



TESIS - RC 185401

**DESAIN HUNIAN TETAP ITS TAHAN GEMPA  
MENGUNAKAN BAJA *COLD-FORMED***

**RIZQI ALGHIFFARY**

**6012202026**

Dosen Pembimbing  
Data Iranata, S.T., M.T., Ph.D.  
Dr. Ir. Djoko Irawan, M.S.

Departemen Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
2022





TESIS - RC 185401

**DESAIN HUNIAN TETAP ITS TAHAN GEMPA  
MENGUNAKAN BAJA *COLD-FORMED***

**RIZQI ALGHIFFARY**

**6012202026**

**Dosen Pembimbing**  
**Data Iranata, S.T., M.T., Ph.D.**  
**Dr. Ir. Djoko Irawan, M.S.**

**Departemen Teknik Sipil**  
**Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan**  
**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**  
**2022**





**THESIS - RC 185401**

**DESIGN OF ITS EARTHQUAKE RESISTANT  
PERMANENT HOUSING USING COLD-FORMED STEEL**

**RIZQI ALGHIFFARY**

**6012202026**

**Supervisor**

**Data Iranata, S.T., M.T., Ph.D.**

**Dr. Ir. Djoko Irawan, M.S.**

**Department of Civil Engineering**

**Faculty of Civil, Planning, and Geo Engineering**

**Sepuluh Nopember Institute of Technology**

**2022**



# LEMBAR PENGESAHAN TESIS

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar  
**Magister Teknik (M.T.)**

di  
**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Oleh:  
**RIZQI ALGHIFFARY**  
**NRP: 6012202026**

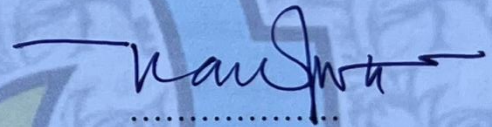
Tanggal Ujian: 28 Juni 2022  
Periode Wisuda: September 2022

Disetujui oleh:  
**Pembimbing:**

1. Data Iranata, S.T., M.T., Ph.D.  
NIP. 198004302005011002

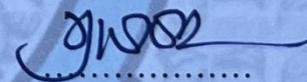


2. Dr. Ir. Djoko Irawan, M.S.  
NIP. 195902131987011001

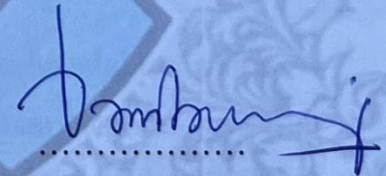


**Penguji:**


1. Budi Suswanto, S.T., M.T., Ph.D.  
NIP. 197301281998021002



2. Dr. Asdam Tambusay, S.T.  
NIP. 1990201911077



**Kepala Departemen Teknik Sipil**  
**Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan dan Kebumihan**

  
**Dr. Techn. Umboro Lasminto, S.T., M.Sc.**  
NIP. 197212021998021001

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



## **DESAIN HUNIAN TETAP ITS TAHAN GEMPA MENGGUNAKAN BAJA *COLD-FORMED***

Nama Mahasiswa : Rizqi Alghiffary  
NRP : 6012202026  
Dosen Pembimbing 1 : Data Iranata, S.T., M.T., Ph.D.  
Dosen Pembimbing 2 : Dr. Ir. Djoko Irawan, M.S.

### **ABSTRAK**

Puslit MKPI ITS akan merencanakan solusi untuk berbagai kejadian bencana pengganti Hunian Sementara, hunian yang diberikan ITS untuk bencana gempa Lombok tahun 2018, menjadi Hunian Tetap (Hunatap). Hunian Tetap direncanakan memiliki waktu pembangunan yang cepat dan murah seperti Hunian Sementara dan direncanakan harus dibuat tahan terhadap gempa. Menurut penelitian terdahulu, struktur yang dapat dipastikan komponen berkualitas tinggi, waktu konstruksi yang lebih pendek dan murah adalah struktur dengan baja *cold-formed*. Struktur baja *cold-formed* merupakan konstruksi yang efisien jika dibandingkan dengan hot-rolled steel. Berdasarkan kondisi yang telah dijelaskan sebelumnya, maka penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perilaku struktur baja *cold-formed* untuk Hunian Tetap yang direncanakan oleh ITS terhadap gaya gempa yang terjadi di Indonesia.

Pada penelitian ini menganalisis kembali penelitian eksperimental terdahulu dengan program bantu SAP2000, kemudian dibandingkan antara hasil moment-kurvatur pada SAP2000 dengan moment-kurvatur eksperimental untuk mendapatkan hinge properties pada sambungan balok-kolom. Spesimen yang dianalisis adalah spesimen A1. Setelah mendapatkan hinge properties, tahap selanjutnya adalah memodelkan dan menganalisis struktur baja *cold-formed*. Struktur baja *cold-formed* dimodelkan sebanyak 6 buah dengan perbedaan pada jumlah lantai dan jarak antar kolom. Model CF-A1 dengan jumlah 1 lantai dengan jarak tiap kolom 3 meter. Model CF-A2 dengan jumlah 2 lantai dengan jarak tiap kolom 3 meter. Model CF-A3 dengan jumlah 3 lantai dengan jarak tiap kolom 3 meter. Model CF-B1 dengan jumlah 1 lantai dengan jarak tiap kolom 1,5 meter.

Model CF-B2 dengan jumlah 2 lantai dengan jarak tiap kolom 1,5 meter. Model CF-B3 dengan jumlah 3 lantai dengan jarak tiap kolom 1,5 meter.

Hasil analisis menggunakan program bantu SAP2000 menunjukkan bahwa untuk sebagian besar model struktur baja *cold-formed*, daktilitas struktur tersebut memenuhi untuk persyaratan R untuk rangka baja pemikul momen biasa yaitu R 3,5 dan dapat dikategorikan bahwa struktur baja *cold-formed* memenuhi kategori SRPMB. Untuk level kinerja struktur, didapatkan untuk sebagian besar model, didapatkan level kinerja struktur Life Safety. Untuk energi disipasi struktur, didapatkan bahwa struktur baja *cold-formed* yang semakin tinggi struktur dan semakin pendek jarak antar kolom maka didapatkan energi disipasi yang semakin besar. Dari hasil analisis menggunakan program bantu SAP2000 dan hasil perhitungan manual untuk kontrol penampang balok, kolom, dan sambungan sesuai dengan S100-16, didapatkan hasil yang efektif dan efisien untuk Hunian tetap dengan luas 36 m<sup>2</sup> yaitu model CF-B2.

**Kata Kunci:** Baja *Cold-Formed*, Gempa, Hunian Tetap, *Pushover Analysis*

## **DESIGN OF ITS EARTHQUAKE RESISTANT PERMANENT HOUSING USING COLD-FORMED STEEL**

Student Name : Rizqi Alghiffary  
Student Identity Number : 6012202026  
Surpervisor : Data Iranata, S.T., M.T., Ph.D.  
Co-Supervisor : Dr. Ir. Djoko Irawan, M.S.

### **ABSTRACT**

The Research Center MKPI ITS would plan solutions for various disaster events to replace Temporary Housing, the housing provided by ITS for the Lombok earthquake in 2018, becomes Permanent Housing (Huntap). Permanent Housing are planned to have a fast and inexpensive construction time like Temporary Housing and are planned to be earthquake resistant. According to previous research, a structure that can ensure high quality components, shorter construction time and cheaper is a structure with cold-formed steel. Cold-formed steel structure was an efficient construction when compared to hot-rolled Steel. Based on the conditions described previously, this study was analyzing the behavior of the cold-formed steel structure for permanent housing planned by ITS against the earthquake forces that occurred in Indonesia.

In this study, we re-analyzed the experimental previous research with the SAP2000 program, then compared the results of moment-curvature on SAP2000 with experimental moment-curvature to obtain hinge properties on beam-column connections. The specimen analyzed was specimen A1. After getting the hinge properties, the next step was to model and analyze the structure of cold-formed steel. There were 6 models of cold-formed steel structure with differences in the number of floors and the distance between columns. Model CF-A1 with 1 floor with each column 3 meters. Model CF-A2 with a total of 2 floors with each column 3 meters. Model CF-A3 with a total of 3 floors with each column 3 meters. Model CF-B1 with 1 floor with each column 1.5 meters. Model CF-B2 with 2 floors with each column 1.5 meters. Model CF-B3 with a total of 3 floors with each column 1,5 meters.

The results of the analysis using the SAP2000 program showed that for most of the cold-formed steel structural models, the ductility of the structure met the requirements of R for ordinary moment resisting steel frames, R 3.5 and it could be categorized that the cold-formed steel structure met the SRPMB category. For the structural performance level, for most models, the Life Safety structure performance level was obtained. For the energy dissipation of the structure, it was found that the cold-formed steel structure, the higher the structure and the shorter the distance between the columns, the higher the energy dissipation. From the results of the analysis using the SAP2000 auxiliary program and the results of manual calculations for cross-sectional control of beams, columns, and connections according to S100-16, the results were obtained effective and efficient for permanent housing with an area of 36 m<sup>2</sup>, CF-B2 model.

**Keywords:** Cold-Formed Steel, Earthquake, Permanent Residential, Pushover Analysis

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas anugrah, rahmat serta hidayat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tesis ini. Tesis ini membahas mengenai “*Desain Hunian Tetap ITS Tahan Gempa Menggunakan Baja Cold-Formed*”. Tesis ini terselesaikan dengan tepat waktu tidak terlepas dari dukungan dan motivasi berbagai pihak yang telah banyak membantu dan memberi masukan serta arahan kepada penulis, maka dari itu penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua serta keluarga sebagai penyemangat terbesar bagi penulis dan telah banyak memberikan dukungan baik moril maupun materi terutama doa dan perhatian selama kuliah
2. Bapak Data Iranata, S.T., M.T., Ph.D. selaku dosen pembimbing 1 Tesis yang selalu memberikan bimbingan, arahan, petunjuk dan motivasi dalam penyusunan tugas akhir ini.
3. Bapak Dr. Ir. Djoko Irawan, M.S. selaku dosen pembimbing 2 Tesis yang selalu memberikan bimbingan, arahan, petunjuk dan motivasi dalam penyusunan tugas akhir ini.
4. Bapak dan Ibu dosen serta staf pengajar departemen Teknik Sipil FTSPK ITS
5. Teman-teman yang selalu mendukung serta semua pihak yang telah membantu penyusunan Tesis ini

Dalam penulisan tesis ini penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan oleh karena itu penulis selalu terbuka terhadap kritik dan saran yang membangun demi kelengkapan laporan ini. Semoga tesis ini dapat memberikan manfaat bagi penulis, pembaca, dan semua pihak yang mempelajari tugas akhir ini.

Surabaya, 9 Juni 2022

Penulis

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN TESIS .....	i
ABSTRAK .....	iii
ABSTRACT .....	v
KATA PENGANTAR .....	vii
DAFTAR ISI .....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
DAFTAR TABEL .....	xv
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Batasan Masalah .....	3
1.4 Tujuan .....	3
1.5 Manfaat .....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	5
2.1 Umum .....	5
2.2 Penampang Baja <i>Cold-Formed</i> .....	5
2.3 Perilaku-Perilaku Baja <i>Cold-Formed</i> .....	6
2.3.1 Tekuk Lokal .....	6
2.3.2 Tekuk Torsi .....	7
2.3.3 Tekuk Global .....	7
2.3.4 Tekuk Distorsional .....	7
2.4 Tegangan pada Baja <i>Cold-Formed</i> .....	8
BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....	11
3.1 Diagram Alir .....	11
3.2 Pengumpulan Data dan Studi Literatur .....	12
3.3 Validasi Model Numerik Struktur Baja <i>Cold-Formed</i> .....	13
3.4 Preliminary Design .....	15
3.5 Pembebanan Struktur .....	18

3.6	Permodelan dan Analisis Struktur .....	19
3.6.1	Kontrol Partisipasi Massa.....	19
3.6.2	Kontrol Periode Getar Struktur.....	19
3.6.3	Kontrol Nilai Respons Spectrum.....	20
3.6.4	Kontrol Batas Simpangan.....	21
3.7	Kontrol Penampang Struktur Primer .....	21
3.7.1	Balok.....	21
3.7.2	Kolom.....	30
3.8	Prosedur Permodelan dan <i>Pushover Analysis</i> dengan Program Bantu SAP2000 .....	33
3.9	Evaluasi Hasil Permodelan .....	33
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		35
4.1	Umum .....	35
4.2	Pemodelan Model 3D dengan SAP2000.....	35
4.3	Hasil Pemodelan dengan SAP2000 .....	38
4.4	Verifikasi Hasil Model SAP2000 dengan Hasil Eksperimen .....	38
4.5	Model Struktur Baja <i>Cold-Formed</i> 1 Lantai dengan Jarak Kolom 3 meter (CF-A1).....	39
4.5.1	Analisis Struktur CF-A1 .....	40
4.5.2	Kontrol Penampang CF-A1 .....	43
4.5.3	<i>Pushover Analysis</i> CF-A1 .....	57
4.6	Model Struktur Baja <i>Cold-Formed</i> 2 Lantai dengan Jarak Kolom 3 meter (CF-A2).....	59
4.6.1	Analisis Struktur CF-A2.....	60
4.6.2	Kontrol Penampang CF-A2.....	63
4.6.3	<i>Pushover Analysis</i> CF-A2 .....	66
4.7	Model Struktur Baja <i>Cold-Formed</i> 3 Lantai dengan Jarak Kolom 3 meter (CF-A3).....	69
4.7.1	Analisis Struktur CF-A3.....	70
4.7.2	Kontrol Penampang CF-A3.....	73
4.7.3	<i>Pushover Analysis</i> CF-A3 .....	76



4.8	Model Struktur Baja <i>Cold-Formed</i> 1 Lantai dengan Jarak Kolom 1,5 meter (CF-B1) .....	78
4.8.1	Analisis Struktur CF-B1.....	79
4.8.2	Kontrol Penampang CF-B1.....	82
4.8.3	<i>Pushover Analysis</i> CF-B1 .....	85
4.9	Model Struktur Baja <i>Cold-Formed</i> 2 Lantai dengan Jarak Kolom 1,5 meter (CF-B2) .....	88
4.9.1	Analisis Struktur CF-B2.....	88
4.9.2	Kontrol Penampang CF-B2.....	92
4.9.3	<i>Pushover Analysis</i> CF-B2 .....	95
4.10	Model Struktur Baja <i>Cold-Formed</i> 3 Lantai dengan Jarak Kolom 1,5 meter (CF-B3) .....	97
4.10.1	Analisis Struktur CF-B3.....	98
4.10.2	Kontrol Penampang CF-B3.....	101
4.10.3	<i>Pushover Analysis</i> CF-B3 .....	104
4.11	Interpretasi Hasil Analisis .....	107
4.11.1	Perbandingan Daktilitas Struktur .....	107
4.11.2	Perbandingan Level Kinerja Struktur.....	108
4.11.3	Perbandingan Energi Disipasi Struktur.....	108
4.11.4	Perbandingan <i>Base Shear</i> dan <i>Displacement</i> dengan <i>Time History</i> ... .....	109
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		113
5.1	Kesimpulan.....	113
5.2	Saran.....	114
DAFTAR PUSTAKA .....		115

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Bentuk Profil Struktural Tunggal (Yu et al., 2000).....	5
Gambar 2.2 Bentuk Dek dan Panel (Yu et al., 2000).....	6
Gambar 2.3 Tekuk Lokal pada Penampang Baja <i>Cold-formed</i> (Yu et al., 2000)...	7
Gambar 2.4 Diagram Kekuatan Tekuk pada Penampang Baja <i>Cold-Formed</i> (Hancock et al., 2001).....	8
Gambar 2.5 Kurva Tegangan-Regangan Baja <i>Cold-Formed</i> (Hancock et al., 2001) .....	8
Gambar 3.1 Flowchart Metodologi Penelitian .....	12
Gambar 3.2 Dimensi dan Konfigurasi Spesimen (Bagheri Sabbagh et al., 2012)	13
Gambar 3.3 Skema Pembebanan Spesimen (Bagheri Sabbagh et al., 2012) .....	13
Gambar 3.4 Pembebanan Siklik (Bagheri Sabbagh et al., 2012).....	15
Gambar 3.5 Momen Kurvatur Model Validasi (Bagheri Sabbagh et al., 2012) ...	15
Gambar 3.6 Denah Lantai 1 Struktur Baja <i>Cold-Formed</i> .....	16
Gambar 3.7 Denah Lantai 2 Struktur Baja <i>Cold-Formed</i> .....	16
Gambar 3.8 Denah Lantai 3 Struktur Baja <i>Cold-Formed</i> .....	17
Gambar 3.9 Potongan A-A Struktur Baja <i>Cold-Formed</i> 3 Lantai .....	17
Gambar 4.1 <i>Input</i> Material dalam SAP2000.....	35
Gambar 4.2 <i>Input Hinge Property</i> dalam SAP2000 .....	36
Gambar 4.3 Permodelan pada SAP2000.....	36
Gambar 4.4 <i>Input</i> Beban Siklik pada SAP2000.....	37
Gambar 4.5 <i>Input</i> Beban Siklik pada Permodelan.....	37
Gambar 4.6 Hasil Kurva Histeresis SAP2000 .....	38
Gambar 4.7 Perbandingan <i>Moment-Curvature</i> Hasil Permodelan SAP2000 dan Hasil Eksperimental .....	39
Gambar 4.8 Model CF-A1 .....	40
Gambar 4.9 <i>Pushover Curve</i> CF-A1 .....	57
Gambar 4.10 Level Kinerja Struktur CF-A1.....	58
Gambar 4.11 Model CF-A2 .....	60
Gambar 4.12 <i>Pushover Curve</i> CF-A2.....	67

Gambar 4.13 Level Kinerja Struktur CF-A2 .....	68
Gambar 4.14 Model CF-A3 .....	69
Gambar 4.15 <i>Pushover Curve</i> CF-A3 .....	76
Gambar 4.16 Level Kinerja Struktur CF-A3 .....	77
Gambar 4.17 Model Struktur CF-B1 .....	79
Gambar 4.18 <i>Pushover Curve</i> CF-B1 .....	86
Gambar 4.19 Level Kinerja Struktur CF-B1 .....	87
Gambar 4.20 Model CF-B2 .....	88
Gambar 4.21 <i>Pushover Curve</i> CF-B2 .....	95
Gambar 4.22 Level Kinerja Struktur CF-B2 .....	96
Gambar 4.23 Model CF-B3 .....	97
Gambar 4.24 <i>Pushover Curve</i> CF-B3 .....	105
Gambar 4.25 Level Kinerja Struktur CF-B3 .....	106
Gambar 4.26 Perbandingan Daktilitas Struktur dari SAP2000 .....	107
Gambar 4.27 Perbandingan Energi Disipasi Struktur dari SAP2000 .....	109
Gambar 4.28 Perbandingan <i>Base Shear</i> dan <i>Displacement</i> dengan <i>Time History</i> .....	110

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Model Struktur Baja <i>Cold-Formed</i> .....	18
Tabel 3.2 Nilai Parameter periode Pendekatan $C_t$ dan $x$ (SNI 1726:2019).....	19
Tabel 3.3 Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung (SNI 1726:2019) .....	20
Tabel 3.4 Simpangan Antar Lantai ijin (SNI 1726:2019).....	21
Tabel 4.1 Perbandingan Beban SAP2000 dan Manual CF-A1 .....	40
Tabel 4.2 Perbandingan Partisipasi Massa CF-A1.....	41
Tabel 4.3 Perbandingan T dengan $T_a$ dan $C_u.T_a$ CF-A1.....	41
Tabel 4.4 Perhitungan $C_s$ CF-A1 .....	42
Tabel 4.5 <i>Scale Factor</i> Perbandingan $V_{desain}$ dan $V_{dynamic}$ Awal CF-A1.....	42
Tabel 4.6 Perbandingan $V_{desain}$ dan $V_{dynamic}$ setelah Modifikasi CF-A1 .....	42
Tabel 4.7. Kontrol Simpangan Arah X dan Arah Y CF-A1.....	43
Tabel 4.8 Level Kinerja Struktur .....	59
Tabel 4.9 Perbandingan Beban SAP2000 dan Manual CF-A2.....	60
Tabel 4.10 Perbandingan Partisipasi Massa CF-A2.....	61
Tabel 4.11 Perbandingan T dengan $T_a$ dan $C_u.T_a$ CF-A2.....	61
Tabel 4.12 Perhitungan $C_s$ CF-A2.....	62
Tabel 4.13 <i>Scale Factor</i> Perbandingan $V_{desain}$ dan $V_{dynamic}$ Awal CF-A2.....	62
Tabel 4.14 Perbandingan $V_{desain}$ dan $V_{dynamic}$ setelah Modifikasi CF-A2 .....	62
Tabel 4.15. Kontrol Simpangan Arah X dan Arah Y CF-A2.....	63
Tabel 4.16 Perbandingan Beban SAP2000 dan Manual CF-A3.....	70
Tabel 4.17 Perbandingan Partisipasi Massa CF-A3.....	70
Tabel 4.18 Perbandingan T dengan $T_a$ dan $C_u.T_a$ CF-A3.....	71
Tabel 4.19 Perhitungan $C_s$ CF-A3 .....	71
Tabel 4.20 <i>Scale Factor</i> Perbandingan $V_{desain}$ dan $V_{dynamic}$ Awal CF-A3.....	72
Tabel 4.21 Perbandingan $V_{desain}$ dan $V_{dynamic}$ setelah Modifikasi CF-A3 .....	72
Tabel 4.22. Kontrol Simpangan Arah X dan Arah Y CF-A3.....	72
Tabel 4.23 Perbandingan Beban SAP2000 dan Manual CF-B1 .....	79
Tabel 4.24 Perbandingan Partisipasi Massa CF-B1 .....	80

Tabel 4.25 Perbandingan T dengan Ta dan Cu.Ta CF-B1 .....	80
Tabel 4.26 Perhitungan Cs CF-B1.....	81
Tabel 4.27 <i>Scale Factor</i> Perbandingan Vdesain dan Vdynamic Awal CF-B1 .....	81
Tabel 4.28 Perbandingan Vdesain dan Vdynamic setelah Modifikasi CF-B1 .....	81
Tabel 4.29. Kontrol Simpangan Arah X dan Arah Y CF-B1 .....	82
Tabel 4.30 Perbandingan Beban SAP2000 dan Manual CF-B2.....	89
Tabel 4.31 Perbandingan Partisipasi Massa CF-B2 .....	89
Tabel 4.32 Perbandingan T dengan Ta dan Cu.Ta CF-B2 .....	90
Tabel 4.33 Perhitungan Cs CF-B2.....	90
Tabel 4.34 <i>Scale Factor</i> Perbandingan Vdesain dan Vdynamic Awal CF-B2 .....	90
Tabel 4.35 Perbandingan Vdesain dan Vdynamic setelah Modifikasi CF-B2 .....	91
Tabel 4.36. Kontrol Simpangan Arah X dan Arah Y CF-B2 .....	91
Tabel 4.37 Perbandingan Beban SAP2000 dan Manual CF-B3.....	98
Tabel 4.38 Perbandingan Partisipasi Massa CF-B3 .....	99
Tabel 4.39 Perbandingan T dengan Ta dan Cu.Ta CF-B3 .....	99
Tabel 4.40 Perhitungan Cs CF-B3.....	100
Tabel 4.41 Perbandingan Vdesain dan Vdynamic Awal CF-B3 .....	100
Tabel 4.42 Perbandingan Vdesain dan Vdynamic setelah Modifikasi CF-B3 ....	100
Tabel 4.43. Kontrol Simpangan Arah X dan Arah Y CF-B3 .....	101
Tabel 4.44 Perbandingan Level Kinerja Struktur dari SAP2000 .....	108
Tabel 4.45 <i>Base shear</i> dan <i>Displacement</i> Maksimum dengan <i>Time History</i> .....	111

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Rentetan gempa yang mengguncang Pulau Lombok, Nusa Tenggara Barat, pada tahun 2018 masih menyisakan banyak duka bagi warga terutama di wilayah Lombok Utara. Ribuan kepala keluarga telah kehilangan tempat tinggal dan harus tinggal di pengungsian sementara (ITS News, 2018). Selain memberikan bantuan sembako, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) juga memberikan bantuan berupa Hunian Sementara (Huntara) untuk warga terdampak (jppn.com, 2018). Hunian Sementara yang kemudian disebut Huntara 1.0 ITS menjadi terobosan terbaru karena memanfaatkan bahan daur ulang dari reruntuhan rumah warga (Hermana, Joni, 2018). Huntara 1.0 ITS dibangun dari material kayu, bambu, dan triplek (ITS News, 2018). Namun, huntara yang ditinggali oleh warga dinilai tidak layak untuk ditempati karena bahan dari kayu, bambu, dan triplek dinilai bocor saat musim hujan dan usia bangunan hanya bisa bertahan 3 tahun (Jawapos, 2018).

Pusat Penelitian Mitigasi Kebencanaan dan Perubahan Iklim (Puslit MKPI) yang bernaung di bawah Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat (DRPM) Institut Teknologi Sepuluh Nopember melalui hasil riset beragam keilmuan yang terdapat di ITS akan merencanakan solusi untuk berbagai kejadian bencana dan fenomena perubahan iklim di Indonesia, salah satunya adalah pengganti Hunian Sementara menjadi Hunian Tetap (Huntap) (Puslit MKPI, 2021). Menurut Puslit MKPI, Hunian Tetap direncanakan memiliki waktu pembangunan yang cepat dan murah seperti Hunian Sementara dan direncanakan harus dibuat tahan terhadap gempa. Menurut Paulo Santos, 2017, struktur yang dapat dipastikan komponen berkualitas tinggi, waktu konstruksi yang lebih pendek dan murah adalah struktur dengan baja *cold-formed*. Struktur baja *cold-formed* merupakan konstruksi yang efisien jika dibandingkan dengan baja *hot-rolled* (Paulo Santos, 2017).

Menurut Komara et al., 2017, baja *cold-formed* dapat diklasifikasikan dalam dua bentuk yaitu kerangka struktural dan panel atau deck. Bentuk profil umum

baja *cold-formed* seperti I, L, C dan Z biasanya digunakan dalam praktik rekayasa konstruksi. Dengan proses pembuatan dengan metode dingin pada pabrik, bagian kompleks dari profil baja *cold-formed* dapat dibentuk dengan mudah dan memungkinkan untuk menawarkan solusi kompetitif untuk mencapai struktural pengurangan berat profil dan memiliki daya dukung yang lebih tinggi (Komara et al., 2017), serta penggunaan material baja *cold-formed* sebagai struktur dianggap sebagai solusi efisien untuk bangunan bertingkat rendah dan menengah (Karabulut & Soyoz, 2017)

Sistem struktur menggunakan baja *cold-formed* untuk struktur sederhana dapat dipertimbangkan untuk gempa berkekuatan tinggi (Pourabdollah et al., 2017). Baja *cold-formed* dapat mencapai kekuatan yang tinggi dengan memperhitungkan kontribusi komponen non-struktural terhadap kekakuan dan kekuatan lateral (Kechidi et al., 2017). Menurut (Pehlivan et al., 2020), dengan uji siklik struktur baja *cold-formed* dapat mencapai drift ratio lebih dari 4%, dimana hal tersebut sangat diperhatikan untuk struktur tahan gempa.

Dengan diterbitkannya “Spesifikasi Desain untuk Baja *Cold-Formed*” oleh *American Steel and Iron Institute* (AISI), popularitas struktur baja *cold-formed* telah mulai menyebar ke seluruh dunia termasuk Amerika Utara, Amerika Selatan, Inggris Raya, Jerman, dan sebagainya (Karabulut & Soyoz, 2017). Berdasarkan kondisi yang telah dijelaskan sebelumnya, maka penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perilaku struktur baja *cold-formed* untuk Hunian Tetap yang direncanakan oleh ITS terhadap gaya gempa yang terjadi di Indonesia. Struktur baja *cold-formed* akan dimodelkan dengan luas 36 m<sup>2</sup> untuk hunian tetap dengan membandingkan bentang kolom yang digunakan yaitu 1,5 dan 3 meter. Struktur baja *cold-formed* juga dimodelkan untuk 1 sampai dengan 3 lantai dan akan dianalisis dengan menggunakan *Pushover Analysis*. Diharapkan dengan menggunakan *Pushover Analysis* didapatkan hasil akhir berupa mekanisme keruntuhan, evaluasi kinerja sistem struktur dan daktilitas struktur.



## 1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana memodelkan dan menganalisis hunian tetap dengan luas 36 m<sup>2</sup> untuk 1 sampai dengan 3 lantai menggunakan baja *cold-formed*?
2. Bagaimana kontrol struktur baja *cold-formed* dengan *Pushover Analysis*?
3. Bagaimana daktilitas, level kinerja struktur, dan energi disipasi struktur baja *cold-formed*?

## 1.3 Batasan Masalah

1. Penelitian tidak melakukan pengujian laboratorium dan eksperimental.
2. Penelitian menggunakan bantuan *software* SAP2000.
3. Penelitian untuk hunian sementara dengan luas bangunan sebesar 36 m<sup>2</sup>.
4. Penelitian untuk hunian sementara hanya untuk 1 sampai dengan 3 lantai.
5. Penelitian untuk hunian sementara menggunakan profil balok dan kolom yang sama untuk semua model.
6. Sambungan balok dan kolom diasumsikan kuat menggunakan jurnal Bagheri Sabbagh et al., 2012 dan Komara et al., 2016.

## 1.4 Tujuan

1. Memodelkan dan menganalisis hunian tetap dengan luas 36 m<sup>2</sup> untuk 1 sampai dengan 3 lantai menggunakan baja *cold-formed*.
2. Mengetahui kontrol struktur baja *cold-formed* dengan *Pushover Analysis*.
3. Mengetahui daktilitas, level kinerja struktur, dan energi disipasi struktur baja *cold-formed*.

## 1.5 Manfaat

1. Dapat memodelkan dan menganalisis hunian tetap dengan menggunakan baja *cold-formed*.
2. Dapat mengetahui kontrol struktur baja *cold-formed* dengan *Pushover Analysis*.
3. Dapat mengetahui mekanisme keruntuhan dan evaluasi kinerja struktur baja *cold-formed*.

4. Dapat mewujudkan tujuan Puslit MKPI ITS dalam menciptakan hunian tetap yang tahan gempa untuk membantu masyarakat yang kehilangan rumahnya akibat bencana gempa.
5. Dapat mendorong penggunaan baja *cold-formed* sebagai material utama dalam konstruksi *low-rise building* yang tahan gempa di Indonesia.
6. Dapat menjadi referensi peneliti lain atau praktisi teknik sipil untuk perencanaan bangunan baja *cold-formed* tahan gempa.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Umum

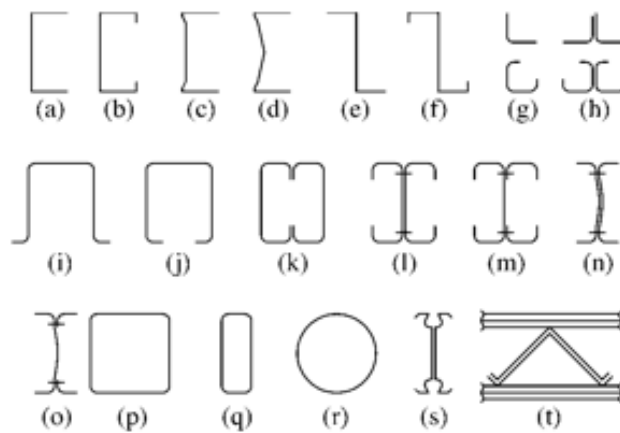
Profil baja *cold-formed* adalah jenis profil baja yang memiliki dimensi ketebalan relatif tipis dengan rasio dimensi lebar setiap elemen profil terhadap tebalnya sangat besar. Dengan dimensi ketebalan profil relatif tipis, pembentukan profil dapat dilaksanakan menggunakan proses pembentukan dingin (*cold forming processes*). Ketebalan pelat baja yang umumnya digunakan sebagai bahan dasar pembentukan profil adalah maksimum 1 inch / 25mm (Yu et al., 2000).

#### 2.2 Penampang Baja *Cold-Formed*

Menurut Yu et al., 2000, penampang baja *cold-formed* dapat diklasifikasikan menjadi dua yaitu penampang profil structural tunggal dan penampang panel dan dek.

##### 1. Penampang Profil Struktural Tunggal

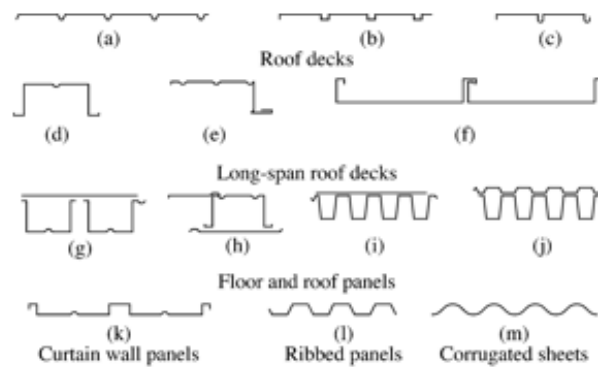
Penampang profil structural tunggal terdapat beberapa bentuk umum adalah profil kanan (*C-section*), profil Z (*Z-section*), profil I (*I-section*), profil siku (*angle-section*), profil T (*T-section*), profil sigma (*sigma-section*) dan profil bulat (*tubular-section*) seperti pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Bentuk Profil Struktural Tunggal (Yu et al., 2000)

## 2. Bentuk Panel dan Dek

Penampang profil bentuk panel dan dek seperti dek atap bentang pendek, dek atap bentang Panjang, panel lantai dan atap, dan panel dinding seperti pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Bentuk Dek dan Panel (Yu et al., 2000)

### 2.3 Perilaku-Perilaku Baja *Cold-Formed*

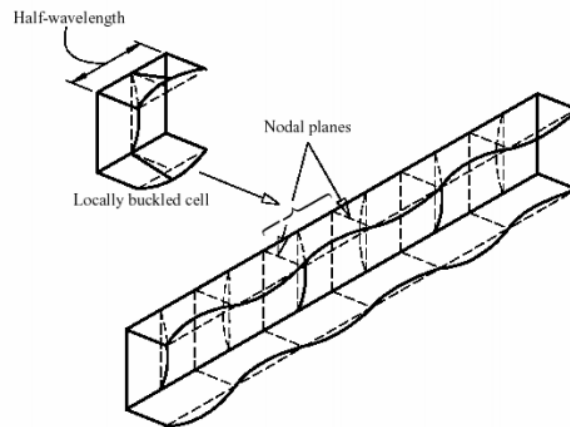
Menurut Hancock et al., 2001, baja *cold-formed* memiliki beberapa perilaku-perilaku yang harus diperhatikan. Perilaku tersebut antara lain tekuk lokal, tekuk torsi, tekuk global, dan tekuk distorsional. Dengan dimensi ketebalan profil relatif tipis, permodelan struktur menggunakan baja *cold-formed* harus memperhatikan perilaku pada baja *cold-formed* tersebut. (Yu et al., 2000)

#### 2.3.1 Tekuk Lokal

Penampang baja *cold-formed* memiliki rasio sangat besar antara lebar dengan ketebalan. Karena rasio antara lebar dengan ketebalan sangat tinggi dan luasan yang tidak simetris membuat baja *cold-formed* menjadi tidak stabil dan dapat mengalami tekuk local (Bambach, 2010).

