 | 473,8455772 | 12,97440601 |
| 7-9 | 421,1554921 | 473,8455772 | 12,5108389 |
| 10 | 421,1554921 | 473,8455772 | 12,5108389 |

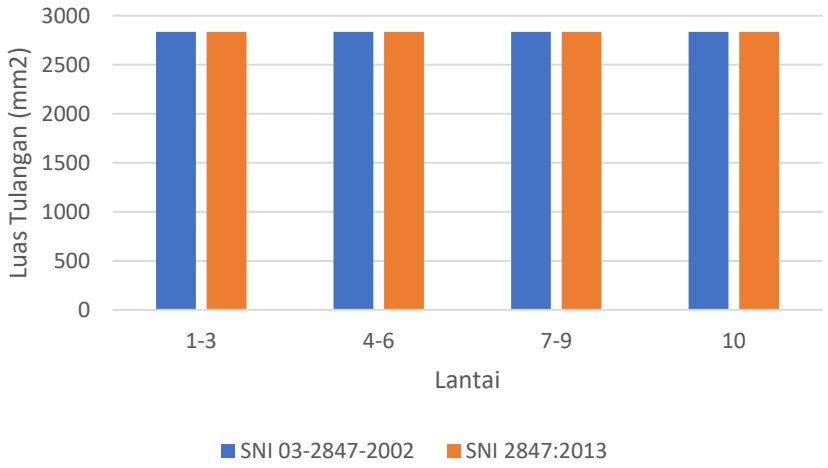



**Gambar 5.45 Grafik Perbandingan $Mn^{+}$ BY Exterior 7 m (Lapangan)**

f. Luas tulangan lentur terpasang (lapangan)

**Tabel 5.75 Tabel Perbandingan Luas Tulangan Lentur BY Exterior 7 m (Lapangan)**

| Lantai | SNI 03-2847-2002 | SNI 2847:2013 | Selisih (%) |
|---|---|---|---|
| 1-3 | 2835,28737 | 2835,28737 | 0 |
| 4-6 | 2835,28737 | 2835,28737 | 0 |
| 7-9 | 2835,28737 | 2835,28737 | 0 |
| 10 | 2835,28737 | 2835,28737 | 0 |

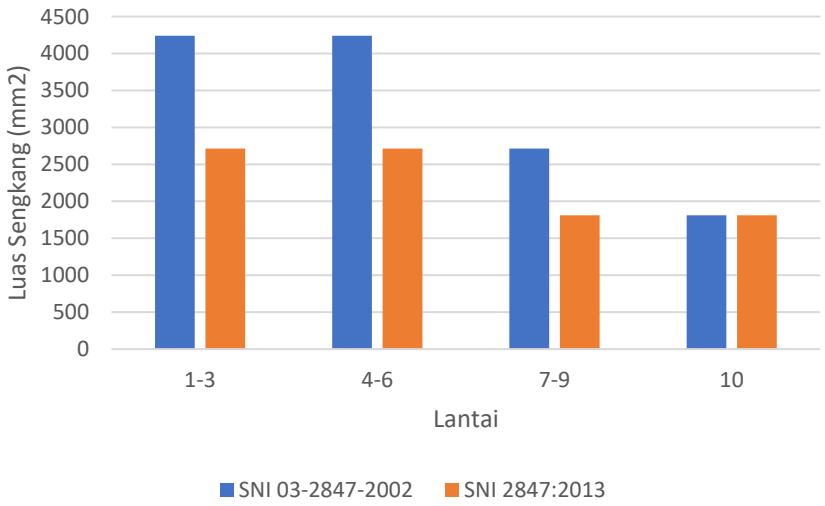



**Gambar 5.46 Grafik Perbandingan Luas Tulangan Lentur BY Exterior 7 m (Lapangan)**

g. Luas sengkang terpasang (tumpuan)

**Tabel 5.76 Tabel Perbandingan Luas Sengkang BY Exterior 7 m (Tumpuan)**

| Lantai | SNI 03-2847-2002 | SNI 2847:2013 | Selisih (%) |
|---|---|---|---|
| 1-3 | 4241,150082 | 2714,336053 | -36 |
| 4-6 | 4241,150082 | 2714,336053 | -36 |
| 7-9 | 2714,336053 | 1809,557368 | -33,33333333 |
| 10 | 1809,557368 | 1809,557368 | 0 |

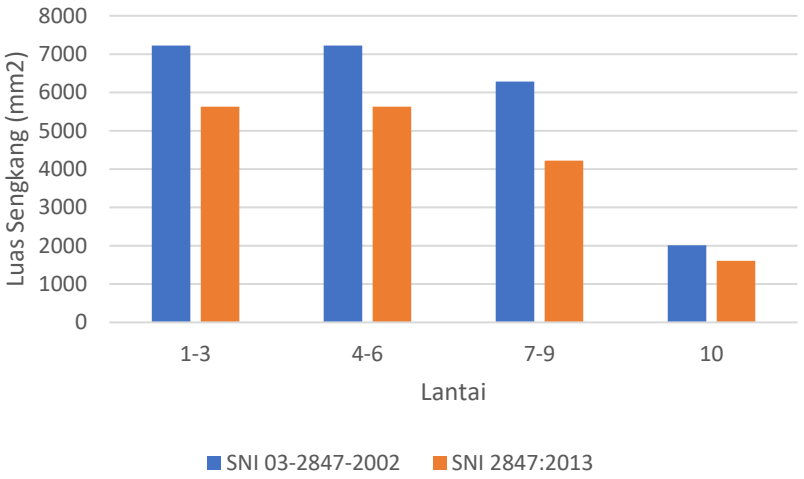



**Gambar 5.47 Grafik Perbandingan Luas Sengkang BY Exterior 7 m (Tumpuan)**

h. Luas sengkang terpasang (lapangan)

**Tabel 5.77 Tabel Perbandingan Luas Sengkang BY Exterior 7 m (Lapangan)**

| Lantai | SNI 03-2847-2002 | SNI 2847:2013 | Selisih (%) |
|---|---|---|---|
| 1-3 | 7225,663103 | 5629,734035 | -22,08695652 |
| 4-6 | 7225,663103 | 5629,734035 | -22,08695652 |
| 7-9 | 6283,185307 | 4222,300526 | -32,8 |
| 10 | 2010,619298 | 1608,495439 | -20 |



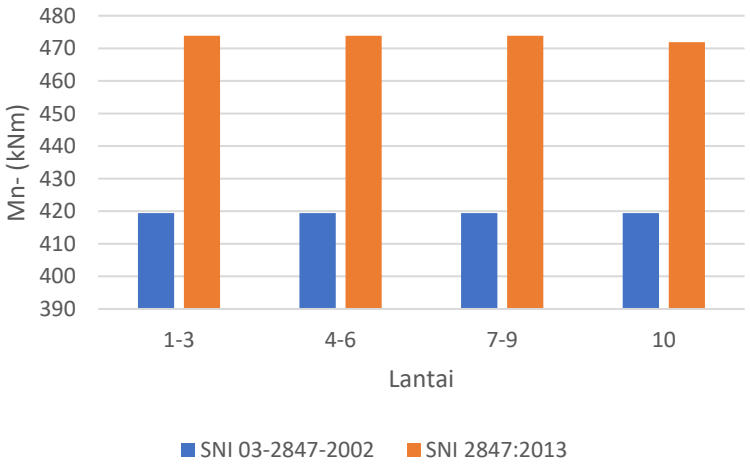

**Gambar 5.48 Grafik Perbandingan Luas Sengkang BY Exterior 7 m (Lapangan)**

4. BY Exterior 2 meter

   a. Momen nominal negatif (tumpuan)

**Tabel 5.78 Tabel Perbandingan *Mn*⁻ BY Exterior 2 m (Tumpuan)**

| Lantai | SNI 03-2847-2002 | SNI 2847:2013 | Selisih (%) |
|---|---|---|---|
| 1-3 | 419,4273676 | 473,8455772 | 12,97440601 |
| 4-6 | 419,4273676 | 473,8455772 | 12,97440601 |
| 7-9 | 419,4273676 | 473,8455772 | 12,97440601 |
| 10 | 419,4273676 | 471,898562 | 12,51019805 |

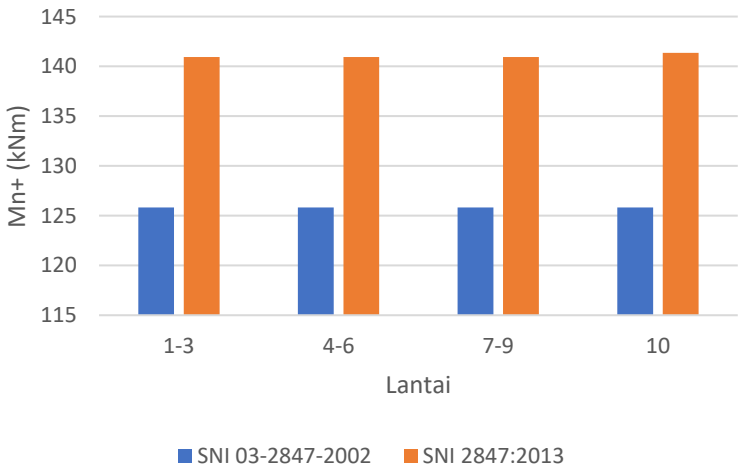



**Gambar 5.49 Grafik Perbandingan *Mn*⁻ BY Exterior 2 m (Tumpuan)**

b. Momen nominal positif (tumpuan)

**Tabel 5.79 Tabel Perbandingan $Mn^+$ BY Exterior 2 m (Tumpuan)**

| Lantai | SNI 03-2847-2002 | SNI 2847:2013 | Selisih (%) |
|---|---|---|---|
| 1-3 | 125,8181587 | 140,9349399 | 12,0147849 |
| 4-6 | 125,8181587 | 140,9349399 | 12,0147849 |
| 7-9 | 125,8181587 | 140,9349399 | 12,0147849 |
| 10 | 125,8181587 | 141,356947 | 12,35019523 |

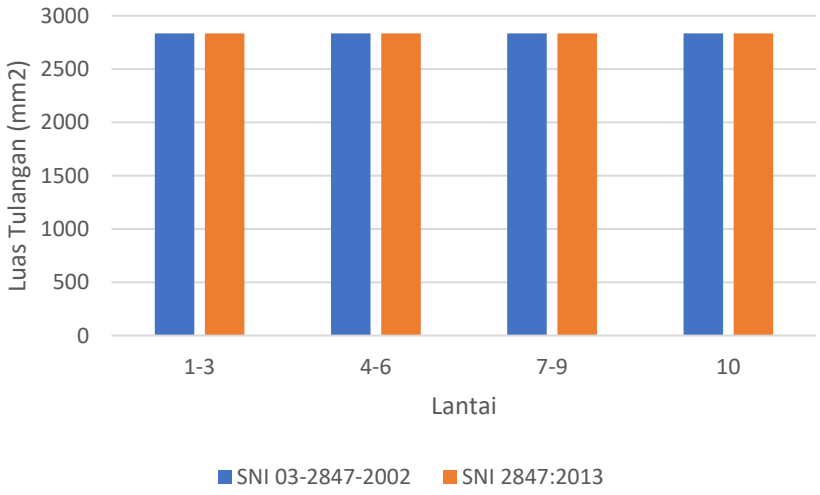



**Gambar 5.50 Grafik Perbandingan $Mn^+$ BY Exterior 2 m (Tumpuan)**

c. Luas tulangan lentur terpasang (tumpuan)

**Tabel 5.80 Tabel Perbandingan Luas Tulangan Lentur BY Exterior 2 m (Tumpuan)**

| Lantai | SNI 03-2847-2002 | SNI 2847:2013 | Selisih (%) |
|---|---|---|---|
| 1-3 | 2835,28737 | 2835,28737 | 0 |
| 4-6 | 2835,28737 | 2835,28737 | 0 |
| 7-9 | 2835,28737 | 2835,28737 | 0 |
| 10 | 2835,28737 | 2835,28737 | 0 |

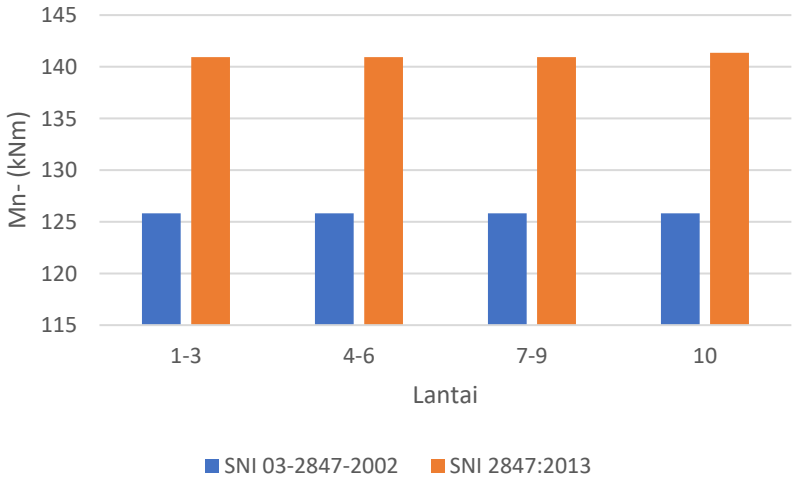



**Gambar 5.51 Grafik Perbandingan Luas Tulangan Lentur BY Exterior 2 m (Tumpuan)**

d. Momen nominal negatif (lapangan)

**Tabel 5.81 Tabel Perbandingan *Mn*⁻ BY Exterior 2 m (Lapangan)**

| Lantai | SNI 03-2847-2002 | SNI 2847:2013 | Selisih (%) |
|---|---|---|---|
| 1-3 | 125,8181587 | 140,9349399 | 12,0147849 |
| 4-6 | 125,8181587 | 140,9349399 | 12,0147849 |
| 7-9 | 125,8181587 | 140,9349399 | 12,0147849 |
| 10 | 125,8181587 | 141,356947 | 12,35019523 |

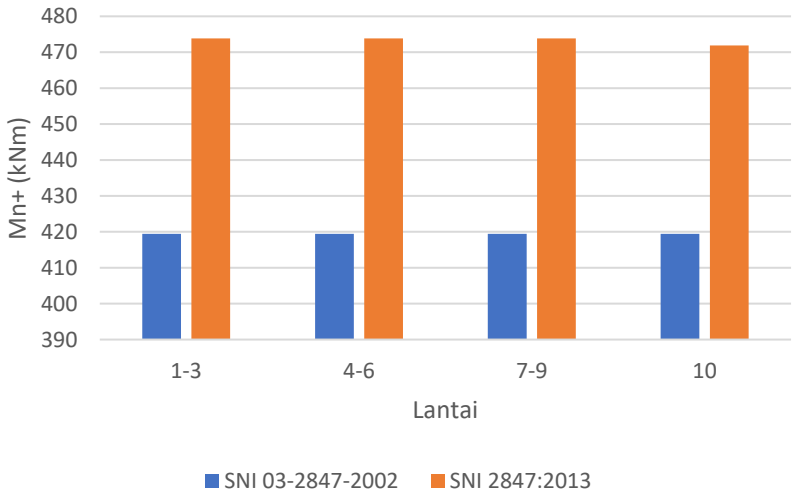



**Gambar 5.52 Grafik Perbandingan *Mn*⁻ BY Exterior 2 m (Lapangan)**

e. Momen nominal positif (lapangan)

**Tabel 5.82 Tabel Perbandingan $Mn^+$ BY Exterior 2 m (Lapangan)**

| Lantai | SNI 03-2847-2002 | SNI 2847:2013 | Selisih (%) |
|---|---|---|---|
| 1-3 | 419,4273676 | 473,8455772 | 12,97440601 |
| 4-6 | 419,4273676 | 473,8455772 | 12,97440601 |
| 7-9 | 419,4273676 | 473,8455772 | 12,97440601 |
| 10 | 419,4273676 | 471,898562 | 12,51019805 |

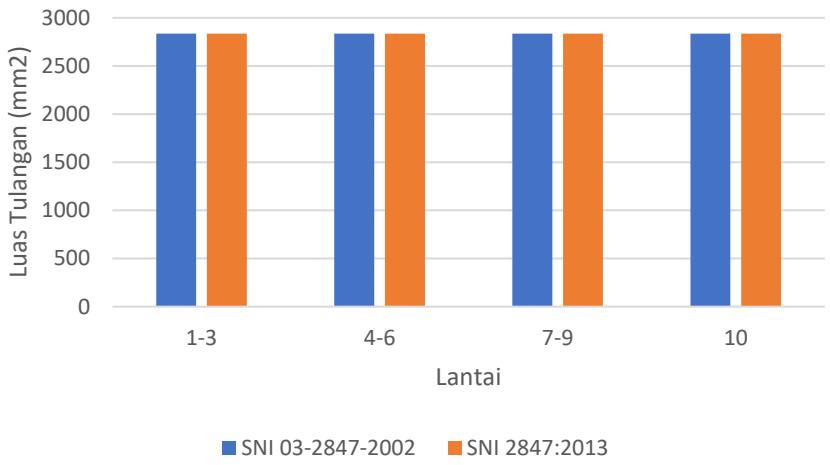



**Gambar 5.53 Grafik Perbandingan $Mn^+$ BY Exterior 2 m (Lapangan)**

f. Luas tulangan lentur terpasang (lapangan)

**Tabel 5.83 Tabel Perbandingan Luas Tulangan Lentur BY Exterior 2 m (Lapangan)**

| Lantai | SNI 03-2847-2002 | SNI 2847:2013 | Selisih (%) |
|---|---|---|---|
| 1-3 | 2835,28737 | 2835,28737 | 0 |
| 4-6 | 2835,28737 | 2835,28737 | 0 |
| 7-9 | 2835,28737 | 2835,28737 | 0 |
| 10 | 2835,28737 | 2835,28737 | 0 |

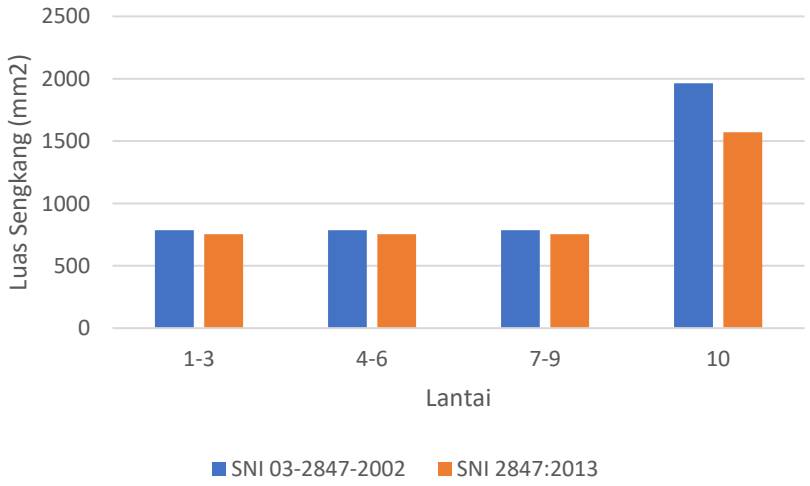



**Gambar 5.54 Grafik Perbandingan Luas Tulangan Lentur BY Exterior 2 m (Lapangan)**

g. Luas sengkang terpasang (tumpuan)

**Tabel 5.84 Tabel Perbandingan Luas Sengkang BY Exterior 2 m (Tumpuan)**

| Lantai | SNI 03-2847-2002 | SNI 2847:2013 | Selisih (%) |
|---|---|---|---|
| 1-3 | 785,3981634 | 753,9822369 | -4 |
| 4-6 | 785,3981634 | 753,9822369 | -4 |
| 7-9 | 785,3981634 | 753,9822369 | -4 |
| 10 | 1963,495408 | 1570,796327 | -20 |

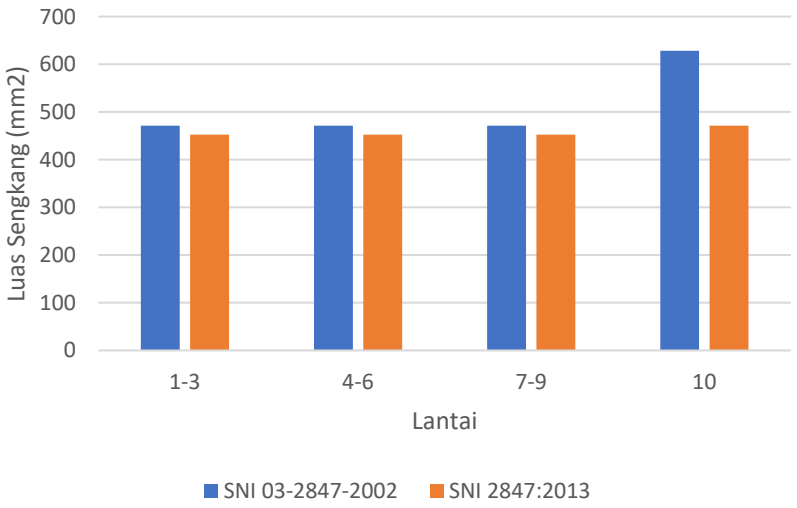



**Gambar 5.55 Grafik Perbandingan Luas Sengkang BY Exterior 2 m (Tumpuan)**

h. Luas sengkang terpasang (lapangan)

**Tabel 5.85 Tabel Perbandingan Luas Sengkang BY Exterior 2 m (Lapangan)**

| Lantai | SNI 03-2847-2002 | SNI 2847:2013 | Selisih (%) |
|---|---|---|---|
| 1-3 | 471,238898 | 452,3893421 | -4 |
| 4-6 | 471,238898 | 452,3893421 | -4 |
| 7-9 | 471,238898 | 452,3893421 | -4 |
| 10 | 628,3185307 | 471,238898 | -25 |



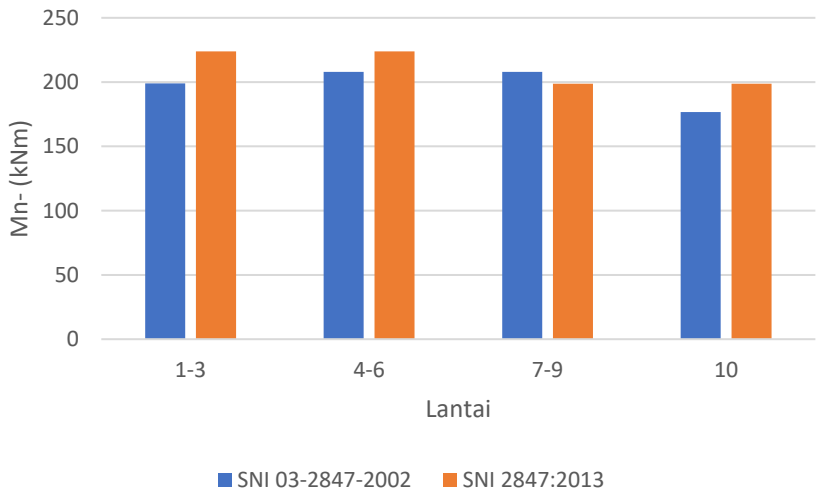

**Gambar 5.56 Grafik Perbandingan Luas Sengkang BY Exterior 2 m (Lapangan)**

5. BX Interior 7 meter

a. Momen nominal negatif (tumpuan)

**Tabel 5.86 Tabel Perbandingan $Mn^-$ BX Interior 7 m (Tumpuan)**

| Lantai | SNI 03-2847-2002 | SNI 2847:2013 | Selisih (%) |
|---|---|---|---|
| 1-3 | 199,0440783 | 223,9365432 | 12,50600624 |
| 4-6 | 207,9150668 | 223,9365432 | 7,705779418 |
| 7-9 | 207,9150668 | 198,7925037 | -4,387639267 |
| 10 | 176,7017964 | 198,7925037 | 12,50168796 |

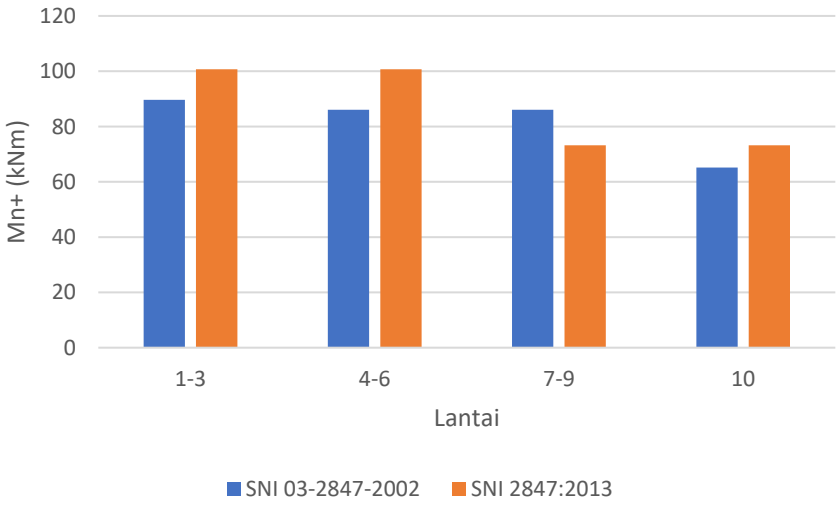



**Gambar 5.57 Grafik Perbandingan *Mn*⁻ BX Interior 7 m (Tumpuan)**

b. Momen nominal positif (tumpuan)

**Tabel 5.87 Tabel Perbandingan *Mn*⁺ BX Interior 7 m (Tumpuan)**

| Lantai | SNI 03-2847-2002 | SNI 2847:2013 | Selisih (%) |
|---|---|---|---|
| 1-3 | 89,64541428 | 100,7090682 | 12,34157263 |
| 4-6 | 86,02539713 | 100,7090682 | 17,06899538 |
| 7-9 | 86,02539713 | 73,18434789 | -14,92704441 |
| 10 | 65,17929287 | 73,18434789 | 12,28159231 |

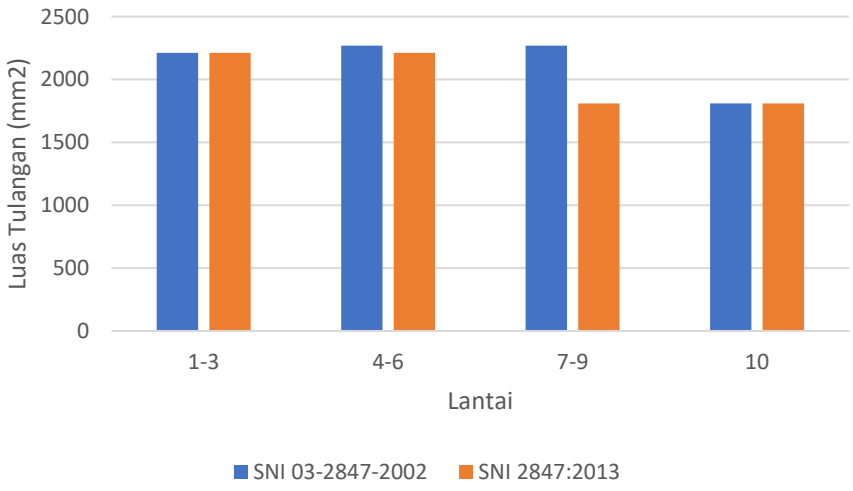



**Gambar 5.58 Grafik Perbandingan *Mn*⁺ BX Interior 7 m (Tumpuan)**

c. Luas tulangan lentur terpasang (tumpuan)

**Tabel 5.88 Tabel Perbandingan Luas Tulangan Lentur BX Interior 7 m (Tumpuan)**

| Lantai | SNI 03-2847-2002 | SNI 2847:2013 | Selisih (%) |
|---|---|---|---|
| 1-3 | 2211,681228 | 2211,681228 | 0 |
| 4-6 | 2268,229896 | 2211,681228 | -2,493074792 |
| 7-9 | 2268,229896 | 1809,557368 | -20,22160665 |
| 10 | 1809,557368 | 1809,557368 | 0 |

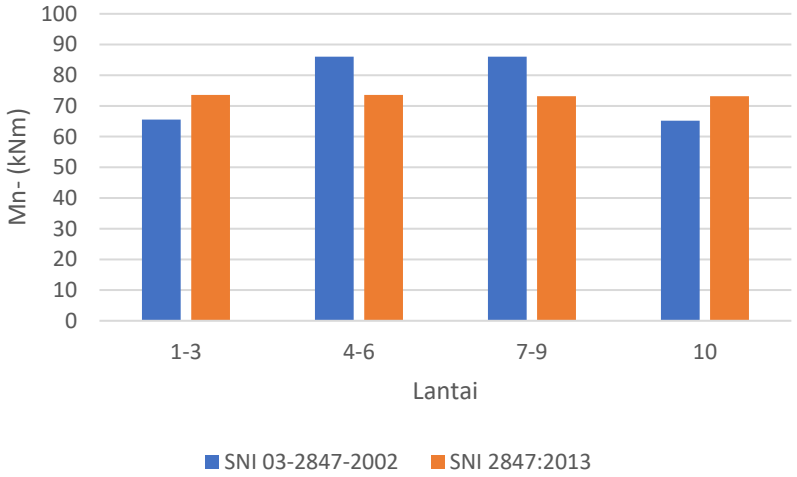



**Gambar 5.59 Grafik Perbandingan Luas Tulangan Lentur BX Interior 7 m (Tumpuan)**

d. Momen nominal negatif (lapangan)

**Tabel 5.89 Tabel Perbandingan $Mn^-$ BX Interior 7 m (Lapangan)**

| Lantai | SNI 03-2847-2002 | SNI 2847:2013 | Selisih (%) |
|---|---|---|---|
| 1-3 | 65,5377402 | 73,57989953 | 12,27103544 |
| 4-6 | 86,02539713 | 73,57989953 | -14,46723644 |
| 7-9 | 86,02539713 | 73,18434789 | -14,92704441 |
| 10 | 65,17929287 | 73,18434789 | 12,28159231 |

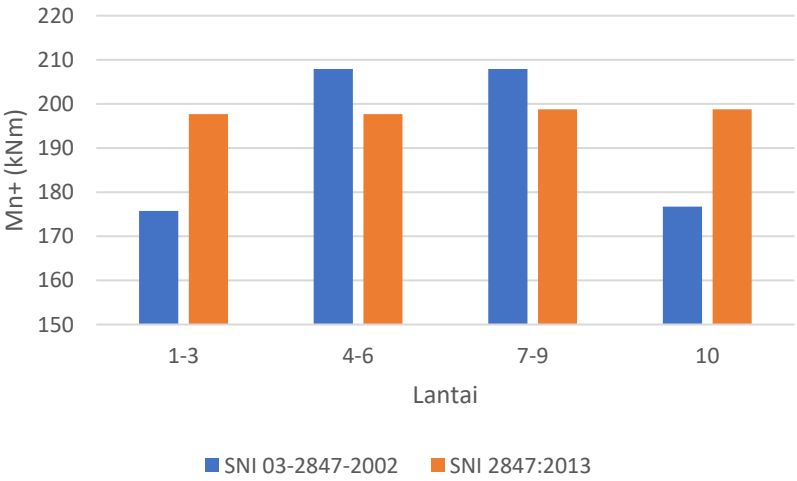



**Gambar 5.60 Grafik Perbandingan $Mn^-$ BX Interior 7 m (Lapangan)**

e. Momen nominal positif (lapangan)

**Tabel 5.90 Tabel Perbandingan $Mn^+$ BX Interior 7 m (Lapangan)**

| Lantai | SNI 03-2847-2002 | SNI 2847:2013 | Selisih (%) |
|---|---|---|---|
| 1-3 | 175,7221395 | 197,6871846 | 12,49987348 |
| 4-6 | 207,9150668 | 197,6871846 | -4,91925974 |
| 7-9 | 207,9150668 | 198,7925037 | -4,387639267 |
| 10 | 176,7017964 | 198,7925037 | 12,50168796 |

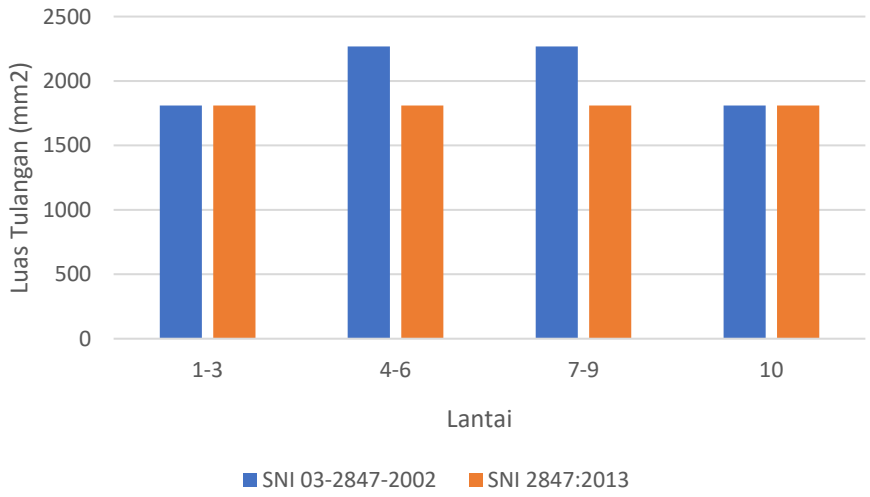



**Gambar 5.61 Grafik Perbandingan $Mn^+$ BX Interior 7 m (Lapangan)**

f. Luas tulangan lentur terpasang (lapangan)

**Tabel 5.91 Tabel Perbandingan Luas Tulangan Lentur BX Interior 7 m (Lapangan)**

| Lantai | SNI 03-2847-2002 | SNI 2847:2013 | Selisih (%) |
|---|---|---|---|
| 1-3 | 1809,557368 | 1809,557368 | 0 |
| 4-6 | 2268,229896 | 1809,557368 | -20,22160665 |
| 7-9 | 2268,229896 | 1809,557368 | -20,22160665 |
| 10 | 1809,557368 | 1809,557368 | 0 |

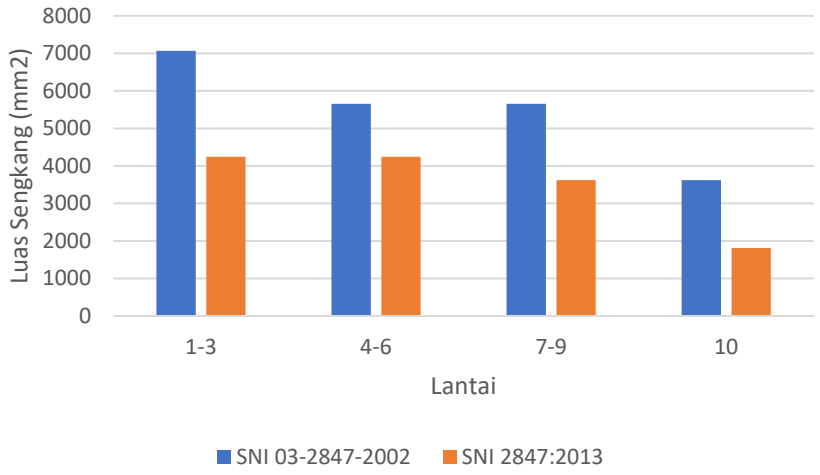



**Gambar 5.62 Grafik Perbandingan Luas Tulangan Lentur BX Interior 7 m (Lapangan)**

g. Luas sengkang terpasang (tumpuan)

**Tabel 5.92 Tabel Perbandingan Luas Sengkang BX Interior 7 m (Tumpuan)**

| Lantai | SNI 03-2847-2002 | SNI 2847:2013 | Selisih (%) |
|---|---|---|---|
| 1-3 | 7068,583471 | 4241,150082 | -40 |
| 4-6 | 5654,866776 | 4241,150082 | -25 |
| 7-9 | 5654,866776 | 3619,114737 | -36 |
| 10 | 3619,114737 | 1809,557368 | -50 |

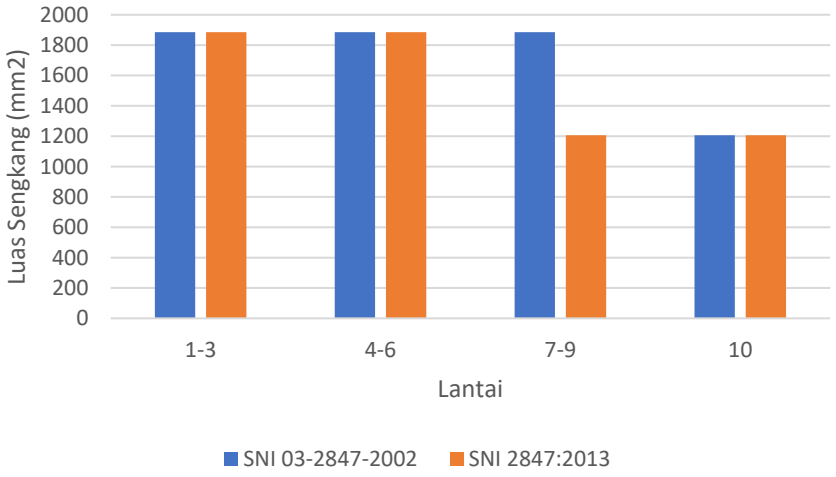



**Gambar 5.63 Grafik Perbandingan Luas Sengkang BX Interior 7 m (Tumpuan)**

h. Luas sengkang terpasang (lapangan)

**Tabel 5.93 Tabel Perbandingan Luas Sengkang BX Interior 7 m (Lapangan)**

| Lantai | SNI 03-2847-2002 | SNI 2847:2013 | Selisih (%) |
|---|---|---|---|
| 1-3 | 1884,955592 | 1884,955592 | 0 |
| 4-6 | 1884,955592 | 1884,955592 | 0 |
| 7-9 | 1884,955592 | 1206,371579 | -36 |
| 10 | 1206,371579 | 1206,371579 | 0 |



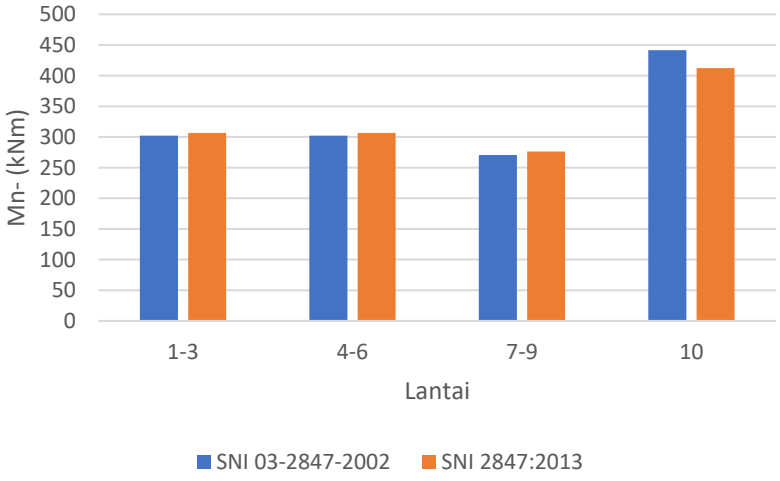

**Gambar 5.64 Grafik Perbandingan Luas Sengkang BX Interior 7 m (Lapangan)**

6. BX Interior 4 meter

a. Momen nominal negatif (tumpuan)

**Tabel 5.94 Tabel Perbandingan $Mn^-$ BX Interior 4 m (Tumpuan)**

| Lantai | SNI 03-2847-2002 | SNI 2847:2013 | Selisih (%) |
|---|---|---|---|
| 1-3 | 302,2552038 | 306,4877701 | 1,400328669 |
| 4-6 | 302,2552038 | 306,4877701 | 1,400328669 |
| 7-9 | 270,4444022 | 276,1871933 | 2,123464558 |
| 10 | 441,6505294 | 438,1747625 | -0,786994841 |

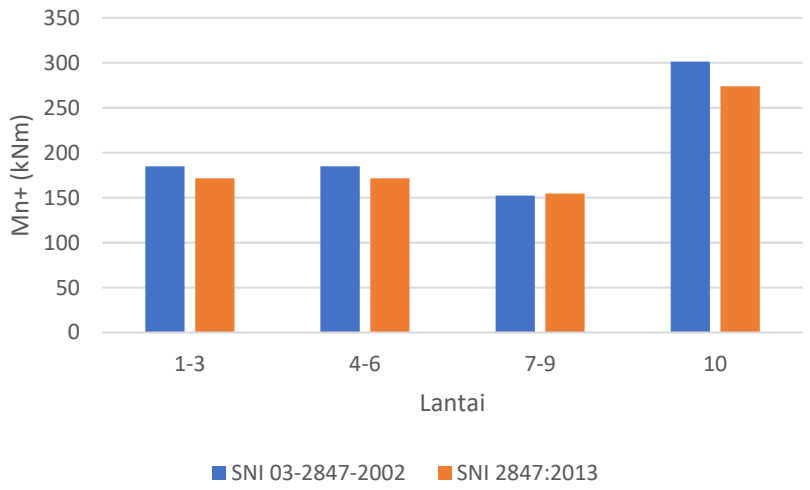



**Gambar 5.65 Grafik Perbandingan $Mn^-$ BX Interior 4 m (Tumpuan)**

b. Momen nominal positif (tumpuan)

**Tabel 5.95 Tabel Perbandingan $Mn^+$ BX Interior 4 m (Tumpuan)**

| Lantai | SNI 03-2847-2002 | SNI 2847:2013 | Selisih (%) |
|---|---|---|---|
| 1-3 | 184,9329852 | 171,5768036 | -7,22217376 |
| 4-6 | 184,9329852 | 171,5768036 | -7,22217376 |
| 7-9 | 152,2225903 | 154,5334921 | 1,518107013 |
| 10 | 301,2165283 | 278,2726159 | -7,617082839 |

