

SKRIPSI

STUDI PARAMETER SAMBUNGAN BAJA PENAMPANG BALOK TEREDUKSI (PBT) TERHADAP PERILAKU NONLINIER SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN KHUSUS (SRPMK)



JOSHUA KUSWARDI
NPM : 2016410099

PEMBIMBING: Helmy Hermawan Tjahjanto, Ph.D.

KO-PEMBIMBING: Wivia Octarena Nugroho, S.T., M.T.

UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi berdasarkan SK-BAN PT Nomor: 1788/SK/BAN-PT/Akred/S/VII/2018)
BANDUNG
DESEMBER 2019

SKRIPSI

STUDI PARAMETER SAMBUNGAN BAJA PENAMPANG BALOK TEREDUKSI (PBT) TERHADAP PERILAKU NONLINIER SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN KHUSUS (SRPMK)



JOSHUA KUSWARDI
NPM : 2016410099

BANDUNG, 19 DESEMBER 2019

PEMBIMBING:

Helmy Hermawan Tjahjanto, Ph.D.

KO-PEMBIMBING:

Wivia Octarena Nugroho, S.T., M.T.

UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi berdasarkan SK-BAN PT Nomor: 1788/SK/BAN-PT/Akred/S/VII/2018)
BANDUNG
DESEMBER 2019

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama lengkap : Joshua Kuswardi

NPM : 2016410099

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul: **STUDI PARAMETER SAMBUNGAN BAJA PENAMPANG BALOK TEREDUKSI (PBT) TERHADAP PERILAKU NONLINIER SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN KHUSUS (SRPMK)** adalah karya ilmiah yang bebas plagiat. Jika di kemudian hari terbukti terdapat plagiat dalam skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Bandung, 19 Desember 2019



Joshua Kuswardi

2016410099

**STUDI PARAMETER SAMBUNGAN BAJA PENAMPANG
BALOK TEREDUKSI (PBT) TERHADAP PERILAKU
NONLINIER SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN KHUSUS
(SRPMK)**

**Joshua Kuswardi
NPM: 2016410099**

**Pembimbing: Helmy Hermawan Tjahjanto, Ph.D.
Ko – Pembimbing: Wivia Octarena Nugroho, S.T., M.T.**

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi berdasarkan SK-BAN PT Nomor: 1788/SK/BAN-PT/Akred/S/VII/2018)
BANDUNG
DESEMBER 2019**

ABSTRAK

Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui serta membandingkan perilaku inelastik rangka baja dengan sambungan penampang balok tereduksi dengan variasi konfigurasi parameter-parameter desain yaitu parameter a, b, dan c untuk sambungan penampang balok tereduksi yang tercantum dalam AISC 358 – *Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications* dengan sistem pemikul rangka momen khusus. Studi dilakukan dengan mendesain sistem rangka baja menggunakan bantuan program ETABS 16.2.0. Elemen penampang balok tereduksi (PBT) dimodelkan dengan pendekatan bentuk prisma dan ditempatkan di sisi luar model bangunan. Elemen hasil desain elastis dimodelkan menjadi 5 variasi model rangka baja (1 model tanpa menggunakan sambungan PBT dan 4 model menggunakan sambungan PBT yang divariasikan parameternya). Analisis *pushover* dilakukan pada semua pemodelan dan menghasilkan kesimpulan: kekakuan struktur, gaya geser dasar & faktor kuat lebih, faktor daktilitas, faktor pembesaran defleksi, koefisien modifikasi respon, distribusi kemunculan sendi plastis, dan *performance point* pada masing-masing pemodelan. Hasil analisis tersebut dapat menghasilkan rekomendasi sambungan penampang balok tereduksi yang optimum berdasarkan perilaku analisis struktur dan batasan parameter desain yang diizinkan.

Kata kunci: sambungan penampang balok tereduksi, kekakuan struktur, analisis pushover, perilaku inelastik rangka

**STUDY OF PARAMETERS STEEL CONNECTION REDUCED
BEAM SECTION (RBS) ON NONLINEAR BEHAVIOR OF
STEEL MOMENT FRAMES (SMF)**

**Joshua Kuswardi
NPM: 2016410099**

**Advisor: Helmy Hermawan Tjahjanto, Ph.D.
Co-advisor: Wivia Octarena Nugroho, S.T., M.T.**

**PARAHYANGAN CATHOLIC UNIVERSITY
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
(Accredited by SK-BAN PT Nomor: 1788/SK/BAN-PT/Akred/S/VII/2018)
BANDUNG
DECEMBER 2019**

ABSTRACT

The purpose of this research was to determine and compare the inelastic behavior of steel frames with reduced beam section connections with variations in the configuration of design parameters namely parameters a, b, and c for the reduced beam section connections listed in AISC 358 - Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications with special moment frames system. The research was conducted by designing a steel frames system using ETABS 16.2.0. The reduced beam section (RBS) is modeled with prismatic shape approach and placed on the outside of the building model. The elastic design elements are modeled into 5 variations of the steel frames model (1 model without using a RBS connection and 4 models using a RBS connection that varies the parameters). Pushover analysis is carried out on all models and concludes: structural stiffness, base shear force & over strength, ductility factor, deflection amplification factor, response modification factor, distribution of plastic joint appearances, and performance points on each of the models. The result of analysis can produce recommendations for the optimum of reduced beam section configurations based on the behavior of the structural analysis and the permissible design parameters.

Keywords: reduced beam section, structural stiffness, pushover analysis, frame inelastic behavior.