Eksperimen yang telah dilakukan oleh Winter, 1970, menunjukkan bahwa baja *cold-formed* dengan rasio lebar dengan tebal sekitar 184 pada beban tekuk teoritis 2.2 kN (100%) belum mengalami runtuh, dan keruntuhan baru terjadi pada beban 15.4 kN (700%). Eksperimen selanjutnya balok I dengan rasio lebar dengan tebal sekitar 46 mencapai keruntuhan sebesar 350% dari beban teoritis yang menyebabkan tekuk pada sayap bagian atas. Maka,

kekuatan pasca tekuk dari baja *cold-formed* perlu dipertimbangkan untuk hasil yang lebih ekonomis (Winter, 1970). Tekuk lokal pada baja *cold-formed* dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Tekuk Lokal pada Penampang Baja *Cold-formed* (Yu et al., 2000)

### 2.3.2 Tekuk Torsi

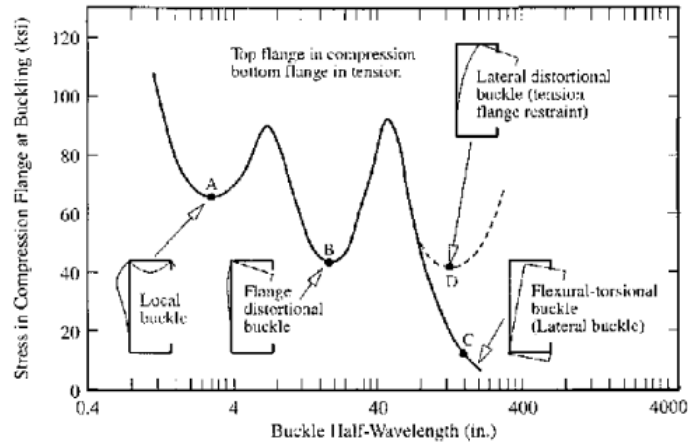
Penampang baja *cold-formed* umumnya tipis, langsing dan berupa penampang terbuka (*open section*) sehingga mempunyai kekakuan torsi berbanding lurus terhadap ketebalan, sehingga kekuatannya relatif kecil terhadap torsi (Wan et al., 2021). Namun untuk bentuk profil C sering digunakan pada baja *cold-formed* dimana pusat gesernya terjadi di luar titik berat penampang. Hal tersebut menyebabkan tekuk lentur-torsi menjadi faktor kritis dalam perencanaan kolom (Rossi et al., 2010).

### 2.3.3 Tekuk Global

Tekuk global yaitu gabungan antara tekuk lateral dan tekuk torsional dimana kondisi tersebut penampang baja *cold-formed* akan terpuntir dan sayap tertekan akan tertekuk kearah lateral (Meiyalagan, 2010).

### 2.3.4 Tekuk Distorsional

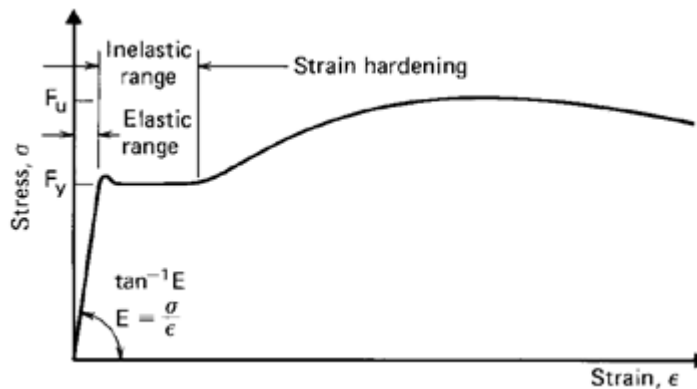
Pada awalnya tekuk distorsional terjadi pada setengah panjang bentang dan ditentukan untuk penampang baja *cold-formed* (Hancock et al., 2001). Tekuk distorsional dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Diagram Kekuatan Tekuk pada Penampang Baja *Cold-Formed* (Hancock et al., 2001)

## 2.4 Tegangan pada Baja *Cold-Formed*

Menurut Hancock et al., 2001, kekuatan dari baja *cold-formed* elemen struktur bergantung dari nilai tegangan lelehnya, kecuali dalam kasus di mana tekuk lokal elastis atau tekuk globalnya kritis. Karena kurva tegangan-regangan dari lembaran atau strip baja bisa berupa kurva *sharp-yielding type* atau *gradual-yielding type*, metode untuk menentukan tegangan leleh untuk *sharp-yielding steel* dan tegangan leleh untuk *gradual-yielding steel* ditentukan dalam peraturan. Tegangan leleh untuk *sharp-yielding steel* ditentukan oleh level tegangan dari plateau. Tegangan leleh untuk *gradual-yielding steel* ditentukan dengan metode penguluran non-proporsional atau metode total penguluran (Hancock et al., 2001). Kurva tegangan-regangan pada baja *cold-formed* dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Kurva Tegangan-Regangan Baja *Cold-Formed* (Hancock et al., 2001)

Menurut Yu et al., 2000, kekuatan dari elemen yang tertekuk tidak hanya bergantung dari tegangan leleh, tetapi juga dari modulus elastisitas (E) dan tangen modulusnya (Et). Nilai dari E yang ditentukan dalam Standard berkisar dari 200 sampai 207 GPa. Nilai 200 GPa digunakan untuk standard pendesainan komponen-komponen struktur baja *cold-formed* (Yu et al., 2000).

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

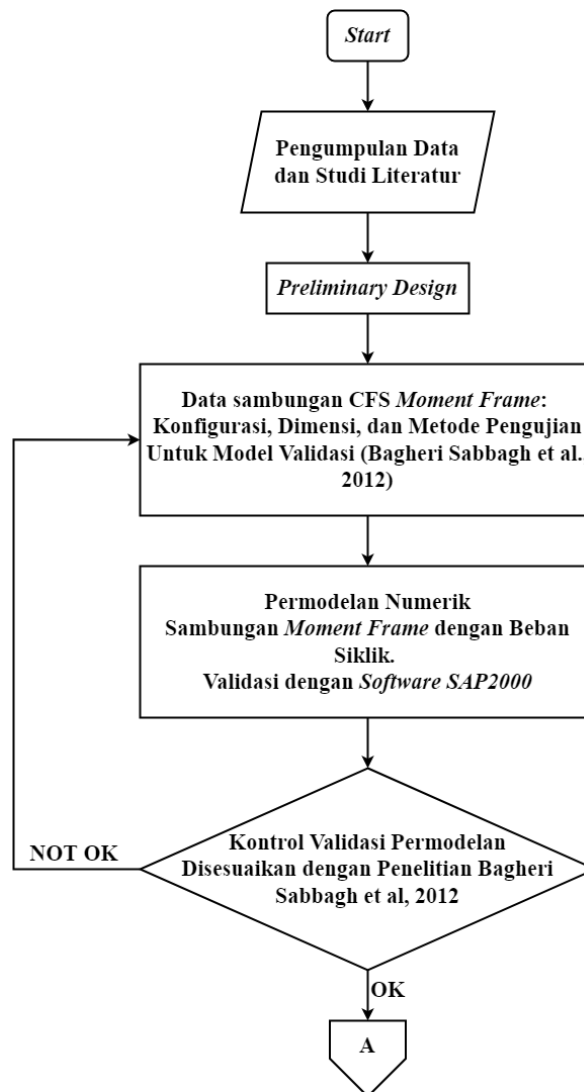


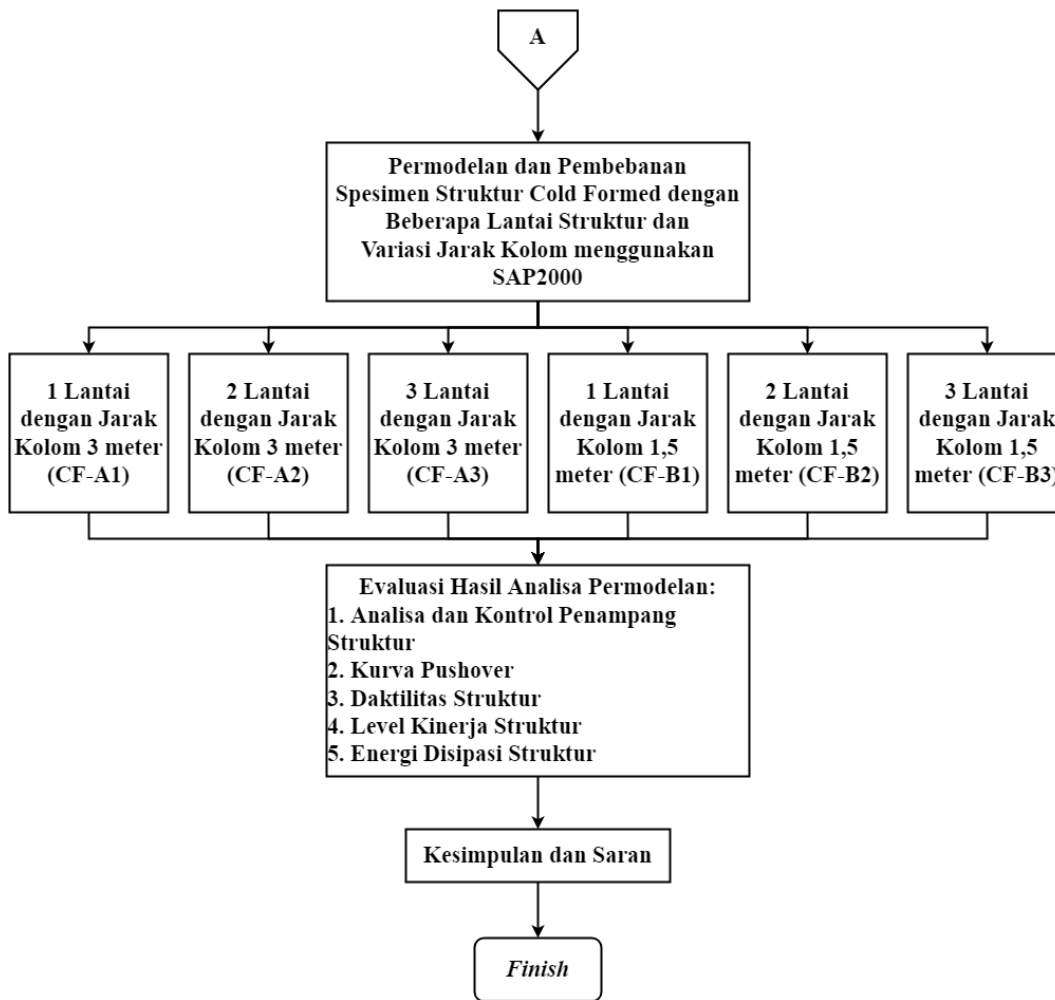
# BAB III

## METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Diagram Alir

Langkah-langkah yang dilakukan untuk mengerjakan tesis ini dapat dilihat pada Gambar 3.1.





Gambar 3.1 Flowchart Metodologi Penelitian

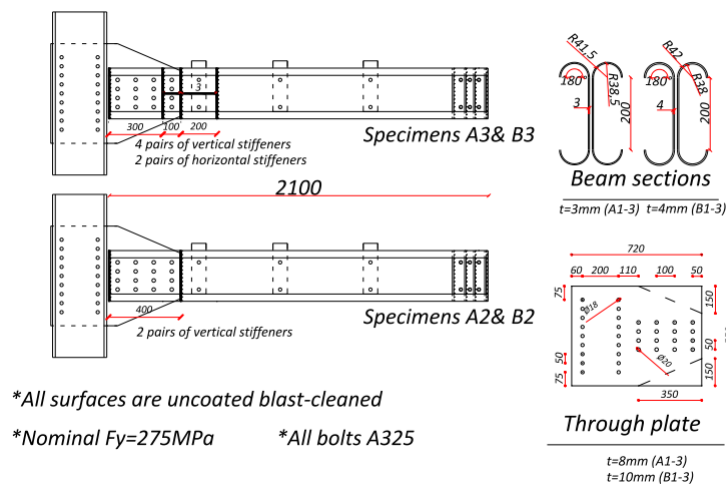
### 3.2 Pengumpulan Data dan Studi Literatur

Pengumpulan data dan studi literatur dilakukan untuk memperdalam pemahaman topik yang akan diteliti dapat berupa pendalaman teori maupun hasil eksperimental dari berbagai jurnal, *proceeding*, dan buku. Supaya pemodelan dapat diaplikasikan pada lapangan, maka beberapa peraturan dijadikan sebagai acuan dasar pemodelan antara lain:

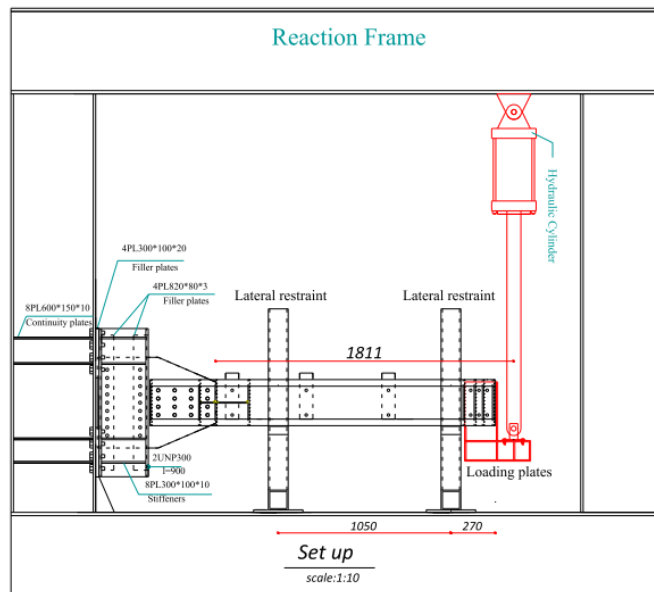
1. SNI 1726:2019 tentang Perencanaan Bangunan Tahan Gempa
2. AISI S100:2016 tentang Perencanaan Bangunan menggunakan *Cold-Formed Steel*

### 3.3 Validasi Model Numerik Struktur Baja Cold-Formed

Permodelan sambungan *moment frame* untuk validasi program model numerik dilakukan dengan memodelkan sambungan balok kantilever dengan kolom, menggunakan program bantu SAP2000. Model ini merujuk pada penelitian experimental yang dilakukan Bagheri Sabbagh et al., 2012. Pada penelitian tersebut terdapat spesimen dengan detail konfigurasi dan dimensi dapat dilihat pada Gambar 3.2, sedangkan untuk skema pembebanan dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.2 Dimensi dan Konfigurasi Spesimen (Bagheri Sabbagh et al., 2012)



Gambar 3.3 Skema Pembebanan Spesimen (Bagheri Sabbagh et al., 2012)

Permodelan ini perlu dilakukan untuk mengetahui input material yang digunakan, hinge properties, dan hasil permodelan desain menunjukkan hasil yang sama dengan pengujian eksperimental, sehingga permodelan tervalidasi. Spesimen yang akan digunakan sebagai validasi pada studi ini adalah spesimen A1. Namun dikarenakan pada SAP2000 tidak bisa menginputkan sambungan baut tersebut maka hanya memodelkan balok dan kolom saja.

a. Permodelan geometri sambungan spesimen A1

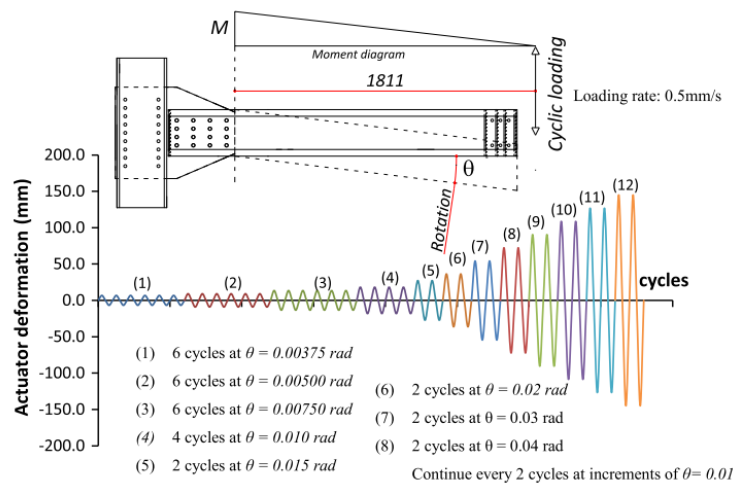
Semua elemen kolom dan balok pada spesimen A1 akan dimodelkan pada program SAP2000.

b. *Material properties*

Material yang digunakan dalam pengujian eksperimental oleh Bagheri Sabbagh et al., 2012 untuk elemen balok dan kolom digunakan baja *cold-formed* mutu S275. Elastic modulus baja yang digunakan sebesar 210 GPa dan poison ratio 0,3.

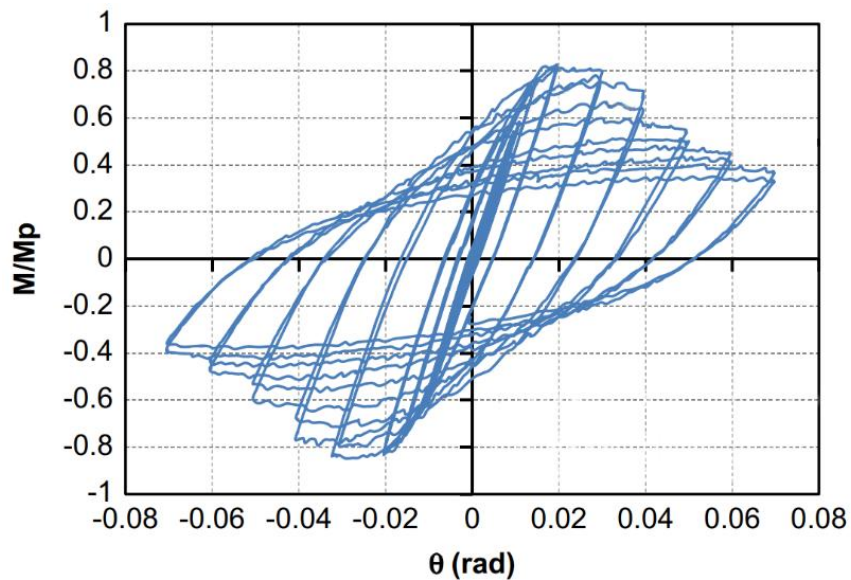
c. Pembebanan pada model validasi

Berdasarkan studi eksperimental Bagheri Sabbagh et al., 2012 pembebanan yang diberikan pada spesimen adalah beban siklik dengan menggunakan protokol pembebanan sesuai dengan S6.2 AISC 341-05 untuk mengkualifikasikan sambungan balok-kolom termasuk *intermediet* atau *special moment frame*. Pembebanan siklik tersebut diberikan diujung balok. Pembebanan siklik yang digunakan pada eksperimen tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Pembebanan Siklik (Bagheri Sabbagh et al., 2012)

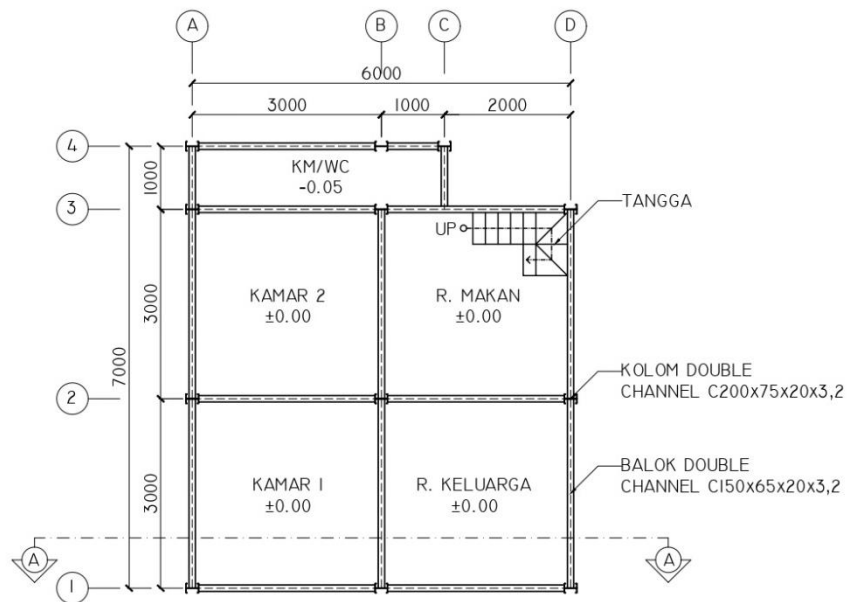
Hasil permodelan tersebut kemudian divalidasikan dengan hasil eksperimental dan dapat dikatakan akurat apabila hasil permodelan mendekati hasil eksperimental pada Gambar 3.5.



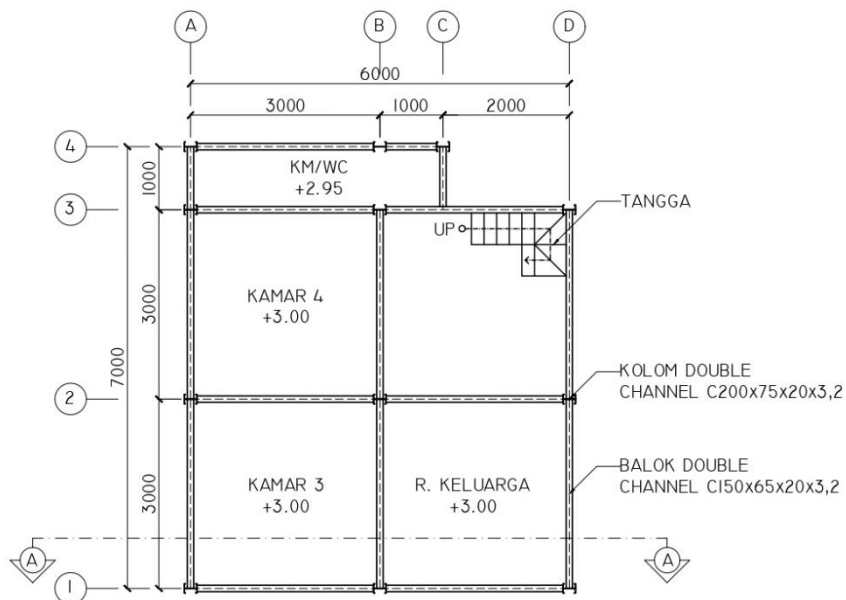
Gambar 3.5 Momen Kurvatur Model Validasi (Bagheri Sabbagh et al., 2012)

### 3.4 Preliminary Design

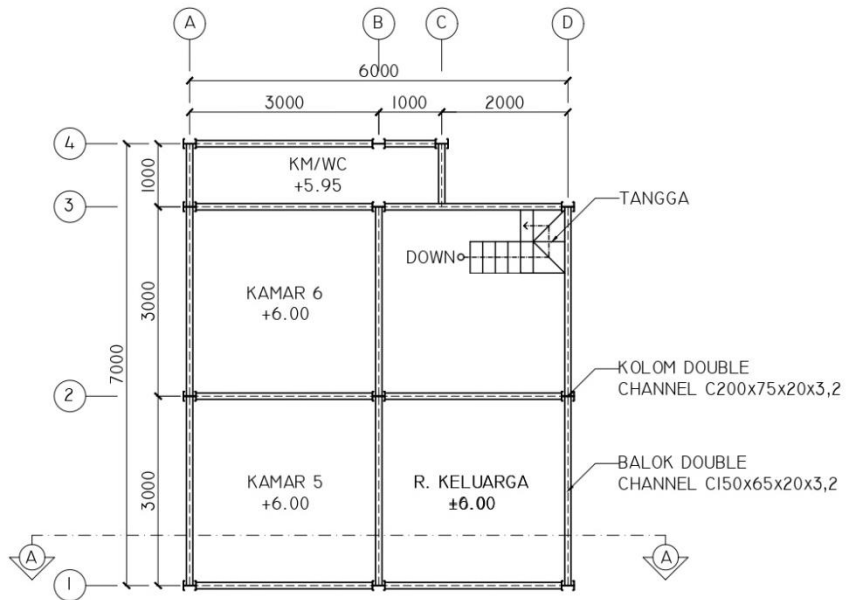
Desain untuk Hunian Sementara direncanakan memiliki luas bangunan sebesar  $36 \text{ m}^2$  dengan Denah untuk hunian sementara dapat dilihat pada Gambar 3.6, Gambar 3.7, Gambar 3.8, dan Gambar 3.9.



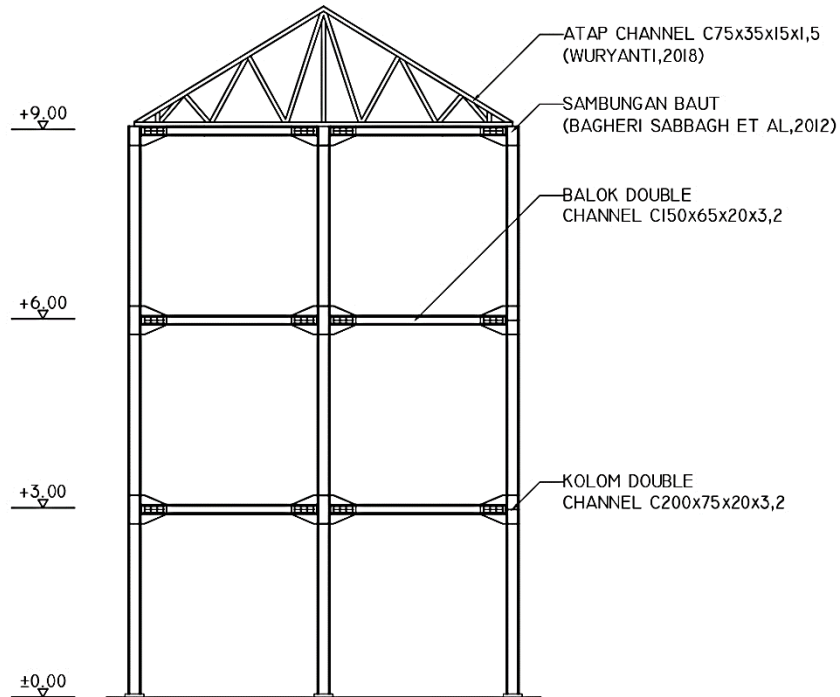
Gambar 3.6 Denah Lantai 1 Struktur Baja Cold-Formed



Gambar 3.7 Denah Lantai 2 Struktur Baja Cold-Formed



Gambar 3.8 Denah Lantai 3 Struktur Baja *Cold-Formed*



Gambar 3.9 Potongan A-A Struktur Baja *Cold-Formed* 3 Lantai

Pada penelitian ini akan direncanakan dengan jumlah struktur sebanyak 6 buah. Model pertama adalah model CF-A1 yaitu struktur baja *cold-formed* 1 lantai dengan jarak tiap kolom 3 meter. Model kedua adalah model CF-A2 yaitu struktur baja *cold-formed* 2 lantai dengan jarak tiap kolom 3 meter. Model Ketiga adalah model CF-A3 yaitu struktur baja *cold-formed* 3 lantai dengan jarak tiap kolom 3 meter. Model Keempat adalah model CF-B1 yaitu struktur baja *cold-formed* 1 lantai dengan jarak tiap kolom 1,5 meter. Model Kelima adalah model CFS-B2 yaitu struktur baja *cold-formed* 2 lantai dengan jarak tiap kolom 1,5 meter. Model Keenam adalah CF-B3 yaitu struktur baja *cold-formed* 3 lantai dengan jarak tiap kolom 1,5 meter. Ringkasan model dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Model Struktur Baja *Cold-Formed*

Model Struktur	Jumlah Lantai	Jarak antar Kolom
CF-A1	1	3 m
CF-A2	2	3 m
CF-A3	3	3 m
CF-B1	1	1,5 m
CF-B2	2	1,5 m
CF-B3	3	1,5 m

### 3.5 Pembebanan Struktur

Pembebanan struktur meliputi beberapa beban sebagai berikut:

1. Beban Mati
2. Beban Hidup (SNI 1727:2020)
3. Beban Angin (SNI 1727:2020)
4. Beban Gempa (SNI 1726:2019)
5. Kombinasi Pembebanan (SNI 1726:2019)



### 3.6 Permodelan dan Analisis Struktur

Permodelan dan analisis struktur menggunakan bantuan software SAP2000 atau ETABS untuk mendapatkan gaya dalam dan kebutuhan dimensi profil. Analisis struktur terhadap beban gempa berdasarkan SNI 1726:2019 sebagai berikut:

#### 3.6.1 Kontrol Partisipasi Massa

Analisis kontrol partisipasi massa harus dilakukan untuk menentukan mode alami dari getaran untuk struktur yang dianalisis. Analisis harus sedemikian rupa sehingga partisipasi massa dalam menghasilkan respons total harus sekurang kurangnya 100% (SNI 1726:2019 Ps. 7.9.1).

#### 3.6.2 Kontrol Periode Getar Struktur

Untuk mencegah penggunaan struktur gedung yang terlalu fleksibel, nilai waktu getar alami fundamental (T) suatu struktur gedung harus dibatasi. Berdasarkan SNI 1726:2019 Ps. 7.8.2.1, periode fundamental struktur digunakan persamaan berikut:

$$T_a = C_t h_n^x \quad (3.1)$$

Dimana:

$h_n$  : Ketinggian Struktur (m), di atas dasar sampai tingkat tertinggi struktur

Koefisien  $C_t$  dan  $x$  ditentukan dari Tabel 3.2 dan Tabel 3.3.

Tabel 3.2 Nilai Parameter periode Pendekatan  $C_t$  dan  $x$  (SNI 1726:2019)

Tipe struktur	$C_t$	$x$
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100 % gaya seismik yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya seismik:		
• Rangka baja pemikul momen	0,0724	0,8
• Rangka beton pemikul momen	0,0466	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488	0,75

Tabel 3.3 Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung (SNI 1726:2019)

Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik, $S_{D1}$	Koefisien $C_u$
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

### 3.6.3 Kontrol Nilai Respons Spectrum

Berdasarkan SNI 1726 – 2019, nilai akhir respon dinamik struktur gedung dalam arah yang ditetapkan tidak boleh kurang dari 85% (Ps. 10.1.3) nilai respon static. Rumus gaya geser statik adalah (SNI 1726 – 2019 Ps. 7.8.1).

$$V = C_s \times W \quad (3.2)$$

Dimana:

$C_s$  = Koefisien Respons Seismik yang ditentukan

$W$  = Berat Seismik efektif

Dimana  $C_s$ ,

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3.3)$$

$C_s$ , tidak boleh melebihi

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (\text{Untuk } T \leq T_L) \quad (3.4)$$

$$C_s = \frac{S_{D1}T_L}{T^2\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (\text{Untuk } T > T_L) \quad (3.5)$$

Dan harus kurang dari

$$C_s = 0.044 \times S_{DS} \times I_e \quad (3.6)$$

$S_{DS}$  = parameter percepatan respons spektral desain dalam rentang periode pendek

$R$  = Koefisien Modifikasi Respons

$I_e$  = Faktor Keutamaan Gempa

### 3.6.4 Kontrol Batas Simpangan

Berdasarkan SNI 1726:2019 Ps. 12.5.6, Simpangan antar lantai maksimum struktur di atas sistem isolasi tidak boleh melebihi Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Simpangan Antar Lantai ijin (SNI 1726:2019)

Struktur	Kategori risiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar lantai tingkat.	$0,025 h_{sx}^c$	$0,020 h_{sx}$	$0,015 h_{sx}$
Struktur dinding geser kantilever batu bata <sup>d</sup>	$0,010 h_{sx}$	$0,010 h_{sx}$	$0,010 h_{sx}$
Struktur dinding geser batu bata lainnya	$0,007 h_{sx}$	$0,007 h_{sx}$	$0,007 h_{sx}$
Semua struktur lainnya	$0,020 h_{sx}$	$0,015 h_{sx}$	$0,010 h_{sx}$

Dimana:

$h_{sx}$  = Tinggi tingkat dibawah tingkat x

## 3.7 Kontrol Penampang Struktur Primer

Perencanaan struktur primer dilakukan setelah kontrol desain dan analisis struktur telah memenuhi persyaratan. Struktur primer meliputi balok, kolom, dan hubungan balok kolom.

### 3.7.1 Balok

#### 3.7.1.1 Kekuatan Lentur

Kekuatan lentur dari suatu elemen merupakan merupakan nilai terkecil dari tahanan lentur akibat pelelehan dan tekuk global (tekuk lateral-torsional), tekuk lokal, dan tekuk distorsional yang akan dibahas pada penjelasan lebih lanjut sesuai dengan AISI S100-16 Pasal F.

1. Pelelehan dan tekuk global (Lateral-Torsional)

Kekuatan lentur nominal ( $M_{ne}$ ) akibat pelelehan dan tekuk global (lateral-torsional) dihitung dengan mempertimbangkan terjadinya pelelehan pertama atau kapasitas cadangan inelastis.

$$\Phi_b = 0,9 \text{ (LRFD)}$$

A. Kuat lentur pelelehan pertama

Kapasitas lentur saat terjadi pelelehan pertama dihitung dengan perumusan sesuai dengan AISI S100-16 Pasal F2.1 sebagai berikut :

$$M_{ne} = S_f F_n \leq M_y \quad (3.7)$$

Dimana :

$M_{ne}$  = kuat lentur nominal akibat pelelehan dan tekuk global.

$S_f$  = modulus elastis penampang yang tidak direduksi relatif terhadap serat tekan terluar.

$$M_y = S_{fy} F_y$$

$S_{fy}$  = modulus elastis penampang tidak direduksi relatif terhadap serat terluar saat terjadi pelelehan pertama

$F_y$  = tegangan leleh

$F_n$  ditentukan berdasarkan persamaan berikut :

- Untuk  $F_{cre} \geq 2,78 F_y$

$$F_n = F_y \quad (3.8)$$

- Untuk  $2,78 F_y > F_{cre} > 0,56 F_y$

$$F_n = \frac{10}{9} F_y \left( 1 - \frac{10F_y}{36F_{cre}} \right) \quad (3.9)$$

- Untuk  $F_{cre} \leq 0,56 F_y$

$$F_n = F_{cre} \quad (3.10)$$

$F_{cre}$  = tegangan tekuk lateral-torsional kritis elastis

Untuk single atau double penampang lentur simetris nilai  $F_{cre}$  dihitung berdasarkan persamaan sesuai dengan AISI S100-16 Pasal F2.1.1 sebagai berikut :

$$F_{cre} = \frac{C_b r_o A}{S_f} \sqrt{\sigma_{ey} \sigma_t} \quad (3.11)$$

Dimana :

$$C_b = \frac{12,5 M_{\max}}{2,5 M_{\max} + 3M_A + 4M_B + 3M_C}$$

$M_{\max}$  = nilai maksimum momen absolut pada bentang tak terkekang

$M_A$  = Nilai momem pada seperempat bentang tak terkekang

$M_B$  = Nilai momen pada setengah bentang tak terkekang

$M_C$  = nilai momen pada tiga perempat bentang tak terkekang

$r_o$  = radius girasi polar dari penampang terhadap pusat geser

Dimana :

$r_x, r_y$  = jari jari girasi penampang titik berat

$x_o$  = jarak dari pusat titik berat ke pusat geser arah sumbu x

A = luas penampang tak tereduksi

$S_f$  = modulus elastis penampang relatif terhadap serat tekan terluar.

$$\sigma_{ey} = \frac{\pi^2 E}{(K_y L_y / r_y)^2} \quad (3.12)$$

Dimana :

E = modulus elastisitas

$K_y$  = faktor panjang efektif

$L_y$  = panjang tak terkekang

$$\sigma_t = \frac{1}{A r_o^2} \left[ GJ + \frac{\pi^2 E C_w}{(K_t L_t)^2} \right] \quad (3.13)$$

Dimana :

G = modulus geser baja

J = konstata torsi penampang saint-venant

$C_w$  = konstanta torsional penampang

$K_t$  = faktor panjang efektif untuk putaran

$L_t$  = panjang efektif tak terkekang untuk putaran

Sebagai alternatif untuk penampang double-simetris I,  $F_{cre}$  diijinkan dihitung berdasarkan persamaan berikut :

$$F_{cre} = \frac{C_b \pi^2 E d l_{yc}}{S_f (K_y L_y)^2} \quad (3.14)$$

Dimana :

d = tinggi penampang

$I_{yc}$  = momen inerisa penampang tertekan terhadap titik berat.

## B. Kapasitas Cadangan Inelastis

Kekuatan lentur nominal ( $M_{ne}$ ) untuk pelehan dan tekuk global (lateral-torsional) mempertimbangkan kapasitas cadangan inelastis menggunakan metode kekuatan langsung (direct strength method) dapat dihitung dengan persamaan-persamaan sesuai dengan AISI S100-16 Pasal F2.4 sebagai berikut.