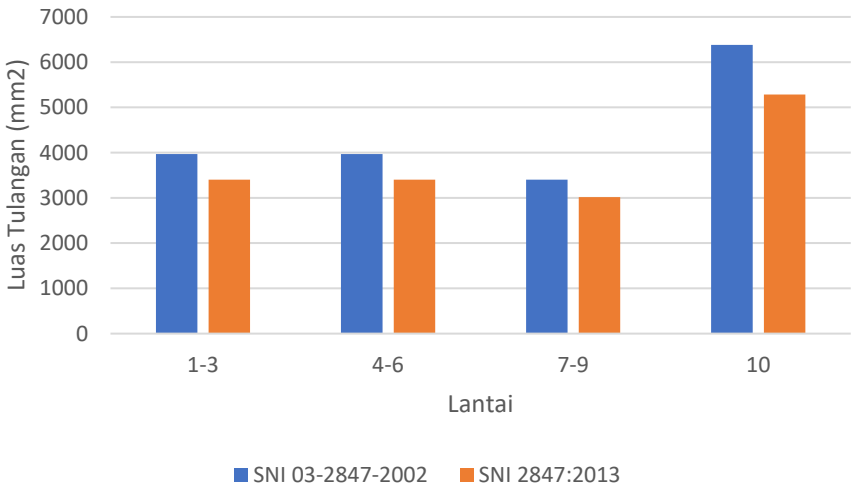



**Gambar 5.66 Grafik Perbandingan $Mn^{+}$ BX Interior 4 m (Tumpuan)**

c. Luas tulangan lentur terpasang (tumpuan)

**Tabel 5.96 Tabel Perbandingan Luas Tulangan Lentur BX Interior 4 m (Tumpuan)**

| Lantai | SNI 03-2847-2002 | SNI 2847:2013 | Selisih (%) |
|---|---|---|---|
| 1-3 | 3969,402318 | 3402,344844 | -14,28571429 |
| 4-6 | 3969,402318 | 3402,344844 | -14,28571429 |
| 7-9 | 3402,344844 | 3015,928947 | -11,35734072 |
| 10 | 6381,360078 | 5284,158843 | -17,19384615 |

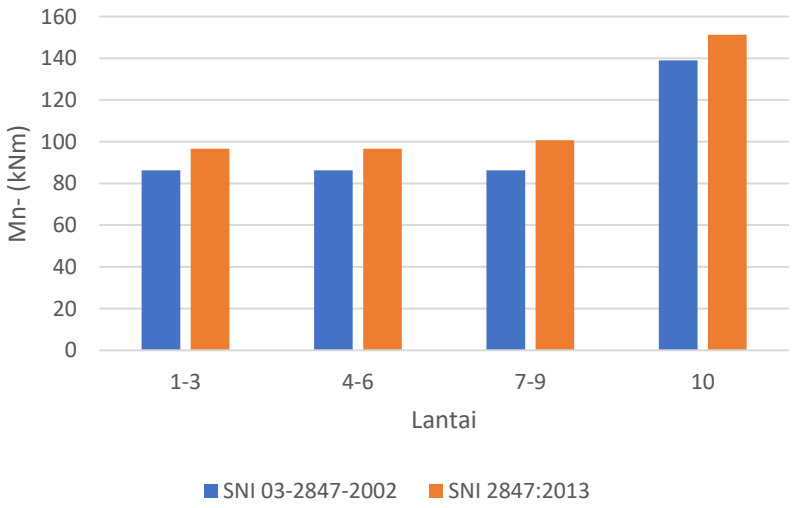



**Gambar 5.67 Grafik Perbandingan Luas Tulangan Lentur BX Interior 4 m (Tumpuan)**

d. Momen nominal negatif (lapangan)

**Tabel 5.97 Tabel Perbandingan $Mn^-$ BX Interior 4 m (Lapangan)**

| Lantai | SNI 03-2847-2002 | SNI 2847:2013 | Selisih (%) |
|---|---|---|---|
| 1-3 | 86,26208269 | 96,62220067 | 12,01004851 |
| 4-6 | 86,26208269 | 96,62220067 | 12,01004851 |
| 7-9 | 86,26208269 | 100,7090682 | 16,74778193 |
| 10 | 139,0087002 | 151,232389 | 8,7934703 |

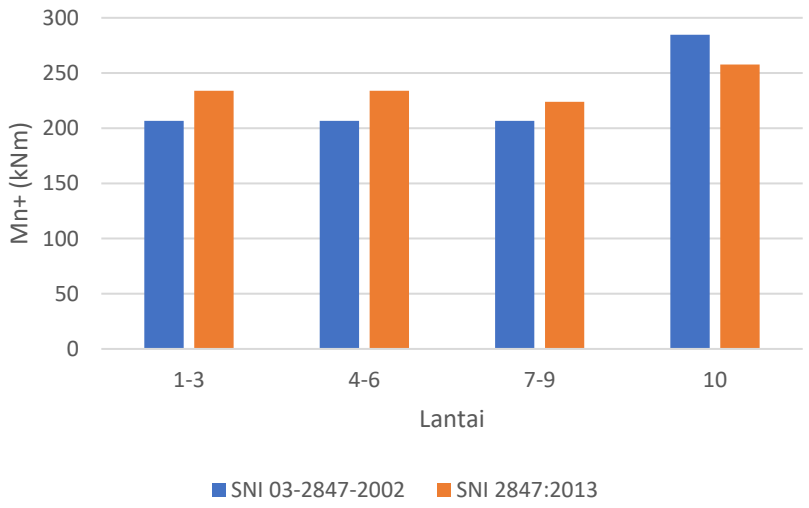



**Gambar 5.68 Grafik Perbandingan $Mn^-$ BX Interior 4 m (Lapangan)**

e. Momen nominal positif (lapangan)

**Tabel 5.98 Tabel Perbandingan $Mn^+$ BX Interior 4 m (Lapangan)**

| Lantai | SNI 03-2847-2002 | SNI 2847:2013 | Selisih (%) |
|---|---|---|---|
| 1-3 | 206,6581595 | 233,922236 | 13,19283817 |
| 4-6 | 206,6581595 | 233,922236 | 13,19283817 |
| 7-9 | 206,6581595 | 223,9365432 | 8,360852418 |
| 10 | 284,6230527 | 257,7102312 | -9,455601449 |

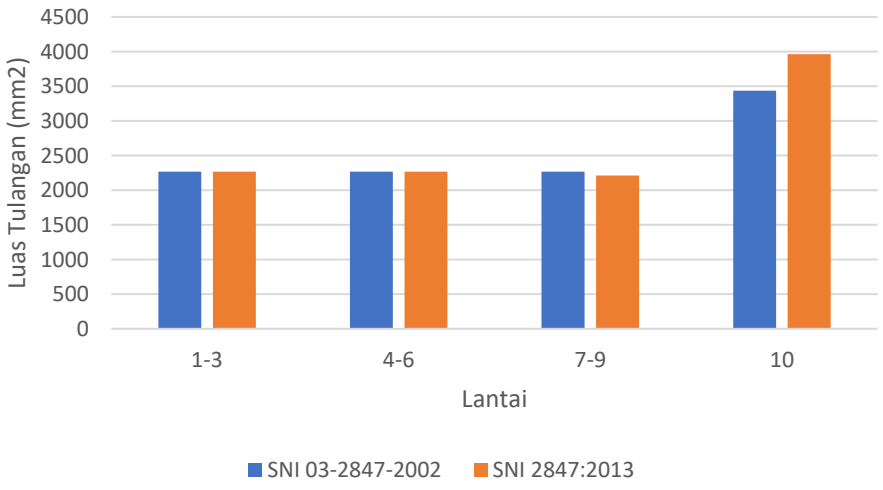



**Gambar 5.69 Grafik Perbandingan $Mn^{+}$ BX Interior 4 m (Lapangan)**

f. Luas tulangan lentur terpasang (lapangan)

**Tabel 5.99 Tabel Perbandingan Luas Tulangan Lentur BX Interior 4 m (Lapangan)**

| Lantai | SNI 03-2847-2002 | SNI 2847:2013 | Selisih (%) |
|---|---|---|---|
| 1-3 | 2268,229896 | 2268,229896 | 0 |
| 4-6 | 2268,229896 | 2268,229896 | 0 |
| 7-9 | 2268,229896 | 2211,681228 | -2,493074792 |
| 10 | 3436,116965 | 3963,119133 | 15,33714286 |

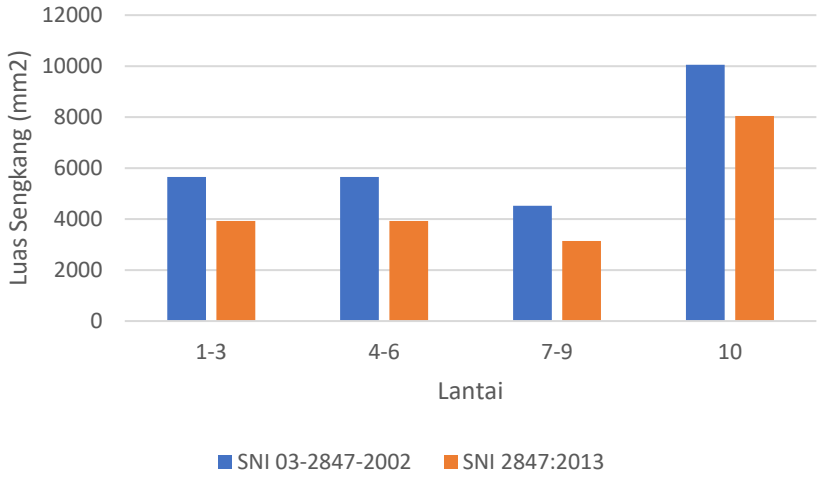


**Gambar 5.70 Grafik Perbandingan Luas Tulangan Lentur BX Interior 4 m (Lapangan)**

g. Luas sengkang terpasang (tumpuan)

**Tabel 5.100 Tabel Perbandingan Luas Sengkang BX Interior 4 m (Tumpuan)**

| Lantai | SNI 03-2847-2002 | SNI 2847:2013 | Selisih (%) |
|---|---|---|---|
| 1-3 | 5654,866776 | 3926,990817 | -30,55555556 |
| 4-6 | 5654,866776 | 3926,990817 | -30,55555556 |
| 7-9 | 4523,893421 | 3141,592654 | -30,55555556 |
| 10 | 10053,09649 | 8042,477193 | -20 |

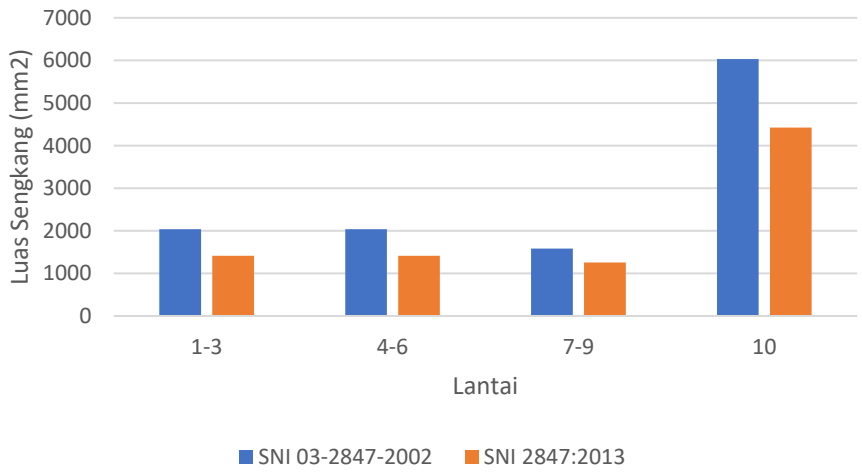



**Gambar 5.71 Grafik Perbandingan Luas Sengkang BX Interior 4 m (Tumpuan)**

h. Luas sengkang terpasang (lapangan)

**Tabel 5.101 Tabel Perbandingan Luas Sengkang BX Interior 4 m (Lapangan)**

| Lantai | SNI 03-2847-2002 | SNI 2847:2013 | Selisih (%) |
|---|---|---|---|
| 1-3 | 2035,75204 | 1413,716694 | -30,55555556 |
| 4-6 | 2035,75204 | 1413,716694 | -30,55555556 |
| 7-9 | 1583,362697 | 1256,637061 | -20,63492063 |
| 10 | 6031,857895 | 4423,362456 | -26,66666667 |



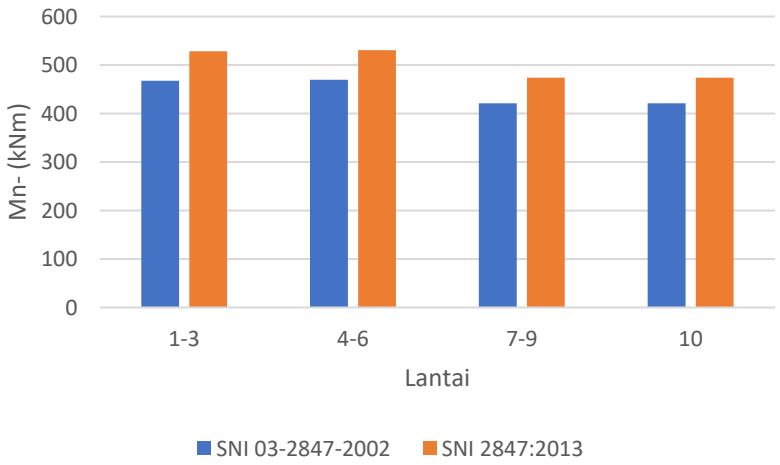

**Gambar 5.72 Grafik Perbandingan Luas Sengkang BX Interior 4 m (Lapangan)**

7. BY Interior 7 meter

a. Momen nominal negatif (tumpuan)

**Tabel 5.102 Tabel Perbandingan *Mn*⁻ BY Interior 7 m (Tumpuan)**

| Lantai | SNI 03-2847-2002 | SNI 2847:2013 | Selisih (%) |
|---|---|---|---|
| 1-3 | 467,5536926 | 528,3823598 | 13,00998541 |
| 4-6 | 469,6114008 | 530,7245313 | 13,01355343 |
| 7-9 | 421,1554921 | 473,8455772 | 12,5108389 |
| 10 | 421,1554921 | 473,8455772 | 12,5108389 |

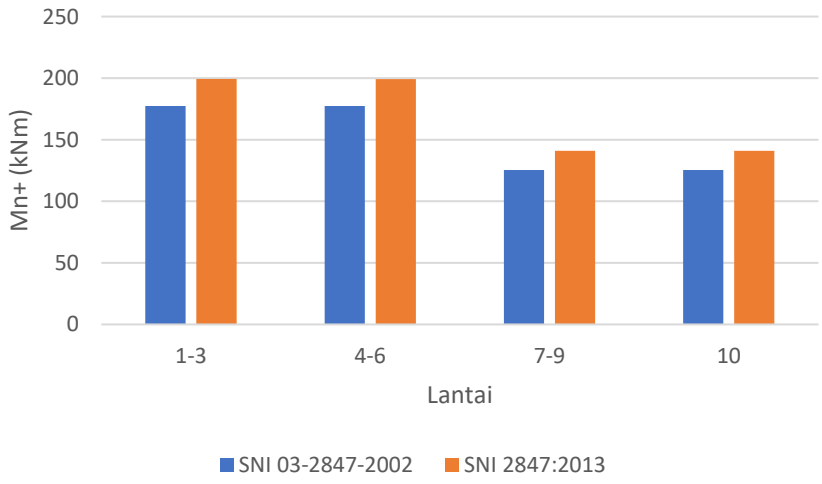



**Gambar 5.73 Grafik Perbandingan *Mn*⁻ BY Interior 7 m (Tumpuan)**

b. Momen nominal positif (tumpuan)

**Tabel 5.103 Tabel Perbandingan $Mn^+$ BY Interior 7 m (Tumpuan)**

| Lantai | SNI 03-2847-2002 | SNI 2847:2013 | Selisih (%) |
|---|---|---|---|
| 1-3 | 177,3957339 | 199,2971872 | 12,3460992 |
| 4-6 | 177,3092333 | 199,2359933 | 12,36639489 |
| 7-9 | 125,4345551 | 140,9349399 | 12,35734822 |
| 10 | 125,4345551 | 140,9349399 | 12,35734822 |

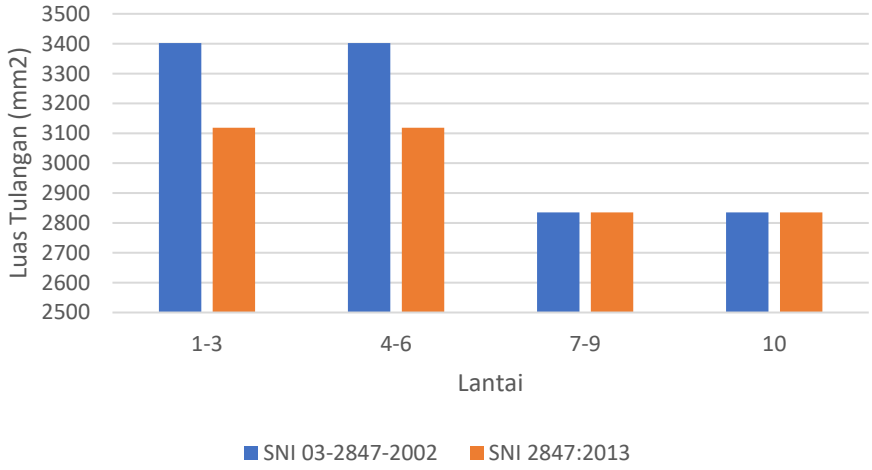



**Gambar 5.74 Grafik Perbandingan $Mn^+$ BY Interior 7 m (Tumpuan)**

c. Luas tulangan lentur terpasang (tumpuan)

**Tabel 5.104 Tabel Perbandingan Luas Tulangan Lentur BY Interior 7 m (Tumpuan)**

| Lantai | SNI 03-2847-2002 | SNI 2847:2013 | Selisih (%) |
|---|---|---|---|
| 1-3 | 3402,344844 | 3118,816107 | -8,333333333 |
| 4-6 | 3402,344844 | 3118,816107 | -8,333333333 |
| 7-9 | 2835,28737 | 2835,28737 | 0 |
| 10 | 2835,28737 | 2835,28737 | 0 |

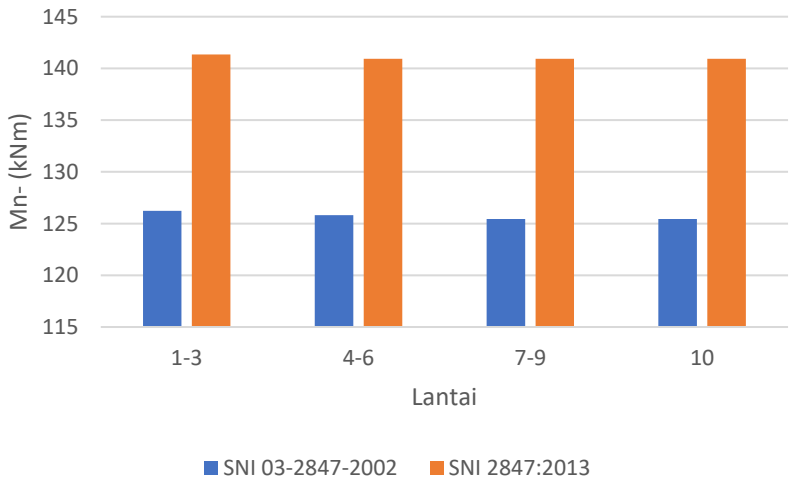



**Gambar 5.75 Grafik Perbandingan Luas Tulangan Lentur BY Interior 7 m (Tumpuan)**

d. Momen nominal negatif (lapangan)

**Tabel 5.105 Tabel Perbandingan *Mn*⁻ BY Interior 7 m (Lapangan)**

| Lantai | SNI 03-2847-2002 | SNI 2847:2013 | Selisih (%) |
|---|---|---|---|
| 1-3 | 126,2244167 | 141,356947 | 11,98859196 |
| 4-6 | 125,8181587 | 140,9349399 | 12,0147849 |
| 7-9 | 125,4345551 | 140,9349399 | 12,35734822 |
| 10 | 125,4345551 | 140,9349399 | 12,35734822 |

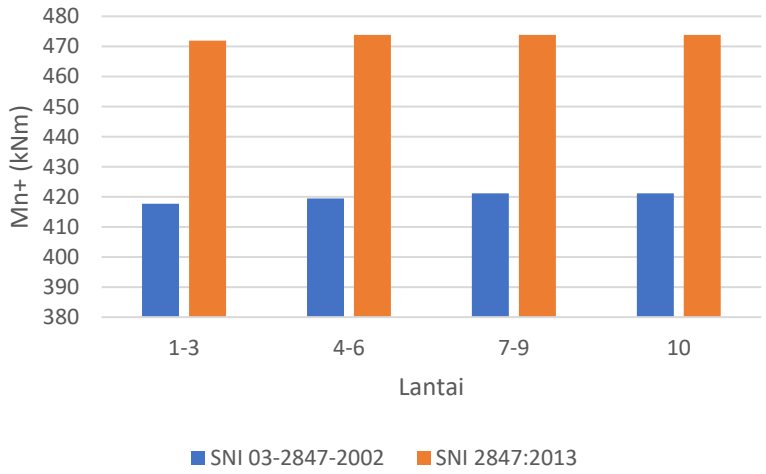



**Gambar 5.76 Grafik Perbandingan *Mn*⁻ BY Interior 7 m (Lapangan)**

e. Momen nominal positif (lapangan)

**Tabel 5.106 Tabel Perbandingan $Mn^+$ BY Interior 7 m (Lapangan)**

| Lantai | SNI 03-2847-2002 | SNI 2847:2013 | Selisih (%) |
|---|---|---|---|
| 1-3 | 417,715934 | 471,898562 | 12,97116619 |
| 4-6 | 419,4273676 | 473,8455772 | 12,97440601 |
| 7-9 | 421,1554921 | 473,8455772 | 12,5108389 |
| 10 | 421,1554921 | 473,8455772 | 12,5108389 |

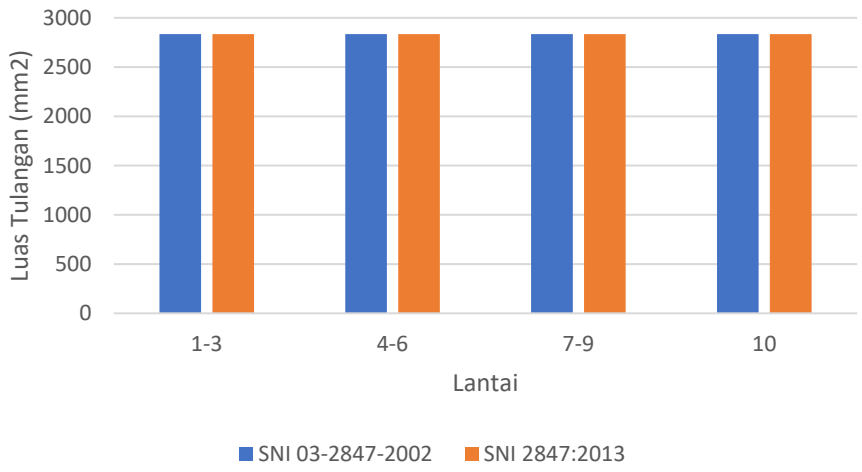



**Gambar 5.77 Grafik Perbandingan $Mn^+$ BY Interior 7 m (Lapangan)**

f. Luas tulangan lentur terpasang (lapangan)

**Tabel 5.107 Tabel Perbandingan Luas Tulangan Lentur BY Interior 7 m (Lapangan)**

| Lantai | SNI 03-2847-2002 | SNI 2847:2013 | Selisih (%) |
|---|---|---|---|
| 1-3 | 2835,28737 | 2835,28737 | 0 |
| 4-6 | 2835,28737 | 2835,28737 | 0 |
| 7-9 | 2835,28737 | 2835,28737 | 0 |
| 10 | 2835,28737 | 2835,28737 | 0 |

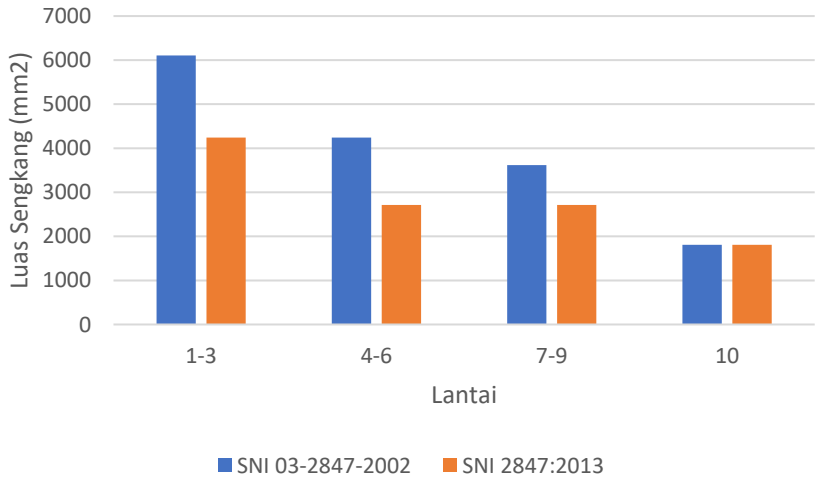



**Gambar 5.78 Grafik Perbandingan Luas Tulangan Lentur BY Interior 7 m (Lapangan)**

g. Luas sengkang terpasang (tumpuan)

**Tabel 5.108 Tabel Perbandingan Luas Sengkang BY Interior 7 m (Tumpuan)**

| Lantai | SNI 03-2847-2002 | SNI 2847:2013 | Selisih (%) |
|---|---|---|---|
| 1-3 | 6107,256119 | 4241,150082 | -30,55555556 |
| 4-6 | 4241,150082 | 2714,336053 | -36 |
| 7-9 | 3619,114737 | 2714,336053 | -25 |
| 10 | 1809,557368 | 1809,557368 | 0 |

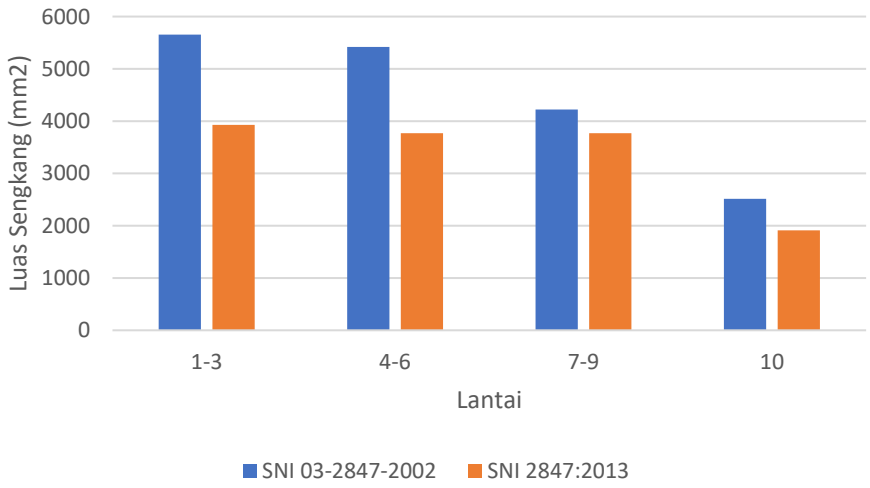



**Gambar 5.79 Grafik Perbandingan Luas Sengkang BY Interior 7 m (Tumpuan)**

h. Luas sengkang terpasang (lapangan)

**Tabel 5.109 Tabel Perbandingan Luas Sengkang BY Interior 7 m (Lapangan)**

| Lantai | SNI 03-2847-2002 | SNI 2847:2013 | Selisih (%) |
|---|---|---|---|
| 1-3 | 5654,866776 | 3926,990817 | -30,55555556 |
| 4-6 | 5419,247327 | 3769,911184 | -30,43478261 |
| 7-9 | 4222,300526 | 3769,911184 | -10,71428571 |
| 10 | 2513,274123 | 1910,088333 | -24 |



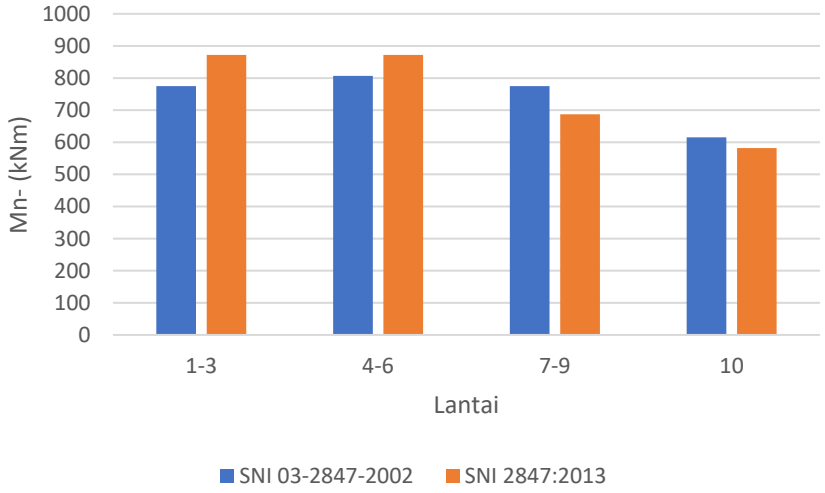

**Gambar 5.80 Grafik Perbandingan Luas Sengkang BY Interior 7 m (Lapangan)**

8. BY Interior 2 meter

a. Momen nominal negatif (tumpuan)

**Tabel 5.110 Tabel Perbandingan $Mn^-$ BY Interior 2 m (Tumpuan)**

| Lantai | SNI 03-2847-2002 | SNI 2847:2013 | Selisih (%) |
|---|---|---|---|
| 1-3 | 774,8501956 | 871,9613234 | 12,53289066 |
| 4-6 | 806,8515385 | 871,9613234 | 8,069611544 |
| 7-9 | 774,8501956 | 687,0573366 | -11,33030093 |
| 10 | 615,5998155 | 582,1408442 | -5,435182151 |

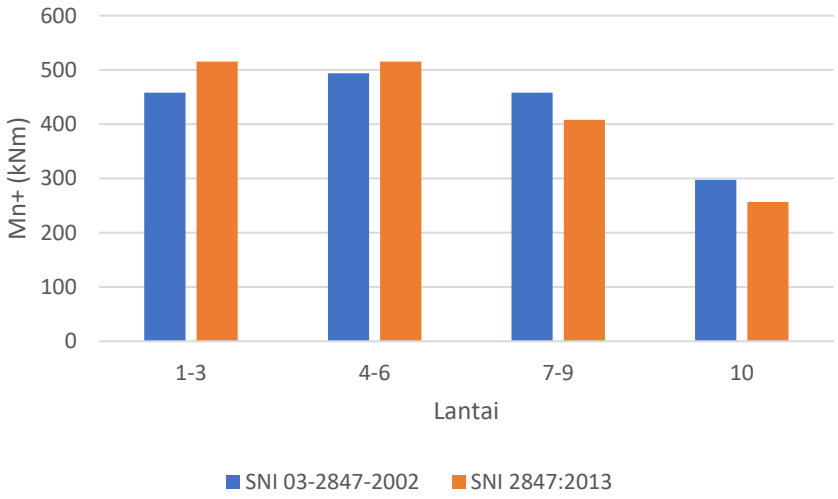



**Gambar 5.81 Grafik Perbandingan *Mn*⁻ BY Interior 2 m (Tumpuan)**

b. Momen nominal positif (tumpuan)

**Tabel 5.111 Tabel Perbandingan *Mn*⁺ BY Interior 2 m (Tumpuan)**

| Lantai | SNI 03-2847-2002 | SNI 2847:2013 | Selisih (%) |
|---|---|---|---|
| 1-3 | 458,2513641 | 515,398095 | 12,47060791 |
| 4-6 | 493,869974 | 515,398095 | 4,359066578 |
| 7-9 | 458,2513641 | 408,0688992 | -10,95085991 |
| 10 | 297,4965733 | 256,7911684 | -13,68264664 |

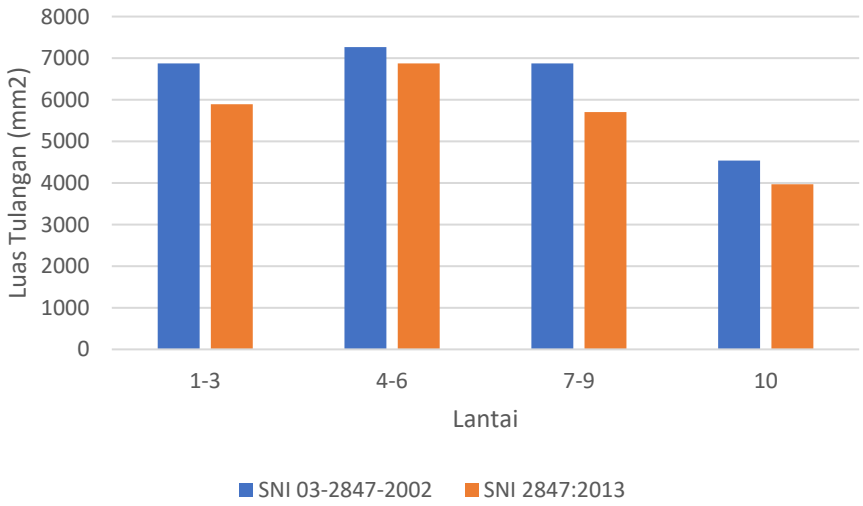



**Gambar 5.82 Grafik Perbandingan *Mn*⁺ BY Interior 2 m (Tumpuan)**

c. Luas tulangan lentur terpasang (tumpuan)

**Tabel 5.112 Tabel Perbandingan Luas Tulangan Lentur BY Interior 2 m (Tumpuan)**

| Lantai | SNI 03-2847-2002 | SNI 2847:2013 | Selisih (%) |
|---|---|---|---|
| 1-3 | 6872,23393 | 5890,486225 | -14,28571429 |
| 4-6 | 7265,71841 | 6872,23393 | -5,415630743 |
| 7-9 | 6872,23393 | 5701,990666 | -17,02857143 |
| 10 | 4536,459792 | 3969,402318 | -12,5 |

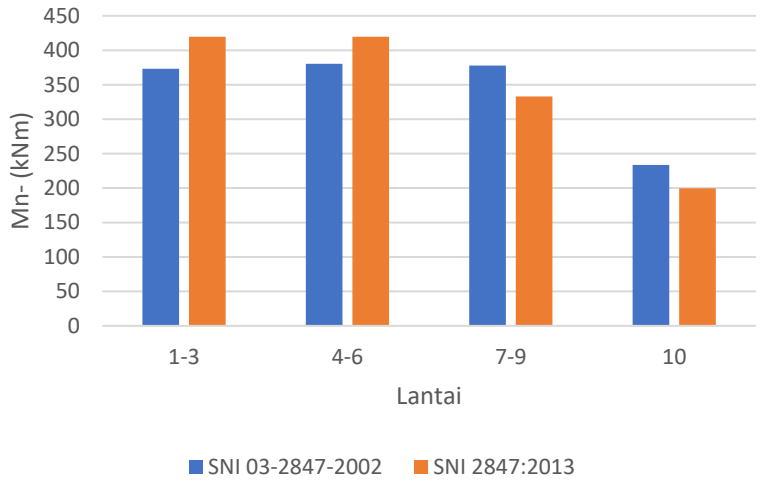



**Gambar 5.83 Grafik Perbandingan Luas Tulangan Lentur BY Interior 2 m (Tumpuan)**

d. Momen nominal negatif (lapangan)

**Tabel 5.113 Tabel Perbandingan *Mn*⁻ BY Interior 2 m (Lapangan)**

| Lantai | SNI 03-2847-2002 | SNI 2847:2013 | Selisih (%) |
|---|---|---|---|
| 1-3 | 373,1651731 | 419,6414661 | 12,45461698 |
| 4-6 | 380,3642905 | 419,6414661 | 10,32619952 |
| 7-9 | 377,7243615 | 333,062071 | -11,82404288 |
| 10 | 233,4780725 | 199,5702007 | -14,52293635 |

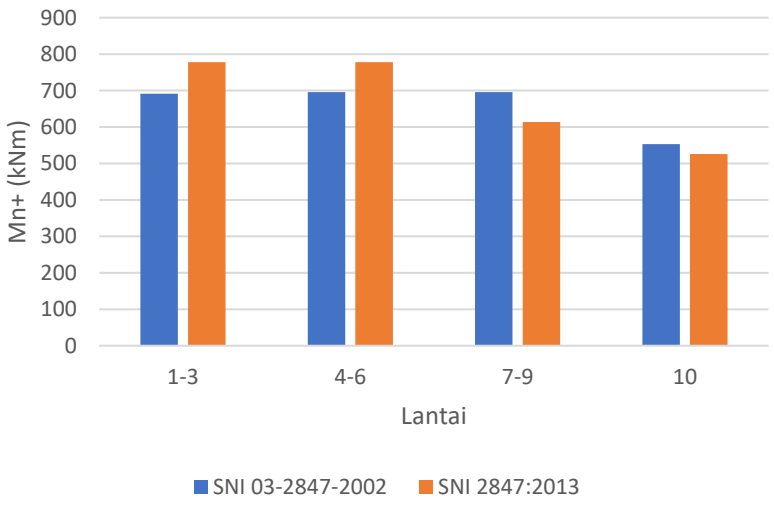



**Gambar 5.84 Grafik Perbandingan *Mn*$^{-}$ BY Interior 2 m (Lapangan)**

e. Momen nominal positif (lapangan)

**Tabel 5.114 Tabel Perbandingan *Mn*$^{+}$ BY Interior 2 m (Lapangan)**

| Lantai | SNI 03-2847-2002 | SNI 2847:2013 | Selisih (%) |
|---|---|---|---|
| 1-3 | 691,3474346 | 777,9679036 | 12,52922404 |
| 4-6 | 695,6674094 | 777,9679036 | 11,83043694 |
| 7-9 | 695,6365213 | 613,4899452 | -11,80883602 |
| 10 | 553,0473156 | 525,9979042 | -4,890975986 |

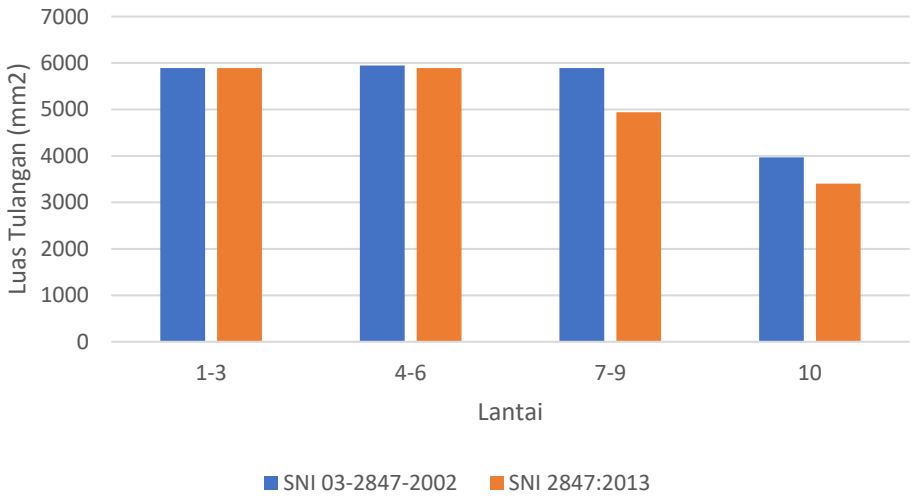



**Gambar 5.85 Grafik Perbandingan *Mn*$^{+}$ BY Interior 2 m (Lapangan)**

f. Luas tulangan lentur terpasang (lapangan)

**Tabel 5.115 Tabel Perbandingan Luas Tulangan Lentur BY Interior 2 m (Lapangan)**

| Lantai | SNI 03-2847-2002 | SNI 2847:2013 | Selisih (%) |
|---|---|---|---|
| 1-3 | 5890,486225 | 5890,486225 | 0 |
| 4-6 | 5944,678699 | 5890,486225 | -0,911613159 |
| 7-9 | 5890,486225 | 4941,725244 | -16,10666667 |
| 10 | 3969,402318 | 3402,344844 | -14,28571429 |

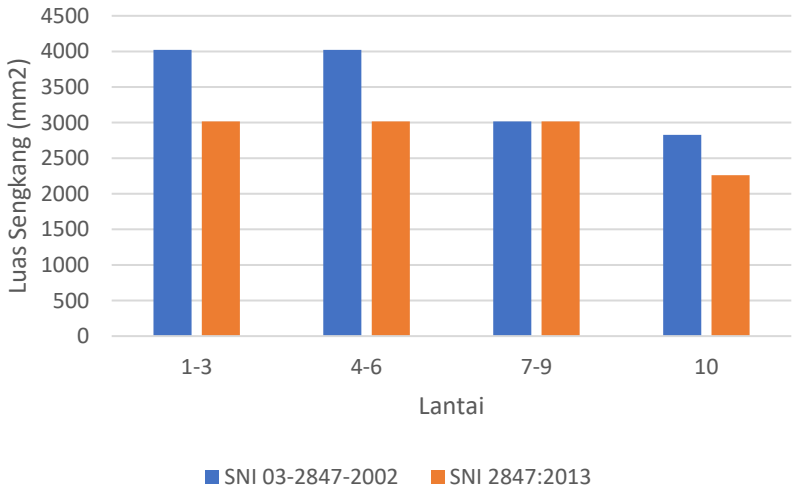



**Gambar 5.86 Grafik Perbandingan Luas Tulangan Lentur BY Interior 2 m (Lapangan)**

g. Luas sengkang terpasang (tumpuan)

**Tabel 5.116 Tabel Perbandingan Luas Sengkang BY Interior 2 m (Tumpuan)**

| Lantai | SNI 03-2847-2002 | SNI 2847:2013 | Selisih (%) |
|---|---|---|---|
| 1-3 | 4021,238597 | 3015,928947 | -25 |
| 4-6 | 4021,238597 | 3015,928947 | -25 |
| 7-9 | 3015,928947 | 3015,928947 | 0 |
| 10 | 2827,433388 | 2261,946711 | -20 |

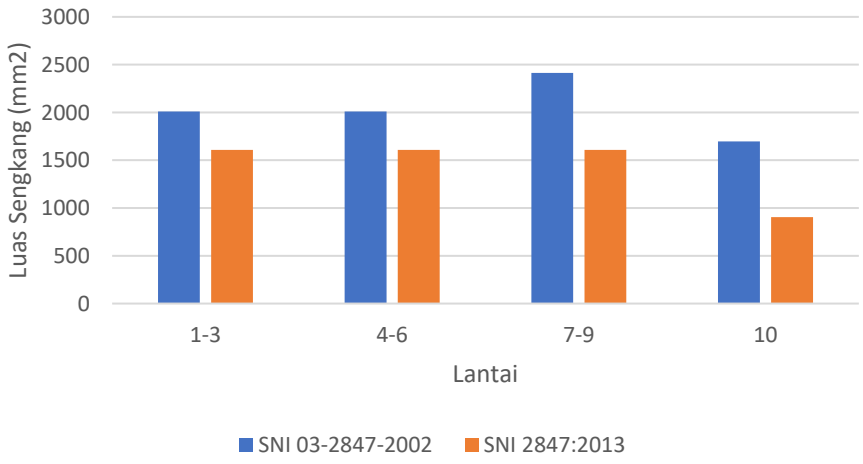



**Gambar 5.87 Grafik Perbandingan Luas Sengkang BY Interior 2 m (Tumpuan)**

h. Luas sengkang terpasang (lapangan)

**Tabel 5.126 Tabel Perbandingan Luas Sengkang BY Interior 2 m (Lapangan)**

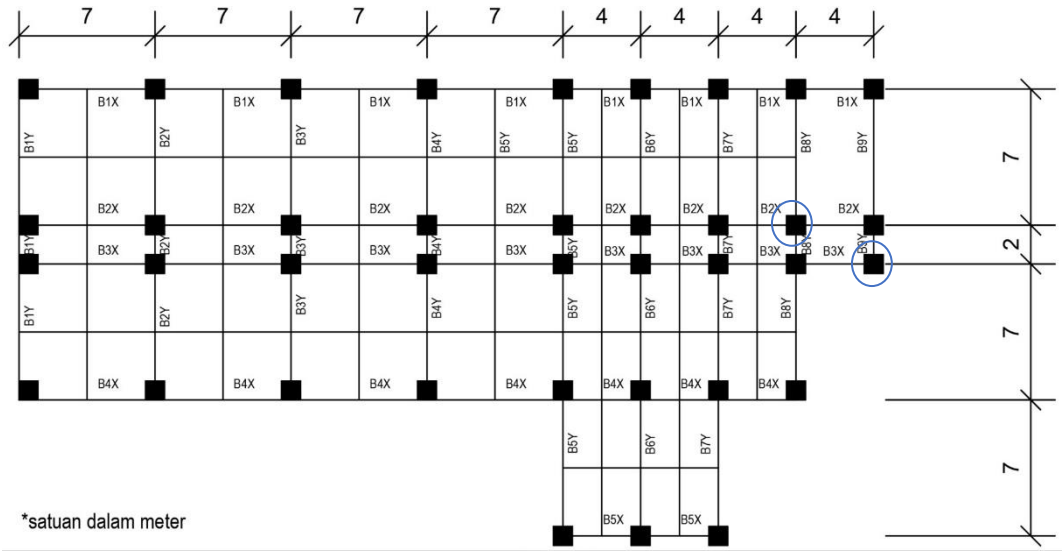
| Lantai | SNI 03-2847-2002 | SNI 2847:2013 | Selisih (%) |
|---|---|---|---|
| 1-3 | 2010,619298 | 1608,495439 | -20 |
| 4-6 | 2010,619298 | 1608,495439 | -20 |
| 7-9 | 2412,743158 | 1608,495439 | -33,33333333 |
| 10 | 1696,460033 | 904,7786842 | -46,66666667 |




**Gambar 5.88 Grafik Perbandingan Luas Sengkang BY Interior 2 m (Lapangan)**

## 5.11 Perencanaan Penulangan Kolom Berdasarkan SNI 2847:2013

Perencanaan kolom diperlukan untuk mencari nilai-nilai momen yang akan digunakan pada kontrol komponen SRPMK yaitu *Strong Column Weak Beam* (SCWB). Kolom yang ditinjau adalah kolom tepi dan kolom tengah bentang yang memikul momen balok terbesar.