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan yang Maha Esa atas berkat rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul Studi Parameter Sambungan Baja Penampang Balok Tereduksi Terhadap Perilaku Nonlinear Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus. Skripsi ini merupakan salah satu syarat lulus program sarjana strata 1 di Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil, Universitas Katolik Parahyangan

Selama proses penulisan skripsi ini, banyak hambatan yang telah dialami oleh penulis. Akan tetapi, penulis sangat bersyukur atas hadirnya orang-orang yang sangat membantu penulis untuk mengatasi berbagai hambatan tersebut. Oleh karenanya, penulis mengucapkan terima kasih kepada orang-orang tersebut, yaitu:

1. Papa, mama, dan dan saudara-saudari kandung penulis yang selalu memberi dukungan, baik moral maupun finansial, selama jenjang perkuliahan.
2. Bapak Helmy Hermawan Tjahjanto, Ph.D. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan ilmu, pengetahuan, waktu, kesabaran, dan dukungan yang luar biasa dalam membimbing penulis penyusunan skripsi.
3. Ibu Wivia Octarena Nugroho, S.T., M.T. selaku dosen ko-pembimbing yang telah membimbing penulis dengan sabar dan memberikan saran serta masukan yang penting dalam penyempurnaan konten penulisan skripsi.
4. Seluruh dosen dan staff pengajar KBI Struktur Universitas Katolik Parahyangan selaku dosen penguji untuk segala kritik, saran, dan masukan.
5. Adeline Wong, selaku rekan bimbingan skripsi Pak Helmy dan teman seperjuangan dari awal kuliah sampai di tahap ini bersama penulis yang selalu memberi masukan, semangat, dan bimbingan sehingga penulisan skripsi ini dapat selesai.
6. Josephine Wijaya, Monica Hillary, Iola Novianti, Diana Darapuspa, Claresta Felim, Yosef Huntaryo, Yoshan Yosvara, Tryaldi Tama, Hendry, Hartono, selaku teman-teman yang saling membantu untuk menyelesaikan skripsi maupun tugas masing-masing serta menjadi jalan keluar ketika merasakan kesulitan. Bantuan dari kalian sangat berarti.

7. Teman-teman kos *Amara Residence* yang meramaikan kehidupan penulis dan kelompok belajar bersama selama kos di Bandung untuk 3.5 tahun ini.
8. Teman-teman Angkatan 2016 Teknik Sipil Unpar yang baik secara langsung maupun tidak langsung memberikan dukungan dan semangat pada saat proses penulisan skripsi dan pada saat seminar maupun sidang.
9. Seluruh civitas akademika Universitas Katolik Parahyangan, terkhusus program studi teknik sipil.
10. Semua pihak yang tidak sempat penulis sebutkan satu per satu, yang telah membantu penyelesaian skripsi ini, baik secara langsung maupun secara tidak langsung.

Penulis menyadari kelemahan, kekurangan, dan ketidaksempurnaan yang dilakukan selama proses penulisan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun agar kedepannya dapat menjadi lebih baik lagi. Terima kasih.

Bandung, 19 Desember 2019



Joshua Kuswardi

2016410099

DAFTAR ISI

| | |
|--|-------------|
| ABSTRAK | i |
| ABSTRACT | iii |
| PRAKATA | v |
| DAFTAR ISI..... | vii |
| DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN..... | ix |
| DAFTAR GAMBAR..... | xi |
| DAFTAR TABEL | xiii |
| DAFTAR LAMPIRAN | xiv |
| BAB 1 PENDAHULUAN | 1-1 |
| 1.1 Latar Belakang Permasalahan | 1-1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 1-4 |
| 1.3 Tujuan Penelitian | 1-4 |
| 1.4 Pembatasan Masalah | 1-5 |
| 1.5 Metode Penelitian | 1-6 |
| 1.6 Sistematika Penulisan | 1-7 |
| 1.7 Diagram Alir Penelitian | 1-8 |
| BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA..... | 2-1 |
| 2.1 Sistem Rangka Momen | 2-1 |
| 2.1.1 Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) | 2-2 |
| 2.2 Analisis Statik Ekuivalen SNI 1726:2012 | 2-3 |
| 2.2.1 Kategori Risiko Struktur Bangunan | 2-4 |
| 2.2.2 Faktor Keutamaan Struktur Bangunan | 2-4 |
| 2.2.3 Klasifikasi Situs..... | 2-4 |
| 2.2.4 Parameter-Parameter Gempa..... | 2-4 |
| 2.2.5 Kategori Desain Seismik | 2-5 |
| 2.2.6 Jenis Sistem Struktur Penahan Beban Gempa..... | 2-6 |
| 2.2.7 Gaya Lateral Ekuivalen | 2-6 |
| 2.2.8 Skala Gaya..... | 2-7 |
| 2.3 Pembebanan | 2-7 |
| 2.3.1 Beban Mati | 2-7 |

| | | |
|--------|---|------|
| 2.3.2 | Beban Mati Tambahan | 2-7 |
| 2.3.3 | Beban Hidup | 2-8 |
| 2.3.4 | Beban Gempa..... | 2-8 |
| 2.3.5 | Kombinasi Beban..... | 2-8 |
| 2.4 | Sambungan Baja Terprakualifikasi Berdasarkan AISC 358-16 | 2-10 |
| 2.4.1 | Sambungan Momen Penampang Balok Tereduksi (PBT) | 2-10 |
| 2.5 | Desain Sambungan Momen Penampang Balok Tereduksi (PBT) | 2-11 |
| 2.5.1 | Batas Prakuualifikasi | 2-11 |
| 2.5.2 | Geometri Penampang Balok Tereduksi | 2-13 |
| 2.5.3 | Modulus Plastis Penampang Balok Tereduksi..... | 2-14 |
| 2.5.4 | Momen Maksimum yang Mungkin Terjadi, M_{pr} , pada Pusat Penampang Balok Tereduksi..... | 2-14 |
| 2.5.5 | Gaya Geser pada Pusat Penampang Balok Tereduksi di Setiap Ujung Balok | 2-15 |
| 2.5.6 | Momen Maksimum yang Mungkin Terjadi pada Muka Kolom..... | 2-16 |
| 2.5.7 | Momen Plastis Balok, M_{pe} , Berdasarkan Tegangan Leleh Ekspektasi...2- | 17 |
| 2.5.8 | Kekuatan Lentur Balok pada Muka Kolom | 2-18 |
| 2.5.9 | Kekuatan Geser yang Disyaratkan V_u , dari Balok dan Sambungan Badan Balok ke Kolom | 2-18 |
| 2.5.10 | Periksa Persyaratan Pelat Penerus | 2-19 |
| 2.5.11 | Periksa Pembatasan Hubungan Kolom-Balok..... | 2-20 |
| 2.6 | Analisis Statik Nonlinier <i>Pushover</i> | 2-23 |
| 2.7 | Tingkat Kinerja Struktur | 2-26 |
| 2.7.1 | Immediate Occupancy..... | 2-26 |
| 2.7.2 | Damage Control | 2-26 |
| 2.7.3 | Life Safety..... | 2-26 |
| 2.7.4 | Limited Safety..... | 2-27 |