- Untuk  $M_{cre} > 2,78 M_y$

$$M_{ne} = M_p - (M_p - M_y) \frac{\sqrt{M_y/M_{cre}} - 0,23}{0,37} \leq M_p \quad (3.15)$$

Dimana :

$M_{cre}$  = momen tekuk kritis elastis lateral-torsional

$$= S_f M_{cre}$$

$S_f$  = modulus elastis penampang yang tidak direduksi relatif terhadap serat tekan terluar.

$F_{cre}$  = tegangan tekuk lateral-torsional kritis elastis

$M_y$  = momen leleh

$M_p$  = momen plastis =  $Z_f F_y$

$Z_f$  = modulus plastis penampang

$F_y$  = tegangan leleh

## 2. Interaksi Tekuk Lokal dengan Pelelehan dan Tekuk Global

Setiap member harus dicek terhadap potensi reduksi kekuatan lentur akibat interaksi tekuk lokal dengan pelelehan dan tekuk global. Reduksi ini dapat dihitung dengan menggunakan metode kekuatan langsung (direct strength method).

$$\Phi_b = 0,9 \text{ (LRFD)}$$

A. Elemen tanpa lubang

Kekuatan lentur nominal memperhitungkan interaksi tekuk lokal dan tekuk global ( $M_{nl}$ ) pada elemen batang tanpa lubang dihitung berdasarkan persamaan sesuai dengan AISI S100-16 Pasal F3.1.1 sebagai berikut :

- Untuk  $\lambda_l \leq 0,776$

$$M_{nl} = M_{ne} \quad (3.16)$$

- Untuk  $\lambda_l > 0,776$

$$M_{nl} = \left[ 1 - 0.15 \left( \frac{M_{crl}}{M_{ne}} \right)^{0,4} \right] \left( \frac{M_{crl}}{M_{ne}} \right)^{0,4} M_{ne} \quad (3.17)$$

Keterangan :

$$\lambda_l = \sqrt{M_{ne}/M_{crl}}$$

$M_{ne}$  = kekuatan lentur nominal untuk tekuk lateral-torsional

$M_{crl}$  = momen kritis elastis tekuk lokal

B. Elemen dengan lubang

Kuat lentur nominal ( $M_{nl}$ ) untuk tekuk lokal dari balok berlubang dihitung sesuai dengan elemen tanpa lubang, kecuali  $M_{crl}$  yang dihitung dengan pengaruh lubang sesuai dengan AISI S100-16 Pasal F3.1.2.

$$M_{nl} \leq M_{ynet}$$

Dimana :

$M_{ynet}$  = momen leleh dari penampang netto =  $S_{fnet} F_y$

$S_{fnet}$  = modulus penampang netto mengacu pada serat terluar pelelehan pertama

C. Memperhitungkan kekuatan cadangan inelastik lokal

Kapasitas cadangan inelastik diizinkan untuk dipertimbangkan sebagai berikut sesuai dengan AISI S100-16 Pasal F3.1.2, dengan  $\lambda_l \leq 0,776$  dan  $M_{ne} \geq M_y$  :

- a. Untuk penampang simetris terhadap sumbu lentur atau untuk penampang yang mengalami pelelehan pertama tekan.

$$M_{nl} = M_y + (1 - 1/C_{yl}^2)(M_p - M_y) \quad (3.18)$$

- b. Untuk penampang yang mengalami pelelehan pertama tarik

$$M_{nl} = M_{yc} + (1 - 1/C_{yl}^2)(M_p - M_y) \leq M_{yt3} \quad (3.19)$$

Dimana :

$$\lambda_l = \sqrt{M_{ne}/M_{crl}}$$

$M_{ne}$  = kekuatan lentur nominal untuk tekuk lateral-torsional

$$C_{yl} = \sqrt{0,776/\lambda_l} \leq 3$$

$M_{crl}$  = momen kritis elastis tekuk lokal

$M_p$  = momen plastis

$M_y$  = momen leleh

$M_{yc}$  = momen saat terjadi pelelehan tekan pertama

$$M_{yt3} = M_y + (1 - 1/C_{yl}^2)(M_p - M_y)$$

$C_{yt}$  = rasio regangan tarik maksimum terhadap regangan leleh

### 3. Tekuk Distorsional

Kekuatan lentur nominal ( $M_{nd}$ ) akibat tekuk distorsional dapat dihitung berdasarkan persamaan-persamaan sesuai dengan AISI S100-16 Pasal F4 berikut.

$$\Phi_b = 0,9 \text{ (LRFD)}$$

#### A. Elemen tanpa lubang

- Untuk  $c \leq 0,673$

$$M_{nd} = M_y \quad (3.20)$$

- Untuk  $\lambda_d > 0,673$

$$M_{nd} = \left[ 1 - 0,22 \left( \frac{M_{crl}}{M_y} \right)^{0,5} \right] \left( \frac{M_{crl}}{M_y} \right)^{0,5} M_y \quad (3.21)$$

Dimana :

$$\lambda_d = \sqrt{M_y/M_{crl}}$$

$$M_y = S_{fy} F_y$$



$S_{fy}$  = modulus elastis penampang relatif terhadap serat terluar saat leleh pertama

$F_y$  = tegangan leleh

$M_{crd} = S_f F_{crd}$

$S_f$  = modulus elastis penampang yang tidak direduksi relatif terhadap serat tekan terluar.

$F_{crd}$  = tegangan elastis tekuk distorsional

### B. Elemen dengan lubang

- Untuk  $\lambda_d \leq \lambda_{d1}$

$$M_{nd} = M_{ynet} \quad (3.22)$$

- Untuk  $\lambda_{d1} < \lambda_d \leq \lambda_{d2}$

$$M_{nd} = M_{ynet} - \left( \frac{M_{ynet} - M_{d2}}{\lambda_{d2} - \lambda_{d1}} \right) (\lambda_d - \lambda_{d1}) \leq \left[ 1 - 0.22 \left( \frac{M_{crd}}{M_y} \right)^{0.5} \right] \left( \frac{M_{crd}}{M_y} \right)^{0.5} M_y \quad (3.23)$$

Dimana :

$$\lambda_d = \sqrt{M_y / M_{crd}}$$

$M_{crd}$  = momen tekuk distorsional yang dipengaruhi oleh lubang

$$\lambda_{d1} = 0,673(M_{ynet} / M_y)^3$$

$\lambda_{d2}$  = batas transisi kelangsingan distorsional

$$= 0,673[1,7(M_y / M_{ynet})^{2,7} - 0,7]$$

$$M_{d2} = [1 - 0,22 (1 / \lambda_{d2})](1 / \lambda_{d2})M_y$$

$M_y$  = momen leleh

$M_{ynet}$  = momen leleh penampang netto

### C. Mempertimbangkan kekuatan cadangan inelastis distorsional

Kapasitas cadangan inelastik diizinkan untuk dipertimbangkan sebagai berikut sesuai dengan AISI S100-16 Pasal F4.3, dengan  $\lambda_d \leq 0,673$

- Untuk penampang simetris terhadap sumbu lentur atau untuk penampang yang mengalami pelelehan pertama tekan.

$$M_{nd} = M_y + (1 - 1/C_{yd}^2)(M_p - M_y) \quad (3.24)$$

b. Untuk penampang yang mengalami pelelehan pertama tarik

$$M_{nd} = M_{yc} + (1 - 1/C_{yd}^2)(M_p - M_y) \leq M_{yt3} \quad (3.25)$$

Dimana :

$$\lambda_d = \sqrt{M_y/M_{crd}}$$

$M_{ne}$  = kekuatan lentur nominal untuk tekuk lateral-torsional

$$C_{yl} = \sqrt{0,673/\lambda_d} \leq 3$$

$M_{crd}$  = momen kritis elastis tekuk distorsional

$M_p$  = momen plastis

$M_y$  = momen leleh

$M_{yc}$  = momen saat terjadi pelelehan tekan pertama

$$M_{yt3} = M_y + (1 - 1/C_{yt}^2)(M_p - M_y)$$

$C_{yt}$  = rasio regangan tarik maksimum terhadap regangan leleh = 3

### 3.7.1.2 Kekuatan Geser

Kekuatan geser ( $V_n$ ) dari elemen lentur tanpa lubang pada pelat badan dihitung berdasarkan persamaan yang tersedia pada pemaparan lebih lanjut. Untuk elemen lentur yang memenuhi persyaratan geometrik dan material pada AISI S100-16 Pasal B4 nilai  $\Phi_v$  adalah sebagai berikut.

$$\Phi_v = 0,95 \text{ (LRFD)}$$

1. Elemen lentur tanpa pengaku transversal pada pelat badan

- Untuk  $\lambda_v \leq 0,815$

$$V_n = V_y \quad (3.26)$$

- Untuk  $0,815 < \lambda_v \leq 1,227$

$$V_n = 0,815 \sqrt{V_{cr}V_y} = 0,60t^2 \sqrt{Ek_vF_y} \quad (3.27)$$

- Untuk  $\lambda_v > 1,227$

$$V_n = V_{cr} = 0,904 Ek_v t^3 / h \quad (3.28)$$

Dimana :

$$\lambda_v = \sqrt{V_y/V_{cr}}$$

- $V_y$  = gaya geser leleh penampang =  $0,6 A_w F_y$
- $A_w$  = luas pelat badan =  $h t$
- $h$  = tinggi pelat badan
- $t$  = tebal pelat badan
- $F_y$  = tegangan leleh desain
- $V_{cr}$  = gaya elastik tekuk geser
- $E$  = modulus elastisitas baja
- $k_v$  = koefisien tekuk geser

2. Elemen lentur dengan pengaku transversal pada pelat badan

- Untuk  $\lambda_v \leq 0,776$

$$V_n = V_y$$

- Untuk  $\lambda_v > 0,776$

$$V_n = \left[ 1 - 0.15 \left( \frac{V_{cr}}{V_y} \right)^{0.4} \right] \left( \frac{V_{cr}}{V_y} \right)^{0.4} V_y \quad (3.29)$$

Dimana :

$$V_{cr} = \text{gaya elastik tekuk geser}$$

3. Gaya tekuk geser elastis kritis pada pelat badan,  $V_{cr}$

$$V_{cr} = A_w F_{cr}$$

Dimana :

$$A_w = \text{luas pelat badan} = h t$$

$$F_{cr} = \text{tegangan tekuk geser elastis}$$

$$= \frac{\pi^2 E k_v}{12(1-\mu^2) \left( \frac{h}{t} \right)^2}$$

$$E = \text{modulus elastisitas baja}$$

$k_v$  = koefisien tekuk geser yang dihitung berdasarkan persamaan berikut :

- a. Untuk pelat badan tanpa pengaku,  $k_v = 5,34$
- b. Untuk pelat badan dengan pengaku transversal yang memenuhi persyaratan AISI S100-16 Pasal G4

- Saat  $a/h \leq 1,0$

$$k_v = 4 + \frac{5.34}{(a/h)^2} \quad (3.30)$$

- Saat  $a/h > 1,0$

$$k_v = 5.34 + \frac{4.00}{(a/h)^2} \quad (3.31)$$

Dimana :

$a$  = panjang panel geser dari elemen pelat badan tak berpengaku

$a$  = jarak bersih antaran pengaku transversal dari pelat badan berpengaku

### 3.7.2 Kolom

#### 3.7.2.1 Kontrol Tekan

- Pelelehan dan Tekuk Global (Lentur, Lentur-Torsional, dan Torsional)

Kekuatan aksial nominal untuk leleh, dan tekuk global (lentur, torsi, atau lentur-torsi) harus dihitung sesuai AISI S100-16 Pasal E2. Faktor keamanan yang dapat diterapkan dan faktor resistansi yang diberikan dalam bagian ini harus digunakan untuk menentukan kekuatan aksial yang tersedia.

$$P_{ne} = A_g F_n \quad (3.32)$$

$$\Phi_c = 0,95 \text{ (LRFD)}$$

- Saat  $\lambda_c \leq 1,5$

$$F_n = (0.658^{\lambda_c^2}) F_y \quad (3.33)$$

- Saat  $\lambda_c > 1,5$

$$F_n = \left( \frac{0.877}{\lambda_c^2} \right) F_y \quad (3.34)$$

Dimana:

$$\lambda_c = \sqrt{\frac{F_y}{F_{cre}}} \quad (3.35)$$

- Bagian tidak dikenakan torsional atau Lentur-torsional Tekuk

Untuk penampang simetris ganda, penampang tertutup, dan penampang lain yang dapat diperlihatkan tidak dikenakan tekuk torsi atau lentur-torsi, tegangan tekuk lentur elastis,  $F_{cre}$ , harus dihitung sebagai berikut:

$$F_{cre} = \frac{\pi^2 E}{(KL/r)^2} \quad (3.36)$$

- Bagian Simetris Ganda atau Tunggal Tunduk pada Torsional atau Flexural-Torsional Buckling.

Untuk penampang simetris tunggal yang tunduk pada tekuk torsi-lentur,  $F_{cre}$  harus diambil sebagai yang lebih kecil dari  $F_{cre}$  yang dihitung dan  $F_{cre}$  dihitung sebagai berikut:

$$F_{cre} = \frac{1}{2\beta} \left[ (\sigma_{ex} + \sigma_t) - \sqrt{(\sigma_{ex} + \sigma_t)^2 - 4\beta\sigma_{ex}\sigma_t} \right] \quad (3.37)$$

- Tekuk Lokal Berinteraksi dengan Pelelehan dan Tekuk Global

Kekuatan aksial nominal untuk tekuk lokal yang berinteraksi dengan leleh dan tekuk global harus dihitung sesuai dengan bagian ini. Semua anggota harus diperiksa untuk potensi pengurangan kekuatan yang tersedia karena interaksi hasil atau tekuk global dengan tekuk lokal. Pengurangan ini harus dipertimbangkan melalui Metode Lebar Efektif Seksi atau Metode Kekuatan Langsung Seksi.

Faktor keamanan yang dapat diterapkan dan faktor hambatan yang diberikan dalam bagian ini harus digunakan untuk menentukan kekuatan aksial yang sesuai dengan metode desain yang berlaku.

- Metode Lebar Efektif

Untuk Metode Lebar Efektif, kekuatan aksial nominal untuk tekuk local akan dihitung sesuai dengan berikut ini:

$$P_{nl} = A_e F_n \leq P_{ne} \quad (3.38)$$

- Metode Kekuatan Langsung

Untuk Metode Kekuatan Langsung, kekuatan aksial nominal untuk tekuk local harus dihitung sesuai dengan penampang sebagai berikut:

1. Penampang Tanpa Lubang

- Saat  $\lambda_l \leq 0,776$

$$P_{nl} = P_{ne} \quad (3.39)$$

- Saat  $\lambda_l > 0,776$

$$P_{nl} = \left[ 1 - 0.15 \left( \frac{P_{crl}}{P_{ne}} \right)^{0.4} \right] \left( \frac{P_{crl}}{P_{ne}} \right)^{0.4} P_{ne} \quad (3.40)$$

2. Penampang Dengan Lubang

- Saat  $P_{nl} \leq P_{ynet}$

$$P_{ynet} = A_{net} F_y \quad (3.41)$$

- Tekuk Distorsi

Kekuatan aksial nominal [resistansi],  $P_{nd}$ , untuk tekuk distorsi harus dihitung dalam sesuai dengan bagian ini. Ketentuan bagian ini berlaku untuk I-, Z-, C-, Hat, dan penampang terbuka lainnya yang menggunakan flensa dengan pengaku tepi.

Faktor keamanan yang dapat diterapkan dan faktor resistansi yang diberikan dalam bagian ini harus digunakan tentukan kekuatan aksial yang tersedia sesuai dengan metode desain yang dapat diterapkan.

- Penampang Tanpa Lubang

- Saat  $\lambda_d \leq 0,561$

$$P_{nd} = P_y \quad (3.42)$$

- Saat  $\lambda_l > 0,561$

$$P_{nd} = \left[ 1 - 0.25 \left( \frac{P_{crd}}{P_y} \right)^{0.6} \right] \left( \frac{P_{crd}}{P_y} \right)^{0.6} P_y \quad (3.43)$$

- Penampang Dengan Lubang

- Saat  $\lambda_d \leq \lambda_{d1}$

$$P_{nd} = P_{ynet} \quad (3.44)$$

- Saat  $\lambda_{d1} \leq \lambda_d \leq \lambda_{d2}$

$$P_{nd} = P_{ynet} - \left( \frac{P_{ynet} - P_{d2}}{\lambda_{d2} - \lambda_{d1}} \right) (\lambda_d - \lambda_{d1}) \quad (3.45)$$

### 3.8 Prosedur Permodelan dan *Pushover Analysis* dengan Program Bantu SAP2000

Permodelan struktur untuk analisis *pushover* sama seperti analisis linear, namun analisis *pushover* dilakukan beberapa perubahan parameter seperti perubahan beban dan memberikan plastic hinge pada balok dan kolom. Plastic hinge diberikan pada balok maupun kolom. Plastic hinges pada balok dan kolom diberikan dengan lokasi 0,1 dan 0,9 dengan gaya hanya M3 sesuai dengan hasil validasi.

### 3.9 Evaluasi Hasil Permodelan

Hasil dari permodelan spesimen struktur baja *cold-formed* akan dilakukan perbandingan terhadap daktilitas struktur, level kinerja struktur dan energi disipasi struktur.

#### 1. Daktilitas Struktur

Daktilitas adalah kemampuan struktur untuk tidak mengalami keruntuhan secara tiba-tiba (getas) tetapi masih mampu mengalami deformasi yang cukup besar pada saat beban maksimum tercapai sebelum struktur tersebut mengalami keruntuhan.

$$\mu = \frac{\Delta_u}{\Delta_y} \geq 3,5 \quad (3.45)$$

#### 2. Level Kinerja Struktur

Level kinerja struktur bangunan dapat diketahui dengan melihat batasan rasio *displacement* yang dievaluasi pada performance point, dengan parameter yang ditinjau adalah maksimum total drift

#### 3. Energi Disipasi Struktur

Energi disipasi adalah kemampuan struktur dalam menyerap energi melalui proses leleh pada daerah sendi plastis.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Umum

Pada bab ini akan disajikan perbandingan hasil validasi model dengan SAP2000 dengan spesimen eksperimental. Setelah dilakukan validasi pemodelan, maka penelitian dilanjutkan dengan membuat model struktur dengan menggunakan Hinge Properties yang didapatkan saat validasi. Model struktur yang digunakan adalah model struktur yang sesuai dengan kebutuhan struktur penulis dengan melakukan pengujian struktur baja *cold-formed* dengan 1 lantai hingga 3 lantai.

#### 4.2 Pemodelan Model 3D dengan SAP2000

Tahap awal dalam pembuatan model 3D sambungan adalah input material yang akan digunakan, seperti pada Gambar 4.1. Input yang dimasukkan kedalam program antara lain: Modulus elastisitas (E) sebesar 200 GPa; poisson's ratio sebesar 0,3; tegangan leleh material; tegangan ultimate material; dan hinge properties untuk menggambarkan perilaku inelastik dari elemen. Data untuk hinge properties disesuaikan seperti pada Gambar 4.2.

General Data	
Material Name and Display Color	Material CF Journal
Material Type	Steel
Material Grade	Grade 50
Material Notes	Modify/Show Notes...

Weight and Mass	
Weight per Unit Volume	7,697E-05
Mass per Unit Volume	7,849E-09
Units	N, mm, C

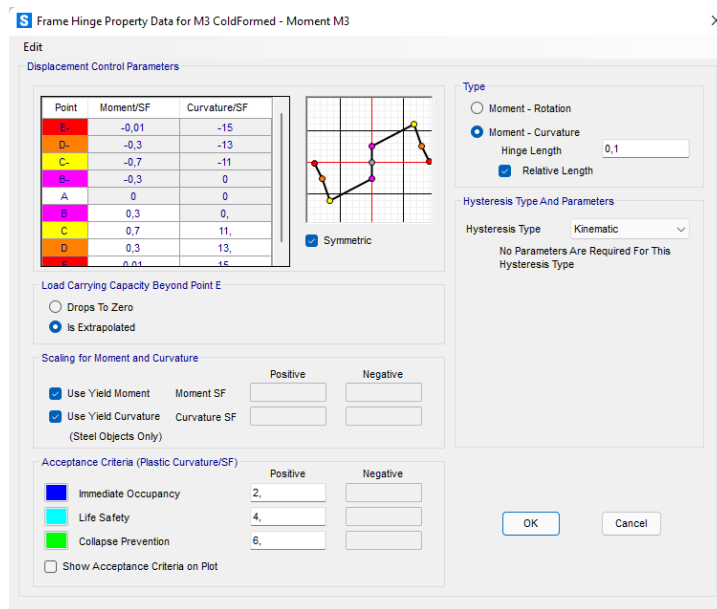
  

Isotropic Property Data	
Modulus Of Elasticity, E	200000,
Poisson, U	0,3
Coefficient Of Thermal Expansion, A	1,170E-05
Shear Modulus, G	76923,08

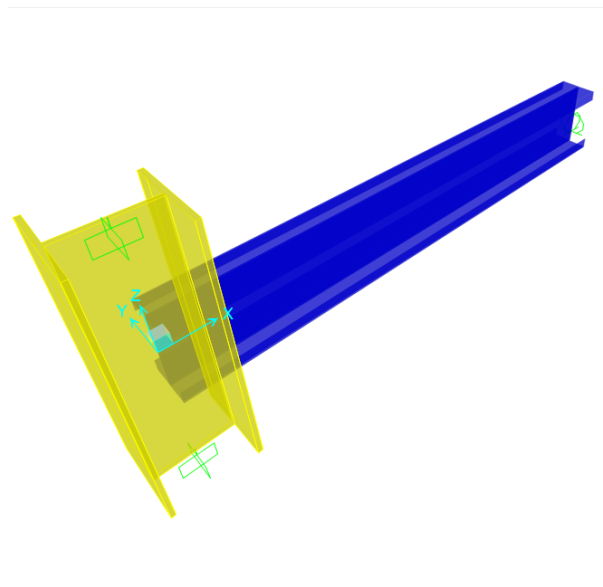
Other Properties For Steel Materials	
Minimum Yield Stress, Fy	310,
Minimum Tensile Stress, Fu	530,
Expected Yield Stress, Fye	310,
Expected Tensile Stress, Fue	530,

Gambar 4.1 *Input* Material dalam SAP2000



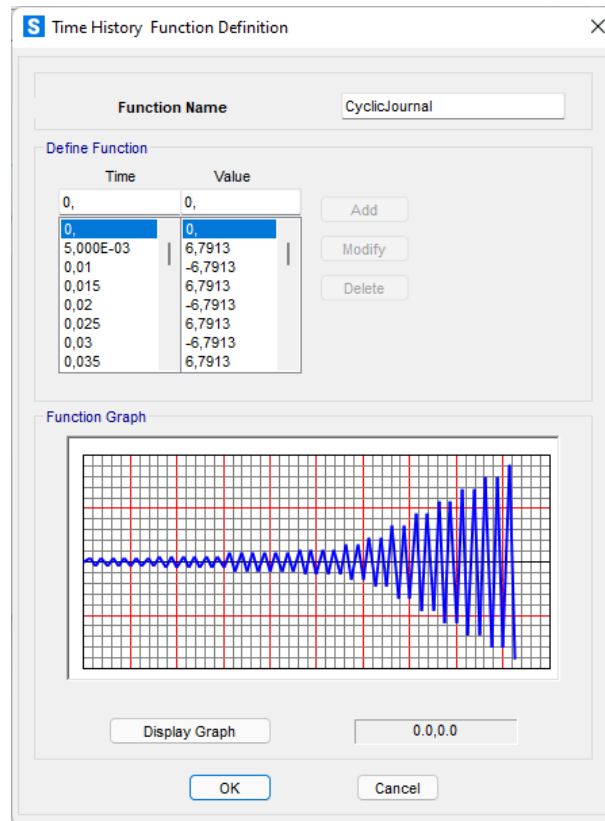
Gambar 4.2 *Input Hinge Property* dalam SAP2000

Seluruh komponen struktur yang dimodelkan dengan program bantu SAP2000 seperti pada Gambar 4.3. Kemudian model yang telah dibuat dimasukan jenis material yang telah di-*input*.



Gambar 4.3 Permodelan pada SAP2000

Beban siklik yang digunakan, seperti yang ditunjukkan Gambar 4.4, mengacu pada penelitian. Beban siklik diaplikasikan di ujung balok seperti pada Gambar 4.5



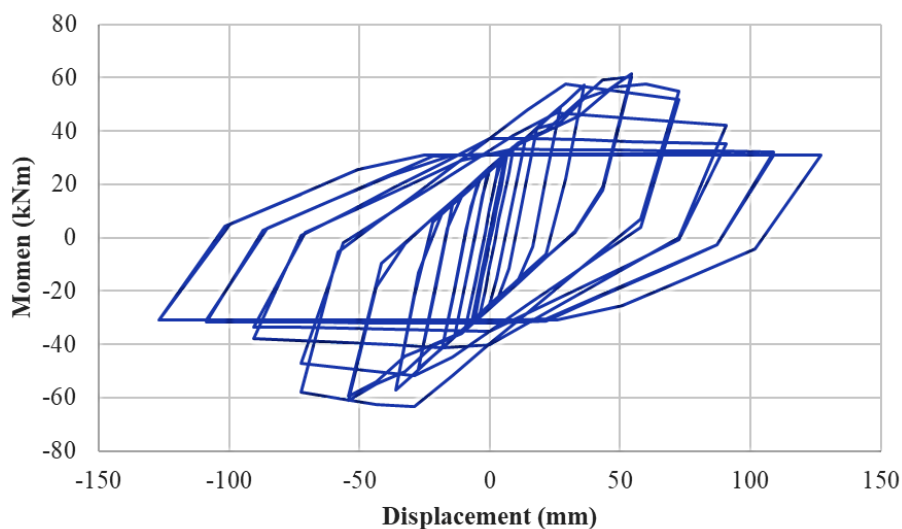
Gambar 4.4 *Input* Beban Siklik pada SAP2000



Gambar 4.5 *Input* Beban Siklik pada Permodelan

### 4.3 Hasil Pemodelan dengan SAP2000

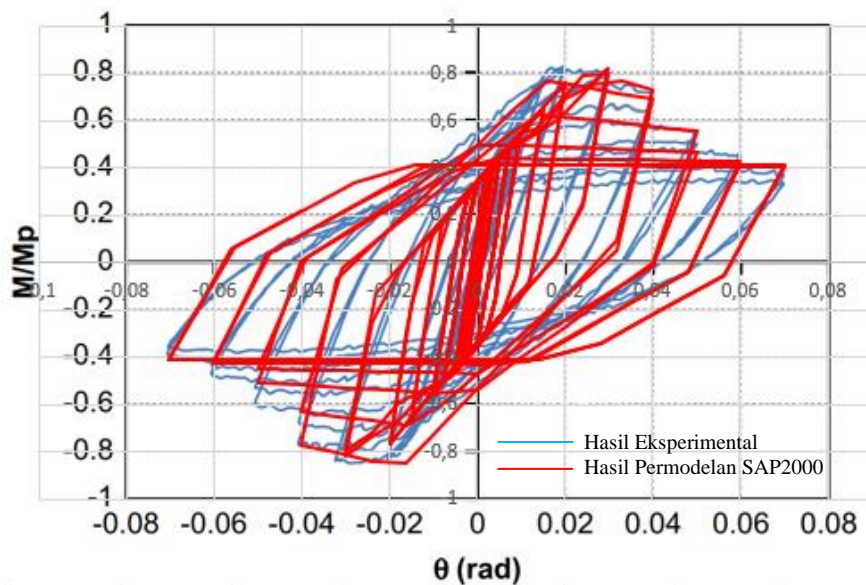
Dari hasil analisis dengan program bantu SAP2000 didapatkan kurva histeresis hubungan reaksi akibat momen pada muka kolom dengan *displacement* yang terjadi di ujung balok dapat dilihat pada Gambar 4.6. Kurva histeresis akan diolah kedalam bentuk hubungan momen pada muka kolom dengan rotasi balok.



Gambar 4.6 Hasil Kurva Histeresis SAP2000

### 4.4 Verifikasi Hasil Model SAP2000 dengan Hasil Eksperimen

Verifikasi hasil pemodelan dilakukan untuk menguji keakuratan parameter-parameter pemodelan yang dimasukkan ke dalam program SAP2000 yaitu Hinge Property. Pengujian dilakukan dengan cara membandingkan kurva Momen-Rotasi dari hasil pemodelan dengan kurva Momen-Rotasi dari hasil eksperimental. Perbandingan antara hasil analisis menggunakan program SAP2000 dan eksperimental dalam bentuk kurva momen-kurvatur dapat dilihat pada Gambar 4.7. momen yang terjadi didepan kolom dinormalisasi menjadi momen plastis balok ( $M_p$ ), dimana nilai  $M_p$  adalah 75 kNm menggunakan tegangan luluh aktual sebesar 310 MPa. Didapatkan bahwa hasil analisis menggunakan SAP2000 menunjukkan kesesuaian dengan hasil pengujian eksperimental. Hal ini menunjukkan bahwa model elemen hingga berhasil mensimulasikan kekakuan awal sambungan balok-kolom yang diacu.

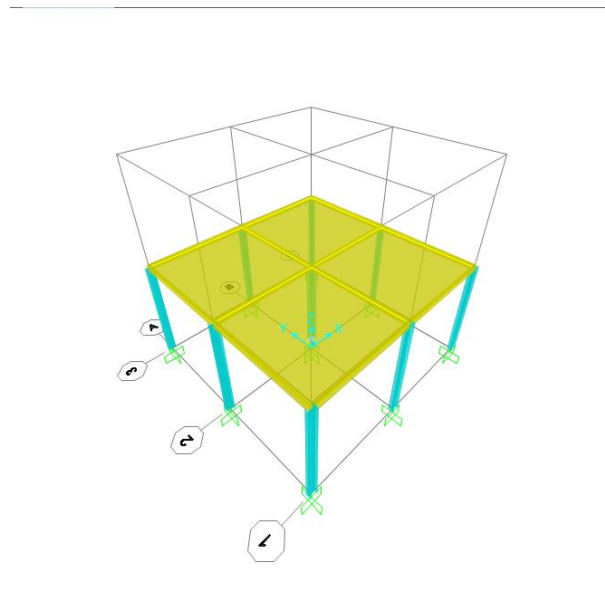


Gambar 4.7 Perbandingan *Moment-Curvature* Hasil Permodelan SAP2000 dan Hasil Eksperimental

Dari Gambar 4.7 dapat diamati bahwa momen puncak model terjadi pada momen 0,75Mp dan  $\theta = 0,02$  rad, sedangkan hasil eksperimental menunjukkan momen puncak terjadi pada momen 0,83Mp dan  $\theta = 0,02$  rad. Terdapat sedikit perbedaan yaitu pada besaran momen puncak. Hal ini dapat disebabkan oleh perbedaan ketidaksempurnaan geometrik dan sifat material antara permodelan pada SAP2000 dan spesimen benda uji, dikarenakan pada program SAP2000 tidak dapat memodelkan profil secara melengkung seperti pada model eksperimental. Puncak momen yang lebih rendah dari permodelan SAP2000 dapat menunjukkan bahwa model menghasilkan desain yang lebih konservatif.

#### 4.5 Model Struktur Baja *Cold-Formed* 1 Lantai dengan Jarak Kolom 3 meter (CF-A1)

Model struktur CF-A1 adalah model desain hunian tetap yang direncanakan oleh Puslit MKPI ITS dengan 1 lantai dengan jarak kolom 3 meter. Model ini menggunakan mutu sesuai dengan *brochure* baja *cold-formed* untuk semua elemen profi. Profil balok menggunakan DoubleCF150x50x20x3,2 sedangkan kolom menggunakan profil DoubleCF200x75x20x3,2. Model struktur secara detail dapat dilihat pada model 3D SAP2000 pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Model CF-A1

Sebelum dilakukan analisis secara non-linear menggunakan *software* SAP2000, langkah awal yang dilakukan adalah melakukan perhitungan analisis struktur seperti perbandingan beban struktur, partisipasi massa, periode fundamental struktur, perbandingan  $V_{desain}$  dan  $V_{dinamis}$ , dan simpangan lantai struktur.

#### 4.5.1 Analisis Struktur CF-A1

Dalam menganalisis pemodelan struktur yang terdapat di SAP2000 diperlukan pengecekan dengan perhitungan secara manual. Komparasi perhitungan beban harus dilakukan sebagai perbandingan perhitungan yang dilakukan pada SAP2000 benar. Apabila terdapat selisih antara pembebanan pada SAP2000 dan manual maksimal sekitar  $\pm 5\%$ . Untuk perbandingan tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Perbandingan Beban SAP2000 dan Manual CF-A1

JENIS BEBAN	TOTAL BEBAN <i>kN</i>	HASIL SAP2000 <i>kN</i>	SELISIH PERSEN %	STATUS
LL	69,12	69,12	0,00	OK
SDL	238,302	238,302	0,00	OK
DL	9,69	9,337	3,73	OK

Pada Tabel 4.1 didapatkan beban live dan beban super imposed dead tidak terdapat selisih, namun untuk beban dead dari kolom dan balok memiliki perbedaan 3,73% dikarenakan perhitungan beban tiap profil pada SAP2000 berbeda dengan beban tiap profil pada brochure yang digunakan.

Partisipasi massa struktur model CF-A1 pada SAP2000 juga perlu dilakukan pengecekan. Partisipasi massa struktur di perhitungan SAP2000 harus sesuai dengan parameter yang dibutuhkan yakni melebihi 90%. Partisipasi massa struktur di SAP2000 dinyatakan dengan Dynamic Percent. Hasil partisipasi massa pada SAP2000 dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Perbandingan Partisipasi Massa CF-A1

ARAH	DYNAMIC PERCENT %	STATUS
UX	100	OK
UY	100	OK

Partisipasi massa struktur yang dihasilkan pada model CF-A1 untuk arah X sebesar 100% dan untuk arah Y sebesar 100%. Sehingga model CF-A1 memenuhi persyaratan minimum partisipasi massa struktur.

Setelah dilakukan partisipasi massa struktur, dilakukan pengecekan periode fundamental struktur. Periode tersebut harus dibandingkan antara hasil di SAP2000 dengan hitungan manual. Periode fundamental struktur (T), baik untuk sumbu X atau sumbu Y nilainya diantara dari Ta dan Cu.Ta. Hasil periode struktur pada model CF-A1 dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Perbandingan T dengan Ta dan Cu.Ta CF-A1

SUMBU	Ta	Cu.Ta	T
X	0,174	0,244	0,340
Y			0,724

Nilai Ta dan CuTa didapatkan dari perhitungan manual. Nilai T dapat dilihat pada Tabel 4.3 didapatkan untuk arah X sebesar 0,340 s dan untuk arah Y sebesar 0,724 s. Apabila untuk nilai T kurang dari Ta, maka untuk perhitungan gaya geser akan menggunakan Ta dan apabila T melebihi CuTa akan menggunakan nilai Cu.Ta.

Selanjutnya untuk perhitungan gaya geser seismic juga harus dilakukan perbandingan. Perbandingan perhitungan gaya geser seismic di SAP2000 (Vdynamis) dengan perhitungan gaya geser seismic dengan perhitungan (Vdesain). Vdynamis dan Vdesain memiliki masing-masing dua arah sumbu, yaitu untuk sumbu X dan sumbu Y. Perhitungan gaya geser seismic dengan cara perhitungan (Vdesain) menggunakan persamaan  $V = C_s W$ .