**Gambar 5.89 Tinjauan Kolom Tepi dan Kolom Tengah Bentang**

Gaya aksial-lentur (kondisi $P_{max}$, $P_{min}$, $M2_{max}$, $M2_{min}$, $M3_{max}$, dan $M3_{min}$), gaya geser, dan gaya tekan terkecil dari perhitungan *SAP2000* v21.1 untuk tinjauan kolom tepi dan kolom tengah dapat dilihat pada Tabel 5.127, Tabel 5.128, Tabel 5.129, dan Tabel 5.130 berikut.

**Tabel 5.127 Gaya Aksial-Lentur Tinjauan Kolom Tepi**

| Lantai | Kondisi | P (kN) | M2 (kNm) | M3 (kNm) |
|---|---|---|---|---|
| 1-3 | $P_{max}$ | 605,633 | 11,885 | 50,242 |
| | $P_{min}$ | -3547,895 | -118,459 | -162,424 |
| | $M2_{max}$ | -804,428 | 257,882 | 164,997 |
| | $M2_{min}$ | -2173,575 | -158,585 | -162,960 |
| | $M3_{max}$ | -823,285 | 175,087 | 504,311 |
| | $M3_{min}$ | -2154,718 | -75,790 | -502,274 |

**Lanjutan Tabel 5.127**

| Lantai | Kondisi | P (kN) | M2 (kNm) | M3 (kNm) |
|---|---|---|---|---|
| 4-6 | $P_{max}$ | 388,986 | 28,049 | 115,670 |
| | $P_{min}$ | -3093,564 | 35,745 | 9,080 |
| | $M2_{max}$ | -837,638 | 115,987 | 38,446 |
| | $M2_{min}$ | -1470,978 | -83,836 | -29,192 |
| | $M3_{max}$ | 306,457 | 29,784 | 119,430 |
| | $M3_{min}$ | -2281,186 | -64,935 | -135,263 |
| 7-9 | $P_{max}$ | 164,741 | 34,265 | 36,285 |
| | $P_{min}$ | -2533,004 | 45,704 | 15,837 |
| | $M2_{max}$ | -767,030 | 90,550 | 42,325 |
| | $M2_{min}$ | -1621,457 | -80,954 | -51,188 |
| | $M3_{max}$ | -605,380 | 23,933 | 127,208 |
| | $M3_{min}$ | -1621,275 | -76,173 | -124,419 |
| 10 | $P_{max}$ | 76,304 | 57,639 | 20,391 |
| | $P_{min}$ | -2301,621 | 126,624 | 33,926 |
| | $M2_{max}$ | -1901,621 | 146,864 | 73,300 |
| | $M2_{min}$ | -1850,012 | -282,720 | -1026,873 |
| | $M3_{max}$ | -579,651 | 118,785 | 80,003 |
| | $M3_{min}$ | -1850,012 | -282,720 | -1026,873 |

**Tabel 5.128 Gaya Aksial-Lentur Tinjauan Kolom Tengah**

| Lantai | Kondisi | P (kN) | M2 (kNm) | M3 (kNm) |
|---|---|---|---|---|
| 1-3 | $P_{max}$ | -344,754 | 56,142 | 139,507 |
| | $P_{min}$ | -5169,949 | 41,714 | 12,230 |
| | $M2_{max}$ | -2382,278 | 302,949 | 91,012 |
| | $M2_{min}$ | -2966,551 | -232,009 | -213,472 |
| | $M3_{max}$ | -2451,144 | 106,390 | 585,490 |
| | $M3_{min}$ | -1879,880 | -155,259 | -571,560 |

**Lanjutan Tabel 5.128**

| Lantai | Kondisi | P (kN) | M2 (kNm) | M3 (kNm) |
|---|---|---|---|---|
| 4-6 | $P_{max}$ | -337,354 | 64,124 | 229,876 |
| | $P_{min}$ | -4263,763 | 118,537 | -57,013 |
| | $M2_{max}$ | -2006,207 | 254,339 | 203,905 |
| | $M2_{min}$ | -2601,741 | -235,491 | -236,680 |
| | $M3_{max}$ | -1947,660 | 84,515 | 245,794 |
| | $M3_{min}$ | -1044,846 | -186,607 | -241,210 |
| 7-9 | $P_{max}$ | -56,706 | -52,580 | 153,554 |
| | $P_{min}$ | -3752,400 | 98,958 | -21,535 |
| | $M2_{max}$ | -1612,361 | 216,527 | 142,798 |
| | $M2_{min}$ | -1799,247 | -204,538 | -204,987 |
| | $M3_{max}$ | -1386,099 | 61,473 | 224,560 |
| | $M3_{min}$ | -512,201 | -159,466 | -212,427 |
| 10 | $P_{max}$ | 11,372 | -35,131 | 247,358 |
| | $P_{min}$ | -3544,598 | 6,455 | -57,418 |
| | $M2_{max}$ | -3492,988 | 201,770 | 86,161 |
| | $M2_{min}$ | -180,754 | -233,905 | -187,585 |
| | $M3_{max}$ | -1110,156 | -44,386 | 277,832 |
| | $M3_{min}$ | -190,195 | -157,651 | -226,181 |

**Tabel 5.129 Gaya Geser dan Gaya Tekan Terkecil Tinjauan Kolom Tepi**

| Lantai | Tumpuan | | Lapangan | | Gaya Tekan Terkecil, $N_u$ (kN) |
|---|---|---|---|---|---|
| | V2 (kN) | V3 (kN) | V2 (kN) | V3 (kN) | |
| 1-3 | 112,823 | 96,020 | 112,823 | 96,020 | 0,05 |
| 4-6 | 57,618 | 64,171 | 57,618 | 64,171 | 0,24 |
| 7-9 | 45,606 | 59,474 | 45,606 | 59,474 | 0,25 |
| 10 | 392,919 | 153,423 | 392,919 | 153,423 | 0,49 |

**Tabel 5.130 Gaya Geser dan Gaya Tekan Terkecil Tinjauan Kolom Tengah**

| Lantai | Tumpuan | | Lapangan | | Gaya Tekan Terkecil, $N_u$ (kN) |
|---|---|---|---|---|---|
| | V2 (kN) | V3 (kN) | V2 (kN) | V3 (kN) | |
| 1-3 | 172,199 | 179,833 | 172,199 | 179,833 | 4,30 |
| 4-6 | 157,327 | 174,735 | 157,327 | 174,735 | 66,24 |
| 7-9 | 126,448 | 150,208 | 126,448 | 150,208 | 1,84 |
| 10 | 133,476 | 146,814 | 133,476 | 146,814 | 7,10 |

### 5.11.1 Desain Tulangan Longitudinal

Diambil contoh perhitungan kolom tepi lantai 1-3.

tinggi kolom ($L$) = 3500 mm

sisi pendek kolom ($b$) = 800 mm

sisi panjang kolom ($h$) = 800 mm

diameter tulangan longitudinal ($d_b$) = 29 mm

diameter tulangan sengkang ($d_s$) = 13 mm

selimut bersih ($c_c$) = 40 mm

kuat tekan beton ($f'_c$) = 35 MPa

kuat leleh baja tulangan ($f_y$) = 400 MPa

tinggi balok ($h_b$) = 700 mm

$L_n = L - h_b$ = 2800 mm

Kontrol syarat komponen SRPMK berdasarkan SNI 2847:2013

1. Syarat gaya aksial (pasal 21.6.1)

   $P_u > 0{,}1.A_g.f'_c$

   3547,895 kN x $10^3$ > 0,1.(800.800).35

   3547895 N > 2240000 N (OK!)

2. Syarat sisi terpendek (pasal 21.6.1.1)

   $b \geq 300$ mm

   800 mm > 300 mm (OK!)

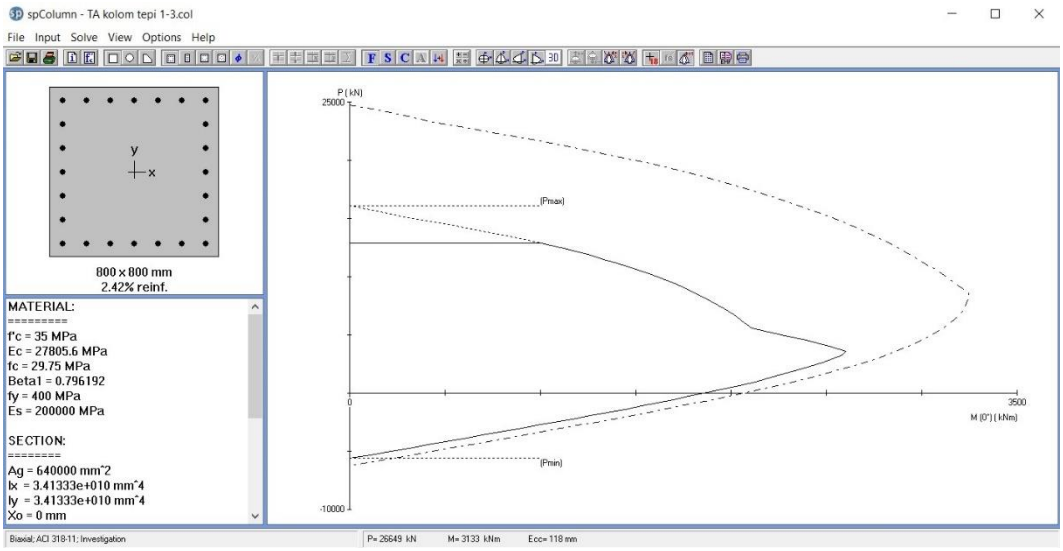
3. Syarat rasio dimensi penampang (pasal 21.6.1.2)

   $b/h \geq 0{,}4$

   $800/800 \geq 0{,}4$

   $1 > 0{,}4$ (OK!)

Pengecekan terhadap gaya dalam aksial-lentur menggunakan *spColumn* v6.0 dapat dilihat pada Gambar 5.90 berikut.




**Gambar 5.90 Pengecekan Terhadap Gaya Dalam Aksial-Lentur Kolom Tepi Lantai 1-3**

jumlah tulangan ($n$) = 24

luas tulangan longitudinal ($A_s$) $= n \,.\, \frac{1}{4}\pi\, d_b^2$

$= 15852{,}5\ mm^2$

rasio tulangan (ρ) $= \frac{A_s}{b.h}$

$= 2{,}48\%$

cek $\rho_{min}$ dan $\rho_{max}$ $= 1\% \leq \rho \leq 6\%$

$= 1\% \leq 2{,}48\% \leq 6\%$ (OK!)

### 5.11.2 Pengecekan Strong Column Weak Beam (SCWB)

dari hasil analisis menggunakan *spColum* v6.0 didapatkan momen nominal kolom ($M_{nc}$) sebagai berikut.

**Tabel 5.131 Hasil Momen Nominal Kolom ($M_{nc}$) Tinjauan Kolom Tepi Lantai 1-3**

| $M_{n\,x}$ | $M_{n\,y}$ |
|---|---|
| 427,0666667 | 1805,333333 |
| -1586,052632 | -2174,709141 |
| 1858,221477 | 1188,914989 |
| -1723,164557 | -1770,708861 |
| 732,3333333 | 2109,355556 |
| -386,4444444 | -2561,066667 |

Momen nominal kolom ($M_{nc}$) diambil nilai absolute terkecil dari $M_{nx}$ dan $M_{ny}$ yaitu 386,444 kNm.

$M_n^-$ tumpuan balok = 473,846 kNm

$M_n^+$ tumpuan balok = 140,935 kNm

Cek SCWB $= 2 \cdot Mnc \geq 1{,}2\,(M_n^- + M_n^+)$

$= 2 \cdot 386{,}444 \geq 1{,}2\,(473{,}846 + 140{,}935)$

= 386,444 kNm > 368,8686 kNm (OK!)

### 5.11.3 Desain Tulangan Transversal

tinggi kolom ($L$) = 3500 mm

sisi pendek kolom ($b$) = 800 mm

sisi panjang kolom ($h$) = 800 mm

diameter tulangan longitudinal ($d_b$) = 29 mm

diameter tulangan sengkang ($d_s$) = 13 mm

selimut bersih ($c_c$) = 40 mm

kuat tekan beton ($f'_c$) = 35 MPa

kuat leleh baja tulangan ($f_y$) = 400 MPa

tinggi balok ($h_b$) = 700 mm

$L_n = L - h_b$ = 2800 mm

Panjang zona sendi plastis

nilai $l_o$ harus sama atau lebih besar dari tiga hal berikut:

1. Tinggi balok ($h$) = 800 mm
2. $\frac{1}{6} L_n$ $= \frac{1}{6} . 2800$
   $= 466{,}7$ mm
3. 450 mm

diambil nilai terbesar, maka $l_o$ = 800 mm

Tulangan transversal zona sendi plastis (tumpuan)

jumlah kaki sisi pendek ($n_1$) = 6

jumlah kaki sisi panjang ($n_2$) = 6

spasi ($s$) = 100 mm

spasi kaki terbesar ($x_{i\ max}$) = 250 mm

$A_{sh}$ 1 $= n_1 . \frac{1}{4} \pi d_s^2$

$= 796{,}394$ mm$^2$

$A_{sh}$ 2 $= n_2 . \frac{1}{4} \pi d_s^2$

$= 796{,}394$ mm$^2$

$\frac{Ash}{s}$, 1 $= \frac{796{,}394}{100}$

$= 7{,}964$ mm$^2$/mm

$\frac{Ash}{s}$, 2 $= \frac{796{,}394}{100}$

$= 7{,}964$ mm$^2$/mm

*Confinement* (kekangan) zona sendi plastis

lebar penampang inti beton ($b_c$) $= b - 2c_c$

$= 720$ mm

panjang penampang inti beton ($h_c$) $= h - 2c_c$

$= 720$ mm

luas penampang kolom ($A_g$) $= b . h$

$= 640000$ mm$^2$

luas penampang inti beton ($A_{ch}$) $= b_c \,.\, h_c$

$= 518400 \text{ mm}^2$

Sisi pendek (sumbu lemah)

$\frac{Ash}{s}$ min, 1 $= 0{,}3 \frac{b_c f_c'}{f_y} \left[\left(\frac{A_g}{A_{ch}}\right) - 1\right]$

$= 4{,}433 \text{ mm}^2/\text{mm}$

$\frac{Ash}{s}$ min, 2 $= 0{,}09 \frac{b_c f_c'}{f_y}$

$= 5{,}670 \text{ mm}^2/\text{mm}$

$\frac{Ash}{s}$ min diambil nilai terbesar yaitu 5,670 $\text{mm}^2/\text{mm}$

cek $\frac{Ash}{s} \geq \frac{Ash}{s}$ min = 7,964 $\text{mm}^2/\text{mm}$ > 5,670 $\text{mm}^2/\text{mm}$ (OK!)

Sisi panjang (sumbu kuat)

$\frac{Ash}{s}$ min, 1 $= 0{,}3 \frac{b_c f_c'}{f_y} \left[\left(\frac{A_g}{A_{ch}}\right) - 1\right]$

$= 4{,}433 \text{ mm}^2/\text{mm}$

$\frac{Ash}{s}$ min, 2 $= 0{,}09 \frac{b_c f_c'}{f_y}$

$= 5{,}670 \text{ mm}^2/\text{mm}$

$\frac{Ash}{s}$ min diambil nilai terbesar yaitu 5,670 $\text{mm}^2/\text{mm}$

cek $\frac{Ash}{s} \geq \frac{Ash}{s}$ min = 7,964 $\text{mm}^2/\text{mm}$ > 5,670 $\text{mm}^2/\text{mm}$ (OK!)

Cek spasi

spasi tulangan transversal sepanjang $l_o$ diatur sebagai berikut:

1. $\frac{1}{4}$ dimensi kolom terkecil = $\frac{1}{4}$ . 800 = 200 mm
2. 6 $d_b$ = 174 mm
3. $s_o$ = $100 + \frac{350\text{-}h_x}{3}$

   $h_x$ dipakai $x_{i\ max}$ = 250 mm

   $s_o$ tidak boleh ≥ 150 mm dan tidak perlu ≤ 100 mm

$s_o$ $= 100 + \frac{350-250}{3}$

$= 133{,}333$ mm

$s_{max}$ diambil dari nilai minimum di tiap kondisi yaitu 133,333 mm

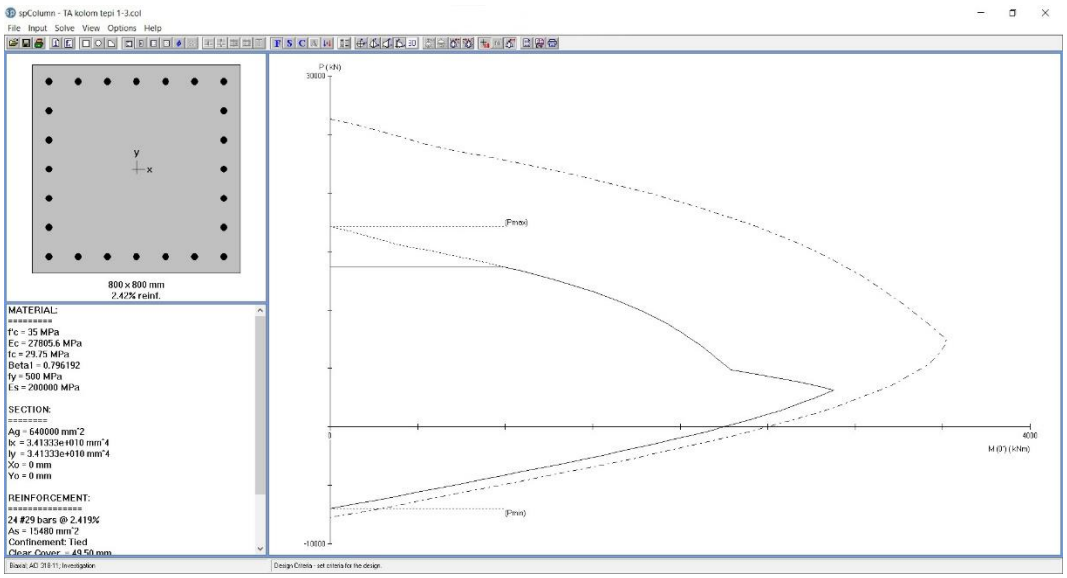
cek spasi pakai dengan spasi maksimum

$s \leq s_{max}$

100 mm < 133,333 mm (OK!)

Kuat geser zona sendi plastis

gaya geser desain menggunakan *spCollumn* v6.0 dengan $f_{pr}$ = 1,25 $f_y$.




**Gambar 5.91 Pemodelan $f_{pr}$ = 1,25 $f_y$ menggunakan *spColumn* v6.0**

dari hasil analisis menggunakan *spColumn* v6.0 didapatkan $M_{pr}$ kolom sebagai berikut

**Tabel 5.131 Hasil Momen Probable Kolom ($M_{pr}$) Tinjauan Kolom Tepi Lantai 1-3**

| $M_{pr\ x}$ | $M_{pr\ y}$ |
|---|---|
| 521,0333333 | 2202,588889 |
| -1657,994056 | -2273,343239 |
| 2101,23095 | 1344,396249 |
| -1862,032086 | -1913,395722 |
| 842,2111111 | 2425,855556 |
| -431,5842697 | -2860,157303 |

Momen probable kolom ($M_{pr}$) diambil nilai absolute terbesar dari $M_{pr\ x}$ dan $M_{pr\ y}$ yaitu 2860,157 kNm.

$V_{u\ 1}$ $= \frac{2\ .M_{pr}\ kolom}{L_n}$

= 2042970 N

Gaya geser hasil analisis *SAP2000*

$V_{u\ 2}$ (sumbu lemah) = 112823 N

$V_{u\ 2}$ (sumbu kuat) = 96020 N

Tahanan geser beton sumbu kemah

$V_u$ = max ($V_{u\ 1}$, $V_{u\ 2}$)

= 2042970 N

$\phi$ = 0,75

Vc $= 0{,}17\left[1+\frac{N_u}{14\ A_g}\right]\lambda\sqrt{f_c'}\ .b\ .d$

= 589363 N

$V_s$ perlu $= \frac{V_u}{\phi} - V_c$

= 2134596 N

$\frac{As}{s}$ perlu $= \frac{V_s}{f_y\ d}$

= 7,2853 $mm^2/m$

$\frac{As}{s}$ min 1 = 0,062 $\sqrt{f_c'}$ $\frac{b}{f_y}$

= 0,7336

$\frac{As}{s}$ min 2 = 0,35 $\frac{b}{f_y}$

= 0,7

Cek $\frac{As}{s}$ = $\frac{Ash}{s}$ , 1 ≥ max ($\frac{As}{s}$ perlu; $\frac{As}{s}$ min)

= 7,964 mm$^2$/m ≥ 7,2853 mm$^2$/m (OK!)

Tahanan geser beton sumbu kuat

$V_u$ = max ($V_{u\,1}$, $V_{u\,2}$)

= 2042970 N

$\phi$ = 0,75

$V_c$ = $0{,}17\left[1+\frac{N_u}{14\,A_g}\right]\lambda\sqrt{f_c'}\,.\,b\,.\,d$

= 589363 N

$V_s$ perlu = $\frac{V_u}{\phi} - V_c$

= 2134596 N

$\frac{As}{s}$ perlu = $\frac{V_s}{f_y\,d}$

= 7,2853 mm$^2$/m

$\frac{As}{s}$ min 1 = 0,062 $\sqrt{f_c'}$ $\frac{b}{f_y}$

= 0,7336

$\frac{As}{s}$ min 2 = 0,35 $\frac{b}{f_y}$

= 0,7

Cek $\frac{As}{s}$ = $\frac{Ash}{s}$ , 2 ≥ max ($\frac{As}{s}$ perlu; $\frac{As}{s}$ min)

= 7,964 mm$^2$/m ≥ 7,2853 mm$^2$/m (OK!)

Tulangan transversal luar zona sendi plastis (lapangan)

jumlah kaki sisi pendek ($n_1$) = 2

jumlah kaki sisi panjang ($n_2$) = 2

spasi ($s$) = 150 mm

$A_v$ sumbu lemah = $n_1 \cdot \frac{1}{4} \pi d_s^2$

= 265,465 mm$^2$

$A_v$ sumbu kuat = $n_2 \cdot \frac{1}{4} \pi d_s^2$

= 265,465 mm$^2$

*Confinement* (kekangan) luar zona sendi plastis

spasi max 1 = 6 $d_b$

= 174 mm

spasi max 2 = 150 mm

spasi pakai tidak boleh melebihi dari spasi max terkecil, sehingga spasi 150 mm sudah memenuhi syarat.

Kuat geser luar zona sendi plastis

Tahanan geser beton sumbu lemah

$V_u$ = 112823 N

$\phi$ = 0,75

$V_c$ = $0{,}17 \left[1 + \frac{N_u}{14\, A_g}\right] \lambda \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d$

= 589363 N

$V_s$ perlu = nilai terbesar dari $\frac{V_u}{\phi} - V_c$ atau 0

= 0

$\frac{As}{s}$ min 1 = 0

$\frac{As}{s}$ min 2 = 0

Cek $\frac{As}{s}$ = $\frac{Av}{s} \geq \frac{Av}{s}$ perlu

= 1,7698 mm$^2$/m ≥ 0 (OK!)

Tahanan geser beton sumbu kuat

$V_u$ = 96020 N

$\phi$ = 0,75

$V_c$ = $0{,}17\left[1+\frac{N_u}{14\,A_g}\right]\lambda\sqrt{f_c'}\,.b\,.d$

= 589363 N

$V_s$ perlu = nilai terbesar dari $\frac{V_u}{\phi}-V_c$ atau 0

= 0

$\frac{As}{s}$ min 1 = 0

$\frac{As}{s}$ min 2 = 0

Cek $\frac{As}{s}$ = $\frac{Av}{s} \geq \frac{Av}{s}$ perlu

= 1,7698 $mm^2/m \geq 0$ (OK!)

Rekapitulasi hasil perencanaan penulangan kolom tepi dan tengah berdasarkan SNI 2847:2013 dapat dilihat pada Tabel 5.132 dan Tabel 5.133 berikut.

**Tabel 5.132 Hasil Perencanaan Penulangan Kolom Tepi**

| Lantai | Tulangan Longitudinal | Rasio Tulangan ($\rho$) | $M_n^-$ Kolom (kNm) | $M_n^-$ Tumpuan Balok (kNm) | $M_n^+$ Tumpuan Balok (kNm) | Cek SCWB | Tulangan Transversal | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | Tumpuan | | Lapangan | |
| | | | | | | | Sumbu Lemah | Sumbu Kuat | Sumbu Lemah | Sumbu Kuat |
| 1-3 | 24 D29 | 2,48% | 386,444 | 473,846 | 140,935 | OK | 6D13-100 | 6D13-100 | 2D13-150 | 2D13-150 |
| 4-6 | 20 D29 | 2,06% | 381,656 | 473,846 | 140,935 | OK | 6D13-100 | 6D13-100 | 2D13-150 | 2D13-150 |
| 7-9 | 20 D29 | 2,06% | 381,656 | 473,846 | 140,935 | OK | 6D13-100 | 6D13-100 | 2D13-150 | 2D13-150 |
| 10 | 16 D25 | 1,23% | 379,078 | 471,899 | 141,357 | OK | 5D13-100 | 5D13-100 | 2D13-150 | 2D13-150 |

**Tabel 5.133 Hasil Perencanaan Penulangan Kolom Tengah**

| Lantai | Tulangan Longitudinal | Rasio Tulangan ($\rho$) | $M_n^-$ Kolom (kNm) | $M_n^-$ Tumpuan Balok (kNm) | $M_n^+$ Tumpuan Balok (kNm) | Cek SCWB | Tulangan Transversal | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | Tumpuan | | Lapangan | |
| | | | | | | | Sumbu Lemah | Sumbu Kuat | Sumbu Lemah | Sumbu Kuat |
| 1-3 | 32 D36 | 5,09% | 754,918 | 790,463 | 423,417 | OK | 7D16-100 | 7D16-100 | 2D16-150 | 2D16-150 |
| 4-6 | 32 D32 | 4,02% | 865,011 | 881,718 | 519,215 | OK | 5D16-100 | 5D16-100 | 2D16-150 | 2D16-150 |
| 7-9 | 28 D32 | 3,52% | 759,233 | 767,218 | 410,476 | OK | 6D16-100 | 6D16-100 | 2D16-150 | 2D16-150 |
| 10 | 40 D32 | 5,03% | 507,464 | 582,141 | 256,791 | OK | 6D19-100 | 6D19-100 | 2D19-150 | 2D19-150 |

## 5.12 Pembahasan

Berdasarkan hasil perhitungan diatas didapatkan hasil selisih perbedaan antara SNI 03-2847-2002 dan SNI 2847:2013 yang bervariasi. Untuk hasil momen nominal tiap balok mendapatkan hasil yang relatif lebih besar SNI 2847:2013 dibandingkan SNI 03-2847-2002 dengan selisih terbesar yaitu sebesar 13,18581332% untuk momen nominal negatif ($M_n^-$) daerah tumpuan. Untuk momen nominal positif ($M_n^+$) daerah tumpuan memiliki selisih terbesar yaitu sebesar 20,48649686%. Untuk momen nominal negatif ($M_n^-$) daerah lapangan memiliki selisih terbesar yaitu sebesar 18,36241878%. Dan untuk momen nominal positif ($M_n^+$) daerah lapangan memiliki selisih terbesar yaitu sebesar 13,19283817%. Hal ini terjadi karena perbedaan besaran faktor reduksi kekuatan ($\phi$) untuk momen lentur antara SNI 03-2847-2002 dan SNI 2847:2013 yang dimana pada penelitian ini didapatkan nilai $\phi$ untuk SNI 03-2847-2002 sebesar 0,8 dan $\phi$ untuk SNI 2847:2013 sebesar 0,9. Nilai $\phi$ untuk SNI 2847:2013 pada desain komponen tulangan kembar bangunan gedung ini sebesar 0,9 dikarenakan pernyataan asumsi tulangan tekan belum leleh benar yang mana hasil nilai dari $\varepsilon_t$ kurang daripada 0,005. Maka dari rentang nilai $\phi$ antara 0,65-0,9 untuk SNI 2847:2013 digunakan nilai maksimum yaitu 0,9 yang sesuai dengan asumsi awal. Jika nilai dari $\varepsilon_t$ sama atau lebih daripada 0,005 perlu dilakukan interpolasi dari rentang nilai $\phi$ antara 0,65-0,9 sehingga dipakai nilai $\phi$ hasil interpolasi.

Sedangkan untuk luas tulangan lentur terpasang yang dibutuhkan berdasarkan SNI 2847:2013 relatif lebih sedikit dibandingkan perhitungan berdasarkan SNI 03-2847-2002 pada beberapa balok dengan selisih terbesar yaitu 20,22160665% untuk luas tulangan lentur daerah tumpuan dan 20,22160665% untuk luas tulangan lentur daerah lapangan. Hal ini terjadi karena perbedaan besaran faktor reduksi kekuatan ($\phi$) untuk momen lentur yang dimana tiap jumlah tulangan lentur yang sama pada balok akan menghasilkan momen nominal yang lebih besar dalam perhitungan berdasarkan SNI 2847:2013 dibandingkan SNI 03-2847-2002, maka dalam beberapa perhitungan terdapat pengurangan jumlah tulangan tetapi masih dapat mengakomodir nilai momen ultimit ($M_u$) balok tersebut dan menjadikan standar SNI 2847:2013 lebih efisien dalam total jumlah tulangan dan luas tulangan.

Dan untuk luas sengkang yang dibutuhkan berdasarkan SNI 2847:2013 juga relatif lebih sedikit jika dibandingkan dengan SNI 03-2847-2002 dengan selisih terbesar yaitu 50% untuk luas sengkang daerah tumpuan dan 46,66666667% untuk luas sengkang daerah lapangan. Hal ini terjadi karena perbedaan faktor reduksi kekuatan ($\phi$) untuk gaya geser dimana pada SNI 03-2847-2002 digunakan nilai $\phi$ sebesar 0,55 dan untuk SNI 2847:2013 digunakan nilai $\phi$ sebesar 0,75.

Pada hasil perencanaan penulangan kolom berdasarkan SNI 2847:2013 didapatkan bahwa hasil perencanaan baik untuk kolom tepi dan kolom tengah sudah memenuhi konsep SCWB (*Strong Column Weak Beam*) dimana momen nominal kolom lebih besar 1,2 kali dari momen nominal balok yang ditumpu. Rasio tulangan kolom sudah memenuhi syarat yaitu luas tulangan antara 1% - 6% luas kolom, dengan rasio tulangan terkecil yaitu 1,23% pada kolom tepi lantai 10 dan rasio tulangan terbesar yaitu 5,09% pada kolom tengah lantai 1-3.

# BAB VI
# KESIMPULAN DAN SARAN

## 6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai tugas akhir ini dapat dilihat pada uraian dibawah ini:

1. SNI 2847-2013 menghasilkan nilai momen nominal yang relatif lebih besar daripada SNI 03-2847-2002 untuk tiap tipikal balok dengan masing-masing selisih terbesar yaitu 13,18581332% untuk momen nominal negatif ($Mn^-$) daerah tumpuan, 20,48649686% untuk momen nominal positif ($Mn^+$) daerah tumpuan, 18,36241878% untuk momen nominal negatif ($Mn^-$) daerah lapangan, dan 13,19283817% untuk momen nominal positif ($Mn^+$) daerah lapangan.
2. Luas tulangan lentur yang dibutuhkan berdasarkan SNI 2847:2013 relatif lebih sedikit jika dibandingkan dengan SNI 03-2847-2002 dengan selisih terbesar yaitu 20,22160665% untuk luas tulangan lentur daerah tumpuan dan -20,22160665% untuk luas tulangan lentur daerah lapangan.
3. Luas sengkang yang dibutuhkan berdasarkan SNI 2847:2013 relatif lebih sedikit jika dibandingkan dengan SNI 03-2847-2002 dengan selisih terbesar yaitu 50% untuk luas sengkang daerah tumpuan dan 46,66666667% untuk luas sengkang daerah lapangan.
4. Hasil perencanaan penulangan kolom berdasarkan SNI 2847:2013 sudah memenuhi persyaratan SCWB (*Strong Column Weak Beam*) yaitu momen nominal kolom mampu menopang 1,2 kali momen nominal balok yang ditumpu, serta memenuhi persyaratan rasio tulangan kolom yaitu luas tulangan antara 1% - 6% luas kolom, dengan rasio tulangan terkecil yaitu 1,23% pada kolom tepi lantai 10 dan rasio tulangan terbesar yaitu 5,09% pada kolom tengah lantai 1-3.

## 6.2 Saran

Berdasarkan dari hasil kesimpulan diatas, beberapa saran yang diharapkan dari penulis untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Analisa beban gempa dapat menggunakan metode analisis riwayat waktu (*Time History Analysis*) agar didapat hasil beban gempa yang lebih detail.
2. Melakukan variasi penempatan *shear wall* untuk mengetahui dimana letak *shear wall* yang optimal dan dapat ditambahkan perhitungan desain *shear wall* yang digunakan.
3. Perhitungan RAB (Rencana Anggaran Biaya) dapat ditambahkan untuk mendapatkan perbandingan besaran biaya yang dibutuhkan pada bangunan menggunakan standar SNI 03-2847-2002 dan SNI 2847:2013.
4. Agar tidak membandingkan hanya 2 aturan.

# DAFTAR PUSTAKA


Badan Standarisasi Nasional. 2002. SNI 03-2847-2002. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung.* BSN. Jakarta.

Badan Standarisasi Nasional. 2013. SNI 2847:2013. *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung.* BSN. Jakarta.

Badan Standarisasi Nasional. 2014. SNI 2052:2014. *Baja Tulangan Beton.* BSN. Jakarta.

Nawy, Edward G, 1998. *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar*. Refika Aditama, Bandung.

McCormac, Jack C, 2003. *Desain Beton Bertulang*, Erlangga, Jakarta.

Pramono, Handi. 2007. *Desain Konstruksi Plat & Rangka Beton Bertulang dengan SAP2000.* Penerbit Andi. Yogyakarta.

Tavio; dan Kusuma, B. 2009. *Desain Sistem Rangka Pemikul Momen dan Dinding Struktur Beton Bertulang Tahan Gempa – Sesuai SNI 03-2847-2002 dan SNI 03-1726-2002 Dilengkapi Pemodelan dan Analisis dengan Program Bantu ETABS v.9.07.* Penerbit ITS Press. Surabaya.

Asroni, H. Ali. 2010. *Balok dan Pelat Beton Bertulang.* Penerbit Graha Ilmu. Yogyakarta.

Pamungkas, Anugrah. 2018. *Struktur Beton Bertulang Tahan Gempa.* Penerbit Andi. Yogyakarta.

Budiono, Bambang et. Al. 2019. *Contoh Desain Bangunan Tahan Gempa dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus dan Sistem Dinding Struktur Khusus di Jakarta.* Penerbit ITB. Bandung.

Alfreda, Freddy. 2016. *Studi Perbandingan Persyaratan Beton Pratekan Menggunakan SNI 03-2847-2002 dan SNI 2847:2013 dengan Tinjauan Gempa.* Jurnal ITS. Surabaya.

Paramita, Andini. 2016. *Studi Komparasi Perancangan Struktur Gedung Berdasarkan SNI 03-2847-2002 dan SNI 2847:2013.* Jurnal UMY. Yogyakarta.

Pangestuti, Endah Kanti. 2016. *Perbandingan Analisa Perhitungan Beton Struktural pada Proyek Pembangunan Gedung F Universitas Pekalongan.* Jurnal UNNES. Semarang.

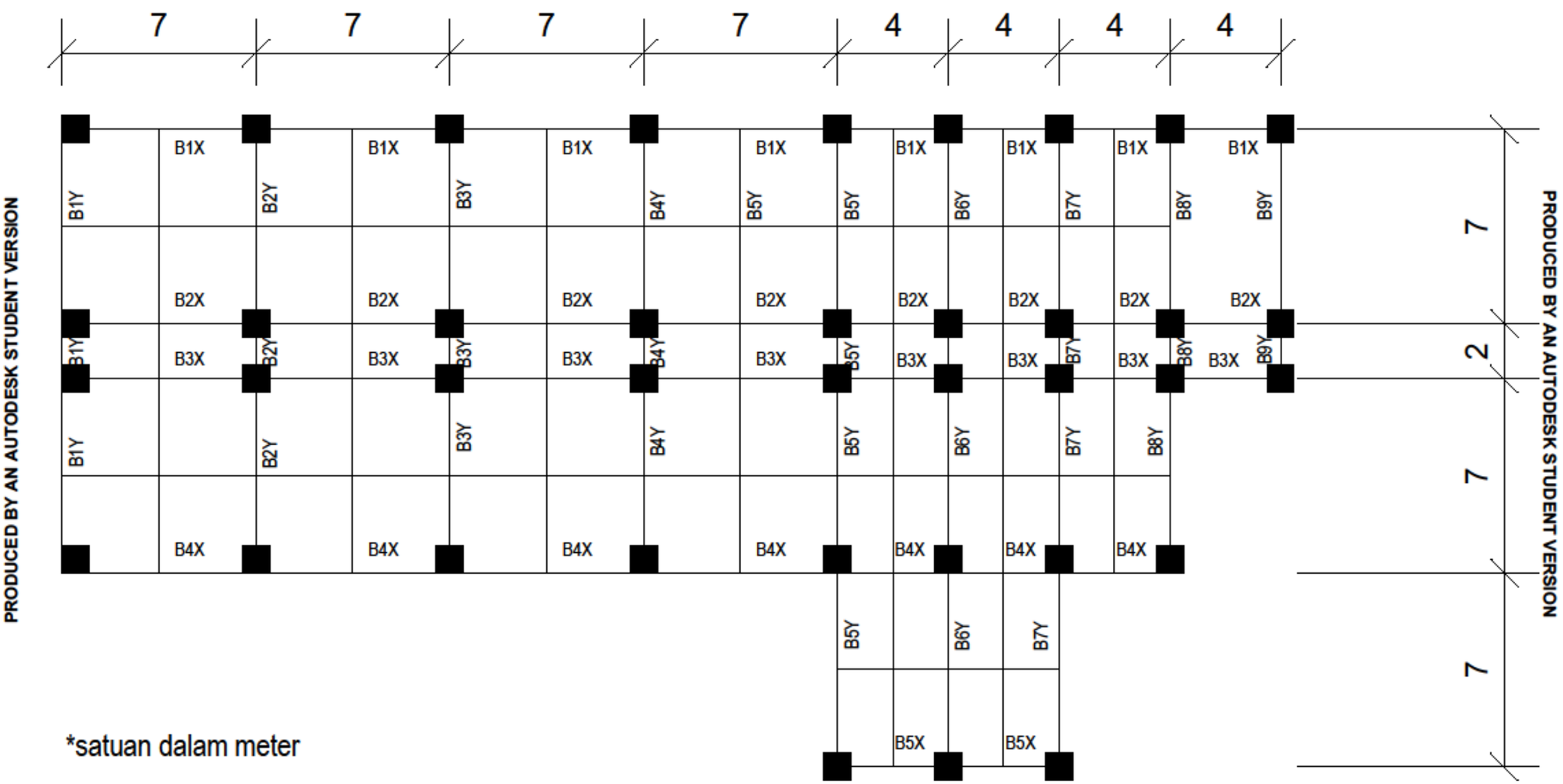
Chadaffi, Muchammad. 2017. *Perbandingan Perhitungan Struktur Bangunan Gedung Hotel Sala View yang Berpedoman pada SNI 1726:2002 dan SNI 1726-2012.* Jurnal ITS. Surabaya.