| | |
|--|------------|
| 2.7.5 Collapse Prevention / Structure Stability | 2-27 |
| BAB 3 PEMODELAN STRUKTUR DAN SAMBUNGAN BAJA | 3-1 |
| 3.1 Umum | 3-1 |
| 3.2 Pemodelan Struktur..... | 3-2 |
| 3.2.1 Data Struktur | 3-2 |
| 3.2.2 Data Material | 3-4 |
| 3.2.3 Pembebanan..... | 3-5 |
| 3.2.4 Kombinasi Pembebanan | 3-6 |
| 3.2.5 Dimensi Elemen Struktur | 3-7 |
| 3.2.6 Pemeriksaan Ketidakberaturan | 3-9 |
| 3.3 Pemodelan Sambungan Baja..... | 3-10 |
| 3.3.1 Geometri Profil yang Disambung..... | 3-11 |
| 3.3.2 Batas Prakuualifikasi | 3-11 |
| 3.3.3 Geometri Penampang Balok Tereduksi..... | 3-12 |
| 3.3.4 Modulus Plastis Penampang Balok Tereduksi | 3-14 |
| 3.3.5 Momen Maksimum yang Mungkin Terjadi, M_{pr} , pada Pusat Penampang Balok Tereduksi | 3-14 |
| 3.3.6 Gaya Geser pada Pusat Penampang Balok Tereduksi..... | 3-15 |
| 3.3.7 Momen Maksimum yang Mungkin Terjadi pada Muka Kolom..... | 3-15 |
| 3.3.8 Momen Plastis Balok, M_{pe} , Berdasarkan Tegangan Leleh Ekspektasi .. | 3-16 |
| 3.3.9 Kekuatan Lentur Balok pada Muka Kolom..... | 3-16 |
| 3.3.10 Kekuatan Geser yang Disyaratkan, V_u , dari Balok dan Sambungan Badan Balok ke Kolom | 3-17 |
| 3.3.11 Periksa Persyaratan Pelat Penerus..... | 3-17 |
| 3.3.12 Periksa Geser Zona Panel Badan Kolom | 3-18 |
| 3.3.13 Rasio Momen Kolom-Balok | 3-19 |
| BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN | 4-1 |

| | |
|---|------------|
| 4.1 Hasil Desain Struktur | 4-1 |
| 4.2 Hasil Analisis <i>Pushover Nonlinear</i> | 4-4 |
| 4.2.1 Kekakuan Struktur | 4-5 |
| 4.2.2 Gaya Geser Dasar dan Faktor Kuat Lebih | 4-7 |
| 4.2.3 Faktor Daktilitas..... | 4-7 |
| 4.2.4 Faktor Pembesaran Defleksi | 4-8 |
| 4.2.5 Koefisien Modifikasi Respons | 4-9 |
| 4.2.6 Distribusi Kemunculan Sendi Platis pada Pemodelan | 4-10 |
| 4.2.7 <i>Performance Point</i> | 4-14 |
| BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN | 5-1 |
| 5.1 Kesimpulan..... | 5-1 |
| 5.2 Saran | 5-3 |
| DAFTAR PUSTAKA | xix |
| LAMPIRAN 1 | L1 |
| LAMPIRAN 2 | L2 |
| LAMPIRAN 3 | L3 |
| LAMPIRAN 4..... | L4 |

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

| | |
|------------|---|
| AISC | : <i>American Institute of Steel Construction</i> |
| ASCE | : <i>American Society of Civil Engineers</i> |
| A_g | : Luas penampang bruto |
| A_w | : Luas badan, tinggi keseluruhan dikalikan dengan tebal badan |
| a | : Jarak horizontal dari muka sayap kolom ke awal pemotongan penampang balok tereduksi |
| b | : Panjang pemotongan penampang balok tereduksi |
| b_{bf} | : Lebar sayap balok |
| C_d | : Faktor pembesaran defleksi |
| C_{pr} | : Faktor untuk memperkirakan kekuatan puncak sambungan |
| C_s | : Koefisien respon seismik |
| C_t | : Parameter untuk menentukan periode fundamental struktur |
| C_{v1} | : Koefisien geser badan |
| c | : Kedalaman pemotongan pada pusat penampang balok tereduksi |
| DC | : <i>Damage Control</i> |
| DL | : Beban mati |
| d | : Tinggi penampang balok |
| d_b | : Tinggi balok |
| d_c | : Tinggi kolom |
| d_{stud} | : Diameter <i>stud</i> |
| E | : Beban gempa |
| E' | : Modulus Elastisitas Baja |
| E_c | : Modulus Elastisitas Beton |
| E_h | : Beban gempa horizontal |
| E_v | : Beban gempa vertikal |
| F_a | : Faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek |
| F_u | : Kekuatan tarik minimum |
| F_v | : Faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode 1 detik |