Dari persamaan tersebut dibutuhkan  $C_s$  dengan persyaratan pada SNI1726:2019. Terdapat syarat-syarat  $C_s$  yang harus diperhitungkan dan didapatkan hasil  $C_s$  pakai dapat dilihat pada Tabel 4.4. Setelah didapatkan  $C_s$ , maka dapat diperhitungkan Vdesain dengan mengalikan  $C_s$  dengan berat struktur yang diperhitungkan pada Tabel 4.1. Maka, perbandingan antara Vdesain dengan Vdynamis dari SAP2000 dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.4 Perhitungan  $C_s$  CF-A1

SUMBU	T	Cs1	Cs2	Cs3	Cs4	Cs Pakai
X	0,340	0,221	0,794	0,029	0,085	0,221
Y	0,724		0,374			0,221

Tabel 4.5 Scale Factor Perbandingan Vdesain dan Vdynamic Awal CF-A1

SUMBU	Vdesain <i>kN</i>	Vdynamic <i>kN</i>	STATUS
X	59,50	265,097	NOT OK
Y	59,50	265,1	NOT OK

Pada Tabel 4.5, didapatkan scale factor untuk sumbu X sebesar 0,224 dan untuk sumbu Y sebesar 0,224. Maka, scale factor tersebut dimasukkan ke dalam beban gempa SAP2000 dan didapatkan perbandingan Vdynamis dan Vdesain setelah modifikasi dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Perbandingan Vdesain dan Vdynamic setelah Modifikasi CF-A1

SUMBU	Vdesain <i>kN</i>	Vdynamic <i>kN</i>	SCALE FACTOR	STATUS
X	59,50	59,382	1,00	OK
Y	59,50	59,382	1,00	OK



Scale factor perbandingan  $V_{\text{dinamis}}$  dan  $V_{\text{desain}}$  model CF-A1 dapat dilihat pada Tabel 4.6. Didapatkan hasil  $V_{\text{dinamis}}$  pada SAP2000 sudah sesuai dengan  $V_{\text{desain}}$  yang diperhitungkan secara manual. Setelah didapatkan gaya gempa yang sesuai maka dilanjutkan untuk perhitungan simpangan lantai.

Simpangan lantai dari bangunan yang direncanakan di SAP2000 harus dibandingkan dengan simpangan lantai ijin yang dihitung dengan cara manual. Simpangan juga terdiri dari dua arah, yakni arah X dan Y. Untuk perhitungan simpangan dapat dilihat pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7. Kontrol Simpangan Arah X dan Arah Y CF-A1

SUMBU X						
LANTAI KE-	Simpangan Rata-Rata $\delta_{ei}$ mm	Simpangan Diperbesar $\delta_i$ mm	Simpangan Antar Lantai $\Delta i$ mm	hsx mm	Simpangan Ijin $\Delta a$ mm	STATUS
1	6,425	16,063	16,063	3000	60	OK

SUMBU Y						
LANTAI KE-	Simpangan Rata-Rata $\delta_{ei}$ mm	Simpangan Diperbesar $\delta_i$ mm	Simpangan Antar Lantai $\Delta i$ mm	hsx mm	Simpangan Ijin $\Delta a$ mm	STATUS
1	29,039	72,598	72,598	3000	60	NOT OK

Pada Tabel 4.7, didapatkan simpangan lantai untuk arah X sebesar 16,063 mm dan untuk arah Y sebesar 72,598 mm. Untuk simpangan ijin yang disyaratkan oleh SNI 1726:2019, simpangan ijin untuk struktur model CF-A1 adalah sebesar 0,020 dari tinggi tiap lantainya, maka simpangan ijin pada model CF-A1 sebesar 60 mm. Didapatkan simpangan lantai untuk arah X OK, namun untuk simpangan lantai untuk arah Y tidak OK dikarenakan melebihi simpangan ijin.

#### 4.5.2 Kontrol Penampang CF-A1

Setelah tahapan analisis struktur, harus dilakukan perhitungan kontrol struktur secara manual untuk kekuatan balok, kolom, dan sambungan berdasarkan desain kapasitas sesuai AISI S100-16. Berikut adalah tahapan perhitungan kekuatan balok pada sub-bab 4.5.2.1, perhitungan kekuatan kolom pada sub-bab 4.5.2.2, dan perhitungan sambungan pada sub-bab 4.5.2.3.

#### 4.5.2.1 Balok

Pada perhitungan balok akan digunakan profil baja *cold-formed* Double Channel C 150 x 65 x 20 x 3,2 sesuai dengan yang tersedia dalam brochure yang tersedia. Perhitungan balok baja *cold-formed* untuk CF-A1 adalah sebagai berikut:

##### Material Properti

$$E = 200000 \text{ MPa}$$

$$F_y = 300 \text{ MPa}$$

$$F_u = 300 \text{ MPa}$$

$$G = 77200 \text{ MPa}$$

$$\mu = 0,3$$

##### Properti Penampang Single Channel C 150 x 65 x 20

$$H = 150 \text{ mm}$$

$$B = 65 \text{ mm}$$

$$C = 20 \text{ mm}$$

$$t = 3,2 \text{ mm}$$

$$A = 9,57 \text{ cm}^2$$

$$I_x = 332 \text{ cm}^4$$

$$I_y = 54 \text{ cm}^4$$

$$Z_x = 44,2 \text{ cm}^3$$

$$Z_y = 12,2 \text{ cm}^3$$

$$r_x = 5,89 \text{ cm}$$

$$r_y = 2,37 \text{ cm}$$

$$C_y = 2,11 \text{ cm}$$

$$X_o = 5,09 \text{ cm}$$

$$t = 3,2 \text{ mm}$$

$$r = R + t/2 = 4,762 + 3,2/2 = 6,362 \text{ mm}$$

$$a = H - 2(R+t) = 134,075 \text{ mm}$$

$$b = B - 2(R+t) = 49,075 \text{ mm}$$

$$u = 1,57 \cdot r = 9,989 \text{ mm}$$

$$c = C - (R+t) = 12,037 \text{ mm}$$

$$J = \frac{2t^3}{3} [a + 2b + 2u + \alpha(2c + 2u)] = 6471,821 \text{ mm}^4$$

$$C_w = 2608 \text{ cm}^6$$

##### Properti Penampang Double Channel C 150 x 65 x 20

$$H = 150 \text{ mm}$$

$$B = 65 \text{ mm}$$

$$C = 20 \text{ mm}$$

$$t = 3,2 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
A &= 2 \cdot A_s && = 19,14 \text{ cm}^2 \\
I_x &= 2 \cdot I_{x_s} && = 664 \text{ cm}^4 \\
I_y &= 2 \cdot I_{y_s} + A \cdot C_{y_s}^2 && = 278,42 \text{ cm}^4 \\
Z_x &= 2 \cdot Z_{x_s} && = 88,2 \text{ cm}^3 \\
r_x &= && = 5,89 \text{ cm} \\
r_y &= && = 2,37 \text{ cm} \\
x_o &= && = 0 \text{ cm} \\
r_o &= \sqrt{r_x^2 + r_y^2 + x_o^2} && = 6,349 \text{ cm} \\
J &= 2 \cdot J_s && = 6530 \text{ cm}^4 \\
C_w &= 2 \cdot C_{w_s} && = 2608 \text{ cm}^6 \\
\text{Span} &= && = 400 \text{ cm}
\end{aligned}$$

Batasan dimensi untuk direct strength method

Berdasarkan AISI S100-16 section B4.1 elemen struktur yang didesain dengan metode Direct Streght Method (DSM) harus memenuhi batasan pada section B4.1.

$$\begin{aligned}
w &= B - 2 \cdot (t+R) && = 49,075 \text{ mm} \\
t &= && = 3,2 \text{ mm} \\
b_o &= B && = 65 \text{ mm} \\
b &= B - 2 \cdot (t+R) && = 49,075 \text{ mm} \\
d_o &= C && = 20 \text{ mm} \\
d &= d_o - (t+R) && = 12,0375 \text{ mm} \\
h &= H - 2 \cdot (t+R) && = 134,075 \text{ mm} \\
R &= && = 4,762 \text{ mm} \\
n_f &= && = 0 \\
n_{fe} &= && = 0 \\
n_{fw} &= && = 0 \\
F_y &= && = 300 \text{ MPa}
\end{aligned}$$

Kontrol :

- $\frac{w}{t} = \frac{49,075}{3,2} = 15,336 \leq 500 \dots (\text{OK})$
- $\frac{b}{t} = \frac{49,075}{3,2} = 15,336 \leq 160 \dots (\text{OK})$
- $\frac{d}{t} = \frac{12,0375}{3,2} = 3,762 \leq 60 \dots (\text{OK})$
- $\frac{h}{t} = \frac{134,075}{3,2} = 41,898 \leq 300 \dots (\text{OK})$
- $\frac{R}{t} = \frac{4,762}{3,2} = 1,488 \leq 20 \dots (\text{OK})$
- $\frac{d_o}{b_o} = \frac{20}{65} = 0,308 \leq 0,7 \dots (\text{OK})$
- Type edge stiffner pada penampang adalah simple... (OK)
- $n_f = 0 \leq 4 \dots (\text{OK})$
- $n_{fe} = 0 \leq 2 \dots (\text{OK})$

- $n_w = 0 \leq 4 \dots$  (OK)
- $F_y = 300 \text{ MPa} \leq 655 \text{ MPa} \dots$  (OK)

Gaya dalam elemen balok

$$M_u = 13,909 \text{ kNm}$$

$$V_u = 23,116 \text{ kN}$$

$$P_u = 0,167 \text{ kN}$$

### 1. Desain Lentur

Perencanaan kekuatan lentur mengacu pada AISI S100-16 section F. Dalam perencanaan kekuatan lentur dari elemen balok cold-formed dipilih nilai terkecil antara kapasitas leleh & tekuk global ( $M_{ne}$ ), interaksi antara tekuk lokal & tekuk global ( $M_{nl}$ ), dan tekuk distorsional ( $M_{nd}$ ). Adapun perhitungannya akan dibahas lebih lanjut dalam pembahasan berikut.

#### a. Kapasitas leleh dan tekuk global ( $M_{ne}$ )

Kekuatan lentur nominal untuk leleh dan tekuk global dihitung dengan cara sebagai berikut.

$$M_{ne} = S_f \cdot F_n \leq M_y$$

$$S_f = \frac{I_x}{y/2} = 88533,33 \text{ mm}^3$$

$$M_{max} = 13,909 \text{ kNm}$$

$$M_A = 12,647 \text{ kNm}$$

$$M_B = 8,202 \text{ kNm}$$

$$M_C = 0,918 \text{ kNm}$$

$$C_b = \frac{12,5 M_{max}}{2,5 M_{max} + 3M_A + 4M_B + 3M_C} = 2,310$$

$$r_o = 63,49 \text{ mm}$$

$$A = 1914 \text{ mm}^2$$

$$E = 200000 \text{ MPa}$$

$$K_y = 1$$

$$L_y = 1500 \text{ mm (asumsi pada tengah bentang terdapat pengekang transversal)}$$

$$r_y = 23,7 \text{ mm}$$

$$\sigma_{ey} = \frac{\pi^2 E}{(K_y L_y / r_y)^2} = 492,770 \text{ MPa}$$

$$G = 77200 \text{ MPa}$$

$$J = \frac{2t^3}{3} [a + 2b + 2u + \alpha(2c + 2u)] = 6471,821 \text{ mm}^4$$

$$C_w = 5216000000 \text{ mm}^6$$

$$K_t = 1$$

$L_t = 1500$  mm (asumsi pada tengah bentang terdapat pengekang transversal)

$$\sigma_t = \frac{1}{A r_o^2} \left[ GJ + \frac{\pi^2 E C_w}{(K_t L_t)^2} \right] = 657,876 \text{ MPa}$$

$$F_{cre} = \frac{C_b r_o A}{S_f} \sqrt{\sigma_{ey} \sigma_t} = 1804,967 \text{ MPa} > 2,78 F_y =$$

834 MPa ... maka  $F_n = F_y$

$$F_n = F_y = 300 \text{ MPa}$$

$$M_{ne} = S_f F_n = 26560000 \text{ Nmm} = 26,56 \text{ kNm}$$

$$M_y = S_f F_y = 26560000 \text{ Nmm} = 26,56 \text{ kNm}$$

$$M_{ne} \leq M_y \dots (\text{OK})$$

b. Kapasitas interaksi tekuk lokal dan tekuk global ( $M_{nl}$ )

Kekuatan lentur nominal akibat interaksi tekuk lokal dan tekuk global dihitung dengan cara sebagai berikut.

$$M_{ne} = 26,56 \text{ kNm}$$

$$S_f = \frac{I_x}{y/2} = 88533,33 \text{ mm}^3$$

$$k = 4$$

$$E = 200000 \text{ MPa}$$

$$\mu = 0,3$$

$$t = 3,2 \text{ mm}$$

$$w = 49,075 \text{ mm}$$

$$F_{crl} = k \frac{\pi^2 E}{12(1-\mu^2)} \left( \frac{t}{w} \right)^2 = 3074,301 \text{ MPa}$$

$$M_{crl} = S_f F_{crl} = 272,178 \text{ kNm}$$

$$\lambda_l = \sqrt{M_{ne}/M_{crl}} = 0,312 \leq 0,776 \text{ maka } M_{nl} = M_{ne}$$

$$M_{nl} = M_{ne} = 26,56 \text{ kNm}$$

c. Kapasitas tekuk distorsional ( $M_{nd}$ )

Kekuatan lentur nominal akibat tekuk distorsional dihitung dengan cara sebagai berikut.

$$M_y = 26,56 \text{ kNm}$$

$$S_f = \frac{I_x}{y/2} = 88533,33 \text{ mm}^3$$

$$h_o = 150 \text{ mm}$$

$$t = 3,2 \text{ mm}$$

$$b = B - t = 61,8 \text{ mm}$$

$$d = C - 0,5t = 18,4 \text{ mm}$$

$$I_{xf} = \frac{t(t^2 b^2 + 4bd^3 + t^2 bd + d^4)}{12(b+d)} = 5670,189 \text{ mm}^3$$

$$x_{of} = \frac{b^2}{2(b+d)} = 23,81 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
h_{xf} &= \frac{-(b^2+2db)}{2(b+d)} = -37,989 \text{ mm} \\
C_{wf} &= 0 \\
I_{xyf} &= \frac{tb^2d^2}{4(b+d)} = 12898,173 \text{ mm}^4 \\
I_{yf} &= \frac{t(b^4+4db^3)}{12(b+d)} = 106262,114 \text{ mm}^3 \\
I_{xf} &= \frac{t(t^2b^2+4bd^3+t^2bd+d^4)}{12(b+d)} = 5670,189 \text{ mm}^3 \\
J_f &= \frac{1}{3}bt^3 + \frac{1}{3}dt^3 = 875,997 \text{ mm}^4 \\
L_{crd} &= \left\{ \frac{6\pi^4 h_o(1-\mu^2)}{t^3} \left[ I_{xf}(x_{of} - h_{xf})^2 + C_{wf} - \frac{I_{xyf}^2}{I_{yf}} (x_{of} - h_{xf})^2 \right] \right\}^{0,25} = \\
&441,997 \text{ mm} \\
L &= L_{crd} = 441,997 \text{ mm} \\
k_{\Phi fe} &= \left(\frac{\pi}{L}\right)^4 \left[ EI_{xf}(x_{of} - h_{xf})^2 + EC_{wf} - E \frac{I_{xyf}^2}{I_{yf}} (x_{of} - h_{xf})^2 \right] + \\
&\left(\frac{\pi}{L}\right)^2 GJ_f = 8001,953 \\
h_o &= 150 \text{ mm} \\
k_{\Phi we} &= \frac{Et^3}{6h_o(1-\mu^2)} = 8001,953 \\
k_{\Phi} &= 0 \\
A_f &= (b+d)t = 256,64 \text{ mm}^2 \\
h_{yf} &= y_{of} = \frac{-d^2}{2(b+d)} = 2,11 \text{ mm} \\
\tilde{k}_{\Phi fg} &= \left(\frac{\pi}{L}\right)^2 \left\{ A_f \left[ (x_{of} - h_{xf})^2 \left(\frac{I_{xyf}}{I_{yf}}\right)^2 - 2y_{of}(x_{of} - h_{xf}) \left(\frac{I_{xyf}}{I_{yf}}\right) + h_{xf}^2 + \right. \right. \\
&\left. \left. y_{of}^2 \right] + I_{xf} + I_{yf} \right\} = 24,742 \\
\tilde{k}_{\Phi wg} &= \left(\frac{\pi}{L}\right)^2 \frac{t h_o^3}{60} = 9,093 \\
F_{crd} &= \frac{k_{\Phi fe} + k_{\Phi we} + k_{\Phi}}{\tilde{k}_{\Phi fg} + \tilde{k}_{\Phi wg}} = 472,979 \text{ MPa} \\
M_{crd} &= S_f 2.F_{crd} = 83,74 \text{ kNm} \\
\lambda_d &= \sqrt{M_y/M_{crd}} = 0,563 \leq 0,673 \text{ maka } M_{nd} = M_y \\
M_{nd} &= M_y = 26,56 \text{ kNm}
\end{aligned}$$

d. Available flexural strength (factored resistance)

Perhitungan kekuatan lentur yang tersedia dapat dilakukan dengan memperoleh nilai terkecil antara antara kapasitas leleh & tekuk global ( $M_{ne}$ ), interaksi antara tekuk lokal & tekuk global ( $M_{nl}$ ), dan tekuk distorsional ( $M_{nd}$ ) kemudian dikalikan dengan faktor reduksi kekuatan untuk LRFD  $\phi_b = 0,9$ . Perhitungan adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
M_{ne} &= 26,56 \text{ kNm} \\
M_{nl} &= 26,56 \text{ kNm} \\
M_{nd} &= 26,56 \text{ kNm} \\
\text{Maka:} \\
M_n &= 26,56 \text{ kNm} \\
\phi_b M_n &= 0,9 \cdot 26,56 = 23,904 \text{ kNm} \geq M_u = 13,909 \text{ kNm} \dots (\text{OK})
\end{aligned}$$

## 2. Desain Geser

Desain geser balok baja *cold-formed* mengacu pada AISI S100-16 section G. Perhitungan kapasitas geser ( $V_n$ ) adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
h &= 134,075 \text{ mm} \\
t &= 3,2 \text{ mm} \\
A_w &= 2 h t = 858,08 \text{ mm}^2 \\
F_y &= 300 \text{ MPa} \\
V_y &= 0,6 A_w F_y = 154454,4 \text{ N} = 154,454 \text{ kN} \\
E &= 200000 \text{ MPa} \\
\mu &= 0,3 \\
a &= 1500 \text{ mm (asumsi pada tengah bentang terdapat pengeang transversal)} \\
a/h &= 11,188 > 1,0 \text{ maka perhitungan } k_v \text{ adalah sebagai berikut.} \\
k_v &= 5,34 + \frac{4}{(a/h)^2} = 5,372 \\
V_{cr} &= A_w F_{cr} = 474648,155 \text{ N} = 474,648 \text{ kN} \\
\lambda_v &= \sqrt{V_y/V_{cr}} = 18,039 > 1,227 \text{ maka } V_n = V_{cr} \\
V_n &= V_{cr} = 474,648 \text{ kN} \\
\phi_v V_n &= 0,9 \cdot 474,648 = 450,915 \text{ kN} \geq V_u = 23,116 \text{ kN} \dots (\text{OK})
\end{aligned}$$

## 3. Interaksi momen dan geser

Untuk balok yang mengalami momen dan geser harus memenuhi persamaan interaksi momen dan geser sebagai berikut.

$$\sqrt{\left(\frac{\bar{M}}{M_{alo}}\right)^2 + \left(\frac{\bar{V}}{V_a}\right)^2} \leq 1,0$$

Sehingga perhitungan kontrol interaksi momen dan geser dapat dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
&\sqrt{\left(\frac{\bar{M}}{M_{alo}}\right)^2 + \left(\frac{\bar{V}}{V_a}\right)^2} \leq 1,0 \\
&\sqrt{\left(\frac{13,909}{23,904}\right)^2 + \left(\frac{23,116}{450,916}\right)^2} = 0,584 \leq 1,0 \dots (\text{OK})
\end{aligned}$$

#### 4.5.2.2 Kolom

Pada perhitungan kolom akan digunakan profil baja *cold-formed* Double Channel C 200 x 75 x 20 x 3,2 sesuai dengan yang tersedia dalam brochure yang tersedia. Perhitungan kolom baja *cold-formed* untuk CF-A1 adalah sebagai berikut:

##### Material Properti

$$E = 200000 \text{ MPa}$$

$$F_y = 500 \text{ MPa}$$

$$F_u = 500 \text{ MPa}$$

$$G = 77200 \text{ MPa}$$

$$\mu = 0,3$$

##### Properti Penampang Single Channel C 200 x 75 x 20

$$H = 200 \text{ mm}$$

$$B = 75 \text{ mm}$$

$$C = 20 \text{ mm}$$

$$t = 3,2 \text{ mm}$$

$$A = 11,81 \text{ cm}^2$$

$$I_x = 716 \text{ cm}^4$$

$$I_y = 84 \text{ cm}^4$$

$$Z_x = 71,6 \text{ cm}^3$$

$$Z_y = 15,8 \text{ cm}^3$$

$$r_x = 7,79 \text{ cm}$$

$$r_y = 2,67 \text{ cm}$$

$$C_y = 2,19 \text{ cm}$$

$$X_o = 5,39 \text{ cm}$$

$$J = 0,4001 \text{ cm}^4$$

$$C_w = 6779 \text{ cm}^6$$

##### Properti Penampang Double Channel C 200 x 75 x 20

$$H = 200 \text{ mm}$$

$$B = 75 \text{ mm}$$

$$C = 20 \text{ mm}$$

$$t = 3,2 \text{ mm}$$

$$A = 2 \cdot A_s = 23,62 \text{ cm}^2$$

$$I_x = 2 \cdot I_{xs} = 1432 \text{ cm}^4$$

$$I_y = 2 \cdot I_{ys} + A \cdot C_y^2 = 281,28 \text{ cm}^4$$

$$r_x = = 7,79 \text{ cm}$$

$$r_y = = 2,67 \text{ cm}$$

$$x_o = = 0 \text{ cm}$$



$$r_o = \sqrt{r_x^2 + r_y^2 + x_o^2} = 8,23 \text{ cm}$$

$$J = 2 \cdot J_s = 0,8002 \text{ cm}^4$$

$$C_w = 2 \cdot C_{w_s} = 13558 \text{ cm}^6$$

#### Dimensi Kolom

$$L = 3000 \text{ mm}$$

$$L_{\text{Mid}} = 1000 \text{ mm}$$

#### Batasan dimensi untuk direct strength method

Berdasarkan AISI S100-16 section B4.1 elemen struktur yang didesain dengan metode Direct Strength Method (DSM) harus memenuhi batasan yang terdapat pada Tabel.

$$w = B - 2 \cdot (t+R) = 59,075 \text{ mm}$$

$$t = 3,2 \text{ mm}$$

$$b_o = B = 75 \text{ mm}$$

$$b = B - 2 \cdot (t+R) = 59,075 \text{ mm}$$

$$d_o = C = 20 \text{ mm}$$

$$d = d_o - (t+R) = 12,0375 \text{ mm}$$

$$h = H - 2 \cdot (t+R) = 184,075 \text{ mm}$$

$$R = 4,762 \text{ mm}$$

$$n_f = 0$$

$$n_{fe} = 0$$

$$n_{fw} = 0$$

$$F_y = 500 \text{ MPa}$$

Kontrol :

- $\frac{w}{t} = \frac{59,075}{3,2} = 18,461 \leq 500 \dots (\text{OK})$
- $\frac{b}{t} = \frac{59,075}{3,2} = 18,461 \leq 160 \dots (\text{OK})$
- $\frac{d}{t} = \frac{12,0375}{3,2} = 3,762 \leq 60 \dots (\text{OK})$
- $\frac{h}{t} = \frac{184,075}{3,2} = 57,523 \leq 300 \dots (\text{OK})$
- $\frac{R}{t} = \frac{4,762}{3,2} = 1,488 \leq 20 \dots (\text{OK})$
- $\frac{d_o}{b_o} = \frac{20}{75} = 0,266 \leq 0,7 \dots (\text{OK})$
- Type edge stiffener pada penampang adalah simple... (OK)
- $n_f = 0 \leq 4 \dots (\text{OK})$
- $n_{fe} = 0 \leq 2 \dots (\text{OK})$
- $n_w = 0 \leq 4 \dots (\text{OK})$
- $F_y = 500 \text{ MPa} \leq 655 \text{ MPa} \dots (\text{OK})$

### Sambungan Double Channel dengan Screw

$$D \text{ Screw} = 4,8 \text{ mm}$$

$$y = 150 \text{ mm}$$

$$s = 50 \text{ cm}$$

#### Gaya dalam elemen kolom

$$M_{ux} = 41,404 \text{ kNm}$$

$$M_{uy} = 3,046 \text{ kNm}$$

$$P_u = 12,636 \text{ kN}$$

#### 1. Desain Aksial

Perencanaan kekuatan aksial mengacu pada AISI S100-16 section D. Dalam perencanaan kekuatan aksial dari elemen kolom cold-formed dipilih nilai terkecil antara kapasitas tekuk lokal dan tekuk torsional. Adapun perhitungannya akan dibahas lebih lanjut dalam pembahasan berikut.

##### a. Kapasitas tekuk lentur arah X

$$K_x = 1$$

$$\left(\frac{KL}{r}\right)_x = \frac{K_x L}{r_x} = 38,51$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{(KL/r)_x^2} = 1330,951 \text{ MPa}$$

##### b. Kapasitas tekuk lentur arah Y

$$K_y = 1$$

$$\left(\frac{KL}{r}\right)_m = \sqrt{\left(\frac{KL}{r}\right)_o^2 + \left(\frac{a}{r_y}\right)^2} = 41,88$$

$$\frac{a}{r_y} = 18,73 < \frac{113,91}{2} = 20,94 \dots (\text{OK})$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{(KL/r)_y^2} = 1125,8 \text{ MPa}$$

##### c. Kapasitas tekuk torsional

$$F_e = \sigma_t = \frac{1}{A r_o^2} \left[ GJ + \frac{\pi^2 E C_w}{(K_t L_t)^2} \right] = 17094 \text{ MPa}$$

##### d. Kapasitas aksial

$$F_e = 1125,8 \text{ MPa}$$

$$\lambda_c = \sqrt{F_y / F_e} = 0,666 < 1,5$$

$$F_e = [0,658 \lambda_c^2] F_y = 415,18 \text{ MPa}$$

$$A_e = (2)(0,85 A_s) = 20,08 \text{ cm}^2$$

$$P_n = A_e F_n = 833,55 \text{ kN}$$

## 2. Desain Lentur

Perencanaan kekuatan lentur mengacu pada AISI S100-16 section C. Dalam perencanaan kekuatan lentur dari elemen kolom cold-formed dipilih nilai terkecil antara kapasitas tekuk lokal dan tekuk torsional. Adapun perhitungannya akan dibahas lebih lanjut dalam pembahasan berikut.

### a. Kapasitas Ijin Sambungan Screw untuk Penampang Double Channel

$$g = 150 \text{ mm}$$

$$m = 3,2 \text{ mm}$$

#### Pull-Out

$$P_{\text{not}} = 0,85t_c d F_u = 6800 \text{ N}$$

#### Pull-Over

$$d'_w = d_h = 10 \text{ mm (Washer Head Diameter)}$$

$$P_{\text{nov}} = 1,5t_l d'_w F_u = 24000 \text{ N}$$

#### Screw Tension

$$P_{\text{ts}} = 9000 \text{ N (Screw Manufacturer)}$$

$$P_{\text{nt}} = P_{\text{ts}} = 9000 \text{ N}$$

$$P_{\text{n used}} = 6800 \text{ N}$$

$$T_s = \phi P_n = 3400 \text{ N}$$

$$q = (1)(3)(50) = 150 \text{ N per mm}$$

$$S_{\text{max}} = \frac{L}{6} \leq \frac{2gT_s}{mq}$$

$$S_{\text{max}} = 500 \text{ mm} \leq 127,5 \text{ mm}$$

$$S_{\text{used}} = 100 \text{ mm} \leq 127,5 \text{ mm} \dots (\text{OK})$$

### b. Kapasitas Lentur

$$\sigma_{ey} = \frac{\pi^2 E}{(K_y L_y / r_y)^2} = 1407,2 \text{ MPa}$$

$$\sigma_t = 17094 \text{ MPa}$$

$$C_b = 1 \text{ (Konservatif)}$$

$$F_e = \frac{C_b \Gamma_o A}{S_f} \sqrt{\sigma_{ey} \sigma_t} = 666,18 \text{ MPa} < 0,56 F_y = 168 \text{ MPa}$$

$$0,56 F_y < F_e < 2,78 F_y, F_c = \frac{10}{9} F_y \left(1 - \frac{10 F_y}{36 F_e}\right) = 439,73 \text{ MPa}$$

$$S_c = S_{\text{gross}} = 143,2 \text{ mm}^3$$

$$M_n = S_c F_c = 62,969 \text{ kNm}$$

## 3. Interaksi Aksial dan Momen

$$\phi_c = 0,85$$

$$\phi_b = 0,90$$

$$P_{\text{ex}} = \frac{\pi^2 E I_x}{(K_x L_x)^2} = 3140,727 \text{ kN}$$

$$\alpha_x = 1 - \frac{P_u}{P_{ex}} = 0,941$$

$$C_{mx} = 1,0$$

$$\frac{P_u}{\phi_c P_n} + \frac{C_{mx} M_{ux}}{\phi_b M_n \alpha_x} + \frac{C_{my} M_{uy}}{\phi_b M_n \alpha_y} \leq 1,0$$

$$\frac{41,404}{0,85 \cdot 833,55} + \frac{1 \cdot 3,046}{0,9 \cdot 62,969 \cdot 0,941} + \frac{1 \cdot 12,636}{0,9 \cdot 62,969 \cdot 0,941} = 0,338$$

$$\leq 1,0 \dots (\text{OK})$$

#### 4.5.2.3 Sambungan

Pada perhitungan sambungan baja *cold-formed* menggunakan baut. Untuk menyambungkan antara balok dan kolom terdapat tambahan gusset plate setebal 6 mm. Perhitungan sambungan baja *cold-formed* untuk CF-A1 adalah sebagai berikut:

##### Material Properti

$$E = 200000 \text{ MPa}$$

$$F_y = 300 \text{ MPa}$$

$$F_u = 300 \text{ MPa}$$

$$G = 77200 \text{ MPa}$$

$$\mu = 0,3$$

##### Dimensi Sambungan

$$L = 400 \text{ mm}$$

$$B = 150 \text{ mm}$$

##### Sambungan Baut

$$\text{Grade} = \text{A307}$$

$$D \text{ Bolts} = 15 \text{ mm}$$

$$\text{Lubang} = 1,5 \text{ mm}$$

$$s \text{ Bolts} = 50 \text{ mm}$$

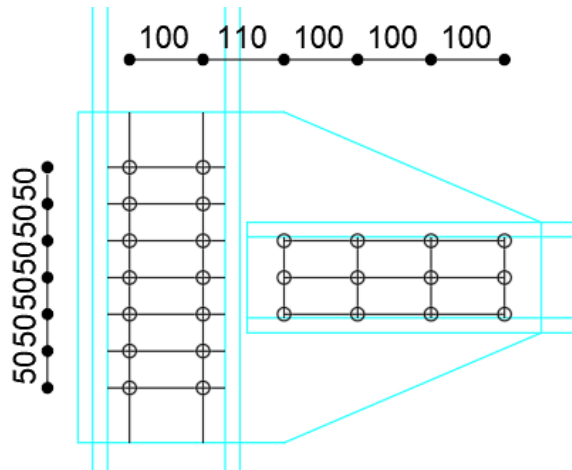
$$s \text{ Edge} = 50 \text{ mm}$$

##### Gaya dalam Sambungan

$$M_u = 17,009 \text{ kNm}$$

$$P_u = 26,392 \text{ kN}$$

Beban pada Sambungan dengan Reduksi Eksentrisitas



Akibat  $P_u$ :

$$P_{V1} = P_u/12 = 2,2 \text{ kN}$$

Akibat  $M_u$ :

$$P_{V2} = \frac{P_u \cdot L_x}{\sum x^2 + \sum y^2} = 10,364 \text{ kN}$$

$$P_H = \frac{P_u \cdot L_y}{\sum x^2 + \sum y^2} = 4,379 \text{ kN}$$

Total:

$$\sum P_V = P_{V1} + P_{V2} = 12,563 \text{ kN}$$

$$P_{\text{total}} = \sqrt{P_V^2 + P_H^2} = 13,305 \text{ kN}$$

1. Minimum Spacing dan Jarak Tepi Baut

Perencanaan sambungan baut mengacu pada AISI S100-16 section E. Adapun perhitungannya akan dibahas lebih lanjut dalam pembahasan berikut.

$$s = 50 \text{ mm} > 3D = 45 \text{ mm} \dots (\text{OK})$$

$$s_{\text{edge}} = 550 \text{ mm} > 1,5D = 22,5 \text{ mm} \dots (\text{OK})$$

2. Kekuatan berdasarkan Tegangan pada Sambungan

Perencanaan sambungan baut mengacu pada AISI S100-16 section C. Adapun perhitungannya akan dibahas lebih lanjut dalam pembahasan berikut.

a. Yielding of the gross cross-section

$$A_g = (3,2)(400) = 1280 \text{ mm}^2$$

$$T_n = A_g F_y = 384000 \text{ N}$$

$$\phi_t = 0,90$$

$$\phi_t T_n = 0,90 \cdot 384000 = 345600 \text{ N} = 345,6 \text{ Kn}$$

b. Rupture of the net section

$$A_n = A_g = 1280 \text{ mm}^2$$

$$T_n = A_n F_u = 384000 \text{ N}$$

$$\phi_t = 0,90$$

$$\phi_t T_n = 0,90 \cdot 384000 = 345600 \text{ N} = 345,6 \text{ kN}$$

3. Kekuatan berdasarkan Rupture pada Sambungan

Perencanaan sambungan baut mengacu pada AISI S100-16 section E. Adapun perhitungannya akan dibahas lebih lanjut dalam pembahasan berikut.

a. Rupture of net section

$$A_{nt} = 3,2[400 - (4(15 + 1,5))] = 1068,8 \text{ mm}^2$$

$$s = 50 \text{ mm}$$

$$U_{sl} = 3,33(d/s) = 0,999 < 1,0$$

$$A_e = U_{sl} A_{nt} = 1067,7 \text{ mm}^2$$

$$P_n = A_e F_u = 320319 \text{ kN}$$

$$\phi = 0,65$$

$$\phi P_n = 0,65 \cdot 320319 = 208208 \text{ N} = 208,2 \text{ kN}$$

b. Block shear rupture

$$A_{gv} = (3)(100)(3,2) = 960 \text{ mm}^2$$

$$A_{gt} = (2)(50)(3,2) = 320 \text{ mm}^2$$

$$A_{nv} = 960 - (0,5)(3,2)(3)(15 + 1,5) = 880,8 \text{ mm}^2$$

$$A_{nt} = 320 - (0,5)(3,2)(2)(15 + 1,5) = 267,2 \text{ mm}^2$$

$$R_{n1} = 0,6F_y A_{gv} + U_{bs} F_u A_{nt} = 252,96 \text{ kN}$$

$$R_{n2} = 0,6F_u A_{nv} + U_{bs} F_u A_{nt} = 238,7 \text{ kN}$$

$$R_n = 238,7 \text{ kN}$$

$$\phi = 0,65$$

$$\phi P_n = 0,65 \cdot 238,7 \text{ kN} = 155,16 \text{ kN}$$

4. Kekuatan berdasarkan Bearing

Perencanaan sambungan baut mengacu pada AISI S100-16 section E. Adapun perhitungannya akan dibahas lebih lanjut dalam pembahasan berikut.

$$m_f = 2$$

$$d/t = 15/3,2 = 4,6875 < 10, C = 3.0$$

$$P_n = C m_f d t F_u = 86400 \text{ N/bolt}$$

$$\phi = 0,60$$

$$\phi P_n = 0,60 \cdot 12 \cdot 86400 \text{ N} = 622080 \text{ N} = 622,08 \text{ kN}$$

5. Kekuatan berdasarkan Geser Baut

$$A_b = (\pi/4)(D)^2 = 176,71 \text{ mm}^2$$

$$F_n = F_{nv} = 300 \text{ MPa}$$

$$P_n = A_b F_n = 53014 \text{ N/bolt}$$

$$\phi = 0,75$$

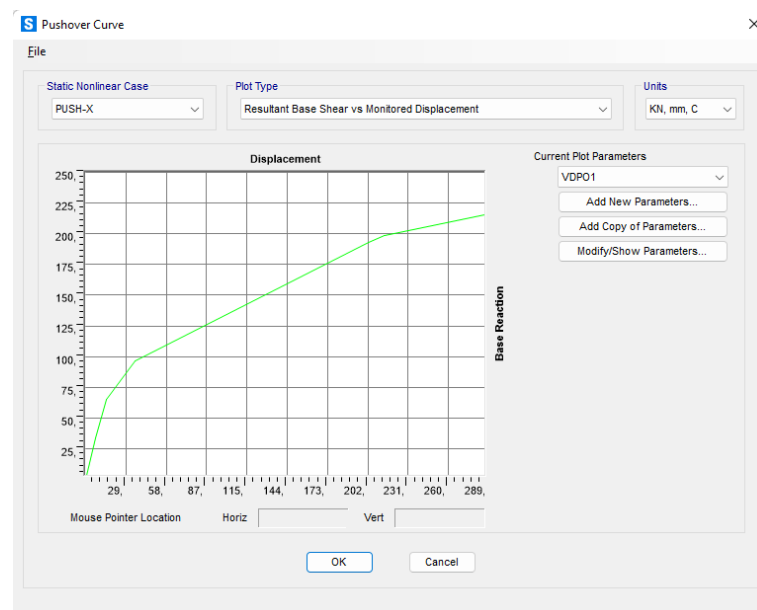
$$\phi P_n = 0,75 \cdot 12 \cdot 53014 \text{ N} = 477129 \text{ N} = 477,13 \text{ kN}$$

6. Kekuatan Sambungan Baut

$$\phi P_u = 155,16 \text{ kN} \geq P_u = 13,305 \text{ kN} \dots (\text{OK})$$

#### 4.5.3 Pushover Analysis CF-A1

Hasil *pushover analysis* yang dilakukan dengan SAP2000 dari permodelan CF-A1 adalah *Pushover curve*, daktilitas, level kinerja struktur, dan energi disipasi. *Pushover curve* yang didapatkan dari analisis *pushover* menggambarkan kekuatan struktur yang besarnya sangat tergantung dari kemampuan momen deformasi dari masing-masing komponen struktur. *Pushover curve* adalah kurva yang menunjukkan hubungan antara perpindahan (*displacement*) dan gaya geser (*base shear*) yang diakibatkan oleh beban statik sampai pada kondisi ultimit bangunan atau *target displacement* yang telah ditentukan. *Pushover curve* yang permodelan model CF-A1 dapat dilihat pada Gambar 4.9.

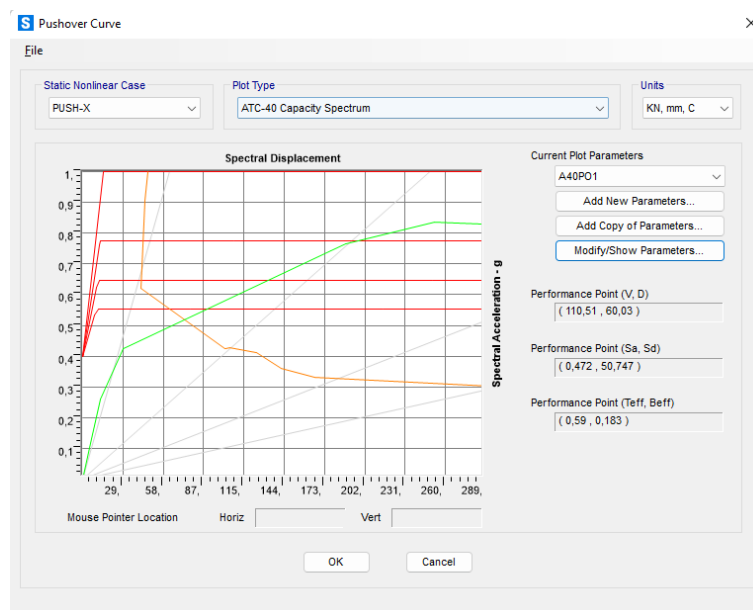


Gambar 4.9 *Pushover Curve* CF-A1

Dari Gambar 4.9 didapatkan *base shear* untuk leleh pertama sebesar 33,4 kN dengan *displacement* 7,229 mm dan *base shear* maksimum sebesar 216,061 kN dengan *displacement* sebesar 288,557 mm. Daktilitas struktur dapat ditentukan dengan menghitung rasio dari *base shear* maksimum terhadap *base shear* saat pelepasan pertama dari kurva *pushover* pada Gambar 4.9. Sehingga daktilitas yang merupakan *base shear* maksimum terhadap *base shear* saat pelepasan pertama adalah 6,468.

Metode spektrum kapasitas menggunakan kurva kapasitas yang telah dikonversi ke dalam format ADRS (*Acceleration Displacement Response Spectrum*) yaitu hubungan antara  $S_a$  dan  $S_d$  dan kurva *seismic demand* yang dikonversi ke dalam bentuk *spectrum demand*. Konversi dilakukan otomatis oleh program SAP2000 yang membentuk kurva kapasitas, *spectrum demand*, dan titik kinerjanya yang dapat dilihat pada Gambar 4.10.

Dari kurva respon spektrum rencana sesuai dengan SNI 1726-2019 untuk bangunan dengan kota Yogyakarta dan kondisi tanah SE, diperoleh nilai  $C_a = 0,4$  dan  $C_v = 1,2168$  yang diperlukan sebagai input data pada program SAP2000, selanjutnya hitungan sepenuhnya akan dianalisis oleh SAP2000.



Gambar 4.10 Level Kinerja Struktur CF-A1

Pada Gambar 4.10 dapat dilihat hasil simpangan struktur CF-A1 diperoleh nilai simpangan = 60,03 mm dan gaya geser dasar = 110,51 kN. Dari



hasil tersebut maka berdasarkan metode spektrum kapasitas perilaku struktur CF-A1 pada pemodelan telah mengalami kondisi inelastis yang disebabkan oleh pelelehan pada sendi plastis.

Level kinerja struktur bangunan dapat diketahui dengan melihat batasan rasio *displacement* yang dievaluasi pada *performance point*, dengan parameter yang ditinjau adalah *maksimum total drift*. Batasan drift rasio menurut metode ATC-40 ditentukan dari perbandingan *displacement* dengan tinggi total bangunan. Dari hasil *maksimum total drift*, akan dikoreksi pada batasan rasio *roof drift* menurut ATC-40 pada Tabel 4.8. Sehingga didapatkan rasio batasan *drift* adalah 0,02.

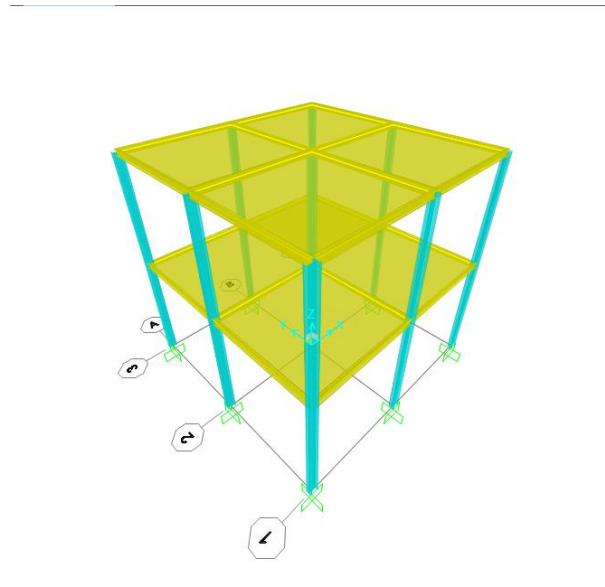
Tabel 4.8 Level Kinerja Struktur

<i>Interstory Drift Limit</i>	<i>Performance Level</i>			
	<i>Immediate Occupancy</i>	<i>Damage Control</i>	<i>Life Safety</i>	<i>Structural Stability</i>
<i>Maximum Total Drift</i>	0,01	0.01 - 0.02	0,02	0.33 $V_i/P_i$
<i>Maximum Inelastic Drift</i>	0,005	0.005 - 0.015	no limit	no limit

Dari hasil analisis di atas dapat dilihat level kinerja struktur CF-A1 pada pemodelan menunjukkan hasil level kinerja *Life Safety (LS)*. Kriteria tersebut menunjukkan bangunan mengalami kerusakan sedang. Beberapa elemen struktur rusak dan kehilangan kekuatan dan kekakuannya, tapi bangunan masih dapat berdiri. Penghuni didalamnya masih dapat selamat dan keluar menyelamatkan diri saat terjadi gempa.

#### 4.6 Model Struktur Baja *Cold-Formed* 2 Lantai dengan Jarak Kolom 3 meter (CF-A2)

Model struktur CF-A2 adalah model desain hunian tetap yang direncanakan oleh Puslit MKPI ITS dengan 2 lantai dengan jarak kolom 3 meter. Model ini menggunakan mutu sesuai dengan *brochure* untuk semua elemen profil dan plat baja. Profil balok menggunakan DoubleCF150x50x20x3,2 sedangkan kolom menggunakan profil DoubleCF200x75x20x3,2. Model struktur secara detail dapat dilihat pada model 3D SAP2000 pada Gambar 4.11.



Gambar 4.11 Model CF-A2

Sebelum dilakukan analisis secara non-linear menggunakan *software* SAP2000, langkah awal yang dilakukan adalah melakukan perhitungan analisis struktur seperti perbandingan beban struktur, partisipasi massa, periode fundamental struktur, perbandingan  $V_{desain}$  dan  $V_{dinamis}$ , dan simpangan lantai struktur.

#### 4.6.1 Analisis Struktur CF-A2

Dalam menganalisis pemodelan struktur yang terdapat di SAP2000 diperlukan pengecekan dengan perhitungan secara manual. Komparasi perhitungan beban harus dilakukan sebagai perbandingan perhitungan yang dilakukan pada SAP2000 benar. Apabila terdapat selisih antara pembebanan pada SAP2000 dan manual maksimal sekitar  $\pm 5\%$ . Untuk perbandingan tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Perbandingan Beban SAP2000 dan Manual CF-A2

JENIS BEBAN	TOTAL BEBAN <i>kN</i>	HASIL SAP2000 <i>kN</i>	SELISIH PERSEN %	STATUS
LL	138,24	138,24	0,00	OK
SDL	476,604	476,603	0,00	OK
DL	19,37	18,674	3,73	OK

Pada Tabel 4.9 didapatkan beban live dan beban super imposed dead tidak terdapat selisih, namun untuk beban dead dari kolom dan balok memiliki perbedaan 3,73% dikarenakan perhitungan beban tiap profil pada SAP2000 berbeda dengan beban tiap profil pada brochure yang digunakan.

Partisipasi massa struktur model CF-A2 pada SAP2000 juga perlu dilakukan pengecekan. Partisipasi massa struktur di perhitungan SAP2000 harus sesuai dengan parameter yang dibutuhkan yakni melebihi 90%. Partisipasi massa struktur di SAP2000 dinyatakan dengan Dynamic Percent. Hasil partisipasi massa pada SAP2000 dapat dilihat pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10 Perbandingan Partisipasi Massa CF-A2

ARAH	DYNAMIC PERCENT %	STATUS
UX	100	OK
UY	100	OK

Partisipasi massa struktur yang dihasilkan pada model CF-A2 untuk arah X sebesar 100% dan untuk arah Y sebesar 100%. Sehingga model CF-A2 memenuhi persyaratan minimum partisipasi massa struktur.

Setelah dilakukan partisipasi massa struktur, dilakukan pengecekan periode fundamental struktur. Periode tersebut harus dibandingkan antara hasil di SAP2000 dengan hitungan manual. Periode fundamental struktur (T), baik untuk sumbu X atau sumbu Y nilainya diantara dari Ta dan Cu.Ta. Hasil periode struktur pada model CF-A2 dapat dilihat pada Tabel 4.11.

Tabel 4.11 Perbandingan T dengan Ta dan Cu.Ta CF-A2

SUMBU	Ta	Cu.Ta	T
X	0,304	0,425	0,590
Y			1,195

Nilai Ta dan CuTa didapatkan dari perhitungan manual. Nilai T dapat dilihat pada Tabel 4.11 didapatkan untuk arah X sebesar 0,590 s dan untuk arah Y sebesar 1,195 s. Apabila untuk nilai T kurang dari Ta, maka untuk perhitungan gaya geser akan menggunakan Ta dan apabila T melebihi CuTa akan menggunakan nilai Cu.Ta.

Selanjutnya untuk perhitungan gaya geser seismic juga harus dilakukan perbandingan. Perbandingan perhitungan gaya geser seismic di SAP2000 (Vdynamis) dengan perhitungan gaya geser seismic dengan perhitungan (Vdesain). Vdynamis dan Vdesain memiliki masing-masing dua arah sumbu, yaitu untuk sumbu X dan sumbu Y. Perhitungan gaya geser seismic dengan cara perhitungan (Vdesain) menggunakan persamaan  $V = C_s W$ .

Dari persamaan tersebut dibutuhkan  $C_s$  dengan persyaratan pada SNI1726:2019. Terdapat syarat-syarat  $C_s$  yang harus diperhitungkan dan didapatkan hasil  $C_s$  pakai dapat dilihat pada Tabel 4.12. Setelah didapatkan  $C_s$ , maka dapat diperhitungkan Vdesain dengan mengalikan  $C_s$  dengan berat struktur yang diperhitungkan pada Tabel 4.9. Maka, perbandingan antara Vdesain dengan Vdynamis dari SAP2000 dapat dilihat pada Tabel 4.13.

Tabel 4.12 Perhitungan  $C_s$  CF-A2

SUMBU	T	Cs1	Cs2	Cs3	Cs4	Cs Pakai
X	0,590	0,221	0,458	0,029	0,085	0,221
Y	1,195		0,226			0,221

Tabel 4.13 Scale Factor Perbandingan Vdesain dan Vdynamic Awal CF-A2

SUMBU	Vdesain <i>kN</i>	Vdynamic <i>kN</i>	SCALE FACTOR	STATUS
X	118,99	493,75	0,241	NOT OK
Y	118,99	502,50	0,237	NOT OK

Pada Tabel 4.13, didapatkan scale factor untuk sumbu X sebesar 0,241 dan untuk sumbu Y sebesar 0,237. Maka, scale factor tersebut dimasukkan ke dalam beban gempa SAP2000 dan didapatkan perbandingan Vdynamis dan Vdesain setelah modifikasi dapat dilihat pada Tabel 4.14.

Tabel 4.14 Perbandingan Vdesain dan Vdynamic setelah Modifikasi CF-A2

SUMBU	Vdesain <i>kN</i>	Vdynamic <i>kN</i>	SCALE FACTOR	STATUS
X	118,99	118,993	1,00	OK
Y	118,99	119,093	1,00	OK

Scale factor perbandingan  $V_{\text{dynamis}}$  dan  $V_{\text{desain}}$  model CF-A2 dapat dilihat pada Tabel 4.14. Didapatkan hasil  $V_{\text{dynamis}}$  pada SAP2000 sudah sesuai dengan  $V_{\text{desain}}$  yang diperhitungkan secara manual. Setelah didapatkan gaya gempa yang sesuai maka dilanjutkan untuk perhitungan simpangan lantai.

Simpangan lantai dari bangunan yang direncanakan di SAP2000 harus dibandingkan dengan simpangan lantai ijin yang dihitung dengan cara manual. Simpangan juga terdiri dari dua arah, yakni arah X dan Y. Untuk perhitungan simpangan dapat dilihat pada Tabel 4.15.

Tabel 4.15. Kontrol Simpangan Arah X dan Arah Y CF-A2

SUMBU X						
LANTAI KE-	Simpangan Rata-Rata $\delta_{ei}$ mm	Simpangan Diperbesar $\delta_i$ mm	Simpangan Antar Lantai $\Delta i$ mm	hsx mm	Simpangan Ijin $\Delta a$ mm	STATUS
1	13,735	34,338	34,338	3000	60	OK
2	24,707	61,768	27,430	3000	60	OK

SUMBU Y						
LANTAI KE-	Simpangan Rata-Rata $\delta_{ei}$ mm	Simpangan Diperbesar $\delta_i$ mm	Simpangan Antar Lantai $\Delta i$ mm	hsx mm	Simpangan Ijin $\Delta a$ mm	STATUS
1	59,368	148,420	148,420	3000	60	NOT OK
2	98,662	246,655	98,235	3000	60	NOT OK

Pada Tabel 4.15, didapatkan simpangan lantai untuk arah X sebesar 34,338 mm dan untuk arah Y sebesar 148,42 mm. Untuk simpangan ijin yang disyaratkan oleh SNI 1726:2019, simpangan ijin untuk struktur model CF-A2 adalah sebesar 0,020 dari tinggi tiap lantainya, maka simpangan ijin pada model CF-A2 sebesar 60 mm. Didapatkan simpangan lantai untuk arah X OK, namun untuk simpangan lantai untuk arah Y tidak OK dikarenakan melebihi simpangan ijin.

#### 4.6.2 Kontrol Penampang CF-A2

Setelah tahapan analisis struktur, harus dilakukan perhitungan kontrol struktur secara manual untuk kekuatan balok, kolom, dan sambungan berdasarkan desain kapasitas sesuai AISI S100-16. Berikut adalah tahapan perhitungan kekuatan balok pada sub-bab 4.6.2.1, perhitungan kekuatan kolom pada sub-bab 4.6.2.2, dan perhitungan sambungan pada sub-bab 4.6.2.3.

#### 4.6.2.1 Balok

Pada perhitungan balok akan digunakan profil baja *cold-formed* Double Channel C 150 x 65 x 20 x 3,2 sesuai dengan yang tersedia dalam brochure yang tersedia. Untuk perhitungan balok seperti pada model CF-A1. Maka untuk CF-A2 hanya berbeda beban saja. Perhitungan balok baja *cold-formed* untuk CF-A2 adalah sebagai berikut:

##### Gaya dalam elemen balok

$$M_u = 13,789 \text{ kNm}$$

$$V_u = 23,029 \text{ kN}$$

$$P_u = 0,247 \text{ kN}$$

##### 1. Desain Lentur

###### a. Kapasitas leleh dan tekuk global ( $M_{ne}$ )

Kekuatan lentur nominal untuk leleh dan tekuk global dihitung dengan cara sebagai berikut.

$$M_{ne} = S_f \cdot F_n \leq M_y$$

$$M_{ne} = S_f F_n = 26560000 \text{ Nmm} = 26,56 \text{ kNm}$$

$$M_y = S_f F_y = 26560000 \text{ Nmm} = 26,56 \text{ kNm}$$

$$M_{ne} \leq M_y \dots (\text{OK})$$

###### b. Kapasitas interaksi tekuk lokal dan tekuk global ( $M_{nl}$ )

Kekuatan lentur nominal akibat interaksi tekuk lokal dan tekuk global dihitung dengan cara sebagai berikut.

$$M_{nl} = M_{ne} = 26,56 \text{ kNm}$$

###### c. Kapasitas tekuk distorsional ( $M_{nd}$ )

Kekuatan lentur nominal akibat tekuk distorsional dihitung dengan cara sebagai berikut.

$$M_{nd} = M_y = 26,56 \text{ kNm}$$

###### d. Available flexural strength (factored resistance)

Perhitungan adalah sebagai berikut.

$$M_{ne} = 26,56 \text{ kNm}$$

$$M_{nl} = 26,56 \text{ kNm}$$

$$M_{nd} = 26,56 \text{ kNm}$$

Maka:

$$M_n = 26,56 \text{ kNm}$$

$$\phi_b M_n = 0,9 \cdot 26,56 = 23,904 \text{ kNm} \geq M_u = 13,789 \text{ kNm} \dots (\text{OK})$$

## 2. Desain Geser

Desain geser balok baja *cold-formed* mengacu pada AISI S100-16 section G. Perhitungan kapasitas geser ( $V_n$ ) adalah sebagai berikut.

$$V_n = V_{cr} = 474,648 \text{ kN}$$

$$\phi_v V_n = 0,9 \cdot 474,648 = 450,915 \text{ kN} \geq V_u = 23,029 \text{ kN} \dots (\text{OK})$$

## 3. Interaksi momen dan geser

Untuk balok yang mengalami momen dan geser harus memenuhi persamaan interaksi momen dan geser sebagai berikut.

$$\sqrt{\left(\frac{\bar{M}}{M_{alo}}\right)^2 + \left(\frac{\bar{V}}{V_a}\right)^2} \leq 1,0$$

Sehingga perhitungan kontrol interaksi momen dan geser dapat dihitung sebagai berikut.

$$\sqrt{\left(\frac{\bar{M}}{M_{alo}}\right)^2 + \left(\frac{\bar{V}}{V_a}\right)^2} \leq 1,0$$

$$\sqrt{\left(\frac{13,789}{23,904}\right)^2 + \left(\frac{23,029}{450,916}\right)^2} = 0,577 \leq 1,0 \dots (\text{OK})$$

### 4.6.2.2 Kolom

Profil kolom menggunakan DoubleCF200x75x20x3,2 seperti pada model CF-A1 sehingga kontrol kolom lebih detail dapat dilihat pada Sub Bab 4.5.2.2 pada CF-A1. Maka untuk CF-A2 hanya berbeda beban saja.

#### Gaya dalam elemen kolom

$$M_{ux} = 21,092 \text{ kNm}$$

$$M_{uy} = 7,177 \text{ kNm}$$

$$P_u = 184,97 \text{ kN}$$

## 1. Desain Aksial

Perencanaan kekuatan aksial mengacu pada AISI S100-16 section D.

$$F_n = 415,18 \text{ MPa}$$

$$A_e = (2)(0,85A_s) = 20,08 \text{ cm}^2$$

$$P_n = A_e F_n = 833,55 \text{ kN}$$

## 2. Desain Lentur

Perencanaan kekuatan lentur mengacu pada AISI S100-16 section C.

$$F_c = \frac{10}{9} F_y \left(1 - \frac{10F_y}{35F_e}\right) = 439,73 \text{ MPa}$$

$$S_c = 143,2 \text{ mm}^3$$

$$M_n = S_c F_c = 62,969 \text{ kNm}$$

### 3. Interaksi Aksial dan Momen

$$\frac{P_u}{\phi_c P_n} + \frac{C_{mx} M_{ux}}{\phi_b M_n \alpha_x} + \frac{C_{my} M_{uy}}{\phi_b M_n \alpha_y} \leq 1,0$$

$$\frac{184,97}{0,85 \cdot 833,55} + \frac{1 \cdot 21,092}{0,9 \cdot 62,969 \cdot 0,941} + \frac{1 \cdot 7,177}{0,9 \cdot 62,969 \cdot 0,941} = 0,791$$

$$\leq 1,0 \dots (\text{OK})$$

#### 4.6.2.3 Sambungan

Sambungan seperti pada model CF-A1 sehingga kontrol sambungan lebih detail dapat dilihat pada Sub Bab 4.5.2.3 pada CF-A1.

##### Gaya dalam Sambungan

$$M_u = 17,009 \text{ kNm}$$

$$P_u = 26,392 \text{ kN}$$

##### Beban pada Sambungan dengan Reduksi Eksentrisitas

Akibat  $P_u$ :

$$P_{V1} = P_u / 12 = 2,2 \text{ kN}$$

Akibat  $M_u$ :

$$P_{V2} = \frac{P_u \cdot L_x}{\sum x^2 + \sum y^2} = 10,364 \text{ kN}$$

$$P_H = \frac{P_u \cdot L_y}{\sum x^2 + \sum y^2} = 4,379 \text{ kN}$$

Total:

$$\sum P_V = P_{V1} + P_{V2} = 12,563 \text{ kN}$$

$$P_{\text{total}} = \sqrt{P_V^2 + P_H^2} = 13,305 \text{ kN}$$

##### Kekuatan Sambungan Baut

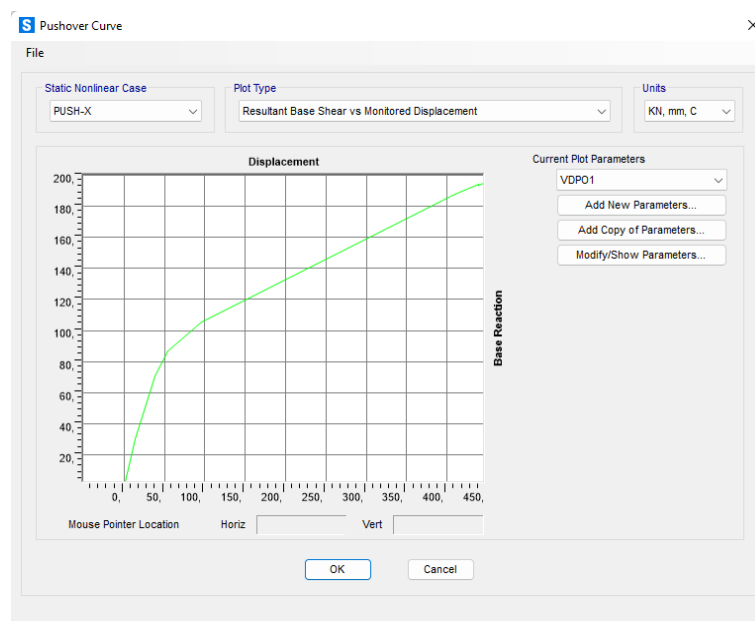
$$\phi P_n = 155,16 \text{ kN} \geq P_u = 13,305 \text{ kN} \dots (\text{OK})$$

#### 4.6.3 Pushover Analysis CF-A2

Hasil *pushover* analysis yang dilakukan dengan SAP2000 dari permodelan CF-A2 adalah *pushover curve*, daktilitas, level kinerja struktur, dan energi disipasi. *Pushover curve* yang didapatkan dari analisis *pushover* menggambarkan kekuatan struktur yang besarnya sangat tergantung dari kemampuan momen deformasi dari masing-masing komponen struktur. *Pushover curve* adalah kurva yang menunjukkan hubungan antara perpindahan (*displacement*) dan gaya geser (*base shear*) yang diakibatkan oleh beban statik sampai pada kondisi ultimit bangunan atau target *displacement* yang telah



ditentukan. *Pushover curve* yang permodelan model CF-A2 dapat dilihat pada Gambar 4.12.



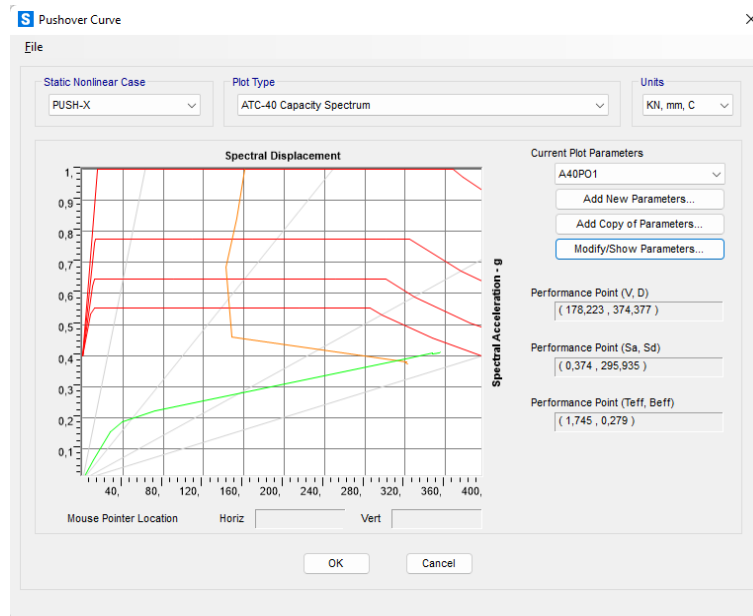
Gambar 4.12 *Pushover Curve* CF-A2

Dari Gambar 4.12 didapatkan *base shear* untuk leleh pertama sebesar 30,188 kN dengan *displacement* 14,103 mm dan *base shear* maksimum sebesar 195,4 kN dengan *displacement* sebesar 447,388 mm. Daktilitas struktur dapat ditentukan dengan menghitung rasio dari *base shear* maksimum terhadap *base shear* saat pelepasan pertama dari kurva *pushover* pada Gambar 4.12. Sehingga daktilitas yang merupakan *base shear* maksimum terhadap *base shear* saat pelepasan pertama adalah 6,472.

Metode spektrum kapasitas menggunakan kurva kapasitas yang telah dikonversi ke dalam format ADRS (*Acceleration Displacement Response Spectrum*) yaitu hubungan antara  $S_a$  dan  $S_d$  dan kurva *seismic demand* yang dikonversi ke dalam bentuk *spectrum demand*. Konversi dilakukan otomatis oleh program SAP2000 yang membentuk kurva kapasitas, *spectrum demand*, dan titik kerjanya yang dapat dilihat pada Gambar 4.13.

Dari kurva respon spektrum rencana sesuai dengan SNI 1726-2019 untuk bangunan dengan kota Yogyakarta dan kondisi tanah SE, diperoleh nilai  $C_a =$

0,4 dan  $C_v = 1,2168$  yang diperlukan sebagai input data pada program SAP2000, selanjutnya hitungan sepenuhnya akan dianalisis oleh SAP2000.



Gambar 4.13 Level Kinerja Struktur CF-A2

Pada Gambar 4.13 dapat dilihat hasil simpangan struktur CF-A2 diperoleh nilai simpangan = 374,377 mm dan gaya geser dasar = 178,223 kN. Dari hasil tersebut maka berdasarkan metode spektrum kapasitas perilaku struktur CF-A2 pada pemodelan telah mengalami kondisi inelastis yang disebabkan oleh pelelehan pada sendi plastis.

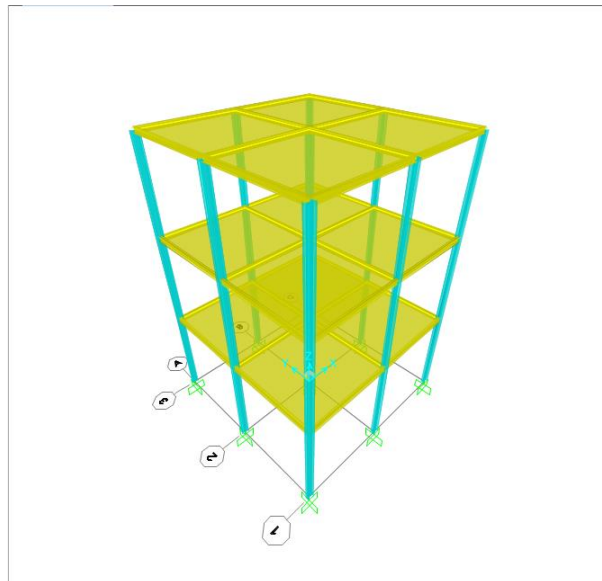
Level kinerja struktur bangunan dapat diketahui dengan melihat batasan rasio *displacement* yang dievaluasi pada *performance point*, dengan parameter yang ditinjau adalah *maksimum total drift*. Batasan drift rasio menurut metode ATC-40 ditentukan dari perbandingan *displacement* dengan tinggi total bangunan. Dari hasil *maksimum total drift*, akan dikoreksi pada batasan rasio *roof drift* menurut ATC-40 pada Tabel 4.8. Sehingga didapatkan rasio batasan drift adalah 0,062.

Dari hasil analisis di atas dapat dilihat level kinerja struktur CF-A2 pada pemodelan menunjukkan hasil level kinerja *Life Safety (LS)*. Kriteria tersebut menunjukkan bangunan mengalami kerusakan sedang. Beberapa elemen struktur rusak dan kehilangan kekuatan dan kekakuannya, tapi bangunan masih

dapat berdiri. Penghuni didalamnya masih dapat selamat dan keluar menyelamatkan diri saat terjadi gempa.

#### 4.7 Model Struktur Baja *Cold-Formed* 3 Lantai dengan Jarak Kolom 3 meter (CF-A3)

Model struktur CF-A3 adalah model desain hunian tetap yang direncanakan oleh Puslit MKPI ITS dengan 3 lantai dengan jarak kolom 3 meter. Model ini menggunakan mutu sesuai dengan *brochure* untuk semua elemen profil dan plat baja. Profil balok menggunakan DoubleCF150x50x20x3,2 sedangkan kolom menggunakan profil DoubleCF200x75x20x3,2. Model struktur secara detail dapat dilihat pada model 3D SAP2000 pada Gambar 4.14.



Gambar 4.14 Model CF-A3

Sebelum dilakukan analisis secara non-linear menggunakan *software* SAP2000, langkah awal yang dilakukan adalah melakukan perhitungan analisis struktur seperti perbandingan beban struktur, partisipasi massa, periode fundamental struktur, perbandingan  $V_{desain}$  dan  $V_{dinamis}$ , dan simpangan lantai struktur.

#### 4.7.1 Analisis Struktur CF-A3

Dalam menganalisis pemodelan struktur yang terdapat di SAP2000 diperlukan pengecekan dengan perhitungan secara manual. Komparasi perhitungan beban harus dilakukan sebagai perbandingan perhitungan yang dilakukan pada SAP2000 benar. Apabila terdapat selisih antara pembebanan pada SAP2000 dan manual maksimal sekitar  $\pm 5\%$ . Untuk perbandingan tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.16.

Tabel 4.16 Perbandingan Beban SAP2000 dan Manual CF-A3

JENIS BEBAN	TOTAL BEBAN <i>kN</i>	HASIL SAP2000 <i>kN</i>	SELISIH PERSEN %	STATUS
LL	207,36	207,36	0,00	OK
SDL	714,906	714,905	0,00	OK
DL	29,06	28,012	3,73	OK

Pada Tabel 4.16 didapatkan beban live dan beban super imposed dead tidak terdapat selisih, namun untuk beban dead dari kolom dan balok memiliki perbedaan 3,73% dikarenakan perhitungan beban tiap profil pada SAP2000 berbeda dengan beban tiap profil pada brochure yang digunakan.

Partisipasi massa struktur model CF-A3 pada SAP2000 juga perlu dilakukan pengecekan. Partisipasi massa struktur di perhitungan SAP2000 harus sesuai dengan parameter yang dibutuhkan yakni melebihi 90%. Partisipasi massa struktur di SAP2000 dinyatakan dengan Dynamic Percent. Hasil partisipasi massa pada SAP2000 dapat dilihat pada Tabel 4.17.

Tabel 4.17 Perbandingan Partisipasi Massa CF-A3

ARAH	DYNAMIC PERCENT %	STATUS
UX	100	OK
UY	100	OK

Partisipasi massa struktur yang dihasilkan pada model CF-A3 untuk arah X sebesar 100% dan untuk arah Y sebesar 100%. Sehingga model CF-A3 memenuhi persyaratan minimum partisipasi massa struktur.

Setelah dilakukan partisipasi massa struktur, dilakukan pengecekan periode fundamental struktur. Periode tersebut harus dibandingkan antara hasil di SAP2000 dengan hitungan manual. Periode fundamental struktur (T), baik untuk sumbu X atau sumbu Y nilainya diantara dari Ta dan Cu.Ta. Hasil periode struktur pada model CF-A1 dapat dilihat pada Tabel 4.18.

Tabel 4.18 Perbandingan T dengan Ta dan Cu.Ta CF-A3

SUMBU	Ta	Cu.Ta	T
X	0,420	0,588	0,848
Y			1,677

Nilai Ta dan CuTa didapatkan dari perhitungan manual. Nilai T dapat dilihat pada Tabel 4.11 didapatkan untuk arah X sebesar 0,848 s dan untuk arah Y sebesar 1,677 s. Apabila untuk nilai T kurang dari Ta, maka untuk perhitungan gaya geser akan menggunakan Ta dan apabila T melebihi CuTa akan menggunakan nilai Cu.Ta.

Selanjutnya untuk perhitungan gaya geser seismic juga harus dilakukan perbandingan. Perbandingan perhitungan gaya geser seismic di SAP2000 (Vdynamis) dengan perhitungan gaya geser seismic dengan perhitungan (Vdesain). Vdynamis dan Vdesain memiliki masing-masing dua arah sumbu, yaitu untuk sumbu X dan sumbu Y. Perhitungan gaya geser seismic dengan cara perhitungan (Vdesain) menggunakan persamaan  $V = C_s W$ .

Dari persamaan tersebut dibutuhkan Cs dengan persyaratan pada SNI1726:2019. Terdapat syarat-syarat Cs yang harus diperhitungkan dan didapatkan hasil Cs pakai dapat dilihat pada Tabel 4.19. Setelah didapatkan Cs, maka dapat diperhitungkan Vdesain dengan mengalikan Cs dengan berat struktur yang diperhitungkan pada Tabel 4.16. Maka, perbandingan antara Vdesain dengan Vdynamis dari SAP2000 dapat dilihat pada Tabel 4.19.

Tabel 4.19 Perhitungan Cs CF-A3

SUMBU	T	Cs1	Cs2	Cs3	Cs4	Cs Pakai
X	0,848	0,221	0,319	0,029	0,085	0,221
Y	1,677		0,161			0,161

Tabel 4.20 Scale Factor Perbandingan Vdesain dan Vdynamic Awal CF-A3

SUMBU	Vdesain <i>kN</i>	Vdynamic <i>kN</i>	SCALE FACTOR	STATUS
X	178,49	714,71	0,250	NOT OK
Y	130,00	534,68	0,243	NOT OK

Pada Tabel 4.20, didapatkan scale factor untuk sumbu X sebesar 0,250 dan untuk sumbu Y sebesar 0,241. Maka, scale factor tersebut dimasukkan ke dalam beban gempa SAP2000 dan didapatkan perbandingan Vdynamic dan Vdesain setelah modifikasi dapat dilihat pada Tabel 4.21.

Tabel 4.21 Perbandingan Vdesain dan Vdynamic setelah Modifikasi CF-A3

SUMBU	Vdesain <i>kN</i>	Vdynamic <i>kN</i>	SCALE FACTOR	STATUS
X	178,49	178,677	1,00	OK
Y	130,00	129,928	1,00	OK

Scale factor perbandingan Vdynamic dan Vdesain model CF-A3 dapat dilihat pada Tabel 4.21. Didapatkan hasil Vdynamic pada SAP2000 sudah sesuai dengan Vdesain yang diperhitungkan secara manual. Setelah didapatkan gaya gempa yang sesuai maka dilanjutkan untuk perhitungan simpangan lantai.

Simpangan lantai dari bangunan yang direncanakan di SAP2000 harus dibandingkan dengan simpangan lantai ijin yang dihitung dengan cara manual. Simpangan juga terdiri dari dua arah, yakni arah X dan Y. Untuk perhitungan simpangan dapat dilihat pada Tabel 4.22.

Tabel 4.22. Kontrol Simpangan Arah X dan Arah Y CF-A3

SUMBU X						
LANTAI KE-	Simpangan Rata-Rata $\delta_{ei}$ <i>mm</i>	Simpangan Diperbesar $\delta_i$ <i>mm</i>	Simpangan Antar Lantai $\Delta i$ <i>mm</i>	hsx <i>mm</i>	Simpangan Ijin $\Delta a$ <i>mm</i>	STATUS
1	21,143	52,858	52,858	3000	60	OK
2	42,533	106,333	53,475	3000	60	OK
3	55,124	137,810	31,478	3000	60	OK

SUMBU Y						
LANTAI KE-	Simpangan Rata-Rata $\delta_{ei}$ <i>mm</i>	Simpangan Diperbesar $\delta_i$ <i>mm</i>	Simpangan Antar Lantai $\Delta i$ <i>mm</i>	hsx <i>mm</i>	Simpangan Ijin $\Delta a$ <i>mm</i>	STATUS
1	65,172	162,930	162,930	3000	60	NOT OK
2	120,464	301,160	138,230	3000	60	NOT OK
3	151,645	379,113	77,953	3000	60	NOT OK

Pada Tabel 4.22, didapatkan simpangan lantai untuk arah X sebesar 53,475 mm dan untuk arah Y sebesar 162,93 mm. Untuk simpangan ijin yang disyaratkan oleh SNI 1726:2019, simpangan ijin untuk struktur model CF-A3 adalah sebesar 0,020 dari tinggi tiap lantainya, maka simpangan ijin pada model CF-A3 sebesar 60 mm. Didapatkan simpangan lantai untuk arah X OK, namun untuk simpangan lantai untuk arah Y tidak OK dikarenakan melebihi simpangan ijin.

#### 4.7.2 Kontrol Penampang CF-A3

Setelah tahapan analisis struktur, harus dilakukan perhitungan kontrol struktur secara manual untuk kekuatan balok, kolom, dan sambungan berdasarkan desain kapasitas sesuai AISI S100-16. Berikut adalah tahapan perhitungan kekuatan balok pada sub-bab 4.7.2.1, perhitungan kekuatan kolom pada sub-bab 4.7.2.2, dan perhitungan sambungan pada sub-bab 4.7.2.3.

##### 4.7.2.1 Balok

Pada perhitungan balok akan digunakan profil baja *cold-formed* Double Channel C 150 x 65 x 20 x 3,2 sesuai dengan yang tersedia dalam brochure yang tersedia. Untuk perhitungan balok seperti pada model CF-A1. Maka untuk CF-A3 hanya berbeda beban saja. Perhitungan balok baja *cold-formed* untuk CF-A3 adalah sebagai berikut:

##### Gaya dalam elemen balok

$$M_u = 14,879 \text{ kNm}$$

$$V_u = 22,989 \text{ kN}$$

$$P_u = 0,257 \text{ kN}$$

##### 1. Desain Lentur

###### a. Kapasitas leleh dan tekuk global ( $M_{ne}$ )

Kekuatan lentur nominal untuk leleh dan tekuk global dihitung dengan cara sebagai berikut.

$$M_{ne} = S_f \cdot F_n \leq M_y$$

$$M_{ne} = S_f \cdot F_n = 26560000 \text{ Nmm} = 26,56 \text{ kNm}$$

$$M_y = S_f \cdot F_y = 26560000 \text{ Nmm} = 26,56 \text{ kNm}$$

$$M_{ne} \leq M_y \dots (\text{OK})$$

b. Kapasitas interaksi tekuk lokal dan tekuk global ( $M_{nl}$ )

Kekuatan lentur nominal akibat interaksi tekuk lokal dan tekuk global dihitung dengan cara sebagai berikut.

$$M_{nl} = M_{ne} = 26,56 \text{ kNm}$$

c. Kapasitas tekuk distorsional ( $M_{nd}$ )

Kekuatan lentur nominal akibat tekuk distorsional dihitung dengan cara sebagai berikut.

$$M_{nd} = M_y = 26,56 \text{ kNm}$$

d. Available flexural strength (factored resistance)

Perhitungan adalah sebagai berikut.

$$M_{ne} = 26,56 \text{ kNm}$$

$$M_{nl} = 26,56 \text{ kNm}$$

$$M_{nd} = 26,56 \text{ kNm}$$

Maka:

$$M_n = 26,56 \text{ kNm}$$

$$\phi_b M_n = 0,9 \cdot 26,56 = 23,904 \text{ kNm} \geq M_u = 14,879 \text{ kNm} \dots (\text{OK})$$

2. Desain Geser

Desain geser balok baja *cold-formed* mengacu pada AISI S100-16 section G. Perhitungan kapasitas geser ( $V_n$ ) adalah sebagai berikut.

$$V_n = V_{cr} = 474,648 \text{ kN}$$

$$\phi_v V_n = 0,9 \cdot 474,648 = 450,915 \text{ kN} \geq V_u = 22,989 \text{ kN} \dots (\text{OK})$$

3. Interaksi momen dan geser

Untuk balok yang mengalami momen dan geser harus memenuhi persamaan interaksi momen dan geser sebagai berikut.

$$\sqrt{\left(\frac{\bar{M}}{M_{alo}}\right)^2 + \left(\frac{\bar{V}}{V_a}\right)^2} \leq 1,0$$

Sehingga perhitungan kontrol interaksi momen dan geser dapat dihitung sebagai berikut.

$$\sqrt{\left(\frac{\bar{M}}{M_{alo}}\right)^2 + \left(\frac{\bar{V}}{V_a}\right)^2} \leq 1,0$$

$$\sqrt{\left(\frac{14,879}{23,904}\right)^2 + \left(\frac{22,989}{450,916}\right)^2} = 0,623 \leq 1,0 \dots (\text{OK})$$



#### 4.7.2.2 Kolom

Profil kolom menggunakan DoubleCF200x75x20x3,2 seperti pada model CF-A1 sehingga kontrol kolom lebih detail dapat dilihat pada Sub Bab 4.5.2.2 pada CF-A1. Maka untuk CF-A3 hanya berbeda beban saja.

##### Gaya dalam elemen kolom

$$M_{ux} = 23,147 \text{ kNm}$$

$$M_{uy} = 10,946 \text{ kNm}$$

$$P_u = 262,03 \text{ kN}$$

##### 1. Desain Aksial

Perencanaan kekuatan aksial mengacu pada AISI S100-16 section D.

$$F_n = 415,18 \text{ MPa}$$

$$A_e = (2)(0,85A_s) = 20,08 \text{ cm}^2$$

$$P_n = A_e F_n = 833,55 \text{ kN}$$

##### 2. Desain Lentur

Perencanaan kekuatan lentur mengacu pada AISI S100-16 section C.

$$F_c = \frac{10}{9} F_y \left(1 - \frac{10F_y}{35F_e}\right) = 439,73 \text{ MPa}$$

$$S_c = 143,2 \text{ mm}^3$$

$$M_n = S_c F_c = 62,969 \text{ kNm}$$

##### 3. Interaksi Aksial dan Momen

$$\frac{P_u}{\phi_c P_n} + \frac{C_{mx} M_{ux}}{\phi_b M_n \alpha_x} + \frac{C_{my} M_{uy}}{\phi_b M_n \alpha_y} \leq 1,0$$

$$\frac{262,03}{0,85 \cdot 833,55} + \frac{1 \cdot 23,147}{0,9 \cdot 62,969 \cdot 0,941} + \frac{1 \cdot 10,946}{0,9 \cdot 62,969 \cdot 0,941} = 1,026$$

$> 1,0 \dots (\text{NOT OK})$

#### 4.7.2.3 Sambungan

Sambungan seperti pada model CF-A1 sehingga kontrol sambungan lebih detail dapat dilihat pada Sub Bab 4.5.2.3 pada CF-A1.

##### Gaya dalam Sambungan

$$M_u = 17,009 \text{ kNm}$$

$$P_u = 26,392 \text{ kN}$$

##### Beban pada Sambungan dengan Reduksi Eksentrisitas

Akibat  $P_u$ :

$$P_{V1} = P_u / 12 = 2,2 \text{ kN}$$

Akibat Mu:

$$P_{V2} = \frac{P_u \cdot L_x}{\sum x^2 + \sum y^2} = 10,364 \text{ kN}$$

$$P_H = \frac{P_u \cdot L_y}{\sum x^2 + \sum y^2} = 4,379 \text{ kN}$$

Total:

$$\sum P_V = P_{V1} + P_{V2} = 12,563 \text{ kN}$$

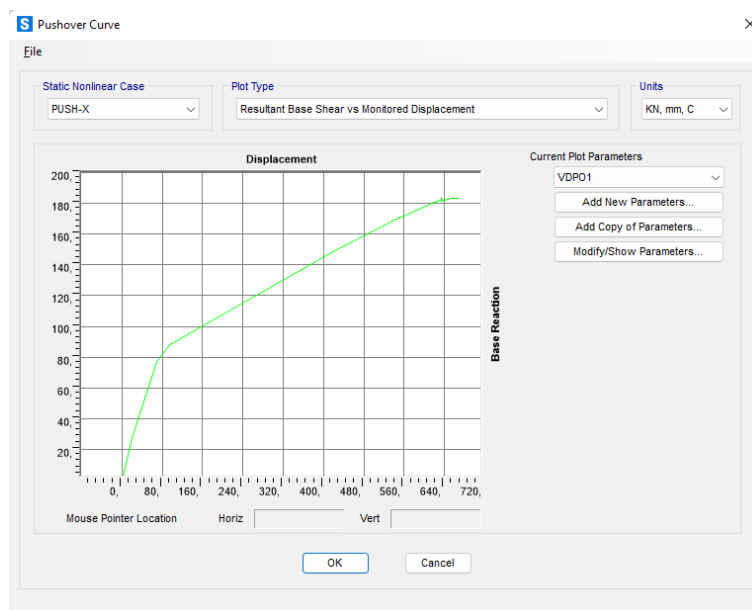
$$P_{\text{total}} = \sqrt{P_V^2 + P_H^2} = 13,305 \text{ kN}$$

Kekuatan Sambungan Baut

$$\phi P_n = 155,16 \text{ kN} \geq P_u = 13,305 \text{ kN} \dots (\text{OK})$$

### 4.7.3 Pushover Analysis CF-A3

Hasil pushover analysis yang dilakukan dengan SAP2000 dari permodelan CF-A1 adalah *pushover curve*, daktilitas, level kinerja struktur, dan energi disipasi. *Pushover curve* yang didapatkan dari analisis *pushover* menggambarkan kekuatan struktur yang besarnya sangat tergantung dari kemampuan momen deformasi dari masing-masing komponen struktur. *Pushover curve* adalah kurva yang menunjukkan hubungan antara perpindahan (*displacement*) dan gaya geser (*base shear*) yang diakibatkan oleh beban statik sampai pada kondisi ultimit bangunan atau target *displacement* yang telah ditentukan. *Pushover curve* yang permodelan model CF-A3 dapat dilihat pada Gambar 4.15.

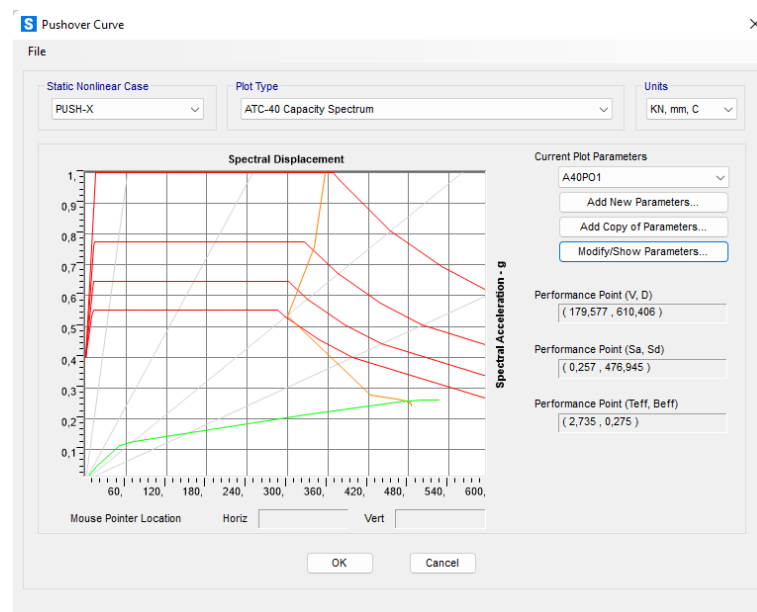


Gambar 4.15 Pushover Curve CF-A3

Dari Gambar 4.15 didapatkan *base shear* untuk leleh pertama sebesar 27,768 kN dengan *displacement* 19,507 mm dan *base shear* maksimum sebesar 183,597 kN dengan *displacement* sebesar 669,916 mm. Daktilitas struktur dapat ditentukan dengan menghitung rasio dari *base shear* maksimum terhadap *base shear* saat pelepasan pertama dari kurva *pushover* pada Gambar 4.15. Sehingga daktilitas yang merupakan *base shear* maksimum terhadap *base shear* saat pelepasan pertama adalah 6,611.

Metode spektrum kapasitas menggunakan kurva kapasitas yang telah dikonversi ke dalam format ADRS (*Acceleration Displacement Response Spectrum*) yaitu hubungan antara  $S_a$  dan  $S_d$  dan kurva *seismic demand* yang dikonversi ke dalam bentuk *spectrum demand*. Konversi dilakukan otomatis oleh program SAP2000 yang membentuk kurva kapasitas, *spectrum demand*, dan titik kinerjanya yang dapat dilihat pada Gambar 4.16.

Dari kurva respon spektrum rencana sesuai dengan SNI 1726-2019 untuk bangunan dengan kota Yogyakarta dan kondisi tanah SE, diperoleh nilai  $C_a = 0,4$  dan  $C_v = 1,2168$  yang diperlukan sebagai input data pada program SAP2000, selanjutnya hitungan sepenuhnya akan dianalisis oleh SAP2000.



Gambar 4.16 Level Kinerja Struktur CF-A3

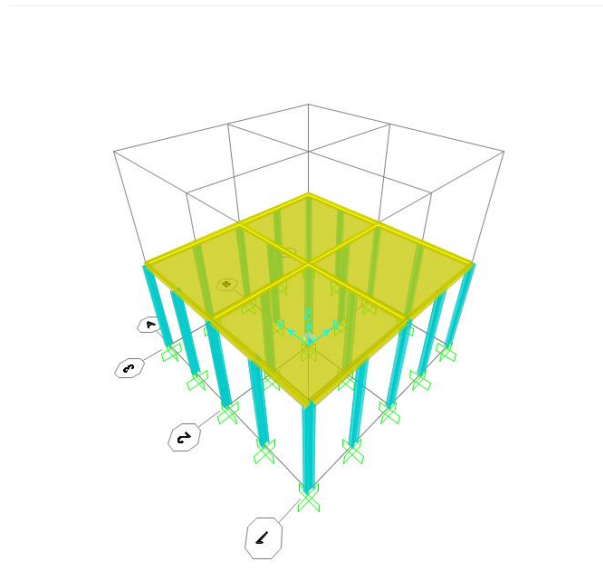
Pada Gambar 4.16 dapat dilihat hasil simpangan struktur CF-A3 diperoleh nilai simpangan = 610,406 mm dan gaya geser dasar = 179,577 kN. Dari hasil tersebut maka berdasarkan metode spektrum kapasitas perilaku struktur CF-A3 pada pemodelan telah mengalami kondisi inelastis yang disebabkan oleh pelelehan pada sendi plastis.

Level kinerja struktur bangunan dapat diketahui dengan melihat batasan rasio *displacement* yang dievaluasi pada *performance point*, dengan parameter yang ditinjau adalah *maksimum total drift*. Batasan drift rasio menurut metode ATC-40 ditentukan dari perbandingan *displacement* dengan tinggi total bangunan. Dari hasil *maksimum total drift*, akan dikoreksi pada batasan rasio *roof drift* menurut ATC-40 pada Tabel 4.8. Sehingga didapatkan rasio batasan *drift* adalah 0,067.

Dari hasil analisis di atas dapat dilihat level kinerja struktur CF-A3 pada pemodelan menunjukkan hasil level kinerja *Life Safety (LS)*. Kriteria tersebut menunjukkan bangunan mengalami kerusakan sedang. Beberapa elemen struktur rusak dan kehilangan kekuatan dan kekakuannya, tapi bangunan masih dapat berdiri. Penghuni didalamnya masih dapat selamat dan keluar menyelamatkan diri saat terjadi gempa.

#### **4.8 Model Struktur Baja *Cold-Formed* 1 Lantai dengan Jarak Kolom 1,5 meter (CF-B1)**

Model struktur CF-B1 adalah model desain hunian tetap yang direncanakan oleh Puslit MKPI ITS dengan 1 lantai dengan jarak kolom 1,5 meter. Model ini menggunakan mutu sesuai dengan *brochure* untuk semua elemen profil dan plat baja. Profil balok menggunakan DoubleCF150x50x20x3,2 sedangkan kolom menggunakan profil DoubleCF200x75x20x3,2. Model struktur secara detail dapat dilihat pada model 3D SAP2000 pada Gambar 4.17.



Gambar 4.17 Model Struktur CF-B1

Sebelum dilakukan analisis secara non-linear menggunakan *software* SAP2000, langkah awal yang dilakukan adalah melakukan perhitungan analisis struktur seperti perbandingan beban struktur, partisipasi massa, periode fundamental struktur, perbandingan  $V_{desain}$  dan  $V_{dinamis}$ , dan simpangan lantai struktur.

#### 4.8.1 Analisis Struktur CF-B1

Dalam menganalisis pemodelan struktur yang terdapat di SAP2000 diperlukan pengecekan dengan perhitungan secara manual. Komparasi perhitungan beban harus dilakukan sebagai perbandingan perhitungan yang dilakukan pada SAP2000 benar. Apabila terdapat selisih antara pembebanan pada SAP2000 dan manual maksimal sekitar  $\pm 5\%$ . Untuk perbandingan tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.23.

Tabel 4.23 Perbandingan Beban SAP2000 dan Manual CF-B1

JENIS BEBAN	TOTAL BEBAN <i>kN</i>	HASIL SAP2000 <i>kN</i>	SELISIH PERSEN %	STATUS
LL	69,12	69,12	0,00	OK
SDL	238,302	238,302	0,00	OK
DL	16,23	15,686	3,49	OK

Pada Tabel 4.23 didapatkan beban live dan beban super imposed dead tidak terdapat selisih, namun untuk beban dead dari kolom dan balok memiliki perbedaan 3,73% dikarenakan perhitungan beban tiap profil pada SAP2000 berbeda dengan beban tiap profil pada brochure yang digunakan.

Partisipasi massa struktur model CF-B1 pada SAP2000 juga perlu dilakukan pengecekan. Partisipasi massa struktur di perhitungan SAP2000 harus sesuai dengan parameter yang dibutuhkan yakni melebihi 90%. Partisipasi massa struktur di SAP2000 dinyatakan dengan Dynamic Percent. Hasil partisipasi massa pada SAP2000 dapat dilihat pada Tabel 4.24.

Tabel 4.24 Perbandingan Partisipasi Massa CF-B1

ARAH	DYNAMIC PERCENT %	STATUS
UX	96,51	OK
UY	99,83	OK

Partisipasi massa struktur yang dihasilkan pada model CF-B1 untuk arah X sebesar 96,51% dan untuk arah Y sebesar 99,83%. Sehingga model CF-B1 memenuhi persyaratan minimum partisipasi massa struktur.

Setelah dilakukan partisipasi massa struktur, dilakukan pengecekan periode fundamental struktur. Periode tersebut harus dibandingkan antara hasil di SAP2000 dengan hitungan manual. Periode fundamental struktur (T), baik untuk sumbu X atau sumbu Y nilainya diantara dari Ta dan Cu.Ta. Hasil periode struktur pada model CF-A1 dapat dilihat pada Tabel 4.25.

Tabel 4.25 Perbandingan T dengan Ta dan Cu.Ta CF-B1

SUMBU	Ta	Cu.Ta	T
X	0,174	0,244	0,276
Y			0,552

Nilai Ta dan CuTa didapatkan dari perhitungan manual. Nilai T dapat dilihat pada Tabel 4.25 didapatkan untuk arah X sebesar 0,276 s dan untuk arah Y sebesar 0,552 s. Apabila untuk nilai T kurang dari Ta, maka untuk perhitungan gaya geser akan menggunakan Ta dan apabila T melebihi CuTa akan menggunakan nilai Cu.Ta.

Selanjutnya untuk perhitungan gaya geser seismic juga harus dilakukan perbandingan. Perbandingan perhitungan gaya geser seismic di SAP2000 (Vdynamis) dengan perhitungan gaya geser seismic dengan perhitungan (Vdesain). Vdynamis dan Vdesain memiliki masing-masing dua arah sumbu, yaitu untuk sumbu X dan sumbu Y. Perhitungan gaya geser seismic dengan cara perhitungan (Vdesain) menggunakan persamaan  $V = C_s W$ .

Dari persamaan tersebut dibutuhkan  $C_s$  dengan persyaratan pada SNI1726:2019. Terdapat syarat-syarat  $C_s$  yang harus diperhitungkan dan didapatkan hasil  $C_s$  pakai dapat dilihat pada Tabel 4.26. Setelah didapatkan  $C_s$ , maka dapat diperhitungkan Vdesain dengan mengalikan  $C_s$  dengan berat struktur yang diperhitungkan pada Tabel 4.23. Maka, perbandingan antara Vdesain dengan Vdynamis dari SAP2000 dapat dilihat pada Tabel 4.27.

Tabel 4.26 Perhitungan  $C_s$  CF-B1

SUMBU	T	Cs1	Cs2	Cs3	Cs4	Cs Pakai
X	0,276	0,221	0,979	0,029	0,085	0,221
Y	0,552		0,490			0,221

Tabel 4.27 Scale Factor Perbandingan Vdesain dan Vdynamic Awal CF-B1

SUMBU	Vdesain <i>kN</i>	Vdynamic <i>kN</i>	SCALE FACTOR	STATUS
X	60,94	242,67	0,251	NOT OK
Y	60,94	267,27	0,228	NOT OK

Pada Tabel 4.27, didapatkan scale factor untuk sumbu X sebesar 0,251 dan untuk sumbu Y sebesar 0,228. Maka, scale factor tersebut dimasukkan ke dalam beban gempa SAP2000 dan didapatkan perbandingan Vdynamis dan Vdesain setelah modifikasi dapat dilihat pada Tabel 4.28.

Tabel 4.28 Perbandingan Vdesain dan Vdynamic setelah Modifikasi CF-B1

SUMBU	Vdesain <i>kN</i>	Vdynamic <i>kN</i>	SCALE FACTOR	STATUS
X	60,94	60,909	1,00	OK
Y	60,94	60,937	1,00	OK

Scale factor perbandingan  $V_{\text{dinamis}}$  dan  $V_{\text{desain}}$  model CF-B1 dapat dilihat pada Tabel 4.28. Didapatkan hasil  $V_{\text{dinamis}}$  pada SAP2000 sudah sesuai dengan  $V_{\text{desain}}$  yang diperhitungkan secara manual. Setelah didapatkan gaya gempa yang sesuai maka dilanjutkan untuk perhitungan simpangan lantai.

Simpangan lantai dari bangunan yang direncanakan di SAP2000 harus dibandingkan dengan simpangan lantai ijin yang dihitung dengan cara manual. Simpangan juga terdiri dari dua arah, yakni arah X dan Y. Untuk perhitungan simpangan dapat dilihat pada Tabel 4.29.

Tabel 4.29. Kontrol Simpangan Arah X dan Arah Y CF-B1

SUMBU X						
LANTAI KE-	Simpangan Rata-Rata $\delta_{ei}$ <i>mm</i>	Simpangan Diperbesar $\delta_i$ <i>mm</i>	Simpangan Antar Lantai $\Delta i$ <i>mm</i>	hsx <i>mm</i>	Simpangan Ijin $\Delta a$ <i>mm</i>	STATUS
1	7,673	19,183	19,183	3000	60	OK

SUMBU Y						
LANTAI KE-	Simpangan Rata-Rata $\delta_{ei}$ <i>mm</i>	Simpangan Diperbesar $\delta_i$ <i>mm</i>	Simpangan Antar Lantai $\Delta i$ <i>mm</i>	hsx <i>mm</i>	Simpangan Ijin $\Delta a$ <i>mm</i>	STATUS
1	19,398	48,495	48,495	3000	60	OK

Pada Tabel 4.29, didapatkan simpangan lantai untuk arah X sebesar 19,183 mm dan untuk arah Y sebesar 48,495 mm. Untuk simpangan ijin yang disyaratkan oleh SNI 1726:2019, simpangan ijin untuk struktur model CF-B1 adalah sebesar 0,020 dari tinggi tiap lantainya, maka simpangan ijin pada model CF-B1 sebesar 60 mm. Didapatkan simpangan lantai untuk arah X dan arah Y OK.

#### 4.8.2 Kontrol Penampang CF-B1

Setelah tahapan analisis struktur, harus dilakukan perhitungan kontrol struktur secara manual untuk kekuatan balok, kolom, dan sambungan berdasarkan desain kapasitas sesuai AISI S100-16. Berikut adalah tahapan perhitungan kekuatan balok pada sub-bab 4.8.2.1, perhitungan kekuatan kolom pada sub-bab 4.8.2.2, dan perhitungan sambungan pada sub-bab 4.8.2.3.



#### 4.8.2.1 Balok

Pada perhitungan balok akan digunakan profil baja *cold-formed* Double Channel C 150 x 65 x 20 x 3,2 sesuai dengan yang tersedia dalam brochure yang tersedia. Untuk perhitungan balok seperti pada model CF-A1. Maka untuk CF-B1 hanya berbeda beban saja. Perhitungan balok baja *cold-formed* untuk CF-B1 adalah sebagai berikut:

##### Gaya dalam elemen balok

$$M_u = 5,535 \text{ kNm}$$

$$V_u = 16,003 \text{ kN}$$

$$P_u = 0,586 \text{ kN}$$

##### 1. Desain Lentur

###### a. Kapasitas leleh dan tekuk global ( $M_{ne}$ )

Kekuatan lentur nominal untuk leleh dan tekuk global dihitung dengan cara sebagai berikut.

$$M_{ne} = S_f \cdot F_n \leq M_y$$

$$M_{ne} = S_f F_n = 26560000 \text{ Nmm} = 26,56 \text{ kNm}$$

$$M_y = S_f F_y = 26560000 \text{ Nmm} = 26,56 \text{ kNm}$$

$$M_{ne} \leq M_y \dots (\text{OK})$$

###### b. Kapasitas interaksi tekuk lokal dan tekuk global ( $M_{nl}$ )

Kekuatan lentur nominal akibat interaksi tekuk lokal dan tekuk global dihitung dengan cara sebagai berikut.

$$M_{nl} = M_{ne} = 26,56 \text{ kNm}$$

###### c. Kapasitas tekuk distorsional ( $M_{nd}$ )

Kekuatan lentur nominal akibat tekuk distorsional dihitung dengan cara sebagai berikut.

$$M_{nd} = M_y = 26,56 \text{ kNm}$$

###### d. Available flexural strength (factored resistance)

Perhitungan adalah sebagai berikut.

$$M_{ne} = 26,56 \text{ kNm}$$

$$M_{nl} = 26,56 \text{ kNm}$$

$$M_{nd} = 26,56 \text{ kNm}$$

Maka:

$$M_n = 26,56 \text{ kNm}$$

$$\phi_b M_n = 0,9 \cdot 26,56 = 23,904 \text{ kNm} \geq M_u = 5,535 \text{ kNm} \dots (\text{OK})$$

## 2. Desain Geser

Desain geser balok baja *cold-formed* mengacu pada AISI S100-16 section G. Perhitungan kapasitas geser ( $V_n$ ) adalah sebagai berikut.

$$V_n = V_{cr} = 474,648 \text{ kN}$$

$$\phi_v V_n = 0,9 \cdot 474,648 = 450,915 \text{ kN} \geq V_u = 16,003 \text{ kN} \dots (\text{OK})$$

## 3. Interaksi momen dan geser

Untuk balok yang mengalami momen dan geser harus memenuhi persamaan interaksi momen dan geser sebagai berikut.

$$\sqrt{\left(\frac{\bar{M}}{M_{alo}}\right)^2 + \left(\frac{\bar{V}}{V_a}\right)^2} \leq 1,0$$

Sehingga perhitungan kontrol interaksi momen dan geser dapat dihitung sebagai berikut.

$$\sqrt{\left(\frac{\bar{M}}{M_{alo}}\right)^2 + \left(\frac{\bar{V}}{V_a}\right)^2} \leq 1,0$$

$$\sqrt{\left(\frac{5,535}{23,904}\right)^2 + \left(\frac{16,003}{450,916}\right)^2} = 0,234 \leq 1,0 \dots (\text{OK})$$

### 4.8.2.2 Kolom

Profil kolom menggunakan DoubleCF200x75x20x3,2 seperti pada model CF-A1 sehingga kontrol kolom lebih detail dapat dilihat pada Sub Bab 4.5.2.2 pada CF-A1. Maka untuk CF-B1 hanya berbeda beban saja.

#### Gaya dalam elemen kolom

$$M_{ux} = 5,756 \text{ kNm}$$

$$M_{uy} = 1,869 \text{ kNm}$$

$$P_u = 30,51 \text{ kN}$$

## 1. Desain Aksial

Perencanaan kekuatan aksial mengacu pada AISI S100-16 section D.

$$F_n = 415,18 \text{ MPa}$$

$$A_e = (2)(0,85A_s) = 20,08 \text{ cm}^2$$

$$P_n = A_e F_n = 833,55 \text{ kN}$$

## 2. Desain Lentur

Perencanaan kekuatan lentur mengacu pada AISI S100-16 section C.

$$F_c = \frac{10}{9} F_y \left(1 - \frac{10F_y}{35F_e}\right) = 439,73 \text{ MPa}$$

$$S_c = 143,2 \text{ mm}^3$$

$$M_n = S_c F_c = 62,969 \text{ kNm}$$

### 3. Interaksi Aksial dan Momen

$$\frac{P_u}{\phi_c P_n} + \frac{C_{mx} M_{ux}}{\phi_b M_n \alpha_x} + \frac{C_{my} M_{uy}}{\phi_b M_n \alpha_y} \leq 1,0$$
$$\frac{30,51}{0,85 \cdot 833,55} + \frac{1 \cdot 5,756}{0,9 \cdot 62,969 \cdot 0,941} + \frac{1 \cdot 1,869}{0,9 \cdot 62,969 \cdot 0,941} = 0,179$$
$$\leq 1,0 \dots (\text{OK})$$

#### 4.8.2.3 Sambungan

Sambungan seperti pada model CF-A1 sehingga kontrol sambungan lebih detail dapat dilihat pada Sub Bab 4.5.2.3 pada CF-A1.

##### Gaya dalam Sambungan

$$M_u = 17,009 \text{ kNm}$$

$$P_u = 26,392 \text{ kN}$$

##### Beban pada Sambungan dengan Reduksi Eksentrisitas

Akibat  $P_u$ :

$$P_{V1} = P_u / 12 = 2,2 \text{ kN}$$

Akibat  $M_u$ :

$$P_{V2} = \frac{P_u \cdot L_x}{\sum x^2 + \sum y^2} = 10,364 \text{ kN}$$

$$P_H = \frac{P_u \cdot L_y}{\sum x^2 + \sum y^2} = 4,379 \text{ kN}$$

Total:

$$\sum P_V = P_{V1} + P_{V2} = 12,563 \text{ kN}$$

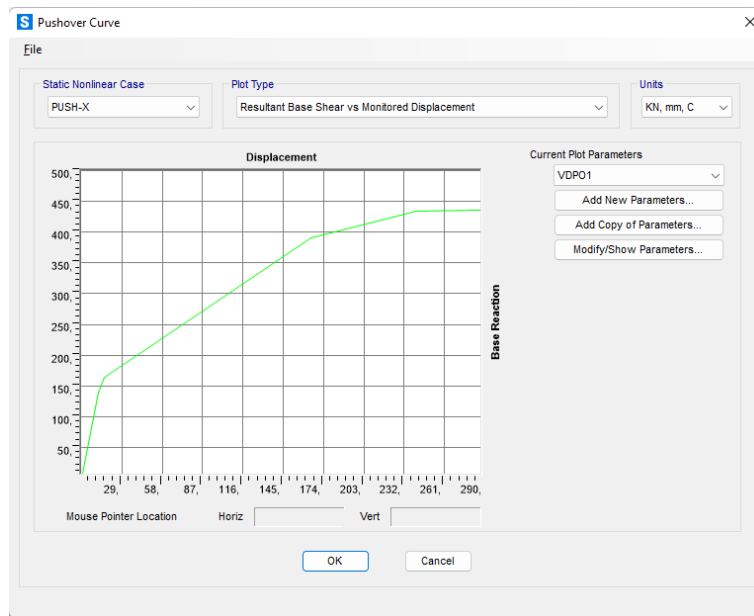
$$P_{\text{total}} = \sqrt{P_V^2 + P_H^2} = 13,305 \text{ kN}$$

##### Kekuatan Sambungan Baut

$$\phi P_n = 155,16 \text{ kN} \geq P_u = 13,305 \text{ kN} \dots (\text{OK})$$

#### 4.8.3 Pushover Analysis CF-B1

Hasil pushover analysis yang dilakukan dengan SAP2000 dari permodelan CF-A1 adalah *Pushover curve*, daktilitas, level kinerja struktur, dan energi disipasi. *Pushover curve* yang didapatkan dari analisis pushover menggambarkan kekuatan struktur yang besarnya sangat tergantung dari kemampuan momen deformasi dari masing-masing komponen struktur. *Pushover curve* adalah kurva yang menunjukkan hubungan antara perpindahan (*displacement*) dan gaya geser (*Base shear*) yang diakibatkan oleh beban statik sampai pada kondisi ultimit bangunan atau target *displacement* yang telah ditentukan. *Pushover curve* yang permodelan model CF-B1 dapat dilihat pada Gambar 4.18.

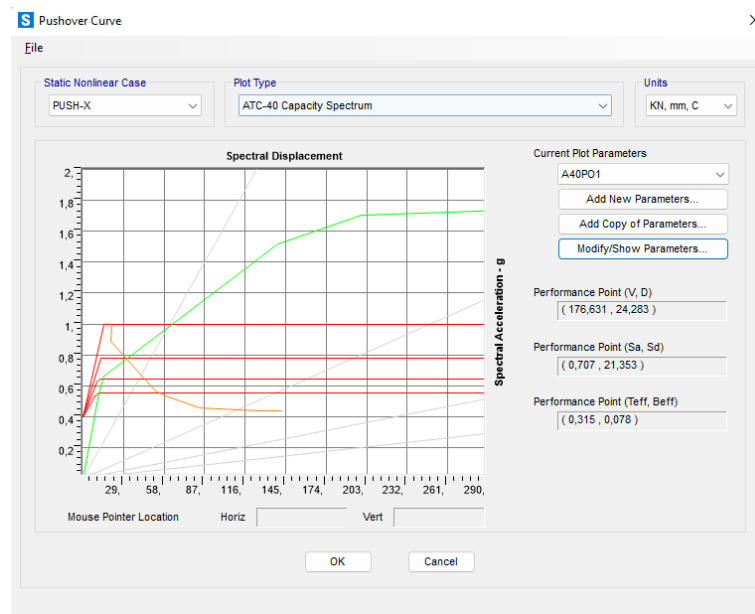


Gambar 4.18 *Pushover Curve* CF-B1

Dari Gambar 4.18 didapatkan *base shear* untuk leleh pertama sebesar 139,08 kN dengan *displacement* 12,249 mm dan *base shear* maksimum sebesar 440,762 kN dengan *displacement* sebesar 289,974 mm. Daktilitas struktur dapat ditentukan dengan menghitung rasio dari *base shear* maksimum terhadap *base shear* saat pelelehan pertama dari kurva *pushover* pada Gambar 4.18. Sehingga daktilitas yang merupakan *base shear* maksimum terhadap *base shear* saat pelelehan pertama adalah 3,169.

Metode spektrum kapasitas menggunakan kurva kapasitas yang telah dikonversi ke dalam format ADRS (*Acceleration Displacement Response Spectrum*) yaitu hubungan antara  $S_a$  dan  $S_d$  dan kurva *seismic demand* yang dikonversi ke dalam bentuk *spectrum demand*. Konversi dilakukan otomatis oleh program SAP2000 yang membentuk kurva kapasitas, *spectrum demand*, dan titik kinerjanya yang dapat dilihat pada Gambar 4.19.

Dari kurva respon spektrum rencana sesuai dengan SNI 1726-2019 untuk bangunan dengan kota Yogyakarta dan kondisi tanah SE, diperoleh nilai  $C_a = 0,4$  dan  $C_v = 1,2168$  yang diperlukan sebagai input data pada program SAP2000, selanjutnya hitungan sepenuhnya akan dianalisis oleh SAP2000.



Gambar 4.19 Level Kinerja Struktur CF-B1

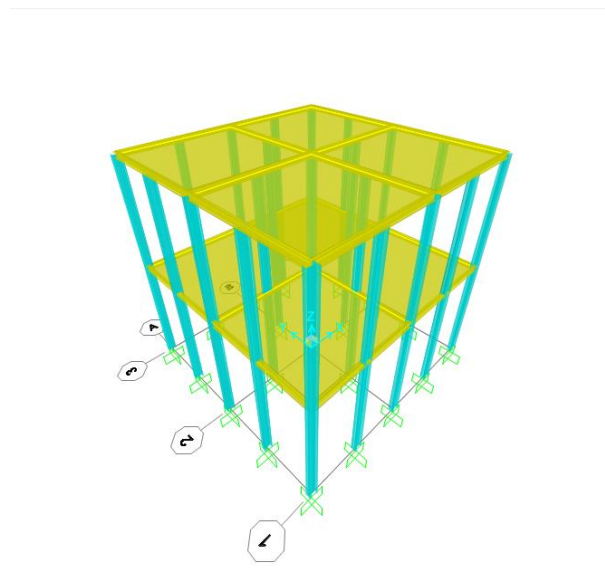
Pada Gambar 4.19 dapat dilihat hasil simpangan struktur CF-B1 diperoleh nilai simpangan = 24,283 mm dan gaya geser dasar = 176,631 kN. Dari hasil tersebut maka berdasarkan metode spektrum kapasitas perilaku struktur CF-B1 pada pemodelan telah mengalami kondisi inelastis yang disebabkan oleh pelelehan pada sendi plastis.

Level kinerja struktur bangunan dapat diketahui dengan melihat batasan rasio *displacement* yang dievaluasi pada *performance point*, dengan parameter yang ditinjau adalah *maksimum total drift*. Batasan drift rasio menurut metode ATC-40 ditentukan dari perbandingan *displacement* dengan tinggi total bangunan. Dari hasil *maksimum total drift*, akan dikoreksi pada batasan rasio *roof drift* menurut ATC-40 pada Tabel 4.8. Sehingga didapatkan rasio batasan *drift* adalah 0,0081.

Dari hasil analisis di atas dapat dilihat level kinerja struktur CF-B1 pada pemodelan menunjukkan hasil level kinerja *Damage Control (DC)*. Kriteria tersebut menunjukkan bangunan secara umum mengalami kerusakan ringan. Elemen struktur masih memiliki kekuatan seperti sebelum terjadi gempa dan elemen non struktur hanya mengalami kerusakan kecil.

#### 4.9 Model Struktur Baja *Cold-Formed* 2 Lantai dengan Jarak Kolom 1,5 meter (CF-B2)

Model struktur CF-B2 adalah model desain hunian tetap yang direncanakan oleh Puslit MKPI ITS dengan 2 lantai dengan jarak kolom 1,5 meter. Model ini menggunakan mutu sesuai dengan *brochure* untuk semua elemen profil dan plat baja. Profil balok menggunakan DoubleCF150x50x20x3,2 sedangkan kolom menggunakan profil DoubleCF200x75x20x3,2. Model struktur secara detail dapat dilihat pada model 3D SAP2000 pada Gambar 4.20.



Gambar 4.20 Model CF-B2

Sebelum dilakukan analisis secara non-linear menggunakan *software* SAP2000, langkah awal yang dilakukan adalah melakukan perhitungan analisis struktur seperti perbandingan beban struktur, partisipasi massa, periode fundamental struktur, perbandingan  $V_{desain}$  dan  $V_{dinamis}$ , dan simpangan lantai struktur.

##### 4.9.1 Analisis Struktur CF-B2

Dalam menganalisis pemodelan struktur yang terdapat di SAP2000 diperlukan pengecekan dengan perhitungan secara manual. Komparasi perhitungan beban harus dilakukan sebagai perbandingan perhitungan yang dilakukan pada SAP2000 benar. Apabila terdapat selisih antara pembebanan

pada SAP2000 dan manual maksimal sekitar  $\pm 5\%$ . Untuk perbandingan tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.30.

Tabel 4.30 Perbandingan Beban SAP2000 dan Manual CF-B2

JENIS BEBAN	TOTAL BEBAN <i>kN</i>	HASIL SAP2000 <i>kN</i>	SELISIH PERSEN %	STATUS
LL	138,24	138,24	0,00	OK
SDL	476,604	476,603	0,00	OK
DL	32,47	31,372	3,49	OK

Pada Tabel 4.30 didapatkan beban live dan beban super imposed dead tidak terdapat selisih, namun untuk beban dead dari kolom dan balok memiliki perbedaan 3,49% dikarenakan perhitungan beban tiap profil pada SAP2000 berbeda dengan beban tiap profil pada brochure yang digunakan.

Partisipasi massa struktur model CF-B2 pada SAP2000 juga perlu dilakukan pengecekan. Partisipasi massa struktur di perhitungan SAP2000 harus sesuai dengan parameter yang dibutuhkan yakni melebihi 90%. Partisipasi massa struktur di SAP2000 dinyatakan dengan Dynamic Percent. Hasil partisipasi massa pada SAP2000 dapat dilihat pada Tabel 4.31.

Tabel 4.31 Perbandingan Partisipasi Massa CF-B2

ARAH	DYNAMIC PERCENT %	STATUS
UX	98,48	OK
UY	100,00	OK

Partisipasi massa struktur yang dihasilkan pada model CF-B2 untuk arah X sebesar 98,48% dan untuk arah Y sebesar 100%. Sehingga model CF-B2 memenuhi persyaratan minimum partisipasi massa struktur.

Setelah dilakukan partisipasi massa struktur, dilakukan pengecekan periode fundamental struktur. Periode tersebut harus dibandingkan antara hasil di SAP2000 dengan hitungan manual. Periode fundamental struktur (T), baik untuk sumbu X atau sumbu Y nilainya diantara dari  $T_a$  dan  $C_u.T_a$ . Hasil periode struktur pada model CF-A1 dapat dilihat pada Tabel 4.32.

Tabel 4.32 Perbandingan T dengan Ta dan Cu.Ta CF-B2

SUMBU	Ta	Cu.Ta	T
X	0,304	0,425	0,479
Y			0,921

Nilai Ta dan CuTa didapatkan dari perhitungan manual. Nilai T dapat dilihat pada Tabel 4.11 didapatkan untuk arah X sebesar 0,479 s dan untuk arah Y sebesar 0,921 s. Apabila untuk nilai T kurang dari Ta, maka untuk perhitungan gaya geser akan menggunakan Ta dan apabila T melebihi CuTa akan menggunakan nilai Cu.Ta.

Selanjutnya untuk perhitungan gaya geser seismic juga harus dilakukan perbandingan. Perbandingan perhitungan gaya geser seismic di SAP2000 (Vdynamis) dengan perhitungan gaya geser seismic dengan perhitungan (Vdesain). Vdynamis dan Vdesain memiliki masing-masing dua arah sumbu, yaitu untuk sumbu X dan sumbu Y. Perhitungan gaya geser seismic dengan cara perhitungan (Vdesain) menggunakan persamaan  $V = C_s W$ .

Dari persamaan tersebut dibutuhkan  $C_s$  dengan persyaratan pada SNI1726:2019. Terdapat syarat-syarat  $C_s$  yang harus diperhitungkan dan didapatkan hasil  $C_s$  pakai dapat dilihat pada Tabel 4.33. Setelah didapatkan  $C_s$ , maka dapat diperhitungkan Vdesain dengan mengalikan  $C_s$  dengan berat struktur yang diperhitungkan pada Tabel 4.9. Maka, perbandingan antara Vdesain dengan Vdynamis dari SAP2000 dapat dilihat pada Tabel 4.34.

Tabel 4.33 Perhitungan  $C_s$  CF-B2

SUMBU	T	Cs1	Cs2	Cs3	Cs4	Cs Pakai
X	0,479	0,221	0,564	0,029	0,085	0,221
Y	0,921		0,294			0,221

Tabel 4.34 Scale Factor Perbandingan Vdesain dan Vdynamic Awal CF-B2

SUMBU	Vdesain <i>kN</i>	Vdynamic <i>kN</i>	SCALE FACTOR	STATUS
X	121,89	473,30	0,258	NOT OK
Y	121,89	497,41	0,245	NOT OK



Pada Tabel 4.34, didapatkan scale factor untuk sumbu X sebesar 0,258 dan untuk sumbu Y sebesar 0,245. Maka, scale factor tersebut dimasukkan ke dalam beban gempa SAP2000 dan didapatkan perbandingan Vdynamic dan Vdesain setelah modifikasi dapat dilihat pada Tabel 4.35Tabel 4.6.

Tabel 4.35 Perbandingan Vdesain dan Vdynamic setelah Modifikasi CF-B2

SUMBU	Vdesain <i>kN</i>	Vdynamic <i>kN</i>	SCALE FACTOR	STATUS
X	121,89	122,112	1,00	OK
Y	121,89	121,866	1,00	OK

Scale factor perbandingan Vdynamic dan Vdesain model CF-B2 dapat dilihat pada Tabel 4.35. Didapatkan hasil Vdynamic pada SAP2000 sudah sesuai dengan Vdesain yang diperhitungkan secara manual. Setelah didapatkan gaya gempa yang sesuai maka dilanjutkan untuk perhitungan simpangan lantai.

Simpangan lantai dari bangunan yang direncanakan di SAP2000 harus dibandingkan dengan simpangan lantai ijin yang dihitung dengan cara manual. Simpangan juga terdiri dari dua arah, yakni arah X dan Y. Untuk perhitungan simpangan dapat dilihat pada Tabel 4.36.

Tabel 4.36. Kontrol Simpangan Arah X dan Arah Y CF-B2

SUMBU X						
LANTAI KE-	Simpangan Rata-Rata $\delta_{ei}$ <i>mm</i>	Simpangan Diperbesar $\delta_i$ <i>mm</i>	Simpangan Antar Lantai $\Delta i$ <i>mm</i>	hsx <i>mm</i>	Simpangan Ijin $\Delta a$ <i>mm</i>	STATUS
1	8,614	21,535	21,535	3000	60	OK
2	21,866	54,665	33,130	3000	60	OK

SUMBU Y						
LANTAI KE-	Simpangan Rata-Rata $\delta_{ei}$ <i>mm</i>	Simpangan Diperbesar $\delta_i$ <i>mm</i>	Simpangan Antar Lantai $\Delta i$ <i>mm</i>	hsx <i>mm</i>	Simpangan Ijin $\Delta a$ <i>mm</i>	STATUS
1	32,986	82,465	82,465	3000	60	NOT OK
2	65,360	163,400	80,935	3000	60	NOT OK

Pada Tabel 4.36, didapatkan simpangan lantai untuk arah X sebesar 33,13 mm dan untuk arah Y sebesar 82,465 mm. Untuk simpangan ijin yang disyaratkan oleh SNI 1726:2019, simpangan ijin untuk struktur model CF-B2 adalah sebesar 0,020 dari tinggi tiap lantainya, maka simpangan ijin pada model CF-B2 sebesar 60 mm. Didapatkan simpangan lantai untuk arah X OK, namun untuk simpangan lantai untuk arah Y tidak OK dikarenakan melebihi simpangan ijin.

## 4.9.2 Kontrol Penampang CF-B2

Setelah tahapan analisis struktur, harus dilakukan perhitungan kontrol struktur secara manual untuk kekuatan balok, kolom, dan sambungan berdasarkan desain kapasitas sesuai AISI S100-16. Berikut adalah tahapan perhitungan kekuatan balok pada sub-bab 4.9.2.1, perhitungan kekuatan kolom pada sub-bab 4.9.2.2, dan perhitungan sambungan pada sub-bab 4.9.2.3.

### 4.9.2.1 Balok

Pada perhitungan balok akan digunakan profil baja *cold-formed* Double Channel C 150 x 65 x 20 x 3,2 sesuai dengan yang tersedia dalam brochure yang tersedia. Untuk perhitungan balok seperti pada model CF-A1. Maka untuk CF-B2 hanya berbeda beban saja. Perhitungan balok baja *cold-formed* untuk CF-B2 adalah sebagai berikut:

#### Gaya dalam elemen balok

$$M_u = 11,266 \text{ kNm}$$

$$V_u = 22,212 \text{ kN}$$

$$P_u = 0,947 \text{ kN}$$

#### 1. Desain Lentur

##### a. Kapasitas leleh dan tekuk global ( $M_{ne}$ )

Kekuatan lentur nominal untuk leleh dan tekuk global dihitung dengan cara sebagai berikut.

$$M_{ne} = S_f \cdot F_n \leq M_y$$

$$M_{ne} = S_f F_n = 26560000 \text{ Nmm} = 26,56 \text{ kNm}$$

$$M_y = S_f F_y = 26560000 \text{ Nmm} = 26,56 \text{ kNm}$$

$$M_{ne} \leq M_y \dots (\text{OK})$$

##### b. Kapasitas interaksi tekuk lokal dan tekuk global ( $M_{nl}$ )

Kekuatan lentur nominal akibat interaksi tekuk lokal dan tekuk global dihitung dengan cara sebagai berikut.

$$M_{nl} = M_{ne} = 26,56 \text{ kNm}$$

##### c. Kapasitas tekuk distorsional ( $M_{nd}$ )

Kekuatan lentur nominal akibat tekuk distorsional dihitung dengan cara sebagai berikut.

$$M_{nd} = M_y = 26,56 \text{ kNm}$$

d. Available flexural strength (factored resistance)

Perhitungan adalah sebagai berikut.

$$M_{ne} = 26,56 \text{ kNm}$$

$$M_{nl} = 26,56 \text{ kNm}$$

$$M_{nd} = 26,56 \text{ kNm}$$

Maka:

$$M_n = 26,56 \text{ kNm}$$

$$\phi_b M_n = 0,9 \cdot 26,56 = 23,904 \text{ kNm} \geq M_u = 11,266 \text{ kNm} \dots (\text{OK})$$

2. Desain Geser

Desain geser balok baja *cold-formed* mengacu pada AISI S100-16 section G. Perhitungan kapasitas geser ( $V_n$ ) adalah sebagai berikut.

$$V_n = V_{cr} = 474,648 \text{ kN}$$

$$\phi_v V_n = 0,9 \cdot 474,648 = 450,915 \text{ kN} \geq V_u = 22,212 \text{ kN} \dots (\text{OK})$$

3. Interaksi momen dan geser

Untuk balok yang mengalami momen dan geser harus memenuhi persamaan interaksi momen dan geser sebagai berikut.

$$\sqrt{\left(\frac{\bar{M}}{M_{alo}}\right)^2 + \left(\frac{\bar{V}}{V_a}\right)^2} \leq 1,0$$

Sehingga perhitungan kontrol interaksi momen dan geser dapat dihitung sebagai berikut.

$$\sqrt{\left(\frac{\bar{M}}{M_{alo}}\right)^2 + \left(\frac{\bar{V}}{V_a}\right)^2} \leq 1,0$$

$$\sqrt{\left(\frac{11,266}{23,904}\right)^2 + \left(\frac{22,212}{450,916}\right)^2} = 0,474 \leq 1,0 \dots (\text{OK})$$

4.9.2.2 Kolom

Profil kolom menggunakan DoubleCF200x75x20x3,2 seperti pada model CF-A1 sehingga kontrol kolom lebih detail dapat dilihat pada Sub Bab 4.5.2.2 pada CF-A1. Maka untuk CF-B2 hanya berbeda beban saja.

Gaya dalam elemen kolom

$$M_{ux} = 11,553 \text{ kNm}$$

$$M_{uy} = 4,248 \text{ kNm}$$

$$P_u = 59,084 \text{ kN}$$

### 1. Desain Aksial

Perencanaan kekuatan aksial mengacu pada AISI S100-16 section D.

$$F_n = 415,18 \text{ MPa}$$

$$A_e = (2)(0,85A_s) = 20,08 \text{ cm}^2$$

$$P_n = A_e F_n = 833,55 \text{ kN}$$

### 2. Desain Lentur

Perencanaan kekuatan lentur mengacu pada AISI S100-16 section C.

$$F_c = \frac{10}{9} F_y \left(1 - \frac{10F_y}{35F_e}\right) = 439,73 \text{ MPa}$$

$$S_c = 143,2 \text{ mm}^3$$

$$M_n = S_c F_c = 62,969 \text{ kNm}$$

### 3. Interaksi Aksial dan Momen

$$\frac{P_u}{\phi_c P_n} + \frac{C_{mx} M_{ux}}{\phi_b M_n \alpha_x} + \frac{C_{my} M_{uy}}{\phi_b M_n \alpha_y} \leq 1,0$$

$$\frac{59,084}{0,85 \cdot 833,55} + \frac{1 \cdot 11,553}{0,9 \cdot 62,969 \cdot 0,941} + \frac{1 \cdot 4,248}{0,9 \cdot 62,969 \cdot 0,941} = 0,367 \leq 1,0 \dots (\text{OK})$$

#### 4.9.2.3 Sambungan

Sambungan seperti pada model CF-A1 sehingga kontrol sambungan lebih detail dapat dilihat pada Sub Bab 4.5.2.3 pada CF-A1.

#### Gaya dalam Sambungan

$$M_u = 17,009 \text{ kNm}$$

$$P_u = 26,392 \text{ kN}$$

#### Beban pada Sambungan dengan Reduksi Eksentrisitas

Akibat  $P_u$ :

$$P_{V1} = P_u / 12 = 2,2 \text{ kN}$$

Akibat  $M_u$ :

$$P_{V2} = \frac{P_u \cdot L_x}{\sum x^2 + \sum y^2} = 10,364 \text{ kN}$$

$$P_H = \frac{P_u \cdot L_y}{\sum x^2 + \sum y^2} = 4,379 \text{ kN}$$

Total:

$$\sum P_V = P_{V1} + P_{V2} = 12,563 \text{ kN}$$

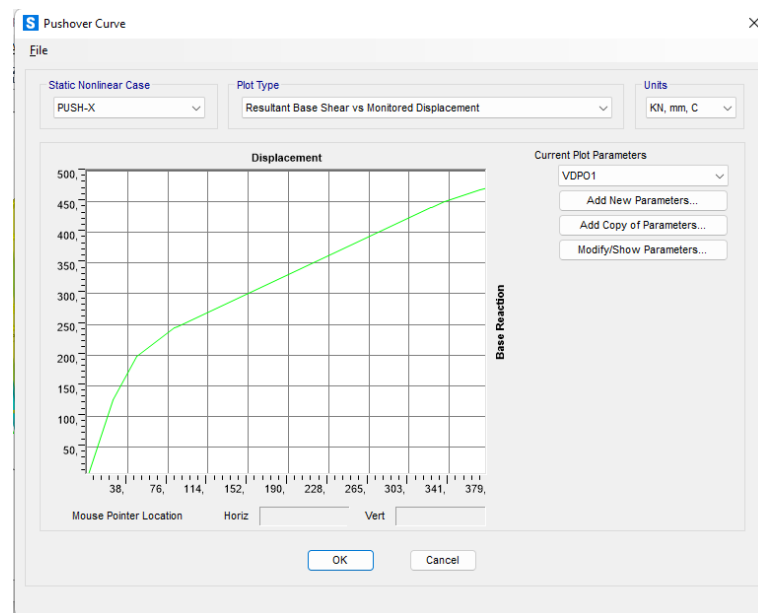
$$P_{\text{total}} = \sqrt{P_V^2 + P_H^2} = 13,305 \text{ kN}$$

#### Kekuatan Sambungan Baut

$$\phi P_n = 155,16 \text{ kN} \geq P_u = 13,305 \text{ kN} \dots (\text{OK})$$

### 4.9.3 Pushover Analysis CF-B2

Hasil pushover analysis yang dilakukan dengan SAP2000 dari permodelan CF-B2 adalah *Pushover curve*, daktilitas, level kinerja struktur, dan energi disipasi. *Pushover curve* yang didapatkan dari analisis pushover menggambarkan kekuatan struktur yang besarnya sangat tergantung dari kemampuan momen deformasi dari masing-masing komponen struktur. *Pushover curve* adalah kurva yang menunjukkan hubungan antara perpindahan (*displacement*) dan gaya geser (*base shear*) yang diakibatkan oleh beban statik sampai pada kondisi ultimit bangunan atau target *displacement* yang telah ditentukan. *Pushover curve* yang permodelan model CF-B2 dapat dilihat pada Gambar 4.21.

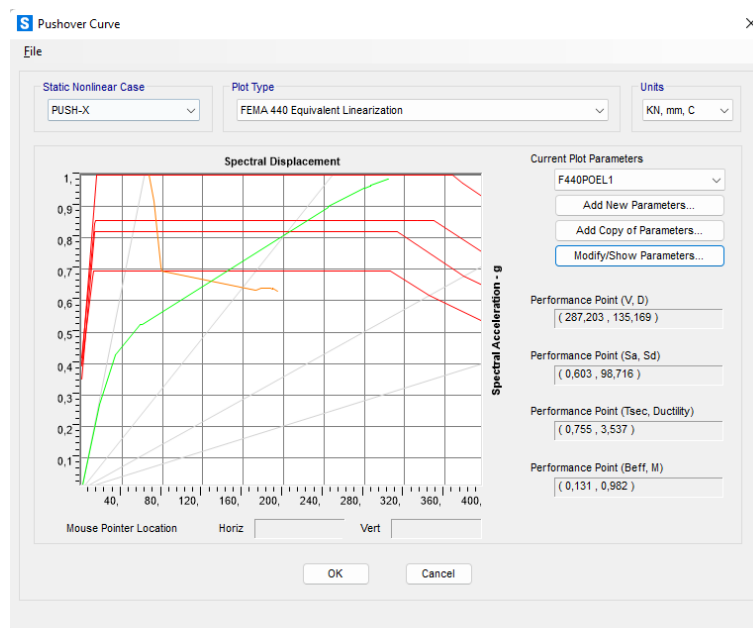


Gambar 4.21 *Pushover Curve* CF-B2

Dari Gambar 4.21 didapatkan *base shear* untuk leleh pertama sebesar 126,808 kN dengan *displacement* 24,284 mm dan *base shear* maksimum sebesar 474,528 kN dengan *displacement* sebesar 379,234 mm. Daktilitas struktur dapat ditentukan dengan menghitung rasio dari *base shear* maksimum terhadap *base shear* saat pelelehan pertama dari kurva *pushover* pada Gambar 4.21. Sehingga daktilitas yang merupakan *base shear* maksimum terhadap *base shear* saat pelelehan pertama adalah 3,742.

Metode spektrum kapasitas menggunakan kurva kapasitas yang telah dikonversi ke dalam format ADRS (*Acceleration Displacement Response Spectrum*) yaitu hubungan antara  $S_a$  dan  $S_d$  dan kurva *seismic demand* yang dikonversi ke dalam bentuk *spectrum demand*. Konversi dilakukan otomatis oleh program SAP2000 yang membentuk kurva kapasitas, *spectrum demand*, dan titik kinerjanya yang dapat dilihat pada Gambar 4.22.

Dari kurva respon spektrum rencana sesuai dengan SNI 1726-2019 untuk bangunan dengan kota Yogyakarta dan kondisi tanah SE, diperoleh nilai  $C_a = 0,4$  dan  $C_v = 1,2168$  yang diperlukan sebagai input data pada program SAP2000, selanjutnya hitungan sepenuhnya akan dianalisis oleh SAP2000.



Gambar 4.22 Level Kinerja Struktur CF-B2

Pada Gambar 4.22 dapat dilihat hasil simpangan struktur CF-B2 diperoleh nilai simpangan = 135,169 mm dan gaya geser dasar = 287,203 kN. Dari hasil tersebut maka berdasarkan metode spektrum kapasitas perilaku struktur CF-B2 pada pemodelan telah mengalami kondisi inelastis yang disebabkan oleh pelelehan pada sendi plastis.

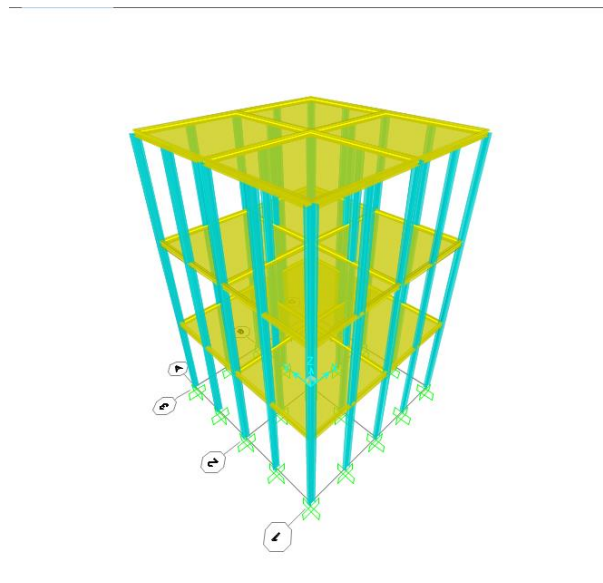
Level kinerja struktur bangunan dapat diketahui dengan melihat batasan rasio *displacement* yang dievaluasi pada *performance point*, dengan parameter yang ditinjau adalah *maximum total drift*. Batasan drift rasio menurut metode ATC-40 ditentukan dari perbandingan *displacement* dengan tinggi total

bangunan. Dari hasil *maksimum total drift*, akan dikoreksi pada batasan rasio *roof drift* menurut ATC-40 pada Tabel 4.8. Sehingga didapatkan rasio batasan *drift* adalah 0,022.

Dari hasil analisis di atas dapat dilihat level kinerja struktur CF-B2 pada pemodelan menunjukkan hasil level kinerja *Life Safety (LS)*. Kriteria tersebut menunjukkan bangunan mengalami kerusakan sedang. Beberapa elemen struktur rusak dan kehilangan kekuatan dan kekakuannya, tapi bangunan masih dapat berdiri. Penghuni didalamnya masih dapat selamat dan keluar menyelamatkan diri saat terjadi gempa.

#### **4.10 Model Struktur Baja *Cold-Formed* 3 Lantai dengan Jarak Kolom 1,5 meter (CF-B3)**

Model struktur CF-B3 adalah model desain hunian tetap yang direncanakan oleh Puslit MKPI ITS dengan 3 lantai dengan jarak kolom 1,5 meter. Model ini menggunakan mutu sesuai dengan *brochure* untuk semua elemen profil dan plat baja. Profil balok menggunakan DoubleCF150x50x20x3,2 sedangkan kolom menggunakan profil DoubleCF200x75x20x3,2. Model struktur secara detail dapat dilihat pada model 3D SAP2000 pada Gambar 4.23.



Gambar 4.23 Model CF-B3

Sebelum dilakukan analisis secara non-linear menggunakan *software* SAP2000, langkah awal yang dilakukan adalah melakukan perhitungan analisis struktur seperti perbandingan beban struktur, partisipasi massa, periode fundamental struktur, perbandingan  $V_{desain}$  dan  $V_{dinamis}$ , dan simpangan lantai struktur.

#### 4.10.1 Analisis Struktur CF-B3

Dalam menganalisis pemodelan struktur yang terdapat di SAP2000 diperlukan pengecekan dengan perhitungan secara manual. Komparasi perhitungan beban harus dilakukan sebagai perbandingan perhitungan yang dilakukan pada SAP2000 benar. Apabila terdapat selisih antara pembebanan pada SAP2000 dan manual maksimal sekitar  $\pm 5\%$ . Untuk perbandingan tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.37.

Tabel 4.37 Perbandingan Beban SAP2000 dan Manual CF-B3

JENIS BEBAN	TOTAL BEBAN <i>kN</i>	HASIL SAP2000 <i>kN</i>	SELISIH PERSEN %	STATUS
LL	207,36	207,36	0,00	OK
SDL	714,906	714,905	0,00	OK
DL	48,70	47,059	3,48	OK

Pada Tabel 4.37 didapatkan beban live dan beban super imposed dead tidak terdapat selisih, namun untuk beban dead dari kolom dan balok memiliki perbedaan 3,48% dikarenakan perhitungan beban tiap profil pada SAP2000 berbeda dengan beban tiap profil pada brochure yang digunakan.

Partisipasi massa struktur model CF-A2 pada SAP2000 juga perlu dilakukan pengecekan. Partisipasi massa struktur di perhitungan SAP2000 harus sesuai dengan parameter yang dibutuhkan yakni melebihi 90%. Partisipasi massa struktur di SAP2000 dinyatakan dengan Dynamic Percent. Hasil partisipasi massa pada SAP2000 dapat dilihat pada Tabel 4.38.



Tabel 4.38 Perbandingan Partisipasi Massa CF-B3

ARAH	DYNAMIC PERCENT %	STATUS
UX	94,06	OK
UY	99,94	OK

Partisipasi massa struktur yang dihasilkan pada model CF-B3 untuk arah X sebesar 94,06% dan untuk arah Y sebesar 99,94%. Sehingga model CF-B3 memenuhi persyaratan minimum partisipasi massa struktur.

Setelah dilakukan partisipasi massa struktur, dilakukan pengecekan periode fundamental struktur. Periode tersebut harus dibandingkan antara hasil di SAP2000 dengan hitungan manual. Periode fundamental struktur (T), baik untuk sumbu X atau sumbu Y nilainya diantara dari Ta dan Cu.Ta. Hasil periode struktur pada model CF-B3 dapat dilihat pada Tabel 4.39.

Tabel 4.39 Perbandingan T dengan Ta dan Cu.Ta CF-B3

SUMBU	Ta	Cu.Ta	T
X	0,420	0,588	0,691
Y			1,309

Nilai Ta dan CuTa didapatkan dari perhitungan manual. Nilai T dapat dilihat pada Tabel 4.39 didapatkan untuk arah X sebesar 0,691 s dan untuk arah Y sebesar 1,309 s. Apabila untuk nilai T kurang dari Ta, maka untuk perhitungan gaya geser akan menggunakan Ta dan apabila T melebihi CuTa akan menggunakan nilai Cu.Ta.

Selanjutnya untuk perhitungan gaya geser seismic juga harus dilakukan perbandingan. Perbandingan perhitungan gaya geser seismic di SAP2000 (Vdynamis) dengan perhitungan gaya geser seismic dengan perhitungan (Vdesain). Vdynamis dan Vdesain memiliki masing-masing dua arah sumbu, yaitu untuk sumbu X dan sumbu Y. Perhitungan gaya geser seismic dengan cara perhitungan (Vdesain) menggunakan persamaan  $V = C_s W$ .

Dari persamaan tersebut dibutuhkan Cs dengan persyaratan pada SNI1726:2019. Terdapat syarat-syarat Cs yang harus diperhitungkan dan didapatkan hasil Cs pakai dapat dilihat pada Tabel 4.40. Setelah didapatkan Cs,

maka dapat diperhitungan  $V_{desain}$  dengan mengalikan  $C_s$  dengan berat struktur yang diperhitungkan pada Tabel 4.37. Maka, perbandingan antara  $V_{desain}$  dengan  $V_{dinamis}$  dari SAP2000 dapat dilihat pada Tabel 4.41.

Tabel 4.40 Perhitungan  $C_s$  CF-B3

SUMBU	T	$C_{s1}$	$C_{s2}$	$C_{s3}$	$C_{s4}$	$C_s$ Pakai
X	0,691	0,221	0,391	0,029	0,085	0,221
Y	1,309		0,207			0,207

Tabel 4.41 Scale Factor Perbandingan  $V_{desain}$  dan  $V_{dynamic}$  Awal CF-B3

SUMBU	$V_{desain}$ <i>kN</i>	$V_{dynamic}$ <i>kN</i>	SCALE FACTOR	STATUS
X	182,83	701,17	0,261	NOT OK
Y	170,53	681,75	0,250	NOT OK

Pada Tabel 4.41, didapatkan scale factor untuk sumbu X sebesar 0,261 dan untuk sumbu Y sebesar 0,250. Maka, scale factor tersebut dimasukkan ke dalam beban gempa SAP2000 dan didapatkan perbandingan  $V_{dinamis}$  dan  $V_{desain}$  setelah modifikasi dapat dilihat pada Tabel 4.42.

Tabel 4.42 Perbandingan  $V_{desain}$  dan  $V_{dynamic}$  setelah Modifikasi CF-B3

SUMBU	$V_{desain}$ <i>kN</i>	$V_{dynamic}$ <i>kN</i>	SCALE FACTOR	STATUS
X	182,83	183,006	1,00	OK
Y	170,53	170,436	1,00	OK

Scale factor perbandingan  $V_{dinamis}$  dan  $V_{desain}$  model CF-B3 dapat dilihat pada Tabel 4.42. Didapatkan hasil  $V_{dinamis}$  pada SAP2000 sudah sesuai dengan  $V_{desain}$  yang diperhitungkan secara manual. Setelah didapatkan gaya gempa yang sesuai maka dilanjutkan untuk perhitungan simpangan lantai.

Simpangan lantai dari bangunan yang direncanakan di SAP2000 harus dibandingkan dengan simpangan lantai ijin yang dihitung dengan cara manual. Simpangan juga terdiri dari dua arah, yakni arah X dan Y. Untuk perhitungan simpangan dapat dilihat pada Tabel 4.43.

Tabel 4.43. Kontrol Simpangan Arah X dan Arah Y CF-B3

SUMBU X						
LANTAI KE-	Simpangan Rata-Rata $\delta_{ei}$ mm	Simpangan Diperbesar $\delta_i$ mm	Simpangan Antar Lantai $\Delta i$ mm	hsx mm	Simpangan Ijin $\Delta a$ mm	STATUS
1	12,749	31,873	31,873	3000	60	OK
2	30,194	75,485	43,613	3000	60	OK
3	43,377	108,443	32,958	3000	60	OK

SUMBU Y						
LANTAI KE-	Simpangan Rata-Rata $\delta_{ei}$ mm	Simpangan Diperbesar $\delta_i$ mm	Simpangan Antar Lantai $\Delta i$ mm	hsx mm	Simpangan Ijin $\Delta a$ mm	STATUS
1	47,250	118,125	118,125	3000	60	NOT OK
2	97,298	243,245	125,120	3000	60	NOT OK
3	127,066	317,665	74,420	3000	60	NOT OK

Pada Tabel 4.43, didapatkan simpangan lantai untuk arah X sebesar 43,613 mm dan untuk arah Y sebesar 125,12 mm. Untuk simpangan ijin yang disyaratkan oleh SNI 1726:2019, simpangan ijin untuk struktur model CF-A2 adalah sebesar 0,020 dari tinggi tiap lantainya, maka simpangan ijin pada model CF-B3 sebesar 60 mm. Didapatkan simpangan lantai untuk arah X OK, namun untuk simpangan lantai untuk arah Y tidak OK dikarenakan melebihi simpangan ijin.

#### 4.10.2 Kontrol Penampang CF-B3

Setelah tahapan analisis struktur, harus dilakukan perhitungan kontrol struktur secara manual untuk kekuatan balok, kolom, dan sambungan berdasarkan desain kapasitas sesuai AISI S100-16. Berikut adalah tahapan perhitungan kekuatan balok pada sub-bab 4.10.2.1, perhitungan kekuatan kolom pada sub-bab 4.10.2.2, dan perhitungan sambungan pada sub-bab 4.10.2.3.

##### 4.10.2.1 Balok

Pada perhitungan balok akan digunakan profil baja *cold-formed* Double Channel C 150 x 65 x 20 x 3,2 sesuai dengan yang tersedia dalam brochure yang tersedia. Untuk perhitungan balok seperti pada model CF-A1. Maka untuk CF-B3 hanya berbeda beban saja. Perhitungan balok baja *cold-formed* untuk CF-B3 adalah sebagai berikut:

##### Gaya dalam elemen balok

$$M_u = 15,673 \text{ kNm}$$

$$V_u = 26,968 \text{ kN}$$

$$P_u = 1,052 \text{ kN}$$

## 1. Desain Lentur

### a. Kapasitas leleh dan tekuk global ( $M_{ne}$ )

Kekuatan lentur nominal untuk leleh dan tekuk global dihitung dengan cara sebagai berikut.

$$M_{ne} = S_f \cdot F_n \leq M_y$$

$$M_{ne} = S_f F_n = 26560000 \text{ Nmm} = 26,56 \text{ kNm}$$

$$M_y = S_f F_y = 26560000 \text{ Nmm} = 26,56 \text{ kNm}$$

$$M_{ne} \leq M_y \dots (\text{OK})$$

### b. Kapasitas interaksi tekuk lokal dan tekuk global ( $M_{nl}$ )

Kekuatan lentur nominal akibat interaksi tekuk lokal dan tekuk global dihitung dengan cara sebagai berikut.

$$M_{nl} = M_{ne} = 26,56 \text{ kNm}$$

### c. Kapasitas tekuk distorsional ( $M_{nd}$ )

Kekuatan lentur nominal akibat tekuk distorsional dihitung dengan cara sebagai berikut.

$$M_{nd} = M_y = 26,56 \text{ kNm}$$

### d. Available flexural strength (factored resistance)

Perhitungan adalah sebagai berikut.

$$M_{ne} = 26,56 \text{ kNm}$$

$$M_{nl} = 26,56 \text{ kNm}$$

$$M_{nd} = 26,56 \text{ kNm}$$

Maka:

$$M_n = 26,56 \text{ kNm}$$

$$\phi_b M_n = 0,9 \cdot 26,56 = 23,904 \text{ kNm} \geq M_u = 15,673 \text{ kNm} \dots (\text{OK})$$

## 2. Desain Geser

Desain geser balok baja *cold-formed* mengacu pada AISI S100-16 section G. Perhitungan kapasitas geser ( $V_n$ ) adalah sebagai berikut.

$$V_n = V_{cr} = 474,648 \text{ kN}$$

$$\phi_v V_n = 0,9 \cdot 474,648 = 450,915 \text{ kN} \geq V_u = 26,968 \text{ kN} \dots (\text{OK})$$

## 3. Interaksi momen dan geser

Untuk balok yang mengalami momen dan geser harus memenuhi persamaan interaksi momen dan geser sebagai berikut.

$$\sqrt{\left(\frac{\bar{M}}{M_{alo}}\right)^2 + \left(\frac{\bar{V}}{V_a}\right)^2} \leq 1,0$$

Sehingga perhitungan kontrol interaksi momen dan geser dapat dihitung sebagai berikut.

$$\sqrt{\left(\frac{\bar{M}}{M_{alo}}\right)^2 + \left(\frac{\bar{V}}{V_a}\right)^2} \leq 1,0$$

$$\sqrt{\left(\frac{15,673}{23,904}\right)^2 + \left(\frac{26,968}{450,916}\right)^2} = 0,658 \leq 1,0 \dots (\text{OK})$$

#### 4.10.2.2 Kolom

Profil kolom menggunakan DoubleCF200x75x20x3,2 seperti pada model CF-A1 sehingga kontrol kolom lebih detail dapat dilihat pada Sub Bab 4.5.2.2 pada CF-A1. Maka untuk CF-B1 hanya berbeda beban saja.

##### Gaya dalam elemen kolom

$$M_{ux} = 4,97 \text{ kNm}$$

$$M_{uy} = 24,91 \text{ kNm}$$

$$P_u = 96,788 \text{ kN}$$

##### 1. Desain Aksial

Perencanaan kekuatan aksial mengacu pada AISI S100-16 section D.

$$F_n = 415,18 \text{ MPa}$$

$$A_e = (2)(0,85A_s) = 20,08 \text{ cm}^2$$

$$P_n = A_e F_n = 833,55 \text{ kN}$$

##### 2. Desain Lentur

Perencanaan kekuatan lentur mengacu pada AISI S100-16 section C.

$$F_c = \frac{10}{9} F_y \left(1 - \frac{10F_y}{35F_e}\right) = 439,73 \text{ MPa}$$

$$S_c = 143,2 \text{ mm}^3$$

$$M_n = S_c F_c = 62,969 \text{ kNm}$$

##### 3. Interaksi Aksial dan Momen

$$\frac{P_u}{\phi_c P_n} + \frac{C_{mx} M_{ux}}{\phi_b M_n \alpha_x} + \frac{C_{my} M_{uy}}{\phi_b M_n \alpha_y} \leq 1,0$$

$$\frac{96,788}{0,85 \cdot 833,55} + \frac{1 \cdot 4,97}{0,9 \cdot 62,969 \cdot 0,941} + \frac{1 \cdot 24,91}{0,9 \cdot 62,969 \cdot 0,941} = 0,681$$

$$\leq 1,0 \dots (\text{OK})$$

#### 4.10.2.3 Sambungan

Sambungan seperti pada model CF-A1 sehingga kontrol sambungan lebih detail dapat dilihat pada Sub Bab 4.5.2.3 pada CF-A1.

##### Gaya dalam Sambungan

$$M_u = 17,009 \text{ kNm}$$

$$P_u = 26,392 \text{ kN}$$

##### Beban pada Sambungan dengan Reduksi Eksentrisitas

Akibat  $P_u$ :

$$P_{V1} = P_u/12 = 2,2 \text{ kN}$$

Akibat  $M_u$ :

$$P_{V2} = \frac{P_u \cdot L_x}{\sum x^2 + \sum y^2} = 10,364 \text{ kN}$$

$$P_H = \frac{P_u \cdot L_y}{\sum x^2 + \sum y^2} = 4,379 \text{ kN}$$

Total:

$$\sum P_V = P_{V1} + P_{V2} = 12,563 \text{ kN}$$

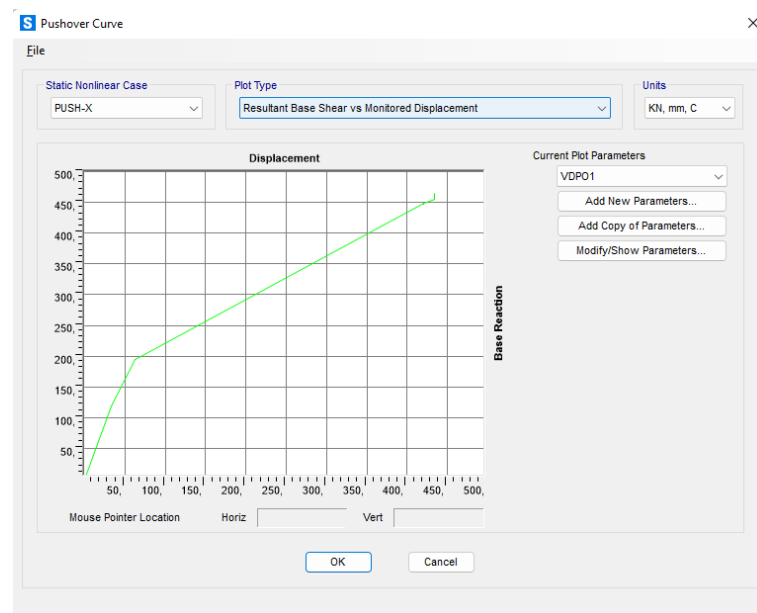
$$P_{\text{total}} = \sqrt{P_V^2 + P_H^2} = 13,305 \text{ kN}$$

##### Kekuatan Sambungan Baut

$$\phi P_n = 155,16 \text{ kN} \geq P_u = 13,305 \text{ kN} \dots (\text{OK})$$

#### 4.10.3 *Pushover Analysis* CF-B3

Hasil pushover analysis yang dilakukan dengan SAP2000 dari permodelan CF-B3 adalah *Pushover curve*, daktilitas, level kinerja struktur, dan energi disipasi. *Pushover curve* yang didapatkan dari analisis pushover menggambarkan kekuatan struktur yang besarnya sangat tergantung dari kemampuan momen deformasi dari masing-masing komponen struktur. *Pushover curve* adalah kurva yang menunjukkan hubungan antara perpindahan (*displacement*) dan gaya geser (*base shear*) yang diakibatkan oleh beban statik sampai pada kondisi ultimit bangunan atau target *displacement* yang telah ditentukan. *Pushover curve* yang permodelan model CF-B3 dapat dilihat pada Gambar 4.24.

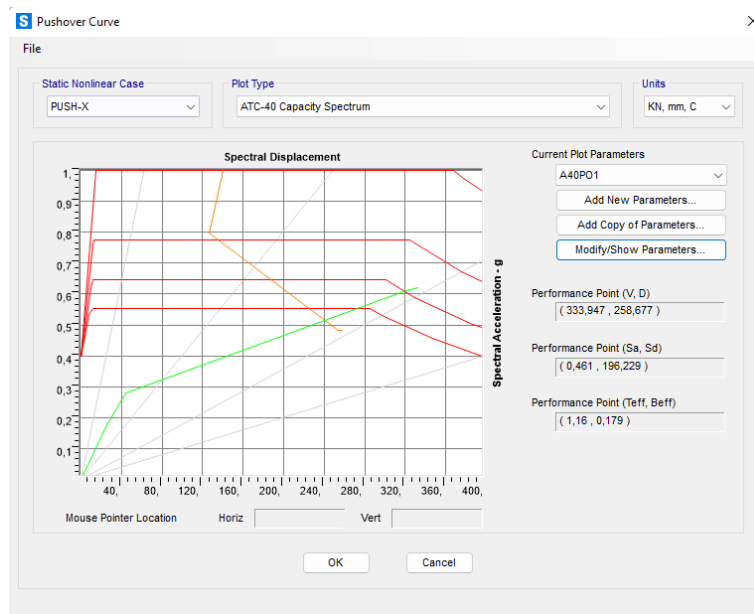


Gambar 4.24 *Pushover Curve* CF-B3

Dari Gambar 4.24 didapatkan *base shear* untuk leleh pertama sebesar 118,935 kN dengan *displacement* 33,615 mm dan *base shear* maksimum sebesar 464,967 kN dengan *displacement* sebesar 434,223 mm. Daktilitas struktur dapat ditentukan dengan menghitung rasio dari *base shear* maksimum terhadap *base shear* saat pelepasan pertama dari kurva *pushover* pada Gambar 4.24. Sehingga daktilitas yang merupakan *base shear* maksimum terhadap *base shear* saat pelepasan pertama adalah 3,909.

Metode spektrum kapasitas menggunakan kurva kapasitas yang telah dikonversi ke dalam format ADRS (*Acceleration Displacement Response Spectrum*) yaitu hubungan antara  $S_a$  dan  $S_d$  dan kurva *seismic demand* yang dikonversi ke dalam bentuk *spectrum demand*. Konversi dilakukan otomatis oleh program SAP2000 yang membentuk kurva kapasitas, *spectrum demand*, dan titik kerjanya yang dapat dilihat pada Gambar 4.25.

Dari kurva respon spektrum rencana sesuai dengan SNI 1726-2019 untuk bangunan dengan kota Yogyakarta dan kondisi tanah SE, diperoleh nilai  $C_a = 0,4$  dan  $C_v = 1,2168$  yang diperlukan sebagai input data pada program SAP2000, selanjutnya hitungan sepenuhnya akan dianalisis oleh SAP2000.



Gambar 4.25 Level Kinerja Struktur CF-B3

Pada Gambar 4.25 dapat dilihat hasil simpangan struktur CF-B3 diperoleh nilai simpangan = 258,677 mm dan gaya geser dasar = 333,947 kN. Dari hasil tersebut maka berdasarkan metode spektrum kapasitas perilaku struktur CF-B3 pada pemodelan telah mengalami kondisi inelastis yang disebabkan oleh pelelehan pada sendi plastis.

Level kinerja struktur bangunan dapat diketahui dengan melihat batasan rasio *displacement* yang dievaluasi pada performance point, dengan parameter yang ditinjau adalah *maksimum total drift*. Batasan drift rasio menurut metode ATC-40 ditentukan dari perbandingan *displacement* dengan tinggi total bangunan. Dari hasil *maksimum total drift*, akan dikoreksi pada batasan rasio *roof drift* menurut ATC-40 pada Tabel 4.8. Sehingga didapatkan rasio batasan *drift* adalah 0,028.

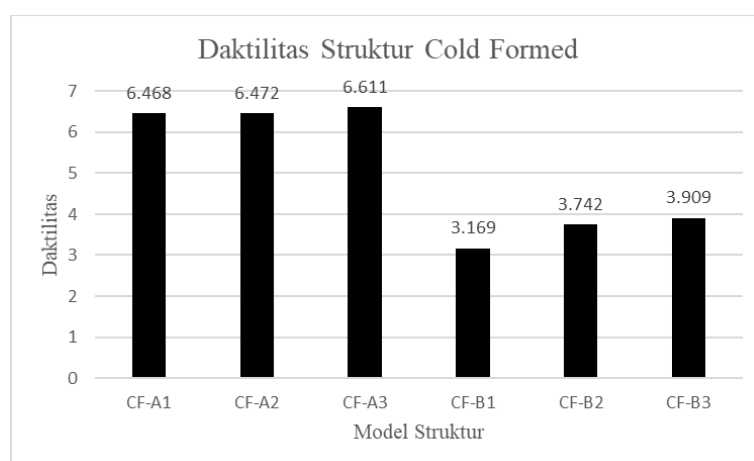
Dari hasil analisis di atas dapat dilihat level kinerja struktur CF-A1 pada pemodelan menunjukkan hasil level kinerja *Life Safety (LS)*. Kriteria tersebut menunjukkan bangunan mengalami kerusakan sedang. Beberapa elemen struktur rusak dan kehilangan kekuatan dan kekakuannya, tapi bangunan masih dapat berdiri. Penghuni didalamnya masih dapat selamat dan keluar menyelamatkan diri saat terjadi gempa.



## 4.11 Interpretasi Hasil Analisis

### 4.11.1 Perbandingan Daktilitas Struktur

Daktilitas dari tiap spesimen struktur dapat dilihat pada Gambar 4.26. Didapatkan bahwa specimen model struktur dengan jarak kolom 3 meter yaitu CF-A1, CF-A2, dan CF-A3 memiliki daktilitas yang relatif sama masing-masing sebesar 6,468; 6,472; dan 6,611. Sedangkan specimen model struktur dengan jarak kolom 1,5 meter yaitu CF-B1, CF-B2, dan CF-B3 memiliki daktilitas lebih rendah namun juga relative sama masing-masing sebesar 3,169; 3,742; dan 3,909.



Gambar 4.26 Perbandingan Daktilitas Struktur dari SAP2000

Dapat diamati bahwa trend dari grafik histogram pada Gambar 4.26 adalah nilai daktilitas cenderung meningkat seiring bertambahnya tingkat lantai. Didapatkan bahwa untuk sebagian besar model struktur baja *cold-formed*, daktilitas struktur tersebut memenuhi untuk persyaratan R untuk rangka baja pemikul momen biasa yaitu R 3,5. Maka dapat dikategorikan bahwa struktur baja *cold-formed* memenuhi kategori SRPMB. Namun, terdapat model struktur baja *cold-formed* yang tidak memenuhi yaitu CF-B1. CF-B1 model dengan 1 lantai dan jarak kolom 1,5 meter didapatkan lebih getas yaitu dengan daktilitas sebesar 3,169.

#### 4.11.2 Perbandingan Level Kinerja Struktur

Level kinerja struktur pada permodelan dapat dilihat pada Tabel 4.44. Didapatkan bahwa specimen model struktur dengan jarak kolom 3 meter yaitu CF-A1, CF-A2, dan CF-A3 memiliki level kinerja struktur sama yaitu Life Safety dikarenakan batasan untuk kondisi Life Safety melebihi 0,015. Sama seperti dengan model struktur dengan jarak kolom 1,5 meter yaitu CF-B2 dan CF-B3 memiliki level kinerja struktur yaitu Life Safety (LS). Namun, berbeda dengan model struktur CF-B1. CF-B1 memiliki level kinerja struktur Damage Control dikarenakan Batasan untuk kondisi Damage Control diantara 0,005 sampai dengan 0,015.

Tabel 4.44 Perbandingan Level Kinerja Struktur dari SAP2000

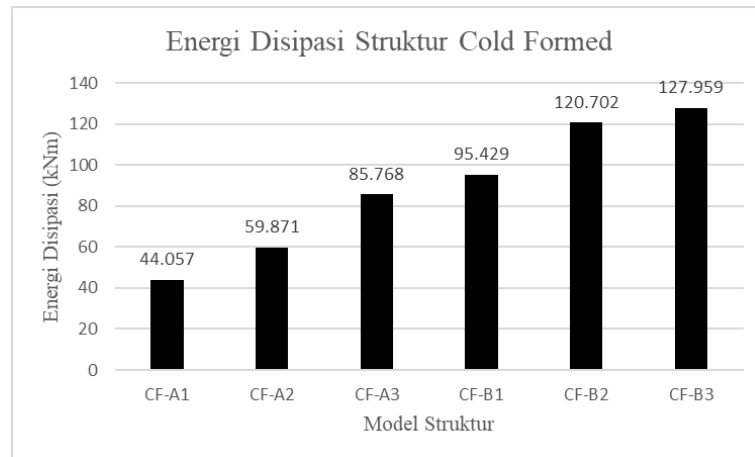
Type	Perbandingan Drift Ratio	Level Kinerja Struktur
CF-A1	0,0200	Life Safety
CF-A2	0,0620	Life Safety
CF-A3	0,0670	Life Safety
CF-B1	0,0081	Damage Control
CF-B2	0,0220	Life Safety
CF-B3	0,0280	Life Safety

Didapatkan untuk model CF-B1 level kinerja struktur merupakan Damage Control (DC). Kriteria tersebut menunjukkan bangunan secara umum mengalami kerusakan ringan. Elemen struktur masih memiliki kekuatan seperti sebelum terjadi gempa dan elemen non struktur hanya mengalami kerusakan kecil. Untuk model lainnya, didapatkan level kinerja struktur Life Safety (LS). Kriteria tersebut menunjukkan bangunan mengalami kerusakan sedang. Beberapa elemen struktur rusak dan kehilangan kekuatan dan kekakuannya, tapi bangunan masih dapat berdiri. Penghuni didalamnya masih dapat selamat dan keluar menyelamatkan diri saat terjadi gempa.

#### 4.11.3 Perbandingan Energi Disipasi Struktur

Energi disipasi (dissipation energy) yang dihasilkan ke enam model struktur dapat dilihat pada Gambar 4.27. Model CF-A1 memiliki kapasitas energi disipasi sebesar 44,057 kN.m. Model CF-A2 memiliki kapasitas energi

disipasi sebesar 59,781 kN.m. Model CF-A3 memiliki kapasitas energi disipasi sebesar 85,768 kN.m. Model CF-B1 memiliki kapasitas energi disipasi sebesar 95,429 kN.m. Model CF-B2 memiliki kapasitas energi disipasi sebesar 120,702 kN.m. Model CF-B3 memiliki kapasitas energi disipasi sebesar 127,959 kN.m.



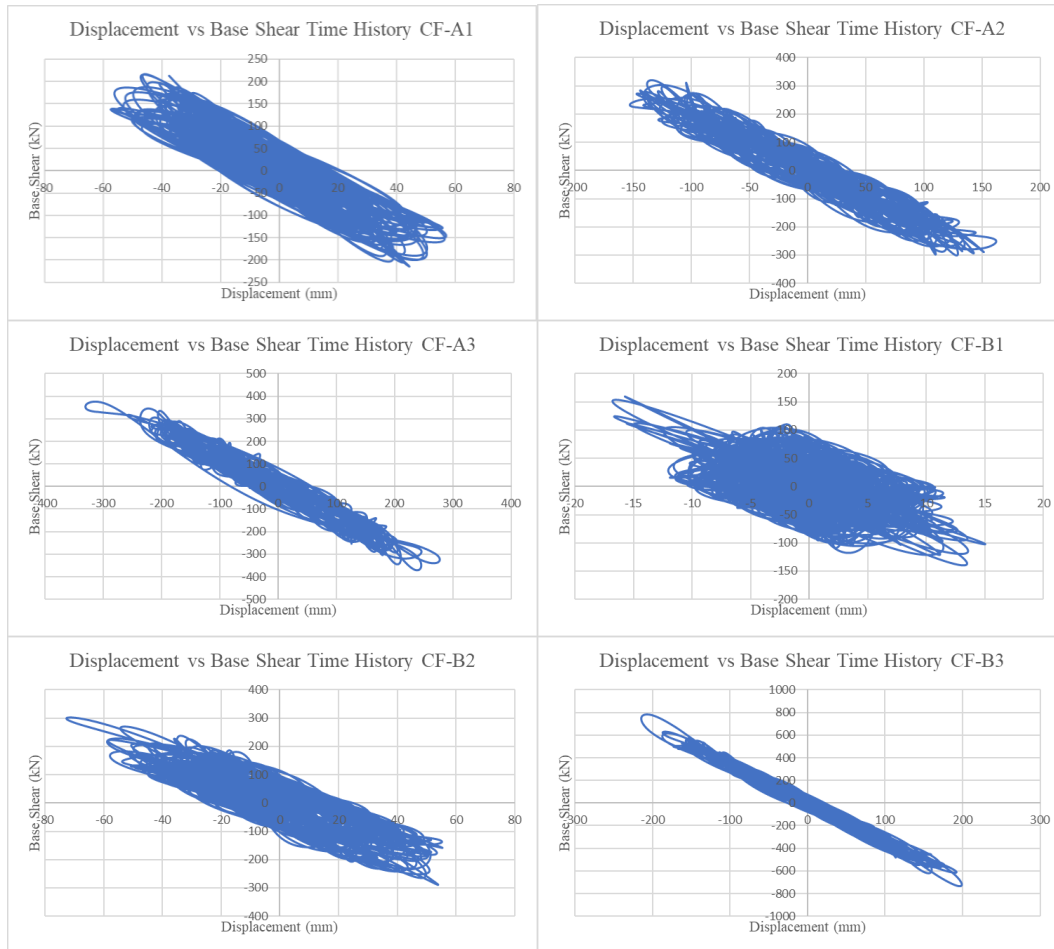
Gambar 4.27 Perbandingan Energi Disipasi Struktur dari SAP2000

Trend energi disipasi struktur pada Gambar 4.27 menunjukkan pola untuk struktur dengan kolom jarak 1,5 meter lebih tinggi dibandingkan dengan struktur dengan kolom jarak 3 meter. Model CF-B3 memiliki kapasitas energi disipasi terbesar pada permodelan struktur baja *cold-formed*. Dari Gambar 4.27, didapatkan bahwa struktur baja *cold-formed* yang semakin tinggi struktur dan semakin pendek jarak antar kolom maka didapatkan energi disipasi yang semakin besar.

#### 4.11.4 Perbandingan *Base Shear* dan *Displacement* dengan *Time History*

Grafik perbandingan *base shear* dan *displacement* dengan pembebanan *Time History* pada permodelan struktur dapat dilihat pada Gambar 4.28 dan dapat dilihat pada Tabel 4.45 untuk *base shear* dan *displacement* maksimum pada setiap model. Model CF-A1 memiliki *base shear* maksimum sebesar 216,683 kN dan *displacement* maksimum sebesar 59,969 mm. Model CF-A2 memiliki *base shear* maksimum sebesar 320,356 kN dan *displacement* maksimum sebesar 162,261 mm. Model CF-A3 memiliki *base shear* maksimum sebesar 376,301 kN dan *displacement* maksimum sebesar 277,528

mm. Model CF-B1 memiliki *base shear* maksimum sebesar 159,585 kN dan *displacement* maksimum sebesar 15,030 mm. Model CF-B2 memiliki *base shear* maksimum sebesar 302,488 kN dan *displacement* maksimum sebesar 55,430 mm. Model CF-B3 memiliki *base shear* maksimum sebesar 783,139 kN dan *displacement* maksimum sebesar 198,927 mm.



Gambar 4.28 Perbandingan *Base Shear* dan *Displacement* dengan *Time History*

Tabel 4.45 *Base shear* dan *Displacement* Maksimum dengan *Time History*

Type	<i>Base Shear (kN)</i>	<i>Displacement (mm)</i>
CF-A1	216,683	56,969
CF-A2	320,356	162,261
CF-A3	376,301	277,528
CF-B1	159,585	15,030
CF-B2	302,488	55,430
CF-B3	783,139	198,927

Dapat diamati dari Gambar 4.28 dan Tabel 4.45, bahwa model CF-B3 mengalami *base shear* yang relatif besar dibandingkan dengan spesimen lain yaitu 783,139 kN dan model CF-B1 mengalami *base shear* terkecil yaitu 159,585 kN. Dapat diamati juga untuk *displacement*, didapatkan *displacement* terbesar pada model CF-A3 yaitu 277,528 mm dan *displacement* terkecil pada model CF-B1 yaitu 15,030 mm. Peningkatan *base shear* dan *displacement* maksimum seperti pada Gambar 4.28 dan Tabel 4.45 menunjukkan pola untuk semakin tinggi struktur maka didapatkan *base shear* dan *displacement* yang semakin besar.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

1. Dari analisis menggunakan program bantu SAP2000, pemodelan validasi penelitian pengujian model eksperimental oleh Bagheri Sabbagh et al., 2012 menghasilkan grafik kurva histerisis yang hampir sama.. Namun terdapat sedikit perbedaan dikarenakan pada SAP2000 tidak dapat memodelkan profil melengkung seperti pada model eksperimental. Dari pemodelan menggunakan program bantu SAP2000, analisis struktur dan kontrol penampang struktur *cold-formed*, didapatkan bahwa struktur baja *cold-formed* sebagian besar dapat digunakan sebagai struktur untuk hunian tetap dengan luas 36 m<sup>2</sup> untuk 1 sampai dengan 3 lantai. Namun, untuk model CF-A3 untuk profil kolom dengan profil yang tersedia pada brocure tidak mampu menahan beban struktur 3 lantai.
2. Dari hasil analisis untuk kontrol struktur menggunakan *pushover analysis* dijelaskan bahwa dengan perbedaan lantai untuk struktur *cold-formed*, yaitu struktur dengan 1 lantai, 2 lantai, dan 3 lantai, memiliki hasil *pushover* yang baik dan melebihi *base shear* saat terjadi gempa. Didapatkan hasil semakin kecil jarak antar kolom maka semakin besar *base shear* pada *pushover analysis*.
3. Dari hasil analisis menggunakan program bantu SAP2000 dan hasil perhitungan manual untuk kontrol penampang balok, kolom, dan sambungan, didapatkan hasil yang efektif dan efisien untuk Hunian tetap oleh Pusat Penelitian Mitigasi Kebencanaan dan Perubahan Iklim (Puslit MKPI) dengan luas 36 m<sup>2</sup>, menggunakan struktur baja *cold-formed* dengan 2 lantai dan jarak antar kolom 1,5 meter yaitu model CF-B2. Dikarenakan CF-B2 sangat optimal untuk memenuhi daktilitas, level kinerja struktur, energi disipasi, dan *Time History Analysis* pada struktur tersebut.

## 5.2 Saran

1. Perlu melakukan uji eksperimental pada model struktur *cold-formed* untuk melihat kapasitas secara nyata atau real.
2. Perlu dilakukan analisis model portal untuk melihat kinerja sistem sambungan lebih lanjut dengan berbagai variasi beban.



## DAFTAR PUSTAKA

- Bagheri Sabbagh, A., Petkovski, M., Pilakoutas, K., & Mirghaderi, R. (2012). Experimental work on cold-formed steel elements for earthquake resilient moment frame buildings. *Engineering Structures*, 42, 371–386. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2012.04.025>
- Bambach, M. R. (2010). Unified Element and Section Approach to Design of Cold-Formed Steel Structures. *Journal of Structural Engineering*, 136(4), 343–353. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)st.1943-541x.0000120](https://doi.org/10.1061/(asce)st.1943-541x.0000120)
- Hancock, G. J., Murray, T., & Ellifrit, D. S. (2001). Cold-Formed Steel Structures to the AISI Specification. In *Cold-Formed Steel Structures to the AISI Specification*. <https://doi.org/10.1201/9780203907986>
- ITS News. (2018). Huntara ITS 1.0 Ringankan Beban Korban Gempa Lombok.
- JPNN. (2018). ITS Bangun 323 Huntara untuk Korban Gempa Lombok.
- Karabulut, B., & Soyoz, S. (2017). Experimental and analytical studies on different configurations of cold-formed steel structures. *Journal of Constructional Steel Research*, 133, 535–546. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2017.02.027>
- Kechidi, S., Bourahla, N., & Castro, J. M. (2017). Seismic design procedure for cold-formed steel sheathed shear wall frames: Proposal and evaluation. *Journal of Constructional Steel Research*, 128, 219–232. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2016.08.018>
- Komara, I., Wahyuni, E., & Suprobo, P. (2016). Studi Numerik Perilaku Sambungan Baut dan Adhesive Pada Struktur Rangka Atap Baja Ringan. *Konferensi Nasional Pascasarjana Teknik Sipil (KNPTS), December*, 1–9.
- Komara, I., Wahyuni, E., & Suprobo, P. (2017). A study on Cold-formed Steel Frame Connection: A review. *IPTEK The Journal for Technology and Science*, 28(3). <https://doi.org/10.12962/j20882033.v28i3.3223>
- Lombok Post. (2020). Setahun Berlalu Masih Ada Korban Gempa Lombok Tinggal di Huntara.
- Meiyalagan, M. (2010). Investigation on Cold formed C section Long Column with Intermediate Stiffener & Corner Lips–Under Axial Compression. *International Journal of ...*, 1, 28–41. <http://www.indianjournals.com/ijor.aspx?target=ijor:ijaerd&volume=1&issue=1&article=003>
- Paulo Santos. (2017). Energy Efficiency of Lightweight Steel-Framed Buildings. *Structures*, 32(October 2016), 137–144. <http://dx.doi.org/10.1039/C7RA00172J%0Ahttps://www.intechopen.com/books/advanced-biometric-technologies/liveness-detection-in-biometrics%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.colsurfa.2011.12.014%0Ahttp://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/245180/24518>

- Pehlivan, B. M., Baran, E., & Topkaya, C. (2020). An energy dissipating hold down device for cold-formed steel structures. *Journal of Constructional Steel Research*, 166, 105913. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2019.105913>
- Pourabdollah, O., Farahbod, F., & Rofooei, F. R. (2017). The seismic performance of K-braced cold-formed steel shear panels with improved connections. *Journal of Constructional Steel Research*, 135(April), 56–68. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2017.04.008>
- Rossi, B., Jaspart, J.-P., & Rasmussen, K. J. R. (2010). Combined Distortional and Overall Flexural-Torsional Buckling of Cold-Formed Stainless Steel Sections: Design. *Journal of Structural Engineering*, 136(4), 361–369. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)st.1943-541x.0000147](https://doi.org/10.1061/(asce)st.1943-541x.0000147)
- Wan, H. X., Huang, B., & Mahendran, M. (2021). Experiments and numerical modelling of cold-formed steel beams under bending and torsion. *Thin-Walled Structures*, 161(December 2020), 107424. <https://doi.org/10.1016/j.tws.2020.107424>
- Winter, G. (1970). Commentary on the 1968 Edition of the Specification for the Design of Cold-formed Steel Structural Members. *AISI-Specifications for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members*, 102.
- Yu, W., Ph, D., & Wiley, J. (2000). *Steel Design Third Edition*.

## BIODATA PENULIS



**Rizqi Alghiffary**, penulis, lahir di Kediri pada tanggal 29 Januari 2000 dan merupakan anak pertama dari tiga bersaudara. Penulis telah menempuh Pendidikan formal di SMP Negeri 1 Sidoarjo, dan SMA Negeri 6 Surabaya. Setelah lulus dari SMA, penulis kemudian melanjutkan Pendidikan program sarjana (S1) di Departemen Teknik Sipil ITS pada tahun 2017 melalui jalur SNMPTN. Saat sedang menjalani pendidikan S1, penulis melanjutkan pendidikan program pascasarjana (S2) di Departemen Teknik

Sipil Bidang Struktur ITS pada tahun 2021 dengan beasiswa fasttrack dan terdaftar dengan NRP 6012202026. Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif dalam bidang organisasi kemahasiswaan. Pada studi pascasarjana, penulis mengambil topik tesis dengan judul “Desain Hunian Tetap ITS Tahan Gempa menggunakan Baja *Cold-Formed*”.

Akhir kata penulis mengucapkan rasa syukur atas terselesaikannya Tesis. Jika pembaca ingin berdiskusi dengan penulis dapat menghubungi melalui email berikut: [rizqi.alghiffary@gmail.com](mailto:rizqi.alghiffary@gmail.com).