Haryata. Budi Agung. 2019. *Analisis Perbandingan Respon Struktur Akibat Beban Gempa Dinamik pada Gedung Bertingkat Menurut SNI 03-1726-2002 dan SNI 03-1726-2012 (Studi Kasus: Gedung Bank Mandiri Syariah Yogyakarta).* Jurnal UII. Yogyakarta.

# LAMPIRAN

**Lampiran 1** Denah Bangunan Lantai 1 (Tampak Atas)

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

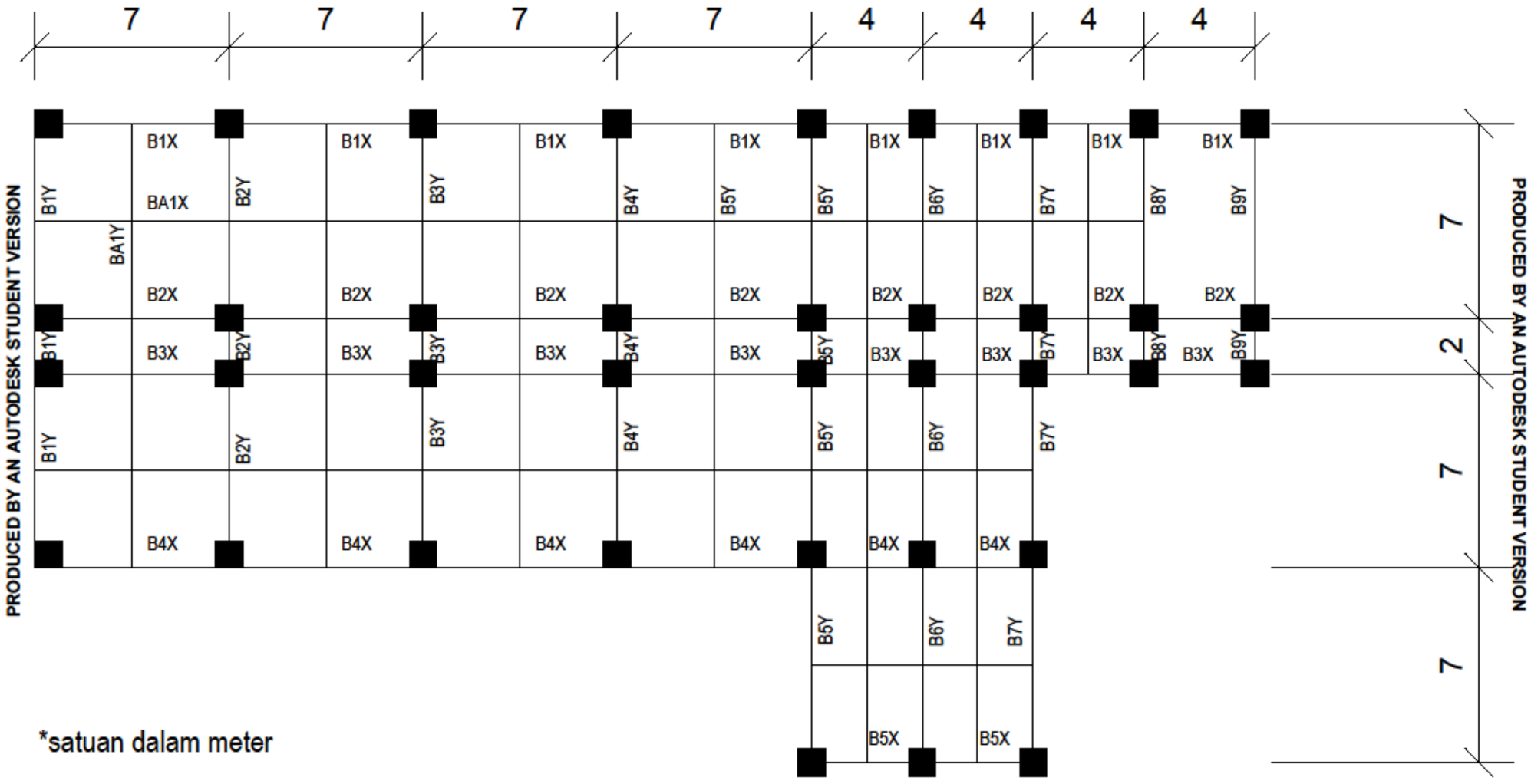



*satuan dalam meter

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

**Lampiran 2** Denah Bangunan Lantai 2 s.d. Lantai 10 (Tampak Atas)

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

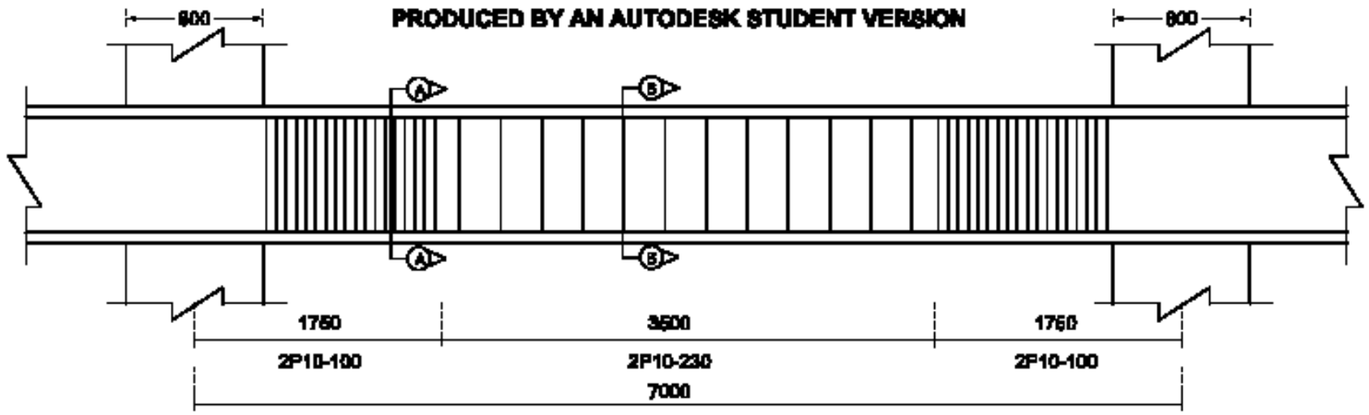


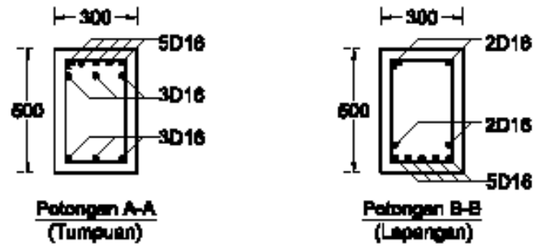

*satuan dalam meter

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

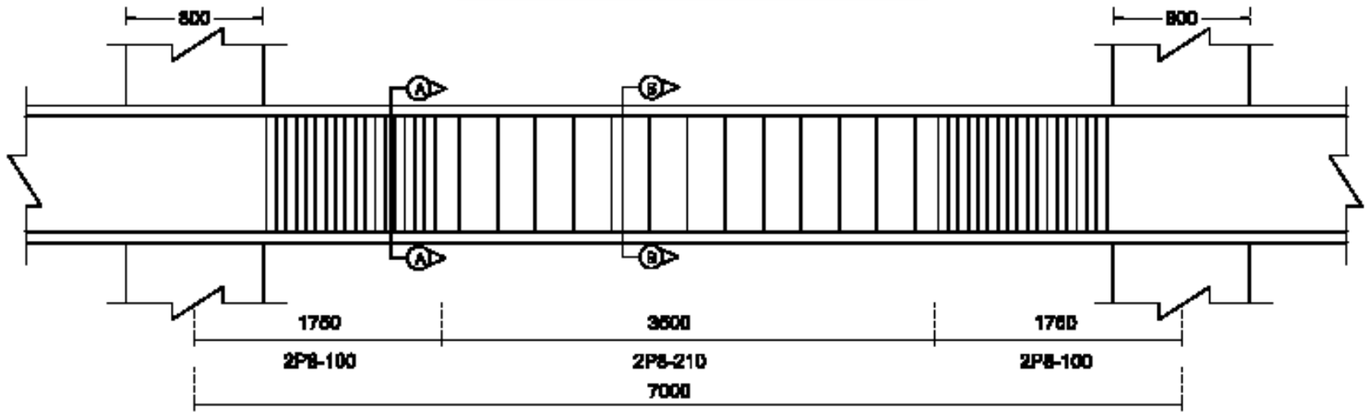
**Lampiran 3** Detail Balok BX Exterior 7 m (Lantai 1-3)

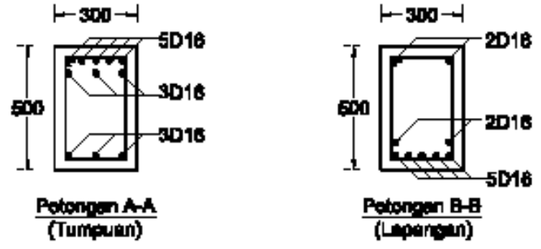
PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION




Detail Balok BX exterior 7 m 2002 (Lantai 1-3)



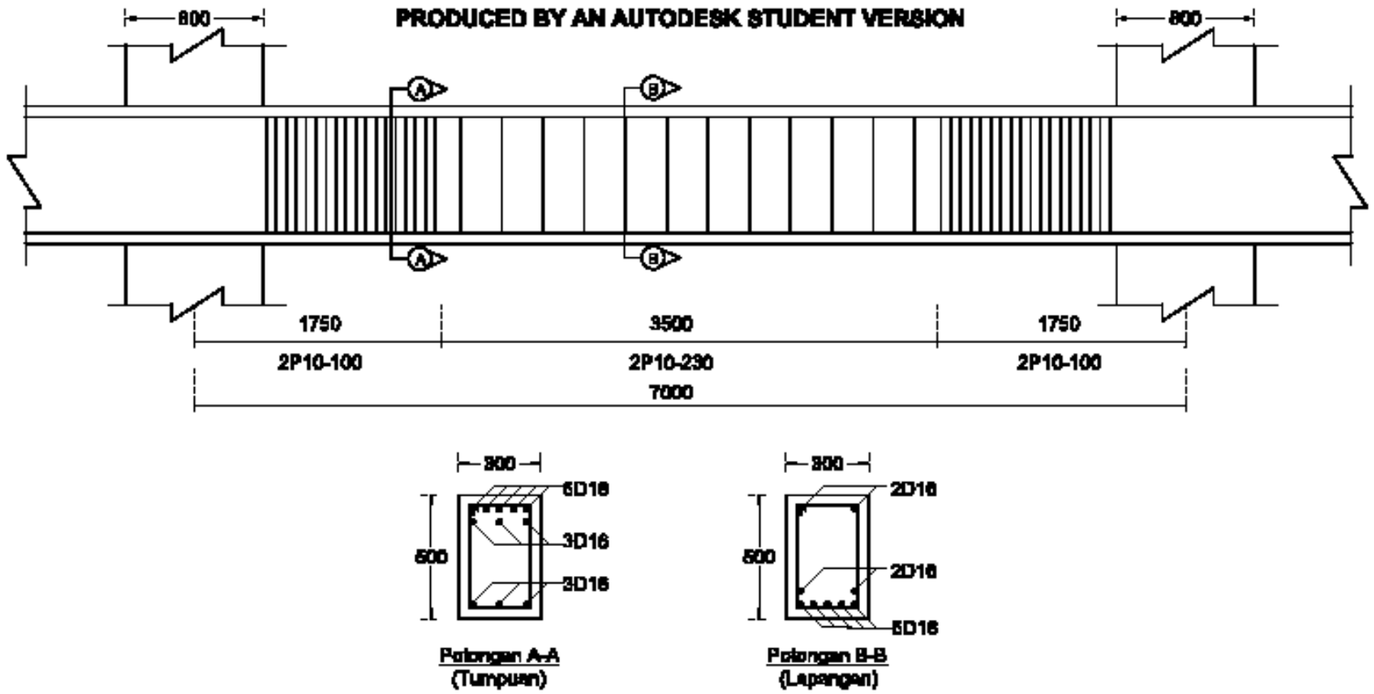

Detail Balok BX exterior 7 m 2013 (Lantai 1-3)

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

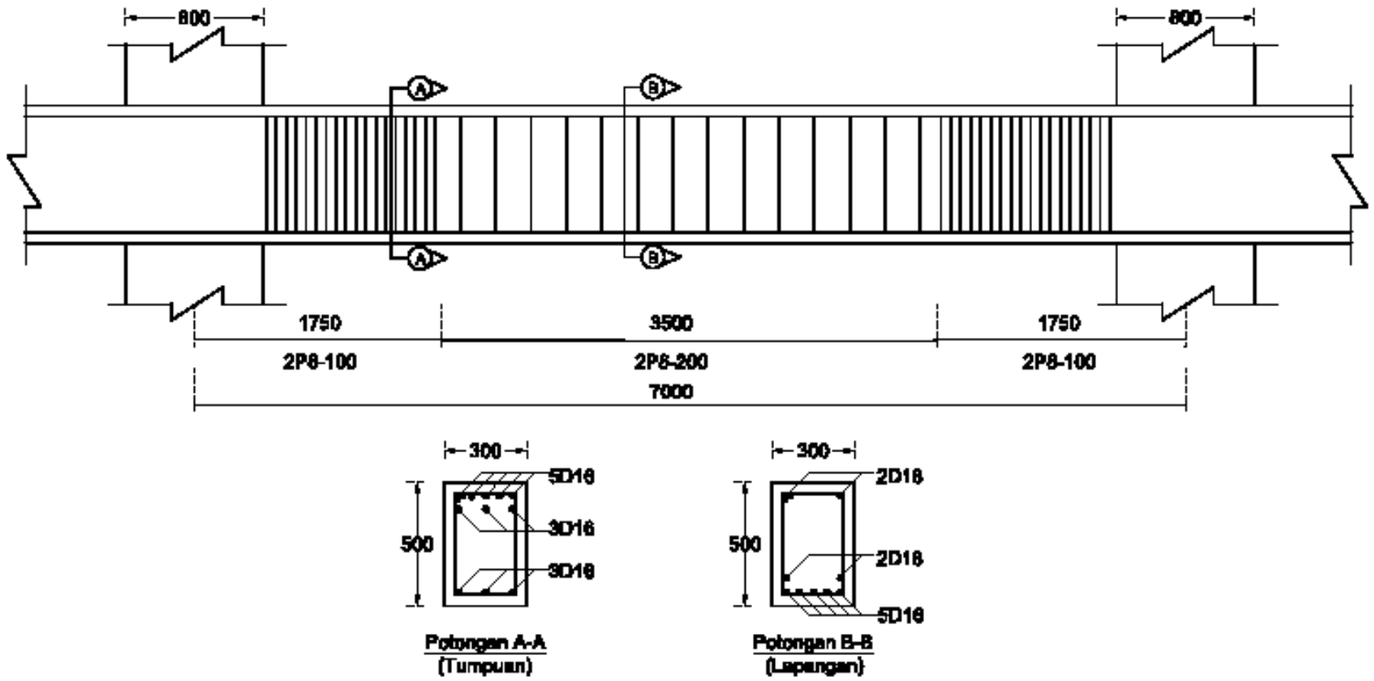
PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

**Lampiran 4** Detail Balok BX Exterior 7 m (Lantai 4-6)

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION




Detail Balok BX exterior 7 m 2013 (Lantai 4-6)




Detail Balok BX exterior 7 m 2013 (Lantai 4-6)

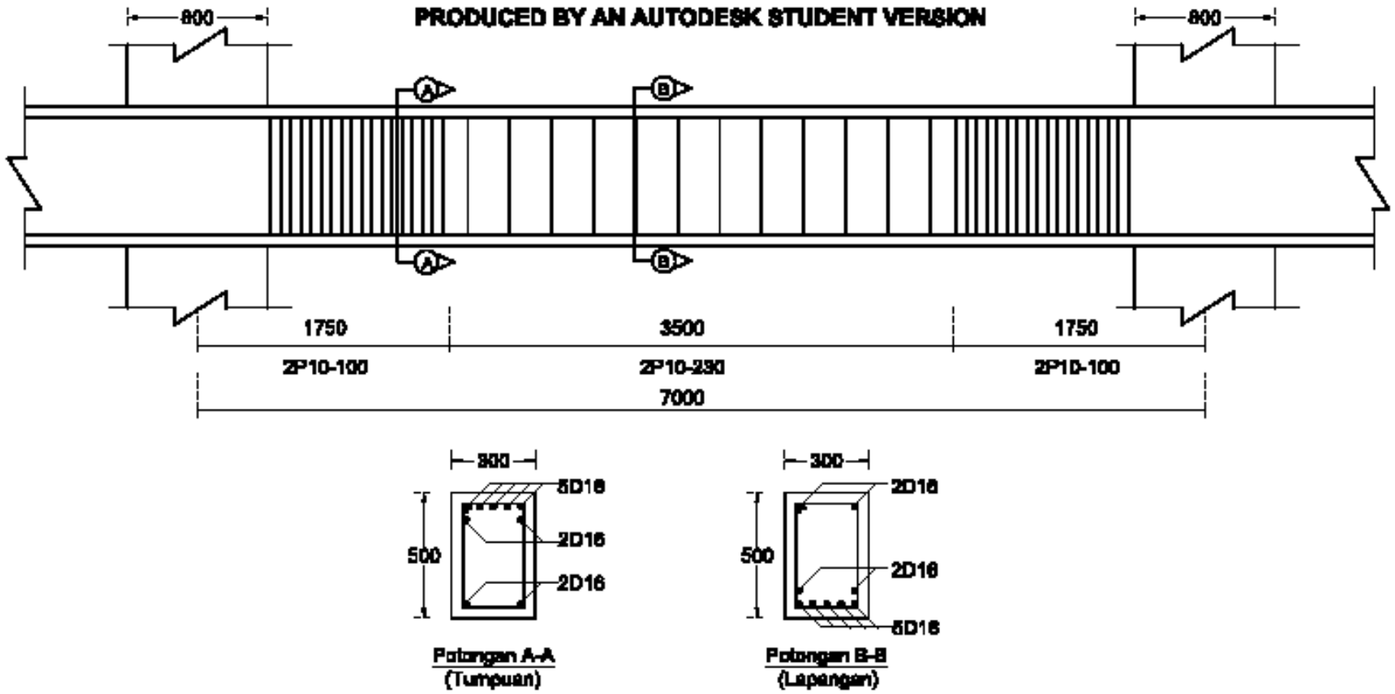
PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

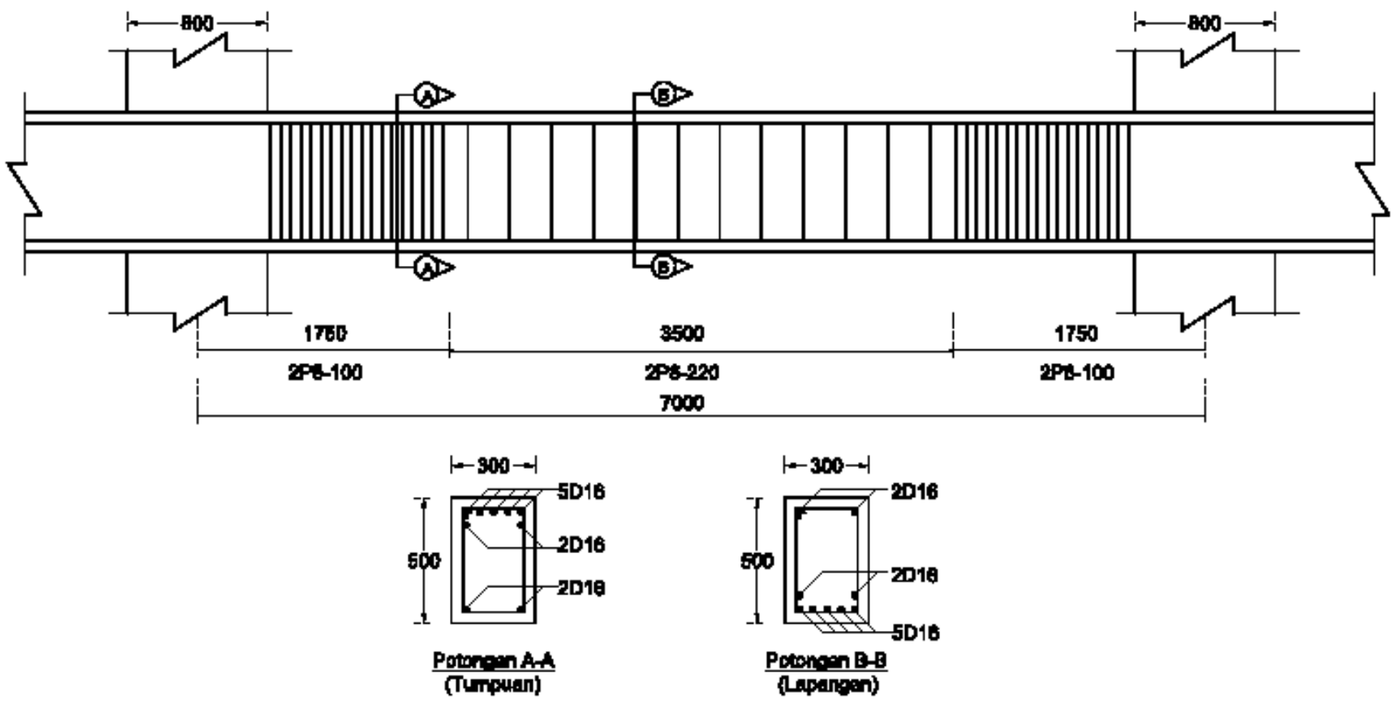
PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

**Lampiran 5** Detail Balok BX Exterior 7 m (Lantai 7-9)

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION




Detail Balok BX exterior 7 m 2002 (Lantai 7-9)



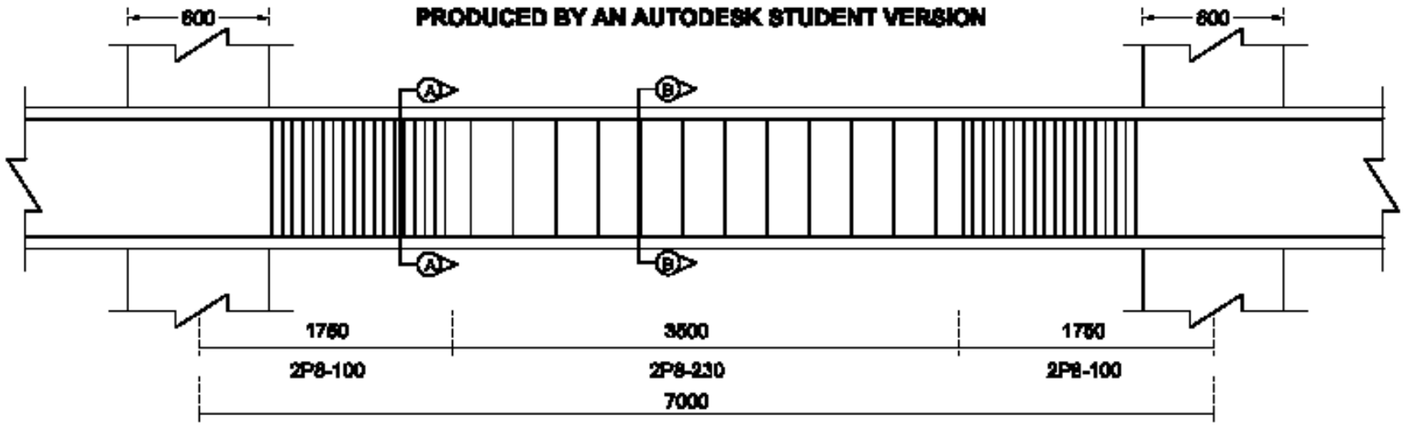

Detail Balok BX exterior 7 m 2013 (Lantai 7-9)

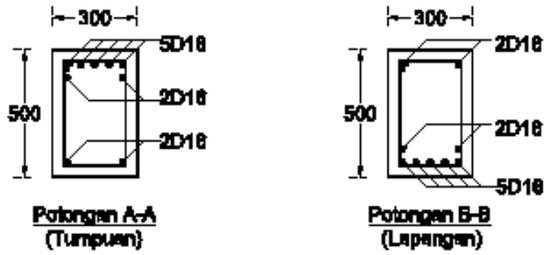
PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

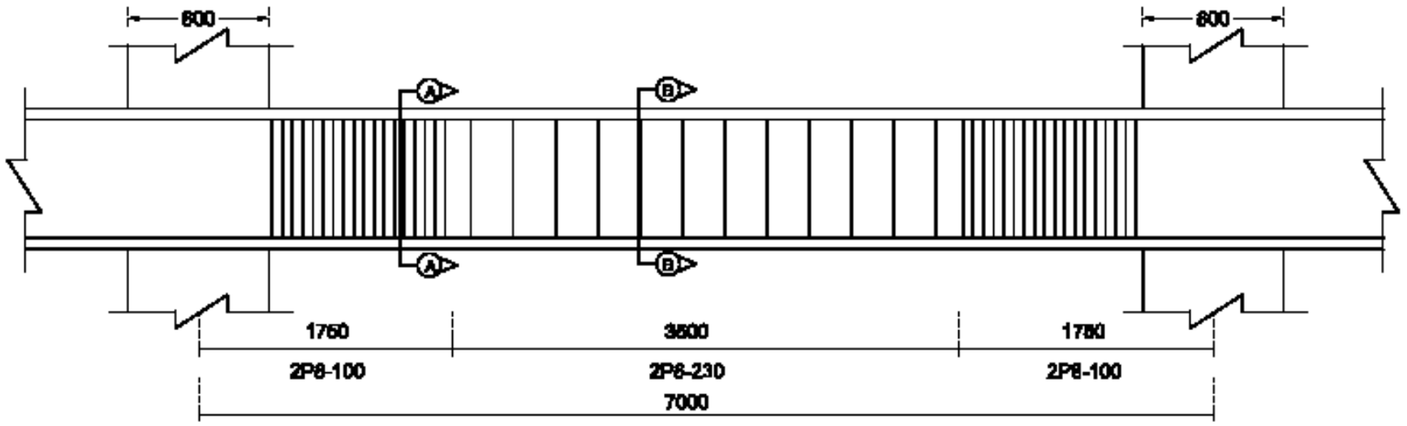
**Lampiran 6** Detail Balok BX Exterior 7 m (Lantai 10)

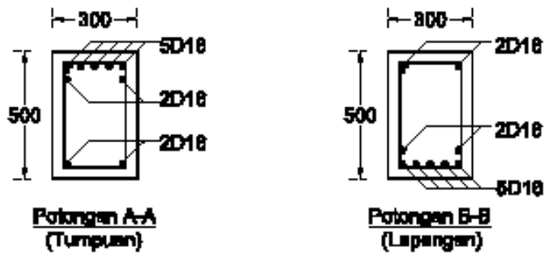
PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION




Detail Balok BX exterior 7 m 2002 (Lantai 10)



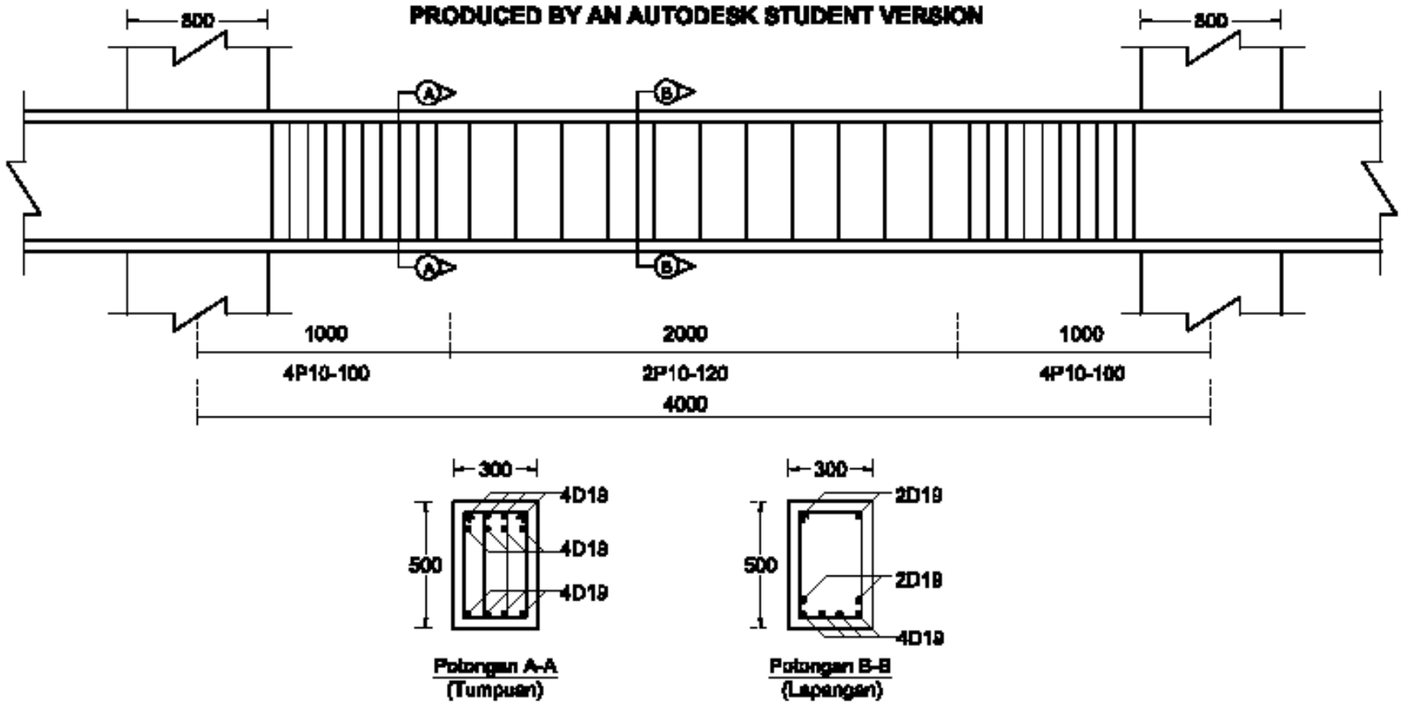

Detail Balok BX exterior 7 m 2013 (Lantai 10)

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

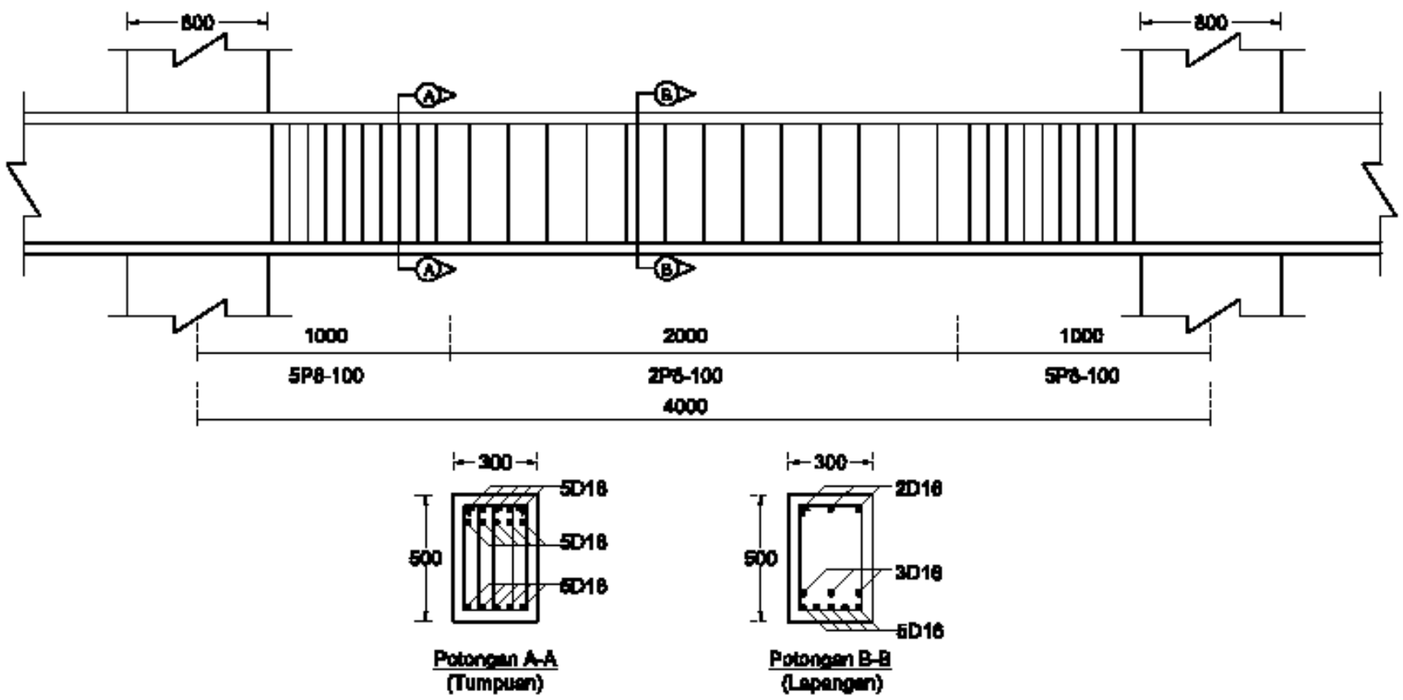
PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

**Lampiran 7** Detail Balok BX Exterior 4 m (Lantai 1-3)

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION




Detail Balok BX exterior 4 m 2002 (Lantai 1-3)



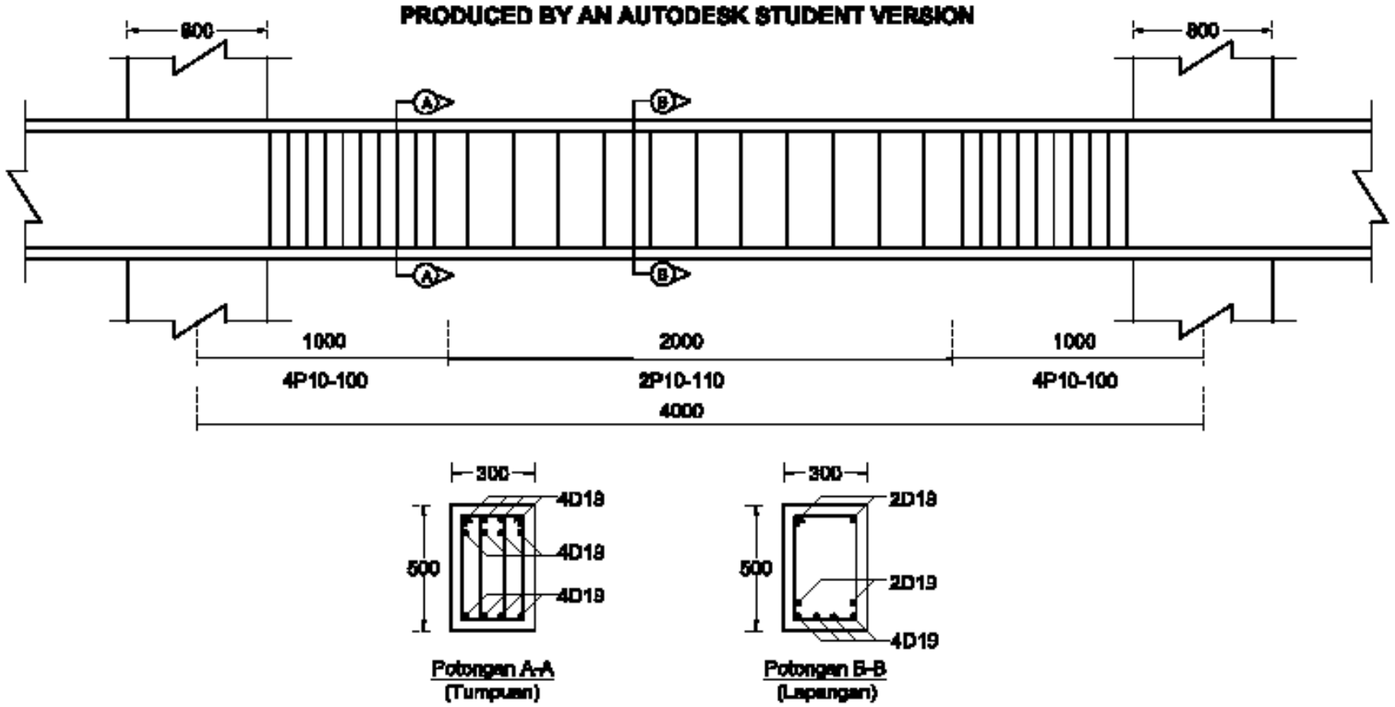

Detail Balok BX exterior 4 m 2013 (Lantai 1-3)

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

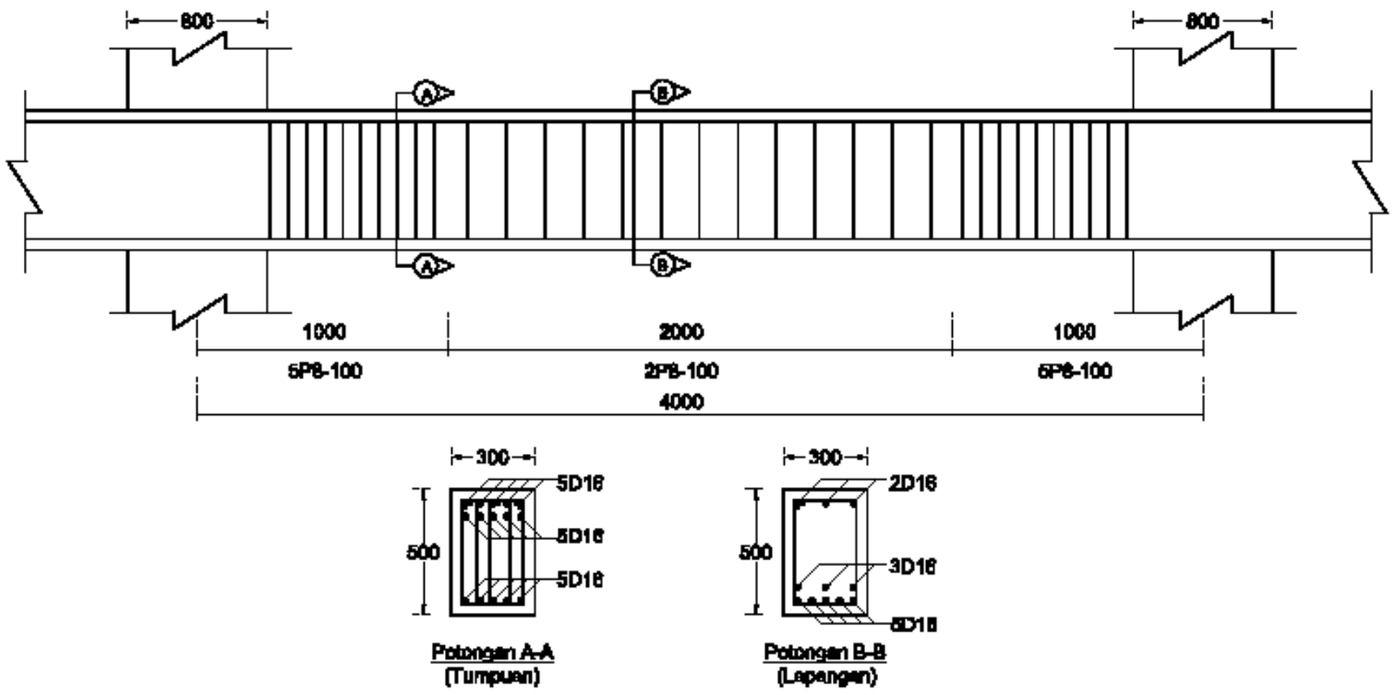
PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

**Lampiran 8** Detail Balok BX Exterior 4 m (Lantai 4-6)

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION




Detail Balok BX exterior 4 m 2002 (Lantai 4-6)