| | |
|----------|---|
| F_y | : Tegangan leleh minimum |
| F_{yb} | : Tegangan leleh balok minimum yang disyaratkan |
| F_{yc} | : Tegangan leleh kolom minimum yang disyaratkan |
| h_r | : Tinggi deck |
| h_s | : Tinggi <i>stud</i> |
| IO | : <i>Immediate Occupancy</i> |
| I_e | : Faktor keutamaan gempa |
| JIS | : <i>Japanese Industrial Standard</i> |
| kN | : Kilo Newton |
| LL | : Beban hidup |
| L_r | : Beban hidup atap |
| LS | : <i>Life Safety</i> |
| L_h | : Jarak antara lokasi sendi plastis |
| MPa | : Mega Pascal |
| M_f | : Momen maksimum yang mungkin terjadi pada muka kolom |
| M_{pe} | : Momen plastis balok berdasarkan tegangan ekspetasi |
| M_{pr} | : Momen maksimum yang mungkin terjadi pada pusat penampang balok tereduksi |
| M_{uv} | : Momen tambahan akibat amplifikasi geser dari lokasi sendi plastis pada sumbu kolom berdasarkan kombinasi beban DFBK |
| m | : Meter |
| mm | : Milimeter |
| PBT | : Penampang Balok Tereduksi |
| PF_1 | : Faktor partisipasi ragam untuk ragam ke-1 |
| P_{uc} | : Kekuatan tekan perlu dengan menggunakan kombinasi beban DFBK, termasuk beban seismik teramplifikasi |
| P_u | : Kekuatan aksial yang diperlukan menggunakan kombinasi beban DFBK atau DKI |
| P_y | : Kekuatan leleh aksial dari kolom |
| R | : Faktor modifikasi respons |
| R_u | : Kekuatan geser pada zona panel kolom |
| R_v | : Kekuatan geser nominal |

| | |
|-----------------|--|
| R_y | : Rasio tegangan leleh ekspektasi terhadap tegangan leleh minimum yang disyaratkan |
| R_{yb} | : kekuatan geser nominal pada balok |
| R_{yc} | : kekuatan geser nominal pada kolom |
| SNI | : Standar Nasional Indonesia |
| SRPMB | : Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa |
| SRPMK | : Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus |
| SPRMM | : Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah |
| SS | : <i>Structure Stability</i> |
| S_{DS} | : Parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek |
| S_{D1} | : Parameter percepatan spektral desain untuk periode 1 detik |
| S_{MS} | : Parameter spektrum respons percepatan pada periode pendek |
| S_{M1} | : Parameter spektrum respons percepatan pada periode 1 detik |
| S_a | : Spektral percepatan |
| S_d | : Spektral perpindahan |
| S_s | : Parameter respons spektral percepatan gempa terpetakan untuk periode pendek |
| S_1 | : Parameter respons spektral percepatan gempa terpetakan untuk periode 1 detik |
| S_h | : Jarak dari sendi plastis ke muka kolom |
| S_r | : Jarak antar rusuk |
| s | : detik |
| T | : Periode getar fundamental struktur |
| T_a | : Periode fundamental pendekatan |
| t_{bf} | : Tebal sayap balok |
| t_{bw} | : Tebal badan kolom |
| t_{cf} | : Tebal sayap kolom |
| t_c | : Tinggi pelat |
| $V_{gravitasi}$ | : Gaya geser balok yang dihasilkan dari $1,2D + f_1L + 0,2S$, dimana f_1 adalah faktor beban ditentukan oleh peraturan bangunan gedung yang berlaku untuk beban hidup minimum 0,5 |
| V_n | : Kekuatan geser nominal |

| | |
|------------------|--|
| V_s | : Gaya geser dasar statik |
| V_u | : Kekuatan geser perlu dari balok dan sambungan badan balok-ke-kolom |
| W | : berat seismik efektif |
| WF | : <i>Wide Flange</i> |
| WL | : Beban angin |
| W_{rb} | : Lebar rusuk bawah |
| W_{rt} | : Lebar rusuk atas |
| Z_{RBS} | : Modulus penampang plastis pada pusat penampang balok tereduksi |
| Z_x | : Modulus penampang plastis terhadap sumbu-x, untuk penampang balok penuh |
| α_1 | : Koefisien massa ragam untuk ragam ke-1 |
| γ_{baja} | : Berat Jenis Baja |
| γ_{beton} | : Berat Jenis Beton |
| Δ_{atap} | : perpindahan atap |
| μ | : Faktor Daktilitas |
| $\sum M^*_{pb}$ | : Jumlah dari proyeksi kekuatan lentur ekspektasi dari balok pada lokasi sendi plastis pada sumbu kolom |
| $\sum M^*_{pc}$ | : Jumlah dari proyeksi kekuatan lentur nominal kolom diatas di bawah di <i>joint</i> pada garis sumbu balok dengan reduksi untuk gaya aksial dalam kolom |
| ϕ_d | : Faktor ketahanan untuk keadaan batas daktail |
| ϕ_v | : Faktor ketahanan geser untuk keadaan batas daktail |
| ϕ_{i1} | : Perpindahan pada lantai i ragam ke-1 |
| Ω_0 | : Faktor kuat lebih |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|------|
| Gambar 1.1 Peta Lempeng Tektonik Indonesia (BMKG)..... | 1-1 |
| Gambar 1.2 Penampang Balok Tereduksi Tampak 3 Dimensi | 1-3 |
| Gambar 1.3 Penampang Balok Tereduksi Tampak Atas dan Tampak Samping | 1-3 |
| Gambar 1.4 Denah Tipikal Struktur | 1-6 |
| Gambar 1.5 Rangka Sumbu 1 | 1-6 |
| Gambar 1.6 Diagram Alir penelitian | 1-8 |
| | |
| Gambar 2.1 Analisis Statik Ekuivalen..... | 2-3 |
| Gambar 2.2 Sambungan Momen Penampang Balok Tereduksi..... | 2-11 |
| Gambar 2.3 Geometri Penampang Balok Tereduksi | 2-14 |
| Gambar 2.4 Diagram Free-body Bagian Balok Antara Pusat PBT | 2-16 |
| Gambar 2.5 Diagram <i>Free-Body</i> Antara Pusat PBT dan Muka Kolom | 2-17 |
| Gambar 2.6 Gaya Geser pada Zona Panel Kolom..... | 2-20 |
| Gambar 2.7 Perhitungan M^*_{pc} | 2-22 |
| Gambar 2.8 Perhitungan M^*_{pb} | 2-23 |
| Gambar 2.9 Kurva rasio gaya luar-gaya leleh terhadap deformasi. | 2-24 |
| | |
| Gambar 3.1 Rangka Sumbu 1-6 dan Sumbu A | 3-2 |
| Gambar 3.2 Denah Tipikal Struktur Bangunan | 3-3 |
| Gambar 3.3 Tampak 3-Dimensi Struktur Bangunan | 3-3 |
| Gambar 3.4 Penampang <i>Metal Deck</i> | 3-4 |
| Gambar 3.5 Spektrum Respons Desain | 3-6 |
| Gambar 3.6 Konfigurasi Profil Komponen Struktur (Denah Tipikal) | 3-8 |
| Gambar 3.7 Konfigurasi Profil Komponen Struktur (Rangka Sumbu 1)..... | 3-8 |
| Gambar 3.8 Pemodelan Sambungan PBT pada ETABS (Denah Tipikal) | 3-10 |
| Gambar 3.9 Pemodelan Sambungan PBT pada ETABS (Detail Penampang). | 3-10 |
| Gambar 3.10 Konfigurasi Geometri Penampang Balok Tereduksi..... | 3-13 |
| Gambar 3.11 Diagram <i>Free-Body</i> Antara Pusat PBT dan Muka Kolom | 3-16 |
| Gambar 3.12 <i>Load Applied</i> Beban Gravitasi Pada ETABS 16 | 3-20 |
| Gambar 3.13 <i>Load Case Data</i> Beban <i>Pushover</i> Pada ETABS 16 | 3-20 |

| | |
|--|------|
| Gambar 4.1 Konfigurasi Profil Komponen Struktur Pada Sumbu 1 | 4-1 |
| Gambar 4.2 Rasio Interaksi P-M Model 1 Pada Potongan Sumbu 1 | 4-2 |
| Gambar 4.3 Rasio Interaksi P-M Model 2 Pada Potongan Sumbu 1 | 4-2 |
| Gambar 4.4 Rasio Interaksi P-M Model 3 Pada Potongan Sumbu 1 | 4-3 |
| Gambar 4.5 Rasio Interaksi P-M Model 4 Pada Potongan Sumbu 1 | 4-3 |
| Gambar 4.6 Rasio Interaksi P-M Model 5 Pada Potongan Sumbu 1 | 4-4 |
| Gambar 4.7 Kurva <i>Pushover</i> | 4-5 |
| Gambar 4.8 Kurva <i>Pushover</i> (kondisi daerah elastis)..... | 4-6 |
| Gambar 4.9 Lokasi dan Status Sendi Plastis pada Pemodelan 1 | 4-10 |
| Gambar 4. 10 Momen Vs Rotasi Pada Elemen Struktur Pemodelan 1 | 4-10 |
| Gambar 4. 11 Lokasi dan Status Sendi Plastis pada Pemodelan 2 | 4-11 |
| Gambar 4.12 Momen Vs Rotasi Pada Elemen Struktur Pemodelan 2..... | 4-11 |
| Gambar 4. 13 Lokasi dan Status Sendi Plastis pada Pemodelan 3 | 4-11 |
| Gambar 4.14 Momen Vs Rotasi Pada Elemen Struktur Pemodelan 3..... | 4-12 |
| Gambar 4.15 Lokasi dan Status Sendi Plastis pada Pemodelan 4 | 4-12 |
| Gambar 4.16 Momen Vs Rotasi Pada Elemen Struktur Pemodelan 4..... | 4-12 |
| Gambar 4.17 Lokasi dan Status Sendi Plastis pada Pemodelan 5 | 4-13 |
| Gambar 4.18 Momen Vs Rotasi Pada Elemen Struktur Pemodelan 5..... | 4-13 |
| Gambar 4.19 <i>Acceleration-Displacement Response Spectra</i> Model 1 | 4-15 |
| Gambar 4.20 <i>Acceleration-Displacement Response Spectra</i> Model 2 | 4-15 |
| Gambar 4.21 <i>Acceleration-Displacement Response Spectra</i> Model 3 | 4-16 |
| Gambar 4.22 <i>Acceleration-Displacement Response Spectra</i> Model 4 | 4-16 |
| Gambar 4.23 <i>Acceleration-Displacement Response Spectra</i> Model 5 | 4-17 |

DAFTAR TABEL

| | |
|---|------|
| Tabel 3.1 Nilai Parameter Percepatan Gempa..... | 3-6 |
| Tabel 3.2 Rangkuman Ketidakberaturan Horizontal..... | 3-9 |
| Tabel 3.3 Rangkuman Ketidakberaturan Vertikal..... | 3-9 |
| Tabel 3.4 Konfigurasi Penampang Balok Tereduksi..... | 3-12 |
| Tabel 3.5 Hasil Modulus Plastis dari Konfigurasi Penampang Balok Tereduksi | 3-14 |
| Tabel 3.6 Hasil Momen Maksimum yang Mungkin Terjadi dari Konfigurasi Penampang Balok Tereduksi | 3-14 |
| Tabel 3.7 Hasil Gaya Geser pada Pusat dari Konfigurasi Penampang Balok Tereduksi..... | 3-15 |
| Tabel 3.8 Hasil Momen Maksimum yang Mungkin Terjadi pada Muka Kolom dari Konfigurasi Penampang Balok Tereduksi | 3-15 |
| Tabel 3.9 Hasil Momen Plastis Penampang Balok Penuh | 3-16 |
| Tabel 3.10 Kekuatan Lentur Balok pada Muka Kolom. | 3-17 |
| Tabel 3.11 Hasil Pemeriksaan Kekuatan Geser Desain dari Balok..... | 3-17 |
| Tabel 3.12 Hasil Pemeriksaan Kebutuhan Pelat Penerus..... | 3-18 |
| Tabel 3.13 Hasil Pemeriksaan Kebutuhan Pelat Pengganda pada Zona Panel Badan Kolom | 3-18 |
| Tabel 3.14 Hasil Rasio Momen Kolom-Balok | 3-19 |
| | |
| Tabel 4.1 Kekakuan Struktur dan Periode Getar Struktur Konfigurasi Model ... | 4-6 |
| Tabel 4.2 Perbandingan Gaya Geser Dasar Arah X dan Faktor Kuat Lebih Konfigurasi Model | 4-7 |
| Tabel 4.3 Faktor Daktilitas Konfigurasi Model | 4-8 |
| Tabel 4.4 Faktor Pembesaran Defleksi Konfigurasi Model | 4-8 |
| Tabel 4.5 Koefisien Modifikasi Respons Konfigurasi Model..... | 4-9 |
| Tabel 4.6 Rangkuman Lokasi dan Status Distribusi Sendi Plastis..... | 4-14 |
| Tabel 4.7 Batasan Rasio Drift ATC-40 | 4-17 |
| Tabel 4.8 Tingkat Layanan Struktur..... | 4-17 |