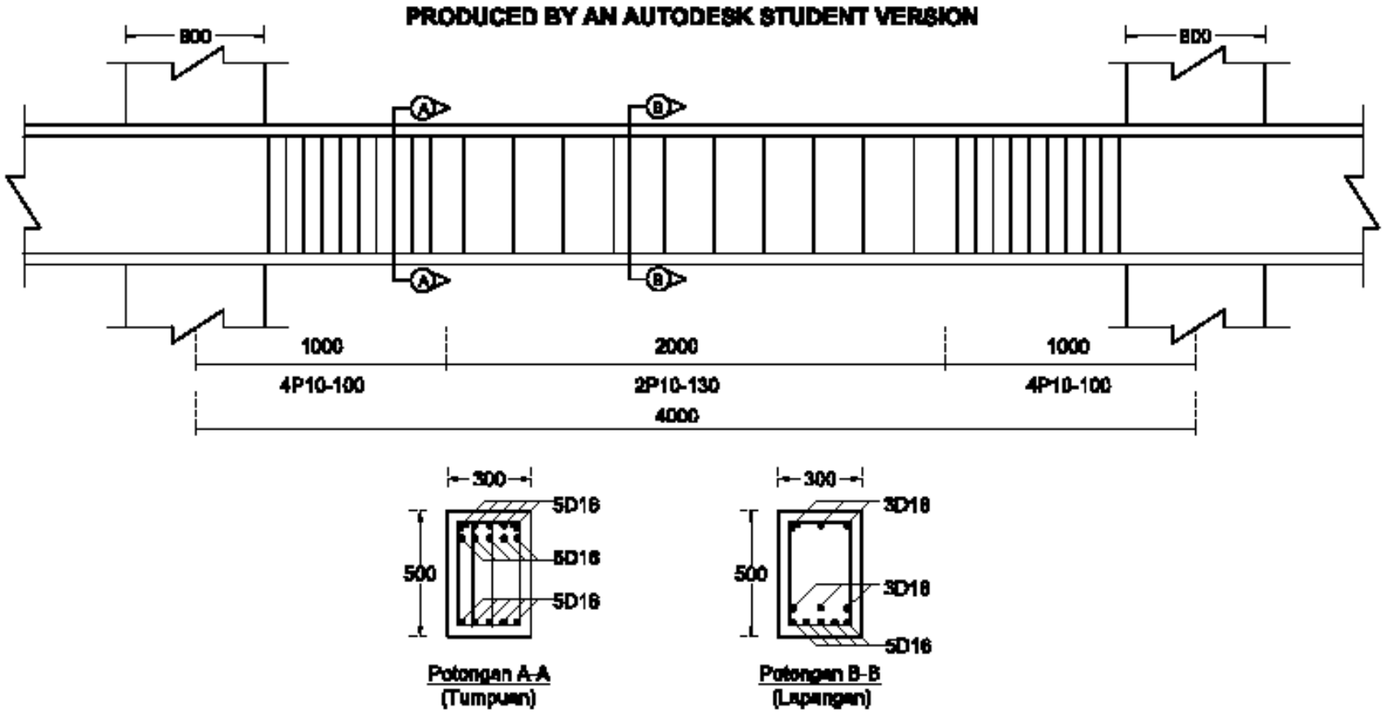

Detail Balok BX exterior 4 m 2013 (Lantai 4-6)

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

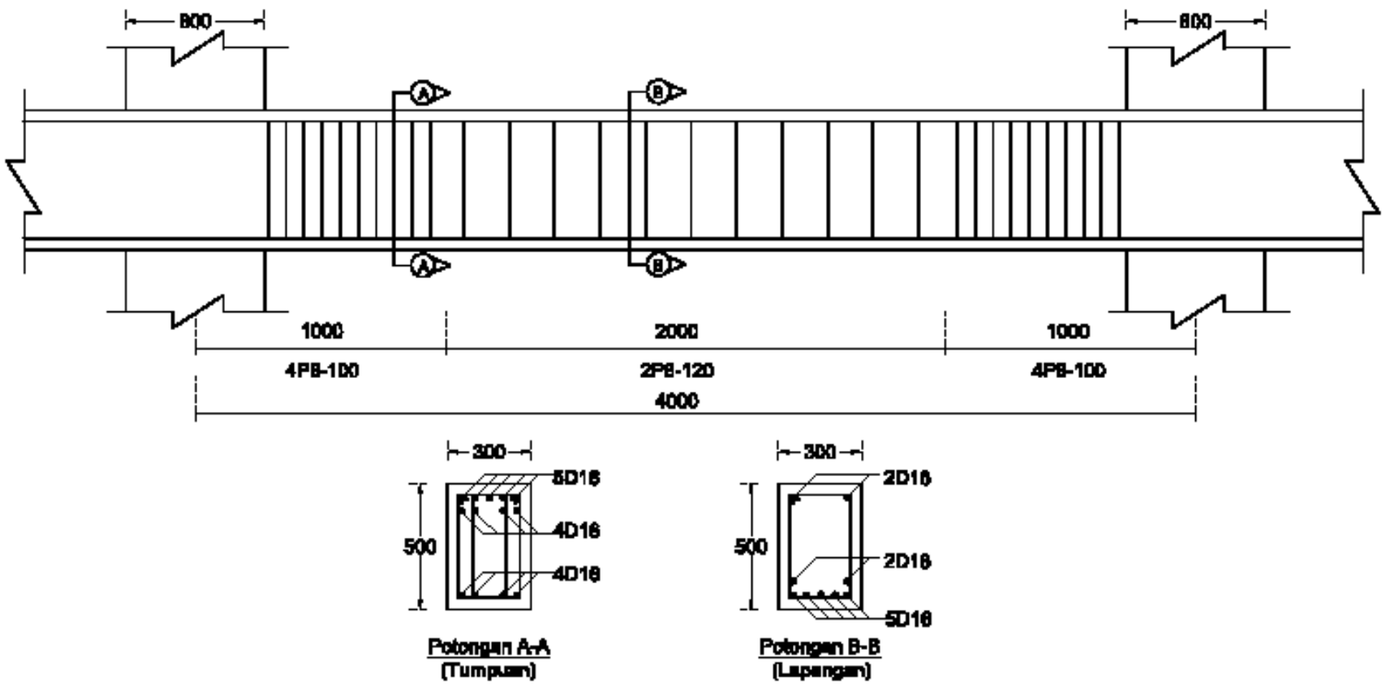
PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

**Lampiran 9** Detail Balok BX Exterior 4 m (Lantai 7-9)

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION




Detail Balok BX exterior 4 m 2002 (Lantai 7-9)



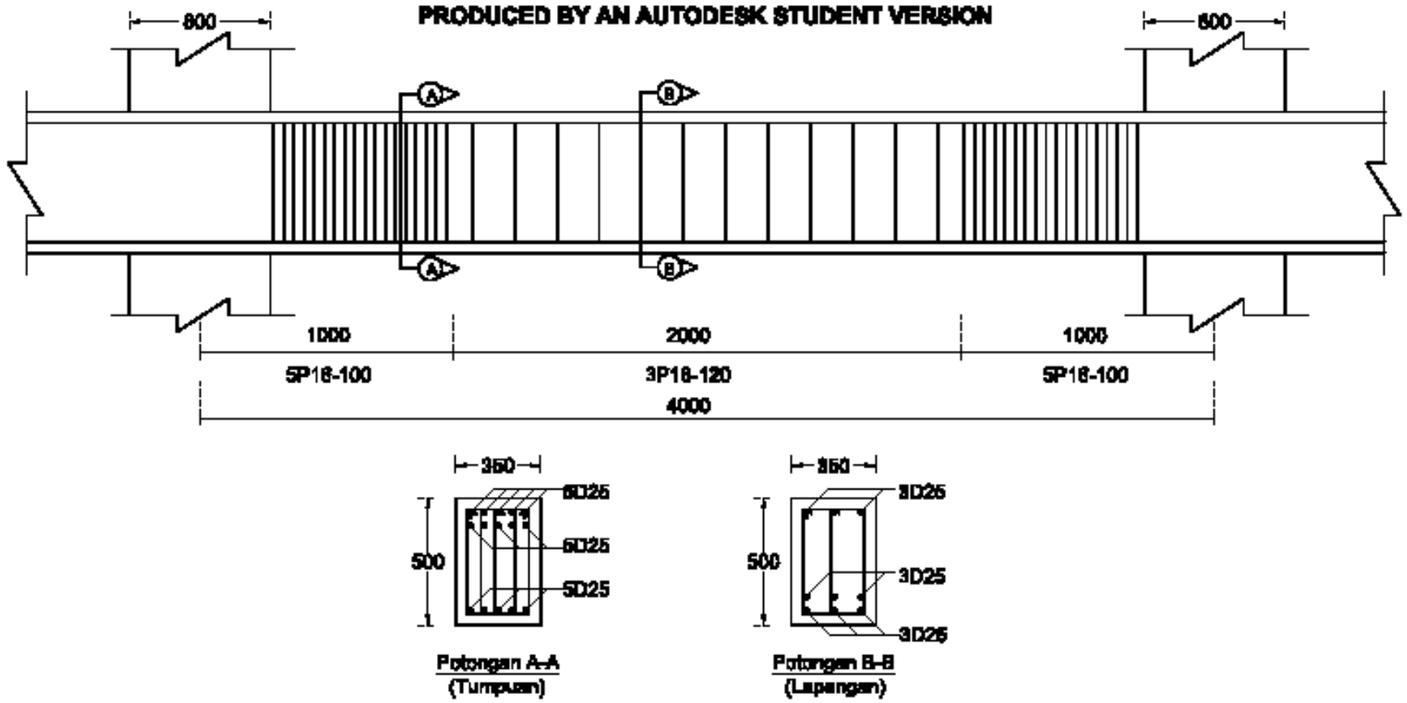

Detail Balok BX exterior 4 m 2013 (Lantai 7-9)

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

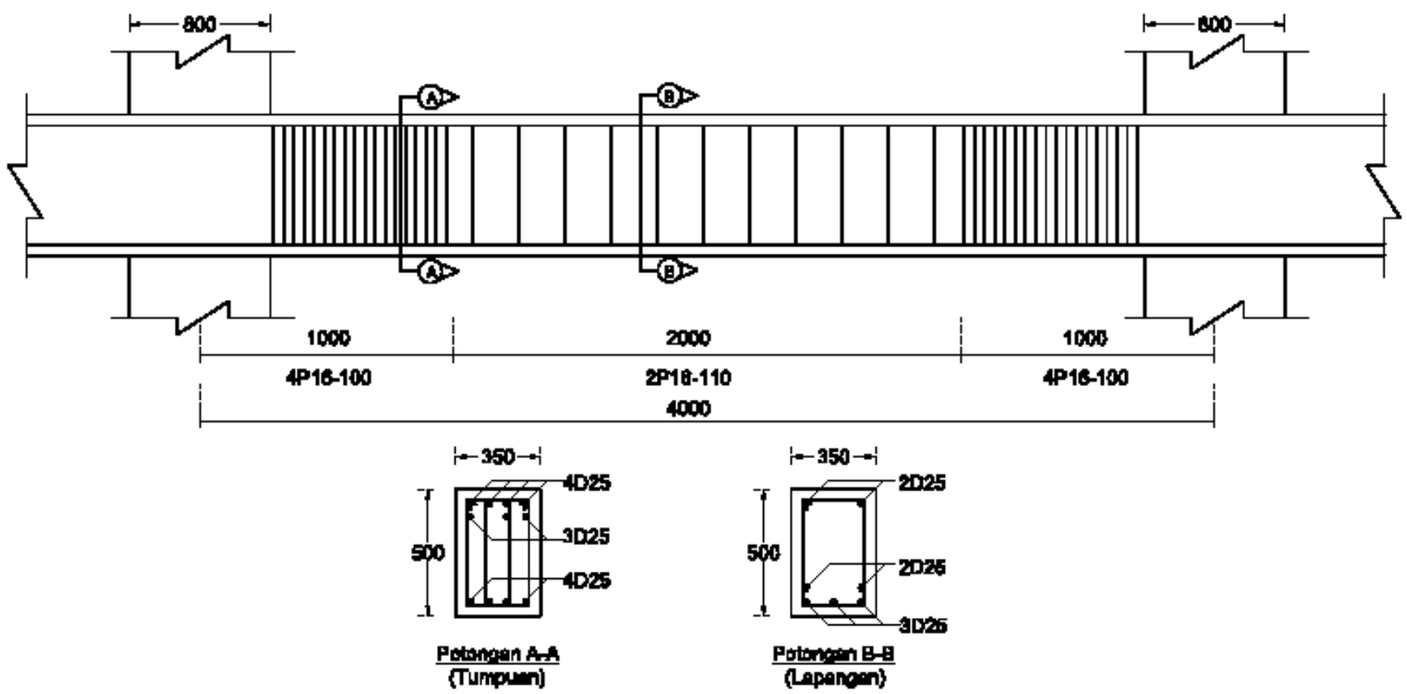
PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

**Lampiran 10** Detail Balok BY Exterior 7 m (Lantai 1-3)

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION




Detail Balok BX exterior 4 m 2002 (Lantai 10)



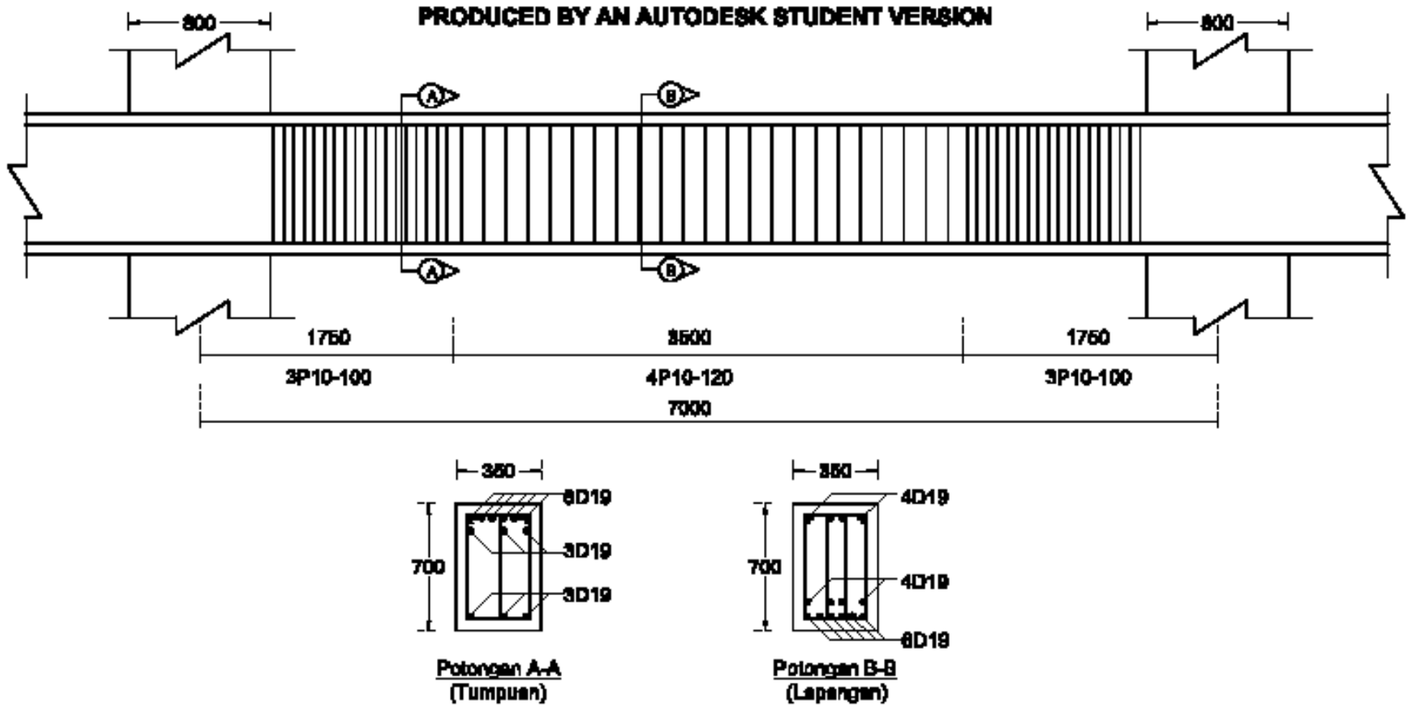

Detail Balok BX exterior 4 m 2013 (Lantai 10)

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

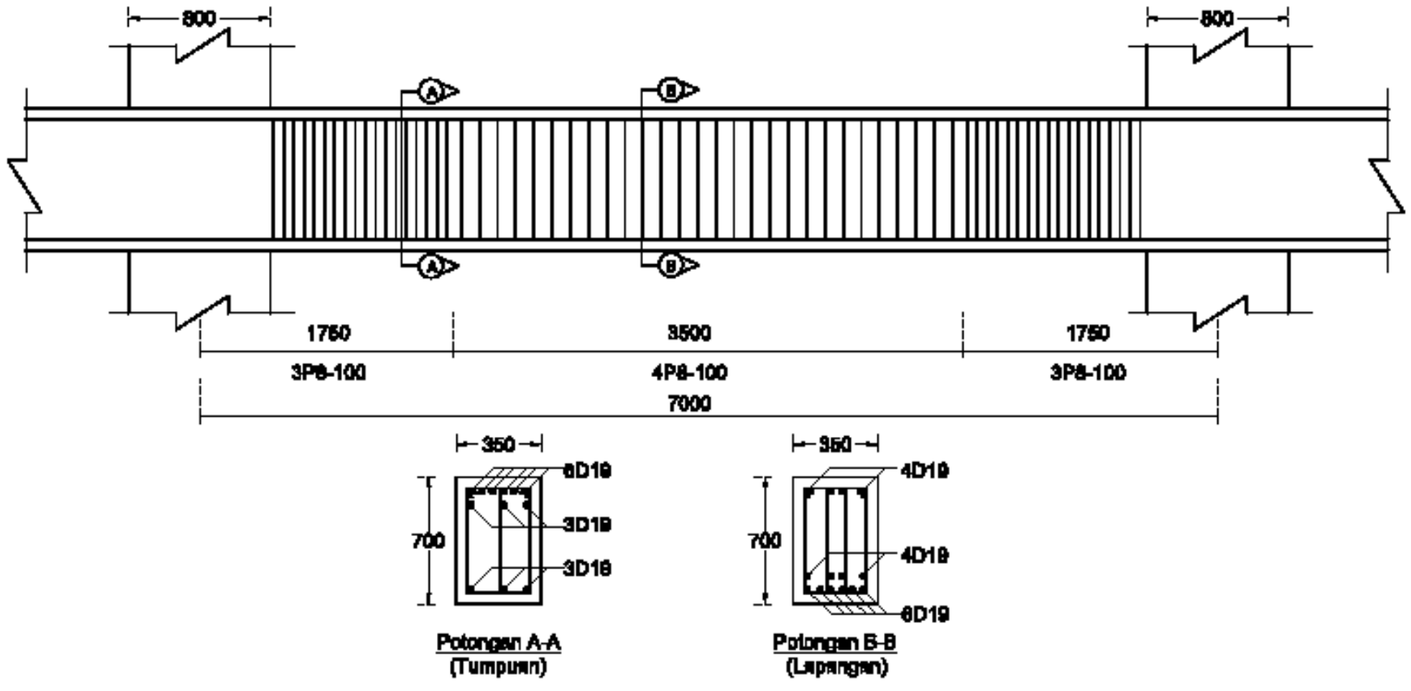
PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

**Lampiran 11** Detail Balok BY Exterior 7 m (Lantai 1-3)

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION




Detail Balok BY exterior 7 m 2002 (Lantai 1-3)



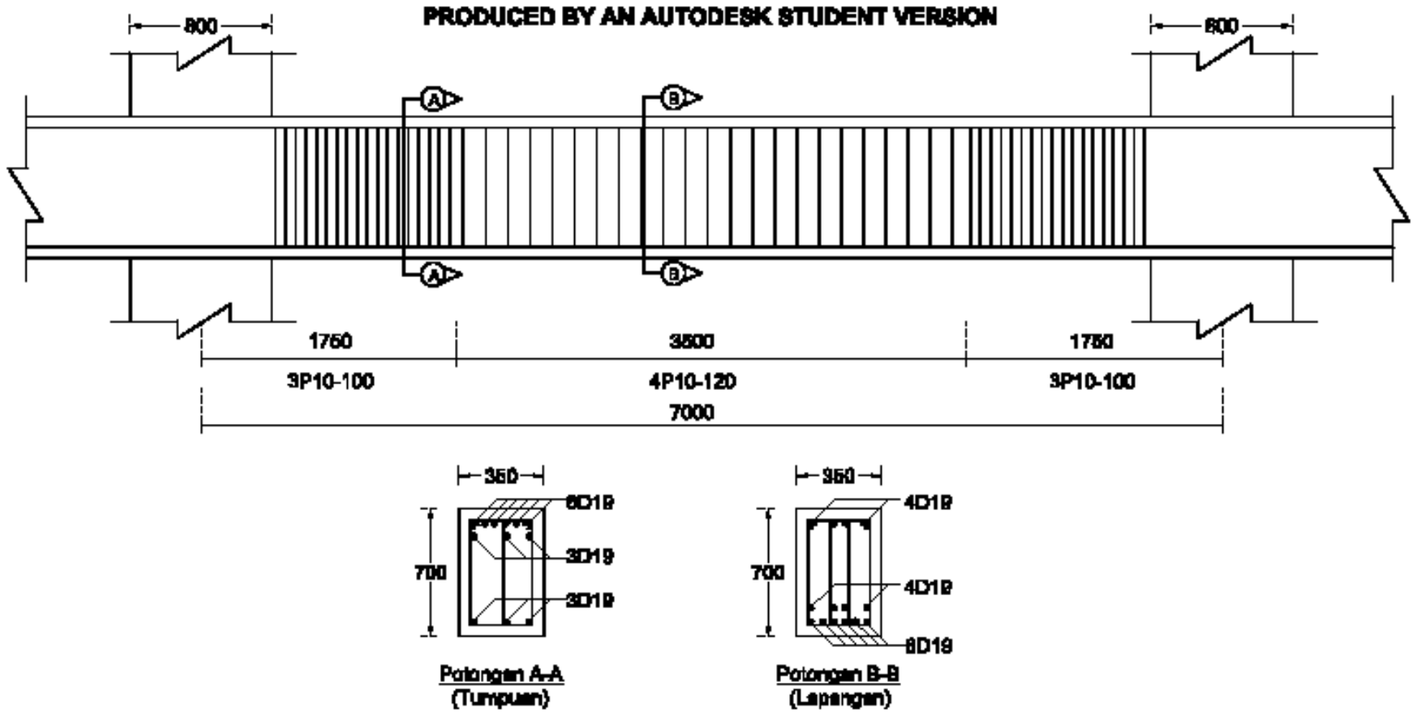

Detail Balok BY exterior 7 m 2013 (Lantai 1-3)

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

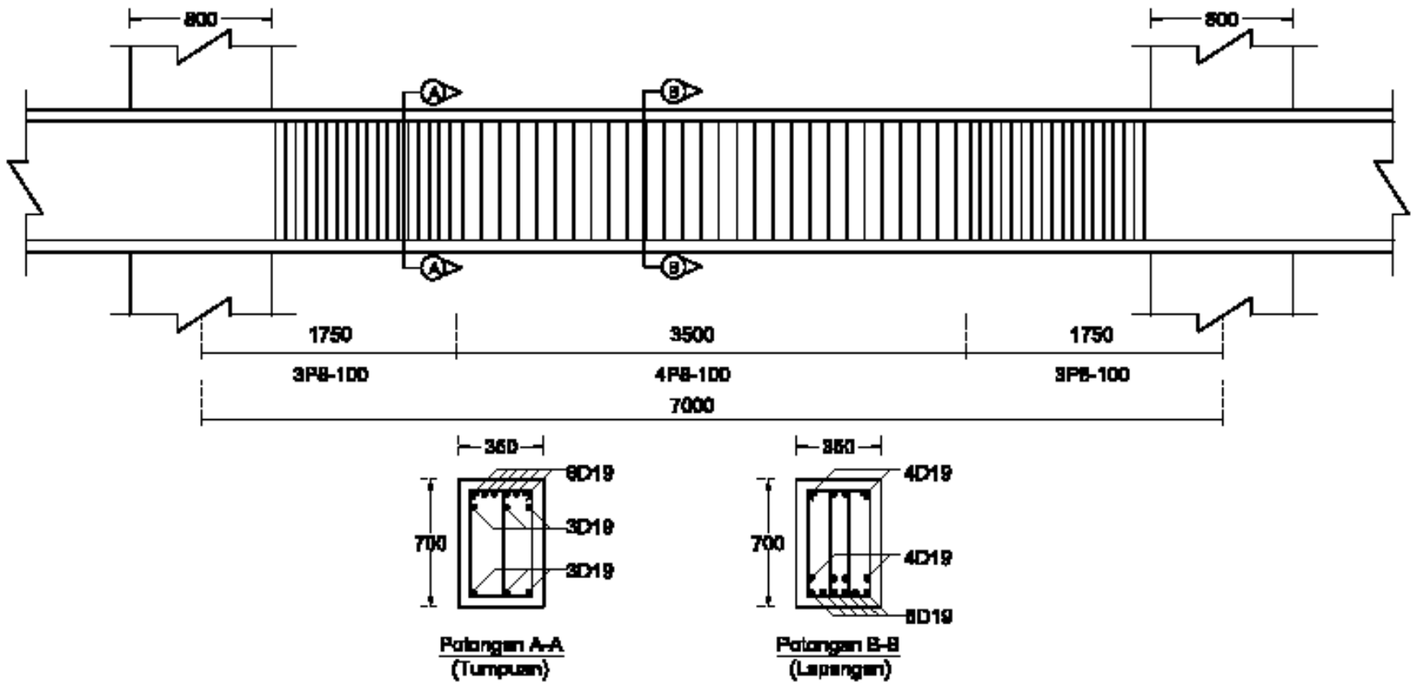
PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

**Lampiran 12** Detail Balok BY Exterior 7 m (Lantai 4-6)

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION




Detail Balok BY exterior 7 m 2002 (Lantai 4-6)



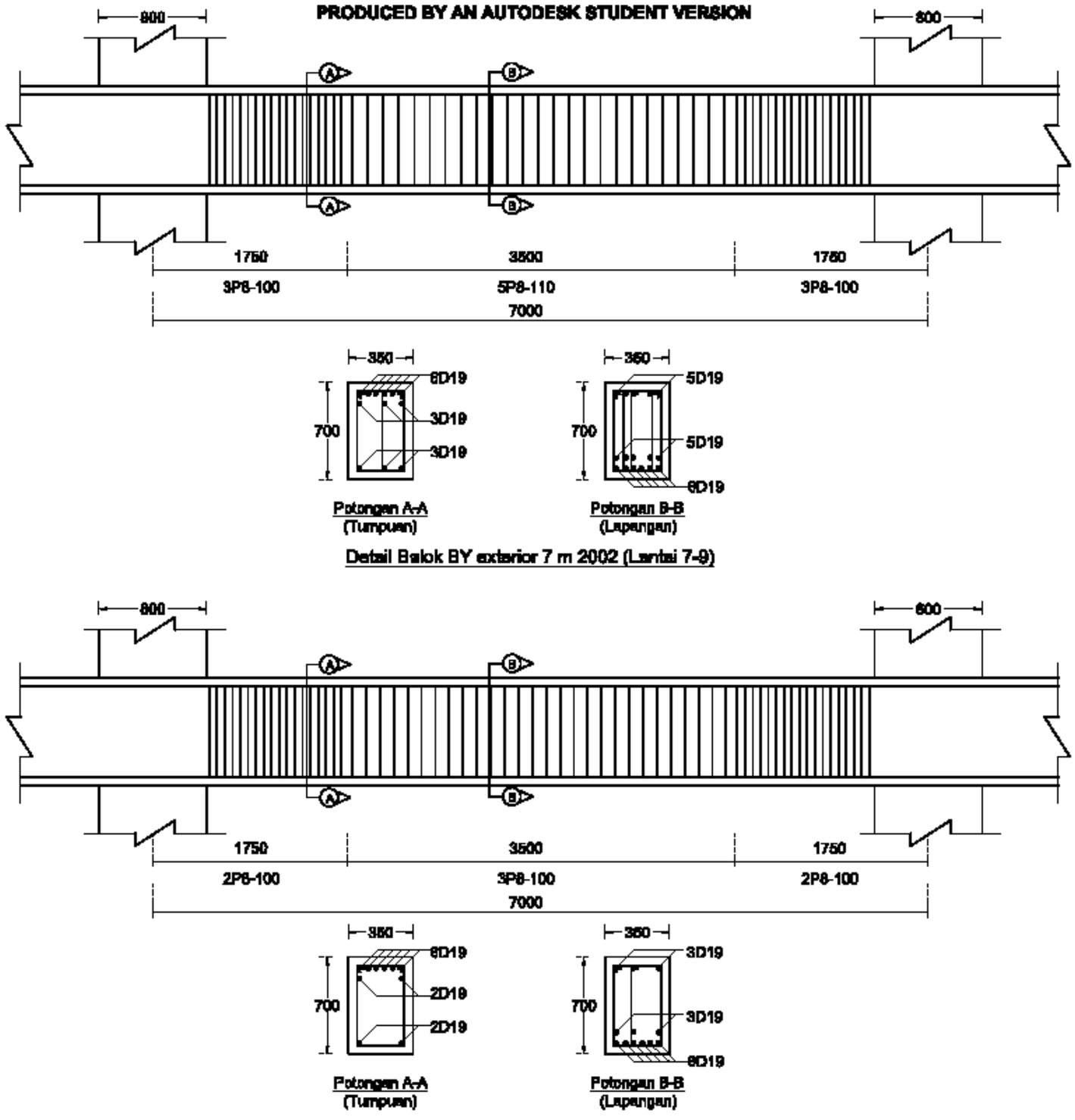

Detail Balok BY exterior 7 m 2013 (Lantai 4-6)

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

**Lampiran 13** Detail Balok BY Exterior 7 m (Lantai 7-9)

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

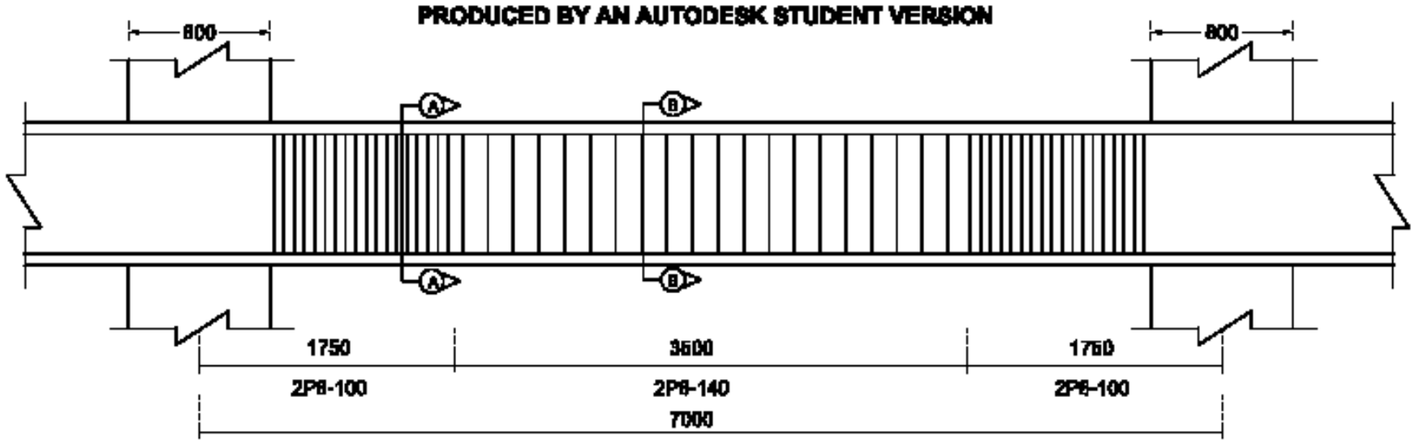



PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

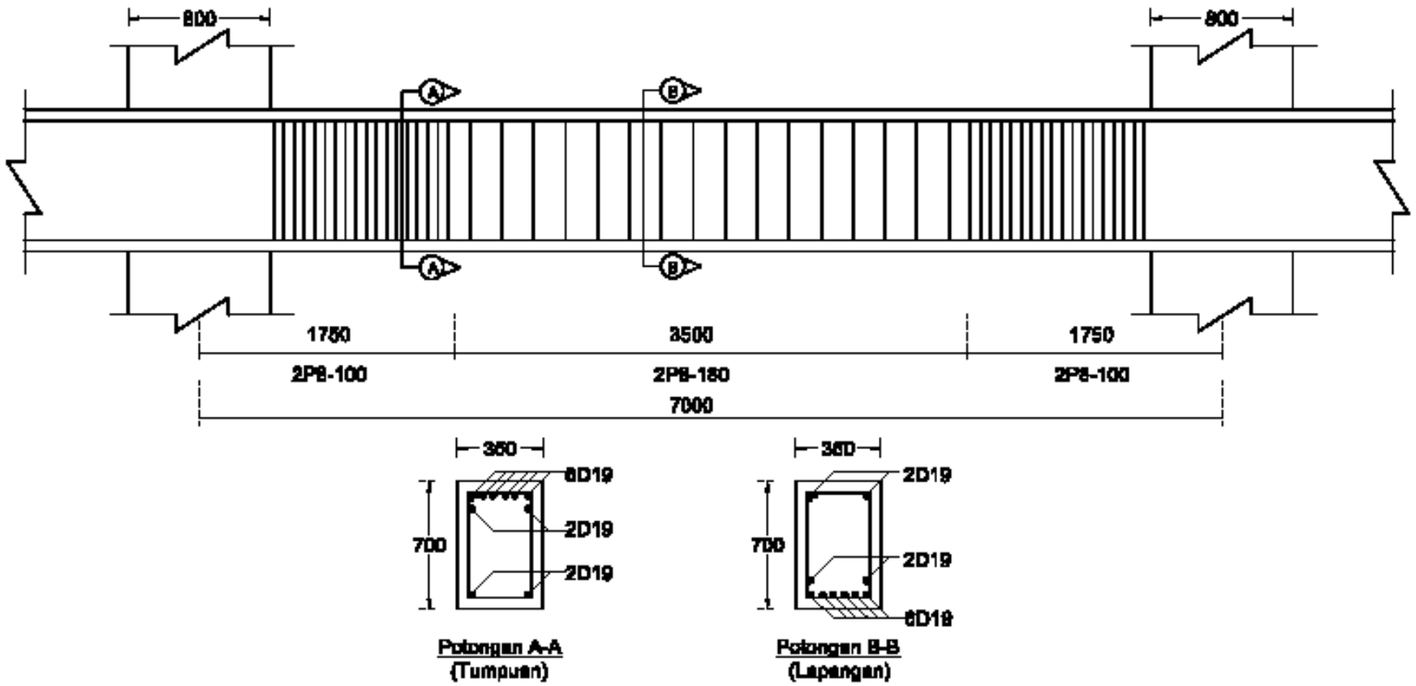
PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

**Lampiran 14** Detail Balok BY Exterior 7 m (Lantai 10)

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION




Detail Balok BY exterior 7 m 2002 (Lantai 10)



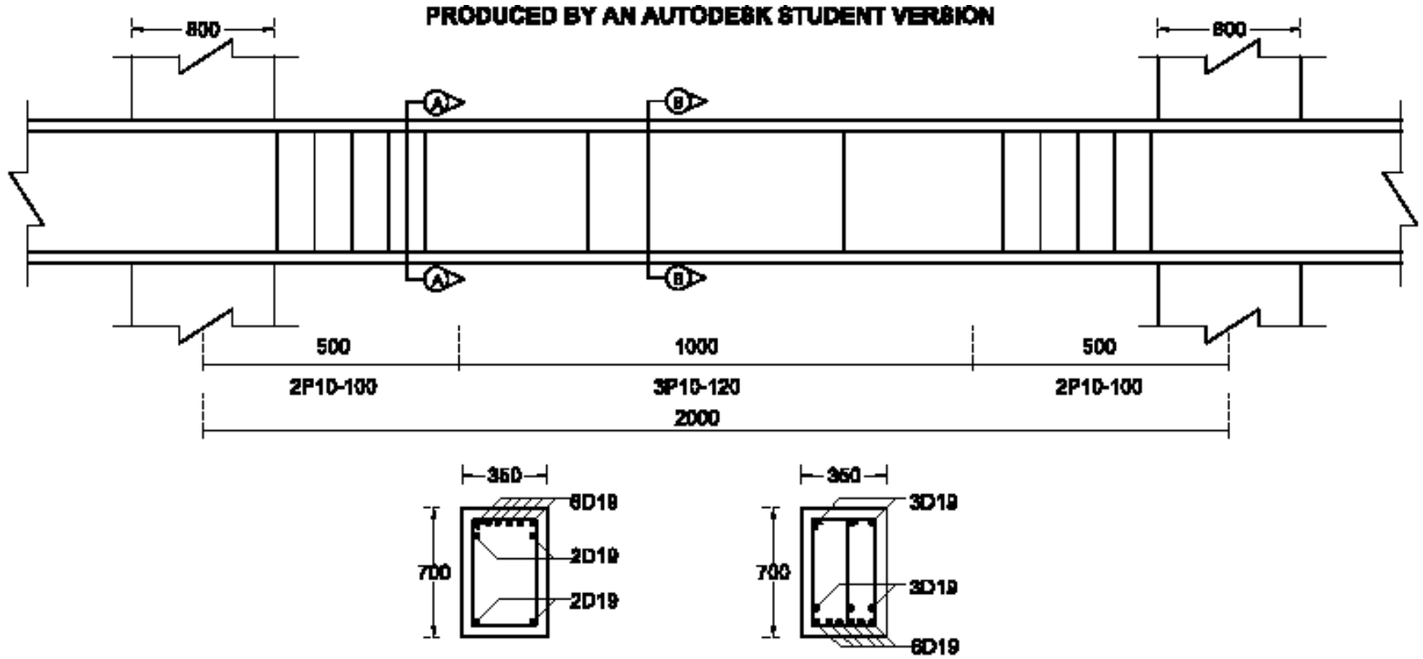

Detail Balok BY exterior 7 m 2013 (Lantai 10)

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

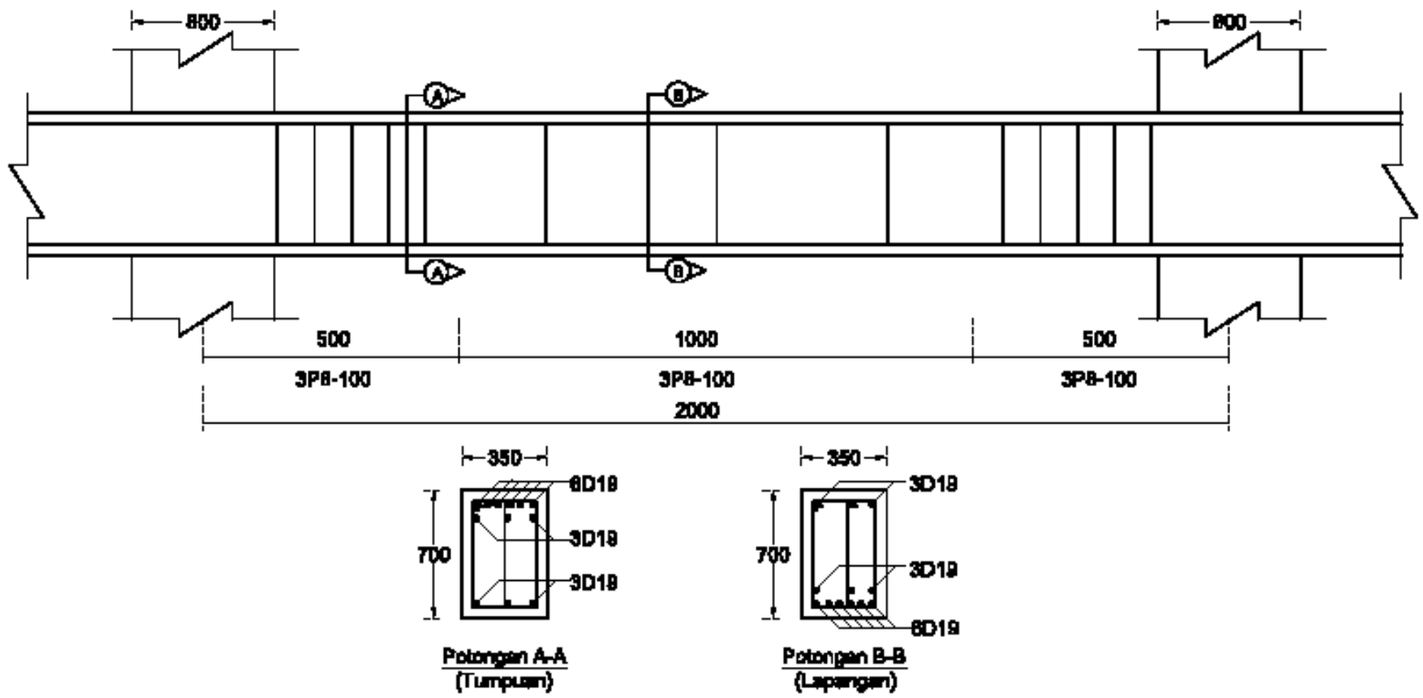
PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

**Lampiran 15** Detail Balok BY Exterior 2 m (Lantai 1-3)

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION




Detail Balok BY exterior 2 m 2002 (Lantai 1-3)



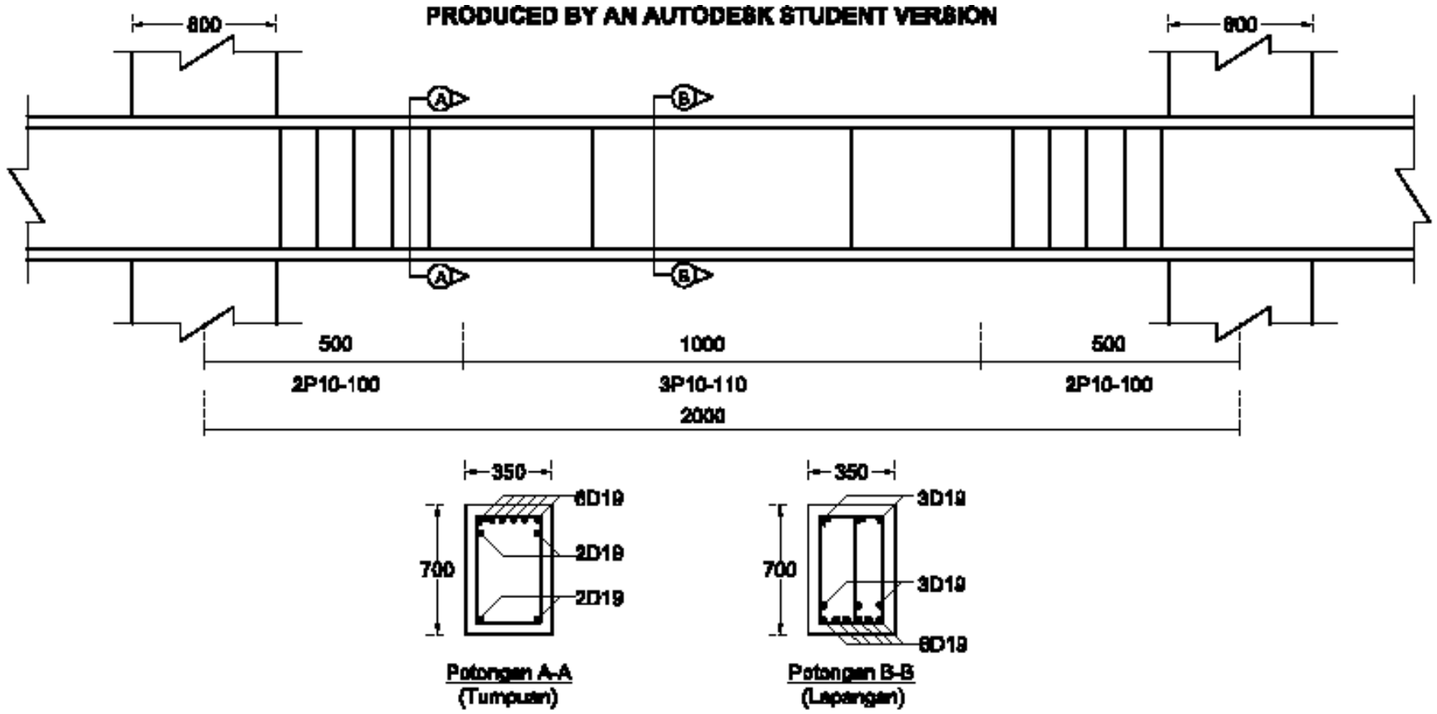

Detail Balok BY exterior 2 m 2013 (Lantai 1-3)

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

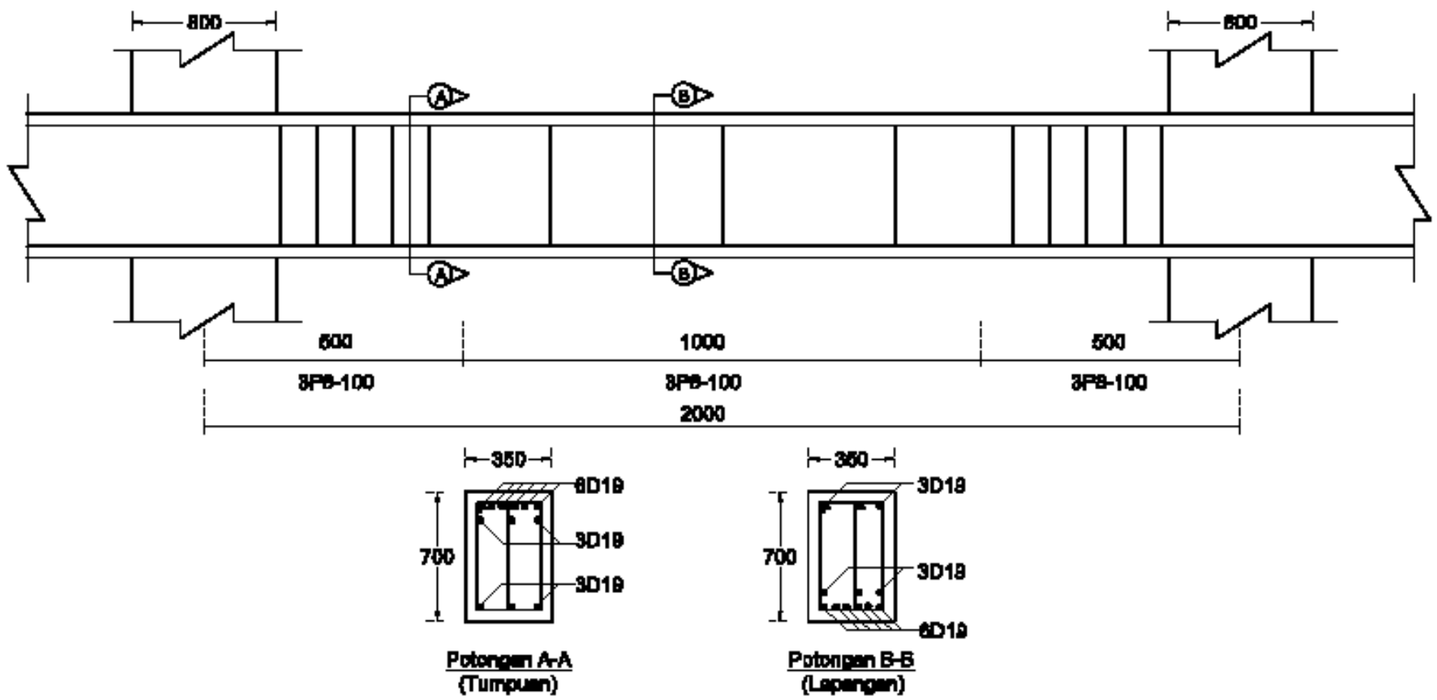
PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

**Lampiran 16** Detail Balok BY Exterior 2 m (Lantai 4-6)

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION




Detail Balok BY exterior 2 m 2002 (Lantai 4-6)



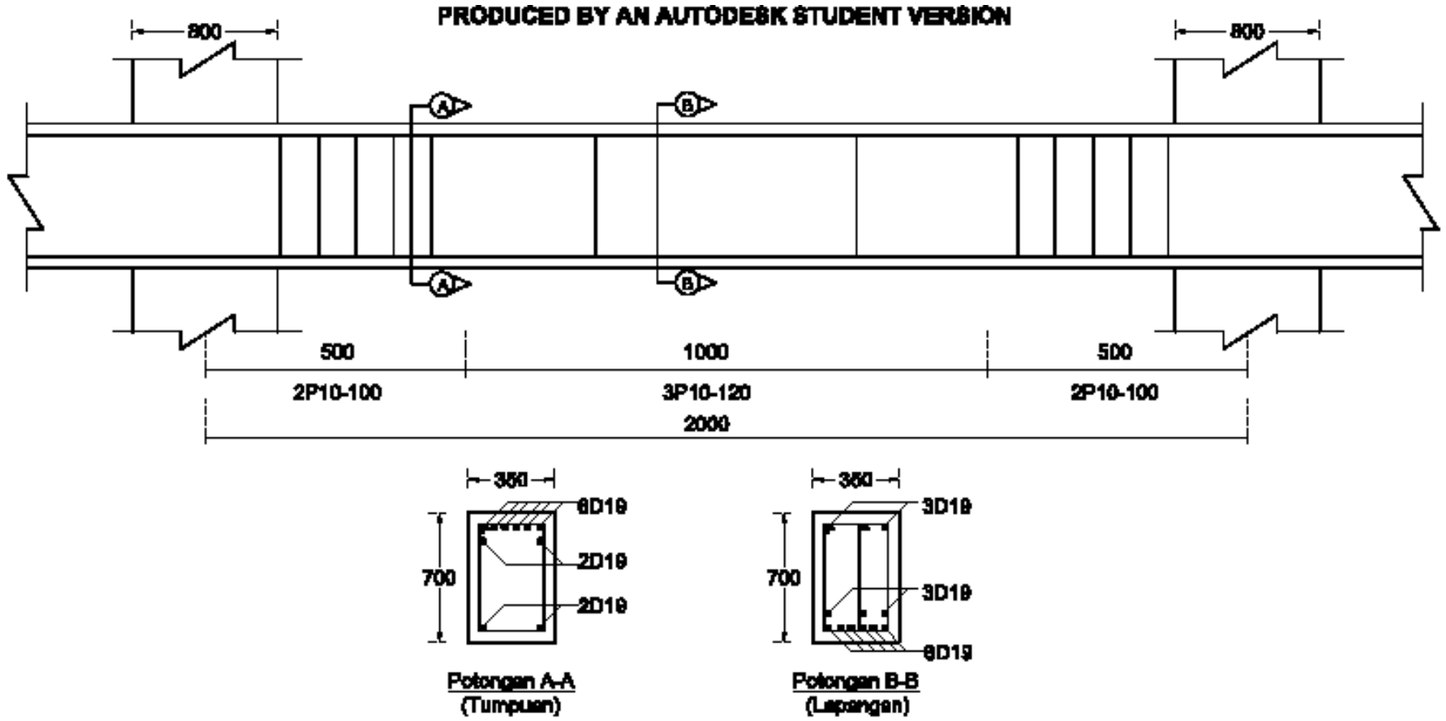

Detail Balok BY exterior 2 m 2013 (Lantai 4-6)

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

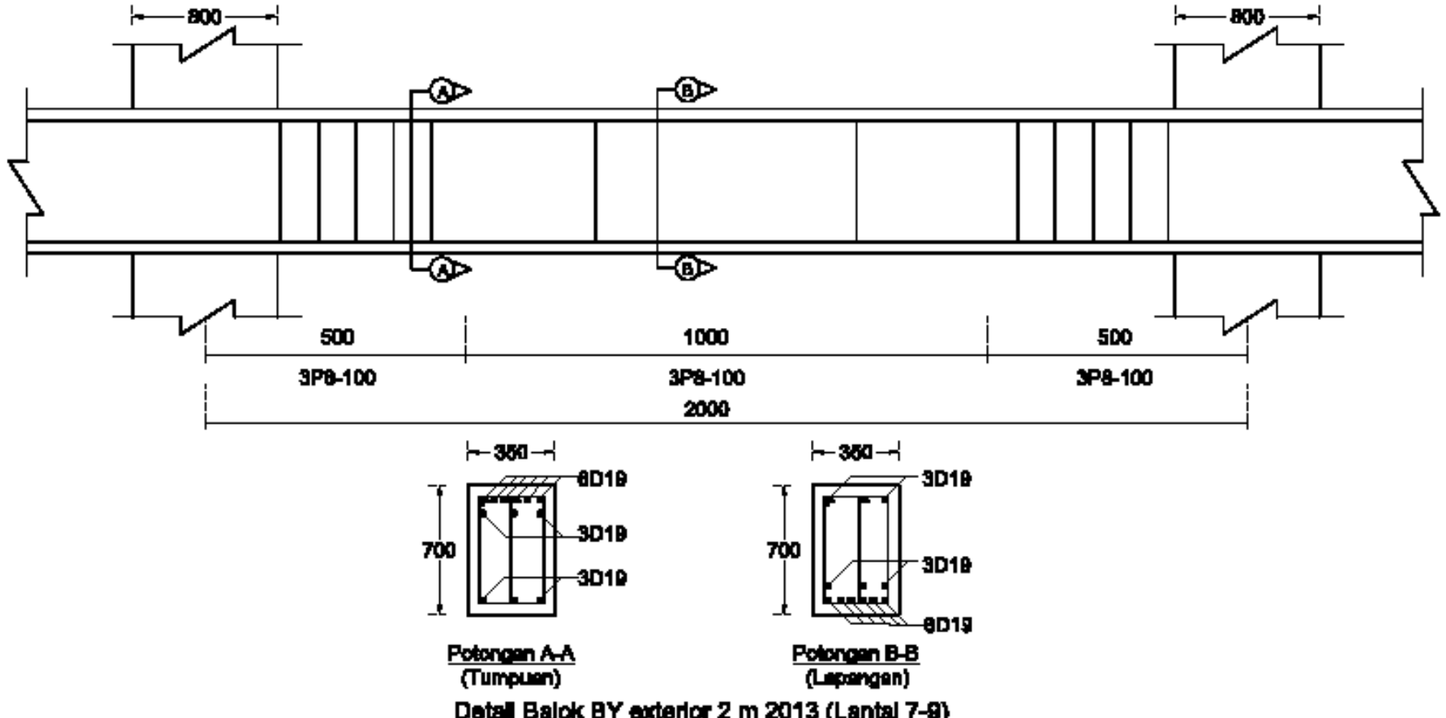
PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

**Lampiran 17** Detail Balok BY Exterior 2 m (Lantai 7-9)

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION




Detail Balok BY exterior 2 m 2002 (Lantai 7-9)



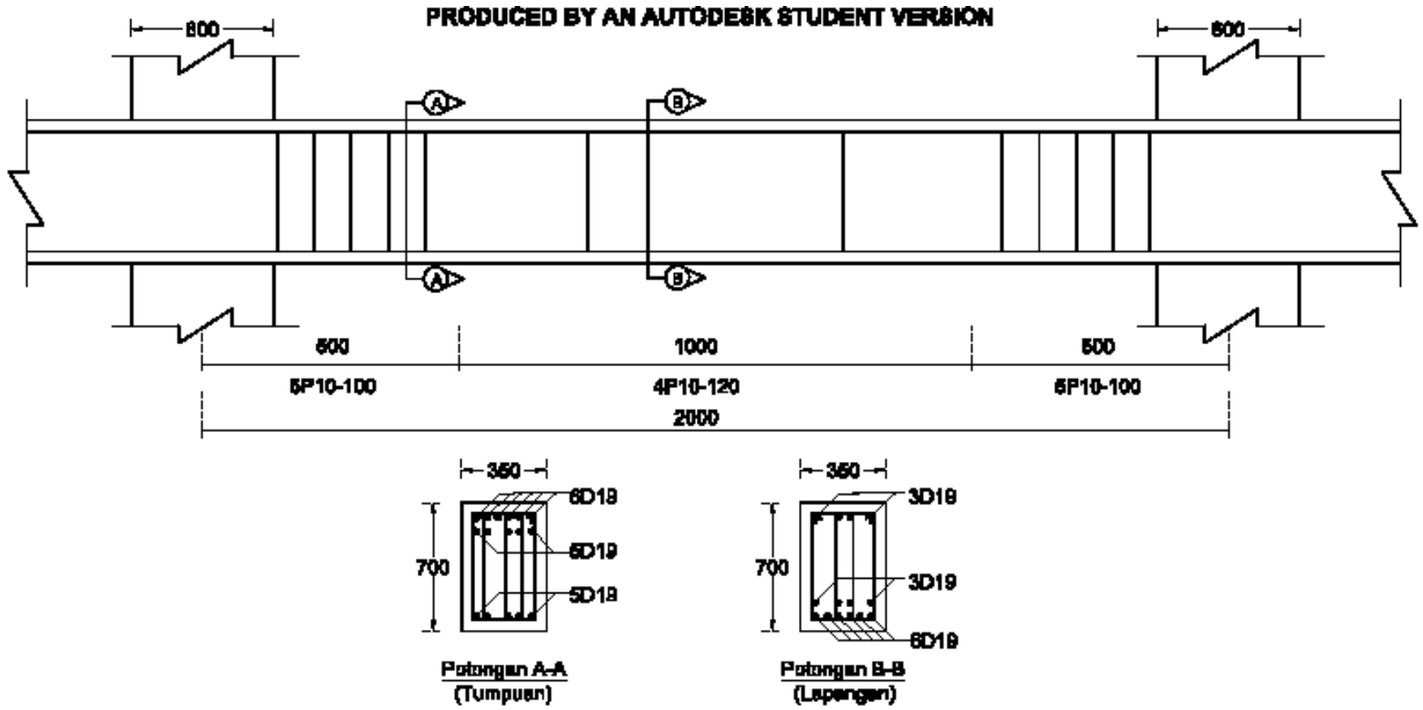

Detail Balok BY exterior 2 m 2013 (Lantai 7-9)

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

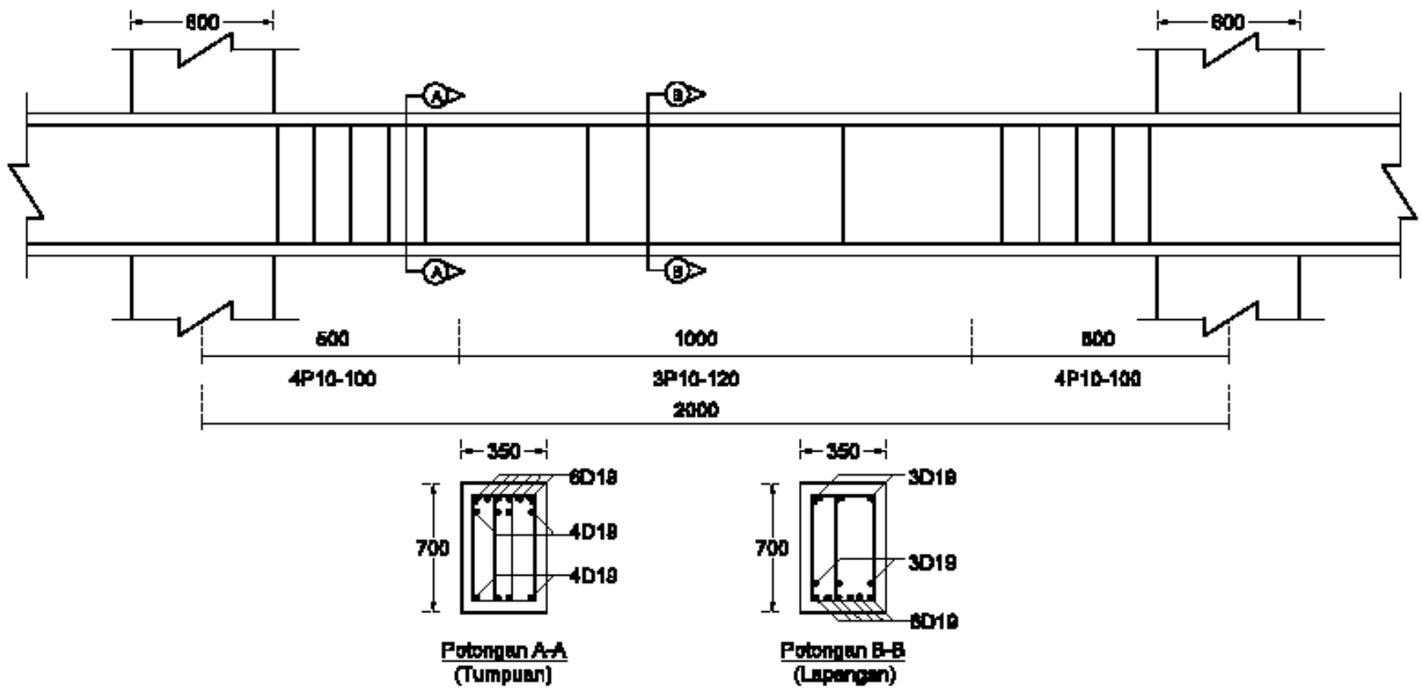
PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

**Lampiran 18** Detail Balok BY Exterior 2 m (Lantai 10)

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION




Detail Balok BY exterior 2 m 2002 (Lantai 10)

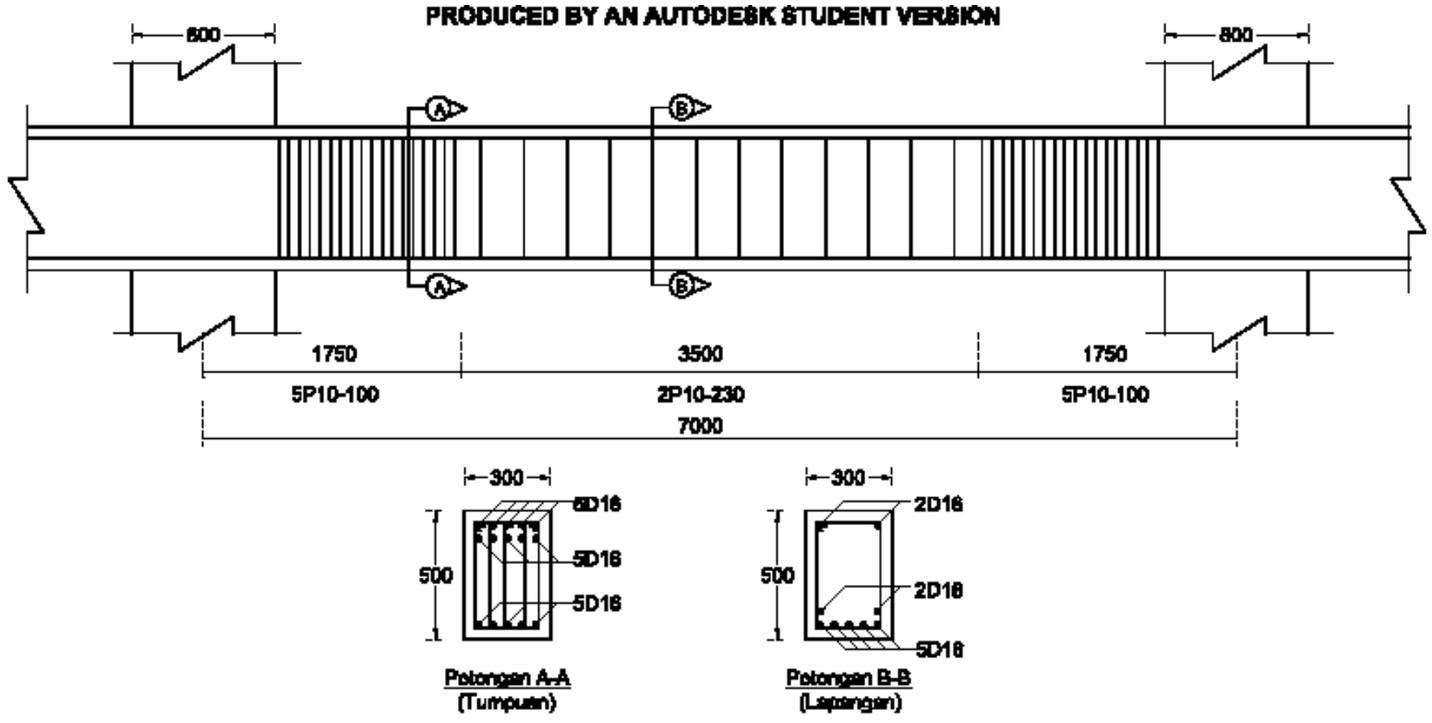



Detail Balok BY exterior 2 m 2013 (Lantai 10)

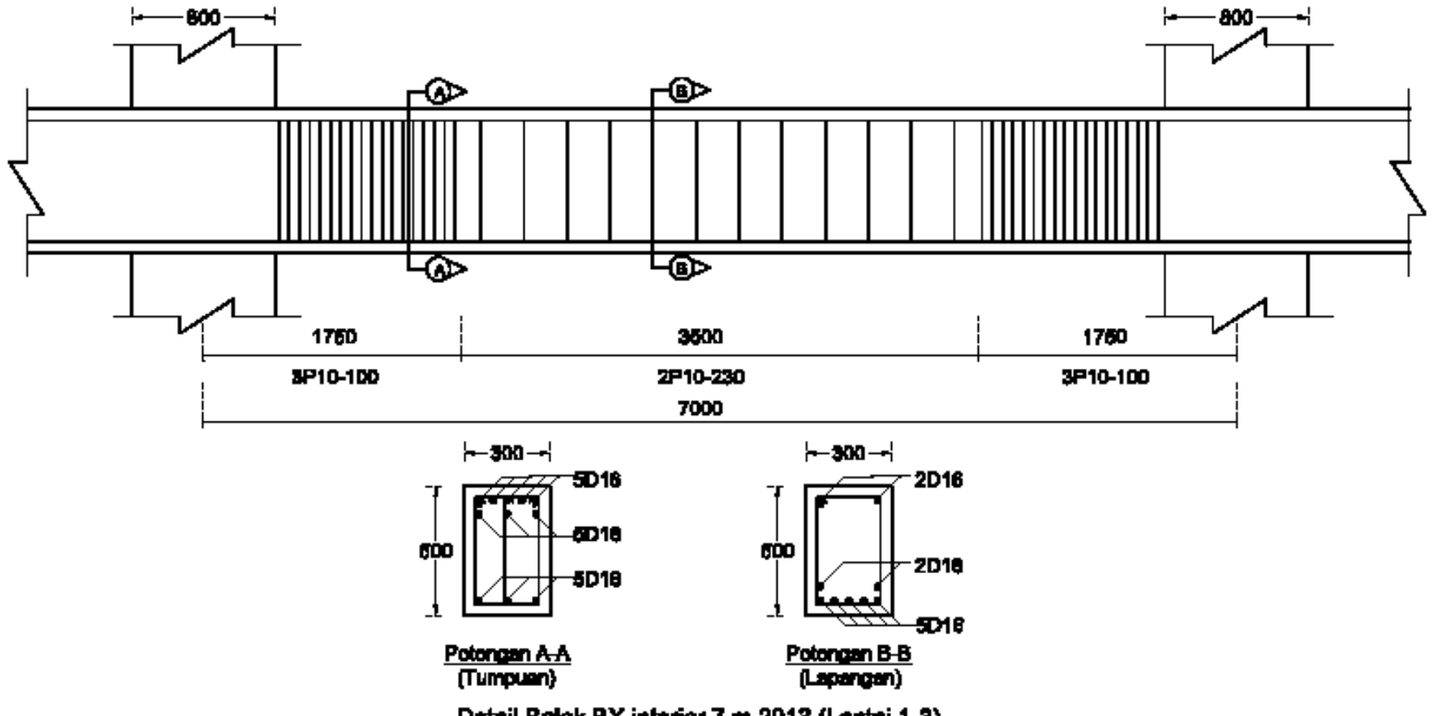
PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

**Lampiran 19** Detail Balok BX Interior 7 m (Lantai 1-3)

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION




Detail Balok BX Interior 7 m 2002 (Lantai 1-3)



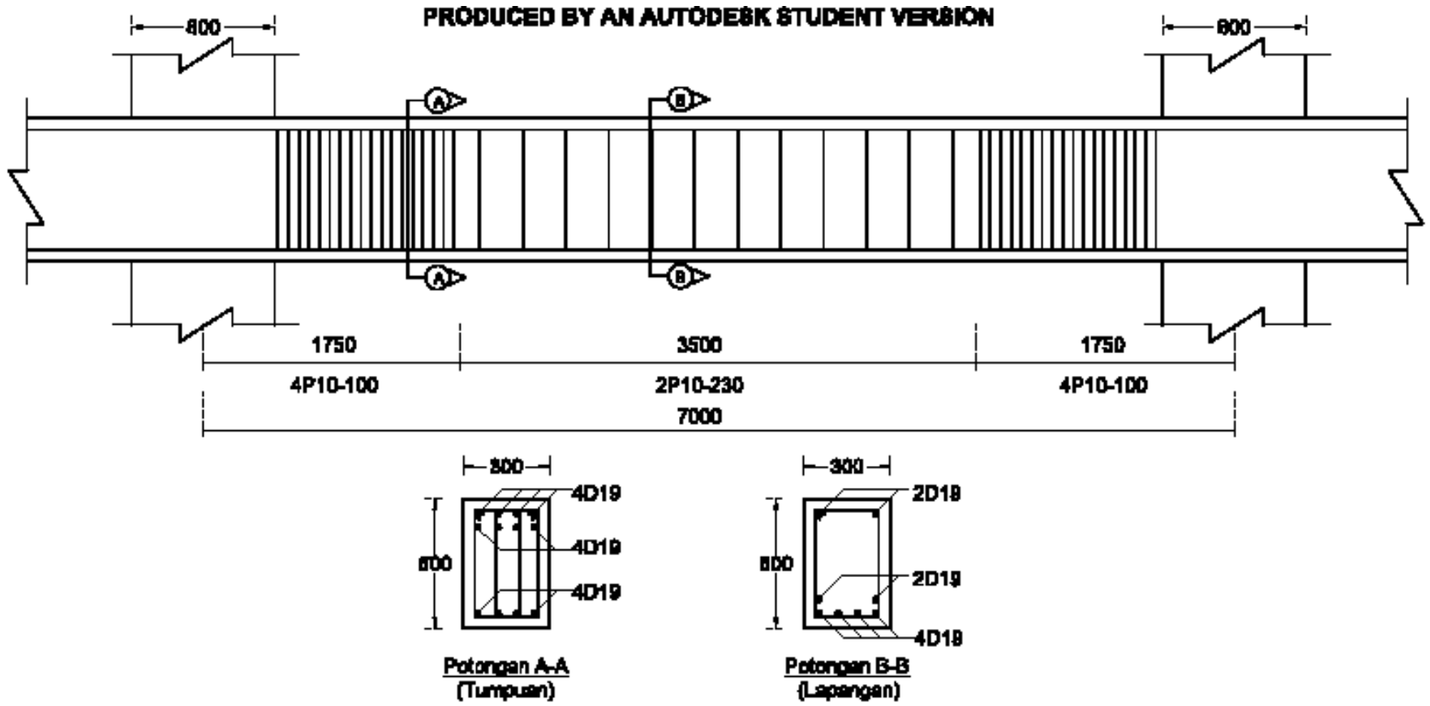

Detail Balok BX interior 7 m 2013 (Lantai 1-3)

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

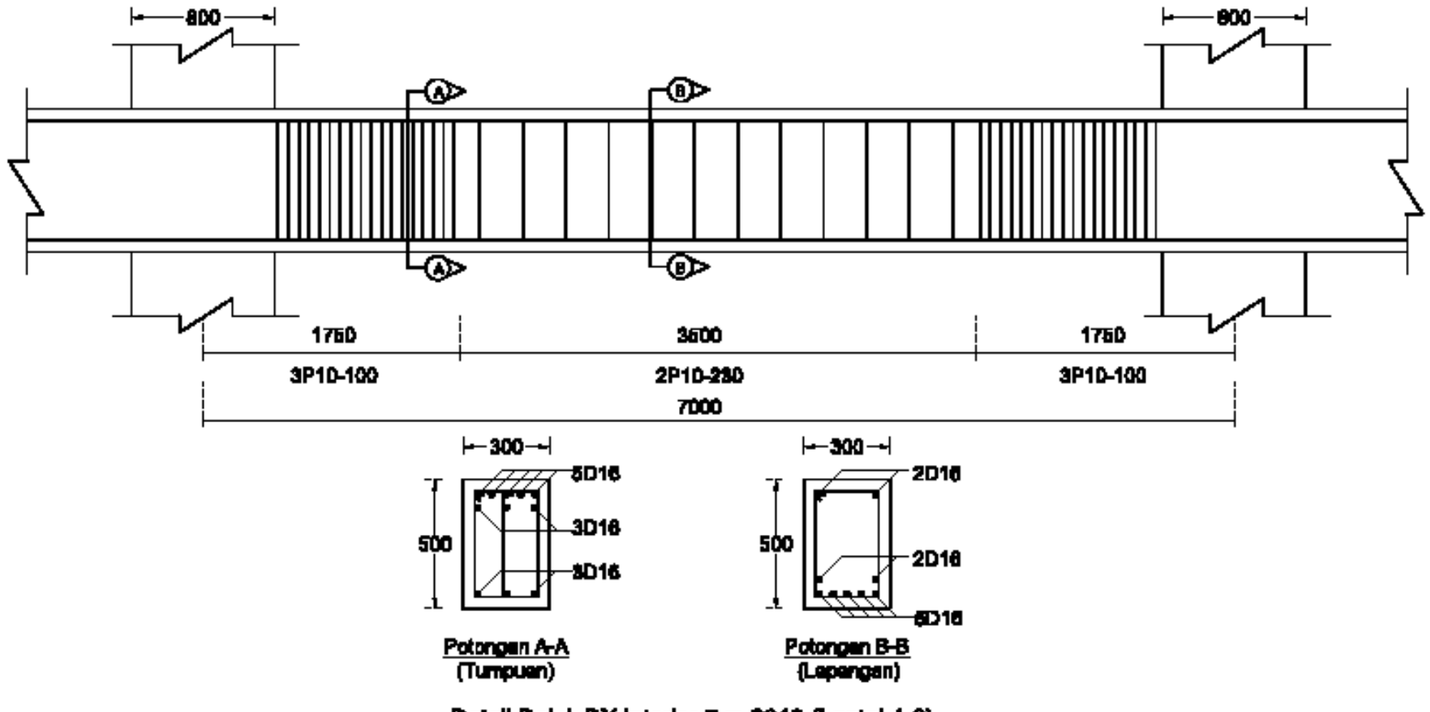
PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

**Lampiran 20** Detail Balok BX Interior 7 m (Lantai 4-6)

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION




Detail Balok BX Interior 7 m 2002 (Lantai 4-6)



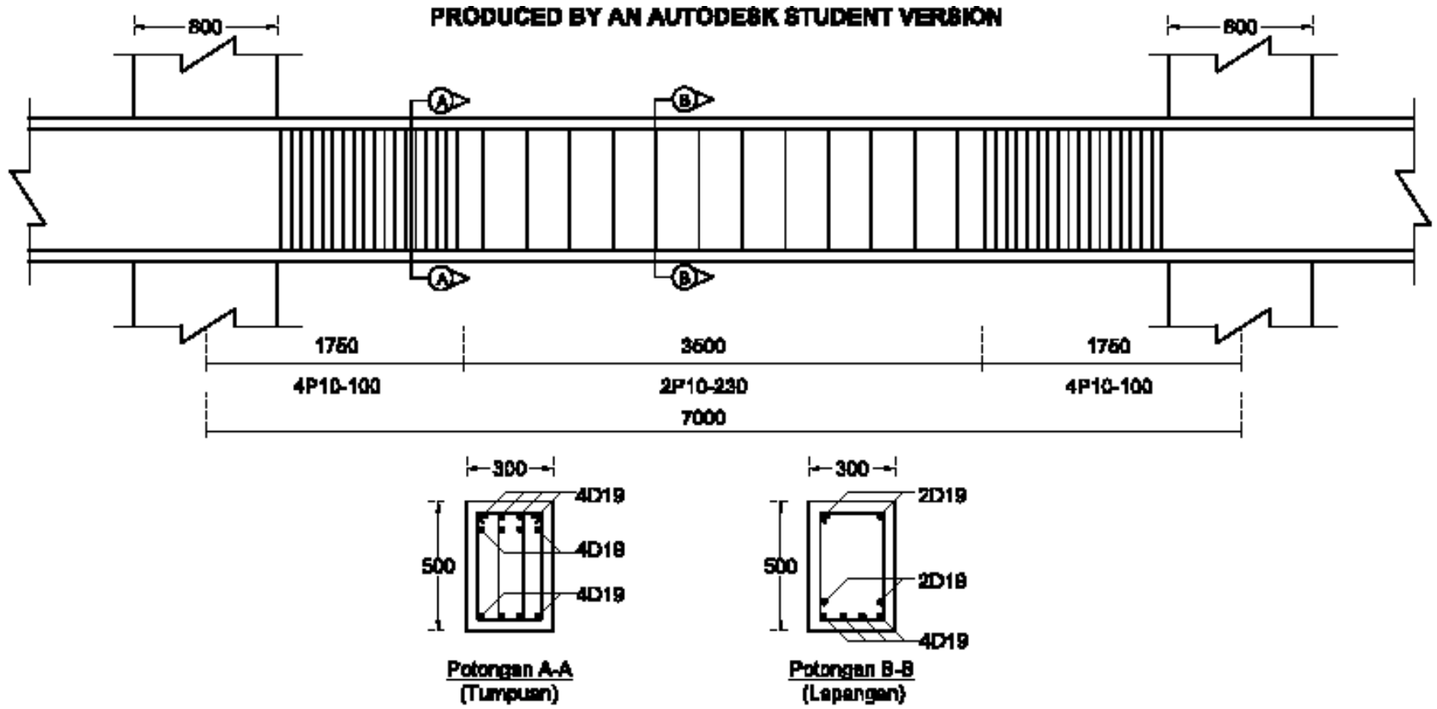

Detail Balok BX Interior 7 m 2013 (Lantai 4-6)

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

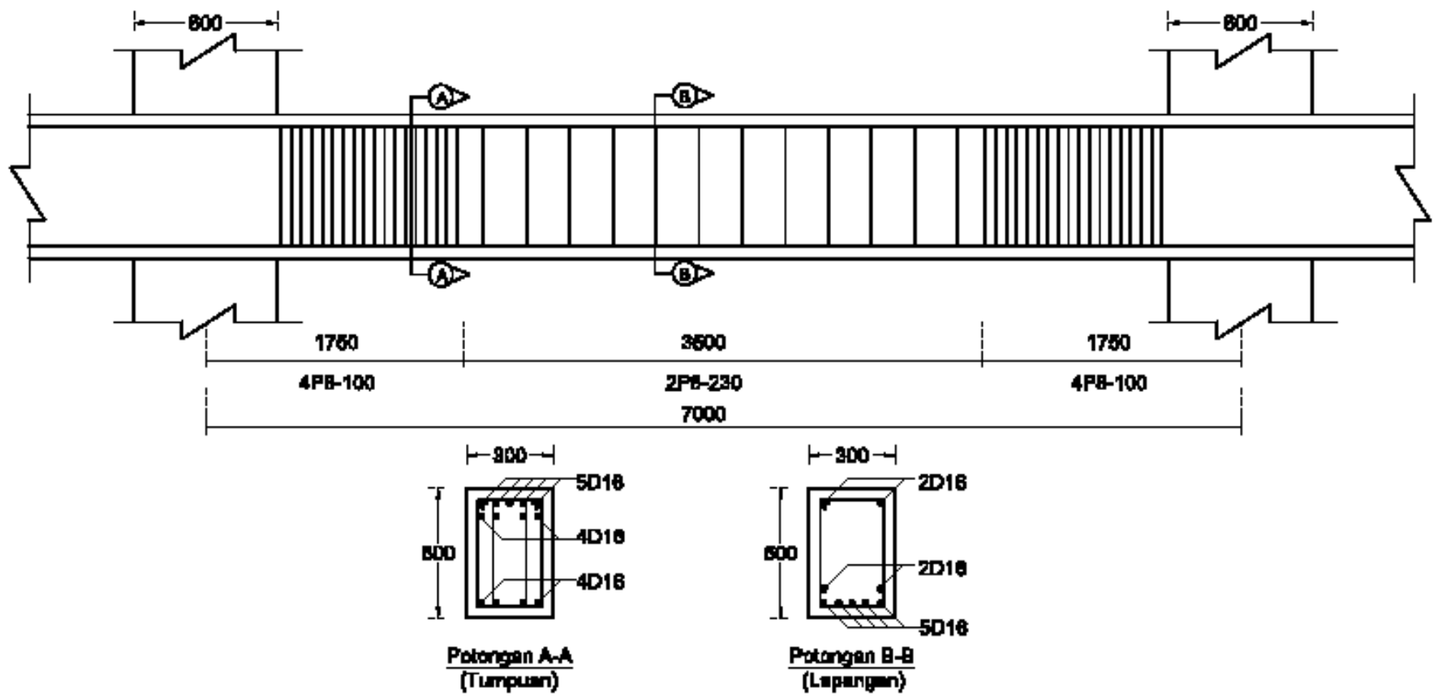
PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

**Lampiran 21** Detail Balok BX Interior 7 m (Lantai 7-9)

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION




Detail Balok BX interior 7 m 2002 (Lantai 7-9)



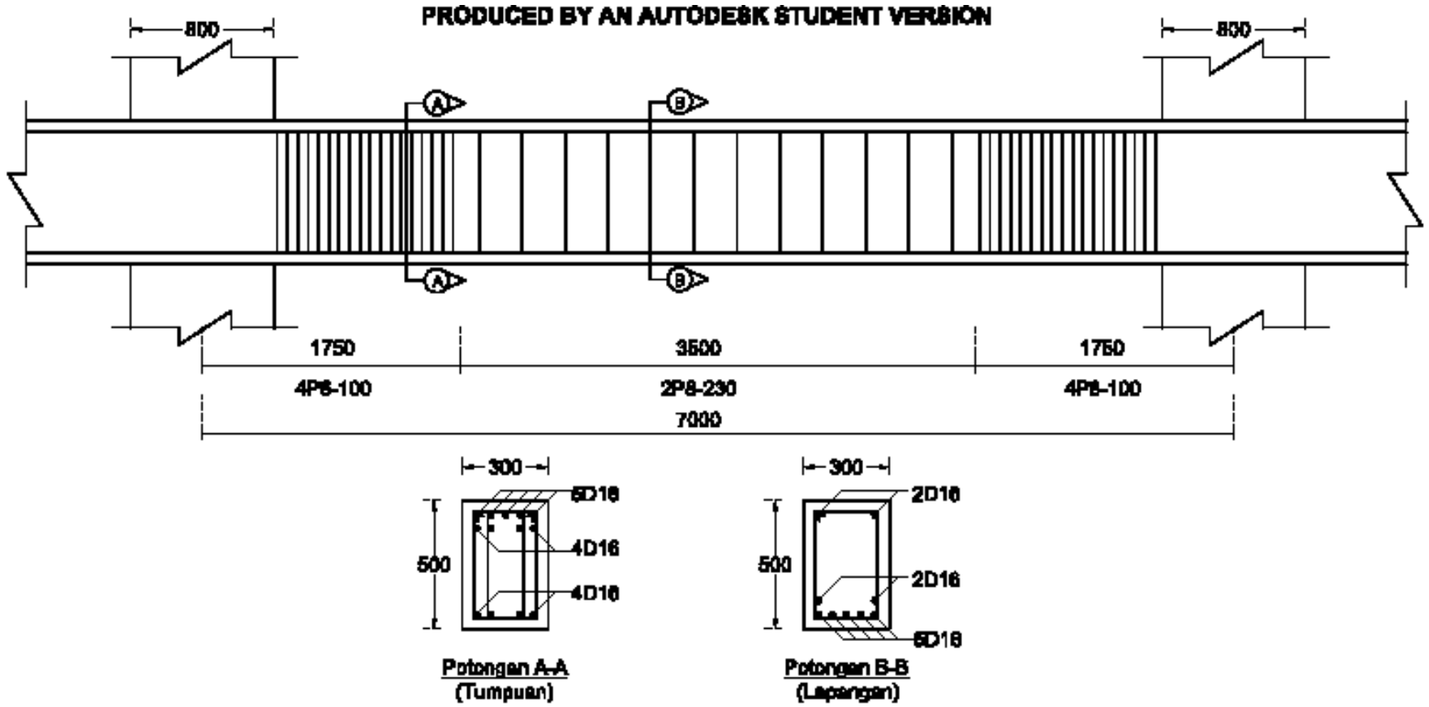

Detail Balok BX interior 7 m 2013 (Lantai 7-9)