DAFTAR LAMPIRAN

| | |
|---|----|
| LAMPIRAN 1 Analisis Beban Gempa | L1 |
| LAMPIRAN 2 Desain Kapasitas Elemen Struktur | L2 |
| LAMPIRAN 3 Desain Sambungan Penampang Balok Tereduksi | L3 |
| LAMPIRAN 4 Kurva Bilinear <i>Pushover</i> | L4 |

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Permasalahan

Indonesia merupakan negara yang rentan terhadap gempa karena berada dalam wilayah yang tingkat kegempaanannya tinggi. Hal ini disebabkan oleh letak Indonesia yang berada di salah satu jalur gempa teraktif di dunia yaitu Cincin Api yang dikenal sebagai “*Ring of Fire*” serta merupakan pertemuan antara 3 lempeng benua tektonik, yakni lempeng Indo-Australia, Eurasia, dan Pasifik pada bagian timur. Gempa tersebut menghasilkan kejadian tabrakan dan gesekan antar lempeng tektonik yang berujung menimbulkan getaran pada tanah disekitar maupun dibawah sebuah bangunan. Maka dari itu, desain struktur tahan gempa menjadi salah satu pedoman yang penting dalam perencanaan suatu bangunan agar dapat mengurangi resiko korban jiwa dan kerusakan struktur.



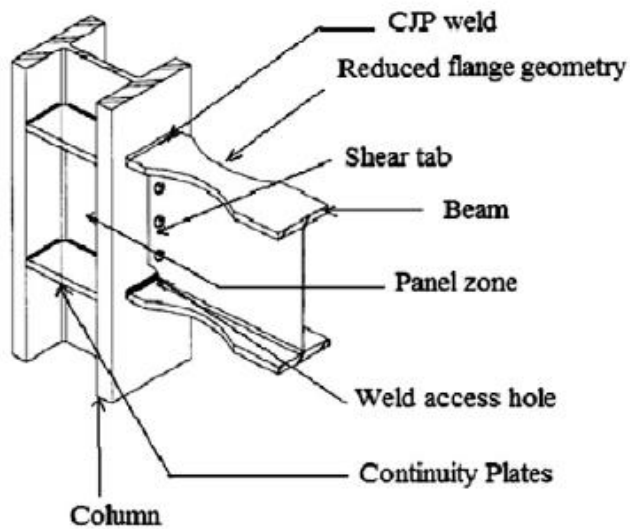
Gambar 1.1 Peta Lempeng Tektonik Indonesia (BMKG)

Pada umumnya di Indonesia, perancangan struktur tahan gempa yang digunakan terdiri dari 2 jenis material yaitu beton dan baja. Namun, pada waktu sekarang ini konstruksi penggunaan material baja yang tersusun dari unsur paduan besi dan karbon ini merupakan material struktur yang memiliki kualitas baik terutama pada kekuatan, bobot, instalasi, dan karakteristiknya. Pemahaman dasar perancangan struktur tahan gempa penggunaan material baja ini dikarenakan baja memiliki kekuatan yang besar dalam menahan tegangan aksial tekan dan tarik yang diproduksi dalam pabrik secara dengan standar mutu dan sifatnya tidak banyak berubah seiring berjalannya waktu penggunaan. Struktural baja merupakan material

yang mempunyai daktilitas yang tinggi atau berdeformasi secara plastis tanpa mengalami retak terutama dengan beban siklik yaitu beban gempa. Selain itu, baja juga merupakan bahan konstruksi yang tingkat pengerjaannya lebih mudah bila dibandingkan dengan menggunakan beton.

Rangka momen khusus adalah salah satu sistem struktur yang sering digunakan pada gedung baja di Indonesia. Hal yang diperhitungkan pada struktur dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dirancang dengan menggunakan konsep *Strong Column Weak Beam* yang merancang kolom sedemikian rupa agar bangunan dapat berespon terhadap beban gempa dengan mengembangkan mekanisme sendi plastis pada balok–baloknya dan dasar kolom. (Rambe, 2009).

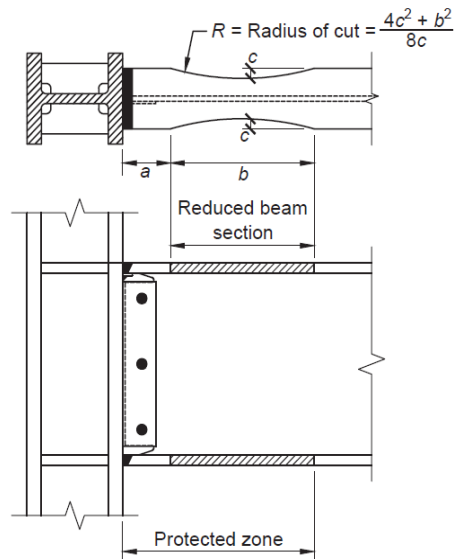
Penampang balok tereduksi (PBT) atau *reduced beam section* merupakan salah satu sambungan momen yang digunakan dalam perancangan struktur. Sambungan momen ini pertama kali dikenalkan di Indonesia melalui SNI 7972 – 2013 yang merupakan adopsi dari AISC 358-10. Pemikiran penggunaan PBT ini awal mulanya pada observasi gempa bumi *Northridge* pada tahun 1994. Hasil observasi dari para insinyur tersebut pada sambungan kolom-balok mengalami kegagalan getas yang tak terduga seperti bahwa flens kolom pecah, lasan yang rusak, dan ada sendi plastis yang tidak sempurna dikembangkan di balok (Qian dkk, 2005). Pada sambungan momen Penampang Balok Tereduksi (PBT), bagian-bagian dari flens balok dipangkas secara selektif di wilayah yang berdekatan dengan sambungan balok-ke-kolom. Dalam sambungan PBT, kelelahan dan berdeformasi secara plastis dimaksudkan terjadi dalam penampang balok tereduksi terlebih dahulu dengan membatasi momen dan deformasi yang dikembangkan di muka kolom. Sambungan ini memberikan manfaat yang serupa dengan sambungan yang diperkuat (*reinforced connection*), tetapi lebih efisien dan ekonomis karena tidak memerlukan pengelasan bidang tambahan dan bahan yang terkait. Sambungan penampang balok tereduksi juga memiliki sejumlah keunggulan dalam praktik desain yang bisa memenuhi kriteria *Strong Column Weak Beam*.



Gambar 1.2 Penampang Balok Tereduksi Tampak 3 Dimensi

(sumber: *Study of Steel Moment Connection with and without Reduced Beam Section*)

Pada saat pendesainan PBT memiliki dari 3 parameter dasar yang terdiri parameter a yaitu jarak horizontal dari muka sayap kolom ke awal pemotongan PBT, parameter b yaitu panjang pemotongan PBT, dan parameter c yaitu kedalaman pemotongan pada pusat penampang balok tereduksi.



Gambar 1.3 Penampang Balok Tereduksi Tampak Atas dan Tampak Samping

(sumber: *American Institute of Steel Construction 358-16 Chapter 5*)

Tahap kriteria desain PBT itu harus memenuhi persamaan kekuatan lentur dibawah ini:

$$M_f \leq \phi_d M_{pe}$$

keterangan:

M_f = momen maksimum yang mungkin terjadi pada muka kolom

M_{pe} = momen plastis balok berdasarkan tegangan leleh

ϕ_d = faktor ketahanan untuk keadaan batas daktail

Apabila syarat kriteria desain tersebut tidak tercapai, maka diperlukan proses *trial & error* dengan mengubah nilai-nilai dari parameter a, b, dan c atau mengubah ukuran penampang yang digunakan serta melakukan perhitungan desain ulang dari awal sampai menemukan konfigurasi desain yang optimum atau sesuai dengan kriteria yang dibutuhkan.

1.2 Rumusan Masalah

Pengaruh perilaku studi parameter sambungan momen baja dari penggunaan penampang balok tereduksi atau PBT terhadap dampak perilaku nonlinear Sistem Pemikul Rangka Momen Khusus (SPRMK). Hasil analisis ini bisa digunakan sebagai panduan lebih detil terhadap kebutuhan pendesainan penampang balok tereduksi dari parameter-parameter saling berkaitan dari kriteria desain yang menghasilkan konfigurasi desain optimum terhadap perilaku nonlinier struktur.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

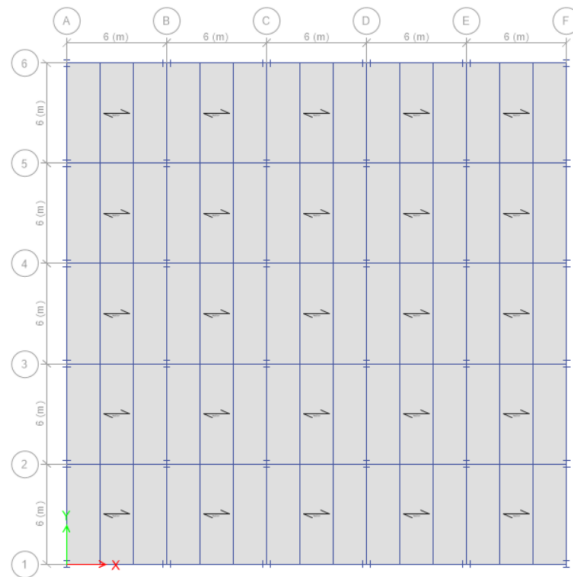
1. Mendesain sambungan baja penampang balok tereduksi (PBT) dari parameter-parameter desain ditetapkan AISC 358-16 yang bisa menghasilkan konfigurasi desain PBT
2. Mengetahui pengaruh perilaku struktur Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) yang ditinjau secara nonlinear terhadap penggunaan konfigurasi penampang balok tereduksi (PBT) yang didesain.

1.4 Pembatasan Masalah

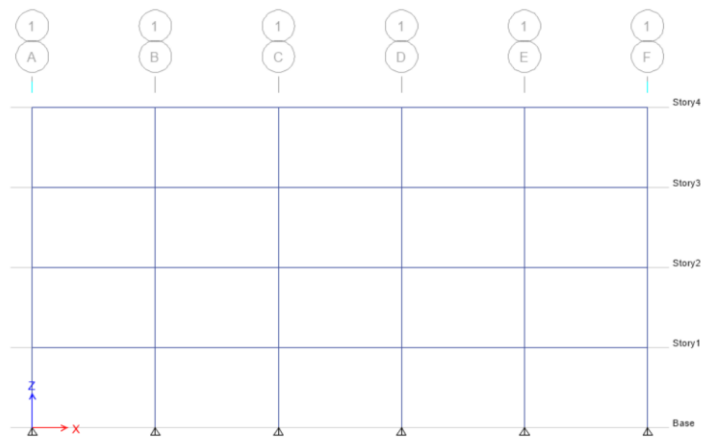
Desain dan analisis yang dilakukan diberi batasan-batasan sebagai berikut:

1. Sistem struktur adalah Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) berdasarkan peraturan AISC 341-16.
2. Gedung memiliki tingkat 4 lantai (termasuk atap), dengan tinggi lantai dasar 4 m dan tinggi lantai tipikal 4 m.
3. Bentang bangunan 30 m x 30 m, dengan masing-masing balok memiliki bentang 6 m pada kedua sumbu.
4. Struktur berfungsi sebagai gedung perkantoran.
5. Pemodelan struktur akan dilakukan secara 3D, namun saat melakukan statik non-linear pengaruh tegak lurus nya akan dimatikan, sehingga tinjauan penelitian tetap rangka bidang. Karena arah tinjauan adalah arah X sumbu global, maka pada ETABS, derajat kebebasan yang dinyalakan adalah UX, UZ, dan RY.
6. Struktur berdiri diatas tanah sedang (SD) dengan $S_s = 1,45$ dan $S_1 = 0,45$
7. Tipe Sambungan terprakualifikasi yang digunakan adalah sambungan momen Penampang Balok Tereduksi (PBT) berdasarkan AISC 358-16 dari struktur rangka baja momen khusus.
8. Desain struktur rangka penahan momen berlandaskan pada:
 - a. SNI 1726:2012, Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung.
 - b. SNI 1727:2013, Beban Minimum Untuk Perancangan Bangunan Gedung dan struktur lain.
 - c. ASCE 07-16, *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*.
 - d. AISC 341-16, *Seismic Provisions for Structural Steel Buildings*.
 - e. AISC 360-16, *Specification for Structural Steel Buildings*.
 - f. AISC 358-16, *Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications*.
9. Jenis material baja yang digunakan adalah BJ 37 ($F_u = 370$ MPa & $F_y = 240$ MPa).
10. Profil baja yang digunakan adalah profil JIS (*Japanese Industrial Standard*).

11. Pengujian kekuatan struktur dan sambungannya dilakukan di ETABS dengan *pushover analysis*.



Gambar 1.4 Denah Tipikal Struktur



Gambar 1.5 Rangka Sumbu 1

1.5 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Studi literatur

Literatur yang digunakan berasal dari buku referensi, makalah ilmiah, dan panduan spesifikasi yang dikeluarkan oleh AISC maupun SNI. Dasar teori yang digunakan dalam penelitian ini mengadopsi dari literatur yang

disebutkan di atas dalam rangka mendukung keilmuan peneliti dalam melakukan analisis.

2. Studi analisis struktur

Analisa struktur pemodelan gedung dilakukan dengan menggunakan ETABS 16.2.0 dan perhitungan desain sambungan momen penampang balok tereduksi yang mengacu pada AISC 358-16

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan skripsi ini adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab 1 berisi latar belakang permasalahan, rumusan masalah, tujuan penelitian, pembatasan masalah, metode penelitian, dan sistematika penulisan skripsi ini.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab 2 berisi teori-teori dasar yang akan digunakan dalam analisis dan perhitungan penampang balok tereduksi.

BAB III PEMODELAN DAN ANALISIS

Bab 3 berisi tentang desain penampang balok tereduksi dengan pemodelan gedung yang akan digunakan untuk menganalisa perilaku struktur.

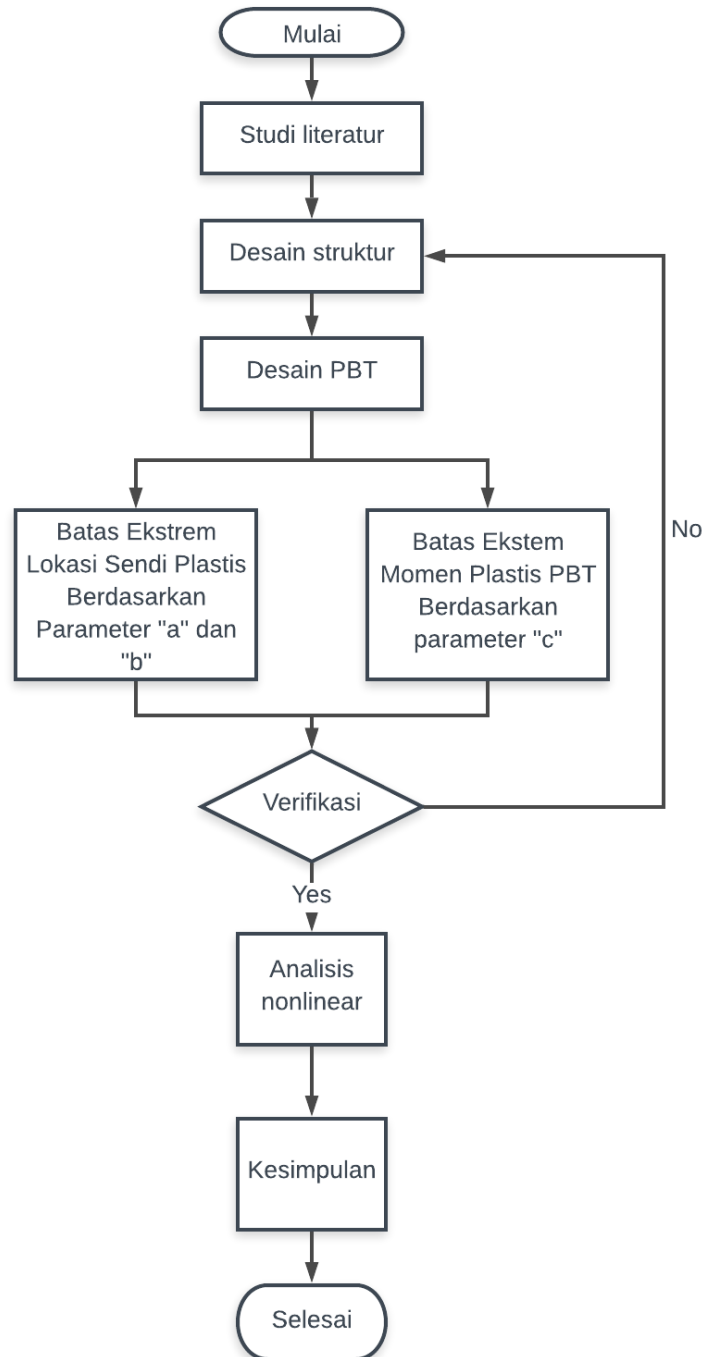
BAB IV HASIL ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Bab 4 berisi pembahasan hasil analisis dan evaluasi parameter-parameter penting penggunaan penampang balok tereduksi.

BAB V KESIMPULAN

Bab 5 berisi kesimpulan akhir dari hasil analisis dan saran-saran berdasarkan hasil yang telah didapatkan pada pembahasan yang telah dilakukan.

1.7 Diagram Alir Penelitian



Gambar 1.6 Diagram Alir penelitian