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

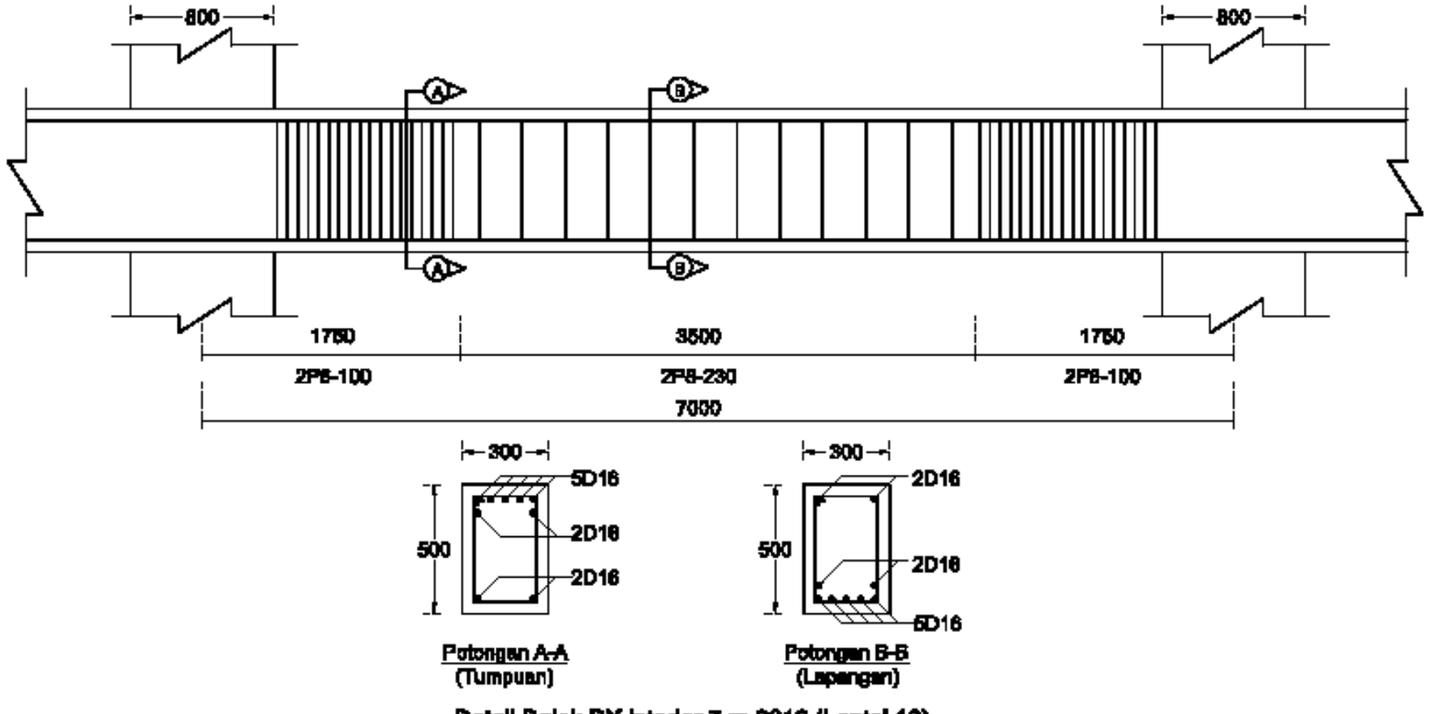
PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

**Lampiran 22** Detail Balok BX Interior 7 m (Lantai 10)

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION




Detail Balok BX Interior 7 m 2002 (Lantai 10)



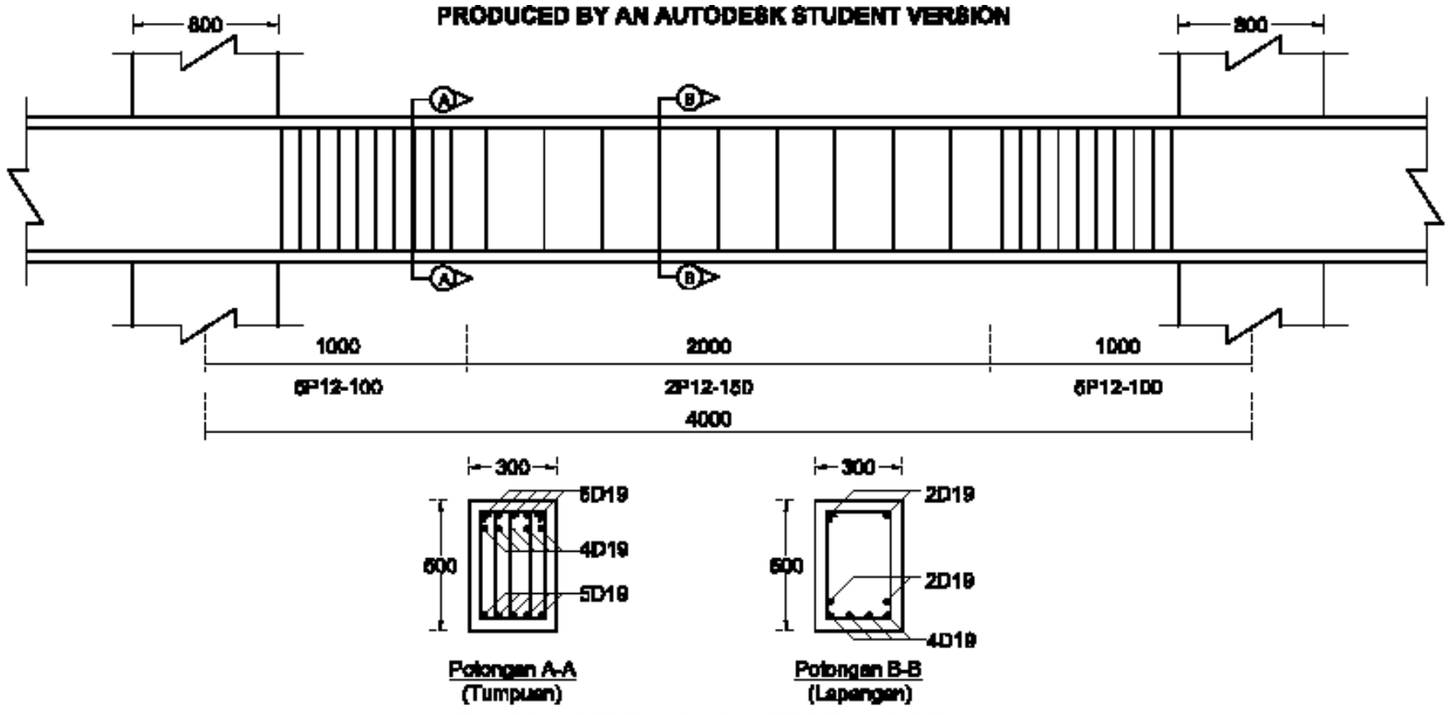

Detail Balok BX Interior 7 m 2013 (Lantai 10)

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

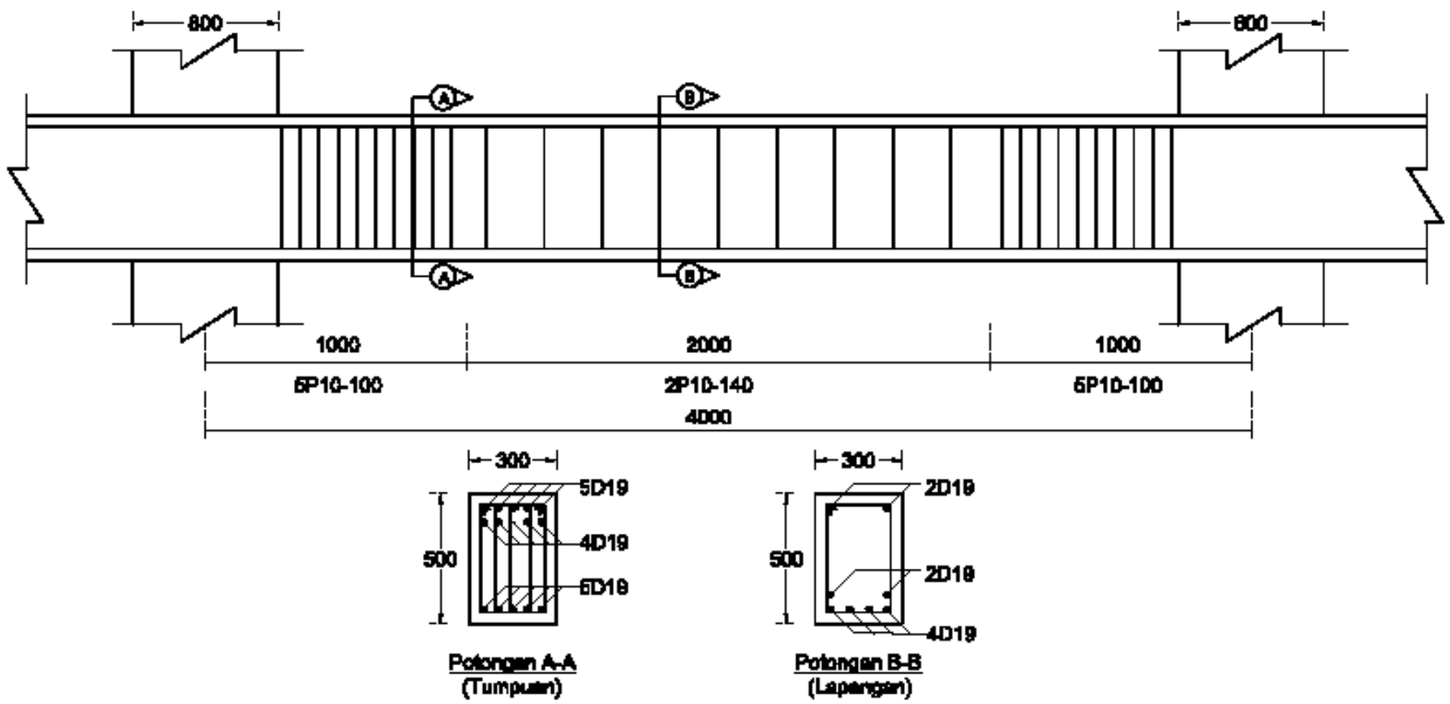
PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

**Lampiran 23** Detail Balok BX Interior 4 m (Lantai 1-3)

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION




Detail Balok BX Interior 4 m 2002 (Lantai 1-3)



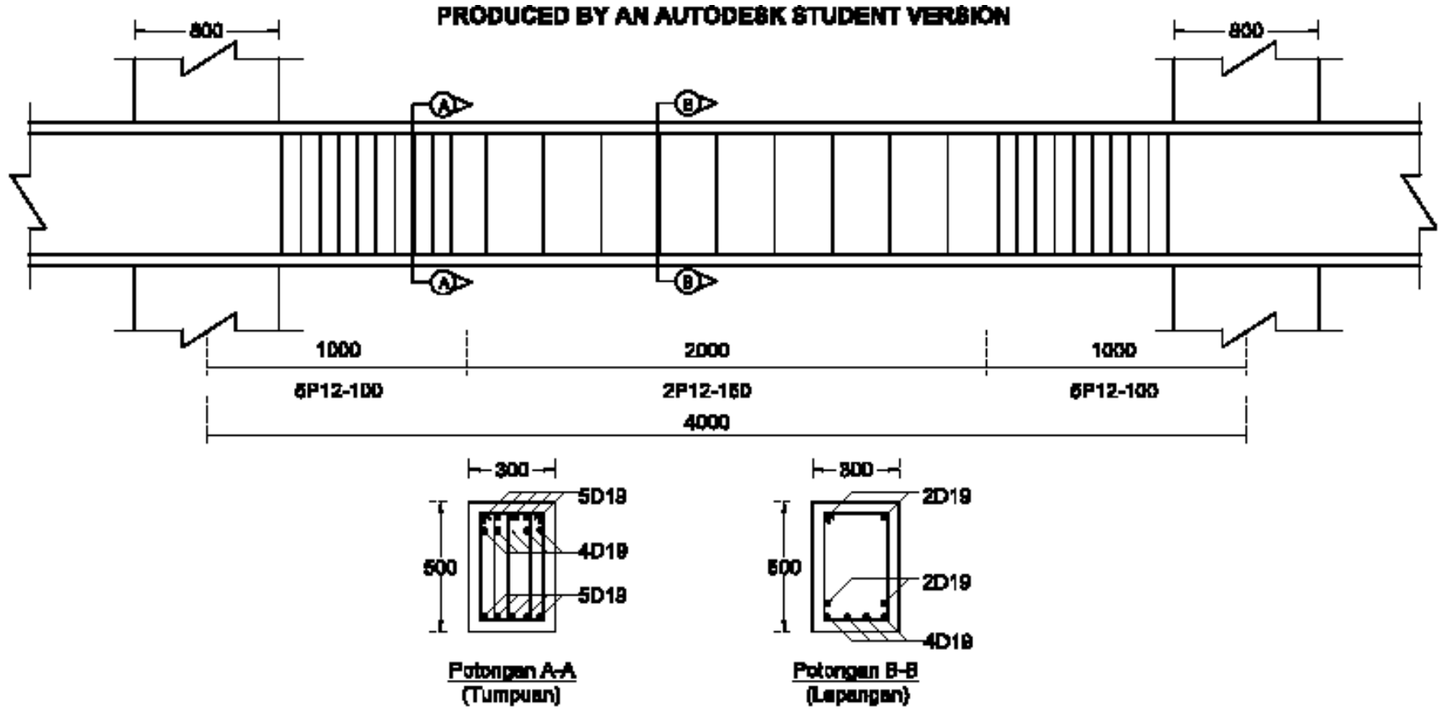

Detail Balok BX Interior 4 m 2013 (Lantai 1-3)

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

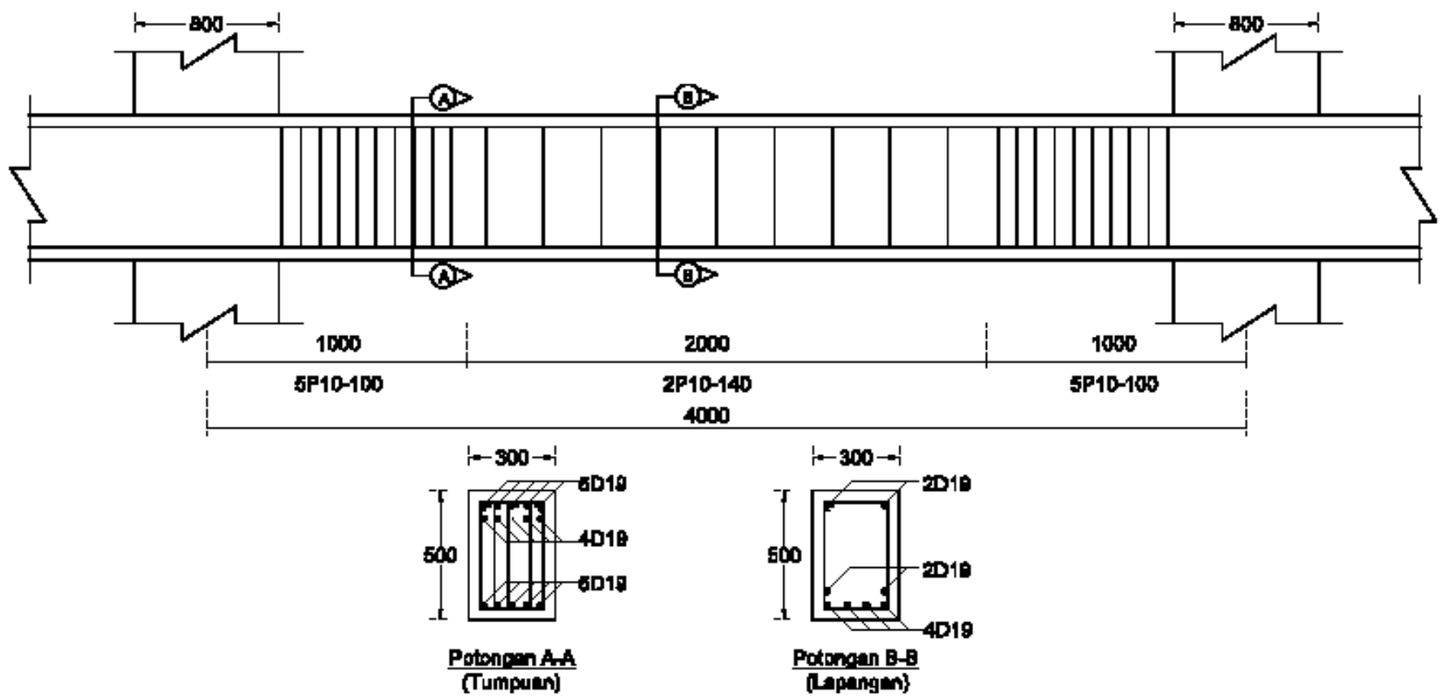
PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

**Lampiran 24** Detail Balok BX Interior 4 m (Lantai 4-6)

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION




Detail Balok BX interior 4 m 2002 (Lantai 4-6)



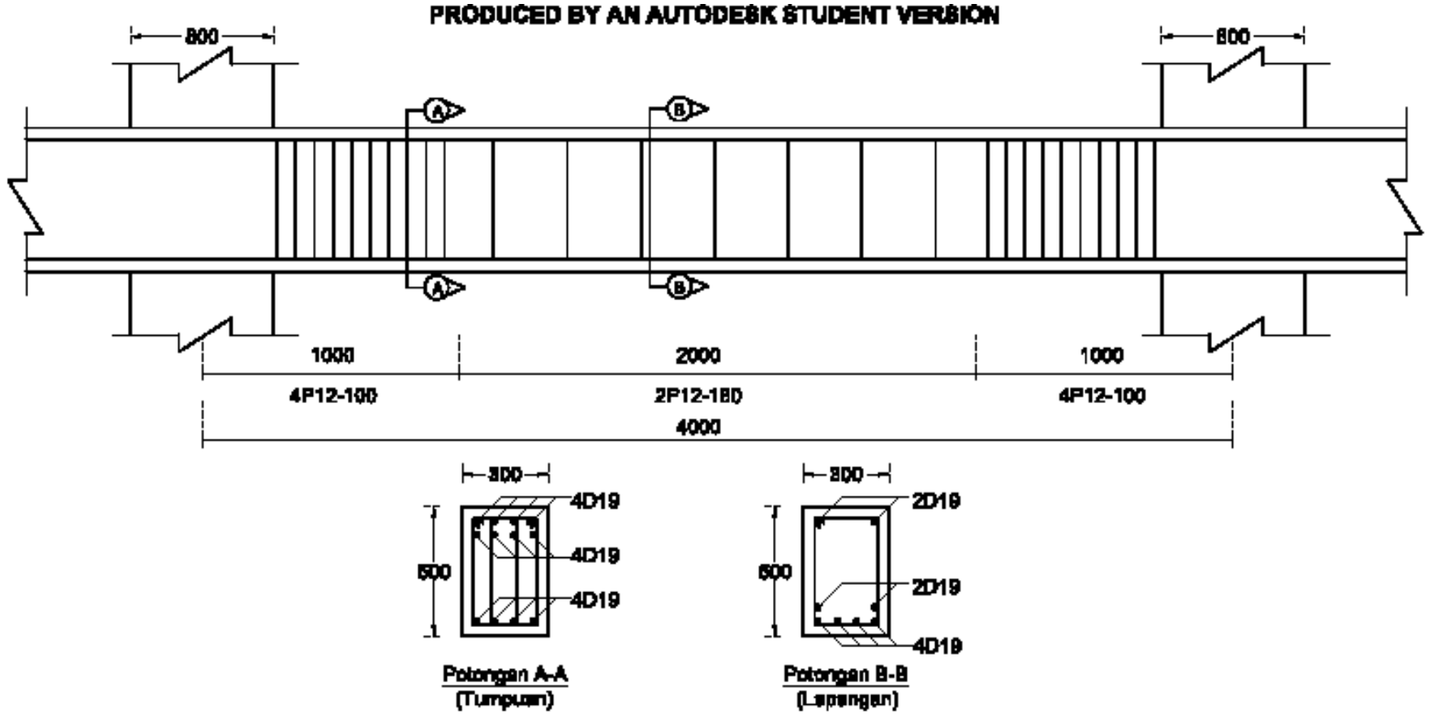

Detail Balok BX Interior 4 m 2013 (Lantai 4-6)

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

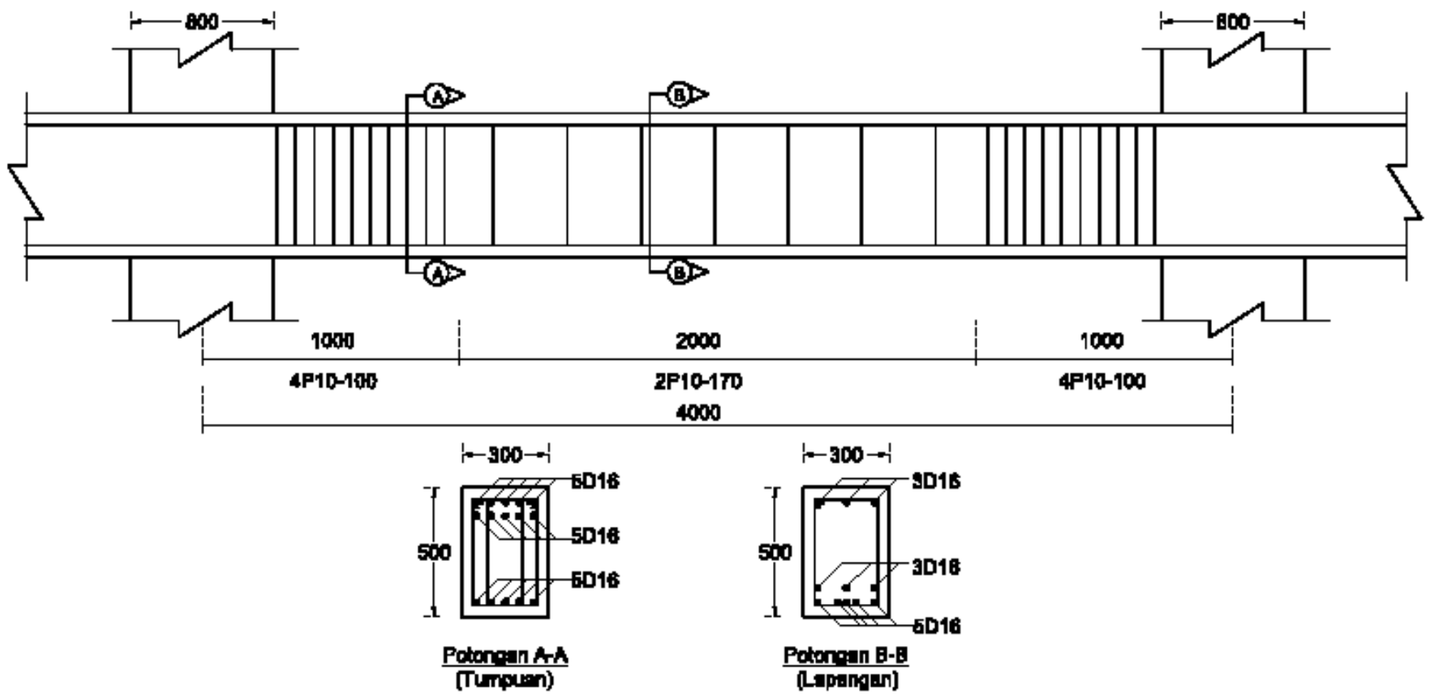
PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

**Lampiran 25** Detail Balok BX Interior 4 m (Lantai 7-9)

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION




Detail Balok BX interior 4 m 2002 (Lantai 7-9)



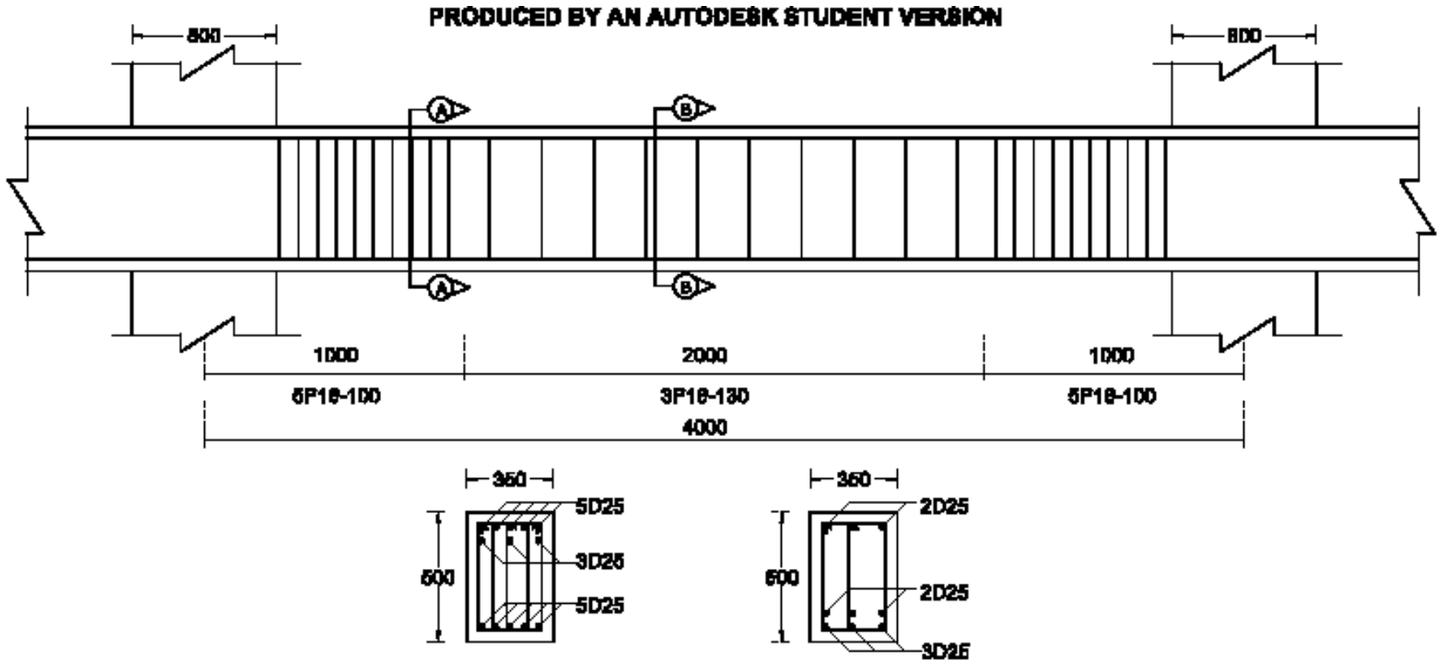

Detail Balok BX interior 4 m 2013 (Lantai 7-9)

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

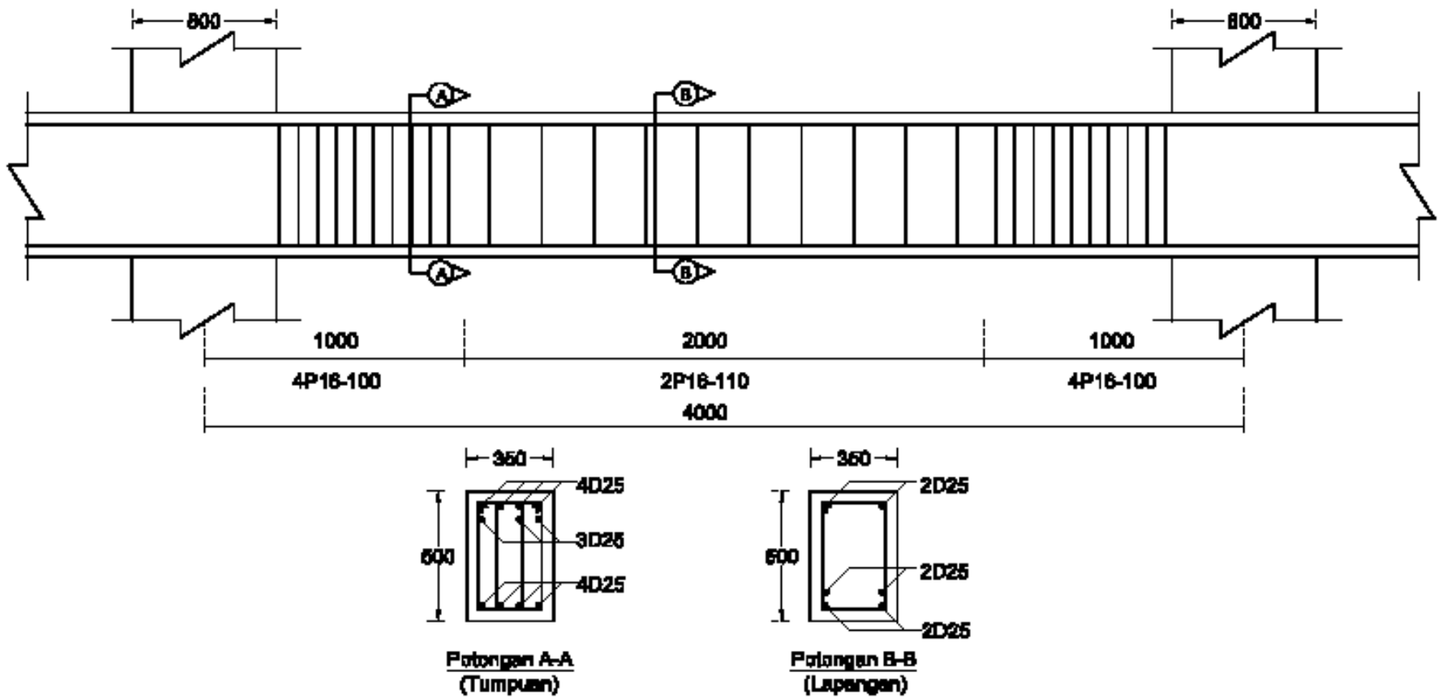
PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

**Lampiran 26** Detail Balok BX Interior 4 m (Lantai 10)

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION




Detail Balok BX interior 4 m 2002 (Lantai 10)



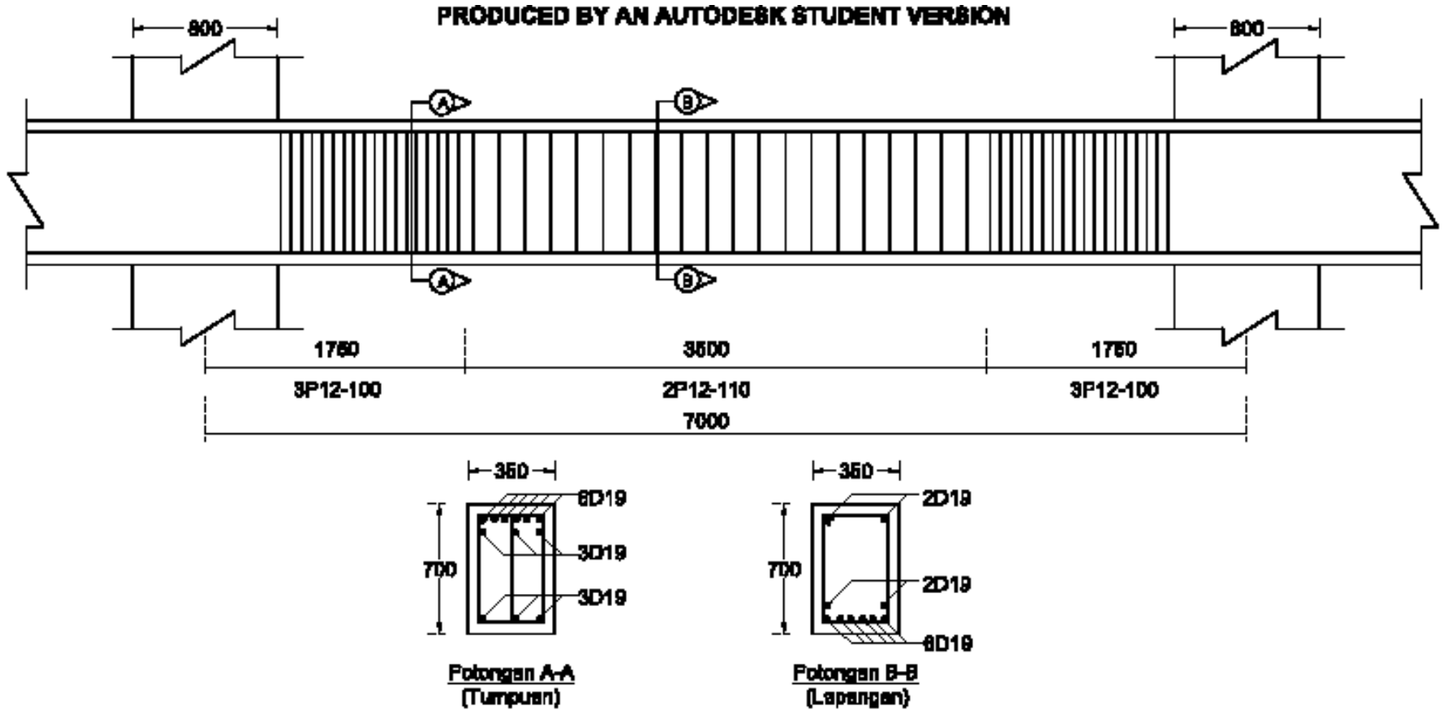

Detail Balok BX Interior 4 m 2013 (Lantai 10)

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

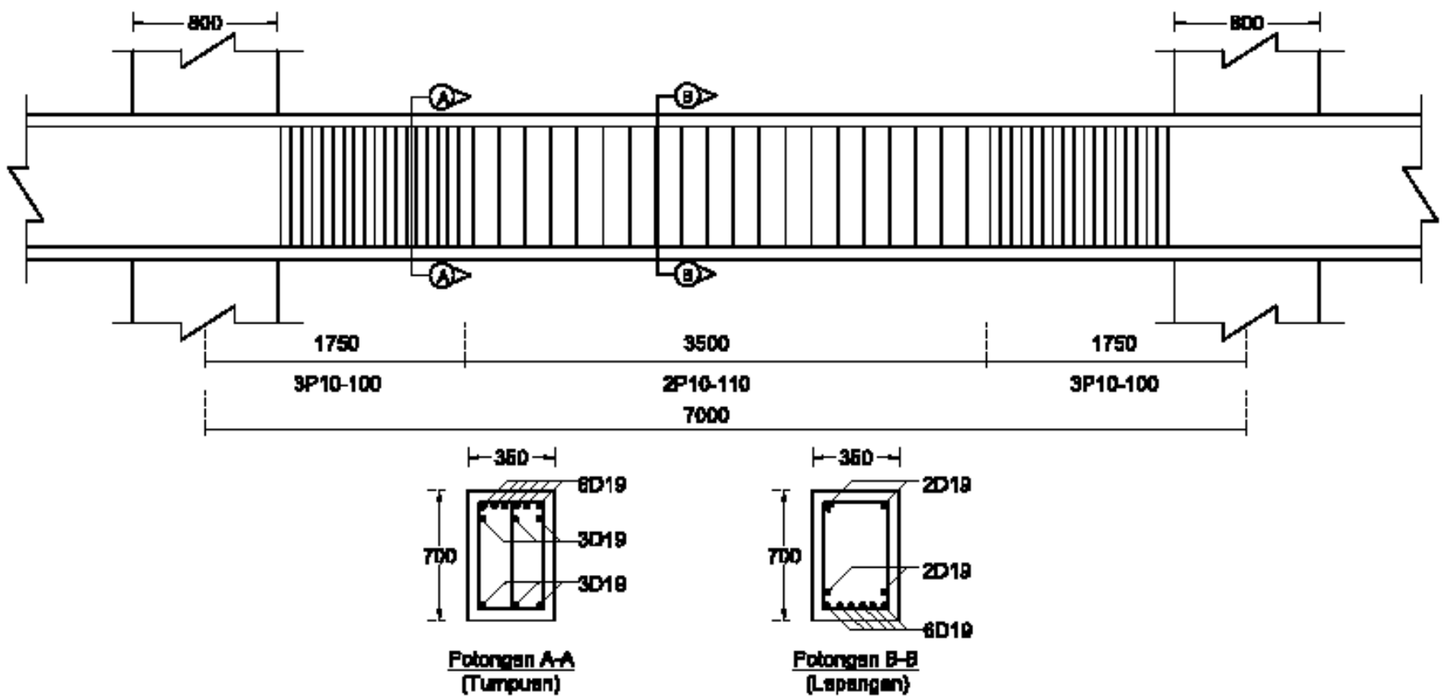
PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

**Lampiran 27** Detail Balok BY Interior 7 m (Lantai 1-3)

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION




Detail Balok BY Interior 7 m 2002 (Lantai 1-3)



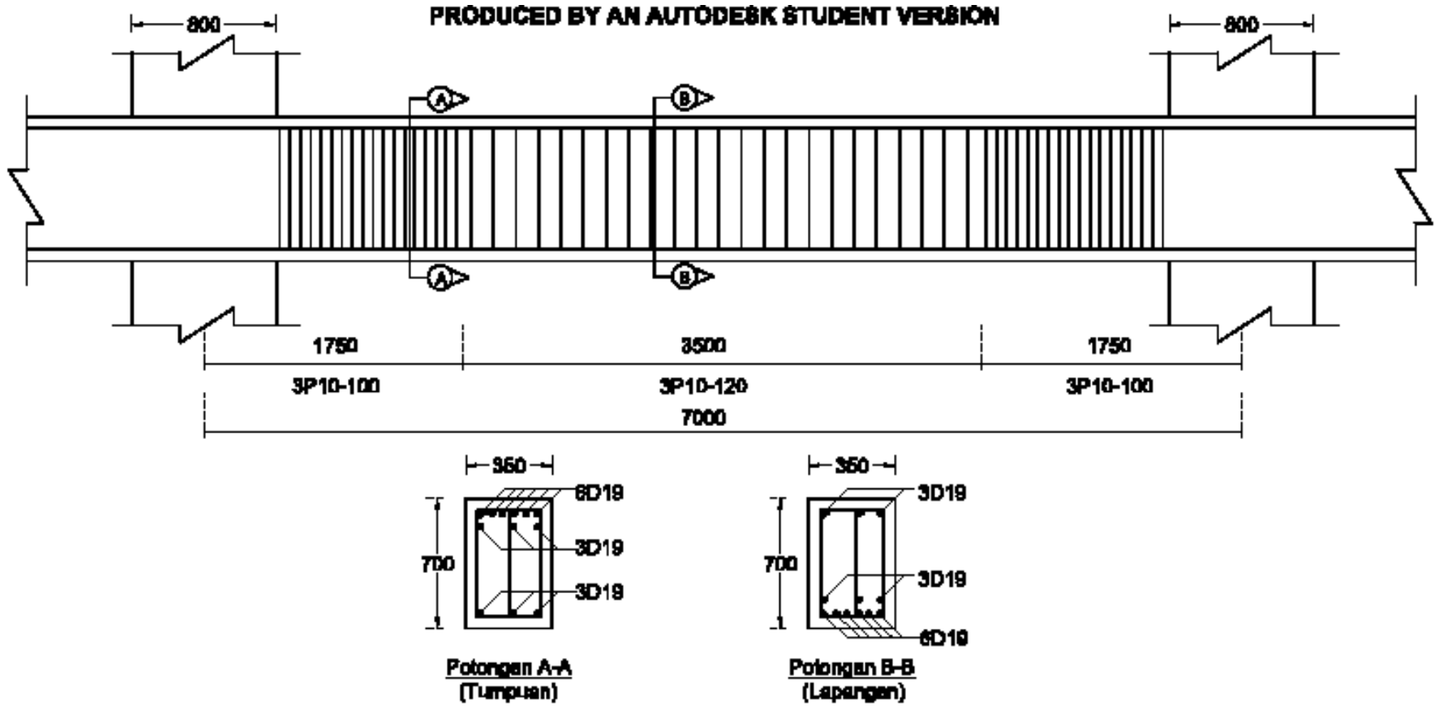

Detail Balok BY interior 7 m 2013 (Lantai 1-3)

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

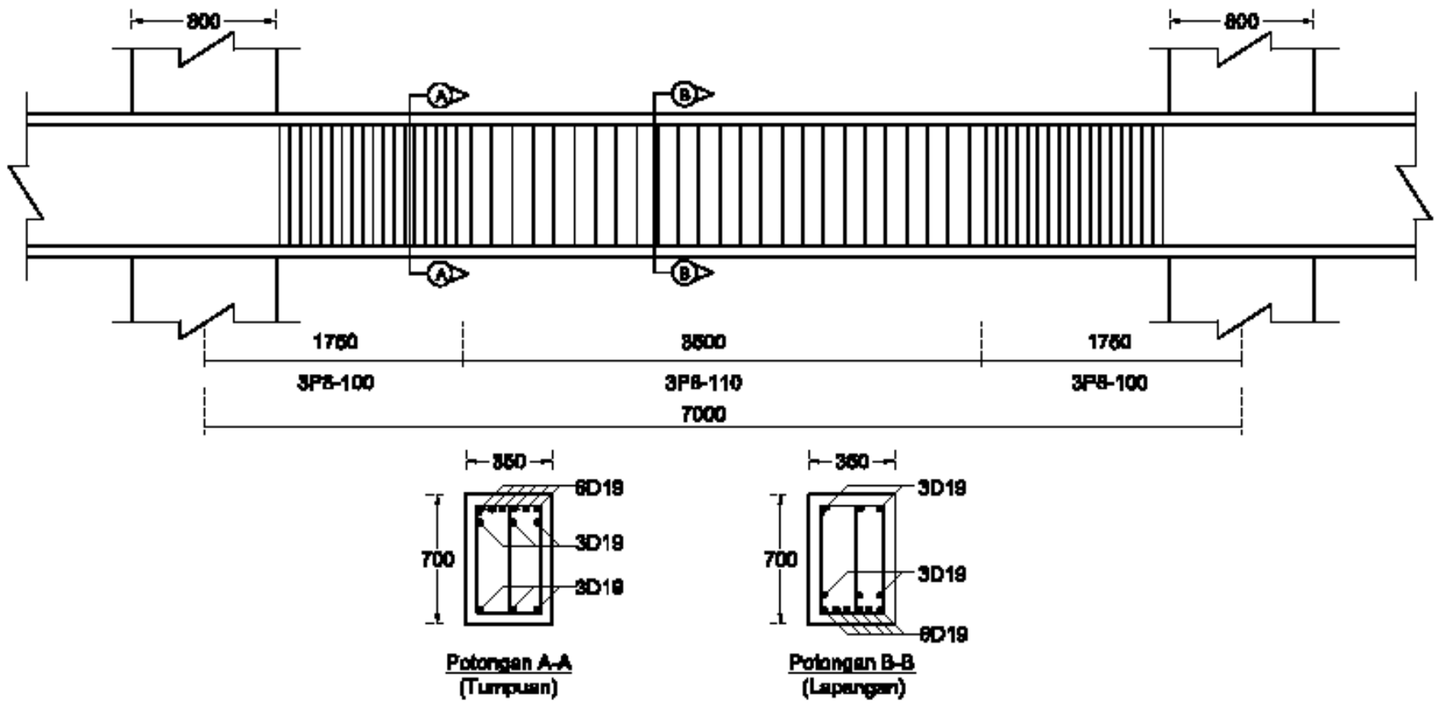
PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

**Lampiran 28** Detail Balok BY Interior 7 m (Lantai 4-6)

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION




Detail Balok BY interior 7 m 2002 (Lantai 4-6)



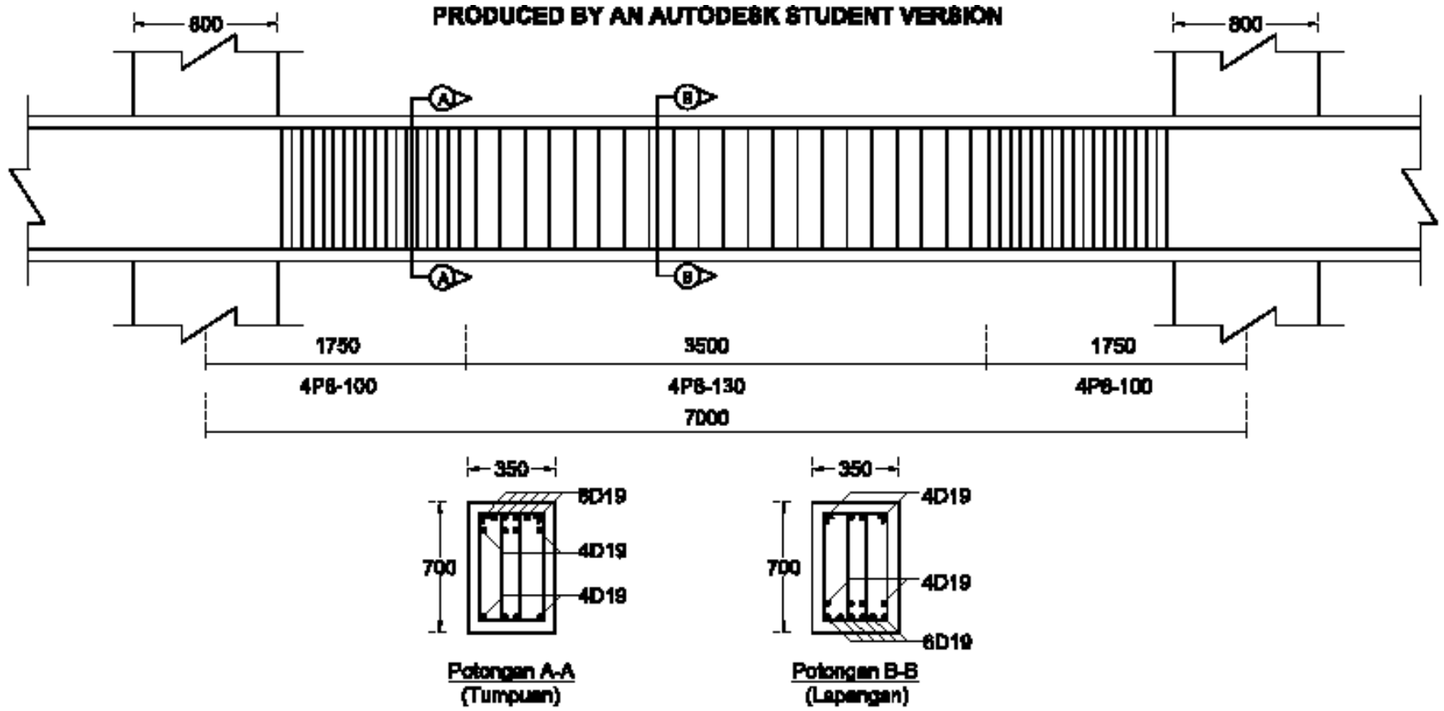

Detail Balok BY interior 7 m 2013 (Lantai 4-6)

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

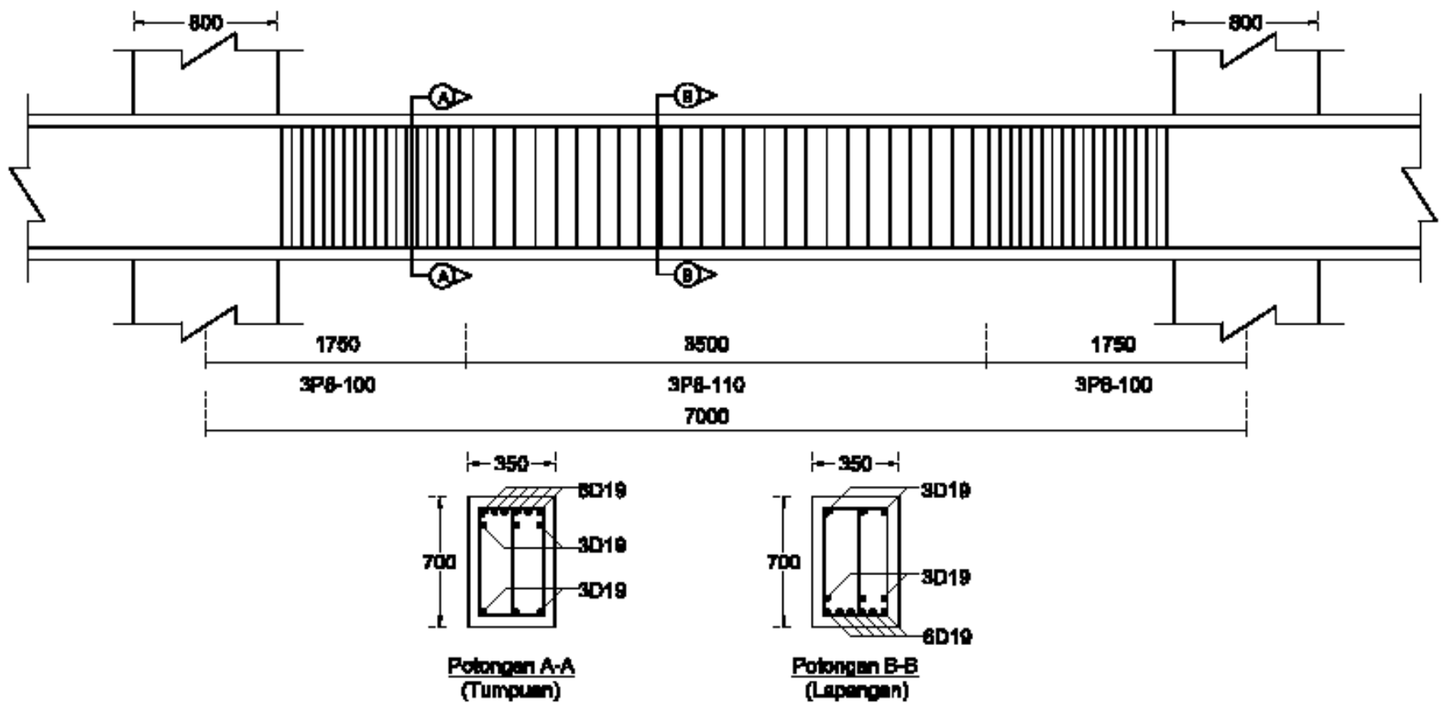
PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

**Lampiran 29** Detail Balok BY Interior 7 m (Lantai 7-9)

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION




Detail Balok BY Interior 7 m 2002 (Lantai 7-9)



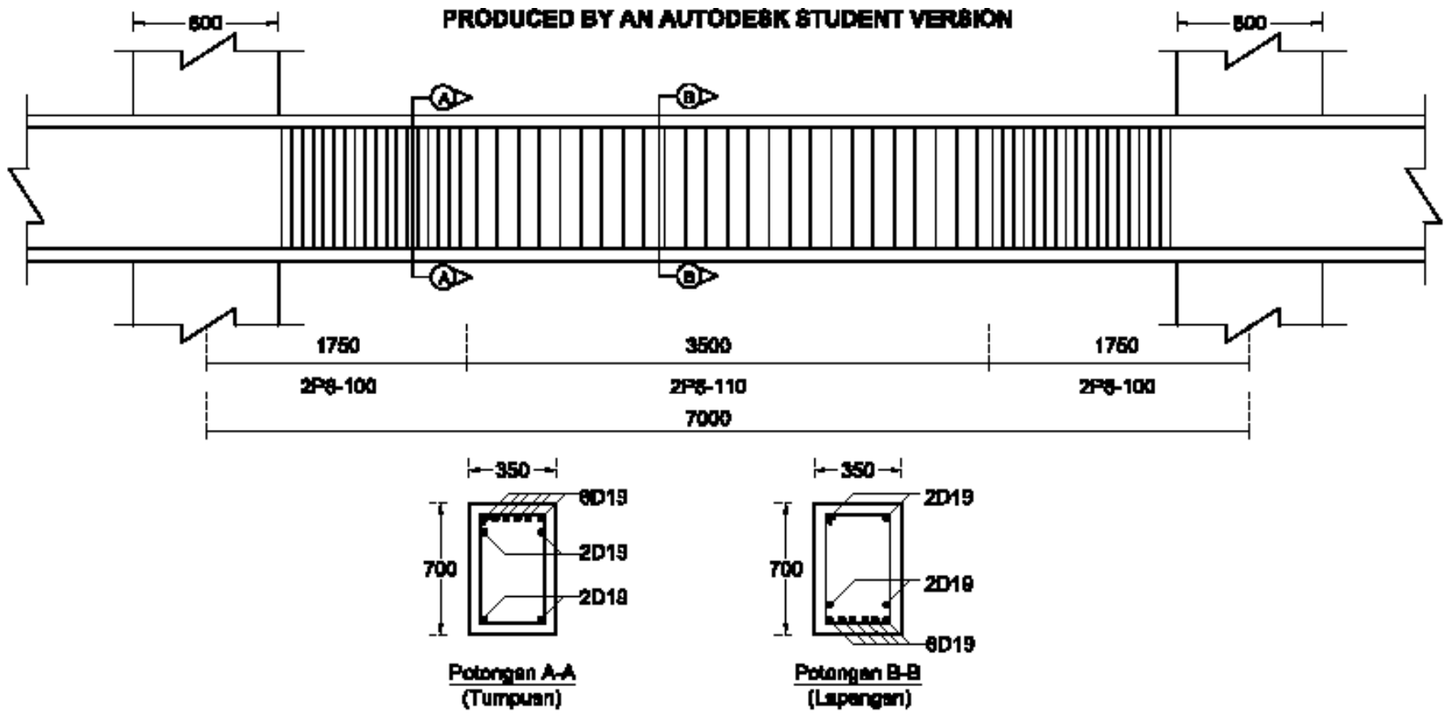

Detail Balok BY interior 7 m 2013 (Lantai 7-9)

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

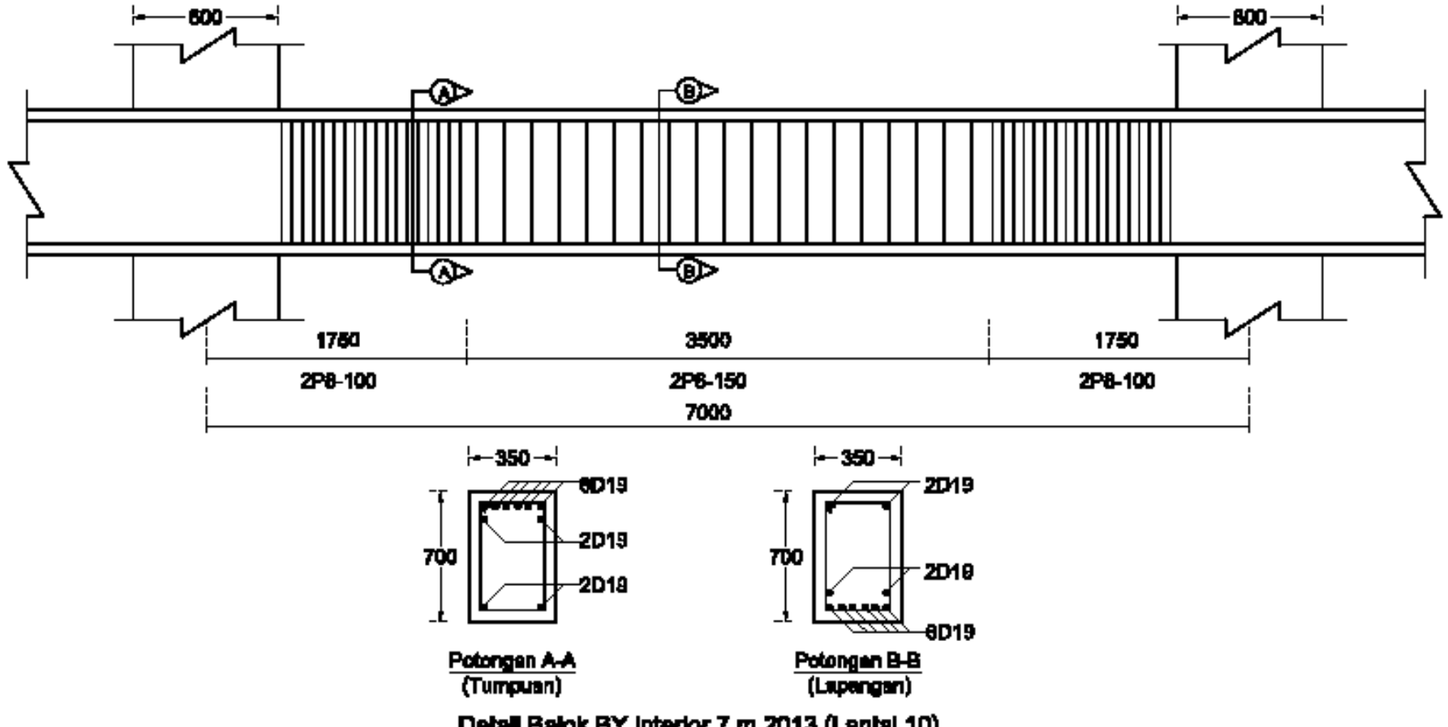
PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

**Lampiran 30** Detail Balok BY Interior 7 m (Lantai 10)

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION




Detail Balok BY Interior 7 m 2002 (Lantai 10)



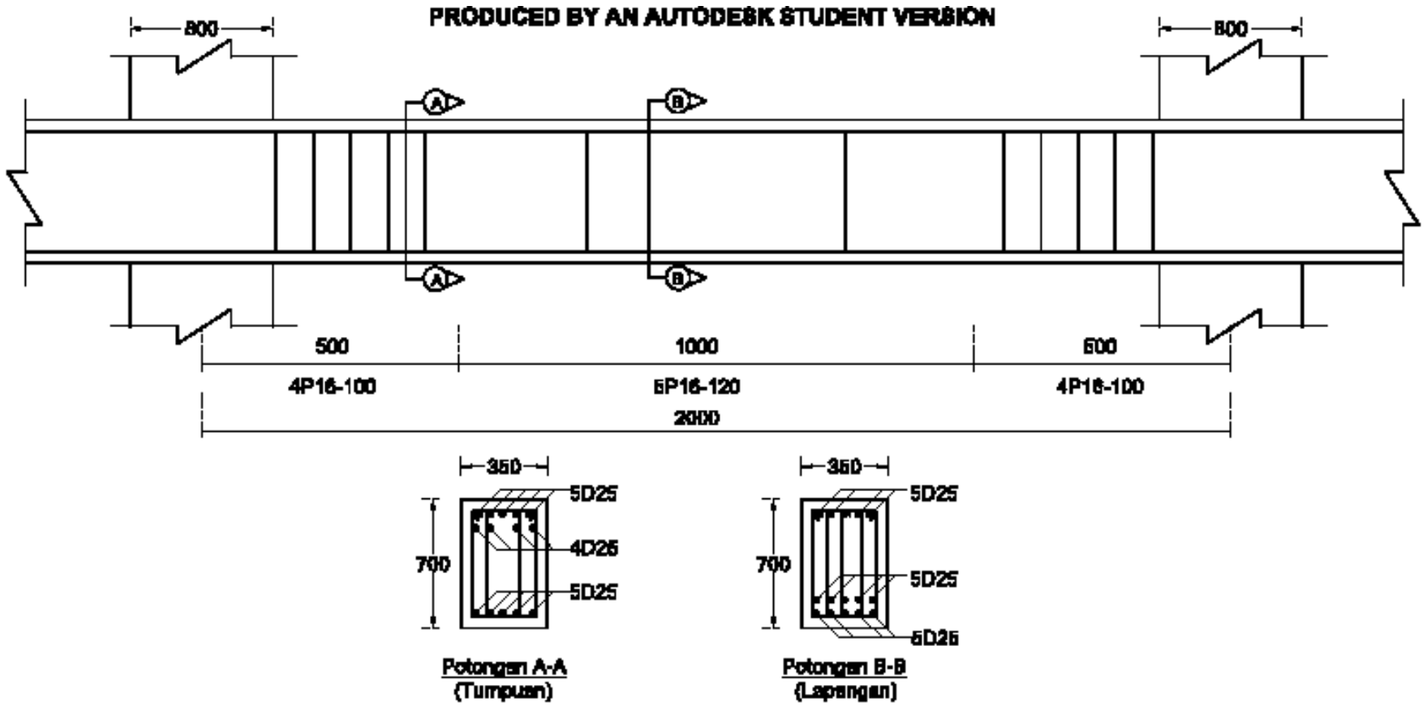

Detail Balok BY Interior 7 m 2013 (Lantai 10)

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

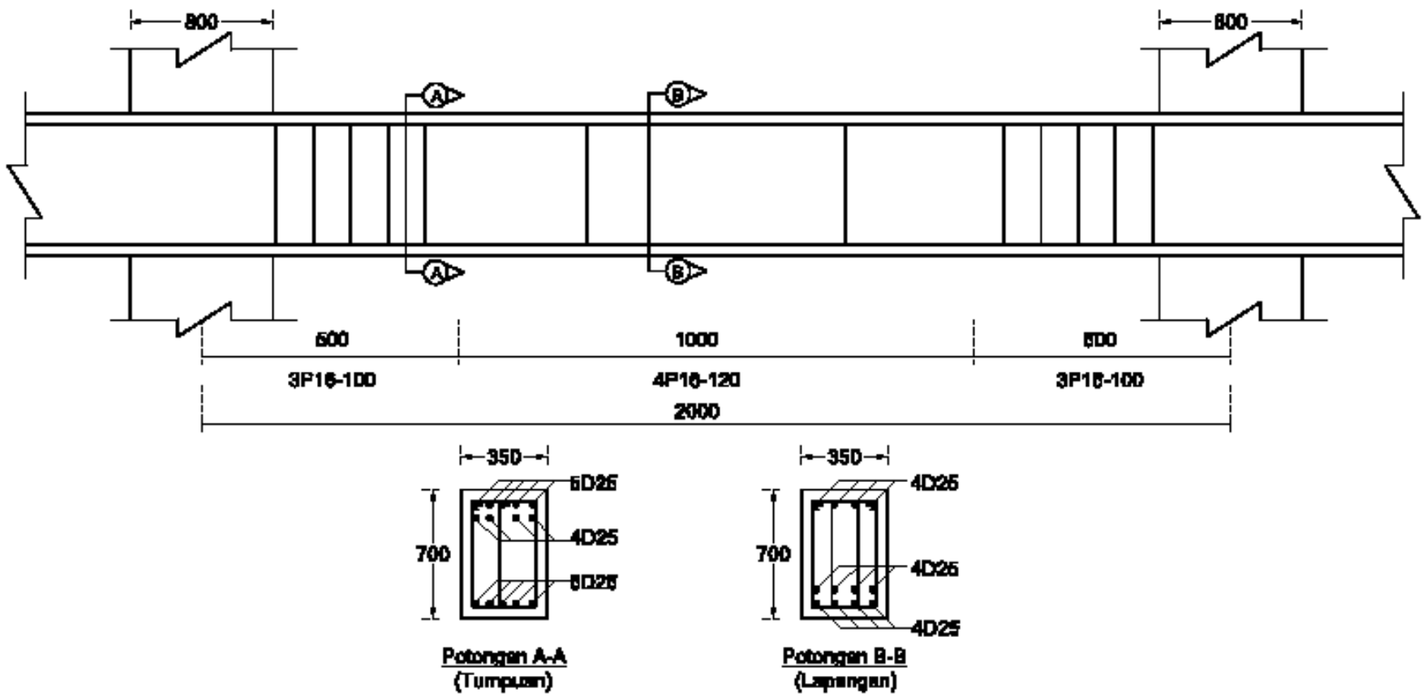
PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

**Lampiran 31** Detail Balok BY Interior 2 m (Lantai 1-3)

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION




Detail Balok BY interior 2 m 2002 (Lantai 1-3)



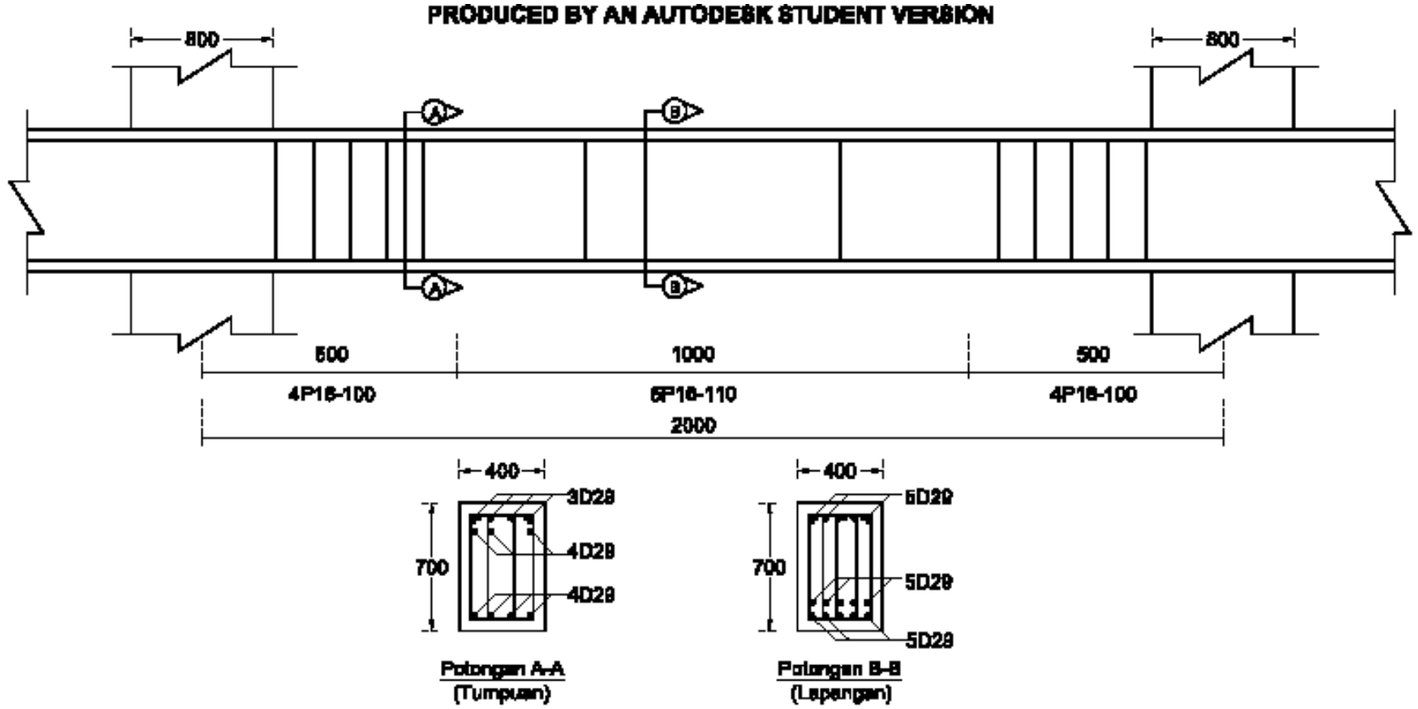

Detail Balok BY interior 2 m 2013 (Lantai 1-3)

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

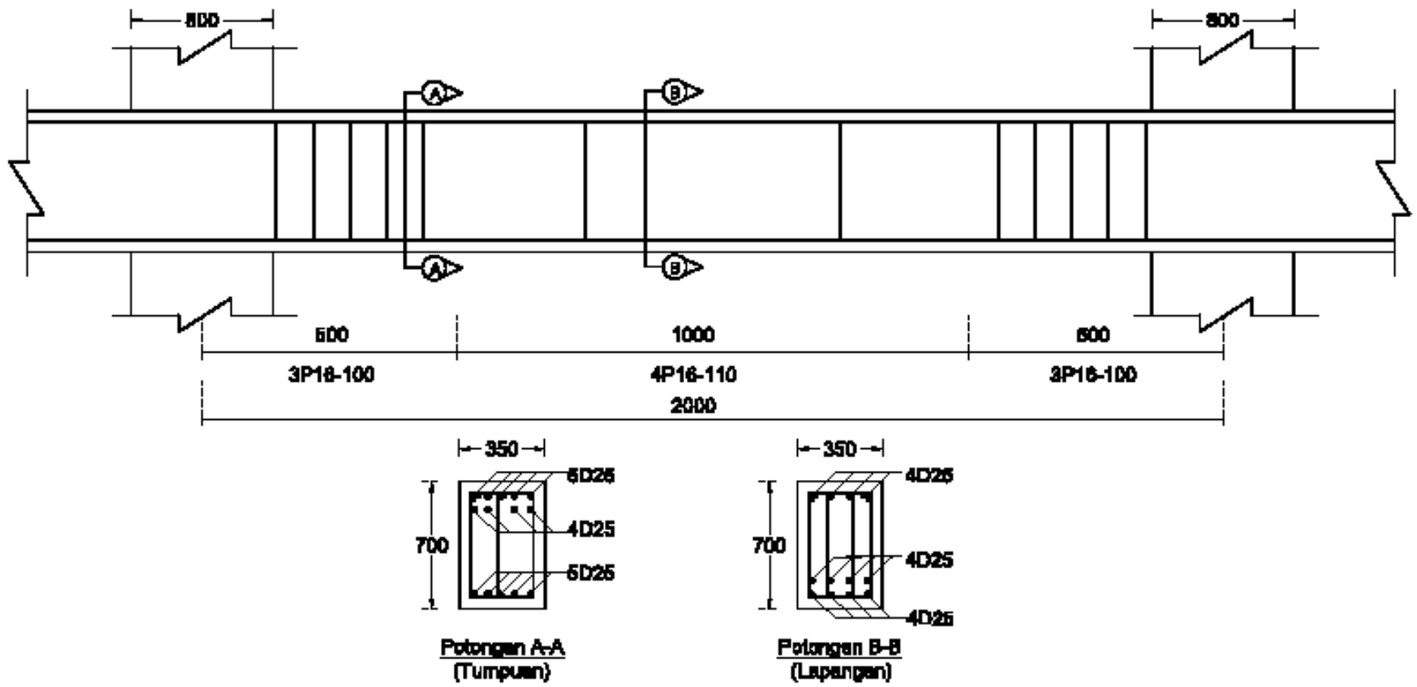
PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

**Lampiran 32** Detail Balok BY Interior 2 m (Lantai 4-6)

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION




Detail Balok BY Interior 2 m 2002 (Lantai 4-6)



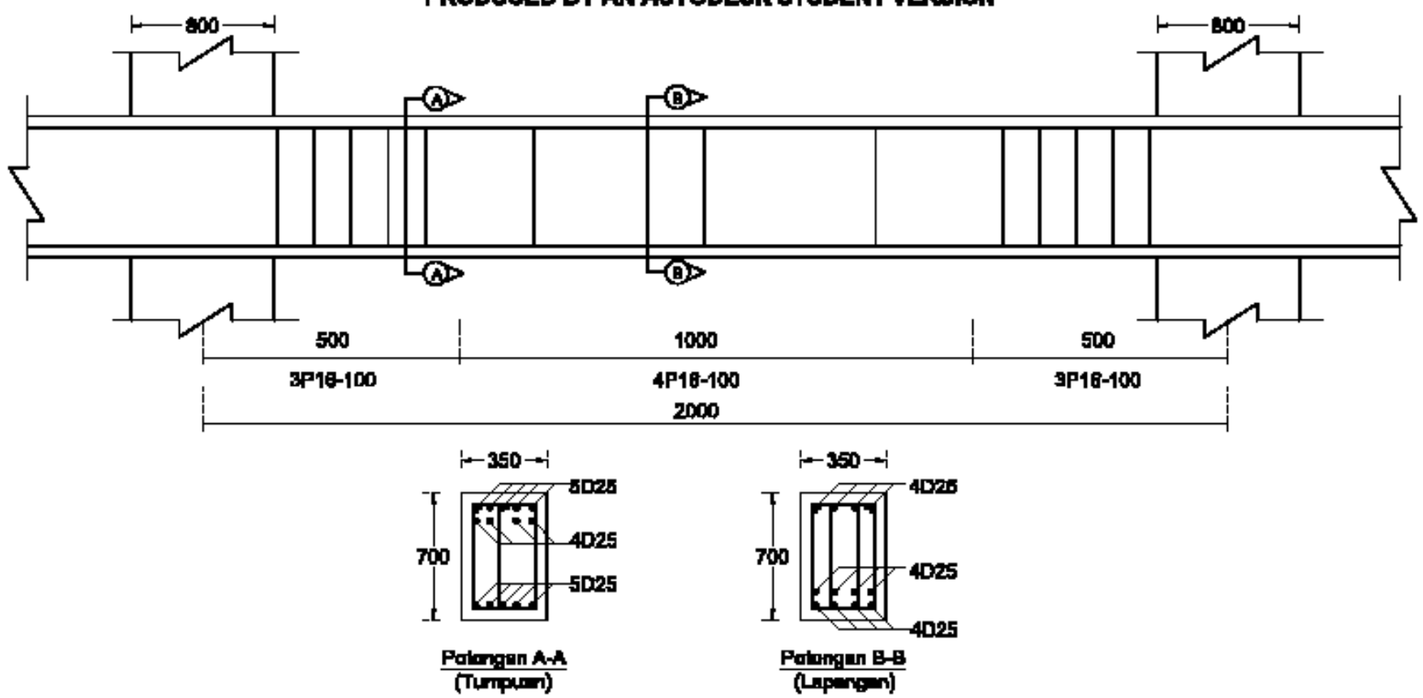

Detail Balok BY Interior 2 m 2013 (Lantai 4-6)

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

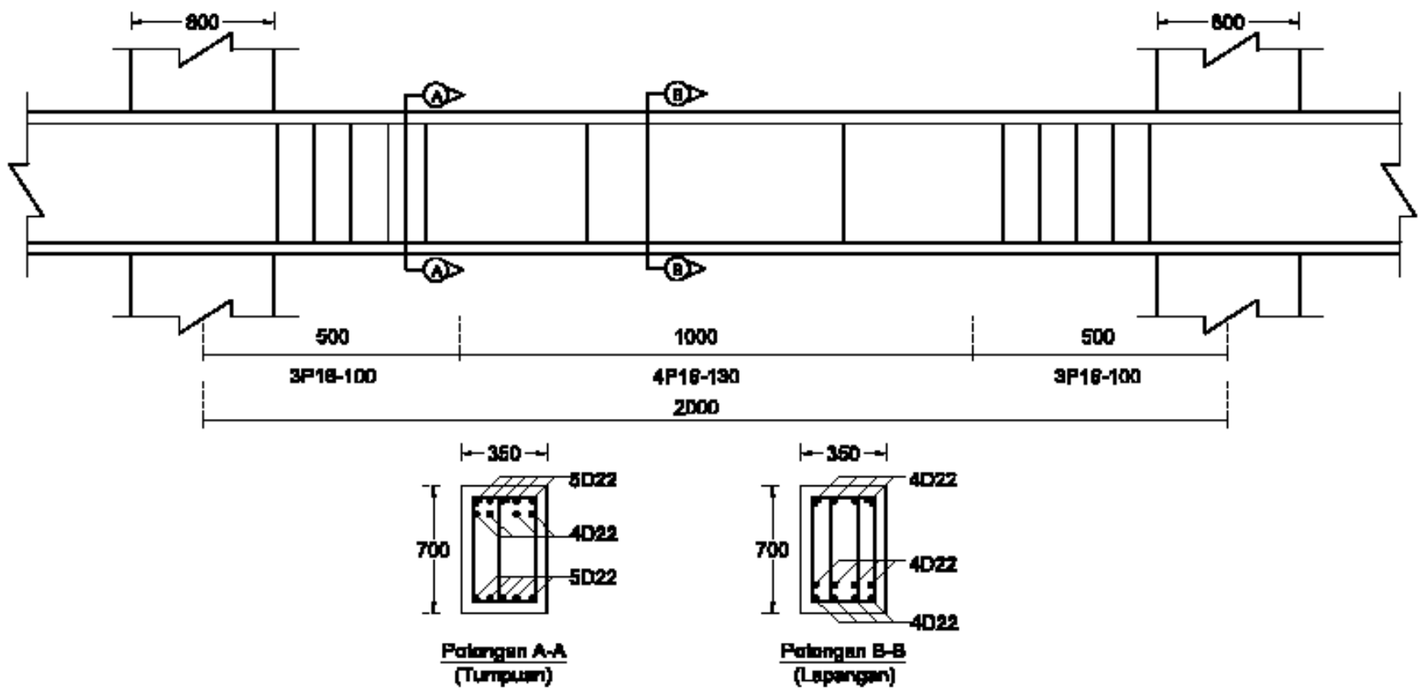
PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

**Lampiran 33** Detail Balok BY Interior 2 m (Lantai 7-9)

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION




Detail Balok BY Interior 2 m 2002 (Lantai 7-9)



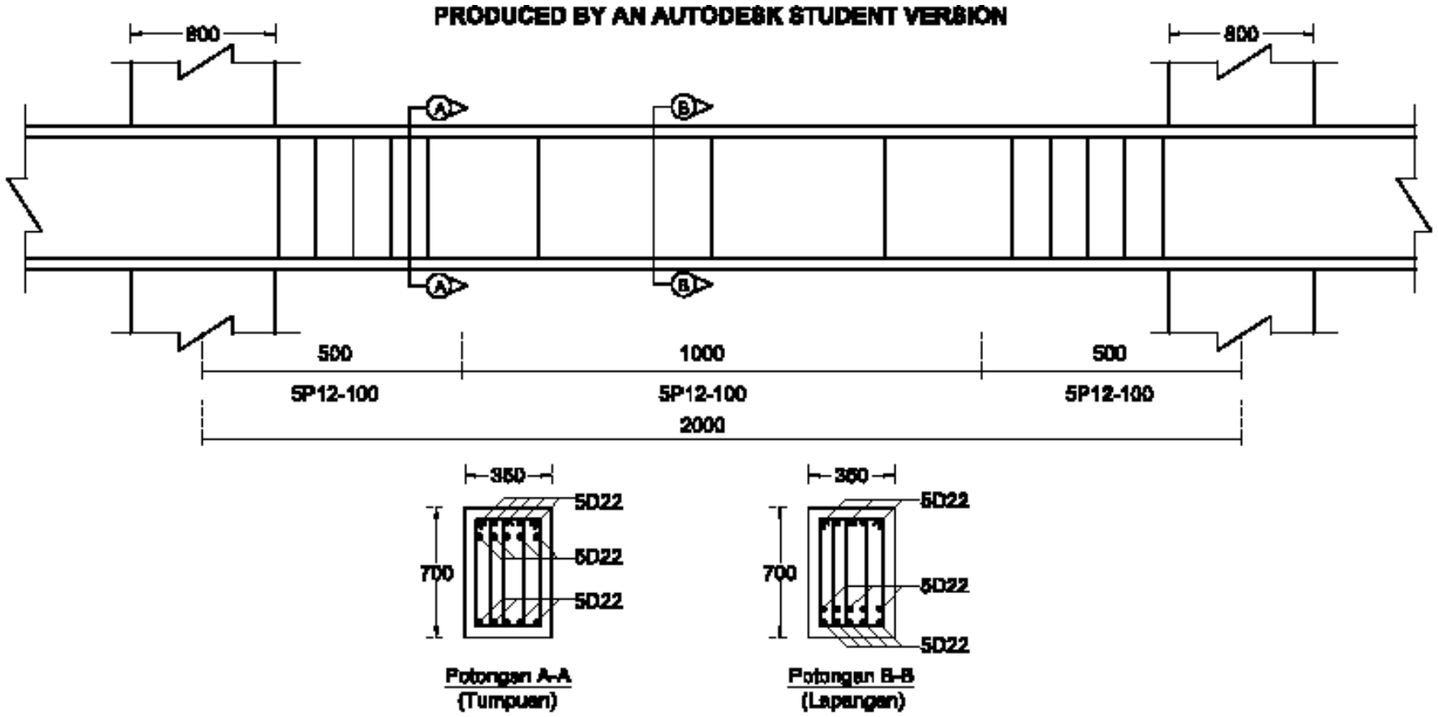

Detail Balok BY Interior 2 m 2013 (Lantai 7-9)

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

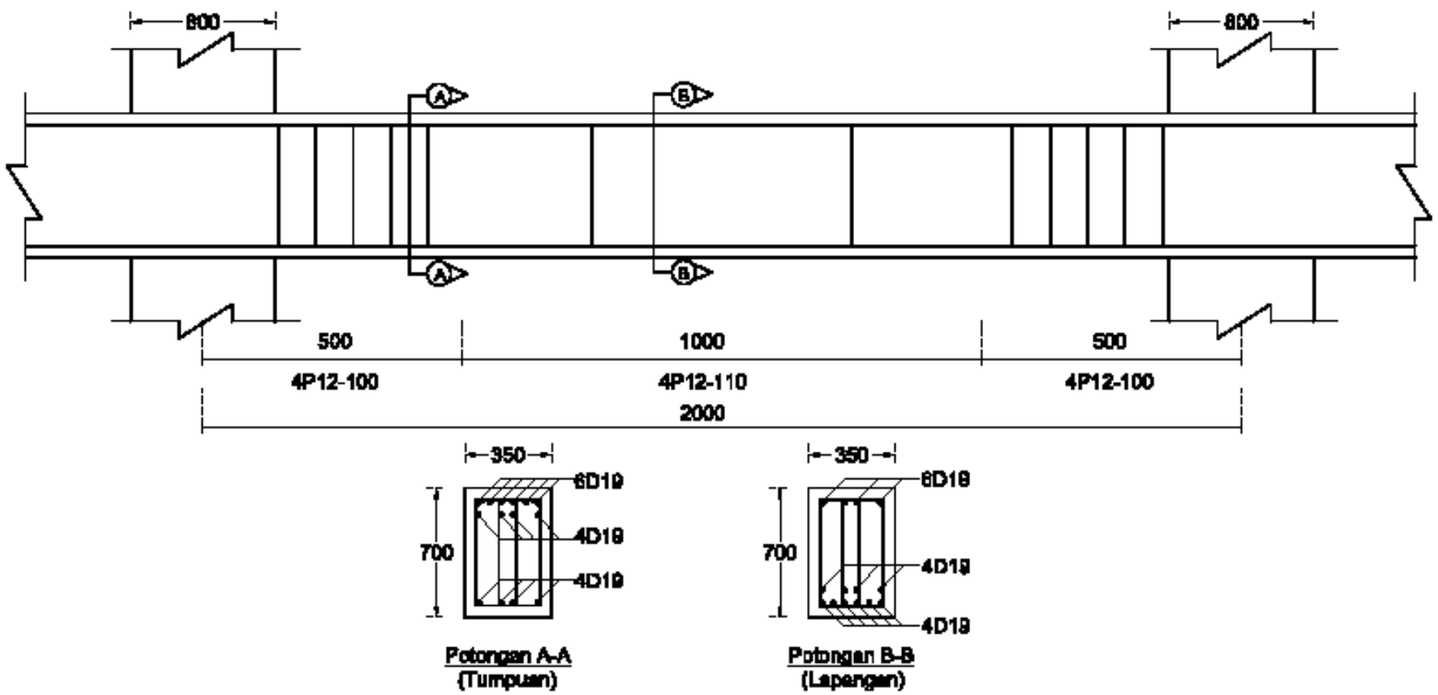
PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

**Lampiran 34** Detail Balok BY Interior 2 m (Lantai 10)

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION




Detail Balok BY Interior 2 m 2002 (Lantai 10)




Detail Balok BY interior 2 m 2013 (Lantai 10)

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION