



Ir. Totok Andi Prasetyo, S.T., M.T. - (Ahli Teknik Bangunan Gedung Jenjang 9 dan Ahli Geoteknik Jenjang 9)

Penulis merupakan dosen di Institut Sains dan Teknologi Nasional (ISTN) di Jakarta, mengajar Mata Kuliah Struktur Baja, Struktur Beton dan Pondasi. Penulis juga praktisi profesional Direktur Teknik PT. TAP Rekayasa Struktur di Bekasi. Penulis menempuh pendidikan S1 di Universitas Islam Indonesia (UII) Yogyakarta lulus Tahun 2001, lalu mengambil Magister Teknik (MT) di kampus ISTN dari tahun 2018 lulus 2020. Penulis memiliki pengalaman 24 tahun sebagai praktisi dalam bidang struktur dan geoteknik, berbagai macam bangunan yang penulis tangani mulai dari struktur baja yang sederhana sampai yang complicated industrial building. Selain struktur baja juga beliau menangani struktur beton dari low-rise sampai high-rise building. Buku ini disusun berdasarkan SNI yang terbaru.



Naufal Yasir, S.T. - (Ahli Muda Teknik Bangunan Gedung Jenjang 7)

Naufal Yasir merupakan alumni Teknik Sipil Universitas Diponegoro (2018-2020). Selama masa kuliah penulis aktif dalam kegiatan akademik sebagai asisten dosen Struktur Beton Bertulang 1. Semenjak kuliah, penulis juga aktif untuk berkecimpung pada beberapa proyek lokal di daerahnya. Sekarang penulis aktif bekerja sebagai structural engineer di PT. TAP Rekayasa Struktur.

PERENCANAAN STRUKTUR BANGUNAN INDUSTRI LENGKAP DENGAN CRANE

Konstruksi bangunan industri di Indonesia meningkat pesat seiring digenjotnya berbagai macam sektor industri. Berbagai macam kawasan industri strategis dikembangkan baik oleh pemerintah maupun pihak swasta untuk mendukung perkembangan ekonomi nasional. Perencanaan bangunan industri, meski tampaknya sederhana, perlu direncanakan dengan pertimbangan yang matang. Bangunan industri memiliki ciri khas tersendiri karena konfigurasi bangunan seringkali ditentukan atas dasar permintaan owner. Pada bangunan industri, struktur baja menjadi pilihan sistem struktur yang banyak diminati karena dapat menyediakan bentang yang lebar dan memudahkan proses operasional.

Perencanaan struktur baja untuk bangunan industri cukup banyak ditelaah dalam literatur internasional, namun masih terbatas di literatur dalam negeri. Buku ini berisi uraian lengkap mengenai tahapan-tahapan perencanaan struktur bangunan industri dengan crane. Bangunan industri didesain dengan struktur baja yang mengacu pada SNI 1729-2020. Perencanaan struktur penunjang beban crane diuraikan pula secara lengkap mulai dari dasar pemilihan profil runway beam, pengecekan kekuatan struktur, kemampuan struktur, hingga desain fatik. Struktur bangunan industri juga direk kekuatan terhadap persyaratan kemampuan yang mengacu pada SNI 1726-2019. Penyusun berharap, adanya buku panduan praktis perencanaan bangunan industri dengan beban crane dapat menjadi referensi bagi kalangan akademik dan praktisi.

nasmedia

Penerbit Anggota IKAPI

Sidorejo, Prambanan, Klaten 55584

Batua Raya No. 3 Makassar 90233

+62012 1313 3600

redaksi@nasmedia.id

www.nasmedia.id



Harga P. Jawa Rp.300.000,-



Edisi 1

Panduan Praktis

PERENCANAAN STRUKTUR BANGUNAN INDUSTRI LENGKAP DENGAN CRANE

SNI 1729-2020, SNI 1727-2020, SNI 1726-2019

PERENCANAAN STRUKTUR BANGUNAN INDUSTRI LENGKAP DENGAN CRANE



Ir. Totok Andi Prasetyo, S.T., M.T.
Naufal Yasir, S.T.

**PERENCANAAN
STRUKTUR BANGUNAN INDUSTRI
LENGKAP DENGAN CRANE**



Sanksi Pelanggaran Hak Cipta
UNDANG-UNDANG REPUBLIK INDONESIA
NOMOR 28 TAHUN 2014 TENTANG HAK CIPTA

Ketentuan Pidana

Pasal 113

- 1) Setiap Orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp100.000.000 (seratus juta rupiah).
- 2) Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).
- 3) Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf a, huruf b, huruf e, dan/atau huruf g untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 4 (empat) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp1.000.000.000,00 (satu miliar rupiah).
- 4) Setiap Orang yang memenuhi unsur sebagaimana dimaksud pada ayat (3) yang dilakukan dalam bentuk pembajakan, dipidana dengan pidana penjara paling lama 10 (sepuluh) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp4.000.000.000,00 (empat miliar rupiah).



PERENCANAAN STRUKTUR BANGUNAN INDUSTRI LENGKAP DENGAN CRANE

**Ir. Totok Andi Prasetyo, ST. M.T.
Naufal Yasir, S.T.**

Diterbitkan oleh
PT. Nas Media Indonesia
Tahun 2023

Perencanaan Struktur Bangunan Industri Lengkap dengan Crane

Ir. Totok Andi Prasetyo, S.T, M.T.
Naufal Yasir, S.T.

Copyright © T. A. Prasetyo, N. Yasir 2023
All rights reserved



Layout : Risma Amanda Putri
Desain Cover : Tim Penulis

Cetakan Pertama, Desember 2023
xxviii + 228 hlm; 15.5 x 21 cm

ISBN 978-623-155-404-8
E-ISBN 978-623-155-405-5 (PDF)

Diterbitkan oleh Penerbit Nasmedia
PT. Nas Media Indonesia
Anggota IKAPI
No. 018/SSL/2018
Jl. Sidorejo, Prambanan, Klaten 55584
Jl. Batua Raya No. 3, Makassar 90233
Telp. 0812-1313-3800
redaksi@nasmedia.id
www.nasmedia.id
Instagram: @nasmedia.id
Fanspage: nasmedia.id
Youtube: nasmedia entertainment

KATA PENGANTAR

Puji syukur penyusun panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan buku yang berjudul ‘Perencanaan Struktur Bangunan Industri dengan *Crane*.’ Perkembangan industri yang masif di Indonesia perlu ditopang dengan infrastruktur penunjang industri yang memadai. Berbagai kawasan industri kini mulai dikembangkan untuk menciptakan kawasan industri yang terpusat dan terpadu. Pembangunan bangunan industri juga ikut mengalami perkembangan yang masif seiring digenjotnya berbagai sektor industri mulai dari manufaktur, garmen hingga otomotif. Atas dasar tersebut, maka diperlukan panduan praktis dalam perencanaan struktur bangunan industri. Tidak banyak buku teks berbahasa Indonesia yang membahas tahapan perencanaan struktur baja terutama untuk bangunan industri.

Buku ini menjelaskan tahapan perencanaan struktur bangunan industri dengan tambahan beban *crane* menggunakan program ETABS. Berbagai tahapan desain mulai dari penentuan material, beban dan kombinasi beban, pemodelan struktur, hingga desain struktur diulas secara ringkas berdasarkan standar-standar yang berlaku. Penentuan beban mati, hidup, beban angin dan beban gempa juga diuraikan secara lengkap berdasarkan SNI 1726-2019 dan SNI 1727-2020. Proses perencanaan struktur *runway beam crane* juga diurai secara terperinci mulai dari penentuan beban roda maksimum hingga desain fatik.

Penyusun menyadari bahwa buku yang disusun ini masih terdapat kekurangan. Oleh karena itu penyusun mengharapkan kritik dan saran yang sifatnya membangun. Akhir kata, penulis berharap agar buku yang telah penulis susun ini dapat bermanfaat dan berkontribusi aktif terhadap perkembangan ilmu pengetahuan khususnya pada bidang struktur baja.

Bekasi, 07 Desember 2023

Totok Andi Prasetyo

Naufal Yasir

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
TESTIMONI.....	xviii

BAGIAN 1

PENDAHULUAN	1
A. Pengenalan Bangunan Industri.....	1
B. Standar Dan Peraturan Yang Digunakan	7
C. Alur Beban Pada Struktur Bangunan Industri.....	7
D. Pengenalan Sistem <i>Crane</i>	9
E. Beban-Beban Pada Struktur	13
F. Kombinasi Pembebanan.....	30
G. Batas Lendutan.....	30
H. Pengecekan Terhadap Aspek Kegempaan	32

BAGIAN 2

PEMODELAN STRUKTUR.....	36
A. Perangkat Lunak Etabs.....	36
B. Data Umum Bangunan.....	36
C. Membuat File Baru	45
D. Membuat Grid	50
E. Penentuan Properti Material.....	54
F. Penentuan Properti Penampang.....	60
G. Pemodelan Kolom K60x80 Dan K40x570	73
H. Pemodelan Kolom Wf.600x200x11/17 Dan Kolom <i>Post</i> Wf.450x200x9/14.....	77
I. Pemodelan <i>Rafter</i> Hc.675x200x9/14	80
J. Pemodelan Nok Atap (<i>Ridge</i>) Wf.300x150x6,5/9 Dan <i>Ring Beam</i> Wf.300x150x6,5/9.....	87
K. Pemodelan Purlin Cnp.150x50x20x2,3.....	91
L. Pemodelan Bracing 2l.70x70x7	100
M. Pemodelan <i>Runway Beam Crane</i> Wf.500x200x10/16.....	104
N. Pemodelan <i>Roof Bracing</i> Dengan Rod 25 Mm.....	116
O. Pemodelan <i>Tie Beam</i> Tb20/30	119

BAGIAN 3

PEMBEBANAN STRUKTUR	121
A. Pembebanan Pada Bangunan Industri	121
B. Pembuatan Load Pattern	121
C. Perhitungan Beban Mati (<i>Dead Load</i>)	122
D. Perhitungan Beban Hidup Atap (<i>Roof Live Load</i>)	126
E. Perhitungan Beban Hujan (<i>Rain Load</i>)	129
F. Perhitungan Beban Angin (<i>Wind Load</i>).....	131

BAGIAN 4

PERENCANAAN STRUKTUR TERHADAP BEBAN GEMPA	137
A. Perhitungan Beban Gempa (Seismic Load)	137
B. Kategori Risiko	137
C. Faktor Keutamaan Gempa.....	137
D. Penentuan Kelas Situs	137
E. Percepatan Spektral Desain.....	142
F. Penentuan Kategori Desain Seismik	143
G. Sistem Struktur.....	143
H. Perhitungan Periode Fundamental Struktur	144
I. Perhitungan Gaya Geser Dasar Seismik	145
J. Pengecekan Simpangan Antar Tingkat	151
K. Pengecekan Terhadap Pengaruh P-Delta	154

BAGIAN 5

PERENCANAAN STRUKTUR RUNWAY BEAM CRANE.....	156
A. Perencanaan Struktur <i>Crane</i>	156
B. Kebutuhan Profil Berdasarkan Defleksi Vertikal.....	158
C. Kebutuhan Profil Berdasarkan Defleksi Horizontal.....	158
D. Pemodelan <i>Runway Beam Crane</i> Secara Parsial	158
E. Kombinasi Beban	164
F. Desain Struktur <i>Runway Beam</i>	166
G. Pengecekan Lendutan.....	169
H. Desain Elemen Struktur <i>Runway Beam</i> Dengan Sni 1729-2020	171
I. Desain Fatik Untuk <i>Runway Beam</i>	174
J. Detail <i>Runway Beam</i>	176
K. Desain Kolom Yang Mendukung Beban <i>Crane</i>	178

BAGIAN 6

DESAIN STRUKTUR BANGUNAN INDUSTRI	185
A. Kombinasi Pembebanan Yang Digunakan.....	185
B. Stress Ratio Struktur	187
C. Desain Sambungan.....	196
D. Pengecekan Kemampulayanan Struktur	219
REFERENSI	222
LATAR BELAKANG PENULIS	224

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1.	Tipikal Jenis <i>Crane</i> dengan Spesifikasinya	10
Tabel 1.2.	Korelasi Kelas Layanan <i>Crane</i> CMAA dengan Spesifikasi Kondisi Pembebanan Menurut AISC 1989	13
Tabel 1.3.	Berat Jenis untuk Bahan Bangunan	13
Tabel 1.4.	Tipikal Beban SIDL untuk Bangunan Industri	14
Tabel 1.5.	Kategori Risiko Bangunan Dan Struktur Lainnya Untuk Beban Banjir, Angin, Salju, Gempa, Dan Es.....	17
Tabel 1.6.	Faktor Arah Angin	18
Tabel 1.7.	Koefisien Tekanan Internal, G_{cpi} untuk Berbagai Klasifikasi Ketertutupan Bangunan.....	20
Tabel 1.8.	Koefisien Eksposur Tekanan Velositas, K_h dan K_z	20
Tabel 1.9.	Koefisien Eksposur Daratan	21
Tabel 1.10.	Kategori Risiko bangunan gedung dan nongedung	25
Tabel 1.11.	Faktor Keutamaan Gempa, I_e	26
Tabel 1.12.	Klasifikasi Situs	26
Tabel 1.13.	Koefisien Situs, F_a	27
Tabel 1.14.	Koefisien Situs, F_v	27
Tabel 1.15.	Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Periode Pendek	27
Tabel 1.16.	Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Periode 1 Detik	27
Tabel 1.17.	Beban Impak Vertikal pada <i>Crane</i>	28
Tabel 1.18.	Batasan Lendutan Izin pada Atap	31
Tabel 1.19.	Lendutan Vertikal dan Horizontal Izin untuk <i>Runway Beam</i>	32
Tabel 1.20.	Simpangan Antar Tingkat Izin.....	33
Tabel 2.1.	Sifat Mekanis Baja Tulangan Berdasarkan SNI 2052-2017	56
Tabel 2.2.	Faktor Konversi untuk Kuat Leleh dan Putus yang Diekspektasikan pada Baja Tulangan Berdasarkan FEMA 356.....	57
Tabel 2.3.	Faktor Konversi untuk Kuat Leleh dan Putus yang Diekspektasikan pada Baja Canai Panas Berdasarkan SNI 7860-2020.....	58
Tabel 2.4.	Momen Inersia dan Luas Penampang yang Diizinkan Untuk	67
Tabel 3.1.	Beban Angin SPGAU untuk Kasus A dan B	133
Tabel 3.2.	Beban Angin SPGAU untuk Kasus A dan B (Kondisi Servis).....	136
Tabel 4.1.	Klasifikasi Situs Berdasarkan BH-1	139
Tabel 4.2.	Klasifikasi Situs Berdasarkan BH-2	140
Tabel 4.3.	Klasifikasi Situs Berdasarkan BH-3	141
Tabel 4.4.	Simpangan Antar Tingkat Izin Berdasarkan SNI 1726-2019	151
Tabel 4.5.	Pengecekan Terhadap Simpangan Antar Tingkat Izin.....	154

Tabel 5.1.	Data Single Girder <i>Crane</i> dengan Berbagai Bentang untuk SWL 10 t	156
Tabel 5.2.	Pengecekan Terhadap Lendutan Izin	170
Tabel 6. 1.	Kombinasi Pembebanan yang Digunakan	185



DAFTAR GAMBAR

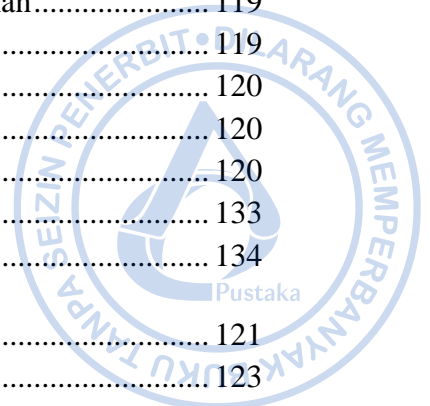
Gambar 1.1.	Contoh Struktur Bangunan Industri dengan <i>Crane</i>	2
Gambar 1.2.	Komponen pada Bangunan Industri.....	3
Gambar 1.3.	Rekomendasi Konfigurasi Truss untuk Atap	4
Gambar 1.4.	Contoh Sistem Struktur Suspended (Terminal Pulogebang)	5
Gambar 1.5.	Profil Baja Canai Dingin C dan Z untuk Purlin	5
Gambar 1.6.	Koneksi Antara Purlin ke <i>Rafter</i>	6
Gambar 1.7.	Beban yang Terjadi pada Bangunan Industri	7
Gambar 1.8.	Beban Horizontal yang Terjadi pada Portal Utama	8
Gambar 1.9.	Tipikal Bangunan Industri dengan <i>X-bracing</i> pada Sumbu Lemah Bangunan... 9	9
Gambar 1.10.	Komponen-komponen Overhead <i>Crane</i>	9
Gambar 1.11.	Berbagai Tipe Overhead <i>Crane</i>	11
Gambar 1.12.	Ketentuan Beban Hidup untuk Atap Berdasarkan SNI 1727-2020	15
Gambar 1.13.	Faktor Topografi	19
Gambar 1.14.	Sistem Penahan Gaya Angin Utama, Bagian 1 (Seluruh Ketinggian) Koefisien Tekanan Eksternal, C_p , Untuk Bangunan Tertutup Dan Bangunan Tertutup Sebagian Dinding Dan Atap	23
Gambar 1.15.	Parameter Gerak Tanah S_s , Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko-Tertarget (MCER) Wilayah Indonesia Untuk Spektrum Respons 0,2-Detik (Redaman Kritis 5 %).....	24
Gambar 1.16.	Parameter Gerak Tanah, S_1 , Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko-Tertarget (MCER) Wilayah Indonesia Untuk Spektrum Respons 1- Detik (Redaman Kritis 5 %).....	25
Gambar 1.17.	Kondisi Pembebanan <i>Crane</i>	30
Gambar 1.18.	Derajat Kebebasan pada Tiap Lantai	32
Gambar 1.19.	Penentuan Simpangan Antar Tingkat.....	33
Gambar 2.1.	<i>Software</i> ETABS.....	36
Gambar 2.2.	Plan Pondasi	37
Gambar 2.3.	Plan Kolom Pedestal	38
Gambar 2.4.	Plan <i>Runway Beam</i>	39
Gambar 2.5.	Plan Atap.....	40
Gambar 2.6.	Plan Atap.....	41
Gambar 2.7.	Potongan Melintang As 1 dan 16	42
Gambar 2.8.	Potongan Melintang As 2-15	43
Gambar 2.9.	Potongan Melintang As A-D.....	44
Gambar 2.10.	Model 3d Warehouse yang Dirancang	45
Gambar 2.11.	Pembuatan Model Baru pada ETABS.....	45
Gambar 2.12.	Pemilihan Jenis Satuan dan Kode yang Ingin Digunakan	46
Gambar 2.13.	Tampilan <i>Quick Model</i>	46
Gambar 2.14.	Tampilan Awal Model ETABS.....	47
Gambar 2.15.	Klik <i>Units</i>	47

Gambar 2.16.	Klik <i>Units</i>	48
Gambar 2.17.	Atur Satuan Panjang dan Gaya	48
Gambar 2.18.	<i>Display Units</i>	48
Gambar 2.19.	Simpan <i>Unit Sets</i>	49
Gambar 2.20.	<i>Units Set</i> Sudah Muncul pada <i>Units</i>	49
Gambar 2.21.	<i>Edit</i> → <i>Edit Stories and Grid Systems</i>	50
Gambar 2.22.	Klik Kanan → <i>Add/Modify Grid</i>	50
Gambar 2.23.	<i>Add New Grid System</i>	51
Gambar 2.24.	Pengaturan <i>Grid</i> pada Arah X dan Y	52
Gambar 2.25.	<i>Modify/Show Story Data</i>	52
Gambar 2.26.	Input Elevasi yang Dibutuhkan	53
Gambar 2.27.	<i>Grid</i> yang Telah Dibuat.....	53
Gambar 2.28.	<i>Define Materials</i>	54
Gambar 2.29.	Penentuan Material Beton	55
Gambar 2.30.	Penentuan Material Baja Tulangan	58
Gambar 2.31.	Penentuan Material Baja Canai Panas.....	59
Gambar 2.32.	<i>Define – Section Properties – Frame Sections – Add New Property</i>	61
Gambar 2.33.	Beberapa Template Bentuk Profil yang Diakomodir ETABS	61
Gambar 2.34.	Pemodelan WF.600X200X11/17	62
Gambar 2.35.	Pemodelan WF.500X200X10/16	62
Gambar 2.36.	Pemodelan WF.450X200X9/14	63
Gambar 2.37.	Pemodelan WF.300X150X6,5/9	63
Gambar 2.38.	Pemodelan HC.675X200X9/14.....	64
Gambar 2.39.	<i>Stiffnes Modifier</i> untuk HC.675X200X9/14	64
Gambar 2.40.	Pemodelan CNP.150X50X20X2,3.....	65
Gambar 2.41.	Pemodelan 2L.70X70X7	65
Gambar 2.42.	Pemodelan 2L.50X50X5.....	66
Gambar 2.43.	Pemodelan Rod 25 mm	66
Gambar 2.44.	Pemodelan Penampang Kolom K60X80	68
Gambar 2.45.	Modifikasi Kekakuan untuk K60X80	69
Gambar 2.46.	Pemodelan Penampang Kolom K40X70	70
Gambar 2.47.	Modifikasi Kekakuan untuk K40X70	71
Gambar 2.48.	Pemodelan Penampang TB20/30	72
Gambar 2.49.	Modifikasi Kekakuan untuk TB20/30.....	73
Gambar 2.50.	Kolom K60X80 yang Dimodelkan	73
Gambar 2.51.	Kolom K40X70 yang Dimodelkan	73
Gambar 2.52.	Masuk Ke Elevasi +1	74
Gambar 2.53.	Titik Kolom Pedestal K60X80.....	74
Gambar 2.54.	Titik Kolom Pedestal K40X70.....	75
Gambar 2.55.	Titik Kolom Pedestal yang Sudah Dimodelkan	75
Gambar 2.56.	<i>Select Joint</i> Bawah Kolom Pedestal.....	76
Gambar 2.57.	Merubah Tumpuan Kolom Menjadi Jepit	76
Gambar 2.58.	Masuk Ke Elevasi +9	77
Gambar 2.59.	Kolom WF.600X200X11/17 yang Dimodelkan	77
Gambar 2.60.	Kolom WF.450X200X9/14 yang Dimodelkan	78

Gambar 2.61.	Titik Kolom WF.450X200X9/14	78
Gambar 2.62.	Titik Kolom WF.600X200X11/17	78
Gambar 2.63.	Kolom Baja yang Telah Dimodelkan.....	79
Gambar 2.64.	Tipikal <i>Base Plate</i> Bertipe Jepit.....	79
Gambar 2.65.	Masuk Ke <i>Grid</i> 1.....	80
Gambar 2.66.	Tampilan <i>Grid</i> 1	81
Gambar 2.67.	Pengaturan <i>Snap Options</i>	81
Gambar 2.68.	<i>Draw/Column/Brace (Plan, Elev, 3D)</i>	82
Gambar 2.69.	Properti <i>Rafter</i> yang Dimodelkan	82
Gambar 2.70.	Hubungkan <i>Rafter</i> HC.675X200X9/14 Ke Bagian Tengah Atap.....	82
Gambar 2.71.	<i>Rafter</i> HC.675X200X9/14 yang Telah Dimodelkan.....	83
Gambar 2.72.	<i>Select Joint</i> Atas Kolom <i>Post</i>	83
Gambar 2.73.	<i>Select Frame</i> Kolom <i>Post</i> WF.450X200X9/14	84
Gambar 2.74.	<i>Select Frame Rafter</i> HC.675X200X9/14	84
Gambar 2.75.	<i>Edit</i> → <i>Align Joints/Frames/Edges</i>	84
Gambar 2.76.	<i>Extend Frame Objects</i>	85
Gambar 2.77.	Kolom <i>Post</i> Sudah Terhubung dengan <i>Rafter</i>	85
Gambar 2.78.	<i>Select Rafter</i>	86
Gambar 2.79.	<i>Edit</i> → <i>Replicate</i>	86
Gambar 2.80.	<i>Input</i> Jarak Serta Jumlah Pengandaan.....	86
Gambar 2.81.	<i>Rafter</i> yang Sudah Di- <i>replicate</i>	87
Gambar 2.82.	Pemodelan Nok Atap WF.300X150X6,5/9	87
Gambar 2.83.	<i>Select Ridge</i> → <i>Replicate (dy)</i>	88
Gambar 2.84.	Nok Atap WF.300X150X6,5/9 Berhasil Dimodelkan	88
Gambar 2.85.	Pemodelan Ring <i>Beam</i> WF.300X150X6,5/9	89
Gambar 2.86.	<i>Replicate Ring Beam</i> WF.300X150X6,5/9 Arah X	90
Gambar 2.87.	<i>Replicate Ring Beam</i> WF.300X150X6,5/9 Arah Y	90
Gambar 2.88.	<i>Set 3D View</i>	91
Gambar 2.89.	<i>Perspective Toggle</i>	91
Gambar 2.90.	<i>Edit</i> → <i>Edit Frames</i> → <i>Divide Frames</i>	92
Gambar 2.91.	<i>Input</i> Jumlah Bagian	92
Gambar 2.92.	<i>Rafter</i> Terbagi Menjadi 13 Bagian.....	93
Gambar 2.93.	Pengaturan <i>Properties of Object</i>	93
Gambar 2.94.	<i>Select Joints</i> pada <i>Rafter</i>	94
Gambar 2.95.	<i>Edit</i> → <i>Extrude</i> → <i>Extrude Joints to Frames</i>	94
Gambar 2.96.	<i>Input</i> Data yang Dibutuhkan untuk Ekstrusi <i>Joints</i> Menjadi <i>Frames</i>	95
Gambar 2.97.	<i>Select</i> → <i>Select</i> → <i>Properties</i> → <i>Frame Sections</i>	95
Gambar 2.98.	<i>Select</i> CNP.150X50X20X2,3.....	96
Gambar 2.99.	<i>Assign</i> → <i>Release Partial Fixity</i>	96
Gambar 2.100.	Checklist Moment 22 dan Moment 33.....	97
Gambar 2.101.	Klik Ctrl+J → Ctr+R.....	97
Gambar 2.102.	<i>Set View Plan</i>	98
Gambar 2.103.	<i>Replicate</i> → <i>Mirror</i> → <i>Pick Two Points on Model</i>	98
Gambar 2.104.	<i>Purlin</i> Berhasil Dimodelkan pada Dua Sisi <i>Rafter</i>	99
Gambar 2.105.	<i>Select Frames Rafter</i> yang Akan Digabungkan	99

Gambar 2.106.	<i>Edit → Edit Frames → Join Frames</i>	99
Gambar 2.107.	<i>Set Elevation View A</i>	100
Gambar 2.108.	<i>Elevation View A</i>	100
Gambar 2.109.	<i>Draw Beam/Column/Brace (Plan, Elev, 3D)</i>	101
Gambar 2.110.	Pemodelan <i>X-bracing</i> Diagonal Pertama	101
Gambar 2.111.	Pemodelan <i>X-bracing</i> Diagonal Kedua	102
Gambar 2.112.	<i>Replicate → Mirror → Pick Two Points on Model</i>	102
Gambar 2.113.	<i>X-bracing</i> Sudah Termodel Di Kedua Sisi Bangunan	103
Gambar 2.114.	<i>Replicate X-bracing</i>	103
Gambar 2.115.	<i>X-bracing</i> Sudah Termodel pada Keseluruhan Bangunan	104
Gambar 2.116.	Pemodelan Titik Bantuan 6 m dari Top Pedestal	104
Gambar 2.117.	Pemodelan Titik Bantuan 0,5 m dari Titik yang Dimodelkan Sebelumnya	105
Gambar 2.118.	<i>Properties of Object Bracket</i>	105
Gambar 2.119.	Hubungkan Satu Titik Pangkal Bracket ke Titik yang Lain	106
Gambar 2.120.	<i>Replicate → Mirror → Pick Two Points on Model</i>	106
Gambar 2.121.	<i>Bracket</i> Berhasil Dimodelkan pada Kedua Sisi Bangunan	106
Gambar 2.122.	<i>Select Bracket</i>	107
Gambar 2.123.	<i>Replicate Bracket</i>	107
Gambar 2.124.	<i>Bracket</i> Sudah Termodel pada Keseluruhan Bangunan	108
Gambar 2.125.	Tampilan <i>Bracket</i> yang Sudah Dimodelkan dengan Objek Lain yang Disembunyikan	108
Gambar 2.126.	<i>Properties of Object Runway Beam</i>	108
Gambar 2.127.	Hubungkan Satu Titik <i>Bracket</i> dengan Titik <i>Bracket</i> yang Lain	109
Gambar 2.128.	<i>Replicate → Mirror → Pick Two Points on Model</i>	109
Gambar 2.129.	<i>Select Runway Beam</i>	109
Gambar 2.130.	<i>Replicate Runway Beam</i>	110
Gambar 2.131.	<i>Runway Beam</i> yang Berhasil Dimodelkan	110
Gambar 2.132.	<i>Select Runway Beam</i>	111
Gambar 2.133.	<i>Divide Runway Beam</i> Menjadi 12 Bagian	111
Gambar 2.134.	Properti dari 2L.50X50X5 yang Akan Diekstrusi	111
Gambar 2.135.	<i>Edit → Extrude → Extrude Joints to Frames</i>	112
Gambar 2.136.	<i>Input</i> Jarak dan Jumlah Ekstrusi <i>Backing truss</i>	112
Gambar 2.137.	Model <i>Backing truss</i> untuk <i>Runway Beam</i>	112
Gambar 2.138.	<i>Replicate → Mirror → Pick Two Points on Model</i>	113
Gambar 2.139.	<i>Backing Truss</i> Berhasil Di-Mirror	113
Gambar 2.140.	<i>Input</i> Jarak dan Jumlah Replikasi <i>Backing truss</i>	114
Gambar 2.141.	<i>Input</i> Jarak dan Jumlah Replikasi <i>Backing truss</i>	114
Gambar 2.142.	Pemodelan <i>Ring Beam</i> WF.300X150X6,5/9 Sebagai Penopang <i>Backing Truss</i>	115
Gambar 2.143.	<i>Replicate → Mirror → Pick Two Points on Model</i>	115
Gambar 2.144.	<i>Input</i> Jarak dan Jumlah Replikasi <i>Ring Beam</i> Penopang <i>Backing Truss</i>	116
Gambar 2.145.	<i>Properties of Object Rod</i> 25 mm	116
Gambar 2.146.	<i>Draw Rod</i> 25 mm Secara Diagonal dari <i>Rafter</i> ke <i>Rafter</i>	117
Gambar 2.147.	<i>Replicate → Mirror → Pick Two Points on Model</i>	117
Gambar 2.148.	<i>Roof Bracing</i> Sudah Termodel di Kedua Sisi Bangunan	118

Gambar 2.149.	<i>Replicate Roof Bracing</i>	118
Gambar 2.150.	<i>Roof Bracing</i> Sudah Termodel pada Keseluruhan Bangunan.....	119
Gambar 2.151.	View Plan BASE.....	119
Gambar 2.152.	<i>Section Properties Tie Beam TB20/30</i>	120
Gambar 2.153.	<i>Draw TB20/30</i> Di Area yang Dibutuhkan	120
Gambar 2.154.	TB20/30 yang Sudah Berhasil Dimodelkan.....	120
Gambar 2.155.	Beban Angin SPGAU Kasus A, Transversal	133
Gambar 2.156.	Beban Angin SPGAU Kasus B, Longitudinal	134
Gambar 3.1.	<i>Load Pattern Definition</i>	121
Gambar 3.2.	<i>Select HC.675X200X9/14</i>	123
Gambar 3.3.	<i>Show HC.675X200X9/14 Only</i>	124
Gambar 3.4.	<i>Assign → Frame Loads → Distributed</i>	124
Gambar 3.5.	SIDL 90 kg/m untuk <i>Rafter</i> Tengah dan 45 kg/m untuk <i>Rafter</i> Tepi	124
Gambar 3.6.	SIDL 90 kg/m untuk <i>Rafter</i> Tengah.....	125
Gambar 3.7.	SIDL 45 kg/m untuk <i>Rafter</i> Tepi	126
Gambar 3.8.	Beban Live 360 kg/m untuk <i>Rafter</i> Tengah dan 180 kg/m untuk <i>Rafter</i> Tepi.....	127
Gambar 3.9.	Beban Live 360 kg/m untuk <i>Rafter</i> Tengah.....	128
Gambar 3.10.	Beban Live 180 kg/m untuk <i>Rafter</i> Tepi.....	128
Gambar 3.11.	Beban Hujan 120 kg/m untuk <i>Rafter</i> Tengah dan 60 kg/m untuk <i>Rafter</i> Tepi.....	129
Gambar 3.12.	Beban Hujan 120 kg/m untuk <i>Rafter</i> Tengah	130
Gambar 3.13.	Beban Hujan 60 kg/m untuk <i>Rafter</i> Tepi	131
Gambar 3.14.	Penentuan Koefisien Tekanan Internal	132
Gambar 3.15.	Penentuan Koefisien Eksposur Tekanan Velositas	132
Gambar 3.16.	Beban Angin Transversal + G_{Cpi}	134
Gambar 3.17.	Beban Angin Transversal - G_{Cpi}	135
Gambar 3.18.	Beban Angin Longitudinal + G_{Cpi}	135
Gambar 3.19.	Beban Angin Longitudinal - G_{Cpi}	136
Gambar 4.1	Hasil Pengujian Tanah pada BH 1, BH 2, dan BH 3	138
Gambar 4.2.	Grafik Respon Spektrum pada Lokasi Proyek.....	142
Gambar 4.3.	Pemilihan Kategori Desain Seismik.....	143
Gambar 4.4.	Pemilihan Sistem Struktur.....	143
Gambar 4.5.	<i>Assign → Joint Loads → Forces</i>	147
Gambar 4.6.	Beban Gempa pada Pangkal dan Ujung Portal Melintang Ujung (As 1 dan As 16)	147
Gambar 4.7.	<i>Input</i> Beban Gempa Arah X untuk Portal Tepi.....	148
Gambar 4.8.	Beban Gempa pada Pangkal dan Ujung Portal Melintang Tengah (As 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, dan 14)	149
Gambar 4.9.	<i>Input</i> Beban Gempa Arah X untuk Portal Tengah.....	149
Gambar 4.10.	Beban Gempa pada Pangkal dan Ujung Portal	150
Gambar 4.11.	<i>Input</i> Beban Gempa Arah Y.....	151
Gambar 4.12.	<i>Analyze → Set Load Cases to Run</i>	152



Gambar 4.13.	Atur Perpindahan yang Ingin Ditampilkan	153
Gambar 4.14.	Simpangan Elastik Akibat Gempa Arah X	153
Gambar 4.15.	Simpangan Elastik Akibat Gempa Arah Y	154
Gambar 5.1.	Kondisi Kritis untuk <i>Bending Moment</i>	157
Gambar 5.2.	Kondisi Kritis untuk Defleksi	157
Gambar 5.3.	Model <i>Runway Beam</i> Parsial	158
Gambar 5.4.	<i>Assign</i> → <i>Frame Load</i> → <i>Point</i>	159
Gambar 5.5.	<i>Input</i> Beban untuk P_{dead}	160
Gambar 5.6.	<i>Input</i> Beban untuk q_{rel}	161
Gambar 5.7.	<i>Input</i> Beban untuk P_{lifted}	162
Gambar 5.8.	<i>Input</i> Beban untuk $H_{transversal}$	163
Gambar 5.9.	<i>Input</i> Beban untuk $H_{longitudinal}$	164
Gambar 5.10.	Kombinasi LRFD <i>Crane</i> - 1	165
Gambar 5.11.	Kombinasi LRFD <i>Crane</i> - 2.....	165
Gambar 5.12.	Kombinasi LRFD <i>Crane</i> - 3.....	166
Gambar 5.13.	<i>Run All Cases</i>	166
Gambar 5.14.	<i>Steel Frame Design</i> → <i>View/Revise Preferences</i>	167
Gambar 5.15.	<i>Design Preferences</i> untuk Desain Elemen Struktur <i>Runway Beam</i>	167
Gambar 5.16.	Kombinasi Pembebanan untuk Desain Elemen Struktur <i>Runway Beam</i>	168
Gambar 5.17.	Display <i>Steel Frame Design Result</i> untuk Elemen Struktur <i>Runway Beam</i>	168
Gambar 5.18.	<i>Stress Ratio</i> Elemen Struktur <i>Runway Beam</i>	169
Gambar 5.19.	Kombinasi Pembebanan untuk Lendutan Vertikal	169
Gambar 5.20.	Lendutan Vertikal Akibat Beban Roda Maksimum.....	170
Gambar 5.21.	Lendutan Horizontal Akibat Beban Lateral	170
Gambar 5.22.	Ilustrasi <i>Web Sidesway</i> Buckling pada Profil Penampang.....	174
Gambar 5.23.	Detail <i>Runway Beam</i>	178
Gambar 5.24.	Beban Mati Akibat <i>Crane</i> pada <i>Bracket</i>	178
Gambar 5.25.	Portal yang Ditinjau	179
Gambar 5.26.	Berat Sendiri <i>Runway Beam</i> dan <i>Backing Truss</i>	179
Gambar 5.27.	Berat Sendiri <i>Runway Beam</i> , <i>Backing Truss</i> , dan <i>Ring Beam</i>	180
Gambar 5.28.	Beban Mati Akibat <i>Crane</i> pada <i>Bracket</i>	181
Gambar 5.29.	Beban Hidup Akibat <i>Crane</i> pada <i>Bracket</i>	181
Gambar 5.30.	Beban Lateral pada Kolom Portal	181
Gambar 5.31.	Kombinasi Pembebanan untuk Desain Elemen Struktur Portal Akibat Beban <i>Crane</i>	182
Gambar 5.32.	<i>Stress Ratio</i> Kolom Portal $0,497 < 1$, OK!.....	182
Gambar 5.33.	Kemungkinan Titik Kritis Beban <i>Crane</i> Terhadap Kolom.....	183
Gambar 5.34.	Pembebanan <i>Crane</i> pada Portal 3d	183
Gambar 5.35.	<i>Stress Ratio</i> Kolom yang Mendukung Beban <i>Crane</i> Kondisi Model 3d.....	184
Gambar 6.1.	<i>Stress Ratio</i> Purlin > 1 , NOT OK!	187
Gambar 6.2.	<i>Steel Frame Design</i> → <i>View/Revise Overwrites</i>	187
Gambar 6.3.	Atur LTB Sesuai Panjang Bentang Tak Terbreising.....	188

Gambar 6.4.	<i>Stress Ratio</i> Elemen Portal Utama < 1 , OK.....	188
Gambar 6.5.	<i>Stress Ratio</i> di Tumpuan Sebelum Pemodelan Haunch = 0,754.....	189
Gambar 6.6.	Profil <i>Haunch</i> HC.900X200X9/14.....	190
Gambar 6.7.	Penampang HC.675X200X9/14 + <i>Voute</i> Di Pangkal <i>Rafter</i>	190
Gambar 6.8.	Model Portal dengan WF.450X200X9/14 + <i>Voute</i>	191
Gambar 6.9.	<i>Stress Ratio Rafter</i> HC.675X200X9/14 Menjadi Lebih Kecil = 0,625.....	191
Gambar 6.10.	Detail <i>Fly Brace</i>	192
Gambar 6.11.	Pengaturan Compression Limit pada <i>X-bracing</i>	193
Gambar 6.12.	<i>Convert Combinations to Nonlinear Cases</i>	193
Gambar 6.13.	Kombinasi yang Telah Dikonversi Menjadi <i>Nonlinear Static Case</i>	194
Gambar 6.14.	Kombinasi Beban dengan <i>Nonlinear Load Case</i>	194
Gambar 6.15.	Perbandingan Gaya Aksial pada <i>X-bracing</i>	195
Gambar 6.16.	<i>Stress Ratio X-bracing</i> < 1 , OK!.....	196
Gambar 6.17.	Templat Sambungan <i>Rafter</i> dengan Kolom.....	196
Gambar 6.18.	Tambahkan Profil Baru untuk Mendefinisikan WF.600X200X11/17	197
Gambar 6.19.	Pilih H.600X200X11 → WF.600X200X11/17 untuk Sebagai Kolom pada yang Akan Terhubung dengan <i>Rafter</i>	197
Gambar 6.20.	Tambahkan Profil Baru	198
Gambar 6.21.	Properti Penampang HC.675X200X9/14.....	198
Gambar 6.22.	Properti Penampang HC.675X200X9/14.....	199
Gambar 6.23.	Properti STIFF1	199
Gambar 6.24.	Properti EP1	200
Gambar 6.25.	Properti WD1	200
Gambar 6.26.	Properti STIFF2	201
Gambar 6.27.	Properti STIFF3	201
Gambar 6.28.	Properti CUT1	201
Gambar 6.29.	Pengaturan Beban untuk Desain <i>Eaves haunch</i>	202
Gambar 6.30.	Hasil Analisis Sambungan <i>Eaves Haunch</i>	202
Gambar 6.31.	Detail Sambungan <i>Eaves Haunch</i>	203
Gambar 6.32.	Buat <i>New Property</i> → Pilih <i>Blank</i>	203
Gambar 6.33.	Pembuatan Member Baru.....	204
Gambar 6.34.	Tambahkan Profil Baru	204
Gambar 6.35.	Properti Penampang HC.675X200X9/14.....	205
Gambar 6.36.	Properti <i>Rafter</i> HC.675X200X9/14	205
Gambar 6.37.	Gandakan <i>Rafter</i> Pertama	206
Gambar 6.38.	Properti <i>Rafter</i> Kedua	206
Gambar 6.39.	<i>Plate to Plate</i> untuk Menghubungkan Kedua <i>Rafter</i>	207
Gambar 6.40.	Properti <i>Plate to Plate</i>	207
Gambar 6.41.	<i>Widener</i> untuk Membentuk Haunch pada Pertemuan <i>Rafter</i>	208
Gambar 6.42.	Properti Haunch Bagian Kanan.....	208
Gambar 6.43.	Stiffener Sebagai Tambahan Pelat Di Ujung <i>Haunch</i>	209
Gambar 6.44.	Properti <i>Stiffener</i> Bagian Kanan.....	209
Gambar 6.45.	Properti <i>Haunch</i> Bagian Kiri	210
Gambar 6.46.	Properti <i>Stiffener</i> Bagian Kiri.....	210
Gambar 6.47.	Beban untuk Desain <i>Apex Haunch</i>	211

Gambar 6.48.	Hasil Analisis <i>Apex Haunch</i>	211
Gambar 6.49.	Detail Sambungan <i>Apex Haunch</i>	211
Gambar 6. 50.	Base Plate dengan Tipe Sambungan Momen.....	212
Gambar 6. 51.	Tambahkan Profil Baru untuk Mendefinisikan WF.600X200X11/17	212
Gambar 6. 52.	Pilih H.600X200X11 → WF.600X200X11/17 untuk Sebagai Kolom pada Pelat Dasar.....	213
Gambar 6. 53.	Pengaturan Mutu Beton K-300	214
Gambar 6. 54.	Pengaturan Properti Pelat Dasar.....	214
Gambar 6. 55.	Pengaturan Properti Pelat Pengaku	215
Gambar 6. 56.	Tambahkan Operasi Baru.....	215
Gambar 6. 57.	Pilih Rib	216
Gambar 6. 58.	Pengaturan Properti Pelat Rib	216
Gambar 6. 59.	Pengaturan Properti Angkur Tambahan.....	217
Gambar 6. 60.	Beban untuk Desain Pelat Dasar	217
Gambar 6. 61.	Pengaturan Concrete Breakout Resitance	217
Gambar 6. 62.	Hasil Analisis Pelat Dasar	218
Gambar 6. 63.	Detail Base Plate	219
Gambar 6. 64.	Lendutan Akibat Beban Hidup Atap.....	219
Gambar 6. 65.	Lendutan Akibat Beban Layan (Beban Mati + L_r).....	220
Gambar 6. 66.	Lendutan Akibat Beban Angin $W_{x(+)}$	220
Gambar 6. 67.	Lendutan Akibat Beban Angin $W_{x(-)}$	221
Gambar 6. 68.	Lendutan Akibat Beban Angin $W_{y(-)}$	221
Gambar 6. 69.	Lendutan Akibat Beban Angin $W_{y(-)}$	221

TESTIMONI



Pak Totok adalah seorang akademisi, praktisi yang handal yang dari dulu beliau tidak kenal lelah untuk selalu belajar dan belajar. Hingga bisa di titik ini beliau butuh perjuangan yang sangat tinggi. Untuk menjadi ahli baja, motivasi beliau adalah Prof Dr Wiryanto Guru Besar UPH. Beliau menimba ilmu kepada siapa saja tanpa perlu malu bertanya kepada yang lebih muda sekalipun karena menurut beliau ilmu itu luas jadi siapapun bisa belajar dari mana saja. Dengan bangga kami sebagai keluarga, anak, istri beliau merasa bersyukur semua perlu proses yang panjang dan dengan kesabaran kami. Alhamdulillah beliau bisa jadi Dosen, Direktur, dan Asesor. Selamat atas pencapaiannya sebagai penulis buku tentang struktur buat para generasi penerus bangsa terutama di bidang struktur.

Ibu Suryani - Komisaris PT TAP Rekayasa Struktur

Ashrafi Raihan Tsaqif - (Putra ke 1, Mahasiswa aktif tahap akhir UMJ)

Muhammad Rizqi Yusuf - (Putra ke 2)



Sebagai ketua umum HAKI dan juga sebagai staf pengajar di Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, saya sangat berterima kasih kepada penulis yang telah mewakafkan waktunya untuk membagi ilmu dan pengalaman desain struktur baja yang dimilikinya, khususnya yang terkait bangunan industri, dalam bentuk sebuah buku yang cukup komplit. Buku desain seperti ini, yang mengacu secara konsisten pada SNI-SNI terkait dan diperkaya dengan berbagai pengalaman desain yang dimiliki penulis, masih sangatlah jarang tersedia. Sehingga diharapkan buku ini dapat menjadi buku acuan bagi praktisi dan juga mahasiswa Teknik Sipil di Indonesia dalam mempelajari dan memahami berbagai aspek desain struktur baja, khususnya untuk bangunan industri.

Prof. Iswandi Imran, M.A.Sc., Ph.D. - Guru Besar Institut Teknik Bandung (ITB), Dosen Senior Struktur Beton



Dari tulisannya, seseorang bisa diketahui isi pikirannya, sehingga orang lain bisa mengevaluasi. Jika baik, akan dipertahankan, tetapi jika tidak baik tentunya perlu dikoreksi. Itu alasannya mengapa menulis menjadi cara efektif untuk pengembangan diri bagi profesional. Untuk itu, diucapkan selamat untuk rekan seprofesi, Sdr. Totok Andi Prasetyo, yang telah memulainya dengan menulis buku ini. Topiknya adalah pengalamannya di bidang perencanaan struktur baja khususnya bangunan industri dengan *crane*. Semoga isinya bisa menjadi pembeding dan pembaca mendapatkan manfaatnya. Ini tentunya berguna bagi pengembangan sumber daya manusia agar menjadi lebih baik, dan semoga membantu mewujudkan Indonesia Emas 2045. Semoga Tuhan yang Maha Esa melindungi dan memberkati usaha kita semua. Amin.

Prof. Dr. Ir. Wiryanto Dewobroto, M.T. - Guru Besar Teknik Sipil – Universitas Pelita Harapan



Buku ini sangat bagus sebagai referensi dalam desain struktur baja untuk bangunan-bangunan spesifik industri dengan *crane* di wilayah yang rawan gempa. Pengenalan teori awal dalam buku sangat membantu dalam menemukan kaitan urgensi mengapa buku ini disusun. Contoh-contoh yang cukup rinci dalam buku ini juga sangat membantu dan mempermudah pembaca buku ini untuk membuat desain bangunan spesifik ini.

Prof. Ir. H Sarwidi, MSCE., Ph.D., IP-U., ASEAN Eng. - Guru Besar Rekayasa Kegempaan dan Dinamika Struktur Teknik Sipil UII. Inovator & Inventor Barrataga & Simutaga. Pengarah Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) RI. Pemegang Sertifikat Kompetensi BSN-LPJK PUPR tingkat Utama (9/9) untuk Ahli Teknik Bangunan Gedung dan Teknik Jembatan



Buku ini merupakan satu dari sedikit buku yang membahas struktur baja di Indonesia. Dengan pengalaman penulis sebagai konsultan, buku ini dapat menjadi pedoman perencanaan khususnya yang menyangkut struktur baja dengan *crane*. Selamat kepada penulis yang telah menuangkan pengetahuan dan pengalamannya dalam buku ini, sehingga dapat menjadi salah satu rujukan dalam perencanaan bangunan industri dengan *crane*.

Prof. Ir. Yoyong Arfiadi, M.Eng., Ph.D. - Guru Besar Teknik Sipil, Universitas Atma Jaya Yogyakarta (UAJY)



Perencanaan Struktur itu beragam sekali. Buku “Perencanaan Struktur Bangunan Industri dengan *Crane*” yang cukup lengkap dan detail ini bisa dijadikan salah satu pedoman praktis dalam perencanaan Struktur Baja yang dilengkapi dengan *crane*.

Semoga buku ini bisa bermanfaat bagi para *engineer* yang menaruh minat dalam Perencanaan Struktur Baja.

Selamat buat penulisnya!!

Ir. Annin Hudaya, S.T., M.T., IPU, - Ahli Teknik Bangunan Gedung Jenjang 9, Direktur Utama PT. Stadin Strukturindo Konsultan (Est.1989), Ketua III HAKI, Ketua Komite Desain ISSC



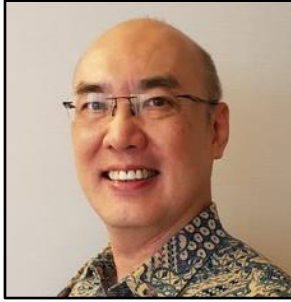
Buku ini sangat baik sebagai referensi untuk para praktisi dalam merancang konstruksi baja bangunan industri dengan *crane*. Masih sedikit terdapat literatur mengenai perancangan konstruksi baja dalam Bahasa Indonesia. Saya haturkan pujian kepada penulis untuk ketekunannya menulis buku ini.

Ir. Davy Sukamta - Ahli Teknik Bangunan Gedung Jenjang 9 (HAKI), Pimpinan Presiden Direktur PT. Davy Sukamta Konsultan. Ketua HAKI Periode 1999 -2011, 2014-2017



Selamat dan apresiasi kepada Penulis yang telah menyusun materi yang diperlukan dalam perencanaan struktur bangunan industri dengan *crane*. Uraian yang cukup rinci disajikan dalam buku ini diharapkan dapat melengkapi kemampuan para mahasiswa dan praktisi dalam merancang struktur bangunan industri, dan pada waktunya dapat lebih mudah meng-update langkah-langkah perancangan sesuai dengan perkembangan Standar/ketentuan di waktu yang akan datang.

Ir. Muslinang Moestopo, MSEM, Ph.D., - Ahli Teknik Bangunan Gedung Jenjang 9 (HAKI), Dosen Senior Struktur Baja Institut Teknologi Bandung (ITB)



Saya sangat gembira menyambut kehadiran buku panduan ini di tengah kelangkaan buku-buku yang membahas struktur baja bangunan industri dalam bahasa Indonesia dan berdasarkan SNI-SNI bangunan gedung yang terbaru saat ini.

Buku ini memberikan pemahaman bagaimana suatu sistem struktur bangunan industri dengan sistem *crane* itu bekerja. Dengan perasaan antusias, saya membaca dengan seksama setiap bab dalam buku ini. Bagian 2 yang menyajikan contoh penerapannya secara *step-by-step* dengan program ETABS sangat mengesankan saya. Bab ini sungguh amat berguna bagi para konsultan perancang struktur baja dan para mahasiswa teknik sipil yang perlu memahami dasar-dasar perancangan bangunan industri.

Namun perlu dicatat bahwa sistem struktur bangunan industri yang nyata jauh lebih rumit dari segi bentuk, fungsi dan pembebanannya. Oleh karenanya, pembaca perlu mengembangkan sendiri secara hati-hati sistem struktur nyata yang dihadapinya dengan berpedoman pada struktur ideal yang disajikan dalam buku ini.

Akhir kata, selamat untuk Mas Totok dan tetaplah semangat untuk melanjutkan menulis buku-buku panduan teknik sipil. *Good luck!*

Ir. Suradjin Sutjipto., M.T., - Ahli Teknik Bangunan Gedung Jenjang 9 (HAKI), Presiden Direktur Suradjin Sutjipto, Inc. (SSI), Dosen Jurusan Teknik Sipil FTSP Universitas Trisakti



Dalam perkembangan dunia konstruksi saat ini dan perubahan *code* yang begitu cepat, tidaklah mudah untuk meluangkan waktu menulis sebuah buku panduan perencanaan. Buku seperti ini akan sangat membantu para mahasiswa dan juga praktisi dalam dunia konstruksi.

Dr. Nathan Madutujuh, ESRC, Bandung



Saat ini terdapat beberapa buku mengenai struktur baja berbahasa Indonesia yang ditulis oleh akademisi dari berbagai perguruan tinggi, yang berisi aspek-aspek teoritis, perilaku, dan prosedur desain struktur baja. Walaupun begitu, belum ada buku struktur baja berbahasa Indonesia yang ditulis oleh seorang insinyur praktisi baja yang menceritakan bukan hanya teori tetapi praktek bagaimana desain struktur baja dilakukan. Oleh karena itu saya sebagai seorang akademisi menyambut buku ini dengan sangat senang karena memenuhi kekosongan tersebut. Saya yakin buku ini akan sangat bermanfaat bagi para praktisi, khususnya insinyur muda yang berprofesi sebagai *structural engineer*, dan bagi para akademisi, khususnya mahasiswa program studi teknik sipil yang sedang belajar desain struktur baja dan yang akan mengerjakan tugas besar (*capstone design*) berupa perencanaan bangunan baja, dan dosen-dosen dalam bidang struktur baja. Apresiasi yang sebesar-besarnya kepada penulis buku ini karena di tengah kesibukannya sebagai seorang *structural engineer* dan pimpinan Perusahaan Konsultan TAP, masih menyempatkan waktunya untuk berbagi pengalamannya melalui penulisan buku ini.

Wong Foek Tjong, S.T., M.T., Ph.D. - Dosen Desain Struktur Baja dan Peneliti dalam Bidang Metode Elemen Hingga, Universitas Kristen Petra, Surabaya



Tidak banyak referensi mengenai bangunan industrial dengan konstruksi baja yang dilengkapi *crane* di Indonesia, terlebih lagi yang ditulis praktisi handal. Kami sangat yakin buku akan menambah pengetahuan dan kompetensi yang membantu para engineer muda di dalam dunia teknik sipil. Terima kasih kepada Penulis sudah berbagi ilmu dengan kami para praktisi bidang jasa konstruksi di Indonesia. Semoga Tuhan selalu memberkati Pak Totok Andi Prasetyo.

Ir. Herman Sapar - Dosen Senior FTSP UNTAN, Pengurus DP HAKI dan Ketua LSP ASBSI, Ahli Teknik Bangunan Gedung Jenjang 9 (HAKI)



Buku seperti ini yang ditunggu-tunggu bagi para praktisi, khususnya praktisi untuk bangunan industri dengan *crane*. Hal ini akan memberikan kontribusi positif bagi dunia konstruksi baja di Indonesia. Penjelasannya sangat detail disertai dengan contoh dan dilengkapi tahapan-tahapan dalam *software computer*. Apresiasi yang setinggi-tingginya untuk penulis, di tengah kesibukan yang luar biasa, masih mau menyempatkan waktunya untuk berbagi dengan menulis buku yang lengkap dan detail seperti ini.

Ir. Joni Irawan., M.T., - Ahli Teknik Bangunan Gedung Jenjang 9 (HAKI). Dosen Senior Struktur Baja Politeknik Negeri Banjarmasin, Asesor LSP ASBSI HAKI, Tim Profesi Ahli (TPA) Kalimantan Selatan, Konsultan Struktur



Di tengah kelangkaan literatur struktur baja, buku ini merupakan pelepas dahaga baru bagi mahasiswa, praktisi di bidang struktur baja. Hal ini sangat menggembirakan, di mana saat ini kebutuhan bangunan industri meningkat pesat dengan berkembang pesatnya berbagai sektor industri di tanah air.

Materi buku ini cukup lengkap yang dimulai dari pengantar tentang bangunan industri, kelebihan dan kekurangannya, jenis dan macam struktur Bangunan Industri. Desain *crane* dalam buku ini, merupakan kelebihan dari buku ini.

Nilai lebih lain dari buku ini adalah dengan diberikannya contoh analisis di dalamnya yang memudahkan para pembacanya untuk lebih memahami proses desain. Pemberian standar yang digunakan dalam desain juga sangat membantu untuk mengetahui dari mana sumber parameter yang digunakan dalam menentukan nilai-nilai yang diambil.

Kami menyambut baik karya ilmiah ini, yang dibuat oleh generasi muda dalam bidang struktur ini dengan membaktikan sebagian dari ilmunya yang spesifik dengan karyanya yang sangat berguna dalam pengembangan ilmu teknik sipil, khususnya struktur baja di tanah air. Kami berharap lebih banyak lagi mahasiswa dan praktisi yang akan berkarya di bidang ini.

Ir. Sjafei Amri, Dipl. E.Eng. - Pendiri PT. Binanusa Pracetak & Rekayasa, Konsultan



Alhamdulillah Pak Ir. Totok Andi Prasetyo M.T., *Subhanallah*, luar biasa. Buku yang berjudul perencanaan bangunan industri dengan *crane* ini sangat bagus untuk menjadi salah satu referensi dalam analisis struktur baja khususnya dalam bangunan industri. Kemudian juga dapat menjadi bahan untuk meningkatkan kompetensi profesional sesuai SKKNI sebagai dasar kompetensi SKK Alhi Teknik Bangunan Gedung yang berlaku sesuai bidangnya.

Selamat dan sukses untuk penulis atas terbitnya buku ini, semoga bertambah manfaat, ilmu, dan barakah

Aamiin ya robbal 'alamiin. Salam semangat dan sukses.

Ir. Moch Arif Toto.R, M- Eng, A-Ut, ACPE - Dosen STR SV UGM; Tim Profesi Ahli (TPA) Kota Yogyakarta; Kabid Keuangan dan Asesor LSP ASBSI; Koord. Bid. Anggota DPP HAKI; Pengurus Komda HAKI Yogyakarta; Konsultan Struktur



Buku Perencanaan Struktur Bangunan Industri dengan *Crane* akan sangat bermanfaat bagi praktisi dan akademisi bagi perencana di bidang struktur. Buku ini juga dapat menjadi literatur bagi mahasiswa yang tertarik menggeluti bidang struktur baja, khususnya bangunan industri. Sebuah penghargaan bagi penulis yang telah menyempatkan untuk menulis buku ini. Semoga buku Perencanaan Struktur Bangunan Industri dengan *Crane* dapat menambah khazanah pengetahuan di bidang teknik sipil.

Ir. Ismono Kusmaryono, S.T., M.T., - Kaprodi Teknik Sipil Institut Sains dan Teknologi Nasional (ISTN) Jakarta



Buku “Perencanaan Struktur Bangunan Industri dengan *Crane*” ini bisa menjadi referensi bagi para perencana struktur bangunan industri, yang memang sangat jarang kita temukan referensinya. Isi buku ini cukup lengkap dan terinci dengan baik. Semoga bisa turut melengkapi buku-buku teknik sipil berbahasa Indonesia, teristimewa yang membahas tentang struktur baja. Saya merekomendasikan buku ini untuk dimiliki dan dipelajari para praktisi dan mahasiswa Teknik Sipil. Untuk penulis, tetap berkarya dan tetap bersemangat, selalu siap berbagi ilmu kepada siapa pun juga yang membutuhkan, sebagai bagian dari amal ibadah. Amin.

Ir. Willy Wungo - Ahli Teknik Bangunan Gedung Jenjang 9 (HAKI), Direktur PT. Tribuana Bhirawa Yudha



Buku ini adalah paket komplit yang isinya sangat bermanfaat bagi para praktisi dan akademisi dalam bidang perencanaan struktur baja, terutama bangunan industri. Buku ini juga sangat dinantikan bagi para *structural engineer* Indonesia, karena saat ini masih jarang sekali buku perencanaan struktur baja yang ada di Indonesia. Semoga buku ini bisa menginspirasi para Insinyur Indonesia untuk semakin memajukan industri konstruksi baja di Indonesia.

Ir. Faishol Arif, S.T., M.T., - Ahli Teknik Bangunan Gedung Jenjang 9 (HAKI), Dosen Senior Universitas Pakuan Bogor, Anggota Tim Profesi Ahli DKI Jakarta



Selamat atas terbitnya buku Perencanaan Struktur Bangunan Industri dengan *Crane*. Tidak banyak literatur mengenai bangunan *warehouse* di Indonesia, terlebih lagi dari praktisi handal. Kami sangat yakin buku akan menambah pengetahuan dan membantu para *engineer* muda di dalam dunia teknik sipil. Terima kasih Pak Totok sudah berbagi ilmu dengan kami. Semoga Tuhan selalu memberkati Bapak. Kami tunggu karya Bapak selanjutnya.

Ir. Christ Kendro - Design Manager PT. Tatamulia Indah Nusantara



Apresiasi kepada penulis yang telah menyusun buku ini. Masih sedikit buku literatur baja dengan spesifik bangunan tertentu. Bila sudah selesai, buku ini bermanfaat dan diperlukan sekali untuk menambah dan melengkapi referensi bagi para praktis dalam merancang struktur bangunan di industri dengan *crane*. Tetap Semangat, semoga bisa menjadi amal jariah penulis yang tiada henti.

Ir. Budi Antara – Kabid Mutu LSP ASBSI HAKI, Assesor LSP ASBSI HAKI, Ahli Teknik Bangunan Jenjang 9, Konsultan Struktur



Pertama-tama saya sangat mengapresiasi penulis buku ini yang telah bersedia membagikan ilmu dan pengetahuan konstruksi baja industri dengan alat *crane* yang sangat berguna bagi para praktisi umumnya dilapangan dan mahasiswa khususnya dalam mencari referensi konstruksi baja untuk menyelesaikan tugas-tugasnya di kampus, dimana hal tersebut masih sedikit keberadaannya. Sekali lagi saya apresiasi untuk Pak Ir. Totok Andi Prasetyo, MT.

Buku ini memberikan pula contoh konkret yg sangat aktual jadi dapat menjadi salah satu pedoman atau *handbook*. Terima kasih.

KRAT RM Endro Gijanto R., Ir., IPU, SH Med., MBA, MM

- Asesor LSP ASBSI
 - Wakil Ketua HAKI Jawa Tengah
 - Ahli Teknik Bangunan Gedung Jenjang 9
 - Ahli Teknik Jembatan Jenjang 9
 - Pengurus HATTI Jawa Tengah
 - Anggota PII
 - SKIP PII Ahli Madya
 - Member of American Concrete Institute
 - Konsultan Struktur
 - Konsultan Pengawas
 - Tim Profesi Ahli Kota Semarang (2022)
 - Staf Pengajar Unika
- Soegijapranata(1981-2020)

Berbeda dengan buku struktur baja pada umumnya ini adalah buku yang ditulis dengan langgam bahasa praktisi oleh praktisi untuk praktisi.

Buku ini sangat layak dikoleksi.

Ir. Effendy Johan. M.T. - Ahli Tenik Bangunan Gedung Jenjang 9, Direktur PT. Perentjana Djaja



“

*Karena menulis adalah bekerja untuk
keabadian...”*





PENDAHULUAN

A. PENGENALAN BANGUNAN INDUSTRI

Bangunan industrial mulai mengalami perkembangan seiring dengan perkembangan ekonomi di Indonesia. Proses percepatan investasi dalam negeri yang terus didorong membuat berbagai macam sektor industri semakin maju. Perusahaan-perusahaan ternama dunia mulai melebarkan sayap industrinya di Indonesia. Hal tersebut tentu perlu ditopang dengan kondisi operasional perusahaan yang mumpuni. Dari situlah kemudian sebagian besar perusahaan mulai mendirikan bangunan industrial baik untuk proses produksi, manufaktur ataupun penyimpanan biasa.

Bangunan industrial merupakan bangunan dengan komponen arsitektural dan struktural yang relatif sederhana dibandingkan dengan tipe bangunan lain seperti, perhotelan, perkantoran dan lain sebagainya, yang tentu lebih mementingkan aspek estetika. Bangunan industrial lebih mengutamakan fungsi bangunan sebagai penunjang proses produksi dan operasional.

Umumnya bangunan industrial dibangun menggunakan material baja sebagai struktur utama. Struktur baja dapat menciptakan ruang luas terbuka yang efisien yang dibutuhkan oleh sebagian besar bangunan industrial. Biasanya struktur baja dipilih atas alasan keberlanjutan, di mana apabila terdapat rencana pengembangan bangunan, struktur baja dapat dengan mudah beradaptasi. Namun tidak menutup kemungkinan bahwa bangunan industri dibangun dengan kombinasi beberapa material lain seperti struktur beton bertulang, dan struktur baja canai dingin.

Dengan fungsi sebagai bangunan penunjang proses produksi dan operasional, biasanya bangunan industrial dibangun dengan skala luasan yang besar. Atas dasar itulah, proses perancangan bangunan industrial sangat dipengaruhi oleh biaya yang efisien. Bangunan industrial juga dibangun dengan biaya operasional yang minimum dengan tingkat keberlanjutan yang tinggi untuk mengurangi konsumsi energi yang berdampak pada biaya operasional bangunan.

Berdasarkan apa yang dirangkum oleh Newman (2004), bangunan industri pertama yang berdiri adalah Ditherington Flax Mill yang dibangun di Inggris pada Tahun 1796. Bangunan ini terdiri dari kolom-kolom logam yang didirikan untuk menggantikan material kayu yang biasa digunakan di Inggris. Ide untuk membangun fasilitas manufaktur terbangun karena banyaknya bangunan pabrik kapas yang terbakar karena menggunakan material kayu. Begitu sifat tahan api pada material logam ditemukan, perkembangan bangunan industri dengan material logam mulai jamak digunakan di dataran Britania Raya.



Gambar 1.1. Contoh Struktur Bangunan Industri dengan Crane
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

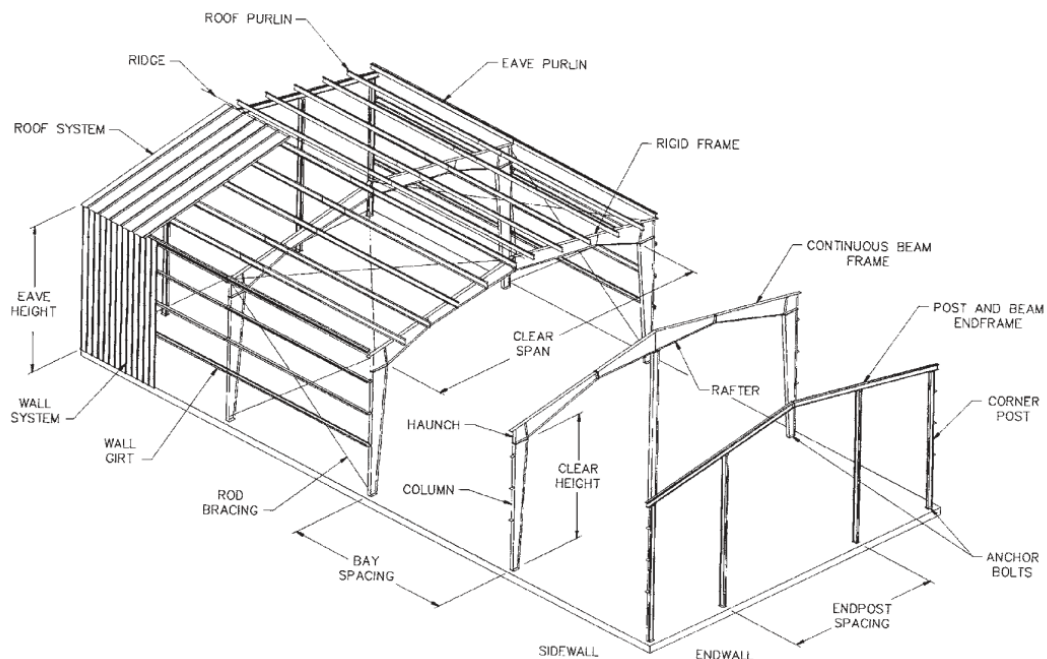
Bangunan industri yang didesain dengan struktur baja memiliki beberapa kelebihan, antara lain sebagai berikut;

- Struktur baja mampu mengakomodir bentang yang cukup panjang. Struktur rangka payon (*gable frame*) dapat mencapai bentang hingga 30 m. Kemampuan untuk memberikan bentang yang panjang menjadikan struktur baja sebagai material yang ekonomis untuk digunakan pada bangunan industri
- Pengerjaan struktur baja untuk bangunan industri relatif cepat. Dengan elemen-elemen yang sudah difabrikasi di *workshop*, proses instalasi struktur baja di lapangan jadi lebih cepat. Dari beberapa referensi, proses pekerjaan bangunan industri yang dibangun dengan struktur baja memakan durasi yang tiga kali lebih cepat ketimbang dengan material lain.
- Efisiensi biaya. Dengan sistem prafabrikasi di *workshop* yang menghasilkan durasi pekerjaan yang lebih cepat, kebutuhan jumlah pekerja dapat menjadi lebih sedikit sehingga biaya upah pekerja dapat dipangkas. Selain itu, sistem prafabrikasi yang presisi dapat menghasilkan produk yang minim cacat sehingga *waste* dapat diminimalisir.
- Kemudahan pengembangan. Bangunan industri seringkali dibangun dalam beberapa fase. Dengan struktur baja, penambahan massa bangunan akan mudah dilaksanakan karena proses pembongkaran bangunan eksisting dapat dilakukan secara mudah. Selain itu, struktur baja eksisting juga dapat digunakan kembali untuk bangunan baru.
- Proses pemeliharaan yang ringan. Pada tipikal bangunan industri yang menggunakan atap metal sheet yang mudah dirawat, biaya operasional untuk pemeliharaan yang dikeluarkan dapat lebih sedikit. Selain itu biaya pemeliharaan untuk struktur juga tidak relatif besar, apalagi untuk struktur baja yang telah dilapisi dengan lapisan anti korosi.
- Proses konstruksi bangunan industri umumnya tidak terlalu rumit dan membutuhkan banyak *stakeholder* sehingga tidak membutuhkan terlalu banyak vendor. *Stakeholder* yang tidak terlalu banyak membuat *owner* akan dengan mudah melacak pertanggungjawaban dari produk konstruksi yang dihasilkan oleh masing-masing

stakeholder. Selain itu, apabila terjadi masalah maupun saat masa perawatan, owner juga akan mudah untuk meminta penjelasan kepada *stakeholder* terkait.

1. Komponen-komponen pada Bangunan Industri

Elemen paling mendasar yang jamak digunakan pada bangunan industri terdiri dari kolom dan balok. Sistem mendasar ini kemudian dimodifikasi dengan cara-cara tertentu untuk menghasilkan struktur yang efisien. Tipe struktur yang paling sering digunakan adalah *portal frame* baik yang bertipe *gable frame* maupun *monoslope*. Sistem struktur ini memiliki stabilitas searah bidang yang cukup. Namun stabilitas pada arah luar bidang perlu diantisipasi dengan bantuan *bracing*. Dalam suatu bangunan industri semua komponen bersatu menjadi satu komponen yang membentuk suatu sistem utuh. Terdapat beberapa komponen yang hampir selalu ada pada bangunan industri seperti rangka utama, purlin, *girts*, *bracings*, nok atap, dan kolom *post*. Pada gambar di bawah disajikan secara lengkap gambaran bagaimana komponen bangunan industri membentuk suatu sistem yang utuh.



Gambar 1.2. Komponen pada Bangunan Industri
(Sumber: Newman, 2003)

2. Struktur Utama (*Main Frame*)

Di Indonesia, bangunan industri sangat jamak menggunakan sistem struktur portal karena alasan efisiensi dan kemudahan fungsi. Berbagai jenis tipe portal dapat didesain dengan sistem utama yang hampir serupa, bisa berbentuk *gable frame*, *curved frame*, *gable frame* dua bentang dan lain sebagainya. Struktur portal menyediakan ruang dengan bentang yang lebar yang akan memudahkan proses operasional dari bangunan industri. Umumnya sistem struktur portal ini didesain dengan profil *wide flange* dari baja canai panas, dengan variasi profil baja canai dingin sebagai *secondary framing* (purlin, *girts*, dan lain sebagainya). Di Eropa dan juga beberapa proyek di Indonesia,

sistem struktur portal dikembangkan menggunakan variasi profil lain seperti, *honeycomb* dan *cellular beam*. Tentu pemilihan profil yang digunakan menyesuaikan kebutuhan serta pembebanan yang ada. Sistem struktur portal cocok digunakan untuk bentang sedang 25-40 m.

Selain struktur portal, sistem lain yang sering digunakan sebagai struktur utama bangunan industri adalah sistem *truss* 2d. Sistem ini dapat dibentuk dengan menggunakan profil T, *wide flange*, pipa, atau kanal. Dua di antara sistem struktur *truss* untuk atap yang paling sering digunakan adalah *truss* tipe W dan tipe N. *Design Guide 7: Design for Industrial Building*, memberikan rekomendasi konfigurasi *truss* yang ekonomis untuk digunakan. Untuk tinggi *truss* kurang dari 1,5 m direkomendasikan menggunakan *truss* tipe N, sementara untuk tinggi *truss* di atas 1,5 m direkomendasikan menggunakan *truss* tipe W. Selain itu penggunaan profil T juga lebih ekonomis karena dapat mengeliminasi penggunaan *gusset* untuk batang vertikal dan diaogonal. Sebagai acuan awal, umumnya rasio tinggi *truss* terhadap bentang diambil sekitar 1/15 hingga 1/20 karena dapat menghasilkan struktur yang ekonomis. Sistem struktur rangka atap *truss* dapat dikombinasikan baik dengan kolom baja biasa, kolom baja *truss*, maupun kolom beton. Semuanya tentu dengan pertimbangan biaya yang dapat diakomodir oleh *owner*.

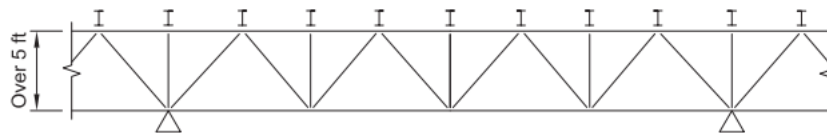


Fig. 4-1. Economical truss web arrangement.

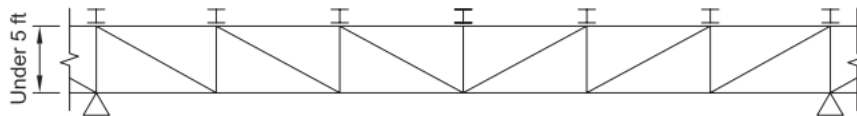


Fig. 4-2. Economical truss web arrangement.

Gambar 1.3. Rekomendasi Konfigurasi Truss untuk Atap
(Sumber: *Design Guide 7 AISC: Industrial Building Design, 2019*)

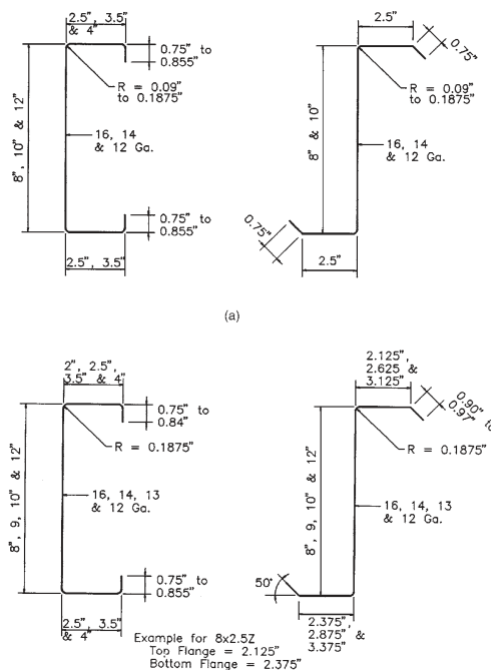
Sistem struktur lain yang bisa digunakan untuk bangunan industri dengan bentang yang ekstra lebar adalah sistem struktur *suspended*. Struktur ini ditopang dengan batang-batang tarik dari struktur kabel. Struktur tersuspensi dapat dirancang dengan memperpanjang kolom di luar gedung untuk penyangga batang tarik. Contoh penggunaan struktur tersuspensi di Indonesia ada pada Terminal Induk Pulogebang.



Gambar 1.4. Contoh Sistem Struktur *Suspended* (Terminal Pulogebang)

3. Struktur Pendukung (*Secondary Frame*)

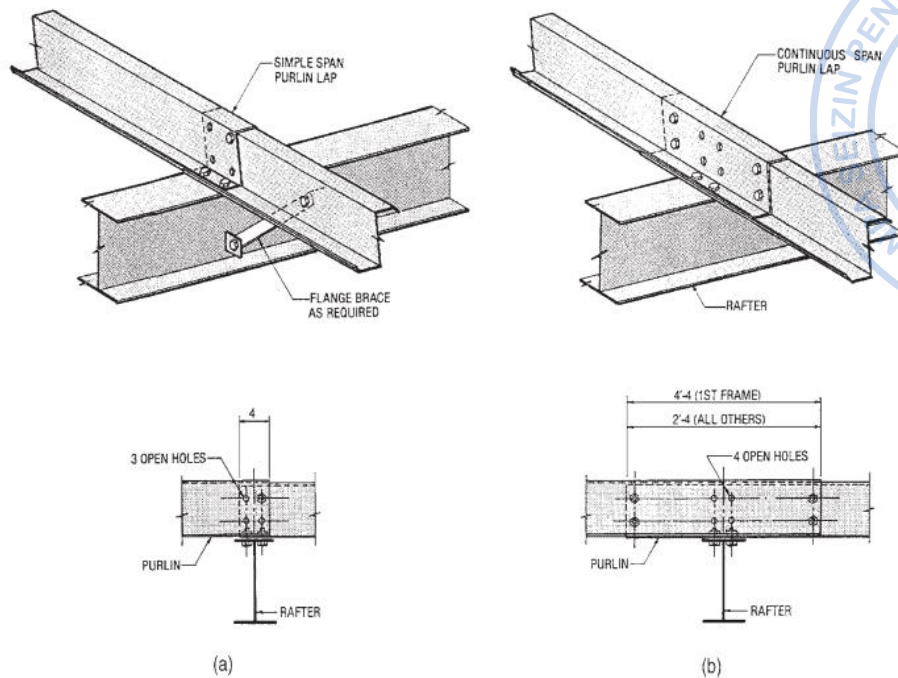
Sistem struktur pendukung pada bangunan industri terdiri dari purlin dan *girts*. Purlin pada bangunan industri dapat didesain baik menggunakan baja canai panas dan baja canai dingin. Purlin yang berasal dari baja canai dingin biasa dibuat dari profil C dan Z. Purlin dengan tinggi profil 20 hingga 30 kaki dapat mengakomodir bentang 7,5 hingga 9 m. Purlin dengan profil C atau Z normalnya terbuat dari baja mutu tinggi seperti ASTM A 570 atau A 607. Sementara untuk purlin yang berasal dari baja canai panas bisa dibuat dari profil *CNP*, *box CNP*, *Square Hollow Section*, maupun *Rectangular Hollow Section*.



Gambar 1.5. Profil Baja Canai Dingin C dan Z untuk Purlin
(Sumber: Newman, 2003)

Koneksi antara purlin dengan *rafter* dapat dibuat secara menerus (*continious*) maupun tertumpu secara sederhana (*simply supported beam*). Untuk membuat purlin

dengan sistem menerus, dibutuhkan *lap splice* yang lebih panjang, umumnya sekitar 120 cm untuk purlin di bentang pertama dan 60 cm untuk purlin pada bentang yang lain. Sementara untuk purlin yang tertumpu sederhana hanya dibutuhkan 10 cm *lap splice*.



Gambar 1.6. Koneksi Antara Purlin ke Rafter
(Sumber: Newman, 2003)

Sementara itu, bagian lain yang merupakan rangka sekunder pada bangunan industri adalah girt. Girt bisa digunakan dari profil baja canai dingin seperti profil C dan Z, juga bisa digunakan dari profil baja canai panas seperti profil kanal. Belakangan, profil *hollow square section* juga mulai banyak digunakan sebagai girt untuk mengeliminasi *bracing* eksternal yang menghubungkan girt dengan rangka kolom. Profil baja canai dingin dapat digunakan apabila faktor ekonomi menjadi pertimbangan. Girt dari profil baja canai dingin biasanya tidak membutuhkan *sag rod* tambahan. Dinding metal juga dapat dihubungkan dengan girt dengan screw yang relatif murah. Sementara, profil baja canai panas digunakan sebagai struktur girt apabila lingkungan sekitar lokasi rawan mengakibatkan korosi. Selain itu, untuk sistem dinding tertentu yang berat, girt harus didesain dengan baja canai dingin yang relatif lebih kuat.

Proses desain struktur girt dapat dilakukan dengan beberapa tahapan sebagai berikut:

- Dimensi *girt* ditentukan berdasarkan beban eksternal baik dari berat sendiri dinding atau beban angin
- Tentukan kebutuhan *sag rod* berdasarkan kriteria defleksi dan tegangan momen di sumbu lemah girt
- Periksa beban internal hisap pada girt berdasarkan Spesifikasi AISC Bab F
- Jika dimensi girt tidak cukup kuat, tingkatkan dimensi girt atau tambahkan *sag rod*
- Cek kriteria kemampuan girt
- Cek kapasitas *sag rod* untuk menahan puntir akibat beban hisap.

B. STANDAR DAN PERATURAN YANG DIGUNAKAN

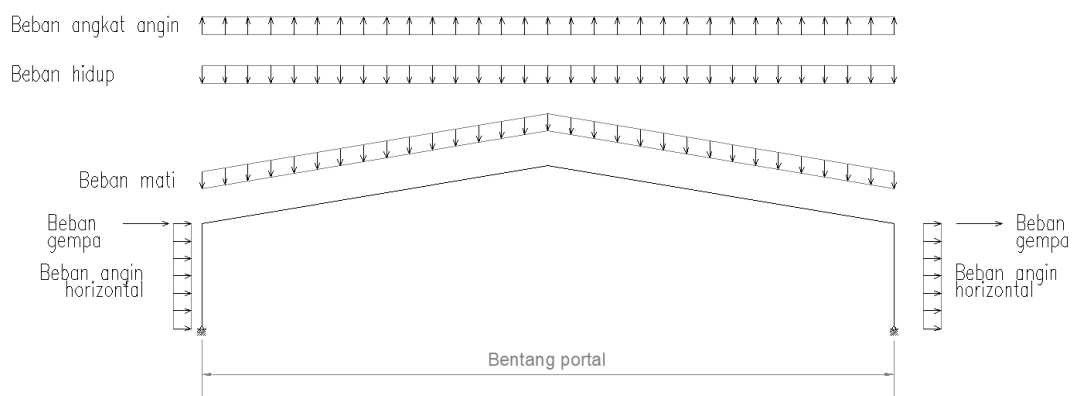
Dalam perencanaan struktur bangunan industri, standar dan peraturan yang jamak diadopsi antara lain sebagai berikut:

- Tata cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung, SNI 1726-2019
- Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain, SNI 1727-2020
- Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural, SNI 1729-2020
- Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan, SNI 2847-2019
- *Building Code Requirements for Structural Concrete*, ACI 318-14
- *Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures*, ASCE 7-16
- *Specification for Structural Steel Buildings*, AISC 360-16

C. ALUR BEBAN PADA STRUKTUR BANGUNAN INDUSTRI

Pemahaman mengenai proses alur beban pada suatu struktur menjadi sesuatu yang fundamental. Semua elemen struktur yang didesain perlu memiliki kekuatan yang cukup untuk mengakomodir beban yang ada. Beban dapat bekerja baik secara gravitasi maupun secara lateral. Pada struktur baja beban lain yang perlu dipertimbangkan adalah ekspansi termal.

Pada bangunan industri alur beban umumnya dimulai dari atap. Atap akan menahan beban vertikal yang terdiri dari berat sendiri struktur, beban mati tambahan pada atap, beban hujan, serta beban hidup untuk proses perawatan bangunan. Dalam perkembangan yang ada, atap pada bangunan industri juga mulai didesain untuk menahan *solar panel* sehingga beban-beban tambahan seperti *walkway* perlu dipertimbangkan. Beban lain yang bekerja pada atap adalah beban angin. Pada atap dengan sudut yang tidak besar, umumnya terjadi angin hisap yang mengakibatkan gaya angkat pada atap. Di kawasan yang berpotensi mengalami risiko tekanan angin yang tinggi, atap perlu didesain dengan kekuatan yang memadai.

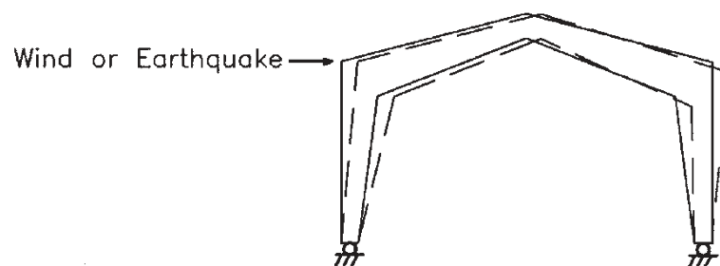


Gambar 1.7. Beban yang Terjadi pada Bangunan Industri

Selain bekerja pada atap, beban angin juga bekerja pada kolom sebagai bagian dari portal penahan gaya utama. Besaran bebannya variatif dan bergantung pada kecepatan angin serta konfigurasi bangunan. Beban angin perlu ditinjau baik yang datang dari arah transversal

maupun longitudinal. Beban angin yang datang pada arah transversal akan ditahan oleh struktur portal yang kokoh, namun beban angin pada arah longitudinal akan menerpa sumbu lemah bangunan. Bangunan industri umumnya memiliki stabilitas lateral pada arah longitudinal yang rendah sehingga apabila dikenai beban angin rawan terjadi keruntuhan. Atas dasar tersebut, penggunaan *X-bracing* direkomendasikan untuk menambah kekuatan di sumbu lemah bangunan.

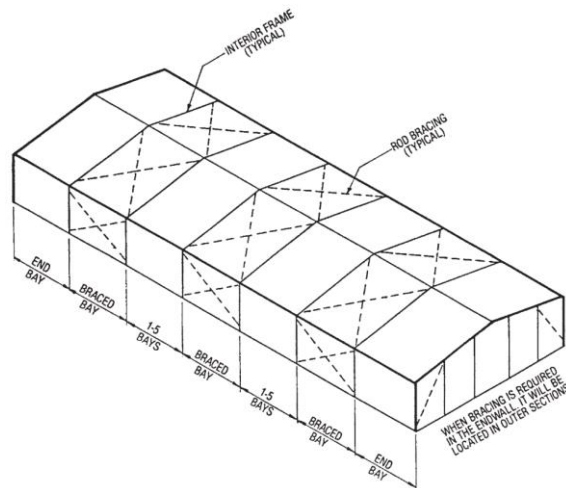
Selain beban angin, beban horizontal lain yang bekerja pada struktur bangunan industri adalah beban gempa. Pada arah transversal beban gempa akan ditahan oleh portal rangka yang terdiri dari kolom dan *rafter*. Sementara pada arah longitudinal beban gempa akan ditahan oleh sistem rangka dengan tambahan *X-bracing*. Sistem penahan gaya lateral yang jamak digunakan pada struktur bangunan industri adalah sistem rangka pemikul momen biasa pada arah transversal dan sistem rangka dengan breising konsentris biasa pada arah longitudinal.



Gambar 1.8. Beban Horizontal yang Terjadi pada Portal Utama
(Sumber: Newman, 2003)

Pada struktur bangunan industri yang didesain dengan beban *crane*, beban lateral akibat roda juga perlu dipertimbangkan. Beban lateral tersebut akan ditahan oleh *runway beam* dan dibantu dengan *backing truss* untuk mengantisipasi lendutan horizontal pada *runway* serta *buckling* di bagian *top flange*. Beban lateral ini ditransfer ke kolom melalui *backing truss* atau tambatan lateral setempat di setiap kolom yang menopang *runway beam*. Selain beban lateral, *crane* juga memberikan beban gravitasi yang cukup besar pada bangunan. Beban angkat *crane* serta berat sendiri girder *crane* plus *trolley* dan *hoist* perlu dipertimbangkan dengan matang. *Runway beam crane* perlu didesain dengan inersia sumbu kuat yang besar untuk mengantisipasi lendutan vertikal akibat beban angkat dan berat sendiri *crane*.

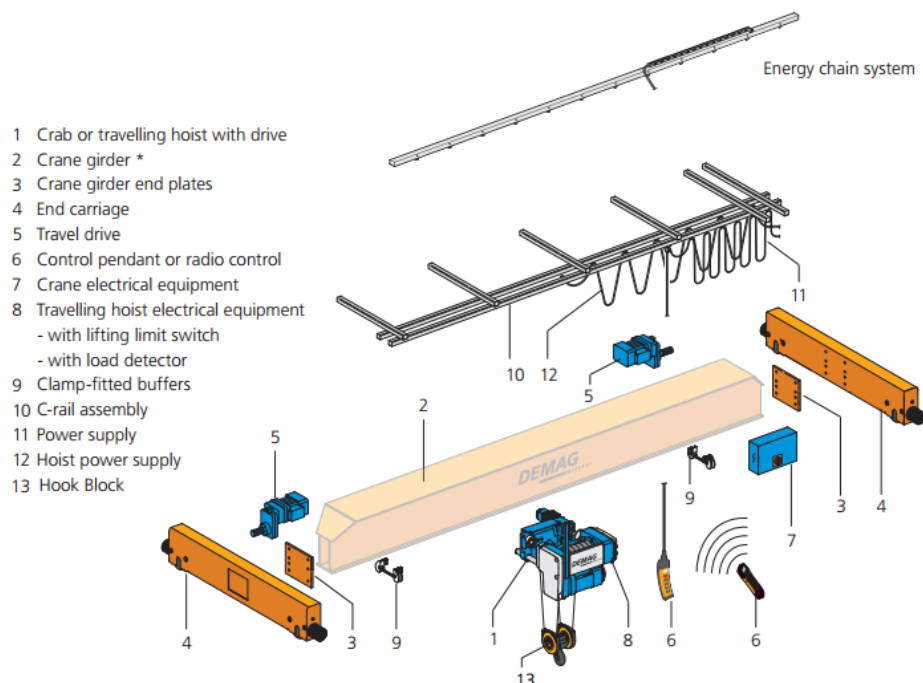
Beban lain yang perlu dipertimbangkan adalah beban dinding. Pada bangunan industri beban dinding akan ditopang oleh girt yang merangka pada kolom-kolom bangunan. Girt juga perlu didesain kuat menahan tekanan akibat beban angin horizontal yang didesain berdasarkan beban angin untuk komponen dan klading. Desain untuk struktur girt dapat dilakukan secara terpisah dari model struktur utama bangunan namun bebannya harus tetap dipertimbangkan karena akan berpengaruh pada perhitungan massa gempa efektif.



Gambar 1.9. Tipikal Bangunan Industri dengan *X-bracing* pada Sumbu Lemah Bangunan
(Sumber: Newman, 2003)

D. PENGENALAN SISTEM CRANE

Pada bangunan industri, *crane* menjadi instrumen yang jamak digunakan untuk memindahkan suatu barang dari satu tempat ke tempat yang lain. *Crane* menjadi solusi yang efisien mengingat sebagai peralatan yang digunakan pada proses industri sangat berat dan tidak memungkinkan untuk diangkat secara mekanik dengan bantuan *forklift*. Umumnya suatu *crane* merupakan gabungan dari beberapa elemen mekanik yang digabung menjadi satu kesatuan. Beberapa elemen *crane* dapat dilihat sebagaimana gambar di bawah.



Gambar 1.10. Komponen-komponen *Overhead Crane*
(Sumber: Demag Standard Cranes)

Umumnya crane yang digunakan pada bangunan industri terdapat 4 jenis yaitu: *single-girder crane* dengan *single I-girder*, *single-girder crane* dengan *box steel girder*, *suspension*

cranes, dan *double-girder crane* dengan *box steel girder*. Masing-masing jenis crane tersebut diperuntukan sesuai jenis beban yang dapat diangkat. Beberapa data teknis terkait *safe working load*, bentang crane serta kecepatan crane dari masing-masing jenis crane dapat dilihat pada tabel sebagai berikut.

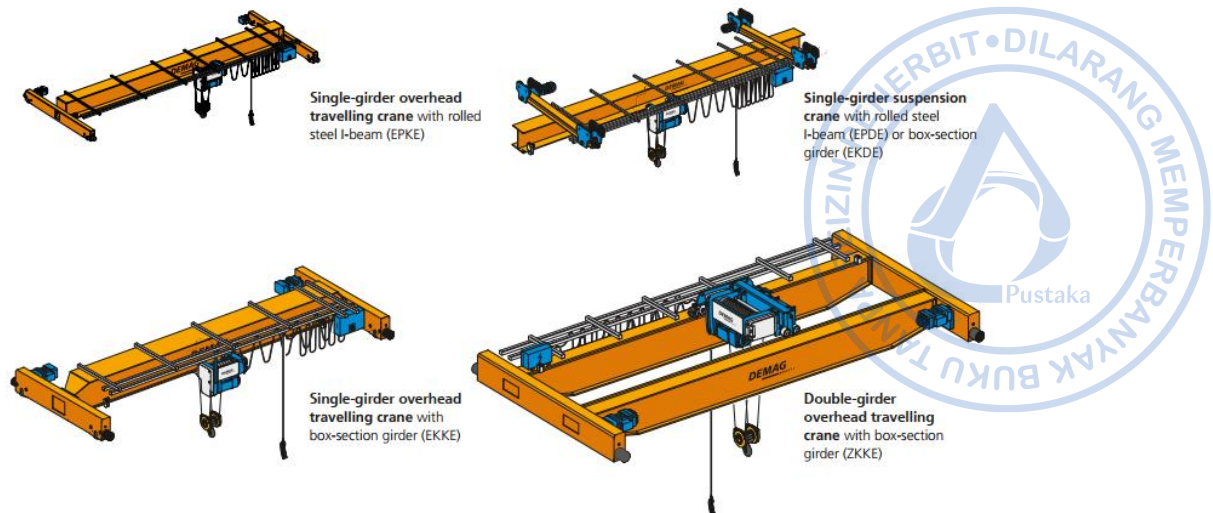
Tabel 1.1.
Tipikal Jenis Crane dengan Spesifikasinya

Tipe crane	Kapasitas	Bentang Crane	Kecepatan crane pada arah memanjang	Kecepatan hoist pada arah melintang	Kecepatan lifting
	ton	m	m/min	m/min	m/min
<i>Single-girder cranes with box section girders</i>	12,5	30	40	30	12,5
<i>Single-girder cranes with rolled I-beam girder</i>	12,5	18	40	30	12,5
<i>Suspension cranes</i>	8	25	40	30	12,5
<i>Double-girder cranes with box section girders</i>	50	35	40	30	12,5

(Sumber: Demag Standard Cranes)

Penjelasan dari masing-masing tipe girder crane adalah sebagai berikut:

- **Single-girder Crane dengan Box Steel Girder**
Single-girder crane dengan *box steel girder* cocok dipilih untuk mengakomodir beban angkat yang cukup tinggi dengan bentang yang besar. Crane jenis ini memiliki tingkat kekakuan yang tinggi dengan inersia dari *box steel girder* yang tinggi.
- **Single-girder Crane dengan Single I-girder**
Single-girder crane dengan *single I-girder* merupakan pilihan tipe crane dengan tingkat keekonomisan paling tinggi. Bangunan industri yang membutuhkan crane dengan kapasitas angkut yang relatif ringan dengan bentang yang tidak terlalu lebar cocok menggunakan crane dengan tipe *single-girder crane* dengan *single I-girder*.
- **Suspension Cranes**
Suspension cranes merupakan crane yang dapat dipasang pada struktur atap eksisting yang kokoh tanpa memerlukan struktur penopang tambahan seperti kolom baru. Crane berjenis ini sangat ekonomis karena tidak memerlukan kolom tambahan. Namun *suspension crane* hanya dapat mengangkut beban angkut dengan kapasitas kecil sekitar 8 ton.
- **Double Girder Crane dengan Box Steel Girder**
Double girder crane dengan *box section girder* merupakan tipe crane yang dapat dipilih untuk beban angkut dengan kapasitas yang besar dan bentang yang lebar. Crane berjenis ini biasa digunakan untuk mengangkat mesin-mesin besar pada bangunan industri.



Gambar 1.11. Berbagai Tipe *Overhead Crane*
(Sumber: Demag Standard Cranes)

1. Klasifikasi *Crane* Menurut AIST TR-13 dan CMAA

Umumnya *crane* diklasifikasikan berdasarkan jumlah repetisi beban serta siklus beban selama masa layan bangunan. Klasifikasi ini dibutuhkan untuk menentukan kriteria struktur penunjang yang dapat menopang struktur *crane* dengan beban angkut tertentu.

Ketetapan mengenai klasifikasi *crane* tercantum pada *Guide for the Design and Construction of Mill Buildings*, AIST TR-13 serta *Top Running Bridge and Gantry Type Multiple Girder Electric Overhead Crane Traveling Cranes – No. 70* (CMAA).

AIST TR-13 mengklasifikasikan bangunan dengan *overhead crane* menjadi 4 kelas sebagai berikut:

- Bangunan dengan Kelas A merupakan bangunan yang mana dapat mengalami 500.000 hingga 2.000.000 repetisi beban atau lebih dari 2.000.000 repetisi beban dalam perkiraan masa layan bangunan sekitar 50 tahun.
- Bangunan dengan Kelas B merupakan bangunan yang mana dapat mengalami repetisi beban 100.000 hingga 500.000 dengan siklus pembebanan tertentu atau 5 hingga 25 repetisi beban per hari selama masa layan bangunan kurang lebih 50 tahun.
- Bangunan dengan Kelas C adalah bangunan yang mana dapat mengalami repetisi beban 20.000 hingga 100.000 dengan siklus pembebanan tertentu selama perkiraan umur suatu struktur, atau satu sampai lima kali repetisi beban per hari selama masa layan bangunan sekitar 50 tahun.
- Bangunan dengan Kelas D adalah bangunan yang mana tidak mengalami lebih dari 20.000 repetisi beban tertentu selama umur yang diharapkan dari suatu struktur.

Sementara itu CMAA, mengklasifikasikan bangunan dengan *crane* menjadi 6 tipe berdasarkan kondisi layanan yang diberikan. Masing-masing kondisi dipaparkan secara ringkas sebagai berikut:

- **Kelas A (Kondisi Layanan Tidak Menentu)**
Kelas layanan dengan tipe ini membutuhkan *crane* yang digunakan pada waktu tertentu saja bilamana dibutuhkan. Kondisi layanan Kelas A biasa digunakan pada *powerhouse*, tempat publik, ruang turbin dan tempat-tempat lain di mana waktu operasional pengangkatan sangat jarang.
- **Kelas B (Layanan Ringan)**
Kelas layanan dengan tipe ini membutuhkan *crane* untuk operasi pengangkatan yang relatif ringan. Kondisi layanan Kelas B biasa digunakan pada *warehouse* skala kecil di mana kebutuhan layanan pengangkatan dengan *crane* relatif ringan dengan kecepatan yang lambat. Rata-rata kondisi layanan Kelas B melayani 2 hingga 5 pengangkatan per jam.
- **Kelas C (Layanan Sedang)**
Kelas layanan dengan tipe ini biasa digunakan untuk melayani kondisi pengangkatan yang relatif sedang baik secara frekuensi maupun beban. Kondisi layanan Kelas C rata-rata mengangkat beban 50% dari kapasitas angkat maksimum yang tersedia dengan rata-rata jumlah pengangkatan 5 hingga 10 kali per jam.
- **Kelas D (Layanan Berat)**
Kondisi layanan dengan tipe ini biasa digunakan untuk melayani kondisi pengangkatan yang relatif berat baik secara frekuensi maupun beban. Kondisi layanan Kelas D melayani tipe bangunan yang membutuhkan layanan pengangkatan yang sering dengan beban yang berat seperti bengkel mesin, pengecoran logam, pabrik fabrikasi, gudang baja, tempat penyimpanan kontainer, pabrik kayu, dan lain sebagainya. *Crane* pada kelas layanan ini melayani rata-rata beban pengangkatan yang mendekati 50% dari kapasitas maksimum yang tersedia secara konstan. Kecepatan pengangkatan yang tinggi dibutuhkan pada kondisi layanan Kelas D dengan rata-rata pengangkatan 10 hingga 20 kali per jam. Beban pengangkatan tidak lebih dari 65% dari kapasitas pengangkatan *crane* yang tersedia.
- **Kelas E**
Crane dengan tipe ini melayani kondisi pengangkatan dengan beban angkat yang hampir mendekati kapasitas maksimumnya. *Crane* Kelas E rata-rata mampu melakukan lebih dari 20 kali pengangkatan per jam atau mendekati kapasitas maksimumnya.
- **Kelas F**
Kondisi layanan kelas F memerlukan *crane* yang mampu melakukan pengangkatan dengan beban yang mendekati kapasitas maksimumnya secara terus menerus selama masa pakainya. *Crane* pada kelas layanan ini perlu menyediakan tingkat keandalan yang tinggi dengan kemudahan perawatan operasional.

Klasifikasi layanan kelas *crane* menurut CMAA dahulu dapat dikorelasikan langsung dengan siklus pembebanan selama masa layanan bangunan berdasarkan AISC 1989 yang berguna untuk analisis fatik. Meskipun pada peraturan AISC yang terbaru, klasifikasi layanan kelas *crane* versi CMAA tidak lagi berlaku, tabel korelasi tersebut masih bisa digunakan sebagai acuan awal apabila rencana siklus pembebanan selama masa layan bangunan belum didapatkan. Tabel korelasi tersebut dapat dilihat sebagai berikut.

Tabel 1.2.
Korelasi Kelas Layanan *Crane* CMAA dengan Spesifikasi Kondisi Pembebanan Menurut AISC 1989

Klasifikasi <i>Crane</i> Menurut CMAA	1989 AISC Specification Loading Condition	Loading Cycles	
		Dari	Hingga
A, B	1	20.000 ^a	100.000 ^b
C, D	2	100000	500.000 ^c
E	3	500.000	2000.000 ^d
F	4	Di atas 2.000.000	

a-Kurang lebih setara dengan 2 kali penggunaan *crane* setiap hari dalam 25 tahun
b-Kurang lebih setara dengan 10 kali penggunaan *crane* setiap hari dalam 25 tahun
c-Kurang lebih setara dengan 50 kali penggunaan *crane* setiap hari dalam 25 tahun
d-Kurang lebih setara dengan 200 kali penggunaan *crane* setiap hari dalam 25 tahun

(Sumber: Design Guide 7 AISC: Industrial Building Design, 2019)

E. BEBAN-BEBAN PADA STRUKTUR

1. Beban Mati (*Dead Load dan Collateral Load*)

Beban mati merupakan beban yang merepresentasikan berat sendiri struktur dan komponen penunjangnya. Dalam suatu bangunan industri, biasanya beban mati juga terdiri dari beban peralatan yang ditempatkan secara permanen pada struktur. Beban mati dapat diaplikasikan baik sebagai beban garis maupun beban merata. Pada titik-titik tertentu di mana efek akibat beban terjadi secara lokal, analisis khusus secara terpisah perlu untuk dipertimbangkan.

a. Berat Sendiri Elemen Struktur

Beban mati akibat berat sendiri elemen struktur terdiri atas berat dari material struktur yang digunakan. Beberapa berat jenis dari material struktur yang sering digunakan pada bangunan industri adalah baja dengan berat jenis 7850 kg/m³ dan beton dengan berat jenis 2400 kg/m³. Umumnya berat sendiri struktur secara otomatis dapat dihitung secara otomatis oleh program bantu analisis struktur seperti ETABS.

Tabel 1.3.
Berat Jenis untuk Bahan Bangunan

No.	Material	Berat (kg/m ³)	Keterangan
1.	Baja	7850	
2.	Batu alam	2600	
3.	Batu belah, batu bulat, batu gunung	1500	Berat tumpuk
4.	Batu karang	700	Berat tumpuk

No.	Material	Berat (kg/m ³)	Keterangan
5.	Batu pecah	1450	
6.	Besi tuang	7250	
7.	Beton	2200	
8.	Beton bertulang	2400	
9.	Kayu	1000	Kelas I
10.	Kerikil, koral	1650	Kering udara sampai lembab, tanpa diayak
11.	Pasangan bata merah	1700	
12.	Pasangan batu belah, batu bulat, batu gunung	2200	
13.	Pasangan batu cetak	2200	
14.	Pasangan batu karang	1450	
15.	Pasir	1600	Kering udara sampai lembab
16.	Pasir	1800	Jenuh air
17.	Pasir kerikil, koral	1850	Kering udara sampai lembab

(Sumber: Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung, 1987)

b. Beban Mati Tambahan (*Superimposed Dead Load*)

Beban Mati Tambahan merupakan berat komponen nonstruktural (arsitektural dan MEP) yang sifatnya tetap pada struktur bangunan. Secara tipikal *Metal Building System Manual* memberikan rekomendasi beban SIDL tipikal yang dapat dijadikan acuan pada perencanaan bangunan industri sebagaimana pada tabel berikut.

Tabel 1.4.
Tipikal Beban SIDL untuk Bangunan Industri

Material	Beban SIDL, kN/m ²
Ceiling	
Suspended Acoustical Fiber Tile	0,05
Suspended Gypsum Board - 1/2"	0,10
Suspended Gypsum Board - 5/8"	0,14
Insulation	
Glass Fiber Blanket	Dapat diabaikan
Cellular Plastic, per inch of insulation	0,01
Lighting	0,005-0,05
HVAC Ducts, Office/Commercial	0,05
Sprinkler	
Dry	0,07
Wet	0,14

(Sumber: *Metal Building System Manual*, 2019)

2. Beban Hidup Atap (*Roof Live Load*)

Beban hidup (*live load*) adalah beban yang terjadi akibat penggunaan struktur atau akibat beban yang sifatnya sementara (tidak tetap). Pada atap, beban hidup dipertimbangkan untuk mengakomodir kegiatan pemeliharaan bilamana suatu terjadi kerusakan pada atap. SNI 1727-2020 pada Tabel 4-1 merekomendasikan penggunaan atap sebesar $0,96 \text{ kN/m}^2$ (96 kg/m^2). Beban atap ini diizinkan untuk direduksi dengan faktor reduksi 0,6 sehingga berdasarkan SNI 1727:2020 Pasal 4.8.2 disyaratkan bahwa beban hidup yang bekerja pada atap harus diambil minimum sebesar $0,58 \text{ kN/m}^2$ (60 kg/m^2).

Atap datar biasa, berbubung, atap lengkung, awning dan kanopi, selain dari atap konstruksi *fabric* yang ditumpu oleh suatu struktur rangka, diizinkan untuk dirancang dengan beban hidup atap yang direduksi, sebagaimana ditentukan dalam Persamaan 4.8-1 atau kombinasi beban lain yang menentukan, seperti dijelaskan dalam Pasal 2, dipilih yang menghasilkan beban terbesar. Dalam struktur seperti rumah kaca, dimana perancah khusus digunakan sebagai permukaan untuk pekerja dan material selama pemeliharaan dan pelaksanaan perbaikan, tidak boleh digunakan beban atap yang lebih rendah dari yang ditentukan dalam Persamaan 4.8-1 kecuali disetujui oleh pihak yang berwenang. Pada struktur semacam ini, beban hidup atap minimum harus diambil sebesar 12 psf ($0,58 \text{ kN/m}^2$).

Gambar 1.12. Ketentuan Beban Hidup untuk Atap Berdasarkan SNI 1727-2020
(Sumber: SNI 1727-2020)

3. Beban Hujan (*R*)

Atap perlu didesain agar dapat menahan beban genangan air hujan apabila sistem drainase primer pada atap tertutup. Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk rumah dan gedung, 1987, memberikan rekomendasi perhitungan beban air hujan berdasarkan sudut kemiringan atap dengan persamaan sebagai berikut:

$$R = 40 - 0,8 * \alpha$$

Di mana:

R = Beban hujan (kg/m^2)

α = Sudut atap (derajat)

Beban atap ini tidak perlu diambil lebih besar dari 20 kg/m^2 .

Sebagai alternatif lain, SNI 1727-2020 juga memberikan rekomendasi beban yang dapat diberikan pada atap akibat genangan air hujan dengan persamaan sebagai berikut:

$$R = 0,0098 * (d_s + d_n)$$

R = Beban hujan (kN/m^2)

d_s = Kedalaman air pada atap yang tidak melendut meningkat ke lubang masuk sistem drainase sekunder apabila sistem drainase primer tertutup (tinggi statis), dalam in. (mm)

d_n = Tambahan kedalaman air pada atap yang tidak melendut di atas lubang masuk sistem drainase sekunder pada aliran air rencana (tinggi hidrolis), dalam in. (mm).

4. Beban Angin (*Wind Load*)

Beban angin diambil berdasarkan geometri bangunan karena beban angin merupakan beban yang paling dominan bekerja pada sebuah struktur seperti bangunan industri. Menurut SNI 1727-2020 Pasal 26 yang mengadopsi ASCE 7-16, bangunan

industri seperti *warehouse* masuk dalam kategori Sistem Penahan Gaya Angin Utama (SPGAU) serta seluruh Komponen dan Klading (K&K) dalam SNI atau MWFRS and C&C dalam ASCE 7-16. Dasar perencanaan beban angin untuk Sistem Penahan Gaya Angin Utama terdapat pada SNI 1727 2020 Pasal 27.

Tekanan angin desain untuk SPGAU bangunan gedung pada semua ketinggian lb/ft² (N/m²) harus ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$p = q * G * C_p - q_i * (G * C_{pi})$$

Di mana:

- q = q_z untuk dinding di sisi angin datang yang diukur pada ketinggian z di atas permukaan tanah
- q = q_h untuk dinding di sisi angin pergi, dinding samping, dan atap yang diukur pada ketinggian h
- q_i = q_h untuk dinding di sisi angin datang, dinding samping, dinding di sisi angin pergi, dan atap bangunan gedung tertutup, dan untuk mengevaluasi tekanan internal negatif pada bangunan gedung tertutup sebagian
- q_i = q_z untuk mengevaluasi tekanan internal positif pada bangunan gedung tertutup sebagian bila tinggi z ditentukan sebagai level dari bukaan tertinggi pada bangunan gedung yang dapat mempengaruhi tekanan internal positif. Untuk bangunan gedung yang terletak di wilayah puing terbawa angin, kaca yang tidak tahan impak atau dilindungi dengan penutup tahan impak, harus diperlakukan sebagai bukaan sesuai dengan Pasal 26.12.3. Untuk menghitung tekanan internal positif, q_i secara konservatif boleh dihitung pada ketinggian h (q_i= q_h)
- G = faktor efek-hembusan angin, lihat Pasal 26.11. Untuk bangunan gedung fleksibel, G_f yang ditentukan menurut Pasal 26.11.5 harus menggantikan G
- C_p = koefisien tekanan eksternal dari Gambar 27.3-1, 27.3-2 dan 27.3-3
- GC_{pi} = koefisien tekanan internal dari Tabel 26.13-1

SNI 1727-2020 memberikan langkah - langkah dalam menentukan beban angin SPGAU untuk bangunan gedung tertutup, tertutup sebagian, dan terbuka dari semua ketinggian. Langkah-langkah dalam penentuan beban angin adalah sebagai berikut:

1. Menentukan Kategori Risiko Bangunan Gedung

Kategori risiko bangunan gedung yang direncanakan terhadap beban angin dapat ditinjau berdasarkan Tabel 1.5-1 SNI 1727-2020. Terdapat empat kategori risiko bangunan gedung, di mana semakin tinggi tingkatan, fungsi bangunan menjadi lebih penting.

Tabel 1.5.
**Kategori Risiko Bangunan Dan Struktur Lainnya Untuk Beban Banjir, Angin,
 Salju, Gempa, Dan Es**

Penggunaan atau pemanfaatan fungsi bangunan gedung dan struktur	Kategori risiko
Bangunan gedung dan struktur lain yang merupakan risiko rendah untuk kehidupan manusia dalam kejadian kegagalan	I
Semua bangunan gedung dan struktur lain kecuali mereka terdaftar dalam kategori risiko I, III, dan IV	II
Bangunan gedung dan struktur lain, kegagalan yang dapat menimbulkan risiko besar bagi kehidupan manusia.	III
Bangunan gedung dan struktur lain, tidak termasuk dalam kategori risiko IV, dengan potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi substansial dan/atau gangguan massa dari hari ke hari kehidupan sipil pada saat terjadi kegagalan.	
Bangunan gedung dan struktur lain tidak termasuk dalam risiko kategori IV (termasuk, namun tidak terbatas pada, fasilitas yang manufaktur, proses, menangani, menyimpan, menggunakan, atau membuang zat-zat seperti bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan peledak) yang mengandung zat beracun atau mudah meledak di mana kuantitas material melebihi jumlah ambang batas yang ditetapkan oleh pihak yang berwenang dan cukup untuk menimbulkan suatu ancaman kepada publik jika dirilis ^a	
Bangunan gedung dan struktur lain yang dianggap sebagai fasilitas penting.	IV
Bangunan gedung dan struktur lain, kegagalan yang dapat menimbulkan bahaya besar bagi masyarakat.	
Bangunan gedung dan struktur lain (termasuk, namun tidak terbatas pada, fasilitas yang memproduksi, memproses, menangani, menyimpan, menggunakan, atau membuang zat-zat berbahaya seperti bahan bakar, bahan kimia berbahaya, atau limbah berbahaya) yang berisi jumlah yang cukup dari zat yang sangat beracun di mana kuantitas melebihi jumlah ambang batas yang ditetapkan oleh pihak yang berwenang dan cukup menimbulkan ancaman bagi masyarakat jika dirilis ^a .	
Bangunan gedung dan struktur lain yang diperlukan untuk mempertahankan fungsi dari kategori risiko IV struktur lainnya.	

^aBangunan gedung dan struktur lain yang mengandung racun, zat yang sangat beracun, atau bahan peledak harus memenuhi syarat untuk klasifikasi terhadap kategori risiko lebih rendah jika memuaskan pihak yang berwenang dengan suatu penilaian bahaya seperti dijelaskan dalam Pasal 1.5.3 bahwa pelepasan zat sepadan dengan risiko yang terkait dengan kategori risiko.



2. Menentukan Kecepatan Angin Dasar, *V* (Pasal 26.5)

Dalam TPKB Jakarta, kecepatan angin dasar $V_s = 39,1$ m/s untuk *strength design* dan $V_s = 32$ m/s untuk *serviceability design*. Sedangkan menurut HB 212-2002 *Design wind speeds for Asia – Pacific Region report from AS/NZS* merekomendasikan menggunakan $V_s = 32$ untuk *serviceability design* dan $V_s = 40$ m/s untuk *ultimate design in Indonesian region*. Acuan kecepatan angin berdasarkan konsensus TPKB Jakarta dapat digunakan sebagai landasan desain apabila kecepatan angin pada lokasi yang ditinjau tidak diketahui secara spesifik.

3. Menentukan Parameter Beban Angin.

Parameter beban angin untuk sistem SPGAU ditentukan menurut Pasal 26, yaitu sebagai berikut:

- **Faktor arah angin, K_d (Pasal 26.6)**

Faktor arah angin ditentukan berdasarkan tabel sebagai berikut.

Tabel 1.6.
Faktor Arah Angin

Tipe struktur	Faktor arah angin K_d
Bangunan gedung	
Sistem Penahan Gaya Angin Utama (SPGAU)	0,85
Komponen dan Klading (K&K)	0,85
Atap lengkung	0,85
Kubah berbentuk bundar	1,0 ^a
Cerobong, tangki, dan struktur serupa	0,90
Persegi	0,95
Segi enam	1,0 ^a
Segi delapan	1,0 ^a
Bundar	1,0 ^a
Dinding solid yang berdiri bebas, peralatan bagian atap, dan panel petunjuk solid yang berdiri bebas serta panel petunjuk terikat	0,85
Panel petunjuk terbuka dan rangka terbuka bidang tunggal	0,85
Rangka batang menara	
Segitiga, persegi, atau persegi panjang	0,85
Semua penampang lainnya	0,95

^aFaktor arah angin $K_d = 0,95$ diizinkan untuk struktur bundar atau struktur segi delapan dengan sistem struktur non-asimetris.

- **Kategori kekasaran permukaan, (Pasal 26.7)**

Kekasaran Permukaan tanah harus ditentukan untuk tujuan menetapkan suatu kategori eksposur seperti yang didefinisikan sebagai berikut:

Kekasaran Permukaan B: Daerah perkotaan dan pinggiran kota, daerah berhutan, atau daerah lain dengan penghalang berjarak dekat yang banyak memiliki ukuran dari tempat tinggal keluarga.

Kekasaran Permukaan C: Dataran terbuka dengan penghalang tersebar yang memiliki tinggi umumnya kurang dari 30 ft (9,1 m). Kategori ini mencakup daerah terbuka datar dan padang rumput.

Kekasaran Permukaan D: Area datar, area tidak terhalang dan permukaan air. Kategori ini berisi lumpur halus, padang garam, dan es tak terputus.

- **Kategori eksposur, (Pasal 26.7)**

Untuk setiap arah angin yang diperhitungkan, eksposur lawan angin didasarkan pada kekasaran permukaan tanah yang ditentukan dari topografi alam, vegetasi, dan fasilitas dibangun.

Eksposur B: Untuk bangunan gedung dengan tinggi atap rata-rata kurang dari atau sama dengan 30 ft (9,1 m), Eksposur B berlaku bilamana kekasaran permukaan tanah, sebagaimana ditentukan oleh Kekasaran Permukaan B, berlaku diarah lawan angin untuk jarak yang lebih besar dari 1.500 ft (457 m). Untuk bangunan dengan tinggi atap rata-rata lebih besar dari 30 ft (9,1 m), Eksposur B berlaku bilamana Kekasaran Permukaan B berada dalam arah lawan angin untuk jarak lebih besar dari 2.600 ft (792 m) atau 20 kali tinggi bangunan, pilih yang terbesar.

Eksposur C: Eksposur C berlaku untuk semua kasus saat Eksposur B atau D tidak berlaku.

Eksposur D: Eksposur D berlaku bilamana kekasaran permukaan tanah, ditentukan oleh Kekasaran Permukaan D, berlaku diarah lawan angin untuk jarak yang lebih besar dari 5.000 ft (1.524 m) atau 20 kali tinggi bangunan, pilih yang terbesar. Eksposur D juga berlaku bilamana kekasaran permukaan tanah lawan

angin dari situs B atau C, dan situs yang berada dalam jarak 600 ft (183 m) atau 20 kali tinggi bangunan, mana yang terbesar, dari kondisi Eksposur D sebagaimana ditentukan dalam kalimat sebelumnya.

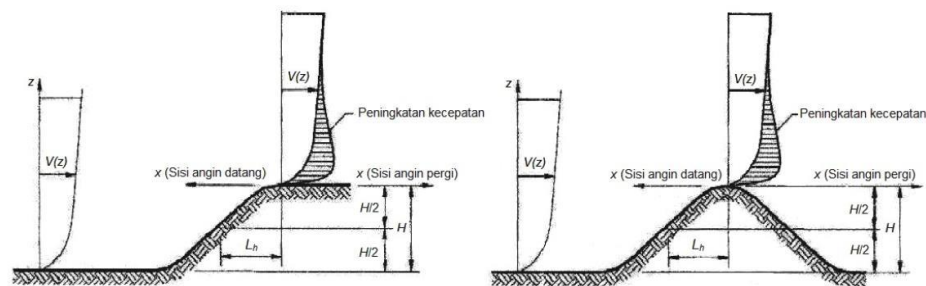
- **Faktor topografi, K_{zt} (Pasal 26.8)**

Efek peningkatan kecepatan angin pada bukit, bukit memanjang, dan tebing curam yang terisolasi akan menimbulkan perubahan mendadak dalam topografi umum, terletak dalam setiap kategori eksposur, dimasukkan dalam perhitungan beban angin.

Di mana faktor topografi:

$$K_{zt} = (1 + K_1 * K_2 * K_3)^2$$

Di mana faktor ini khusus Kategori Eksposur C dapat menggunakan Tabel 2.5, dengan parameter mengikuti sesuai kasus pada Gambar 2.3 dan Gambar 2.4. Jika kondisi situs dan lokasi gedung dann bangunan lain tidak memenuhi semua kondisi yang disyaratkan, maka $K_{zt} = 1.0$.



Gambar 1.13. Faktor Topografi
(Sumber: SNI 1727-2020)

Di mana faktor ini khusus Kategori Eksposur C dapat menggunakan Tabel 2.5, dengan parameter mengikuti sesuai kasus pada Gambar 2.3 dan Gambar 2.4. Jika kondisi situs dan lokasi gedung dann bangunan lain tidak memenuhi semua kondisi yang disyaratkan, maka $K_{zt} = 1.0$.

- **Efek Tiupan Angin**

Faktor Efek Tiupan Angin (G)

Faktor efek-tiupan angin untuk suatu bangunan gedung dan struktur lain yang kaku boleh diambil sebesar 0,85.

- **Faktor elevasi permukaan tanah, K_e (Pasal 26.9)**

Faktor elevasi dasar untuk menyesuaikan dengan densitas udara, K_e , di mana dapat ditentukan berdasarkan elevasi. Secara konservatif faktor elevasi dasar untuk seluruh elevasi dapat diambil, $K_e = 1$.

- **Koefisien tekanan internal, $G_{C_{pi}}$ (Pasal 26-13)**

Koefisien tekanan internal, $G_{C_{pi}}$ dapat ditentukan berdasarkan klasifikasi ketertutupan bangunan yang direncanakan. Koefisien tekanan internal bisa didapatkan pada Tabel 26.13-1 SNI 1727-2020 yang juga tercantum sebagai berikut:

Tabel 1.7.
Koefisien Tekanan Internal, G_{opi} untuk Berbagai Klasifikasi Ketertutupan Bangunan
Tabel 26.13-1 - Sistem penahan gaya angin utama dan komponen dan klading
(semua ketinggian): koefisien tekanan internal, ($G_{C_{pi}}$), untuk bangunan tertutup,
tertutup sebagian, terbuka sebagian, dan bangunan terbuka (dinding dan atap)

Klasifikasi ketertutupan	Kriteria untuk klasifikasi ketertutupan	Tekanan internal	Koefisien tekanan internal, ($G_{C_{pi}}$)
Bangunan tertutup	A_o kurang dari terkecil $0,01A_g$ atau $4 \text{ ft}^2 (0,37 \text{ m}^2)$ dan $A_{oi}/A_{gi} \leq 0,2$	Sedang	- 0,18 - 0,18
Bangunan tertutup sebagian	$A_o > 1,1A_{oi}$ dan $A_o >$ terkecil dari $0,01A_g$ atau $4 \text{ ft}^2 (0,37 \text{ m}^2)$ dan $A_{oi}/A_{gi} \leq 0,2$	Tinggi	- 0,55 - 0,55
Bangunan terbuka sebagian	Bangunan yang tidak sesuai dengan Klasifikasi tertutup, tertutup sebagian, atau klasifikasi terbuka	Sedang	- 0,18 - 0,18
Bangunan terbuka	Setiap dinding minimal terbuka 80 %	Diabaikan	0,00

CATATAN

1. Tanda plus dan minus menandakan tekanan yang bekerja ke arah dan menjauh dari permukaan dalam, masing-masing.

4. Menentukan Koefisien Eksposur Tekanan Velositas, K_z dan K_h (Pasal 26.10)

Berdasarkan kategori eksposur yang ditentukan dalam tabel berikut, koefisien eksposur tekanan velositas K_z atau K_h , sebagaimana yang berlaku. Untuk situs yang terletak pada zona transisi antara kategori eksposur yang dekat terhadap perubahan oleh akibat kekasaran permukaan tanah, diizinkan untuk menggunakan nilai konversi dari K_z atau K_h .

Tabel 1.8.
Koefisien Eksposur Tekanan Velositas, K_h dan K_z

Ketinggian di atas permukaan tanah		Eksposur		
ft	m	B	C	D
0 – 15	0 – 4,6	0,57 (0,70) ^a	0,85	1,03
20	6,1	0,62 (0,70) ^a	0,90	1,08
25	7,6	0,66 (0,70) ^a	0,94	1,12
30	9,1	0,70	0,98	1,16
40	12,2	0,76	1,04	1,12
50	15,2	0,81	1,09	1,27
60	18,0	0,85	1,13	1,31
70	21,3	0,89	1,17	1,34
80	24,4	0,93	1,21	1,38
90	27,4	0,96	1,24	1,40
100	30,5	0,99	1,26	1,43
120	36,6	1,04	1,31	1,48
140	42,7	1,09	1,36	1,52
160	48,8	1,13	1,39	1,55
180	54,9	1,17	1,43	1,58
200	61,0	1,20	1,46	1,61
250	76,2	1,28	1,53	1,68
300	91,4	1,35	1,59	1,73
350	106,7	1,41	1,64	1,78
400	121,9	1,47	1,69	1,82
450	137,2	1,52	1,73	1,86
500	152,4	1,56	1,77	1,89

^aGunakan 0,70 pada Pasal 28, Eksposur B, apabila $z < 30 \text{ ft} (9,1 \text{ m})$.

Koefisien eksposur tekanan velositas K_z dapat ditentukan dari formula berikut:

$$\text{Untuk } 15 \text{ ft} \leq z \leq z_g = K_z = 2,01 * \left(\frac{z}{z_g}\right)^{\frac{2}{\alpha}}$$

$$\text{Untuk } z < 15 \text{ ft} = K_z = 2,01 * \left(\frac{15}{z_g}\right)^{\frac{2}{\alpha}}$$

Di mana, untuk nilai z_g dan α dapat diambil dari tabel berikut ini.

Tabel 1.9.
Koefisien Eksposur Daratan

Eksposur	α	Z_g (m)	\hat{a}	\hat{b}	a	b	c	l (m)	ϵ	Z_{min} (m)*
B	7	365.76	1/7	0.84	1/4.0	0.45	0.3	97.54	1/3.0	9.14
C	9.5	274.32	1/9.5	1	1/6.5	0.65	0.2	152.4	1/5.0	4.57
D	11.5	213.36	1/11.5	1.07	1/9.0	0.8	0.15	198.12	1/8.0	2.13

5. Menentukan Tekanan Velositas q_z dan q_h

Tekanan velositas, q_z , dievaluasi pada ketinggian z dihitung dengan persamaan berikut:

$$q_z = 0,613 * K_z * K_{zt} * K_d * K_e * V^2$$

Di mana:

q_z = Tekanan kecepatan pada ketinggian z (N/m^2)

K_z = Koefisien papan tekanan kecepatan = variatif

K_{zt} = Faktor topografi

K_d = Faktor arah angin

K_e = Faktor elevasi dasar tanah

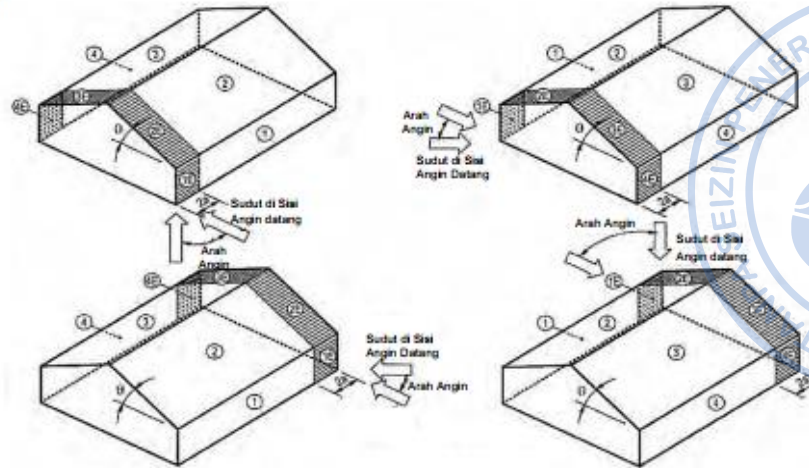
V_C = Kecepatan angin rencana

G = faktor efek-tiupan angin

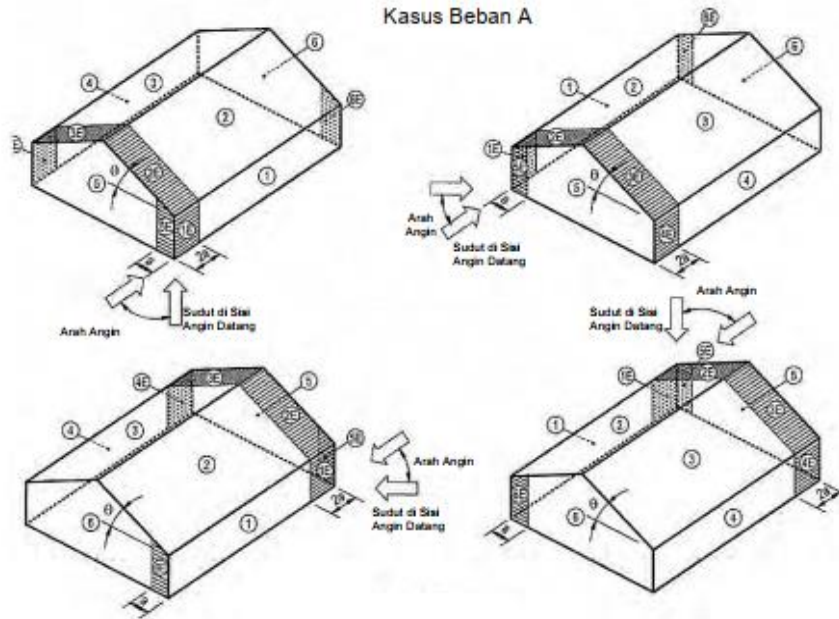
6. Menentukan Koefisien Tekanan Eksternal C_p atau C_n

Koefisien tekanan eksternal untuk atap pelana, atap perisai, atap miring sepihak, dan atap mansard yang biasa digunakan pada bangunan industri bisa didapatkan pada Gambar 27.3-1 SNI 1727-2020 sebagai berikut.

**Kasus beban dasar
Diagram**



Kasus Beban A



Notasi

- a : 10 persen dari dimensi horizontal terkecil atau $0,4h$, dipilih yang terkecil, tetapi tidak kurang dari 4 % dari dimensi horizontal terkecil atau 3 ft (0,9 m). Kasus Beban B
- PENGECUALIAN** Untuk bangunan sampai 7^o dan dimensi horizontal terkecil lebih besar dari 300 ft (90 m), dimensi a harus dibatasi sampai maksimum $0,8h$.
- h : Tinggi atap rata-rata, dalam feet (meter) kecuali untuk $\theta \leq 10^\circ$ digunakan tinggi bagian terbawah atap.
- θ : Sudut bidang atap terhadap horizontal, dalam satuan derajat.

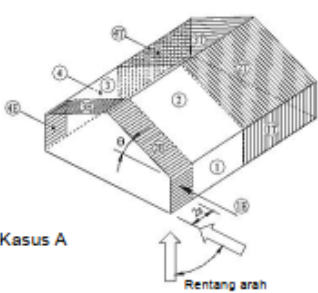
KASUS BEBAN A								
Sudut atap θ (derajat)	Permukaan Bangunan Gedung							
	1	2	3	4	1E	2E	3E	4E
0-5	0,40	-0,69	-0,37	-0,29	0,61	-1,07	-0,53	-0,43
20	0,53	-0,69	-0,48	-0,43	0,80	-1,07	-0,69	-0,64
30-45	0,56	0,21	-0,43	-0,37	0,69	0,27	-0,53	-0,48
90	0,56	0,56	-0,37	-0,37	0,69	0,69	-0,48	-0,48

KASUS BEBAN B												
Sudut Atap θ (derajat)	Permukaan Bangunan Gedung											
	1	2	3	4	5	6	1E	2E	3E	4E	5E	6E
0-90	-0,45	-0,69	-0,37	-0,45	0,40	-0,29	-0,48	-1,07	-0,53	-0,48	0,61	-0,43

Catatan:

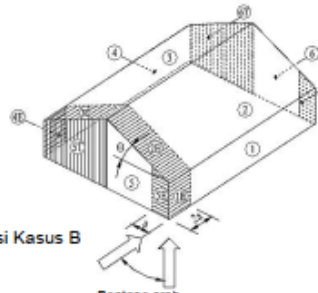
- Tanda positif dan negatif menandakan tekanan yang bekerja menuju dan menjauhi permukaan.
- Untuk nilai-nilai θ selain yang diperlihatkan, diperkenankan menggunakan interpolasi linier.
- Bangunan gedung harus didesain untuk semua arah angin dengan menggunakan 8 pola pembebanan yang diperlihatkan. Pola pembebanan tersebut diterapkan pada setiap sudut bangunan gedung sebagai Sudut Acuan.
- Kombinasi tekanan eksternal dan internal (lihat Tabel 26.11-1) harus dievaluasi ketika diperlukan untuk memperoleh beban yang memberi dampak paling parah.
- Untuk kasus beban torsional yang diperlihatkan di bawah ini, tekanan pada zona-zona ditandai dengan "T" (1T, 2T, 3T, 4T, 5T, 6T) harus 25 % dari tekanan penuh angin desain (zona 1, 2, 3, 4, 5, 6).
PENGECUALIAN: Bangunan gedung satu tingkat dengan h kurang dari atau sama dengan 30 ft (9,1 m), bangunan gedung dua tingkat atau kurang terdiri dari konstruksi rangka ringan, dan bangunan gedung dua tingkat atau kurang didesain dengan diafragma fleksibel tidak perlu didesain untuk kasus beban torsi. Beban torsi harus diterapkan untuk semua delapan pola beban dasar dengan menggunakan gambar di bawah ini yang diterapkan pada setiap Sudut Acuan (Sudut Di Sisi Angin Datang).
- Untuk tujuan desain bangunan gedung SPGAU, gaya geser horizontal total tidak boleh kurang dari yang ditentukan dengan mengabaikan beban angin pada atap.
PENGECUALIAN: Ketentuan ini tidak berlaku untuk bangunan gedung yang menggunakan rangka momen untuk SPGAU.
- Untuk atap datar, gunakan $\theta = 0^\circ$ dan lokasi elemen pembatas zona 2/3 dan zona 2E/3E pada tengah-lebar dari bangunan gedung.
- Koefisien tekanan atap ($GC_{p,r}$), bila negatif pada Zona 2 dan 2E, harus diterapkan pada Zona 2/2E untuk jarak dari tepi atap sama dengan 0,5 kali dimensi horizontal bangunan gedung paralel terhadap arah SPGAU yang sedang didesain atau 2,5 kali tinggi bagian terbawah atap pada dinding di sisi angin datang, pilih yang terkecil; sisanya dari Zona 2/2E sampai ke garis bubungan harus menggunakan koefisien ($GC_{p,r}$) untuk Zona 3/3E.

Kasus beban torsional



Torsi Kasus A

Arah Transversal



Torsi Kasus B

Arah Longitudinal

Gambar 1.14. Sistem Penahan Gaya Angin Utama, Bagian 1 (Seluruh Ketinggian) Koefisien Tekanan Eksternal, C_p , Untuk Bangunan Tertutup Dan Bangunan Tertutup Sebagian Dinding Dan Atap
(Sumber: SNI 1727-2020)

7. Menentukan Tekanan Angin untuk Bangunan Gedung

Tekanan angin desain untuk semua ketinggian ditentukan persamaan berikut:

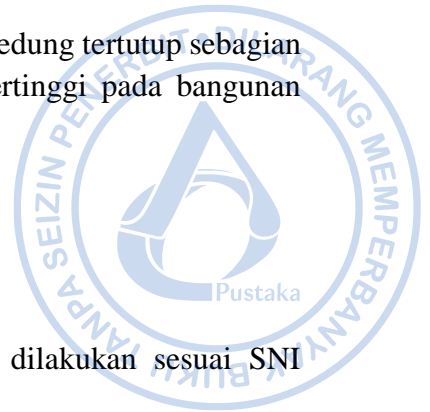
$$p = q_h * [(GC_{p,f}) - (+/-GC_{p,i})] \text{ (kPa)}$$

Di mana:

q = q_z , untuk dinding di sisi angin datang yang diukur pada ketinggian z di atas permukaan tanah

q = q_h , untuk dinding di sisi angin pergi, sisi, dan atap, yang diukur pada ketinggian h di atas permukaan tanah

- $q_i = q_z$, untuk tekanan internal bangunan gedung tertutup dan tekanan internal negatif bangunan tertutup sebagian
- $q_i = q_h$, untuk tekanan internal positif pada bangunan gedung tertutup sebagian bila tinggi z ditentukan sebagai level bukaan tertinggi pada bangunan gedung
- $G =$ Faktor efek tiupan angin
- $C_p =$ Koefisien tekanan eksternal.

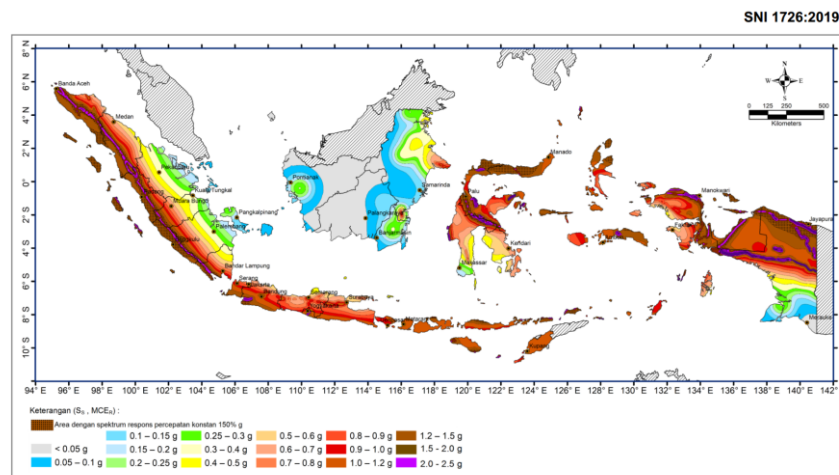


5. Beban Gempa (*Seismic Load*)

Langkah-langkah dalam penentuan beban gempa harus dilakukan sesuai SNI 1726:2019 yaitu sebagai berikut:

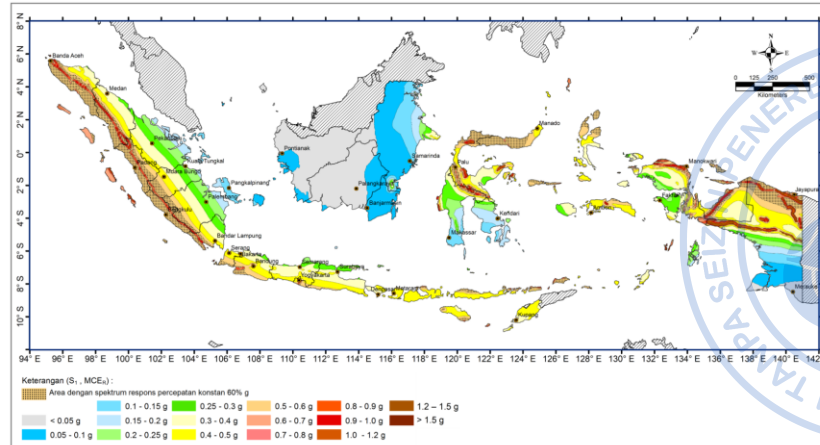
a. Peta Zonasi Gempa Indonesia

Wilayah Indonesia dipetakan berdasarkan tingkat risiko gempanya, yang ditentukan atas dasar besarnya percepatan puncak batuan dasar (*Peak Ground Acceleration, PGA*). Berdasarkan SNI 1726:2019, pengaruh beban gempa rencana yang harus ditinjau dalam perencanaan ditetapkan sebagai gempa dengan kemungkinan terlampaui besarnya selama umur struktur bangunan 50 tahun adalah sebesar 2%. Beban gempa ditentukan berdasarkan peta gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (*Maximum Considered Earthquake, MCER*) dengan parameter-parameter gerak tanah S_s dan S_1 . S_s adalah parameter nilai percepatan respons spektral gempa *MCER* pada periode pendek, teredam 5%, dan S_1 adalah parameter nilai percepatan respons spektral gempa *MCER* pada periode 1 detik, teredam 5%, seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 1.15. Parameter Gerak Tanah S_s , Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko-Tertarget (MCER) Wilayah Indonesia Untuk Spektrum Respons 0,2-Detik (Redaman Kritis 5 %) (*Sumber: SNI 1726-2019*)

SNI 1726:2019



Gambar 1.16. Parameter Gerak Tanah, S1, Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko-Tertarget (MCER) Wilayah Indonesia Untuk Spektrum Respons 1-Detik (Redaman Kritis 5 %) (Sumber: SNI 1726-2019)

b. Kategori Risiko dan Faktor Keutamaan Gempa, I_e

Dalam SNI 1726-2019, struktur bangunan dibedakan berdasarkan tingkat risiko yang ditentukan berdasarkan fungsi dari bangunan tersebut. Kategori risiko bangunan dibagi dalam 4 tingkatan risiko yang menentukan besarnya faktor keutamaan gempa (I_e) yang akan digunakan. Penentuan kategori risiko dan faktor keutamaan gempa (I_e) dapat dilihat pada tabel sebagai berikut:

Tabel 1.10.
Kategori Risiko bangunan gedung dan nongedung

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
<p>Gedung dan nongedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya 	I
<p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/ rumah susun - Pusat perbelanjaan/ mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik 	II
<p>Gedung dan nongedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo 	III
<p>Gedung dan nongedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi 	
<p>Gedung dan nongedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.</p>	

Tabel 1.11.
Faktor Keutamaan Gempa, I_e

Kategori risiko	Faktor keutamaan gempa, I_e
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

c. Kelas Situs dan Koefisien Situs, F_a dan F_v

Klasifikasi kelas situs ditentukan berdasarkan beberapa parameter tanah pada kedalaman 30 m dari tanah asli, seperti hasil pengujian kecepatan rambat gelombang geser rata-rata pada regangan geser yang kecil (\bar{v}_s), hasil pengujian penetrasi standar rata-rata (\bar{N}) atau hasil pengujian penetrasi standar rata-rata tanah nonkohesif (\bar{N}_{ch}) dari data N-SPT, dan data kuat geser niralir rata-rata (\bar{s}_u) dari uji triaksial. Berdasarkan Pasal 5.3.3 SNI 1726-2019 untuk penetapan kelas situs tanah keras (SC), tanah sedang (SD), dan tanah lunak (SE) harus ditentukan berdasarkan dua dari tiga parameter tersebut. Sehingga, apabila hanya digunakan satu parameter dan kelas situs termasuk dalam kriteria yang dimaksud pada pasal tersebut. Maka, kelas situs yang diperhitungkan adalah kelas situs terendah pada pasal tersebut, yaitu kelas situs tanah lunak (SE). Ketentuan mengenai kelas situs diatur pada Tabel 5 SNI 1726-2019 tentang Klasifikasi Situs.

Tabel 1.12.
Klasifikasi Situs

Kelas situs	\bar{v}_s (m/detik)	\bar{N} atau \bar{N}_{ch}	\bar{s}_u (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	< 175	<15	< 50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut : 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar air, $w \geq 40\%$, 3. Kuat geser niralir $\bar{s}_u < 25$ kPa		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 6.10.1)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m) - Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan indeks plastisitas $PI > 75$) Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $\bar{s}_u < 50$ kPa		

CATATAN: N/A = tidak dapat dipakai

Tabel 1.13.
Koefisien Situs, F_a

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode pendek, $T = 0,2$ detik, S_s					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s = 1,25$	$S_s \geq 1,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
SC	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
SE	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8
SF	SS ^(a)					

CATATAN:

(a) SS= Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik, lihat 6.10.1

Tabel 1.14.
Koefisien Situs, F_v

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode 1 detik, S_I					
	$S_I \leq 0,1$	$S_I = 0,2$	$S_I = 0,3$	$S_I = 0,4$	$S_I = 0,5$	$S_I \geq 0,6$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
SD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
SF	SS ^(a)					

CATATAN:

(a) SS= Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik, lihat 6.10.1

d. Kategori Desain Seismik (KDS)

Penentuan Kategori Desain Seismik dilakukan berdasarkan Kategori Risiko serta parameter respons spektral desain, S_{DS} dan S_{D1} seperti ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 1.15.

Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Periode Pendek

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

Tabel 1.16.

Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Periode 1 Detik

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

6. Beban Crane (Crane Load)

a. Beban Roda (*Wheel Load*)

Pada perencanaan struktur penunjang *crane*, beban roda menjadi hal yang perlu dipertimbangkan secara teliti. Berdasarkan SNI 1727-2020 dijelaskan bahwa, beban roda maksimum perlu diambil dari berat girder *crane* atau *bridge*, berat *trolley* dan *hoist crane* serta berat angkut *crane*. Beban roda perlu dipertimbangkan berdasarkan reaksi maksimum yang dapat dihasilkan dari sekian kondisi pengangkatan yang dimungkinkan. Umumnya reaksi maksimum dari *crane* akan diberikan oleh vendor. Namun pada kondisi di mana reaksi maksimum dari *crane* masih belum didapatkan, beban roda dapat diestimasi dengan persamaan sebagai berikut.

$$W_L = \frac{R_C + H_T + 0,5 * C_W}{NW_b}$$

Di mana:

W_L = Beban roda maksimum

R_C = Kapasitas angkut *crane*

H_T = Berat *hoist* + *trolley*

C_W = Berat sendiri *crane* (tidak termasuk *hoist* + *trolley*)

NW_b = Jumlah roda pada salah satu sisi *crane*.

b. Beban Impak Vertikal

Selama masa operasional *crane*, beban pada struktur akan terus mengalami variasi perbedaan karena beban *crane* merupakan beban dinamis. Efek beban *crane* pada struktur pendukung merupakan fungsi dari laju percepatan dan perlambatan dari *crane*, massa dan beban *crane* yang diangkat, tingkat redaman struktur dan lain sebagainya. Atas dasar ketidakpastian beban tersebut, maka beban roda maksimum yang digunakan pada desain *runway beam*, termasuk monorel, sambungan dan braket (*corbel*) penyangganya harus ditingkatkan persentasenya, umumnya sebesar 25%. SNI 1727-2020 yang mengadopsi ASCE 7-16 memberikan panduan mengenai besaran faktor impak yang perlu diberikan pada beban roda maksimum sebagaimana didetailkan pada tabel berikut.

Tabel 1.17.
Beban Impak Vertikal pada *Crane*

Tipe Crane	Faktor Impak
Derek tunggal (dengan tenaga)	25%
Kabin dengan operator atau derek jembatan dioperasikan secara remote (dengan tenaga)	25%
Derek jembatan dioperasikan dengan gantungan (dengan tenaga)	10%
Derek jembatan atau derek rel tunggal dengan jembatan gigi berkendali tangan, troli, dan alat pengangkat	0%

(Sumber: SNI 1727-2020)

c. Gaya Lateral

Beban lateral yang terjadi pada *runway crane* umumnya disebabkan oleh beberapa faktor sebagai berikut:

1. Ketidaksejajaran *runway*
2. Pemasangan *crane* yang miring
3. Percepatan *trolley*
4. Gaya rem *trolley*
5. Penggerak *crane*

Beban lateral akibat dorongan ke samping umumnya dihitung sebesar 20% dari total kapasitas angkut *crane* + berat dari *trolley* dan *hoist*. Semua beban tersebut dapat diambil dari spesifikasi teknis yang dikeluarkan oleh vendor *crane*. Faktor beban yang direkomendasikan oleh *Design Guide 7: Design for Industrial Building* AISC untuk analisis LRFD adalah 1,6.

$$H_{crane} = 20\% * P_{lifted} + P_{trolley\ and\ hoist}$$

Di mana:

- P_{lifted} = Kapasitas angkat *crane*
 $P_{trolley+hoist}$ = Berat *trolley* dan *hoist*

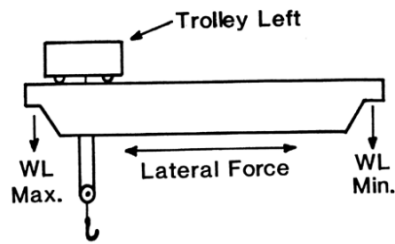
d. Gaya Longitudinal

Gaya longitudinal pada struktur penunjang *crane* dihitung sebesar 10% dari beban roda maksimum *crane*. Menurut SNI 1727-2020, gaya longitudinal *crane* perlu diasumsikan bekerja pada permukaan traksi balok landasan pacu dalam arah sejajar balok. Baik SNI 1727-2020 maupun ASCE 7-16 tidak merekomendasikan faktor beban untuk gaya longitudinal. *Design Guide 7: Design for Industrial Building* merekomendasikan faktor beban 1,6.

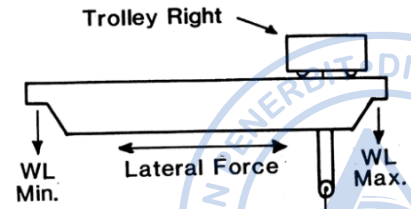
e. Kondisi Pembebanan Crane

Berbagai macam kondisi pembebanan yang dapat mengakibatkan reaksi roda paling maksimum perlu dipertimbangkan. Menurut *Metal Building System Manual*, terdapat 4 kondisi yang perlu dipertimbangkan untuk mendapatkan reaksi roda paling maksimum.

- 1) Beban roda maksimum pada ujung kiri *crane* dan beban roda minimum pada ujung kanan *crane*, beban roda maksimum bekerja bersamaan dengan gaya lateral yang bekerja ke kiri
- 2) Beban roda maksimum pada ujung kiri *crane* dan beban roda minimum pada ujung kanan *crane*, beban roda maksimum bekerja bersamaan dengan gaya lateral yang bekerja ke kanan
- 3) Beban roda maksimum pada ujung kanan *crane* dan beban roda minimum pada ujung kiri *crane*, beban roda maksimum bekerja bersamaan dengan gaya lateral yang bekerja ke kiri
- 4) Beban roda maksimum pada ujung kanan *crane* dan beban roda minimum pada ujung kiri *crane*, beban roda maksimum bekerja bersamaan dengan gaya lateral yang bekerja ke kanan.



- (1) Lateral force left
- (2) Lateral force right



- (3) Lateral force left
- (4) Lateral force right

Gambar 1.17. Kondisi Pembebanan Crane
(Sumber: *Metal Building System Manual*, 2019)

F. KOMBINASI PEMBEBANAN

Kombinasi pembebanan digunakan untuk menentukan gaya dalam yang bekerja pada seluruh elemen struktur, seperti pelat lantai, balok, kolom, dan tangga dengan menggunakan metode LRFD (*Load and Resistance Factor Design*). Berbagai kondisi yang mungkin terjadi pada struktur yaitu kombinasi dari beban mati (*dead load*), beban hidup (*live load*), beban angin (*wind load*), dan beban gempa (*earthquake load*). Kombinasi pembebanan yang digunakan didasarkan pada SNI 1726-2019. Kombinasi pembebanan tersebut adalah sebagai berikut:

1. $1.4D$
2. $1.2D + 1.6L + 0.5(L_r \text{ atau } R)$
3. $1.2D + 1.6(L_r \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0.5W)$
4. $1.2D + 1.0W + L + 0.5(L_r \text{ atau } R)$
5. $0.9D + 1.0W$
6. $1.2D + 1.0E_v + 1.0E_h + L$
7. $0.9D + 1.0E_v + 1.0E_h$

Keterangan:

D	=	Beban mati + Beban mati tambahan
L	=	Beban hidup lantai
L_r	=	Beban hidup atap
ρ	=	Faktor Redundansi

Pengaruh beban seismik horizontal, E_h , harus ditentukan sesuai $E_h = \rho Q_e$

Pengaruh beban seismik horizontal, E_v , harus ditentukan sesuai $E_v = 0,2S_{DS}D$

G. BATAS LENDUTAN

1. Atap (*Roofing*)

Fokus pengecekan lendutan pada atap ada 3 bagian yaitu:

1. Tengah bentang atap
2. Ujung atap
3. Daerah yang berpotensi mengalami rembesan

Terdapat dua jenis atap yang umum digunakan, yaitu atap membran dan atap metal. Lendutan yang diizinkan di atap berdasarkan beban yang bekerja dapat dilihat pada Tabel di bawah ini.

Tabel 1.18.
Batasan Lendutan Izin pada Atap

Struktur atap:	Hidup	Angin	Mati + Hidup
Elemen Struktur Atap			
Menopang <i>ceiling</i> dengan <i>plaster</i>	L/360	L/360	L/240
Menopang <i>ceiling</i> dengan tanpa <i>plaster</i>	L/240	L/240	L/180
Tidak menopang <i>ceiling</i>	L/180	L/180	L/120
Struktur atap menopang metal <i>roofing</i>	L/150		L/60
Struktur penopang lantai	L/360		L/240
Struktur penopang dinding dan partisi interior			
Dengan <i>finishing</i> yang rapuh		L/240	
Dengan <i>finishing</i> yang fleksibel		L/120	
Struktur penopang dinding sekunder yang menopang penutup logam		L/90	

(Sumber: *Design Guide 3: Serviceability Design Consideration for Steel Building*, 2003)

a. Lendutan Vertikal

Defleksi vertikal yang berlebih dan penyimpangan (*misalignment*) yang muncul terutama dari tiga sumber: (1) beban gravitasi (DL+LL), (2) efek temperatur, rangkai, dan perbedaan penurunan, dan (3) toleransi dan kesalahan konstruksi. Secara historis, batas defleksi izin untuk komponen horizontal adalah 1/360 dari bentang yang memikul beban hidup nominal penuh dan 1/240 dari bentang untuk komponen atap. Defleksi sebesar 1/300 dari bentang (untuk kantilever, 1/150 dari panjang) dapat terlihat dan menyebabkan kerusakan arsitektur secara umum atau kebocoran pada klading.

b. Lendutan Lateral (*Drift*)

Mengutip dari SNI 1727 2020 adopsi dari ASCE 7-10, *drift* (defleksi lateral) yang menjadi perhatian dalam pemeriksaan kemampuan layan akibat beban angin.

Batasan yang diizinkan yaitu pada rentang $L/600$ hingga $L/400$. *Wast and Fisher* (2003) memberikan rekomendasi untuk batas *drift* yang lebih tinggi dan telah berhasil digunakan pada bangunan gedung bertingkat rendah dengan alat kran (*crane*).

c. Lendutan Vertikal dan Horizontal Izin Akibat Beban Crane

CMAA mengklasifikasikan *crane* menjadi beberapa kelas dengan kriteria lendutan vertikal yang berbeda-beda tergantung kelasnya. Lendutan vertikal dan horizontal izin untuk masing-masing kelas *crane* terangkum pada tabel di bawah ini.

Tabel 1.19.

Lendutan Vertikal dan Horizontal Izin untuk *Runway Beam*

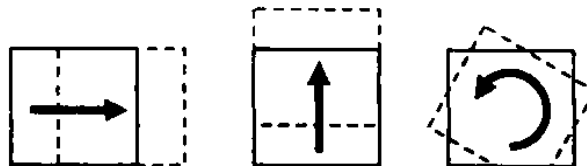
CMAA Crane Classification	Lendutan Vertikal Izin	Lendutan Horizontal Izin
A	$L/600$	$L/400$
B	$L/600$	
C	$L/600$	
D	$L/800$	
E	$L/1000$	
F	$L/1000$	

(Sumber: *Design Guide 7: Industrial Building Design*, 2019)

H. PENGECEKAN TERHADAP ASPEK KEGEMPAAN

1. Bentuk dan Jumlah Ragam

Ragam getar harus berbetuk tranlasional untuk dua arah ortogonal dan rotasi terhadap sumbu vertikal. Ragam getar ini dapat dianalisis dengan menggunakan software metode elemen hingga. Partisipasi massa ragam juga harus dicek persentasenya terhadap SNI 1726-2019. Pada peraturan tersebut, tepatnya pada Pasal 7.9.1.1 ditentukan bahwa partisipasi massa ragam harus 100% dari massa struktur. Namun, terdapat pengecualian bahwa analisis diizinkan untuk mencapai paling sedikit 90% dari massa aktual dalam arah horizontal ortogonal dari model.



Gambar 1.18. Derajat Kebebasan pada Tiap Lantai

(Sumber: *Imam Satyarno. dkk*, 2012)

Jumlah ragam dapat diasumsikan secara konservatif sebesar tiga kali jumlah lantai. Hal ini didasari ketentuan bahwa setiap lantai memiliki tiga derajat kebebasan yaitu translasi arah-x, translasi arah-y, dan rotasi. Jumlah ragam tersebut tentunya harus kembali dicek terhadap syarat partisipasi massa ragam.

2. Simpangan Antar Tingkat

Gaya gempa lateral akan menyebabkan simpangan struktur pada arah lateral di masing-masing lantai. SNI 1726-2019 memberikan pembatasan simpangan lateral antar tingkat untuk menjamin stabilitas struktur, dan mencegah kerusakan elemen non struktural. Simpangan antar tingkat ditentukan berdasarkan perbedaan simpangan pada pusat massa di tingkat yang ditinjau dengan tingkat di bawahnya. Adapun persamaan simpangan pada pusat massa yang digunakan adalah sebagai berikut:

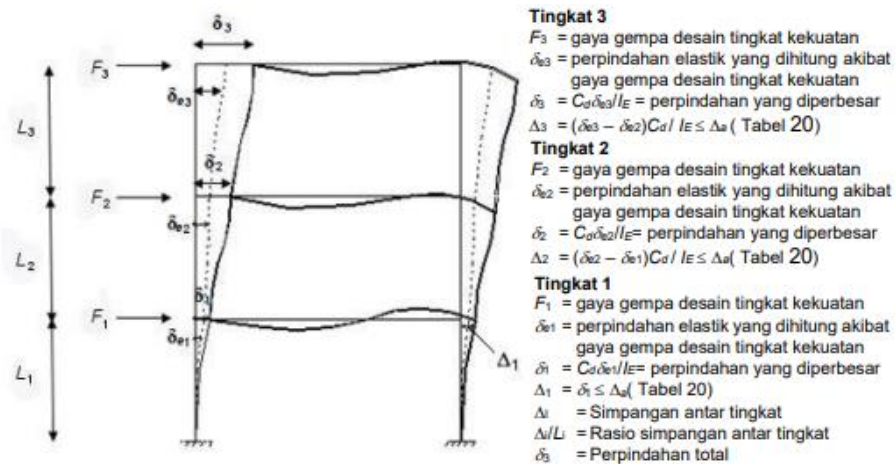
$$\delta_x = \frac{C_d \times \delta_{xe}}{I_e}$$

Dengan:

C_d = Faktor pembesaran defleksi

δ_{xe} = Simpangan di lantai yang ditinjau yang diakibatkan oleh gaya gempa lateral (biasanya ditentukan dengan menggunakan program)

I_e = Faktor keutamaan gempa



Gambar 1.19. Penentuan Simpangan Antar Tingkat
 (Sumber: SNI 1726-2019)

Simpangan antar tingkat yang dihitung tidak boleh melebihi batas simpangan antar tingkat izin (Δ_d) yang ditentukan oleh SNI 1726-2019 pada tabel di bawah.

Tabel 1.20.
 Simpangan Antar Tingkat Izin

Struktur	Kategori Resiko		
	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.	$0,025h_{sx}^c$	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$

Struktur	Kategori Resiko		
	I atau II	III	IV
Struktur dinding geser kantilever batu bata ^d .	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}

Catatan:

- h_{sx} adalah tinggi tingkat di bawah tingkat-x
- Untuk sistem pemikul gaya seismik yang terdiri dari hanya rangka momen b dalam kategori desain seismik D, E, dan F, simpangan antar tingkat izin b harus sesuai dengan Pasal 7.12.1.1 SNI 1726-2019
- Tidak boleh ada batasan simpangan antar tingkat untuk struktur satu tingkat dengan dinding interior, partisi, langit-langit, dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar tingkat. Persyaratan pemisahan struktur dalam 7.12.3 tidak diabaikan.
- Struktur di mana sistem struktur dasar terdiri dari dinding geser batu bata yang didesain sebagai elemen vertikal kantilever dari dasar atau pendukung fondasinya yang dikonstruksikan sedemikian agar penyaluran momen di antara dinding geser (kopel) dapat diabaikan.

Terdapat ketentuan lain pada Pasal 7.12.1.1 yang menjelaskan bahwa untuk sistem pemikul gaya seismik yang terdiri dari hanya rangka momen pada struktur yang didesain untuk kategori desain seismik D, E, atau F, simpangan antar tingkat desain (Δ) tidak boleh melebihi Δ/ρ untuk semua tingkat, nilai ρ harus ditentukan berdasarkan Pasal 7.3.4.2 SNI 1726-2019.

3. Pengecekan P-Delta

P-Delta merupakan pengaruh yang ditimbulkan oleh pergerakan lateral kolom akibat pengaruh beban aksial dan horizontal. Pergerakan lateral ini akan menimbulkan momen sekunder pada daerah sekitar balok dan kolom, serta penambahan simpangan lantai. P-Delta berpengaruh pada geser dan momen yang dihasilkan pada masing-masing tingkat, momen elemen struktur, dan simpangan antar tingkat. P-Delta bisa diabaikan dengan syarat koefisien stabilitas (θ) kurang dari atau sama dengan 0,1.

$$\theta = (P_x \times \Delta \times I_e) / (V_x \times h_{sx} \times C_d)$$

Dengan:

- θ = Koefisien stabilitas
- P_x = Beban desain vertikal total pada dan di atas tingkat x, bila menghitung P_x faktor beban individu < 1,0
- Δ = Simpangan antar lantai tingkat desain, terjadi secara serentak dengan V_x
- I_e = Faktor keutamaan gempa

- V_x = Gaya geser seismik yang bekerja antara tingkat x dan x-1
 h_{sx} = Tinggi tingkat di bawah tingkat x
 C_d = Faktor pembesaran defleksi

Koefisien stabilitas juga harus dicek terhadap nilai maksimal yang ditentukan berdasarkan persamaan sebagai berikut:

Dengan:

- θ = Koefisien stabilitas
 θ_{max} = Koefisien stabilitas maksimal
 P_x = Beban desain vertikal total pada dan di atas tingkat x, bila menghitung P_x faktor beban individu < 1,0
 β = Rasio kebutuhan geser terhadap kapasitas geser untuk tingkat x dan x-1. Rasio ini diizinkan secara konservatif diambil sebesar 1,0
 C_d = Faktor pembesaran defleksi

Untuk koefisien stabilitas $0,1 < \theta < \theta_{max}$, faktor peningkatan akibat P-Delta ditentukan berdasarkan analisis rasional. Faktor pengali perpindahan dan gaya komponen struktur ditentukan dengan $1/(1 - \theta)$. Untuk struktur dengan $\theta > \theta_{max}$, perlu didesain ulang karena struktur tidak cukup stabil.





PEMODELAN STRUKTUR

A. PERANGKAT LUNAK ETABS

Dalam proses perencanaan struktur ETABS jamak digunakan oleh para insinyur karena kemudahan pemakaian dan keandalannya. Program ETABS ini pertama kali dikembangkan oleh perusahaan perangkat lunak terkemuka, Computers and Structures, di California, Amerika Serikat. Perkembangan program ini lahir dari riset yang diinisiasi oleh Dr. Edward L. Wilson pada tahun 1970 di University of California, Berkeley.



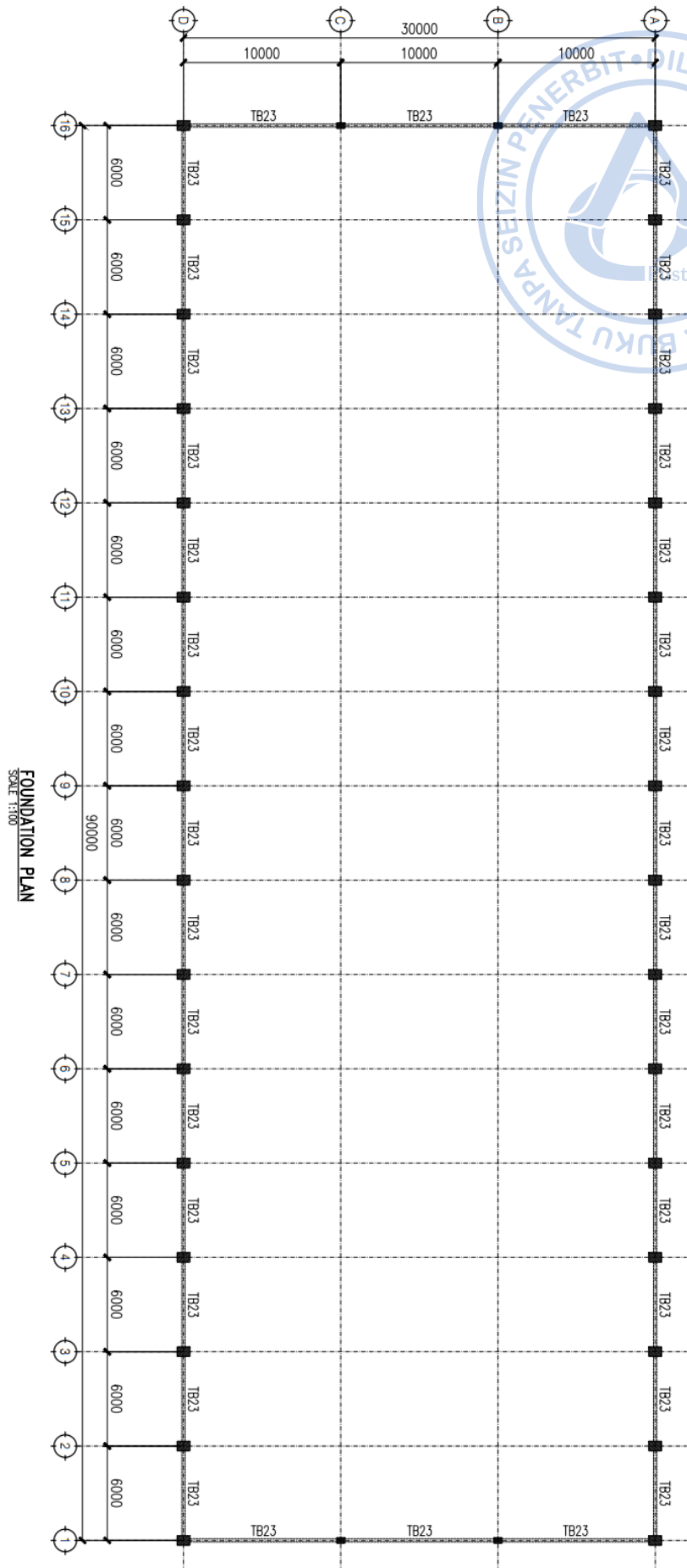
Gambar 2.1. Software ETABS

Elemen-elemen struktur pada suatu bangunan diidealisasikan oleh ETABS sebagai elemen garis (*frame*), elemen luasan (*area*), dan elemen titik (*joint*). Elemen-elemen tersebut merepresentasikan elemen aslinya seperti balok, kolom, dinding lantai, pengaku dan lain sebagainya. Elemen-elemen ini kemudian dirangkai menjadi satu-kesatuan dan dianalisis melalui metode elemen hingga yang digunakan program untuk menganalisis matriks kekakuan struktur.

B. DATA UMUM BANGUNAN

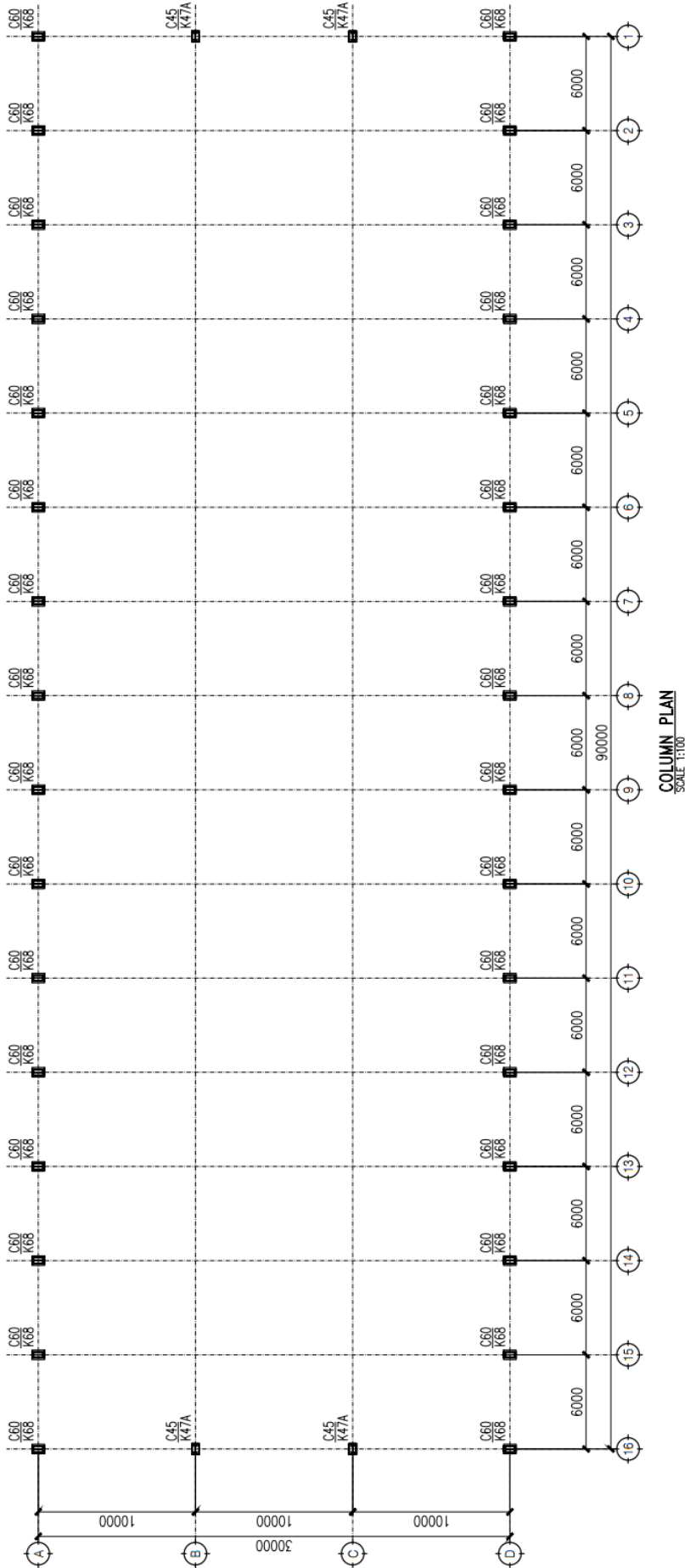
Struktur bangunan yang didesain memiliki data-data penunjang sebagai berikut:

Lebar bangunan, B	=	30	m
Panjang bangunan, L	=	90	m
Jarak antar portal	=	6	m
Tinggi kolom	=	9	m
Tipe struktur	=	<i>Gable frame</i>	
Jarak antar kolom <i>post</i>	=	10	m
Sudut atap	=	10	derajat
Fungsi bangunan	=	Pabrik	
Kapasitas <i>crane</i>	=	10	ton

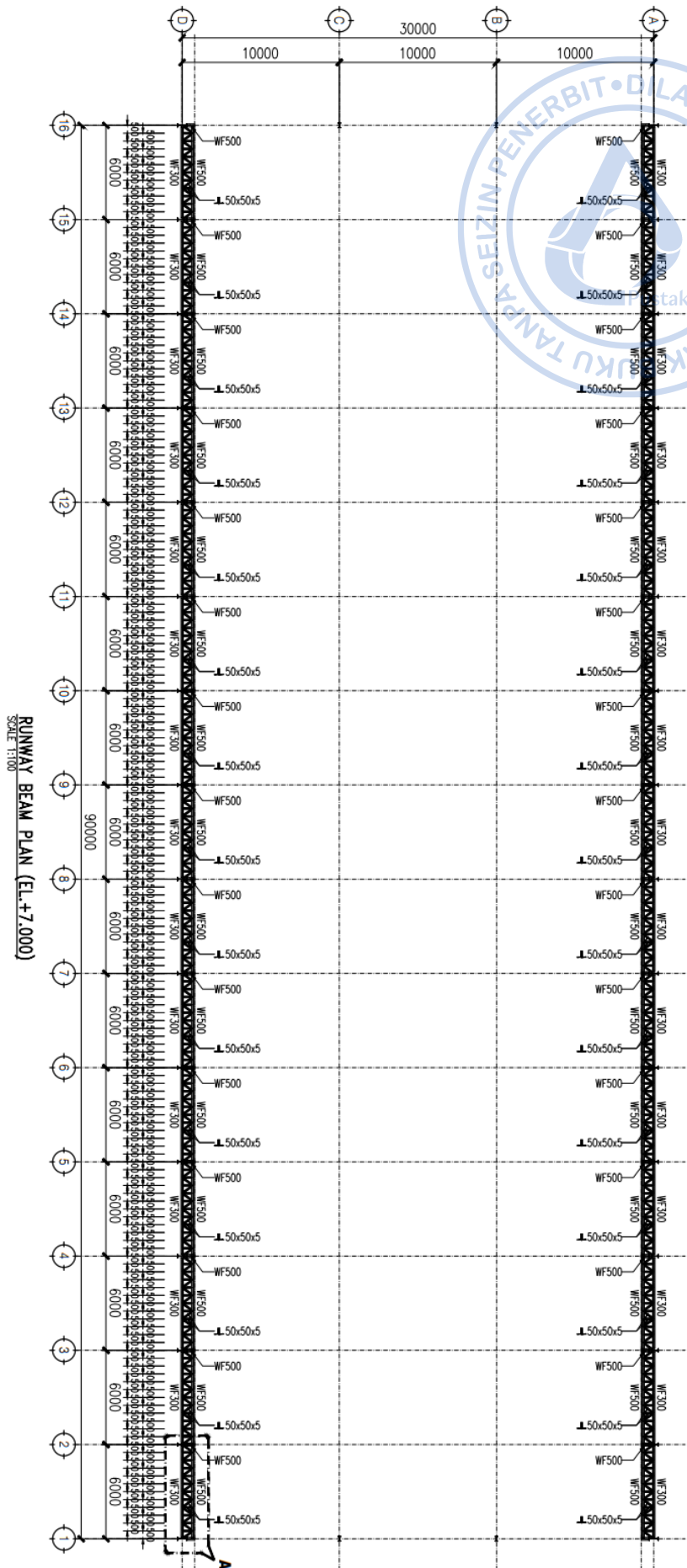


Gambar 2.2. Plan Pondasi

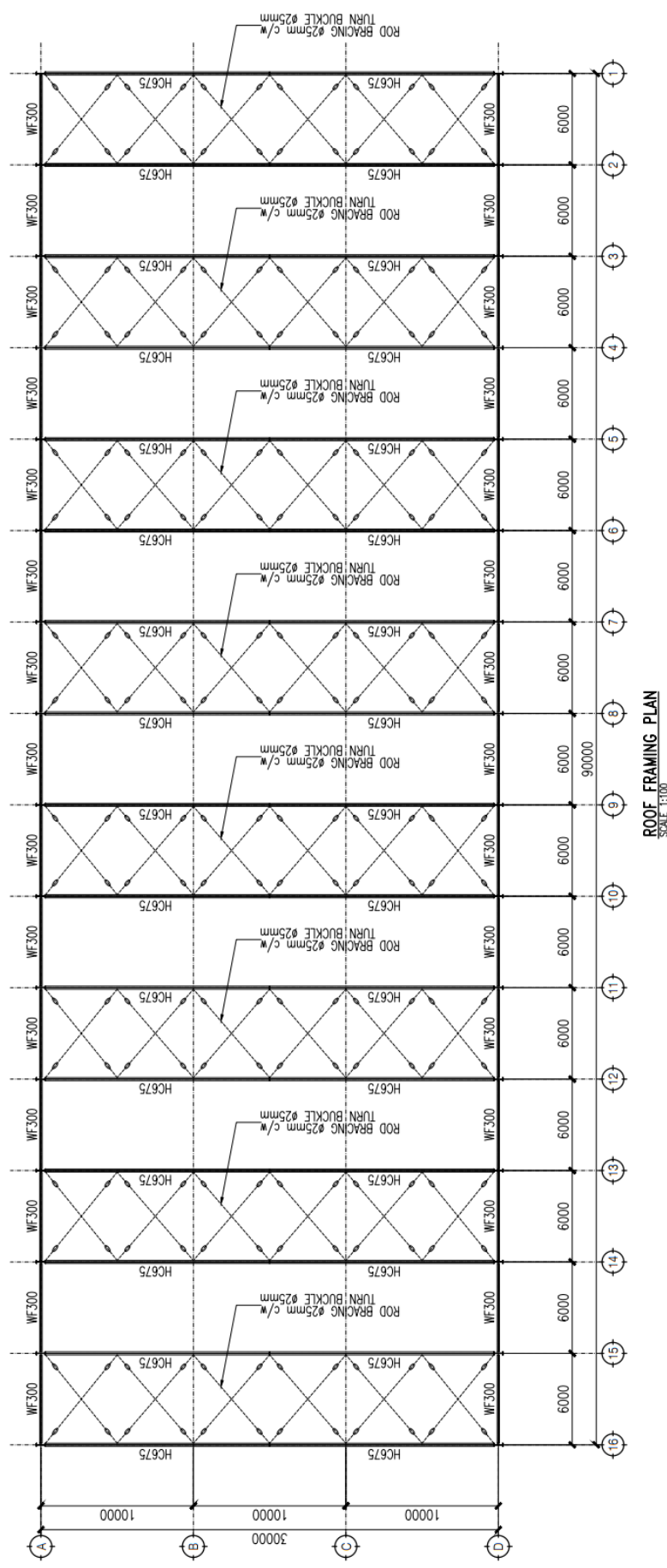
FOUNDATION PLAN
SCALE 1:100



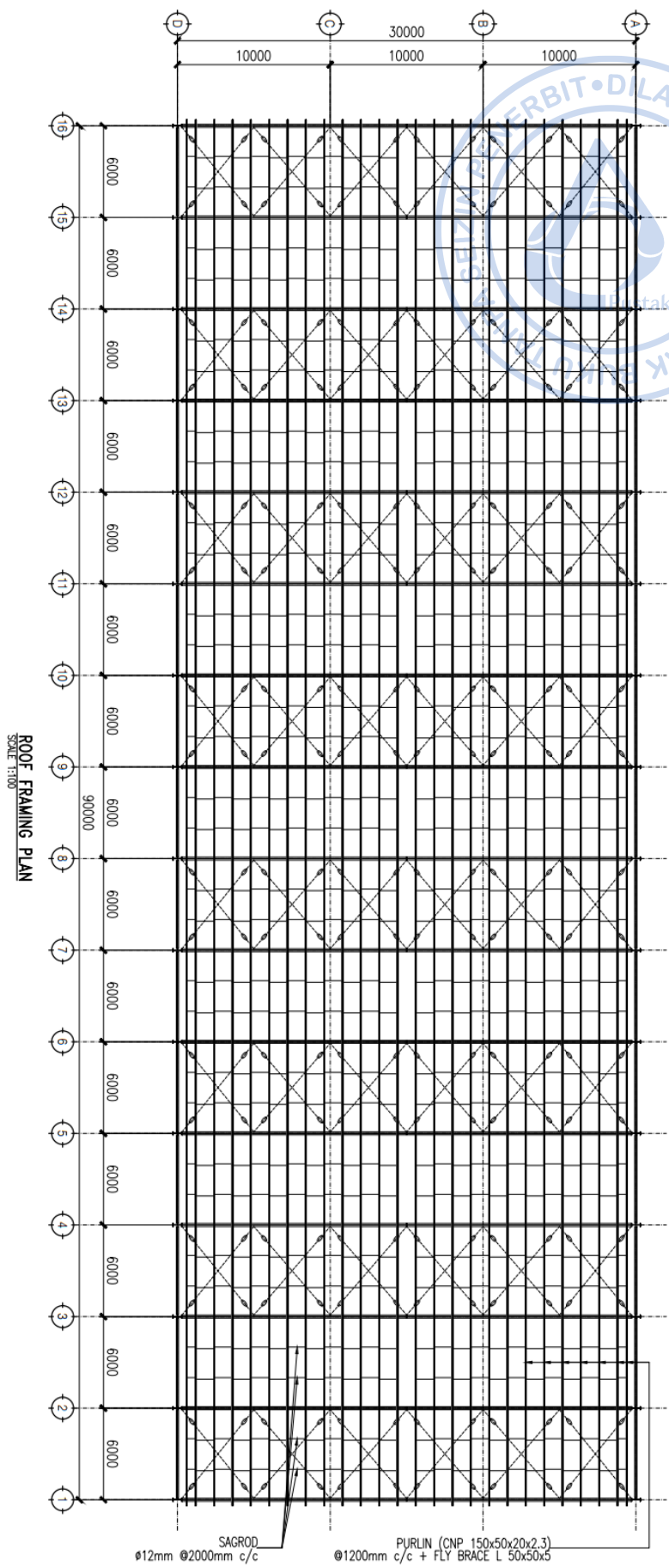
Gambar 2.3. Plan Kolom Pedestal



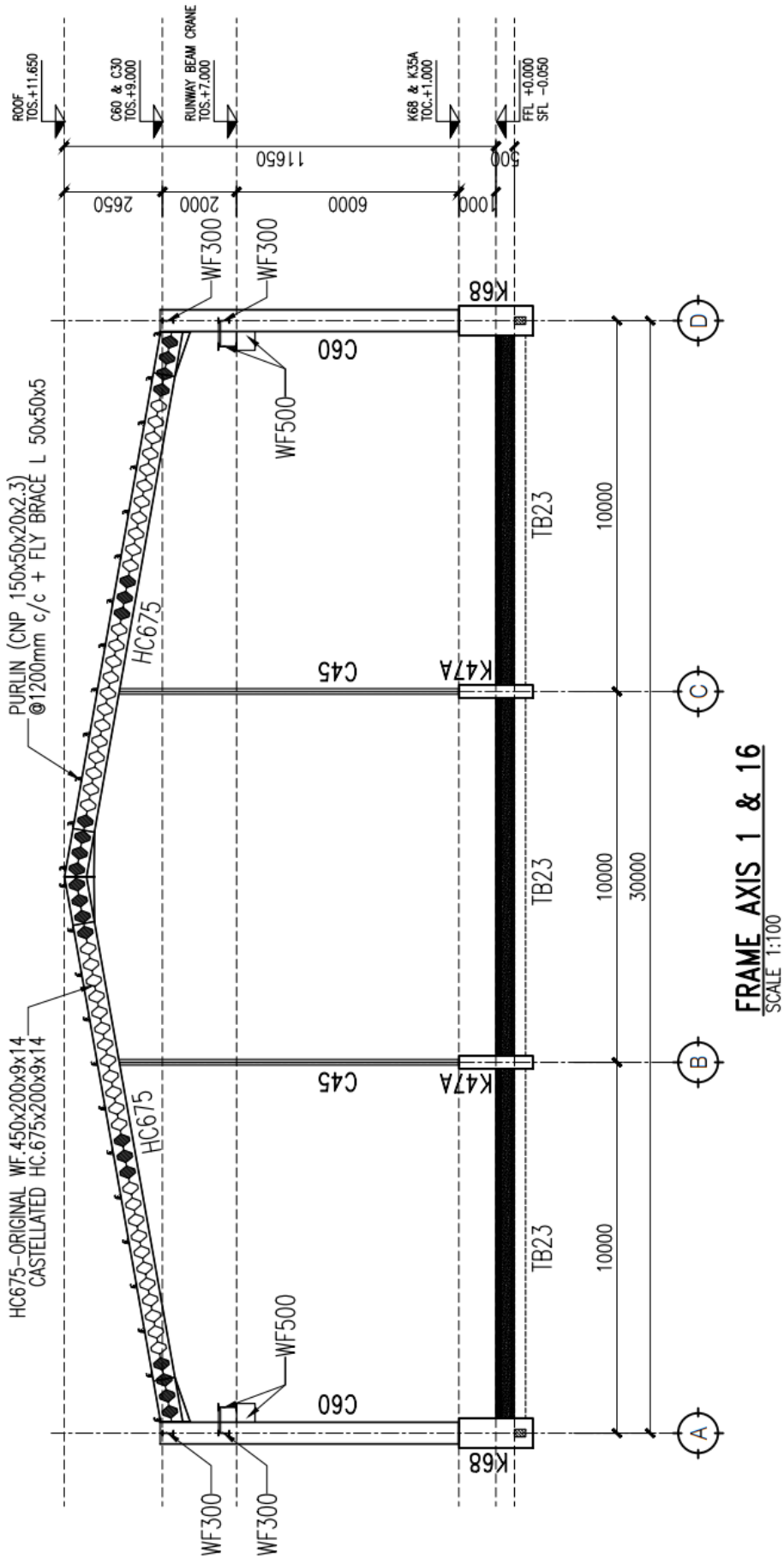
Gambar 2.4. Plan Runway Beam



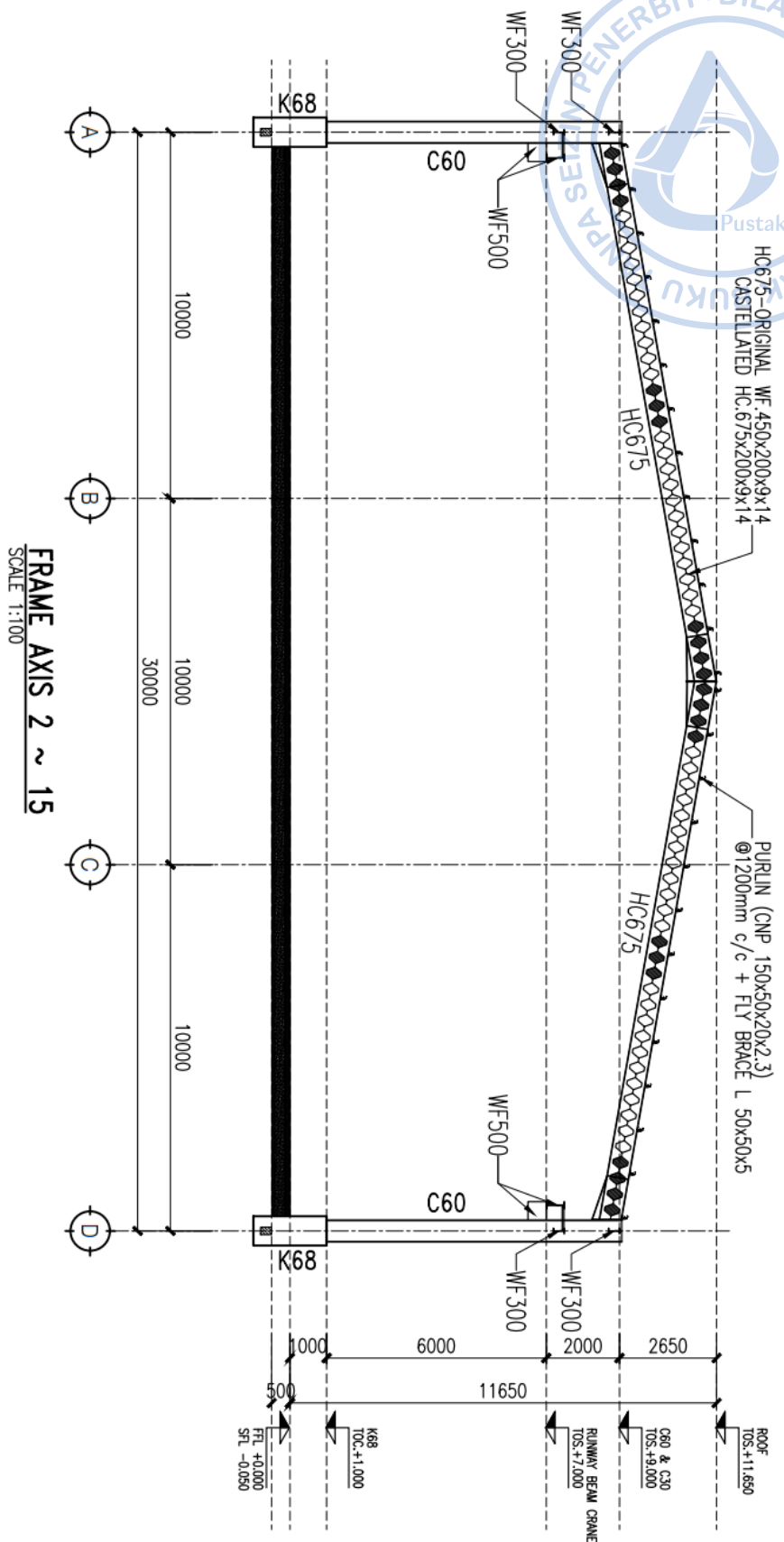
Gambar 2.5. Plan Atap



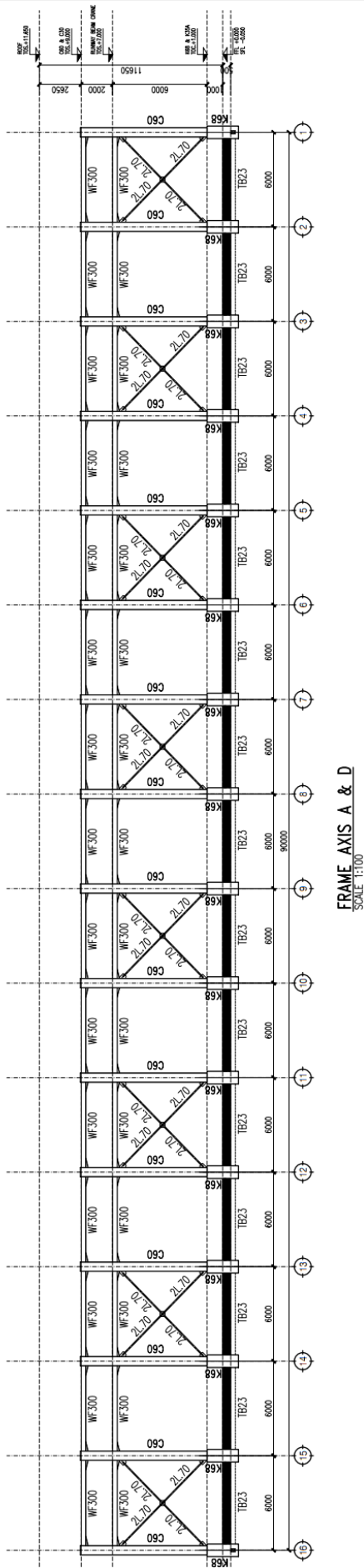
Gambar 2.6. Plan Atap



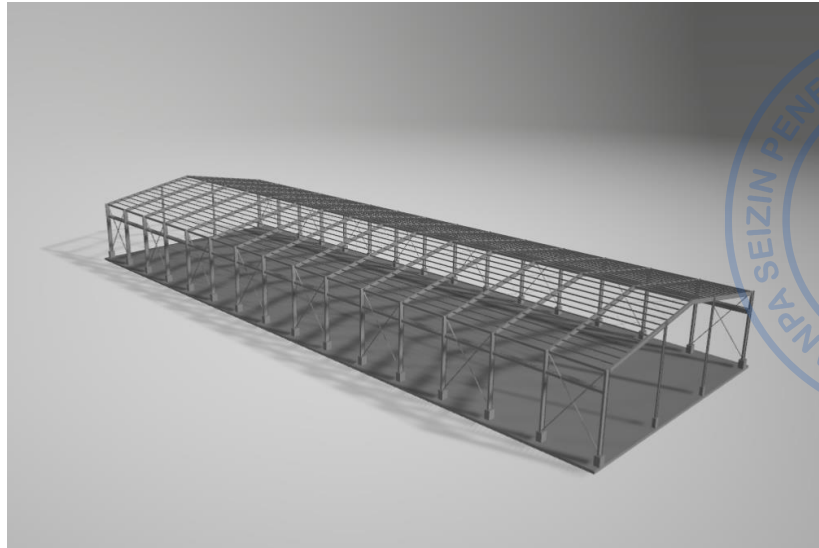
Gambar 2.7. Potongan Melintang As 1 dan 16



Gambar 2.8. Potongan Melintang As 2-15



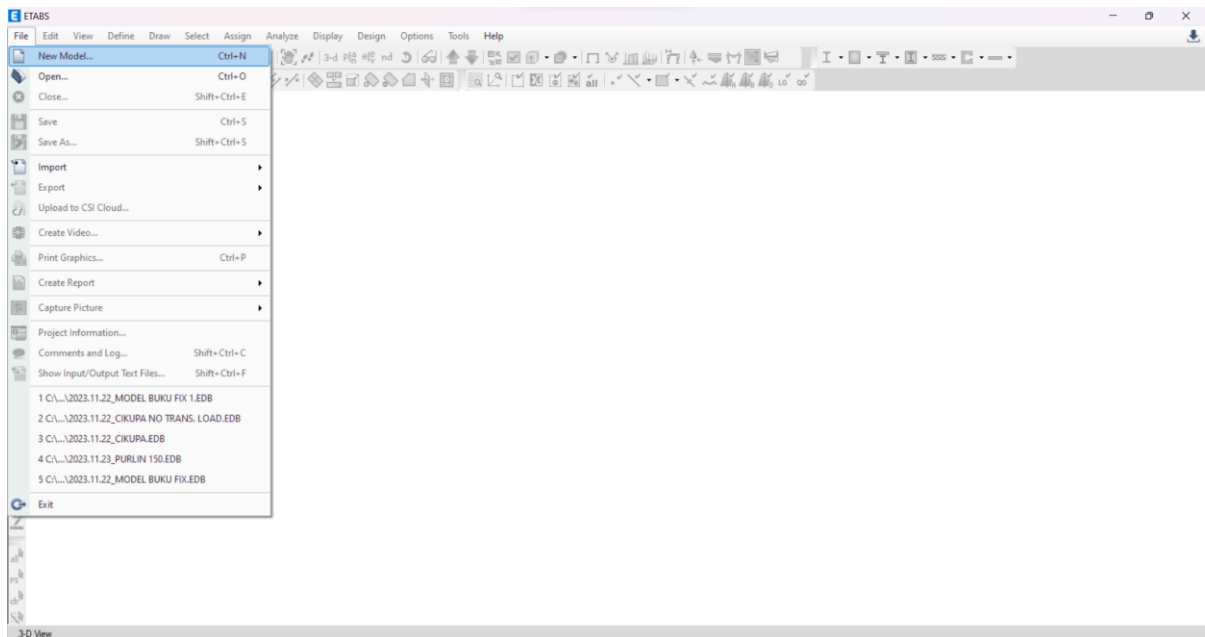
Gambar 2.9. Potongan Melintang As A-D



Gambar 2.10. Model 3d Warehouse yang Dirancang

C. MEMBUAT FILE BARU

Langkah awal permodelan dengan *software* ETABS adalah dengan membuat file baru dengan cara klik *File – New Model* atau bisa dilakukan melalui *shortcut* Ctrl+N.

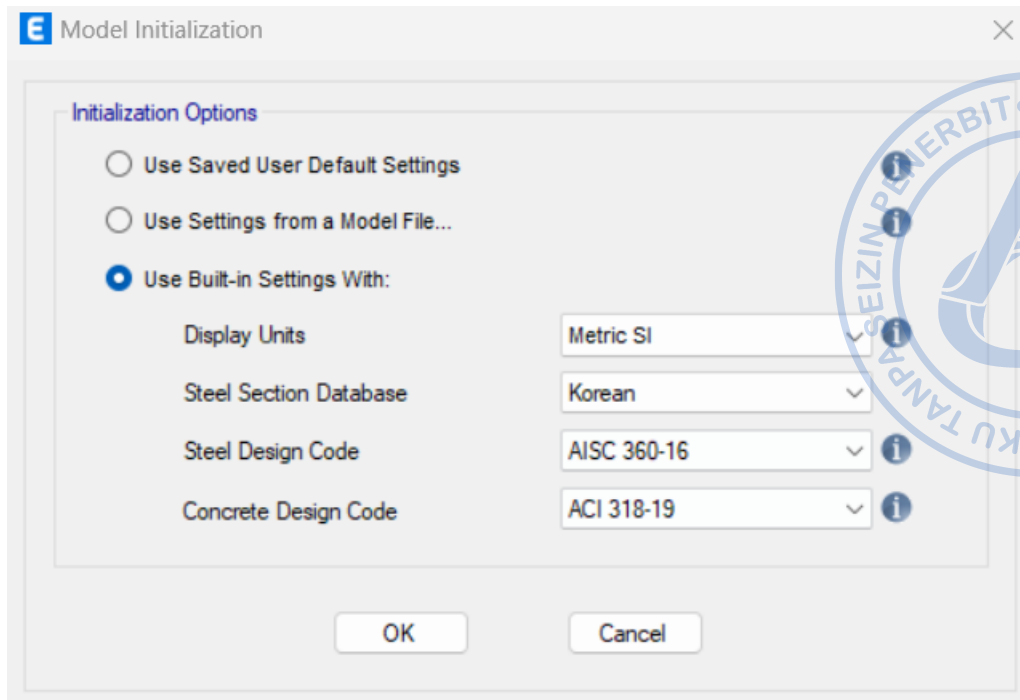


Gambar 2.11. Pembuatan Model Baru pada ETABS

Sesuaikan parameter-parameter sesuai code yang digunakan. Untuk proyek di Indonesia, peraturan yang digunakan biasanya mengacu pada peraturan di Amerika.

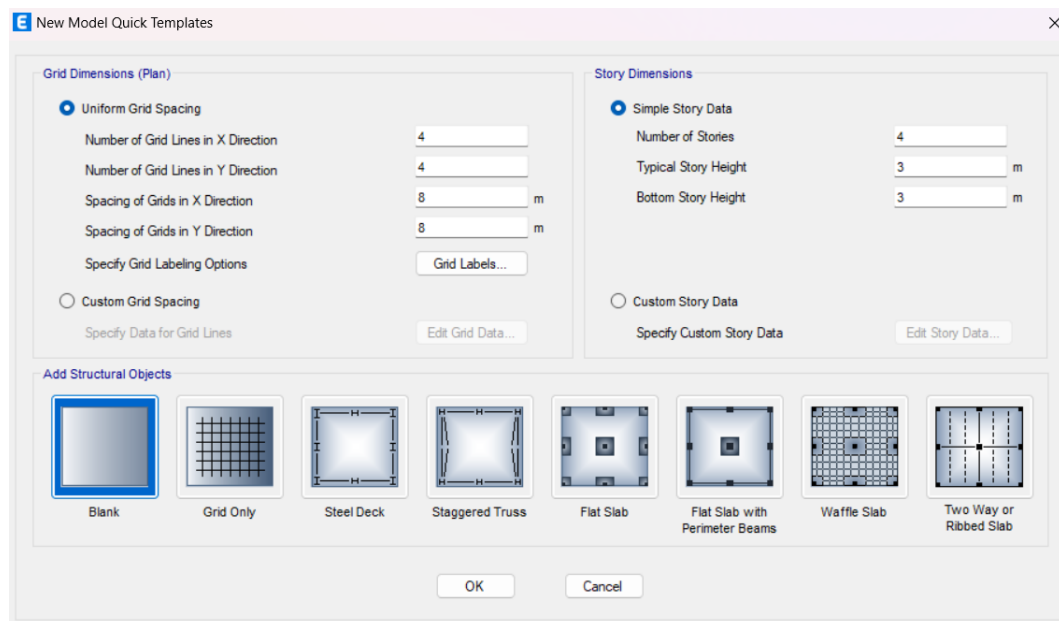
SNI 1729-2020 → AISC 360-16

SNI 2847-2019 → ACI 318-14/19

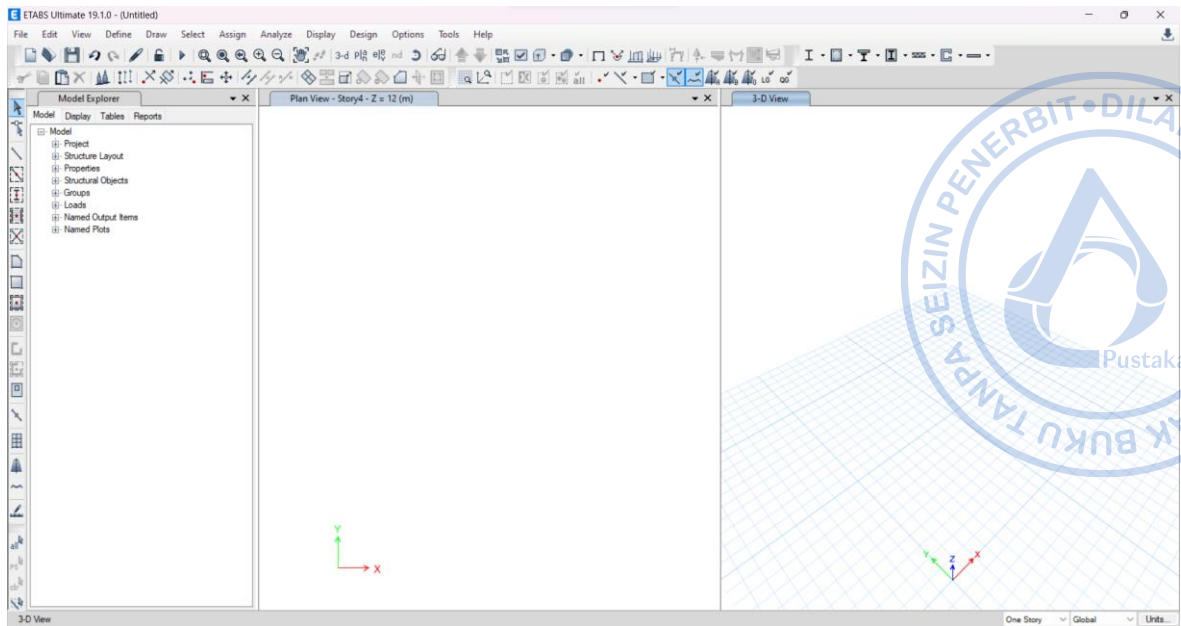


Gambar 2.12. Pemilihan Jenis Satuan dan Kode yang Ingin Digunakan

Pada menu *New Model Quick Template* → pilih Blank. Terdapat beberapa pilihan lain seperti *Grid Only* yang dapat digunakan untuk membuat template dengan *grid* sesuai *story dimension* yang dimasukkan.

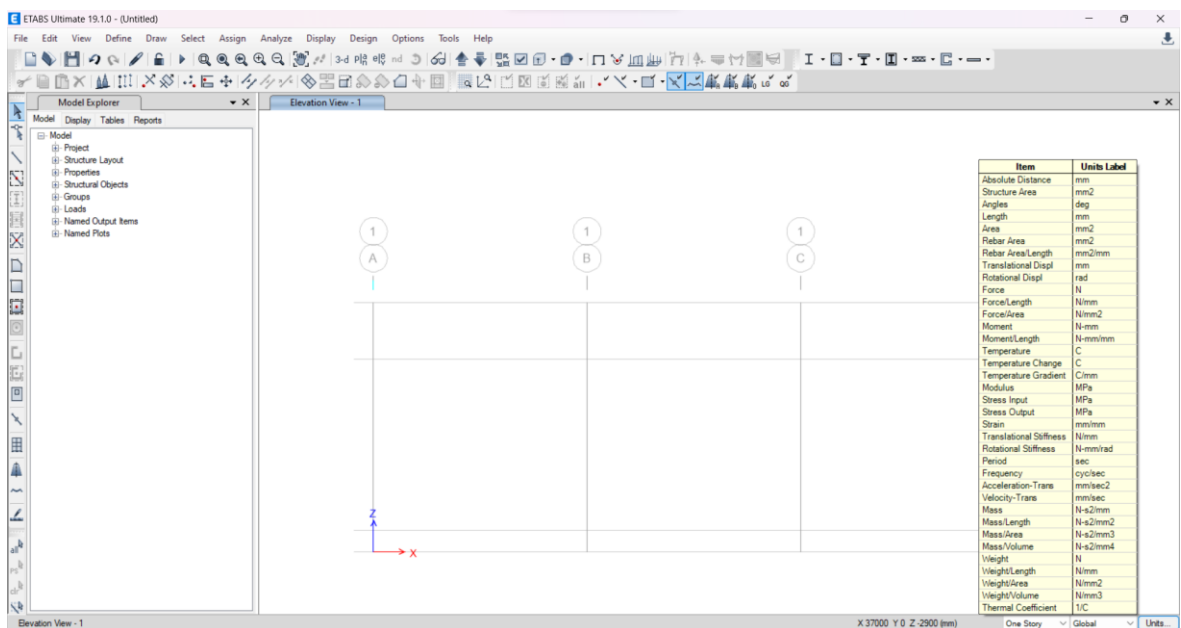


Gambar 2.13. Tampilan *Quick Model*

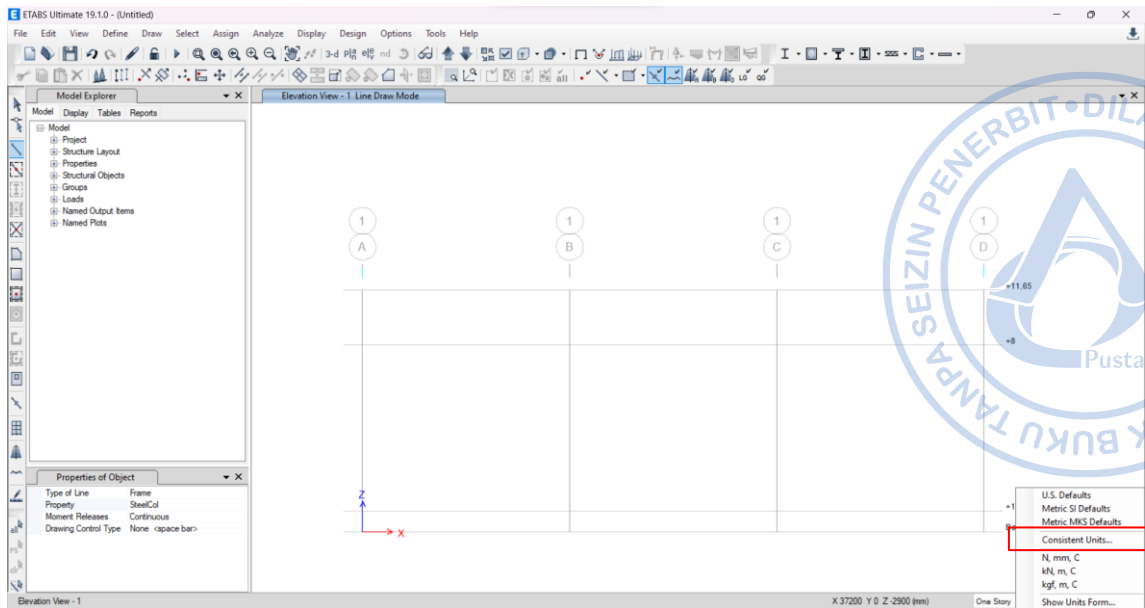


Gambar 2.14. Tampilan Awal Model ETABS

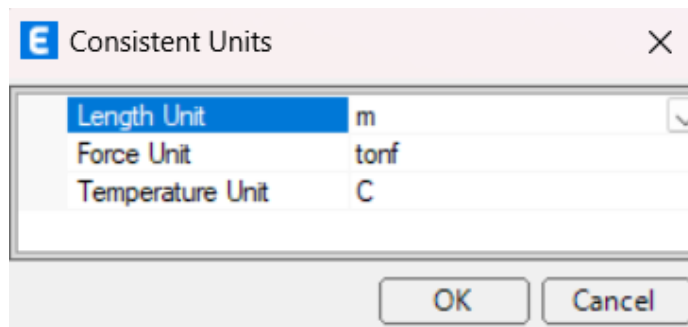
Untuk memudahkan proses pemodelan, atur beberapa template unit yang biasa digunakan dengan cara klik pada area pojok kanan bawah → *Units* → *Consistent Units* → atur satuan panjang dan gaya yang diinginkan.



Gambar 2.15. Klik *Units*

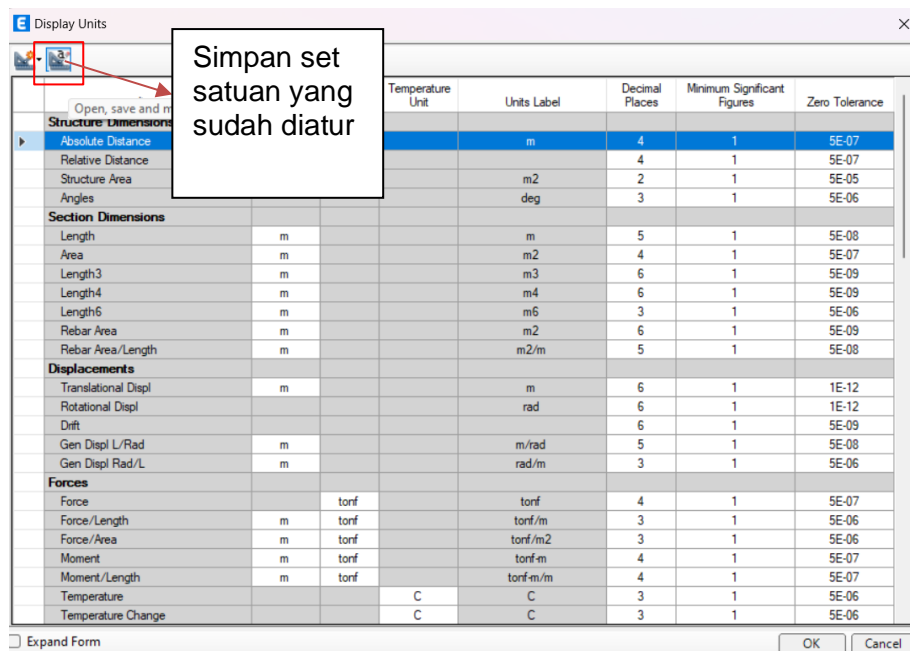


Gambar 2.16. Klik *Units*

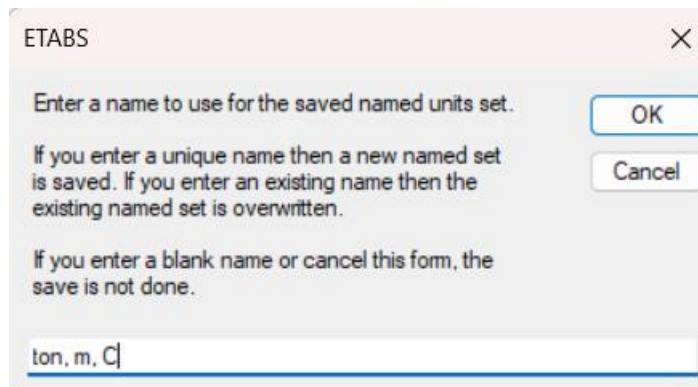
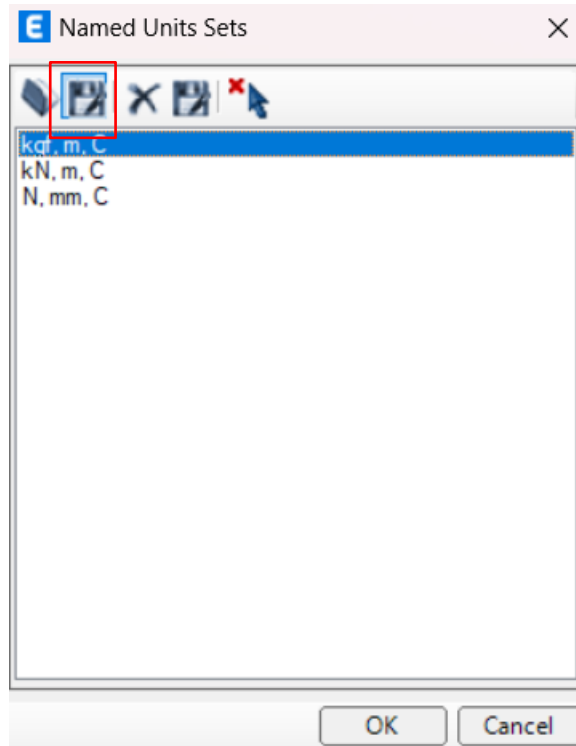


Gambar 2.17. Atur Satuan Panjang dan Gaya

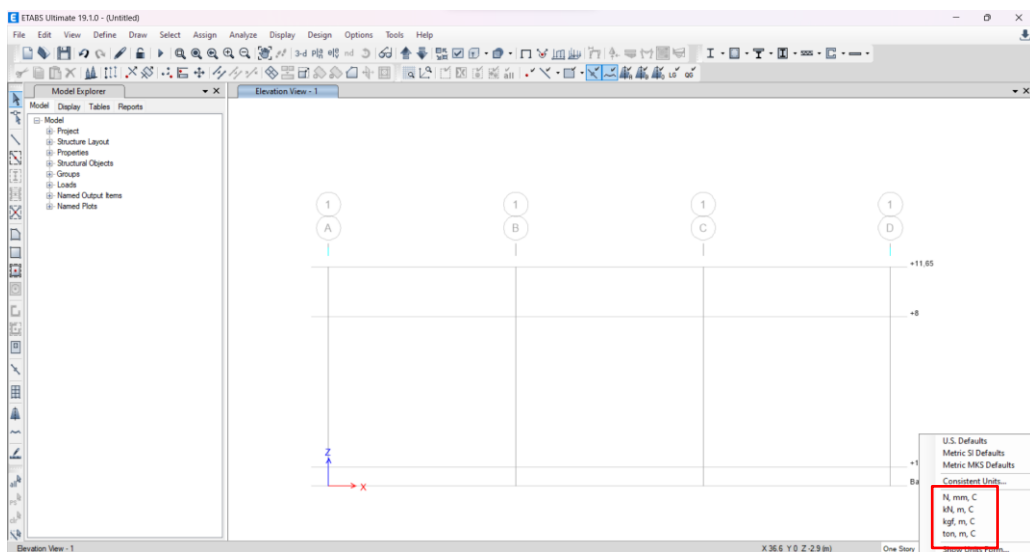
Lalu simpan satuan yang telah diatur dengan cara klik kembali pada pojok kanan bawah
 → *Units* → *Show Units Form* → simpan dan beri nama set satuan yang telah diatur.



Gambar 2.18. *Display Units*



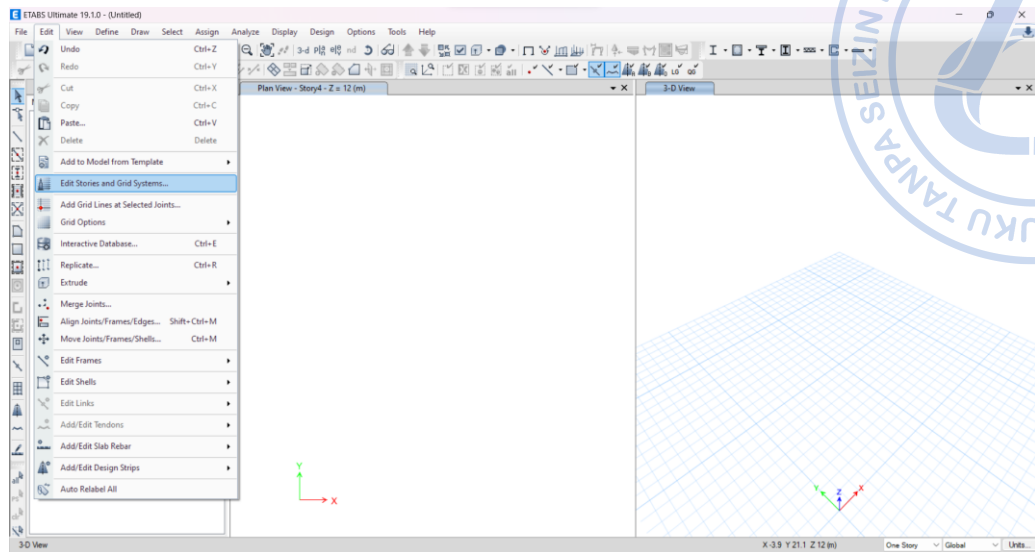
Gambar 2.19. Simpan *Unit Sets*



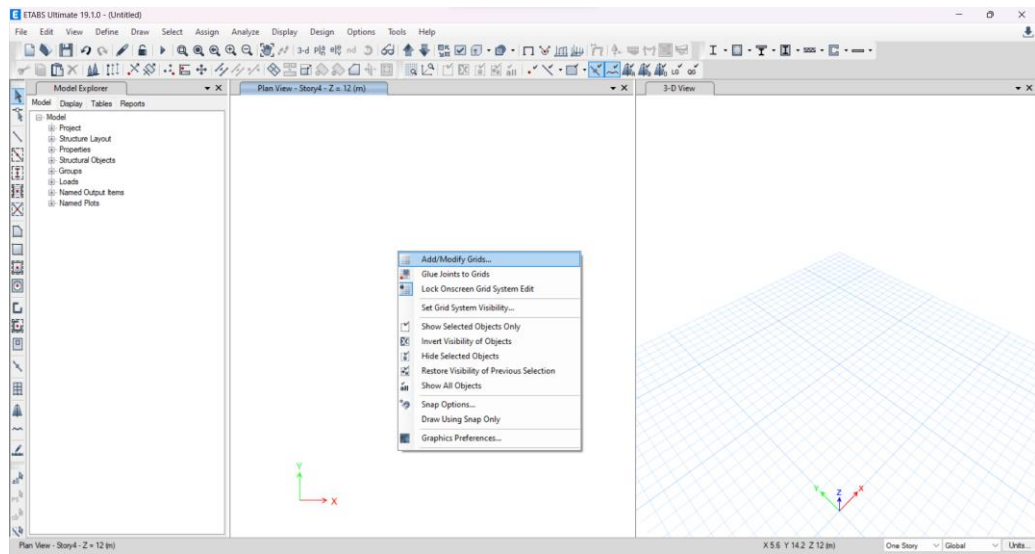
Gambar 2.20. *Units Sets* Sudah Muncul pada *Units*

D. MEMBUAT GRID

Selanjutnya untuk membuat *Grid* dan *Story Data*, klik *Edit* → *Edit Stories and Grid Systems* → *Modify*. Atur Jarak *grid* dan ketinggian yang digunakan. Cara lain untuk mengedit *grid* adalah dengan klik kanan → *Add/Modify Grid System*.

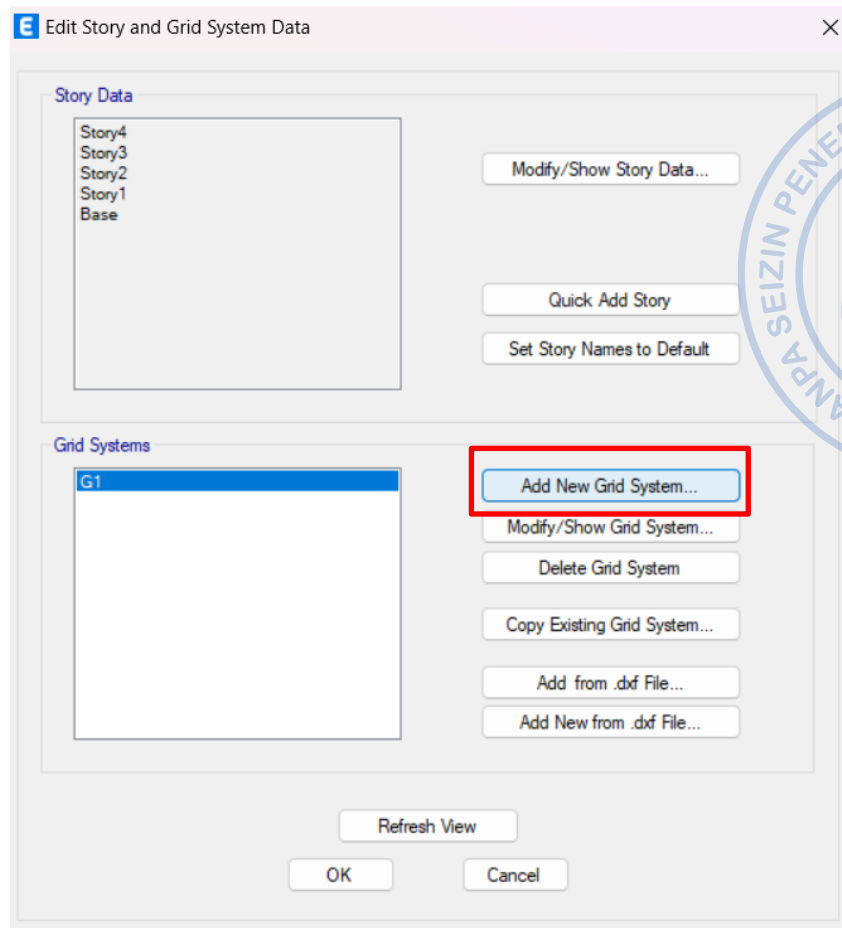


Gambar 2.21. *Edit* → *Edit Stories and Grid Systems*



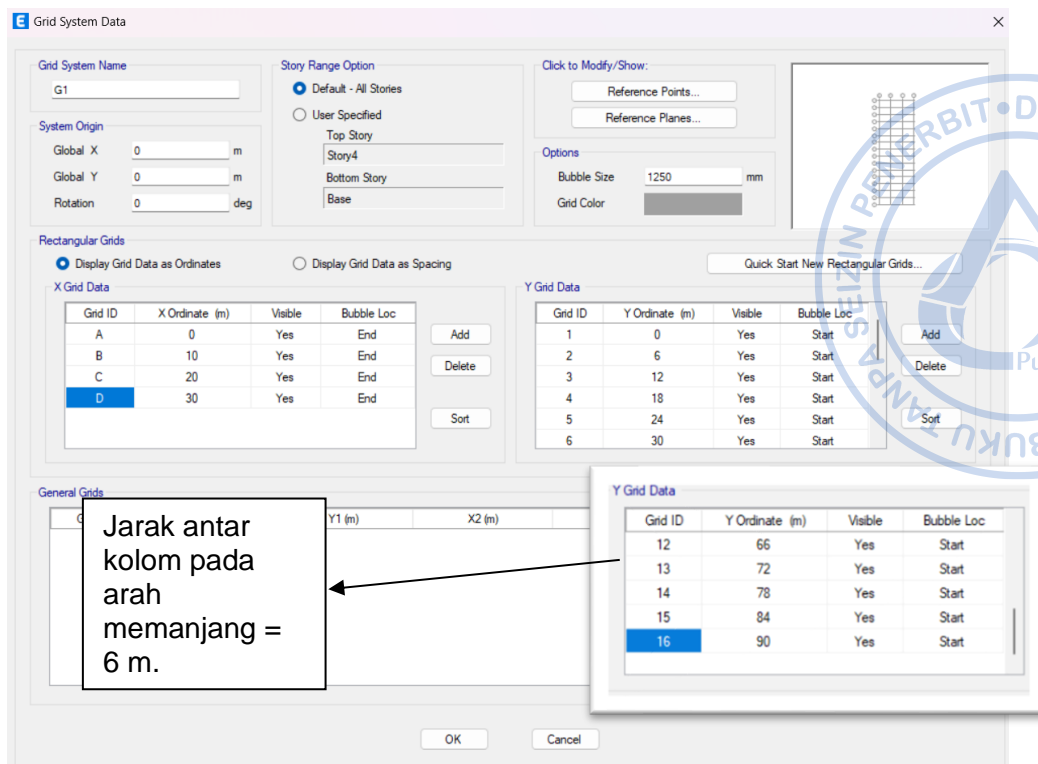
Gambar 2.22. Klik Kanan → *Add/Modify Grid*

Lalu tambahkan sistem *grid* baru dengan klik → *Add New Grid System*.



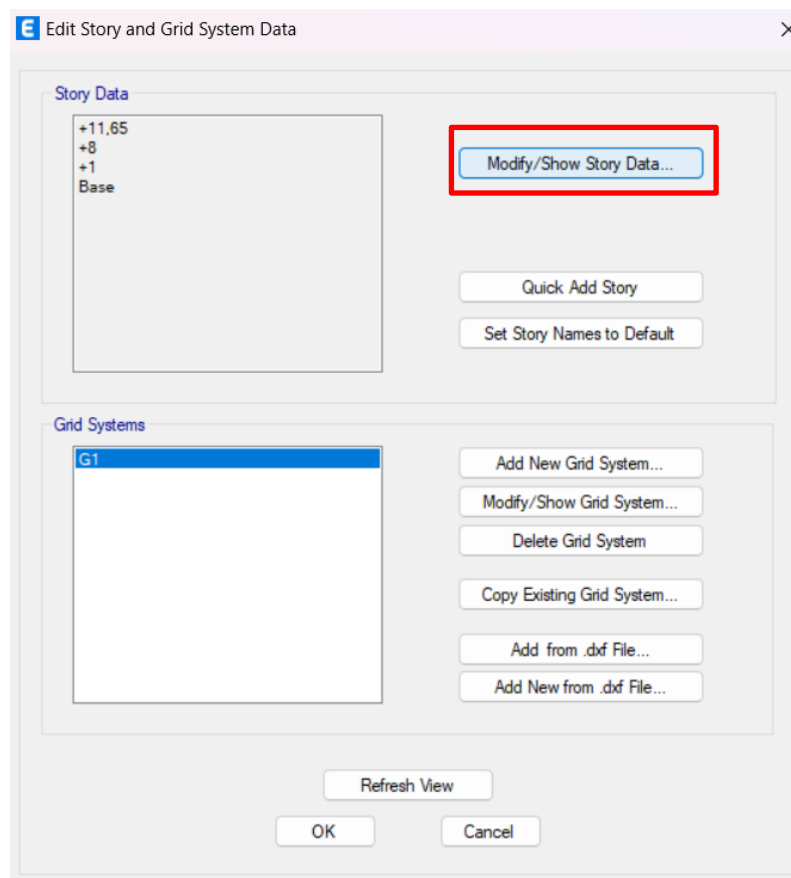
Gambar 2.23. Add New Grid System

Grid untuk arah x dan y dapat ditambahkan dengan dua cara, memasukkan ordinat grid atau dengan cara memasukkan jarak antar *grid*. Akan dicoba cara input grid melalui ordinat. Bangunan *warehouse* akan memiliki luas 30 m x 90 m dengan jarak antar kolom pada arah memanjang 6 m, sementara pada arah melintang terdapat kolom *post* dengan jarak antar kolom 10 m.

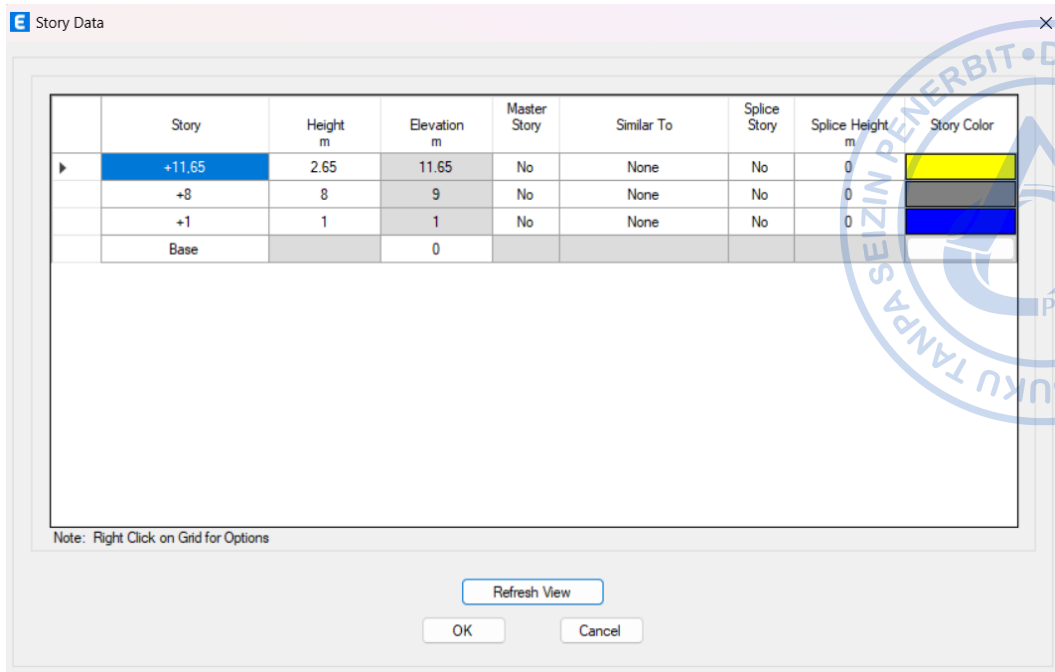


Gambar 2.24. Pengaturan Grid pada Arah X dan Y

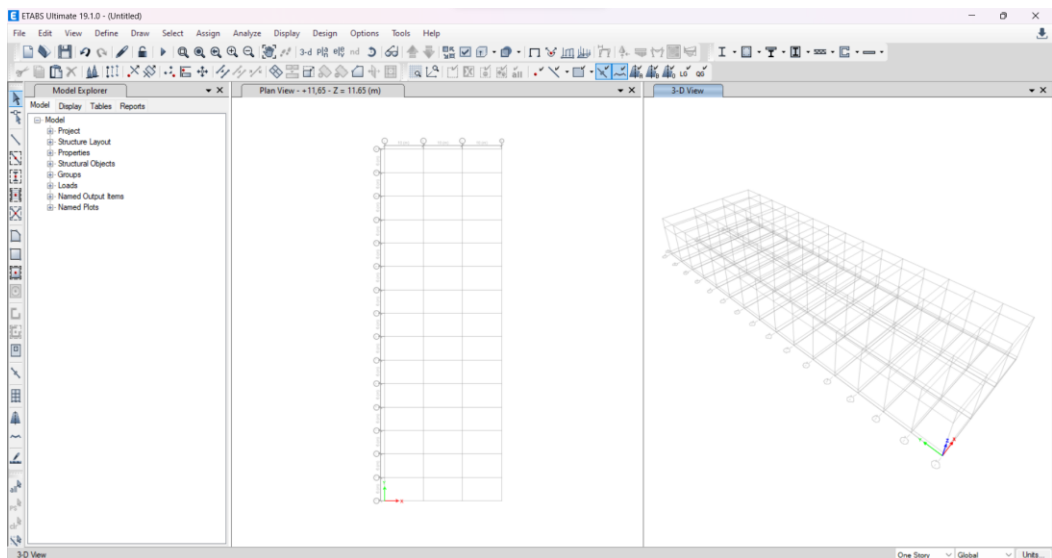
Untuk grid arah vertikal bisa diatur pada opsi *Modify/Show Story Data*. Grid pada arah vertikal di-input berdasarkan elevasi kolom pedestal, top kolom baja, serta *apex haunch*.



Gambar 2.25. *Modify/Show Story Data*



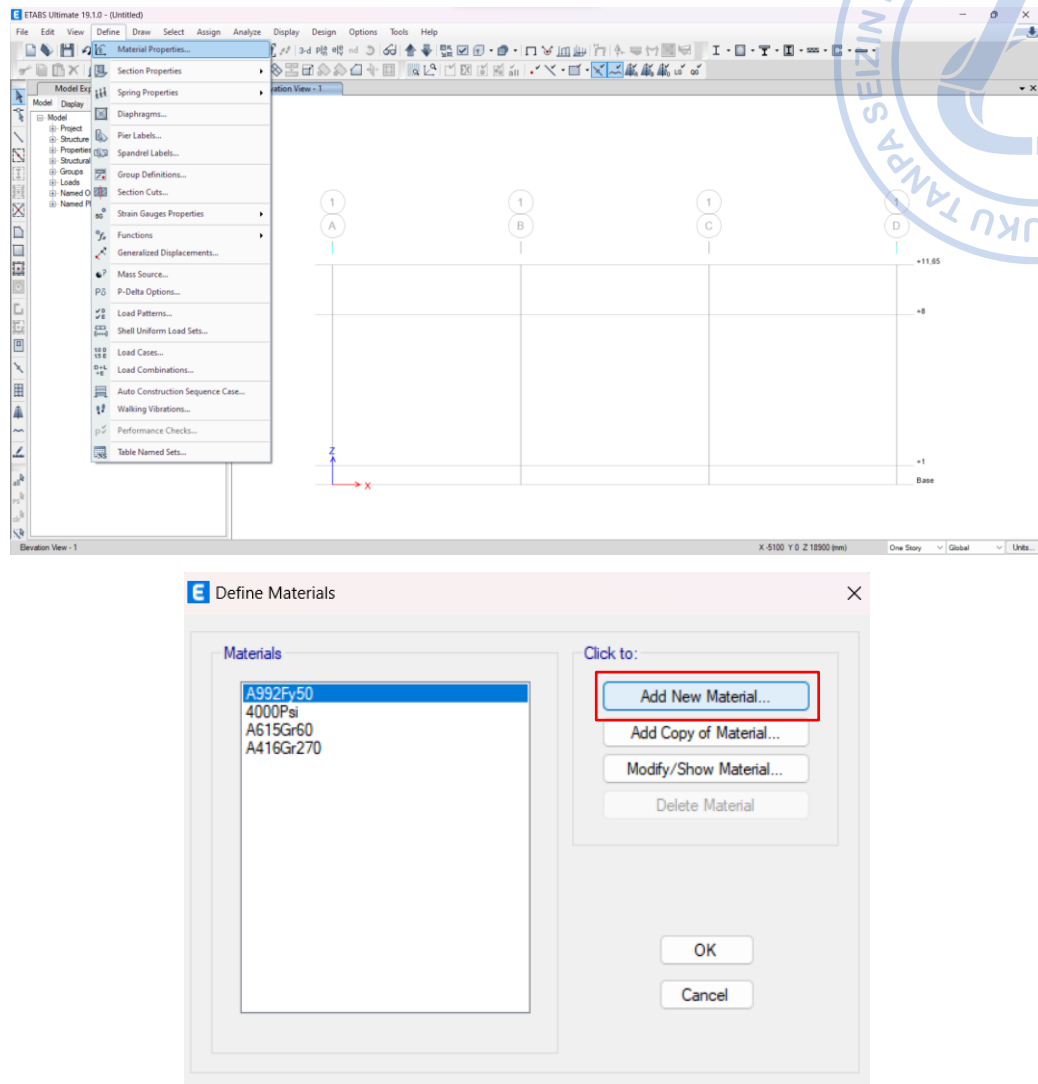
Gambar 2.26. Input Elevasi yang Dibutuhkan



Gambar 2.27. Grid yang Telah Dibuat

E. PENENTUAN PROPERTI MATERIAL

Langkah selanjutnya ada penentuan material struktur. Material yang digunakan dalam perencanaan struktur menggunakan material beton, baja tulangan dan baja profil. Penentuan material dapat dilakukan dengan cara klik *Define* → *Materials*.



Gambar 2.28. Define Materials

Penentuan masing-masing properti material sebagai berikut:

1. Material Beton

Data:

Mutu Beton, f_c = 25 MPa
Berat Jenis Beton Bertulang = 2400 kg/m³

Nilai modulus elastisitas beton ditentukan berdasarkan Pasal 19.2.2.1 SNI 2847-2019 sebagai berikut:

Modulus Elastisitas Beton, E_c = $4700 \sqrt{f_c}$ = $4700 \times \sqrt{25}$
= 23500 MPa

Nisbah Poison, μ = 0.2

E Add New Material Property

Region: United States

Material Type: Concrete

Standard: User

Grade:

OK Cancel

E Material Property Data

General Data

Material Name: K-300

Material Type: Concrete

Directional Symmetry Type: Isotropic

Material Display Color: Change...

Material Notes: Modify/Show Notes...

Material Weight and Mass

Specify Weight Density Specify Mass Density

Weight per Unit Volume: 0.000024 N/mm³

Mass per Unit Volume: 0 N-s²/mm⁴

Mechanical Property Data

Modulus of Elasticity, E: 23500 MPa

Poisson's Ratio, U: 0.2

Coefficient of Thermal Expansion, A: 0.0000099 1/C

Shear Modulus, G: 9791.67 MPa

Design Property Data

Modify/Show Material Property Design Data...

Advanced Material Property Data

Nonlinear Material Data... Material Damping Properties... Time Dependent Properties...

Modulus of Rupture for Cracked Deflections

Program Default (Based on Concrete Slab Design Code)

User Specified

OK Cancel

E Material Property Design Data

Material Name and Type

Material Name: K-300

Material Type: Concrete, Isotropic

Grade: f_c 25 MPa

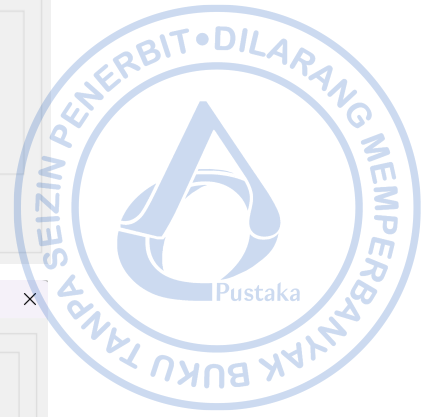
Design Properties for Concrete Materials

Specified Concrete Compressive Strength, F_c: 25 MPa

Lightweight Concrete

Shear Strength Reduction Factor:

OK Cancel



Gambar 2.29. Penentuan Material Beton

2. Material Baja Tulangan

Berdasarkan SNI 2847:2019, spesifikasi material baja tulangan memenuhi persyaratan pasal 20.2.5 adalah baja tulangan tulangan kelas BJTS 420B. Spesifikasi teknis dari baja tulangan kelas BJTS 420B dapat diketahui berdasarkan Tabel 6 SNI 2052-2017 dengan sebagai berikut:

Tabel 2.1.
Sifat Mekanis Baja Tulangan Berdasarkan SNI 2052-2017

Kelas baja tulangan	Uji tarik			Uji lengkung		Rasio TS/YS (Hasil Uji)
	Kuat luluh/leleh (YS)	kuat tarik (TS)	Regangan dalam 200 mm, Min.	sudut lengkung	diameter pelengkung	
	MPa	MPa	%		mm	
BjTP 280	Min. 280 Maks. 405	Min. 350	11 ($d \leq 10$ mm)	180°	3,5d ($d \leq 16$ mm)	-
			12 ($d \geq 12$ mm)	180°	5d ($d \geq 19$ mm)	
BjTS 280	Min. 280 Maks. 405	Min. 350	11 ($d \leq 10$ mm)	180°	3,5d ($d \leq 16$ mm)	Min. 1,25
			12 ($d \geq 13$ mm)	180°	5d ($d \geq 19$ mm)	
BjTS 420A	Min. 420 Maks. 545	Min. 525	9 ($d \leq 19$ mm)	180°	3,5d ($d \leq 16$ mm)	Min. 1,25
			8 ($22 \leq d \leq 25$ mm)	180°	5d ($19 \leq d \leq 25$ mm)	
			7 ($d \geq 29$ mm)	180°	7d ($29 \leq d \leq 36$ mm)	
				90°	9d ($d > 36$ mm)	
			14 ($d \leq 19$ mm)	180°	3,5d ($d \leq 16$ mm)	
BjTS 420B	Min. 420 Maks. 545	Min. 525	12 ($22 \leq d \leq 36$ mm)	180°	5d ($19 \leq d \leq 25$ mm)	Min. 1,25
			10 ($d > 36$ mm)	180°	7d ($29 \leq d \leq 36$ mm)	
				90°	9d ($d > 36$ mm)	
BjTS 520	Min. 520 Maks. 645	Min. 650	7 ($d \leq 25$ mm)	180°	5d ($d \leq 25$ mm)	Min. 1,25
			6 ($d \geq 29$ mm)	180°	7d ($29 \leq d \leq 36$ mm)	
				90°	9d ($d > 36$ mm)	
BjTS 550	Min. 550 Maks. 675	Min. 687,5	7 ($d \leq 25$ mm)	180°	5d ($d \leq 25$ mm)	Min. 1,25
			6 ($d \geq 29$ mm)	180°	7d ($29 \leq d \leq 36$ mm)	
				90°	9d ($d > 36$ mm)	
BjTS 700	Min. 700 Maks. 825	Min. 805	7 ($d \leq 25$ mm)	180°	5d ($d \leq 25$ mm)	Min. 1,15
			6 ($d \geq 29$ mm)	180°	7d ($29 \leq d \leq 36$ mm)	
				90°	9d ($d > 36$ mm)	

Keterangan:
1. d adalah diameter nominal baja tulangan beton
2. hasil uji lengkung tidak boleh menunjukkan retak pada sisi luar lengkungan benda uji lengkung

Berdasarkan data dari tabel di atas diketahui sifat mekanis BJTS 420B sebagai berikut:

Mutu Baja Tulangan	= BJTD 420B
Berat Jenis Tulangan	= 7850 kg/m ³
Modulus Elastisitas Baja, Es	= 200.000 MPa
Tegangan Leleh, F_y	= 420 MPa
Tegangan Putus, F_u	= 525 MPa

Expected yield strength, F_{ye} dan expected tensile strength, F_{ue} untuk material baja tulangan bisa didapatkan berdasarkan Tabel 6-4 FEMA 356. Faktor konversi yang diberikan untuk kuat leleh dan yang diekspektasikan pada baja tulangan adalah 1,25.

Tabel 2.2.
 Faktor Konversi untuk Kuat Leleh dan Putus yang Diekspektasikan pada Baja Tulangan
 Berdasarkan FEMA 356

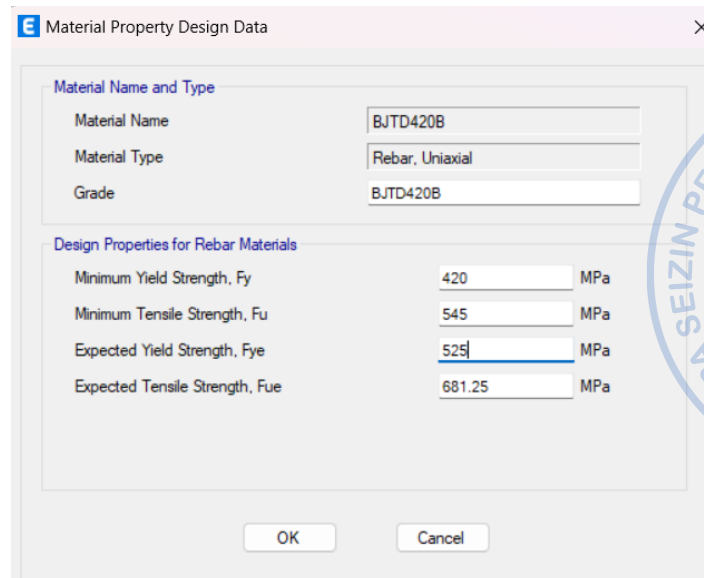
Table 6-4 Factors to Translate Lower Bound Material Properties to Expected Strength Material Properties

Material Property	Factor
Concrete Compressive Strength	1.50
Reinforcing Steel Tensile & Yield Strength	1.25
Connector Steel Yield Strength	1.50



Expected Yield Strength, F_{ye} = 1.25 x 420 MPa = 525 MPa

Expected Tensile Strength, F_{ue} = 1.25 x 545 MPa = 681,25 MPa



Gambar 2.30. Penentuan Material Baja Tulangan

3. Material Baja Profil Canai Panas

Material baja profil yang digunakan adalah sebagai berikut:

Data:

- Mutu Baja Profil = BJ37/A36
- Berat Jenis Baja = 7850 kg/m^3
- Modulus Elastisitas Baja, E_s = 200.000 MPa
- Tegangan Leleh, F_y = 240 MPa
- Tegangan Putus, F_u = 370 MPa

Expected yield strength, F_{ye} dan *expected tensile strength, F_{ue}* untuk material baja canai panas bisa didapatkan berdasarkan Tabel A.3-1 SNI 7860-2020. Faktor untuk mengkonversi kuat leleh menjadi untuk kuat leleh terekspektasi untuk baja canai panas A36 adalah 1,5, sementara untuk kuat putus baja, nilai konversi yang diberikan adalah 1,2.

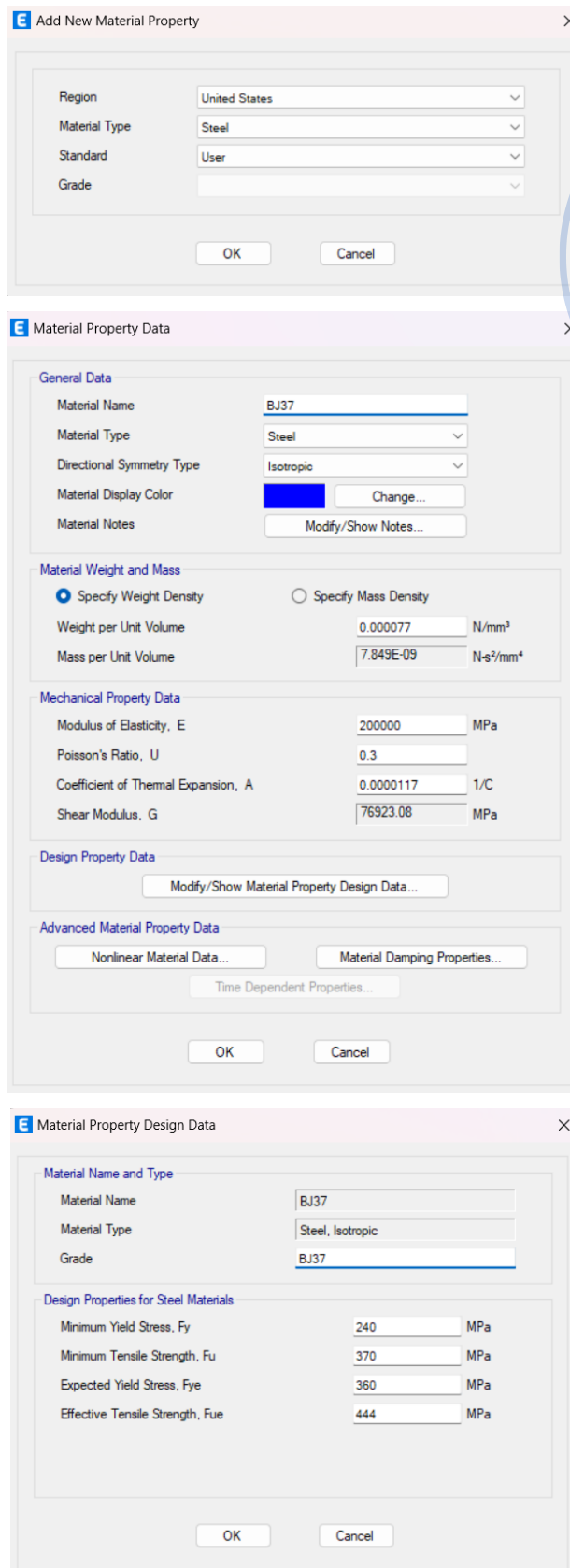
Tabel 2.3.

Faktor Konversi untuk Kuat Leleh dan Putus yang Diekspektasikan pada Baja Canai Panas Berdasarkan SNI 7860-2020

Aplikasi	R_y	R_t
Profil baja gilas panas dan batangan:		
• ASTM A36/A36M	1,5	1,2
• ASTM A1043/A1043M Gr. 36 (250)	1,3	1,1
• ASTM A992/A992M	1,1	1,1
• ASTM A572/A572M Gr. 50 (345) or 55 (380)	1,1	1,1
• ASTM A913/A913M Gr. 50 (345), 60 (415), 65 (450), atau 70 (485)	1,1	1,1
• ASTM A588/A588M	1,1	1,1
• ASTM A1043/A1043M Gr. 50 (345)	1,2	1,1
• ASTM A529 Gr. 50 (345)	1,2	1,2
• ASTM A529 Gr. 55 (380)	1,1	1,2

$$\text{Expected Yield Strength, } F_{ye} = 1,5 \times 240 \text{ MPa} = 360 \text{ MPa}$$

$$\text{Expected Tensile Strength, } F_{ue} = 1,2 \times 370 \text{ MPa} = 444 \text{ MPa}$$



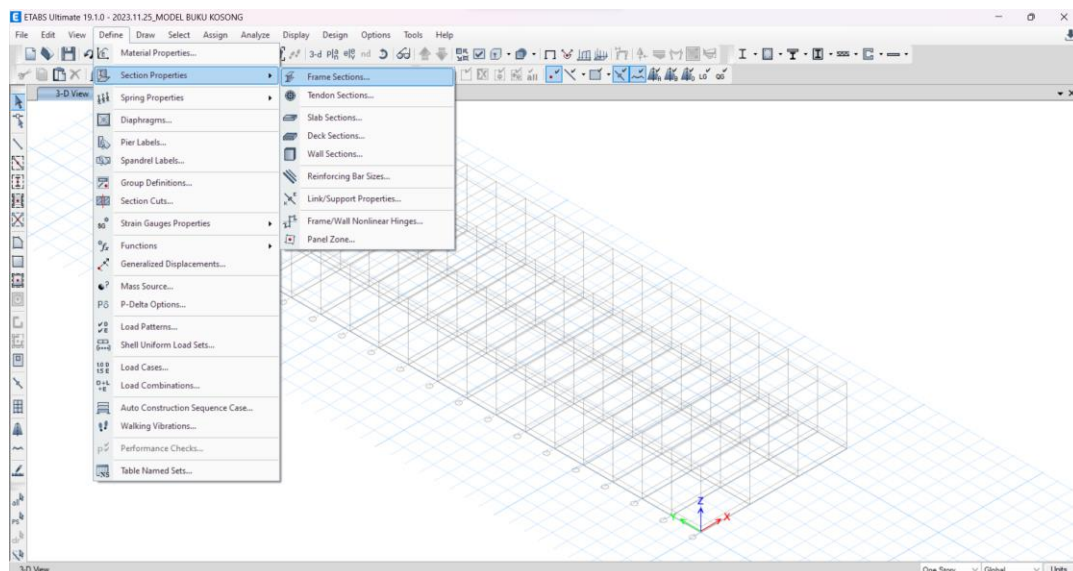
Gambar 2.31. Penentuan Material Baja Canai Panas

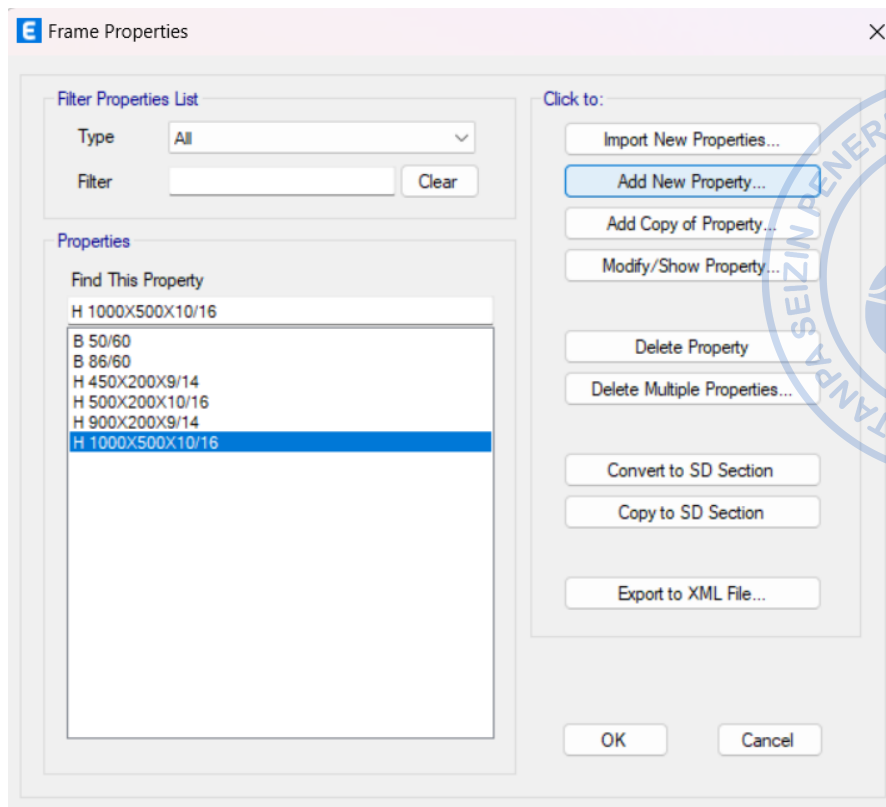
F. PENENTUAN PROPERTI PENAMPANG

Ukuran penampang yang digunakan untuk elemen struktur yang direncanakan yaitu sebagai berikut:

1. Kolom
WF 600 = WF.600X200X11/17
2. *Rafter*
HC 675 = HC.675X200X9/14
3. Purlin
CNP 150 = CNP.150X50X20X2,3
4. Ring *Beam* (Regel) dan Nok Atap
WF 300 = WF.300X150X6,5X9
5. Kolom *Post*
WF 450 = WF.450X200X9/14
6. Bracing
2L70 = 2L.70X70X7
7. *Runway Beam Crane*
WF 500 = WF.500X200X10/16
8. Kolom Pedestal Utama
K60X80 = 600X800 mm²
9. Kolom Pedestal *Post*
K40X70 = 400X700 mm²
10. *Wind Bracing* = Rod 25 mm

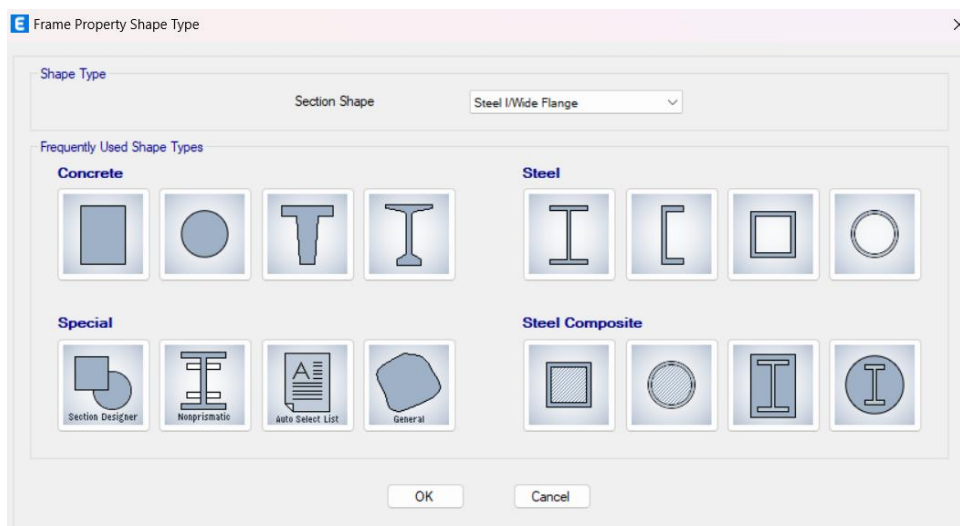
Penentuan dimensi penampang/profil baja dilakukan dengan cara klik *Define – Section Properties – Frame Sections – Add New Property*. Tentukan tipe profil baja pada pilihan *Section Type* seperti sebagai berikut:



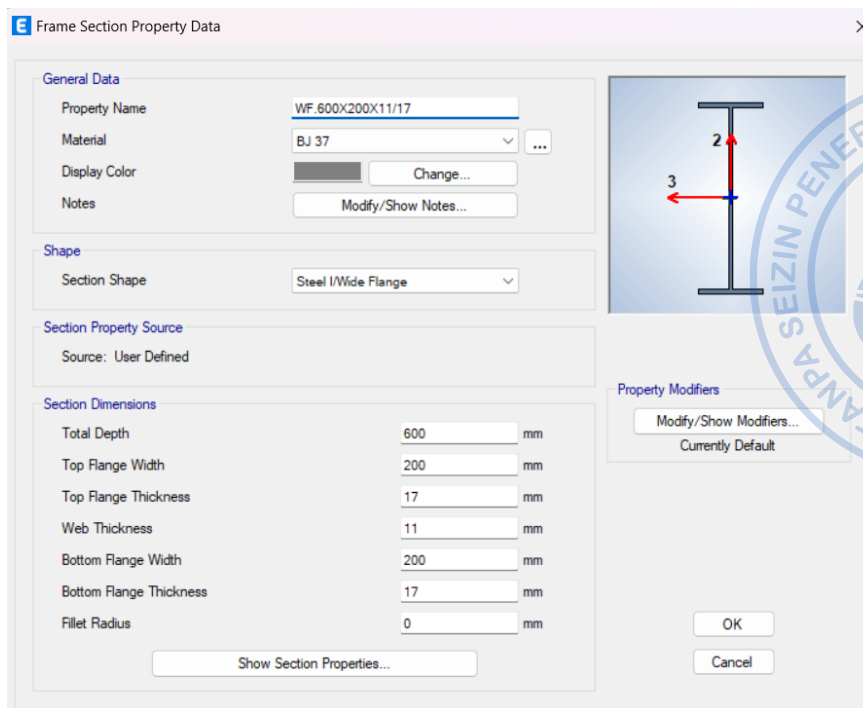


Gambar 2.32. Define – Section Properties – Frame Sections – Add New Property

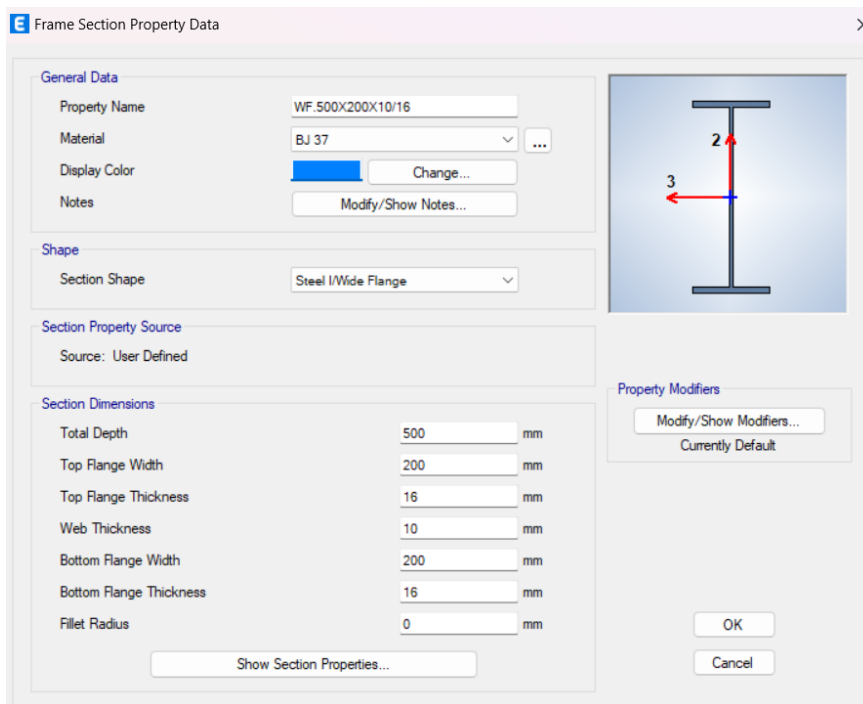
Terdapat empat template pilihan profil untuk baja, yaitu, profil *I/Wide Flange Section* yang dapat digunakan untuk pemodelan profil I-WF (*I-Wide Flange*) dan HB (*H-Beam*), *Channel Section* yang dapat digunakan untuk pemodelan profil UNP, *Tube Section* yang dapat digunakan untuk pemodelan profil RHS (*Rectangular Hollow Section*) atau SHS (*Square Hollow Section*), serta profil *Pipe Section* yang dapat digunakan untuk pemodelan profil pipa. ETABS juga mengakomodir profil-profil lain seperti *Double Angle Equal Section* dan lain sebagainya.



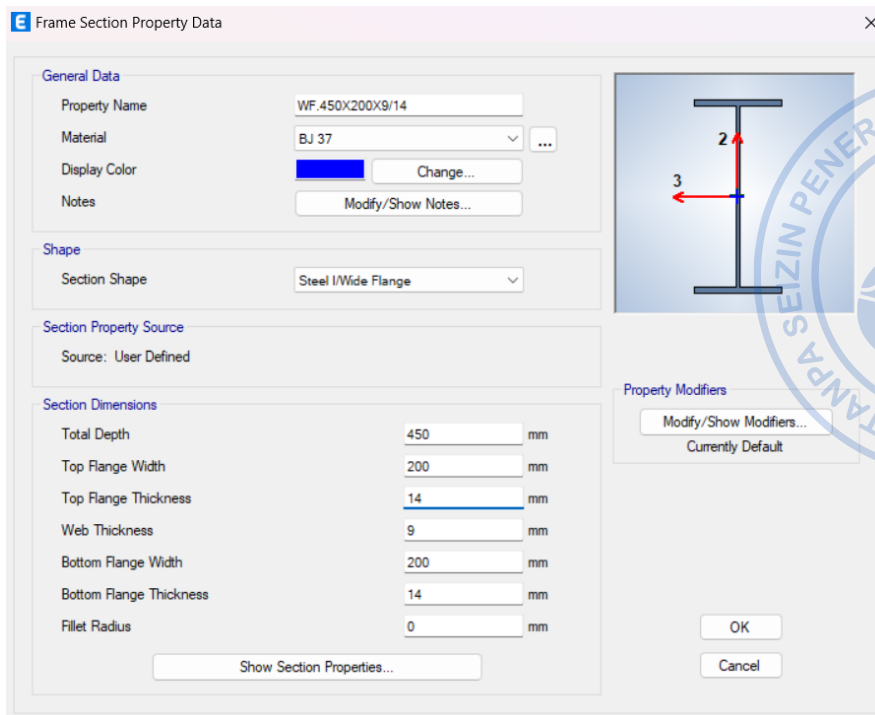
Gambar 2.33. Beberapa Template Bentuk Profil yang Diakomodir ETABS



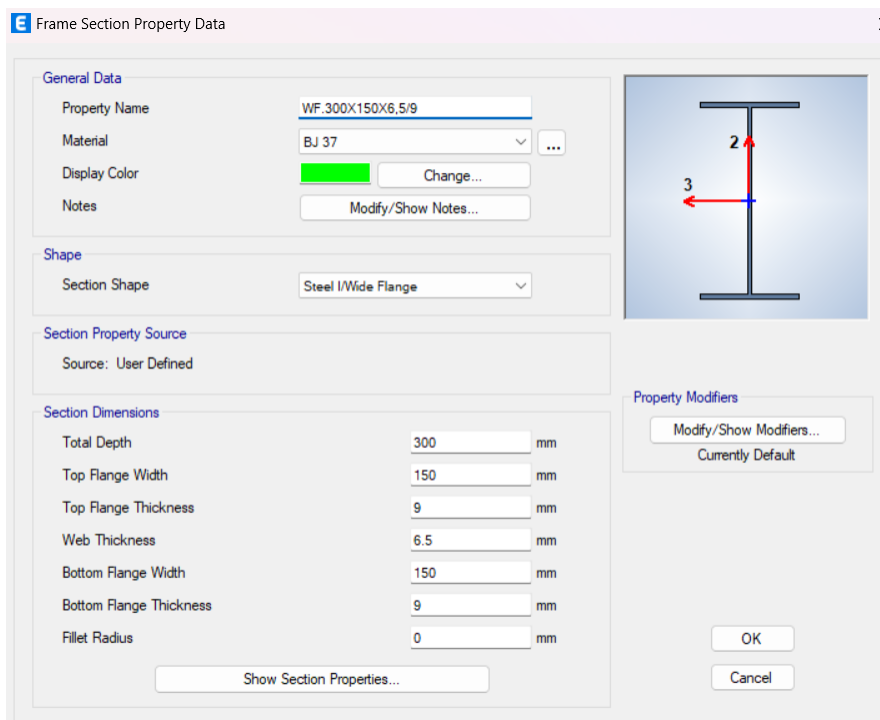
Gambar 2.34. Pemodelan WF.600X200X11/17



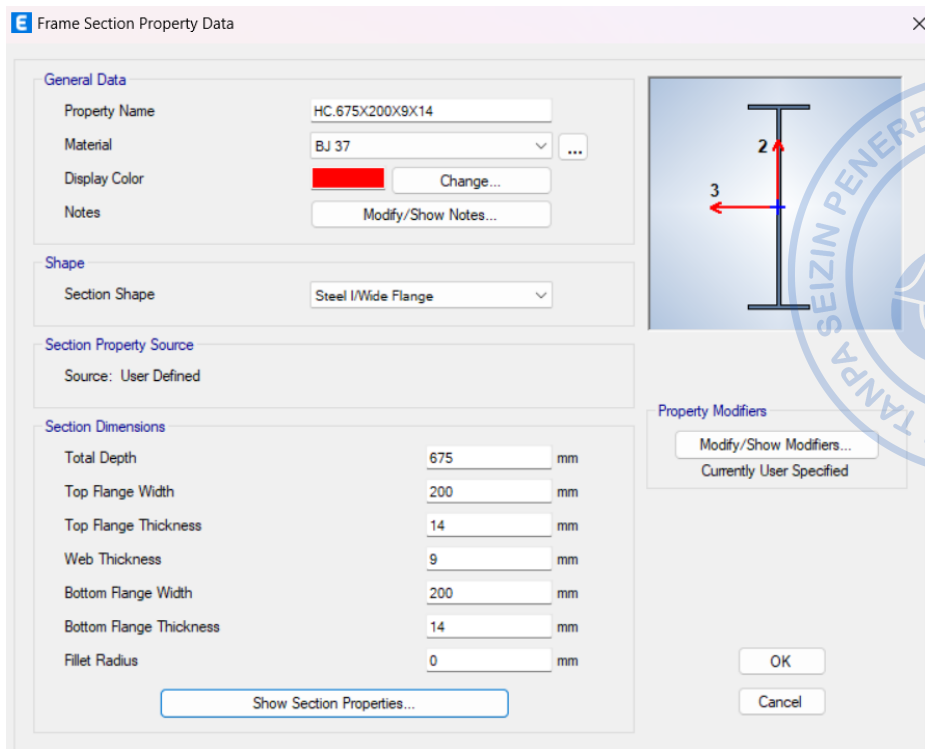
Gambar 2.35. Pemodelan WF.500X200X10/16



Gambar 2.36. Pemodelan WF.450X200X9/14

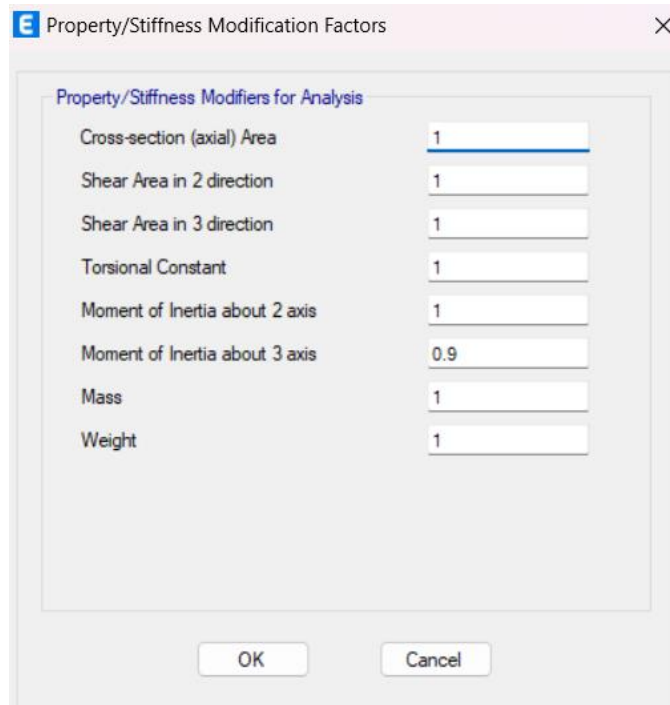


Gambar 2.37. Pemodelan WF.300X150X6,5/9

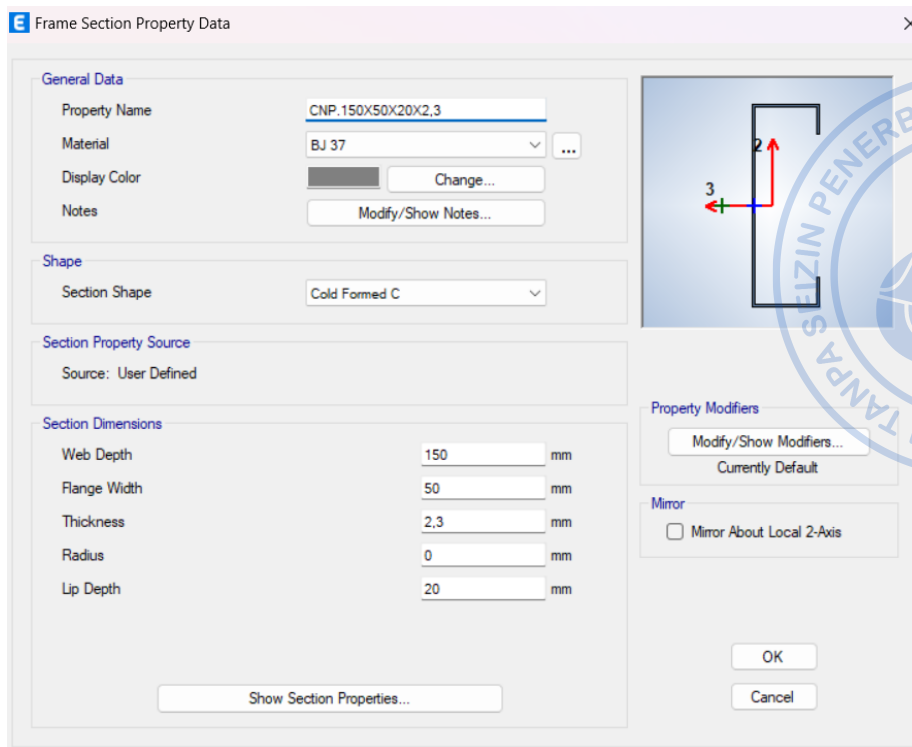


Gambar 2.38. Pemodelan HC.675X200X9/14

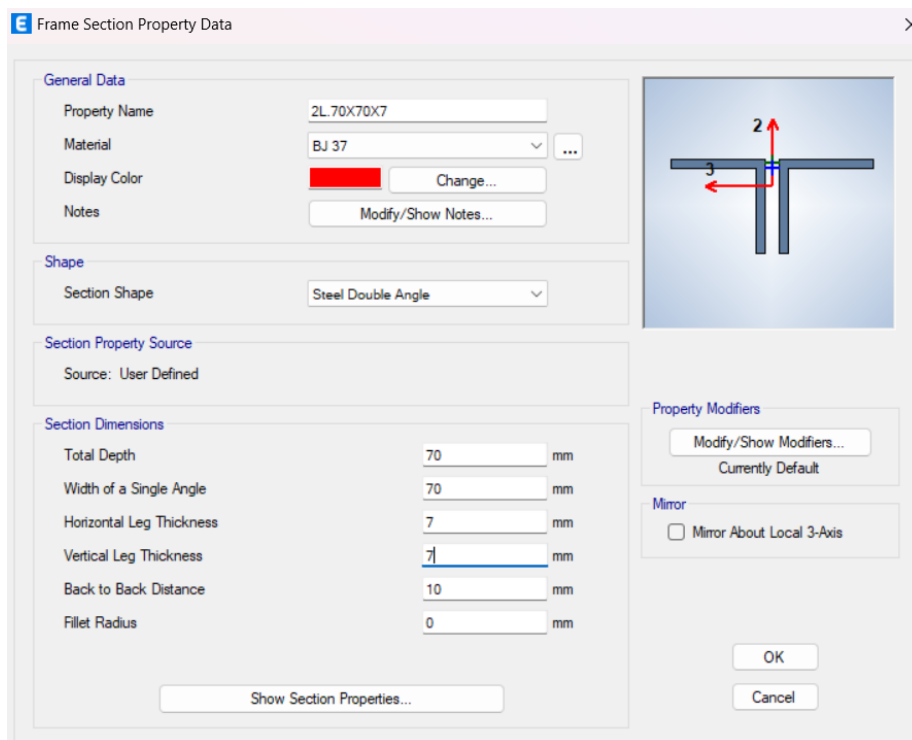
Momen inersia sumbu kuat (I_x) dari profil HC yang dimodelkan dengan profil WF, perlu dimodifikasi dengan *stiffness modifier* 0,9 (untuk I33). Hal ini dilakukan karena rasio momen inersia HC.676X200X9/14 dengan WF.675X200X9/14 adalah 0,9.



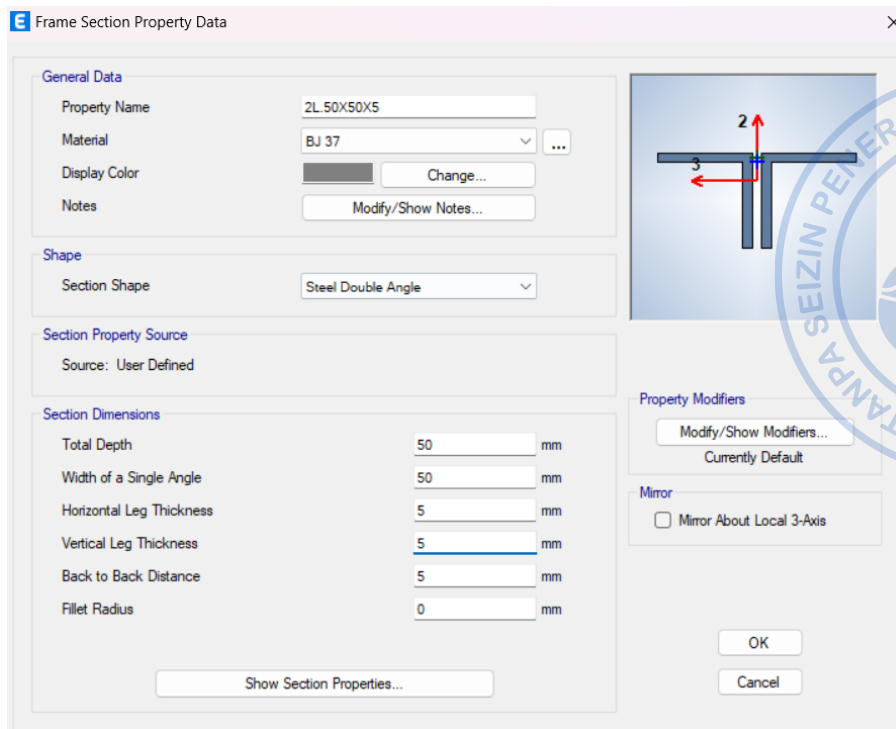
Gambar 2.39. *Stiffness Modifier* untuk HC.675X200X9/14



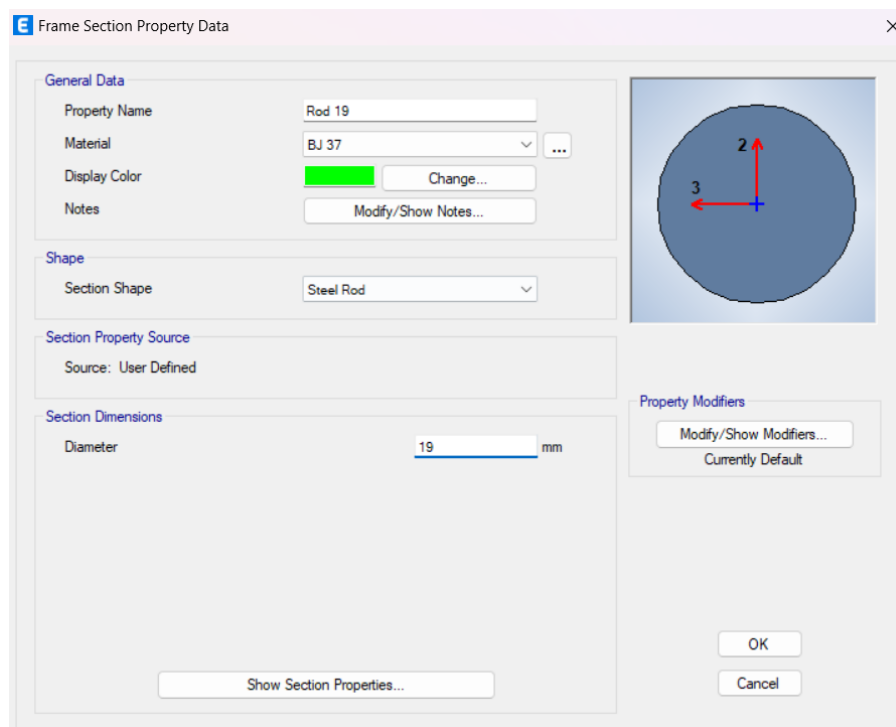
Gambar 2.40. Pemodelan CNP.150X50X20X2,3



Gambar 2.41. Pemodelan 2L.70X70X7



Gambar 2.42. Pemodelan 2L.50X50X5

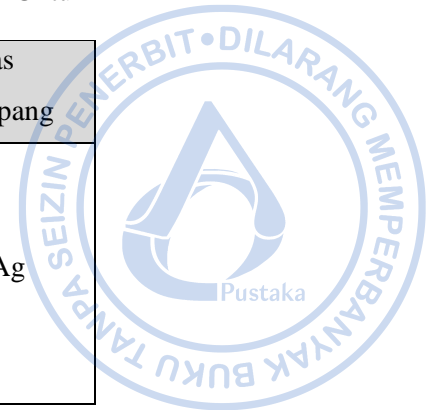


Gambar 2.43. Pemodelan Rod 25 mm

Kolom beton bertulang dibutuhkan untuk menopang kolom baja utama dan kolom *post*. Untuk struktur beton bertulang, kekakuan struktur perlu direduksi dengan beberapa faktor berdasarkan Tabel 6.6.3.1.1(a) atau Tabel 6.6.3.1.1(b) SNI 2847-2019. Secara konservatif faktor reduksi penampang dapat diambil berdasarkan Tabel 6.6.3.1.1(a) SNI 2847-2019 sebagai berikut:

Tabel 2.4.
Momen Inersia dan Luas Penampang yang Diizinkan Untuk
Analisis Elastis Pada Level Beban Terfaktor

Bagian dan Kondisi		Momen Inersia	Luas Penampang
Kolom		0.7 I _g	1.0 A _g
Dinding	Tidak Retak	0.7 I _g	
	Retak	0.35 I _g	
Balok		0.35 I _g	
Pelat datar dan slab datar		0.25 I _g	



Penentuan properti penampang kolom dapat dilakukan dengan *Define – Section Properties – Frame Sections – Add New Property – Concrete Rectangular*. Properti penampang dapat ditentukan sebagai berikut.

Properti Kolom K60X80

Mutu Material = K-300 ($f_c' = 25$ MPa)
 Mutu Baja Tulangan = BJTS420B

Di awal jumlah tulangan untuk kolom diasumsikan sebesar 1% A_g, sehingga:

Tinggi kolom, c_1	=	800	mm
Lebar kolom, c_2	=	600	mm
Luas kolom, A _g	=	$c_1 \times c_2 =$	480000 mm ²
Rasio penulangan, ρ	=	1%	
Luas tulangan yang dibutuhkan	A _s	=	1% A _g
	A _s	=	4800 mm ²
Dimensi tulangan	d _b	=	19
Luas tulangan	A _{s1}	=	283,5 mm ²
Jumlah tulangan	n	=	18
Faktor modifikasi kekakuan	=		0,7

Frame Section Property Data

General Data

Property Name: K60X80

Material: K-300

Notional Size Data: Modify/Show Notional Size...

Display Color: Change...

Notes: Modify/Show Notes...

Shape

Section Shape: Concrete Rectangular

Section Property Source

Source: User Defined

Section Dimensions

Depth: 800 mm

Width: 600 mm

Property Modifiers

Modify/Show Modifiers...
Currently Default

Reinforcement

Modify/Show Rebar...

OK
Cancel

Show Section Properties...

Include Automatic Rigid Zone Area Over Column

Frame Section Property Reinforcement Data

Design Type

P-M2-M3 Design (Column)

M3 Design Only (Beam)

Rebar Material

Longitudinal Bars: BJTS420B

Confinement Bars (Ties): BJTS420B

Reinforcement Configuration

Rectangular

Circular

Confinement Bars

Ties

Spirals

Check/Design

Reinforcement to be Checked

Reinforcement to be Designed

Longitudinal Bars

Clear Cover for Confinement Bars: 40 mm

Number of Longitudinal Bars Along 3-dir Face: 5

Number of Longitudinal Bars Along 2-dir Face: 6

Longitudinal Bar Size and Area: D19 287 mm²

Comer Bar Size and Area: D19 287 mm²

Confinement Bars

Confinement Bar Size and Area: D10 71 mm²

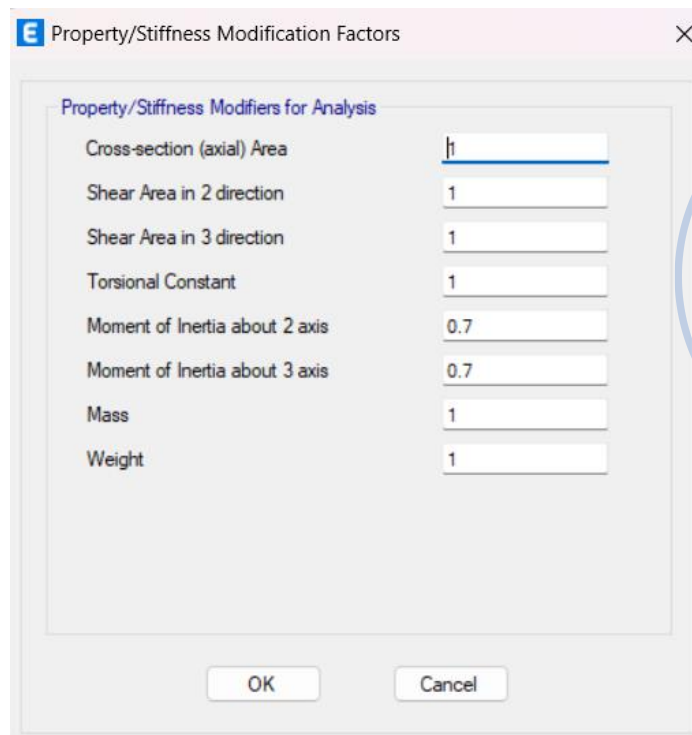
Longitudinal Spacing of Confinement Bars (Along 1-Axis): 152.4 mm

Number of Confinement Bars in 3-dir: 3

Number of Confinement Bars in 2-dir: 3

OK
Cancel

Gambar 2.44. Pemodelan Penampang Kolom K60X80



Gambar 2.45. Modifikasi Kekakuan untuk K60X80

Properti Kolom K40X70

Mutu Material = K-300 ($f_c' = 25 \text{ MPa}$)

Mutu Baja Tulangan = BJTS420B

Di awal jumlah tulangan untuk kolom diasumsikan sebesar $1\% A_g$, sehingga:

Tinggi kolom, c_1 = 700 mm

Lebar kolom, c_2 = 400 mm

Luas kolom, A_g = $c_1 \times c_2 = 280000 \text{ mm}^2$

Rasio penulangan, ρ = 1%

Luas tulangan yang dibutuhkan $A_s = 1\% A_g$

$A_s = 2800 \text{ mm}^2$

Dimensi tulangan $d_b = 16$

Luas tulangan $A_{s1} = 201,1 \text{ mm}^2$

Jumlah tulangan $n = 14$

Faktor modifikasi kekakuan = 0,7

E Frame Section Property Data

General Data

Property Name: K40X70
 Material: K-300
 Notional Size Data: Modify/Show Notional Size...
 Display Color: Change...
 Notes: Modify/Show Notes...

Shape

Section Shape: Concrete Rectangular

Section Property Source

Source: User Defined

Section Dimensions

Depth: 700 mm
 Width: 400 mm

Property Modifiers

Modify/Show Modifiers...
 Currently User Specified

Reinforcement

Modify/Show Rebar...

OK
 Cancel

Show Section Properties...

Include Automatic Rigid Zone Area Over Column

E Frame Section Property Reinforcement Data

Design Type

P-M2-M3 Design (Column)
 M3 Design Only (Beam)

Rebar Material

Longitudinal Bars: BJTS420B
 Confinement Bars (Ties): BJTS420B

Reinforcement Configuration

Rectangular
 Circular

Confinement Bars

Ties
 Spirals

Check/Design

Reinforcement to be Checked
 Reinforcement to be Designed

Longitudinal Bars

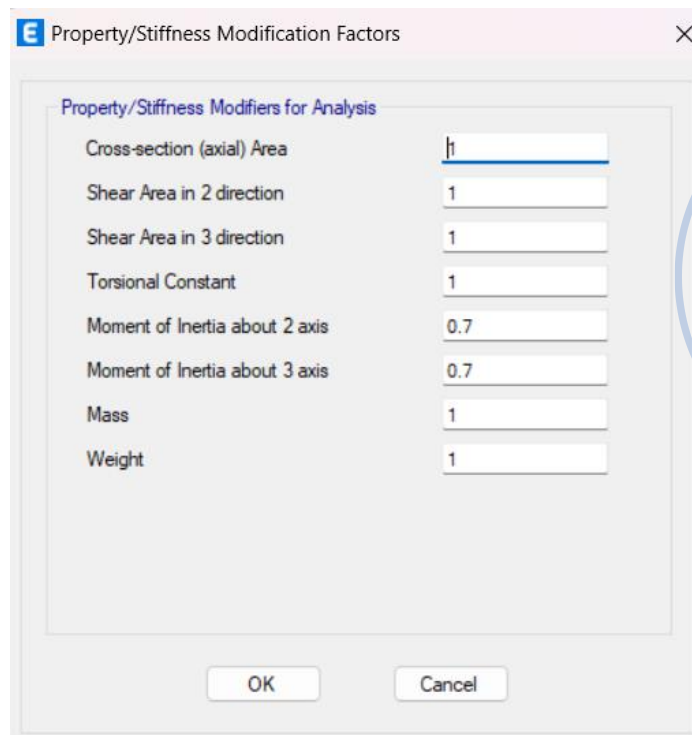
Clear Cover for Confinement Bars: 40 mm
 Number of Longitudinal Bars Along 3-dir Face: 3
 Number of Longitudinal Bars Along 2-dir Face: 6
 Longitudinal Bar Size and Area: D16 199 mm²
 Corner Bar Size and Area: D16 199 mm²

Confinement Bars

Confinement Bar Size and Area: D10 71 mm²
 Longitudinal Spacing of Confinement Bars (Along 1-Axis): 150 mm
 Number of Confinement Bars in 3-dir: 2
 Number of Confinement Bars in 2-dir: 3

OK
 Cancel

Gambar 2.46. Pemodelan Penampang Kolom K40X70



Gambar 2.47. Modifikasi Kekakuan untuk K40X70

Properti *Tie Beam* TB20/30

Mutu Material	=	K-300 ($f_c' = 25$ MPa)
Mutu Baja Tulangan	=	BJTS420B
Dia. Tulangan Geser, d_s	=	10 mm
Dia. Tulangan Long., d_b	=	16 mm
Clear cover, c_c	=	40 mm
Cover to longitudinal bar	=	$c_c + d_s + d_b$
	=	$40 + 10 + 0,5 \cdot 16$
	=	58 mm
Faktor modifikasi kekakuan	=	0,35

E Frame Section Property Data

General Data

Property Name: TB20/30

Material: K-300

Notional Size Data: Modify/Show Notional Size...

Display Color: Change...

Notes: Modify/Show Notes...

Shape

Section Shape: Concrete Rectangular

Section Property Source

Source: User Defined

Section Dimensions

Depth: 300 mm

Width: 200 mm

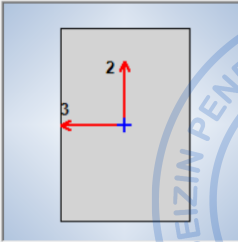
Property Modifiers: Modify/Show Modifiers... (Currently Default)

Reinforcement: Modify/Show Rebar...

OK Cancel

Include Automatic Rigid Zone Area Over Column

Show Section Properties...



E Frame Section Property Reinforcement Data

Design Type

P-M2-M3 Design (Column)

M3 Design Only (Beam)

Rebar Material

Longitudinal Bars: BJTS420B

Confinement Bars (Ties): BJTS420B

Cover to Longitudinal Rebar Group Centroid

Top Bars: 58 mm

Bottom Bars: 58 mm

Reinforcement Area Overwrites for Ductile Beams

Top Bars at I-End: 0 mm²

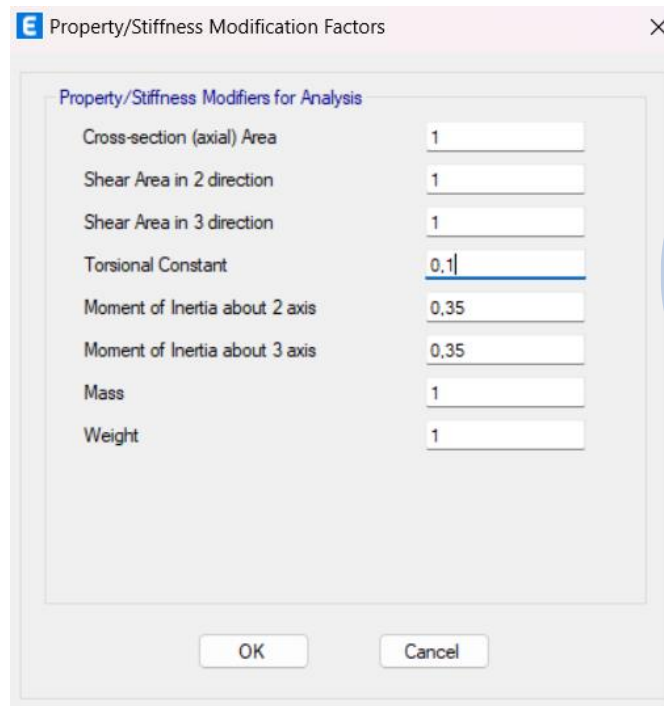
Top Bars at J-End: 0 mm²

Bottom Bars at I-End: 0 mm²

Bottom Bars at J-End: 0 mm²

OK Cancel

Gambar 2.48. Pemodelan Penampang TB20/30



Gambar 2.49. Modifikasi Kekakuan untuk TB20/30

G. PEMODELAN KOLOM K60X80 DAN K40X570

Permodelan elemen kolom dilakukan dengan cara klik *Draw* → *Draw Beam/Column/Brace Objects* → *Quick Draw Column*. Akan muncul tampilan seperti di bawah ini. Tentukan *Section Properties* kolom yang akan digunakan dan arah Kolom. Pilih *All Stories* pada bagian pojok kanan bawah.

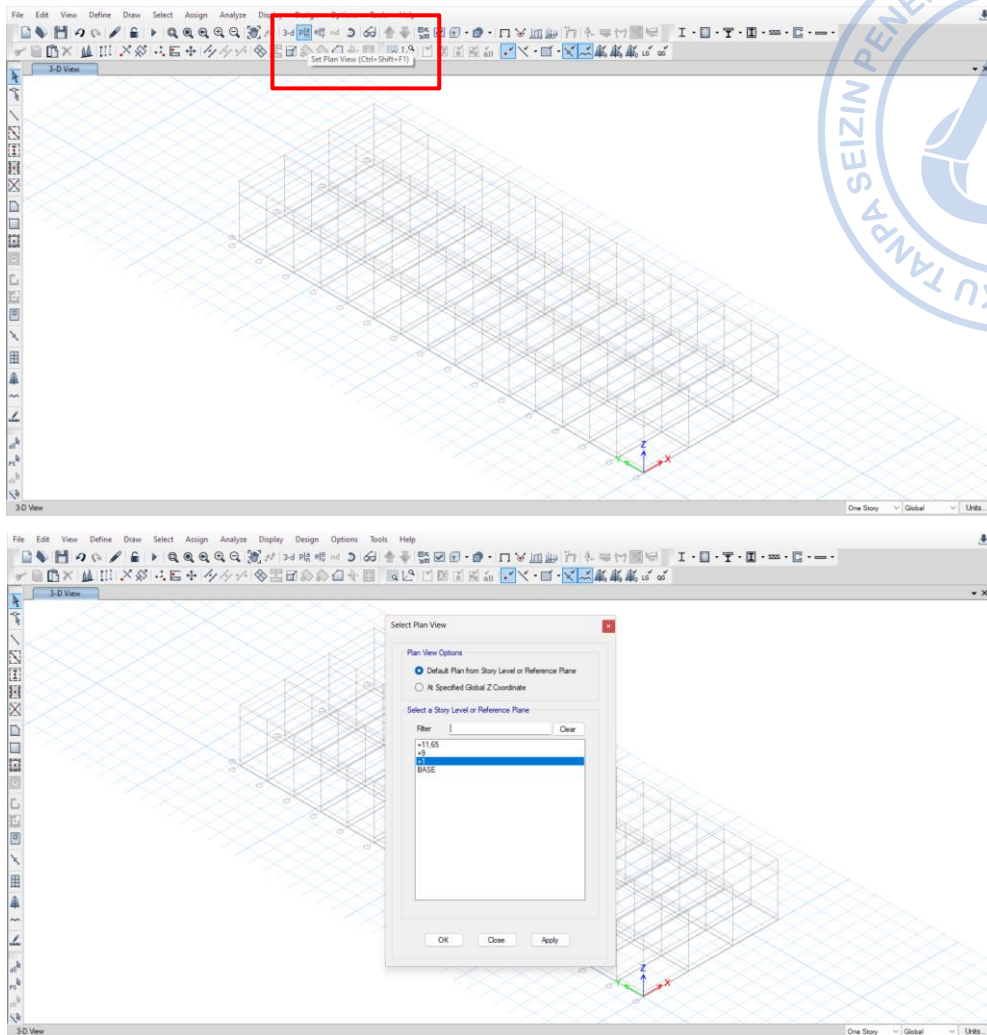
Properties of Object	
Property	K60X80
Moment Releases	Continuous
Angle, deg	0
Plan Offset X, mm	0
Plan Offset Y, mm	0
Cardinal Point	5 (Middle Center)
Draw Object Using	Grids

Gambar 2.50. Kolom K60X80 yang Dimodelkan

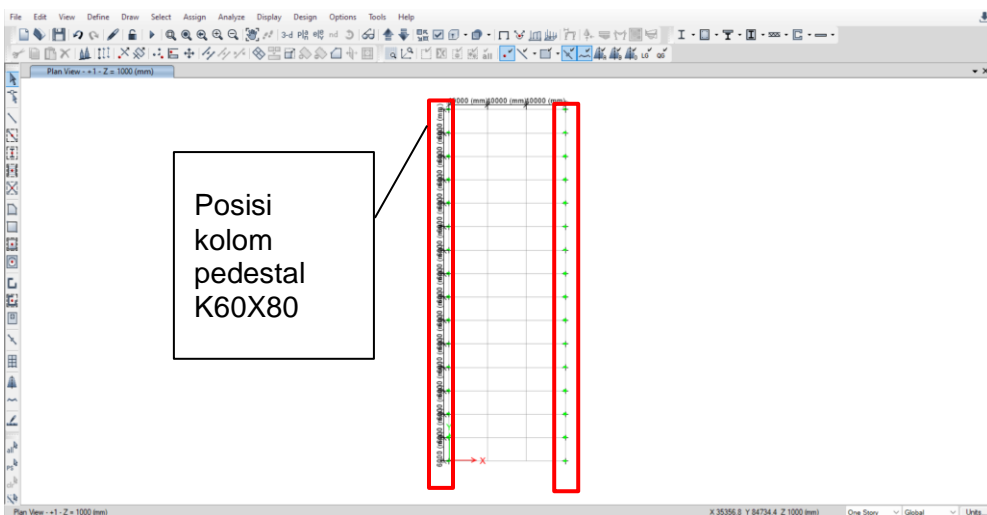
Properties of Object	
Property	K40X70
Moment Releases	Continuous
Angle, deg	0
Plan Offset X, mm	0
Plan Offset Y, mm	0
Cardinal Point	5 (Middle Center)
Draw Object Using	Grids

Gambar 2.51. Kolom K40X70 yang Dimodelkan

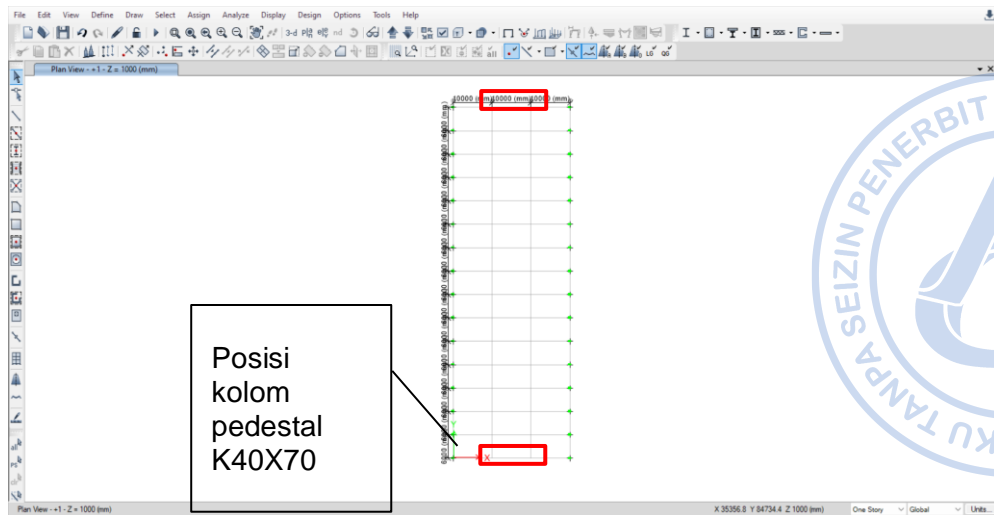
Masuk ke elevasi +1 di mana K60X80 dan K40X70 sebagai kolom pedestal akan berhenti, caranya dengan klik *View* → *Set Plan View* → Pilih +1. Lalu *drag* kursor di posisi di mana kolom dibutuhkan.



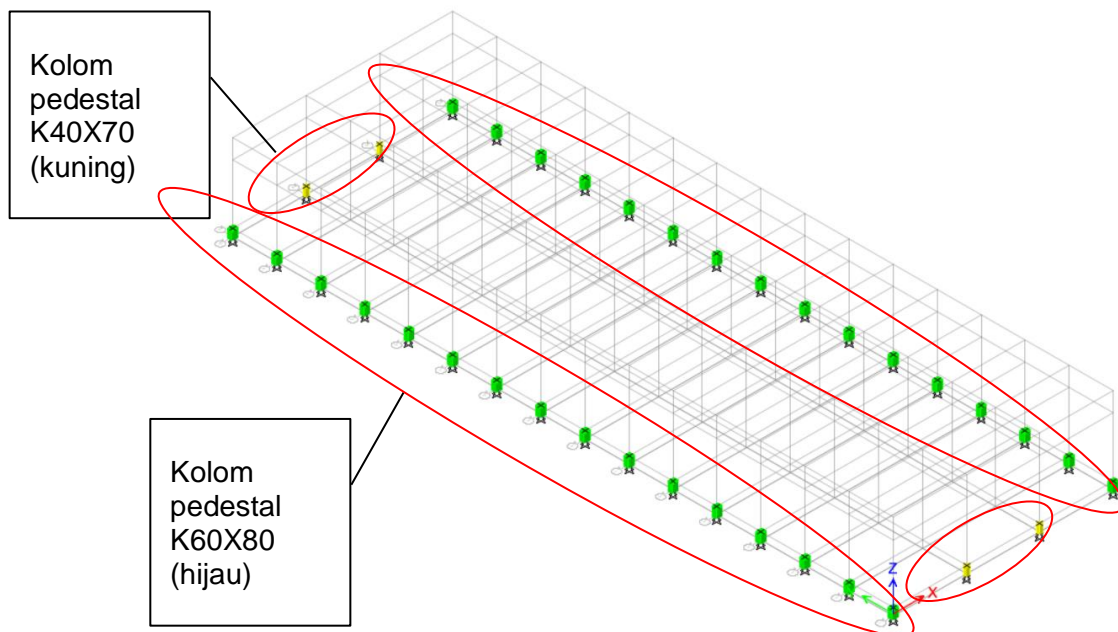
Gambar 2.52. Masuk Ke Elevasi +1



Gambar 2.53. Titik Kolom Pedestal K60X80

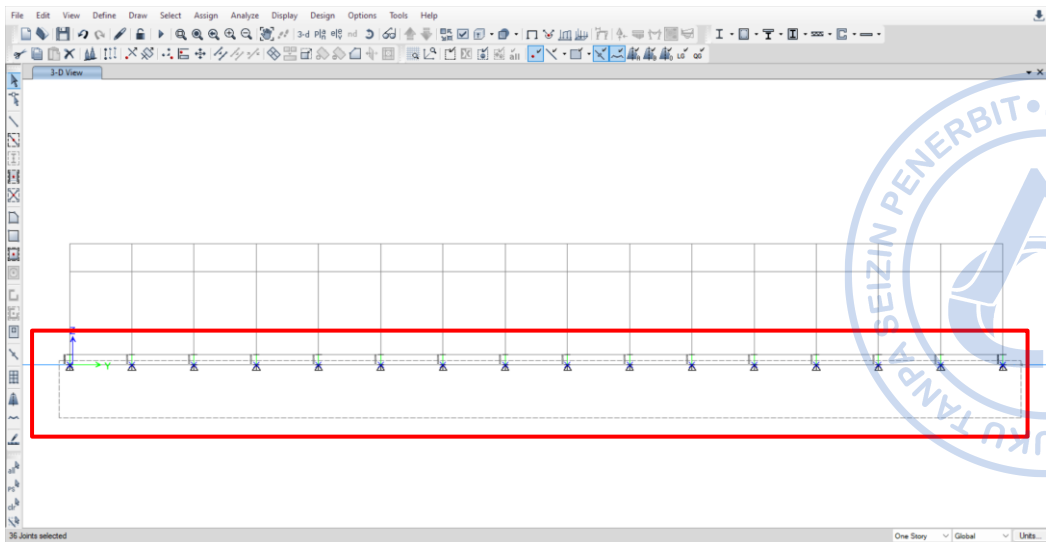


Gambar 2.54. Titik Kolom Pedestal K40X70

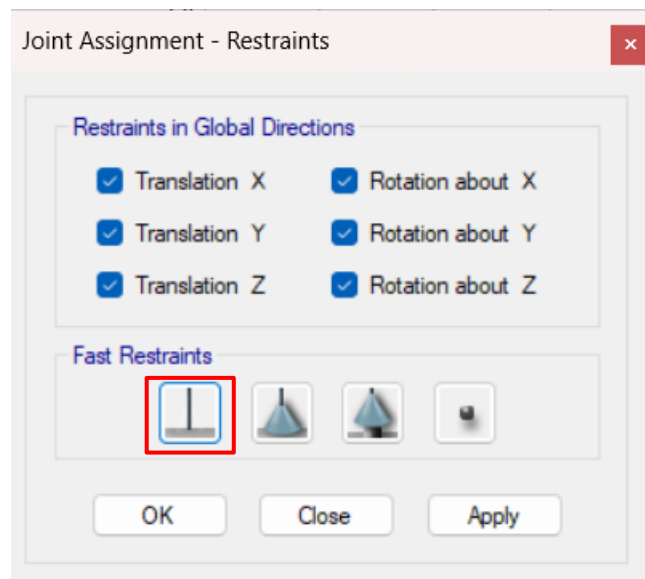
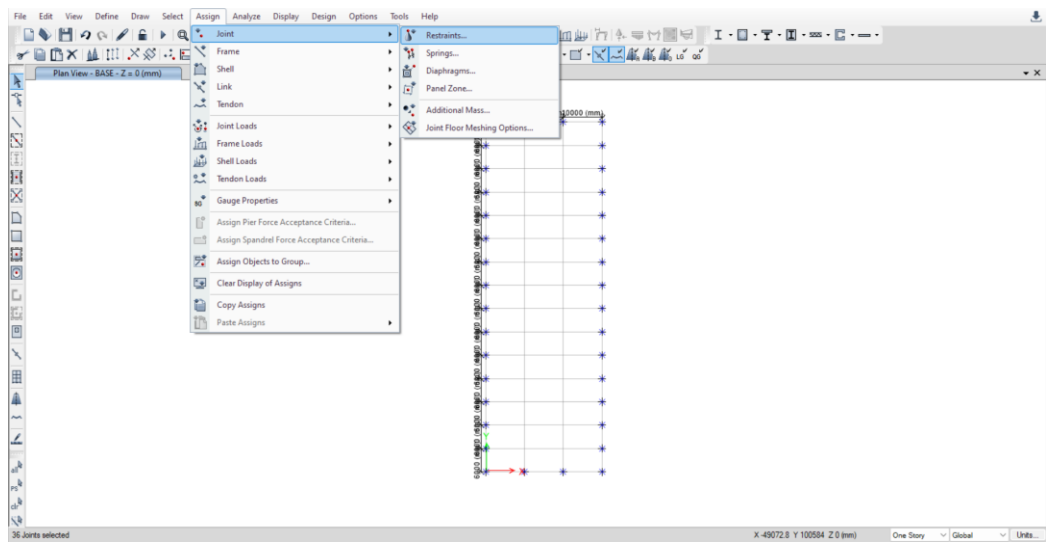


Gambar 2.55. Titik Kolom Pedestal yang Sudah Dimodelkan

Di permodelan awal, secara default tumpuan kolom akan bertipe sendi (*pinned*). Tumpuan kolom perlu diubah menjadi tumpuan jepit dengan cara *Select joint* bawah dari kolom pedestal → *Assign* → *Restraints* → *Fixed*.



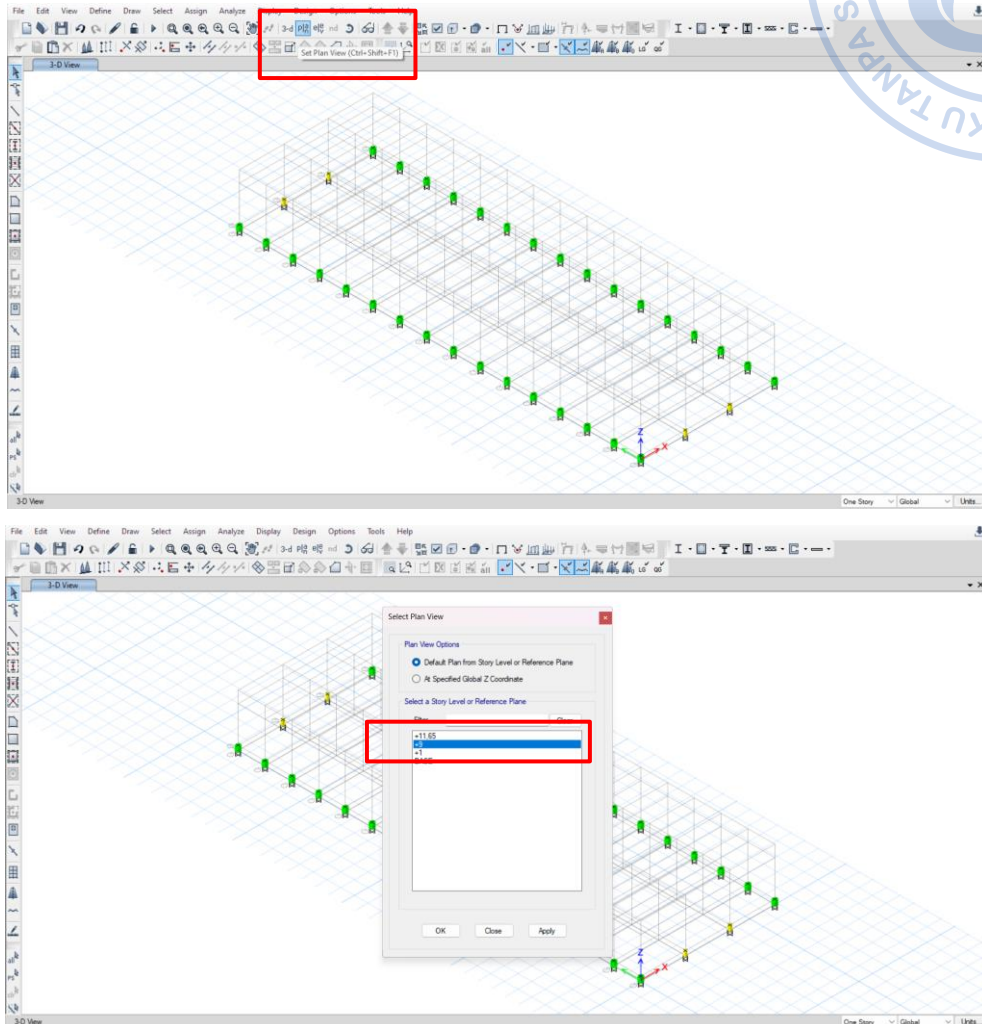
Gambar 2.56. Select Joint Bawah Kolom Pedestal



Gambar 2.57. Merubah Tumpuan Kolom Menjadi Jepit

H. PEMODELAN KOLOM WF.600X200X11/17 DAN KOLOM POST WF.450X200X9/14

Untuk pemodelan kolom baja langkah pertama yang perlu dilakukan adalah masuk ke elevasi +9 dengan cara klik *View* → *Set Plan View* → Pilih +9. Dari *view plan* yang telah ada, kolom bisa langsung dimodelkan dengan opsi klik *Draw* → *Draw Beam/Column/Brace Objects* → *Quick Draw Column*.



Gambar 2.58. Masuk Ke Elevasi +9

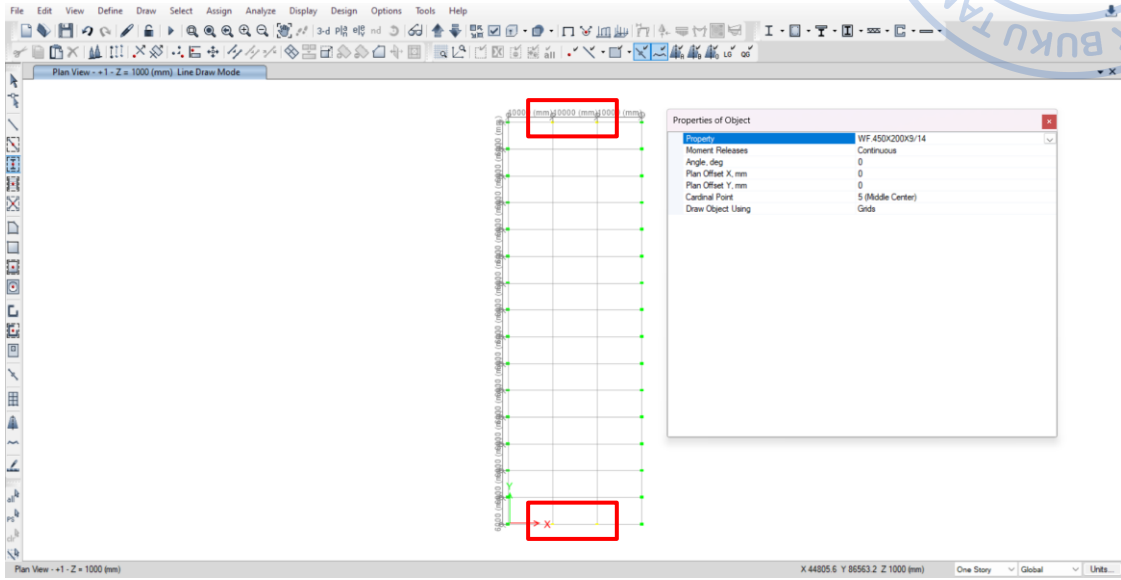
Adapun properti kolom yang dimodelkan perlu ditentukan saat opsi *Quick Draw Column* sudah diaktifkan. Properti WF.600X200X11/17 dan WF.450X200X9/14 disajikan sebagaimana gambar berikut.

Properties of Object	
Property	WF.600X200X11/17
Moment Releases	Continuous
Angle, deg	0
Plan Offset X, mm	0
Plan Offset Y, mm	0
Cardinal Point	5 (Middle Center)
Draw Object Using	Grids

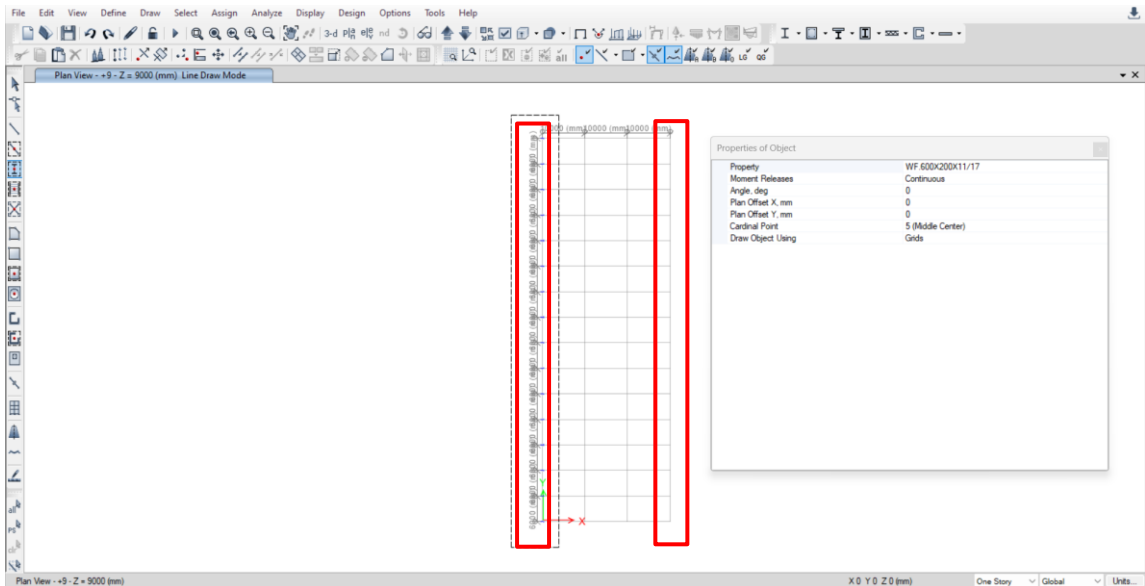
Gambar 2.59. Kolom WF.600X200X11/17 yang Dimodelkan

Properties of Object	
Property	WF.450X200X9/14
Moment Releases	Continuous
Angle, deg	0
Plan Offset X, mm	0
Plan Offset Y, mm	0
Cardinal Point	5 (Middle Center)
Draw Object Using	Grids

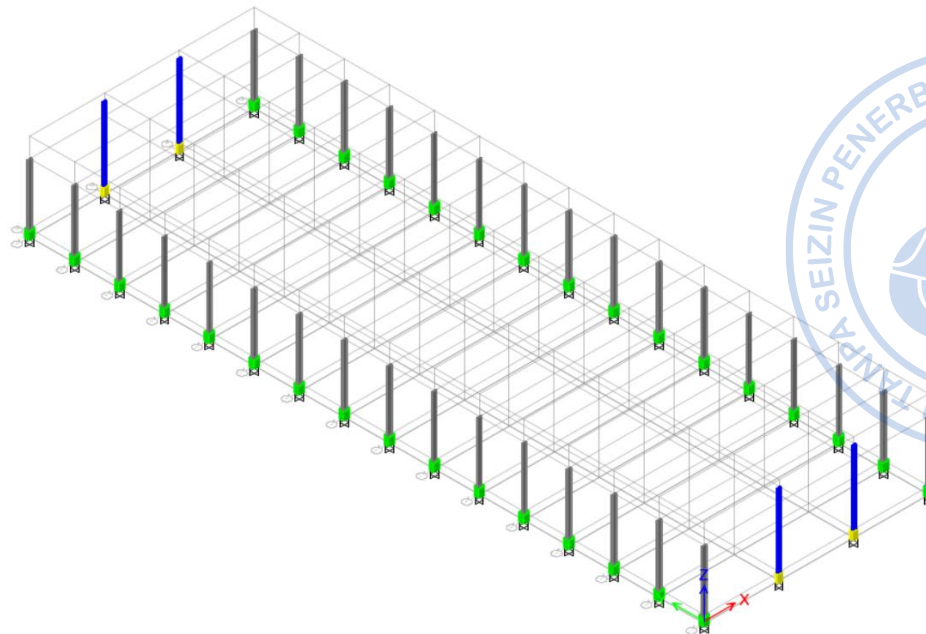
Gambar 2.60. Kolom WF.450X200X9/14 yang Dimodelkan



Gambar 2.61. Titik Kolom WF.450X200X9/14

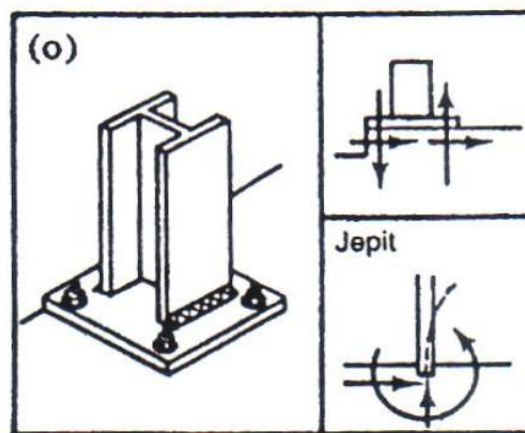


Gambar 2.62. Titik Kolom WF.600X200X11/17



Gambar 2.63. Kolom Baja yang Telah Dimodelkan

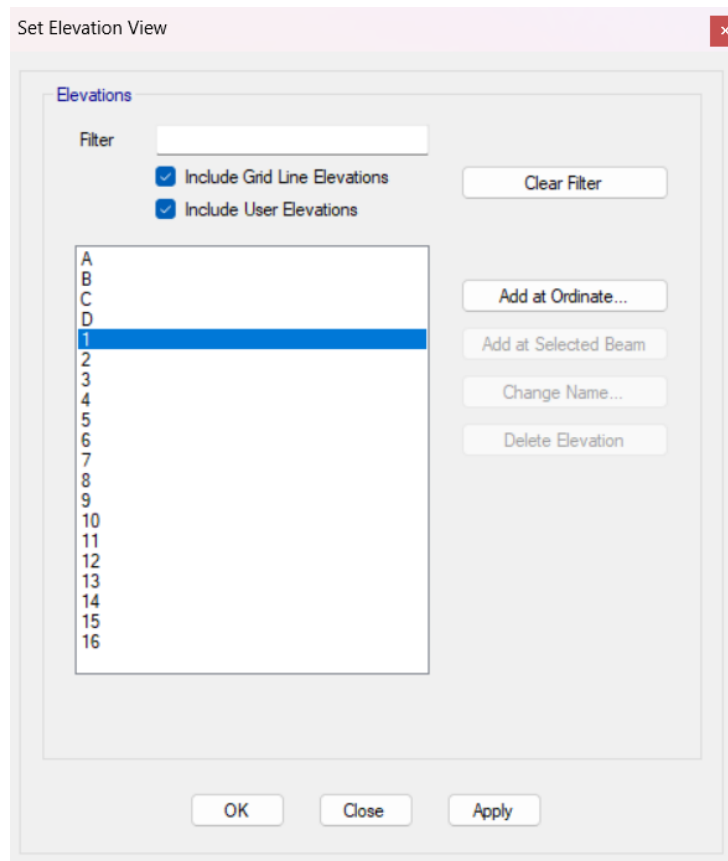
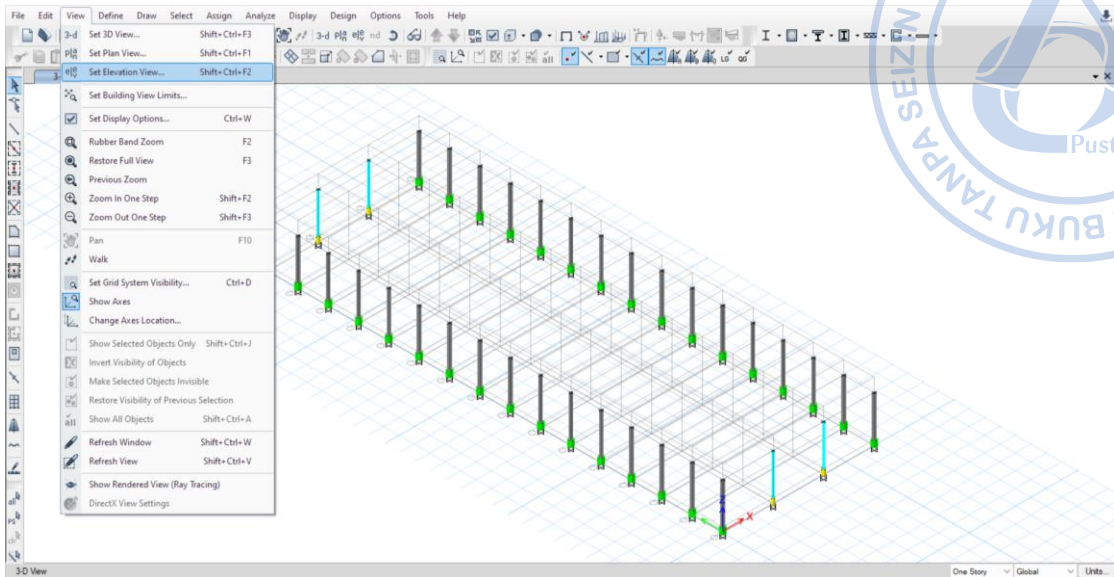
Pada model ini hubungan kolom baja ke kolom pedestal direncanakan menggunakan *base plate* bertipe jepit sehingga tidak diperlukan 'release' di bagian bawah kolom baja. Apabila *base plate* bertipe sendi maka diperlukan 'release' agar tidak terjadi momen di pangkal bawah kolom baja.



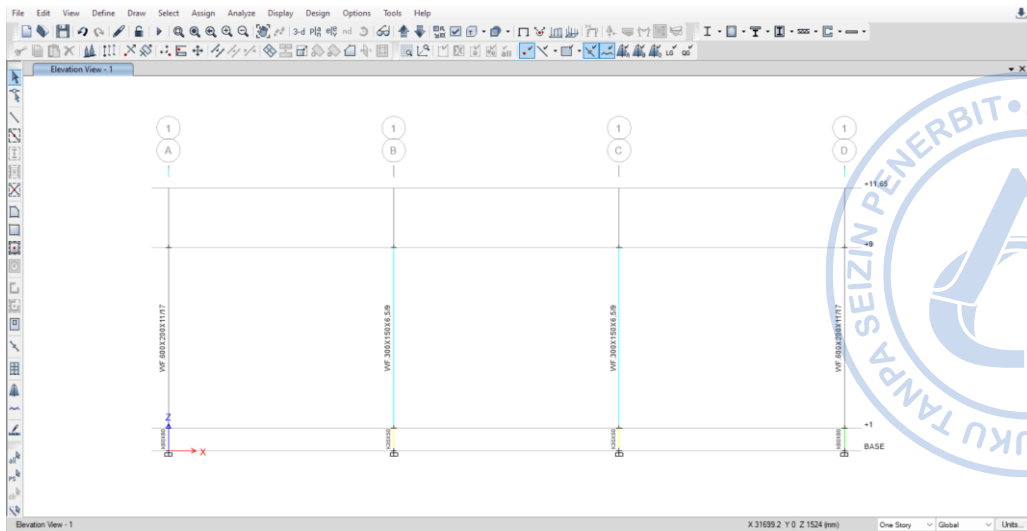
Gambar 2.64. Tipikal *Base Plate* Bertipe Jepit

I. PEMODELAN RAFTER HC.675X200X9/14

Sebelum memodelkan *rafter*, hal yang terlebih dahulu perlu dilakukan adalah mengatur elevation view di mana *rafter* akan dimodelkan. Hal tersebut dapat dilakukan dengan cara klik opsi *View* → *Set Elevation View* → Pilih 1, untuk menampilkan *Frame Axis 1* (arah melintang).

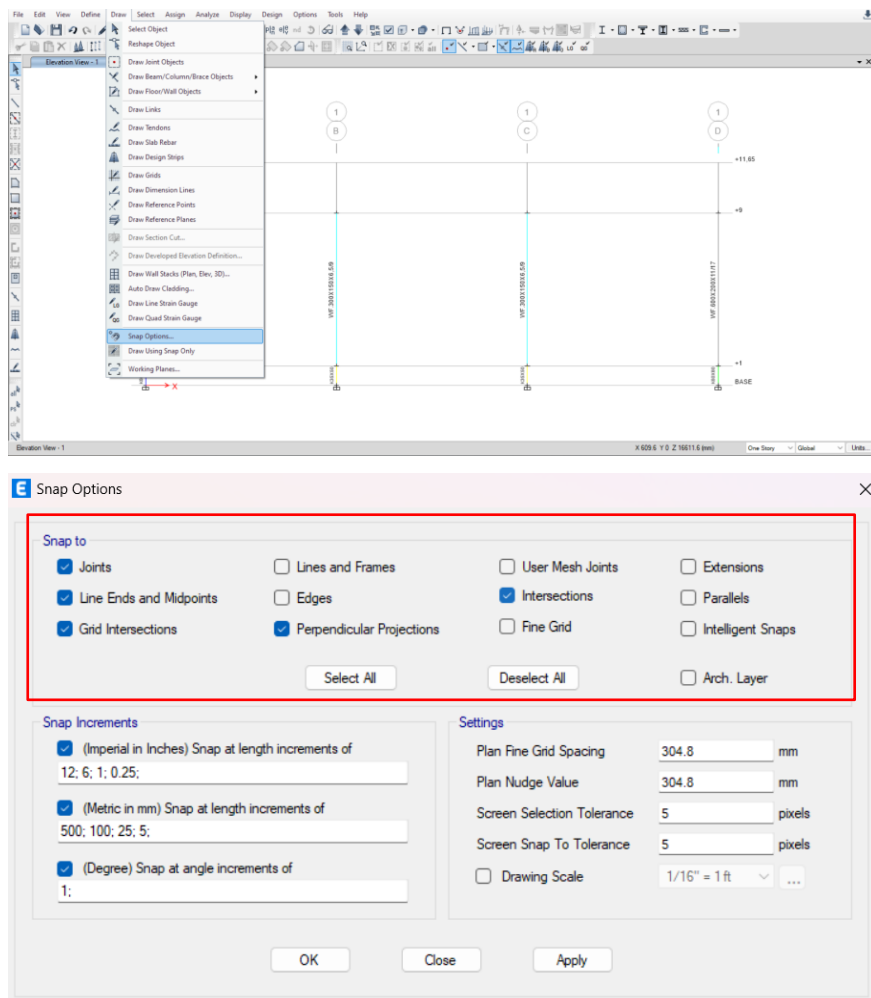


Gambar 2.65. Masuk Ke *Grid 1*



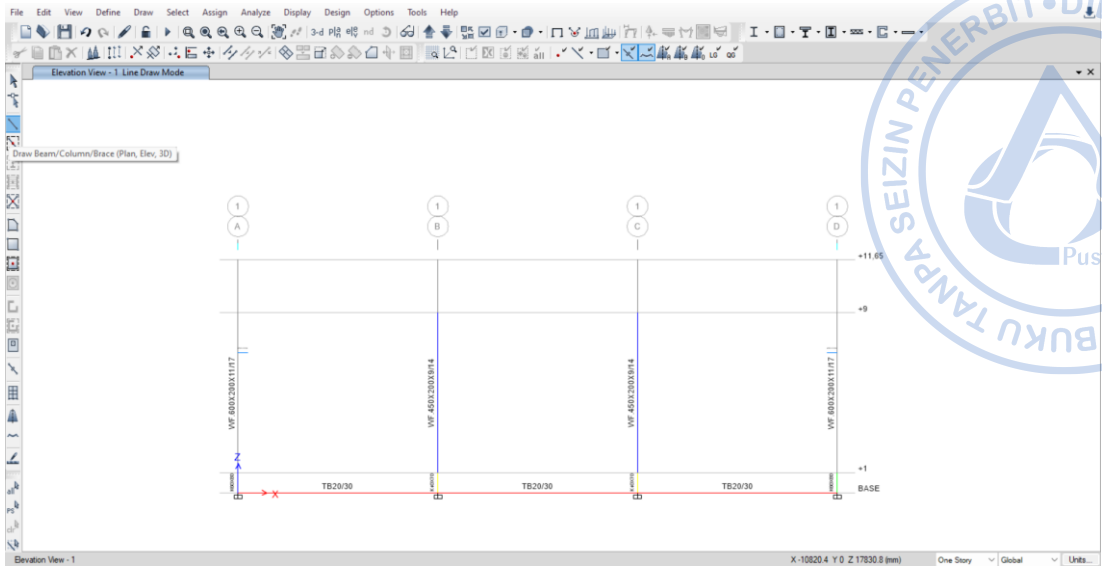
Gambar 2.66. Tampilan Grid 1

Untuk memudahkan pemodelan, maka *Snap Options* perlu diatur agar *frame* dapat dimodelkan dari satu titik tertentu ke titik lain yang dikehendaki. Pengaturan *Snap Options* dapat dilakukan dengan cara klik *Draw* → *Snap Options* → aktifkan opsi snap yang diinginkan.



Gambar 2.67. Pengaturan *Snap Options*

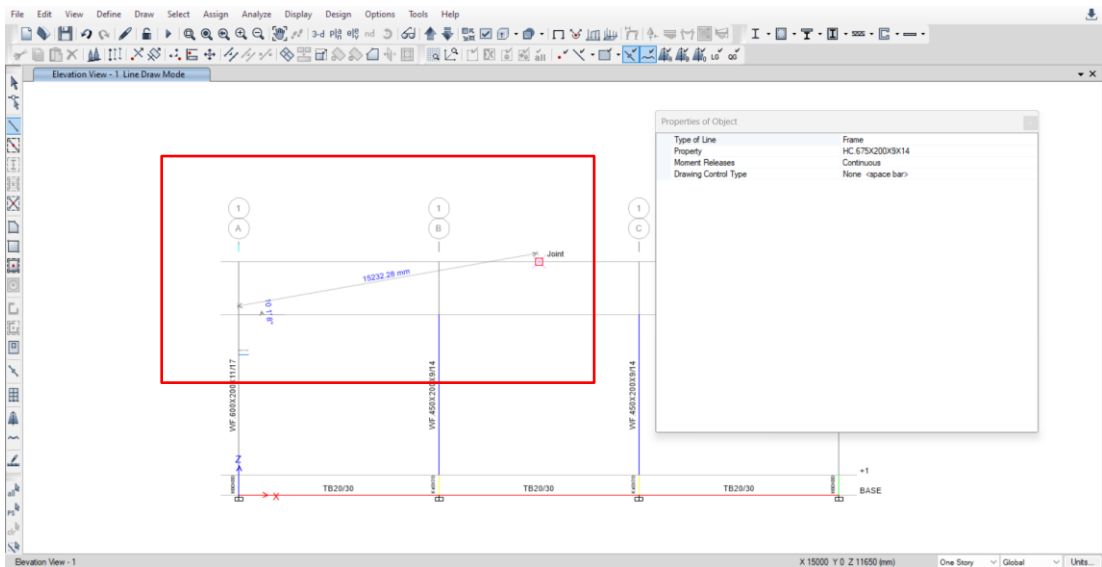
Modelkan rafter dengan cara klik *Draw/Column/Brace* (Plan, Elev, 3D) → hubungkan rafter dari *eaves* ke *apex* (*midpoint*).



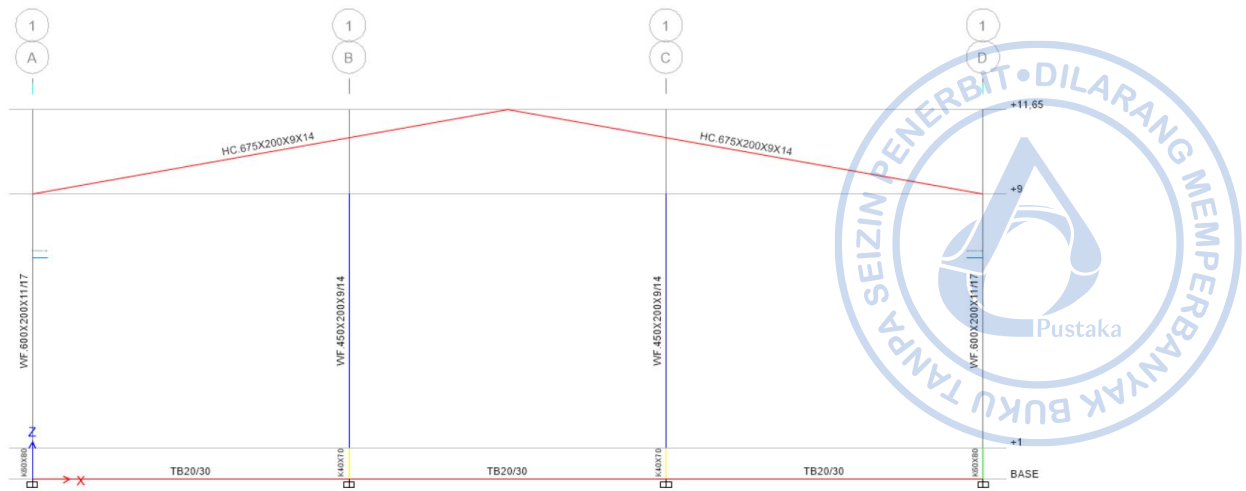
Gambar 2.68. *Draw/Column/Brace* (Plan, Elev, 3D)

Properties of Object	
Type of Line	Frame
Property	HC.675X200X9X14
Moment Releases	Continuous
Drawing Control Type	None <space bar>

Gambar 2.69. Properti *Rafter* yang Dimodelkan



Gambar 2.70. Hubungkan *Rafter* HC.675X200X9/14 ke Bagian Tengah Atap

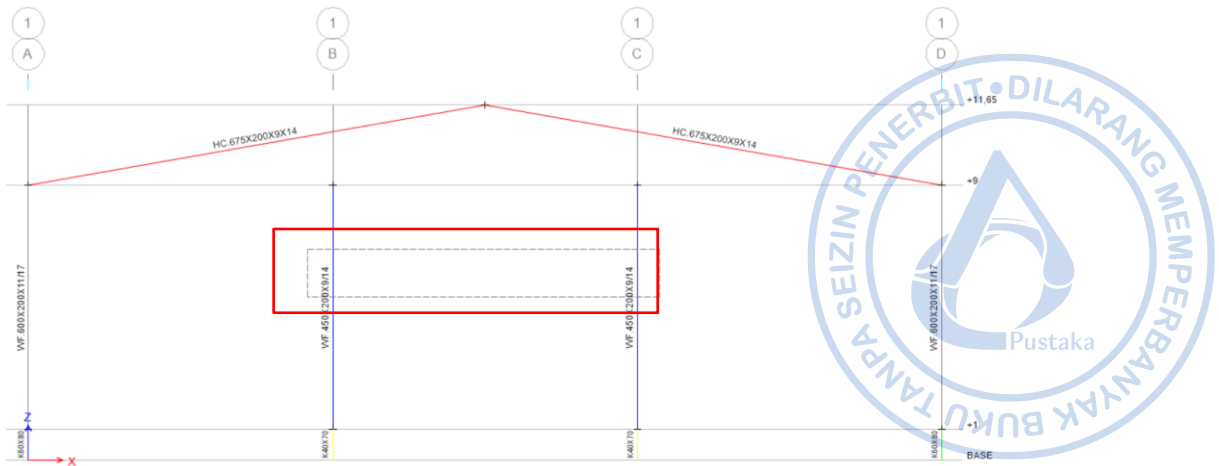


Gambar 2.71. Rafter HC.675X200X9/14 yang Telah Dimodelkan

Kolom *post* WF.450X200X9/14 masih belum terhubung dengan *rafter* atas. Untuk menghubungkan kolom *post* WF.450X200X9/14 dengan *rafter* HC.675X200X9/14 dapat dilakukan dengan opsi ‘*Extend Frame.*’ Hal tersebut dapat dilakukan dengan cara klik blok *joint* atas dari kolom *post* → Select kolom *post* → Select *rafter* → *Allign Joints/Frames/Edges* → *Extend Frame Objects.*



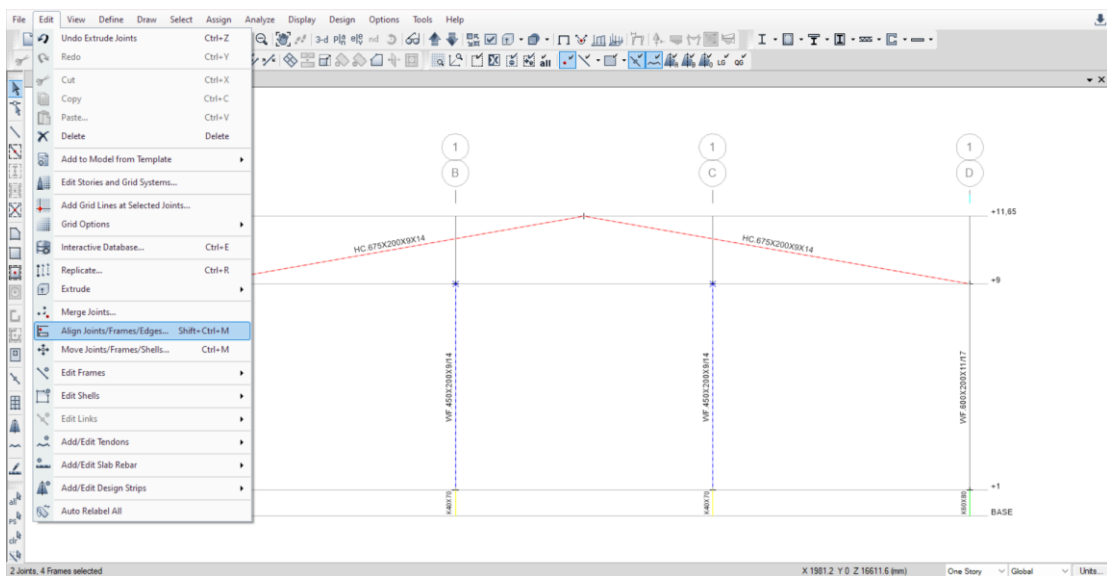
Gambar 2.72. Select Joint Atas Kolom Post



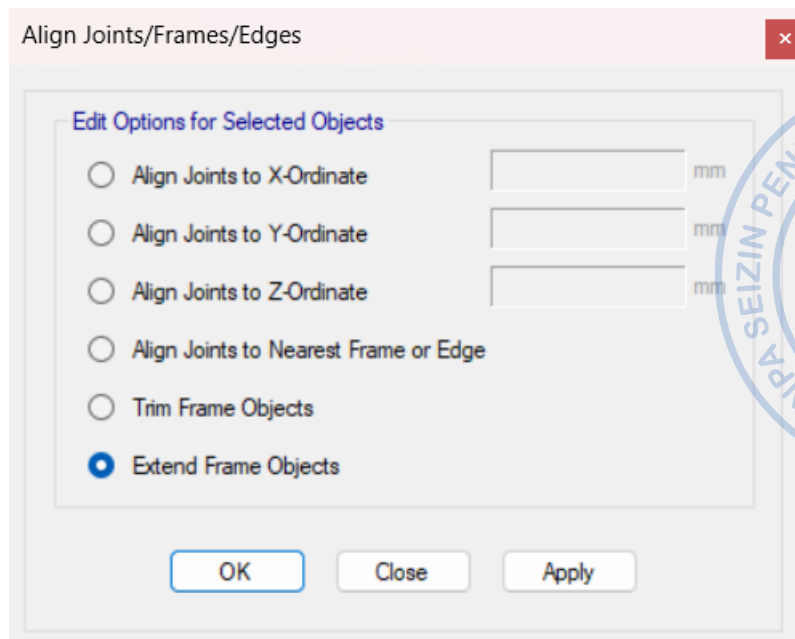
Gambar 2.73. Select Frame Kolom Post WF.450X200X9/14



Gambar 2.74. Select Frame Rafter HC.675X200X9/14



Gambar 2.75. Edit → Align Joints/Frames/Edges

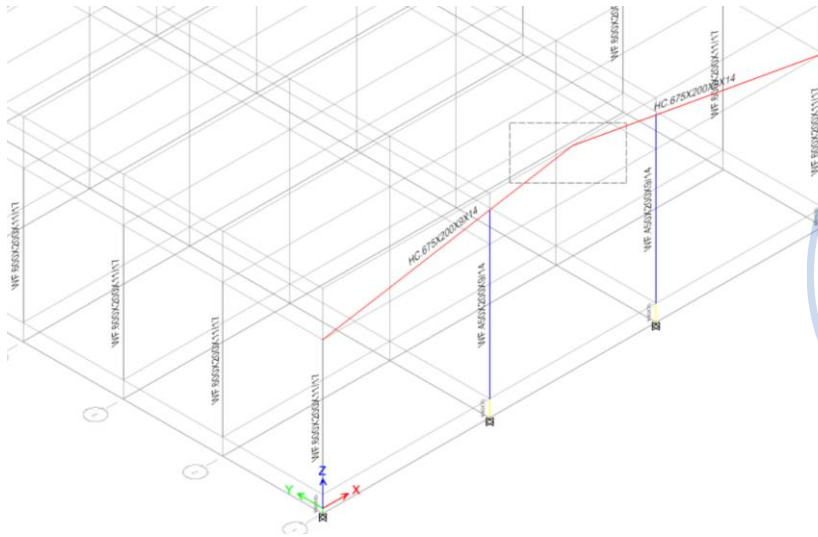


Gambar 2.76. *Extend Frame Objects*

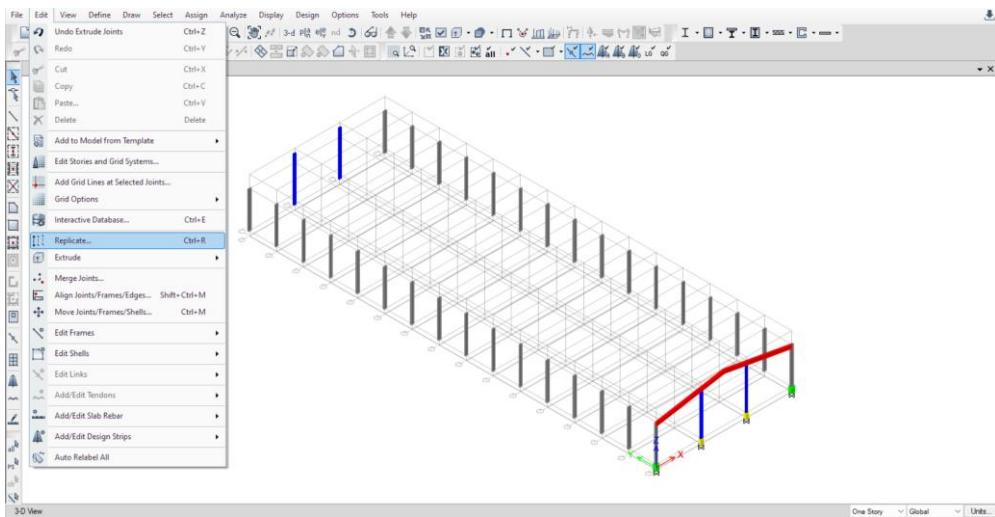


Gambar 2.77. Kolom *Post* Sudah Terhubung dengan *Rafter*

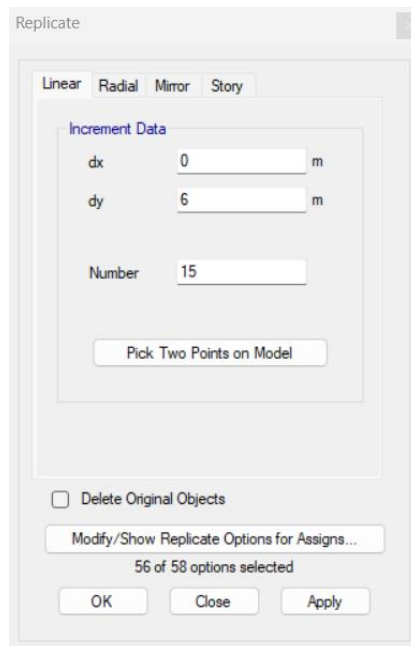
Untuk menggandakan *rafter* tersebut, select *rafter* yang akan digandakan → *Edit* → *Replicate* arah y (dy) → *Apply* → *OK*. Proses penggandaan dapat dilakukan baik pada arah x atau y maupun arah x dan y secara bersamaan. Hal yang perlu dimasukkan adalah jarak objek yang digandakan dari sumber aslinya serta jumlah penggandaan objek.



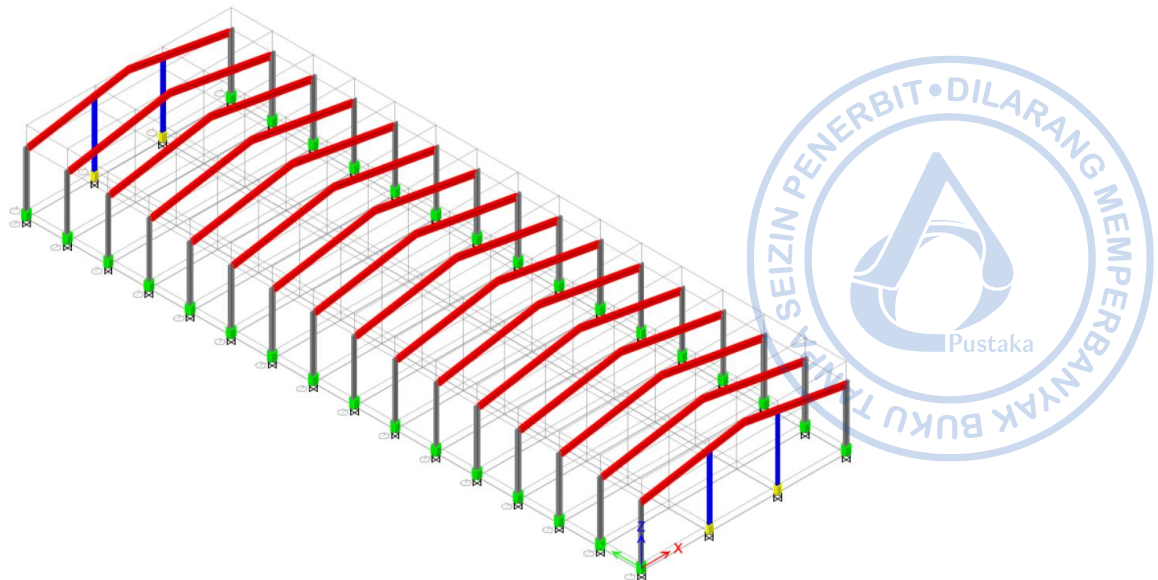
Gambar 2.78. Select Rafter



Gambar 2.79. Edit → Replicate



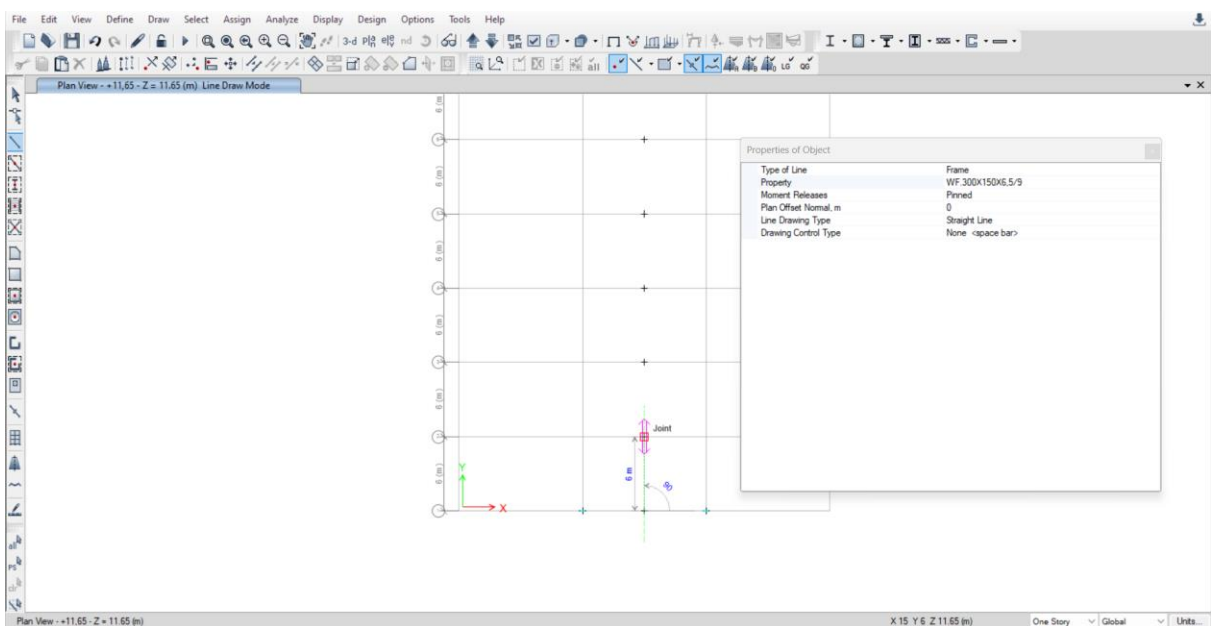
Gambar 2.80. Input Jarak Serta Jumlah Pengandaan



Gambar 2.81. Rafter yang Sudah Di-replicate

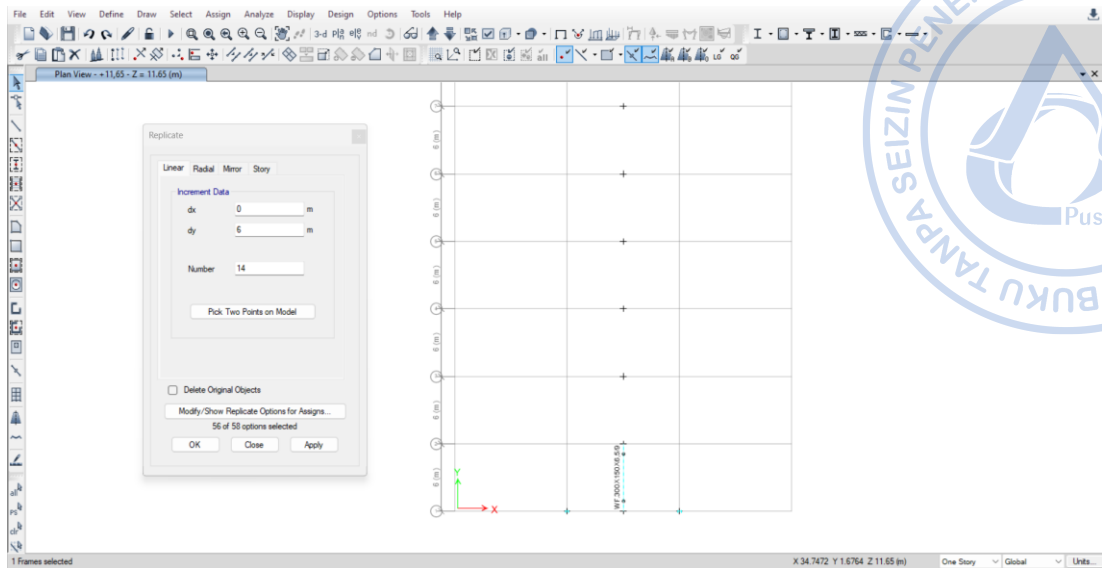
J. PEMODELAN NOK ATAP (RIDGE) WF.300X150X6,5/9 DAN RING BEAM WF.300X150X6,5/9

Nok atap atau biasa disebut *ridge* diperlukan untuk menghubungkan satu *rafter* dengan *rafter* yang lainnya. Nok atap dimodelkan menggunakan WF.300X150X6,5/9 dan dihubungkan secara sederhana (*pinned*) antar *rafter*. Hal ini dilakukan pertemuan nok atap dengan *rafter* dihubungkan melalui *gusset plate* yang hanya dapat menahan gaya geser dan tidak menahan momen. Pemodelan nok atap dapat dilakukan dengan mengatur *View Plan* terlebih dahulu dengan cara klik opsi *View* → *Set Plan View* → Pilih +11,65 (Top Atap). WF.300X150X6,5/9 dapat dihubungkan dari satu titik pertemuan *rafter* dengan titik yang lain dengan cara klik *Draw/Column/Brace* (Plan, Elev, 3D) → Atur properti yang dikehendaki → Hubungkan *frame* dari satu titik ke titik yang lain.

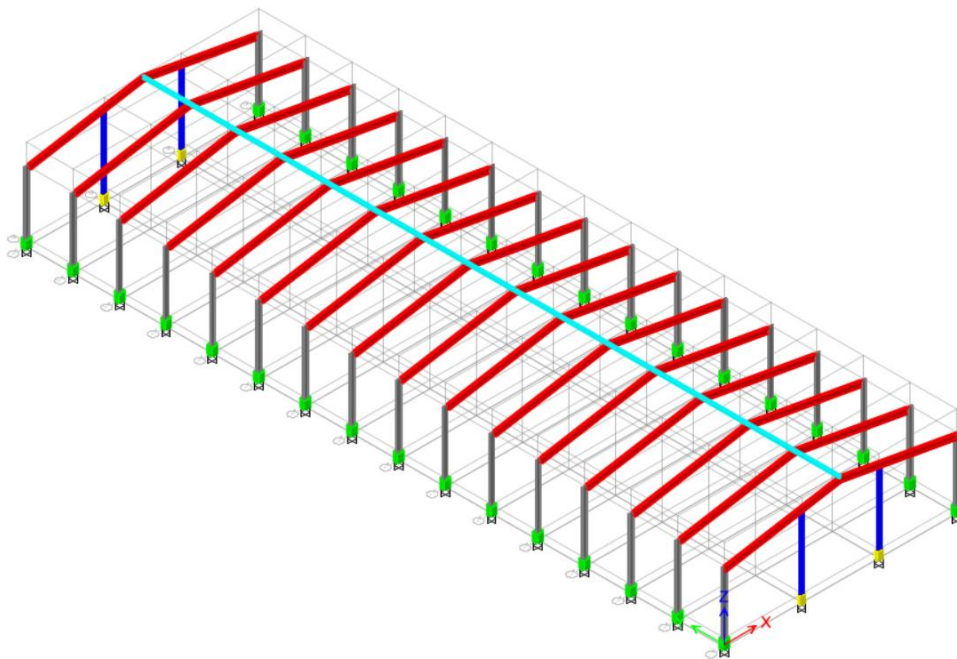


Gambar 2.82. Pemodelan Nok Atap WF.300X150X6,5/9

Pasca satu nok atap selesai dimodelkan, lakukan penggandaan untuk memodelkan nok atap pada keseluruhan bangunan dengan cara *select ridge* yang akan digandakan → *Edit* → *Replicate* → *Input* jarak dan jumlah penggandaan → *Apply* → *OK*.

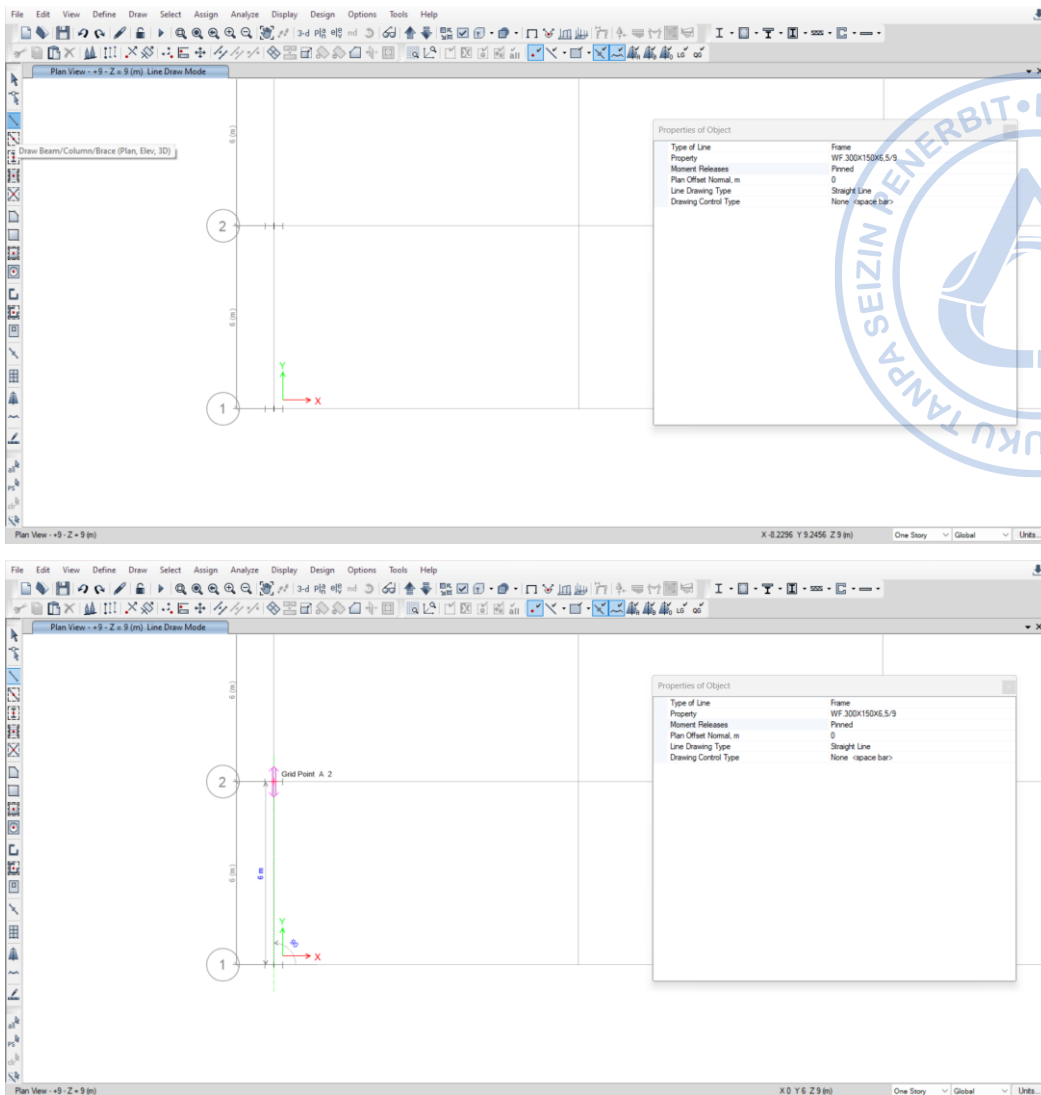


Gambar 2.83. *Select Ridge* → *Replicate* (dy)



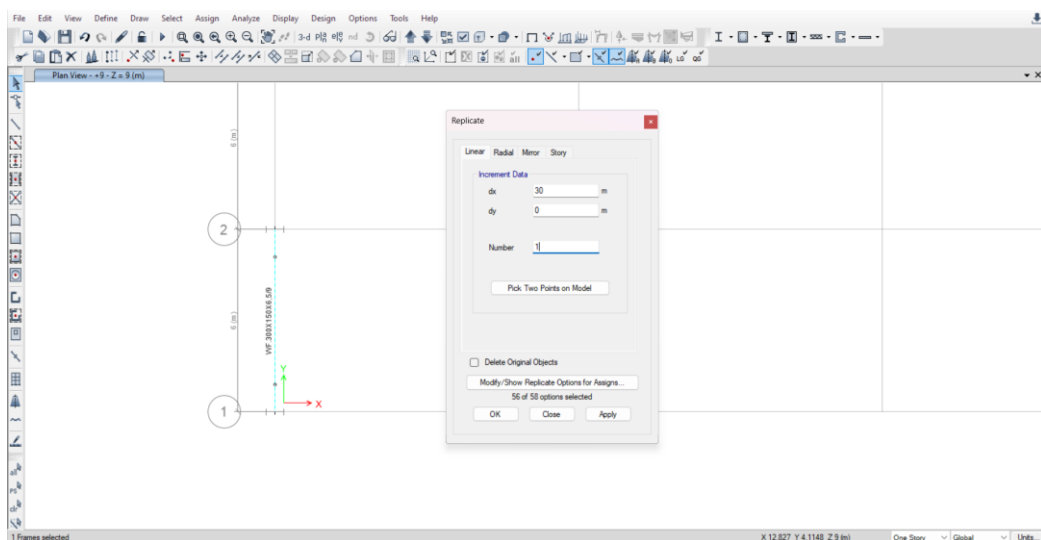
Gambar 2.84. Nok Atap WF.300X150X6,5/9 Berhasil Dimodelkan

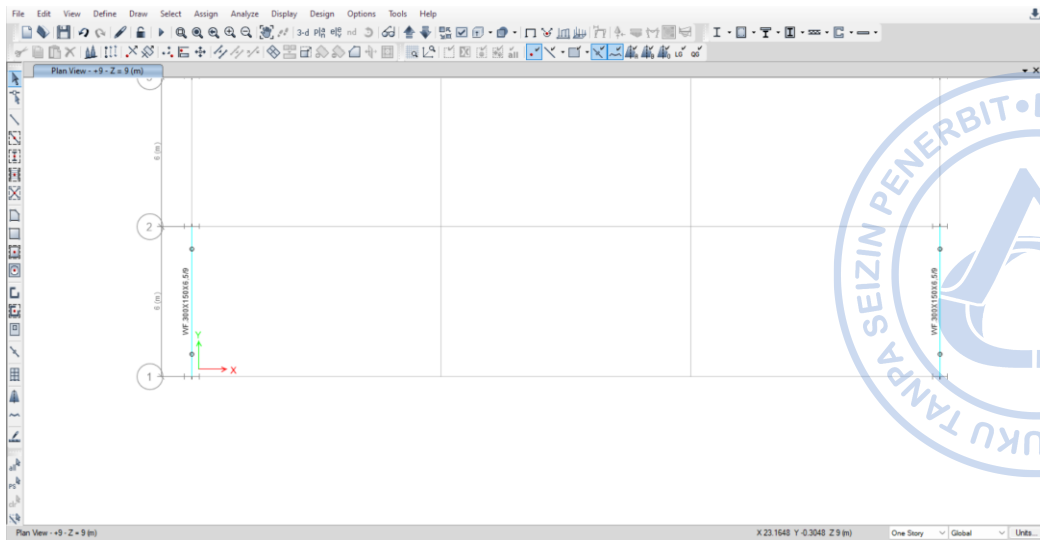
Untuk *ring beam* WF.300X150X6,5/9 dapat dimodelkan dengan cara yang sama dengan pemodelan nok atap. Langkah pertama yang perlu dilakukan adalah klik opsi *View* → *Set Plan View* → Pilih +9. Modelkan *ring beam* dengan cara klik *Draw/Column/Brace* (*Plan, Elev, 3D*) → Atur properti yang dikehendaki → Hubungkan *frame* dari satu titik ke titik yang lain.



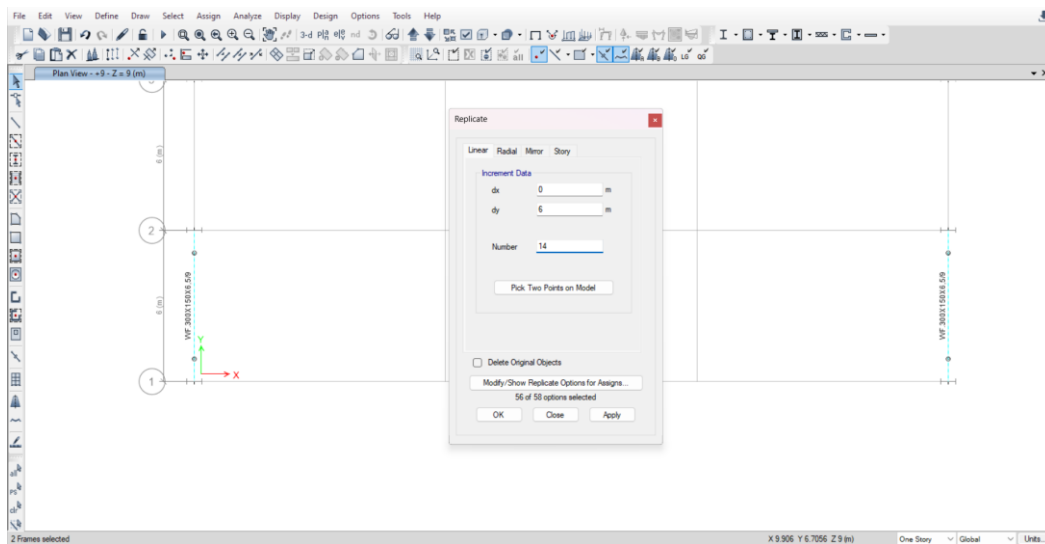
Gambar 2.85. Pemodelan Ring *Beam* WF.300X150X6,5/9

Setelah *ring beam* termodelkan, lakukan penggandaan dengan opsi '*Replicate.*' Opsi untuk menggandakan objek juga dapat dilakukan dengan cara *Select* objek yang akan digandakan → **Ctrl + R** → *Input* jarak dan jumlah penggandaan → *Apply* → **OK**.

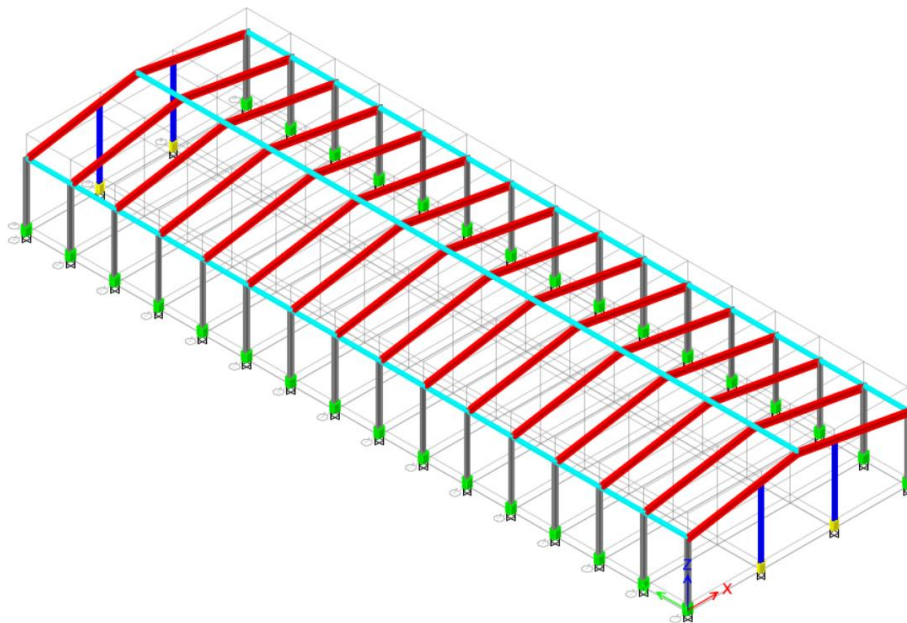




Gambar 2.86. *Replicate Ring Beam WF.300X150X6,5/9 Arah X*



Gambar 2.87. *Replicate Ring Beam WF.300X150X6,5/9 Arah Y*



K. PEMODELAN PURLIN CNP.150X50X20X2,3

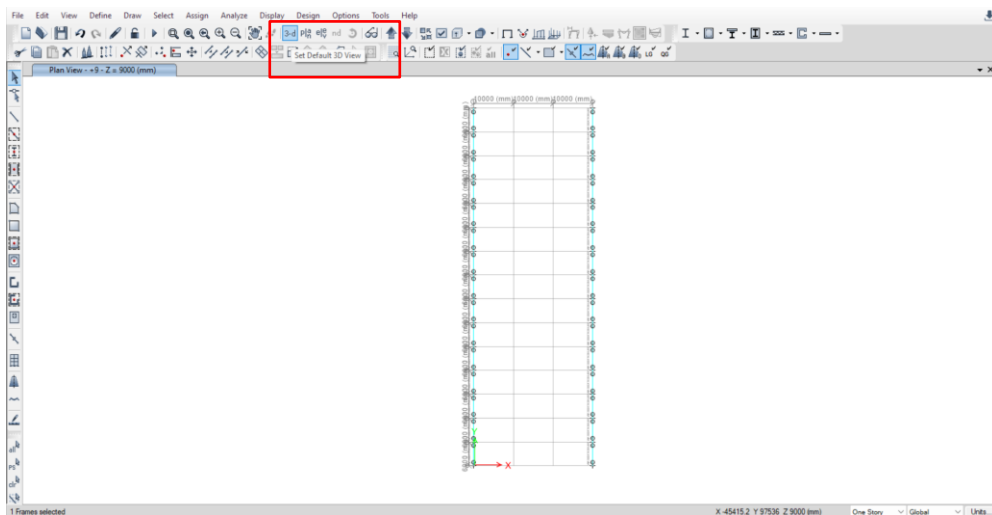
Purlin merupakan elemen yang menjadi dukungan dari penutup atap. Meski di depan, beban tidak diaplikasikan pada purlin namun pada *rafter*, elemen purlin tetap perlu dimodelkan agar berat sendiri purlin tetap terhitung sebagai beban yang merangka pada *rafter*. Purlin dimodelkan sebagai simply supported *beam* dengan tipe koneksi sendi sehingga *moment release* perlu di-assign sebagai 'Pinned.'

Untuk memudahkan pemodelan langkah pertama yang perlu dilakukan adalah membagi *rafter* menjadi beberapa bagian. Purlin akan dimodelkan setiap 1,2 m (jarak antar purlin 1,2 m), maka *rafter* akan dibagi sesuai perhitungan sebagai berikut:

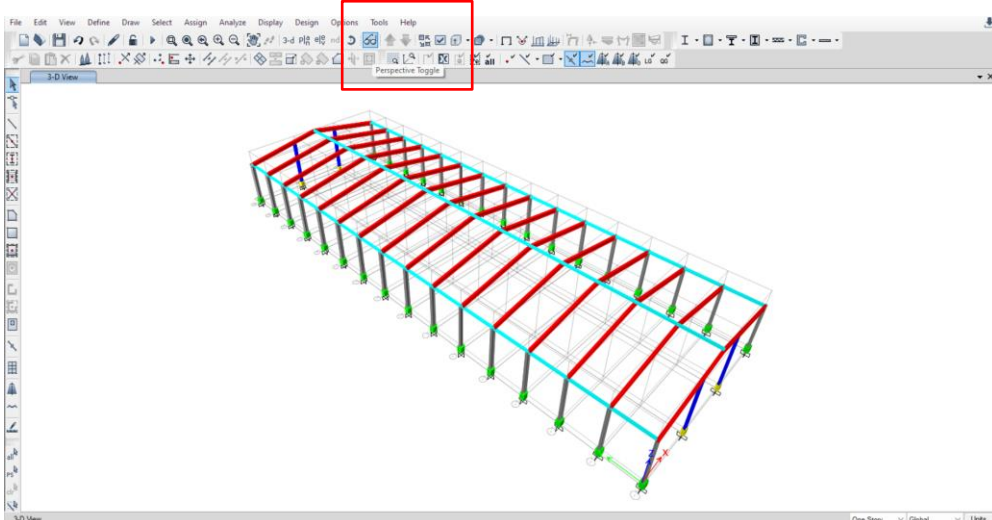
$$\text{Jumlah bagian} = \frac{\text{Panjang rafter}}{\text{Jarak antar purlin}}$$

$$\text{Jumlah bagian} = \frac{15,2}{1,2} = 12,69 \sim 13 \text{ buah}$$

Sebelum membagi *rafter* menjadi beberapa bagian, view perlu diatur terlebih dahulu dengan cara klik ikon 3D pada *ribbon* (Set 3D View) → klik ikon *Perspective Toggle*.

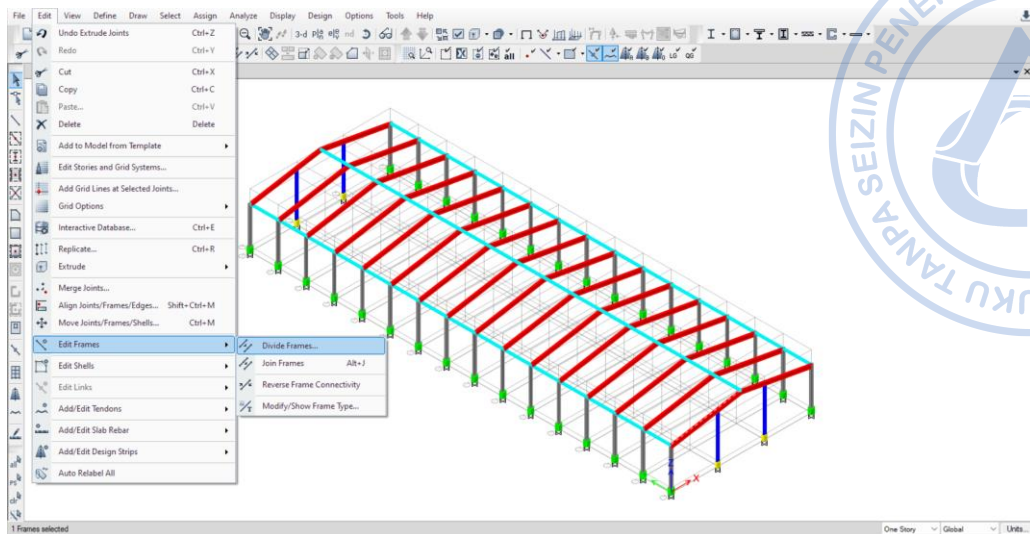


Gambar 2.88. Set 3D View

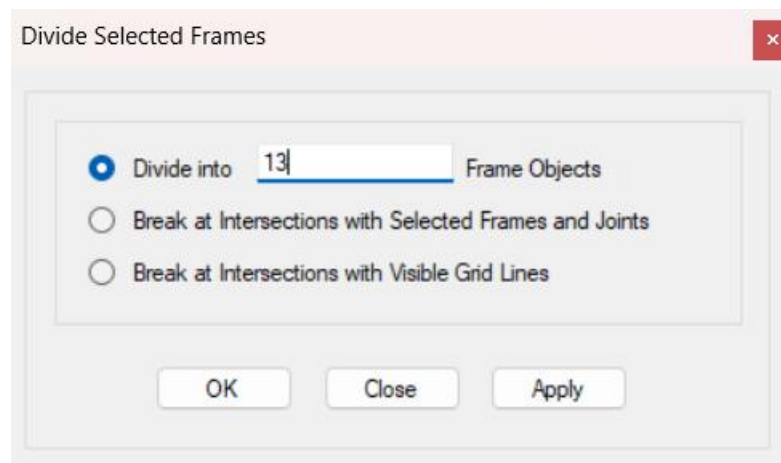


Gambar 2.89. Perspective Toggle

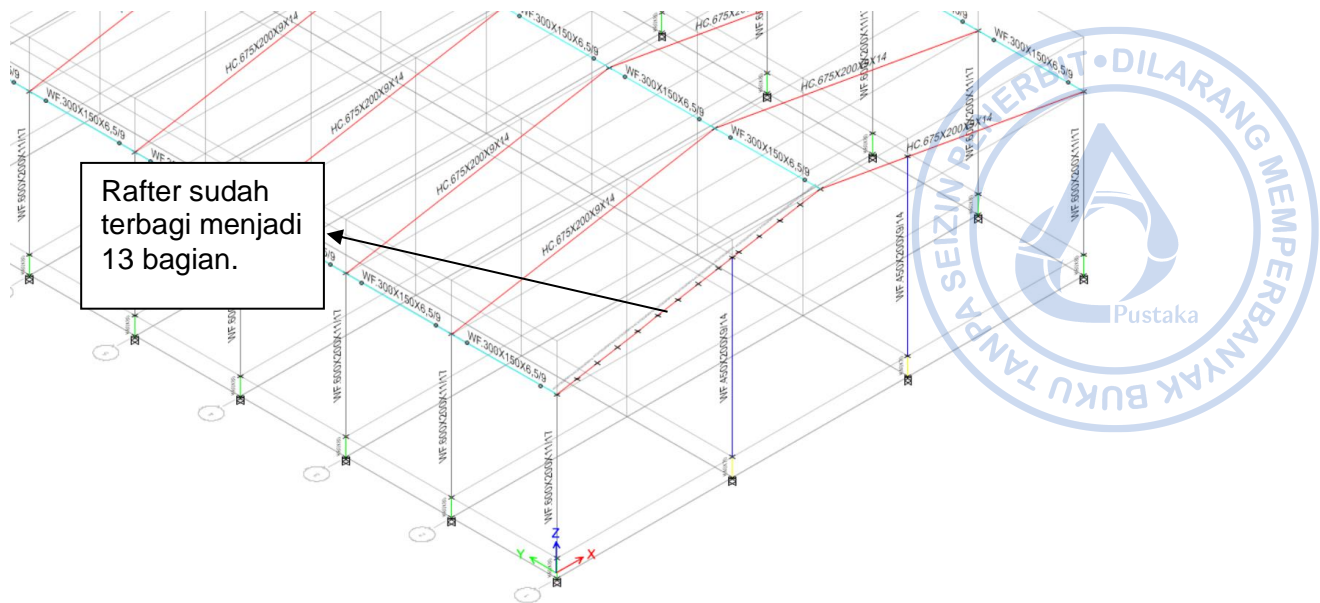
Adapun langkah-langkah untuk membagi *rafter* menjadi beberapa bagian dapat dilakukan dengan cara Select *rafter* yang akan dibagi → Edit → Edit Frames → Divide Frames → Divide into 13 Frame Objects.



Gambar 2.90. Edit → Edit Frames → Divide Frames

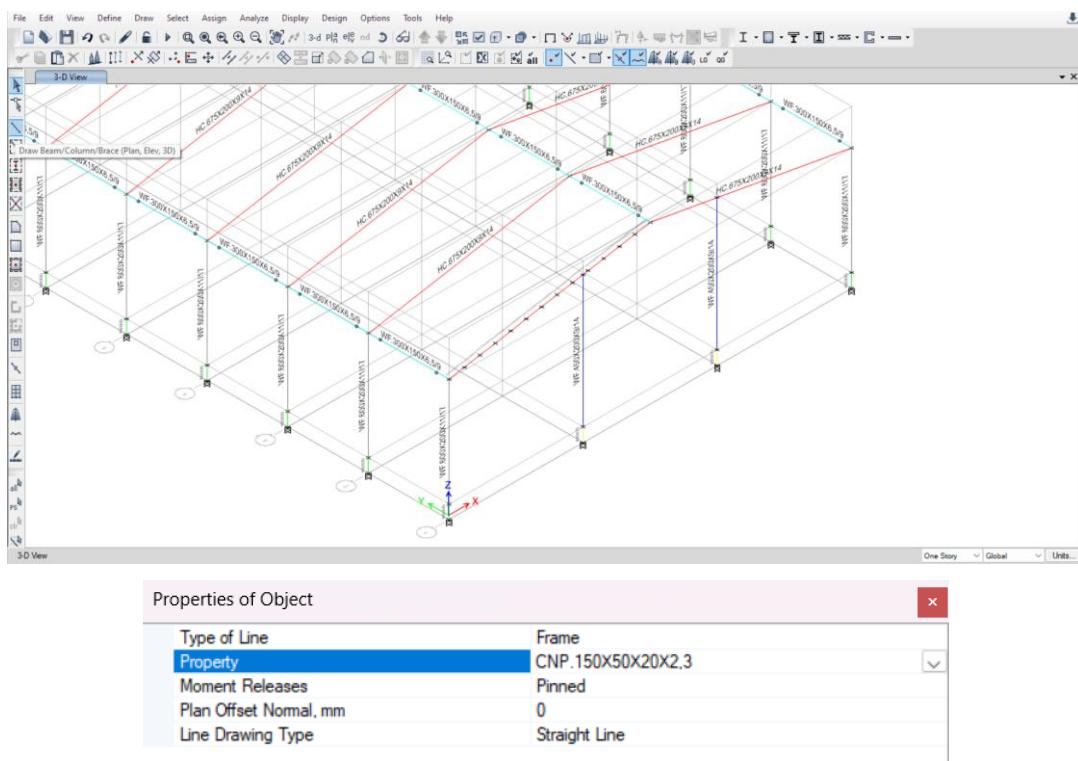


Gambar 2.91. Input Jumlah Bagian



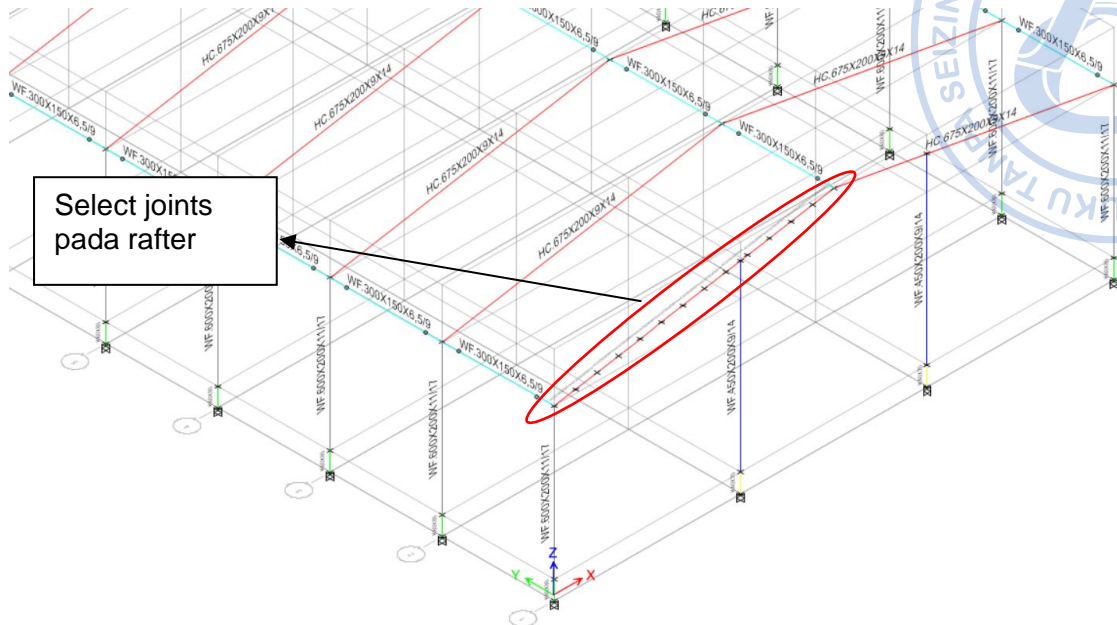
Gambar 2.92. Rafter Terbagi Menjadi 13 Bagian

Setelah *rafter* terbagi menjadi 13 bagian, masing-masing joint dari *rafter* yang telah dibagi perlu di-extrude menjadi frames yang merupakan CNP.150X50X20X2,3. Sebelum langkah tersebut dilakukan, terlebih dahulu perlu diatur bahwa *joint* akan di-extrude menjadi CNP.150X50X20X2,3. Hal tersebut dapat dilakukan dengan cara klik *Draw Beam/Column/Brace (Plan, View, 3D)* → *Atur Properties of Object* sesuai pada gambar di bawah → *Tutup kembali Properties of Object*. Dengan demikian *joint* akan dapat langsung di-extrude menjadi CNP.150X50X20X2,3.

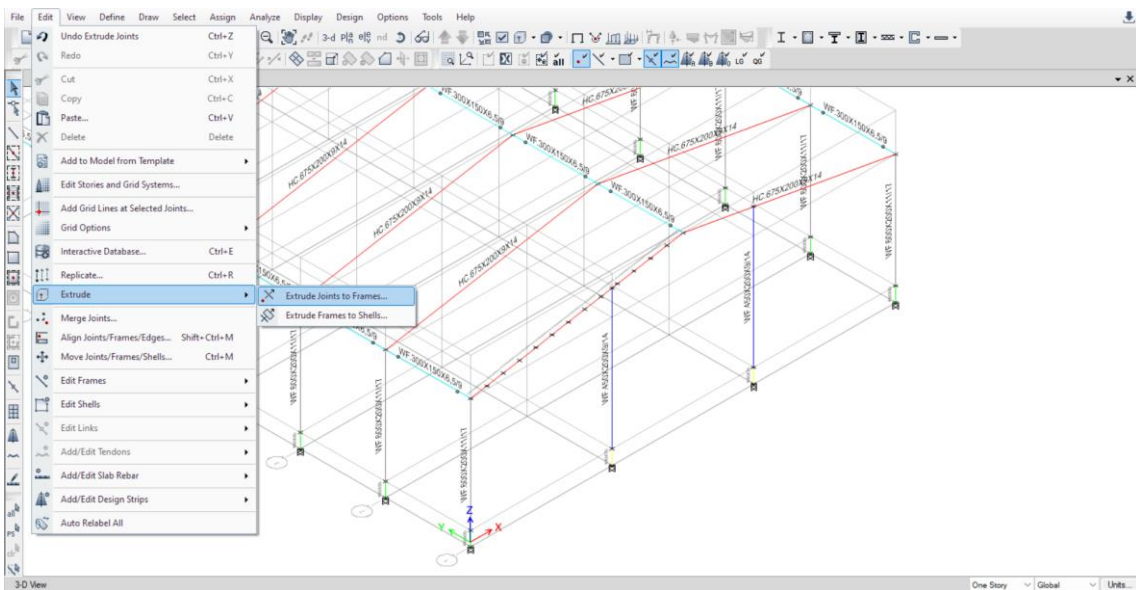


Gambar 2.93. Pengaturan *Properties of Object*

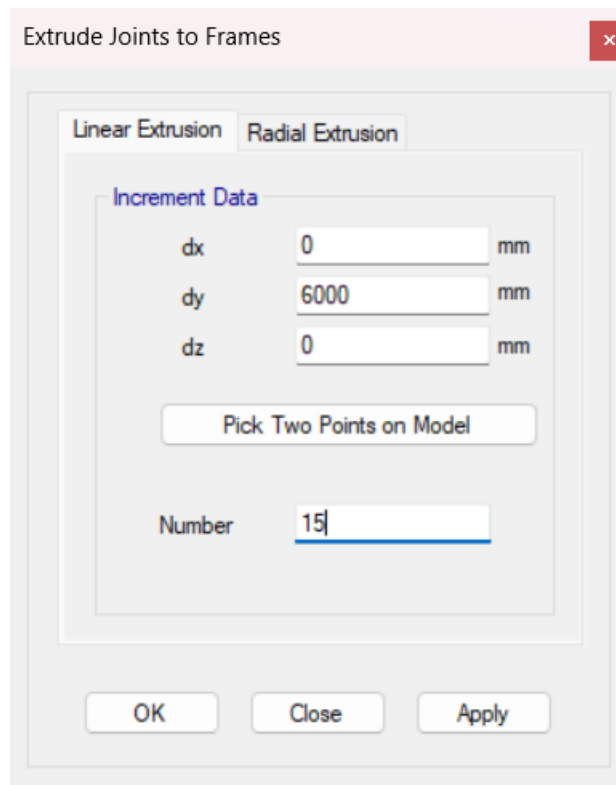
Langkah selanjutnya adalah melakukan ekstrusi *joint*. Hal tersebut dapat dilakukan dengan cara Select masing-masing joint pada *rafter* → *Edit* → *Extrude* → *Extrude Joints to Frames*. Opsi *Extrude Joints to Frames* dapat mengekstraksi *object joint* menjadi *frames* yang dikehendaki. Lalu masukkan panjang purlin yang diinginkan yaitu 6 meter pada arah y.



Gambar 2.94. Select Joints pada Rafter

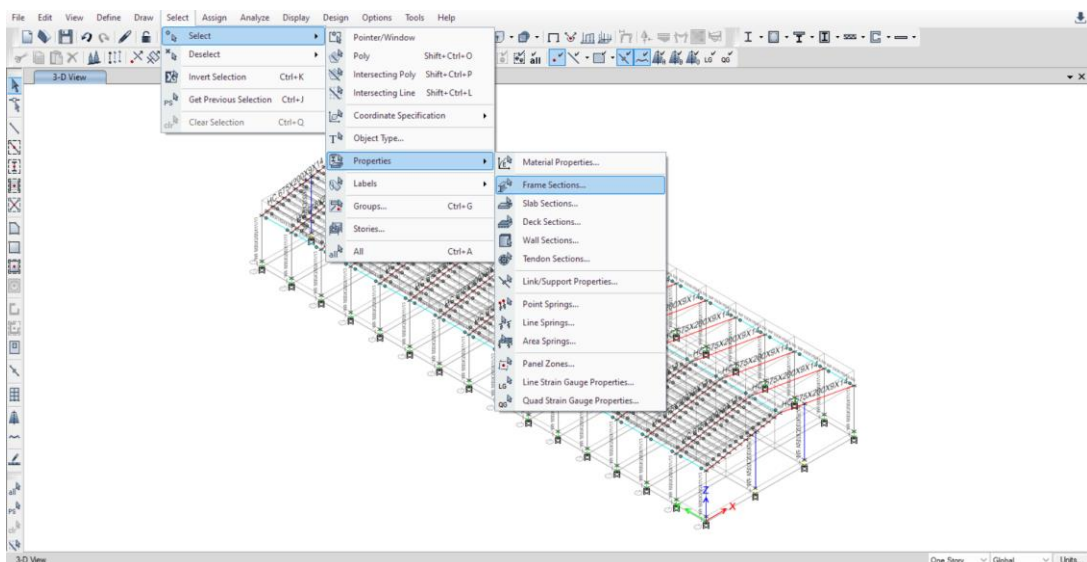


Gambar 2.95. Edit → Extrude → Extrude Joints to Frames

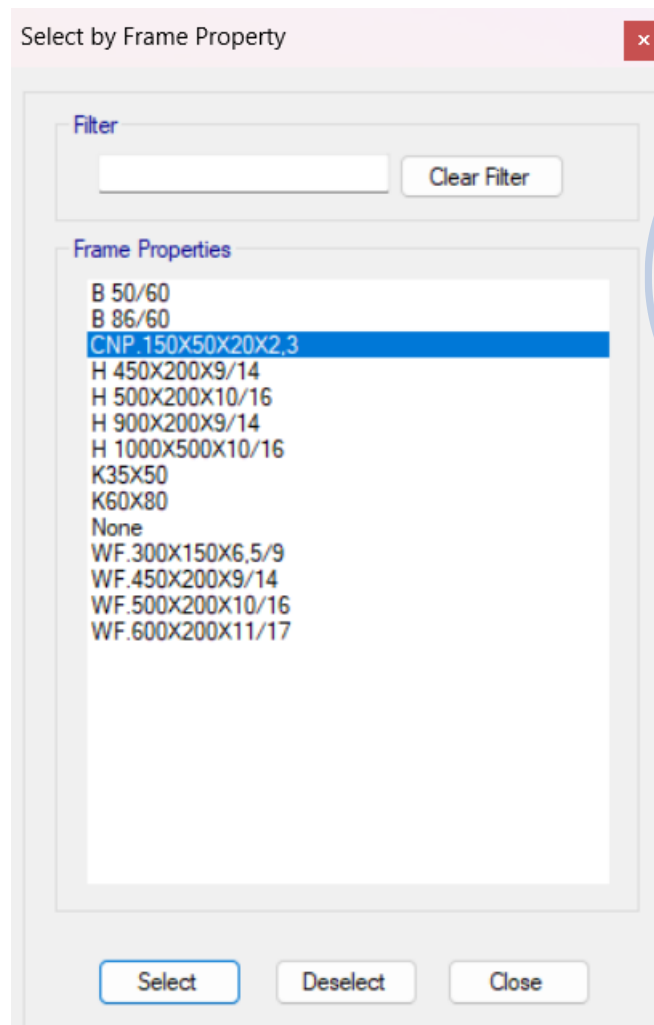


Gambar 2.96. *Input Data yang Dibutuhkan untuk Ekstrusi Joints Menjadi Frames*

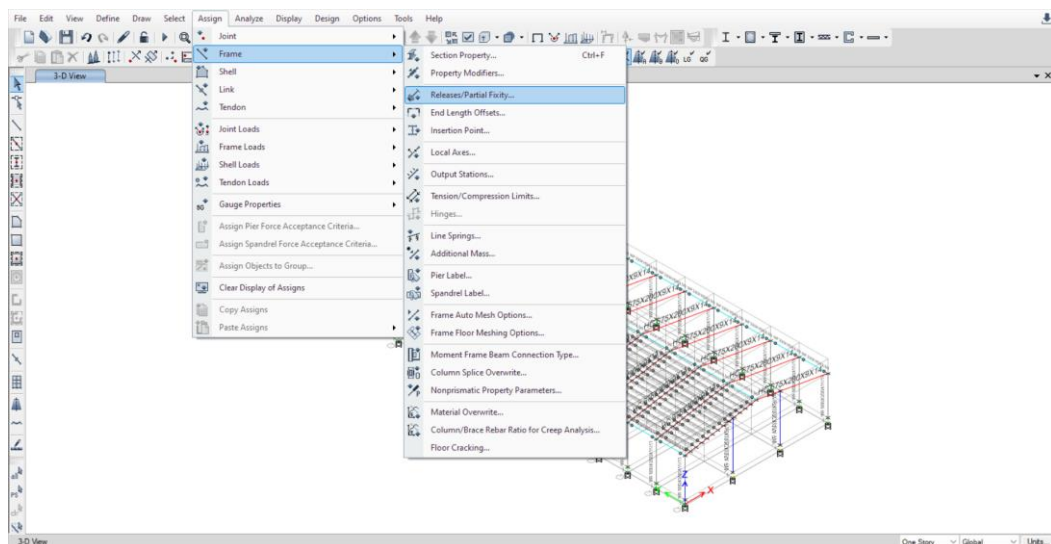
Purlin didesain sebagai *simply supported beam* yang tidak menahan momen di daerah tumpuan. Atas dasar tersebut maka bagian pangkal dan ujung purlin perlu di-*release* dengan cara klik *Select* → *Select* → *Properties* → *Frame Sections* → *CNP.150X50X20X2,3* → *Assign* → *Release Partial Fixity* → *Checklist Moment 22 dan Moment 33* → *Apply* → *OK*.



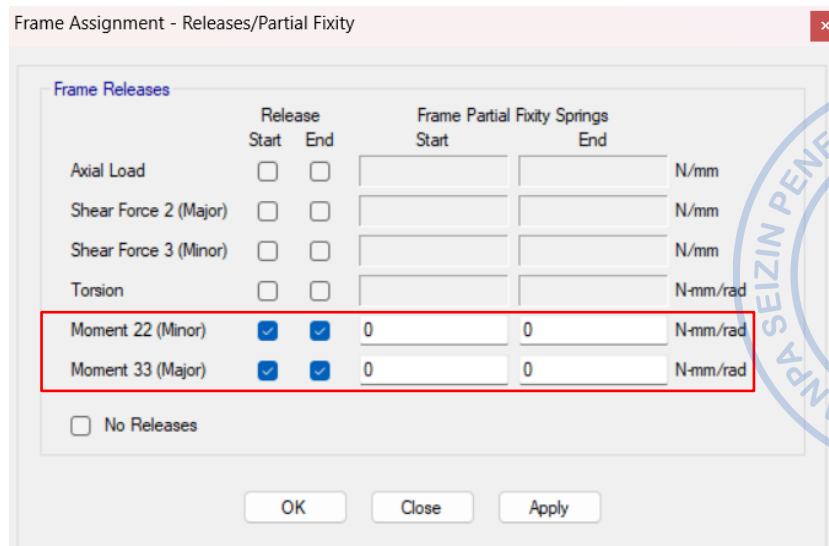
Gambar 2. 97. *Select* → *Select* → *Properties* → *Frame Sections*



Gambar 2.98. Select CNP.150X50X20X2,3

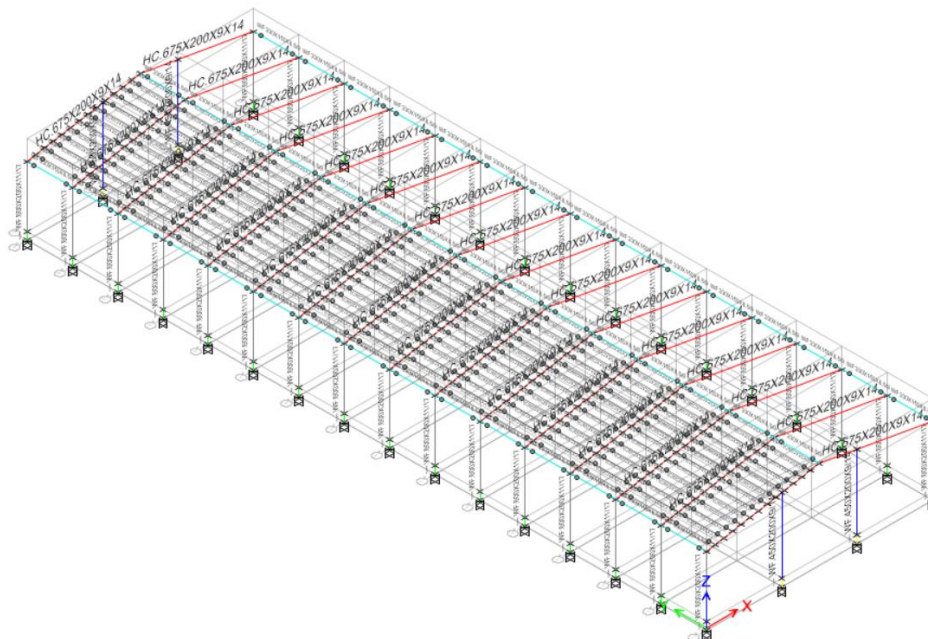


Gambar 2.99. Assign → Release Partial Fixity

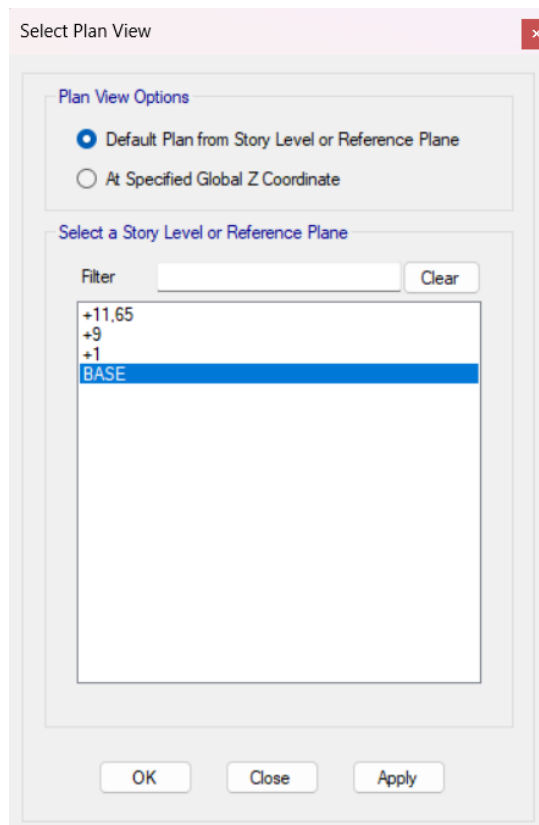


Gambar 2. 100. Checklist Moment 22 dan Moment 33

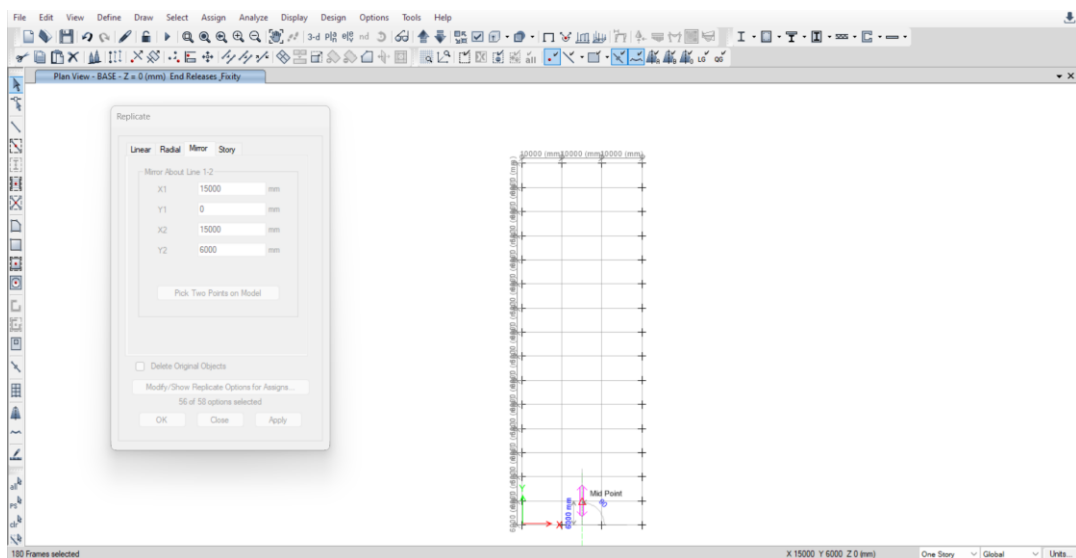
Setelah purlin berhasil dimodelkan pada satu sisi *rafter*, maka CNP.150X50X20X2,3 perlu di-*replicate* secara *mirror* ke satu sisi yang lain. Hal tersebut dapat dilakukan dengan cara klik Ctrl+J untuk *Select Previous* → Klik Ctrl+R untuk *Replicate* → Klik *Set Plan View* pada *ribbon* atas → *Select BASE* → Lakukan *Mirror* pada opsi *Replicate* dengan cara *Pick Two Points on Model* → Hubungkan *midpoint* pada bagian tengah As 1 bangunan dengan *midpoint* pada bagian tengah As 2 bangunan → *Apply* → OK.



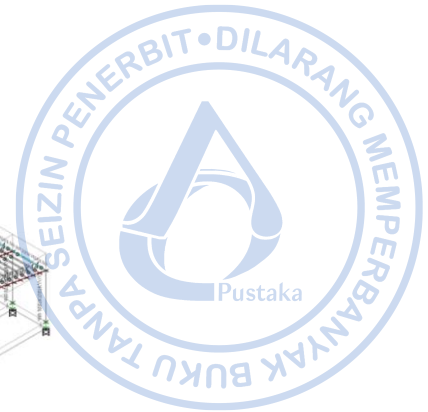
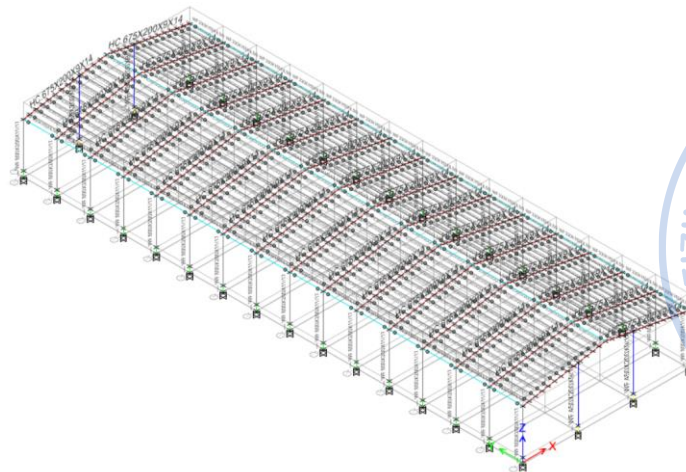
Gambar 2.101. Klik Ctrl+J → Ctr+R



Gambar 2. 102. *Set View Plan*

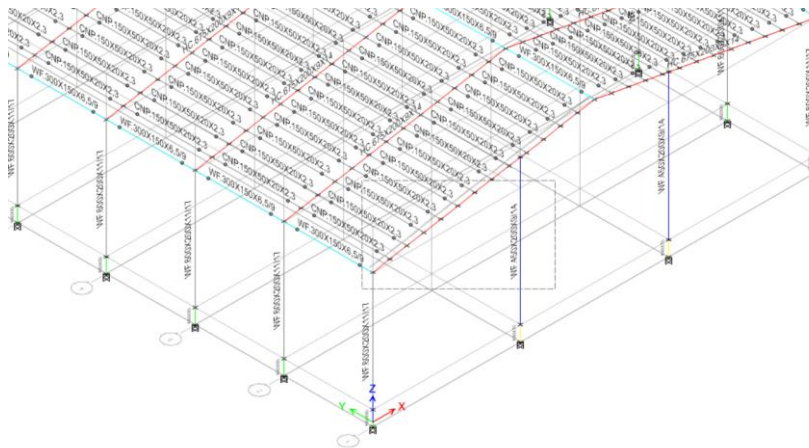


Gambar 2.103. *Replicate → Mirror → Pick Two Points on Model*

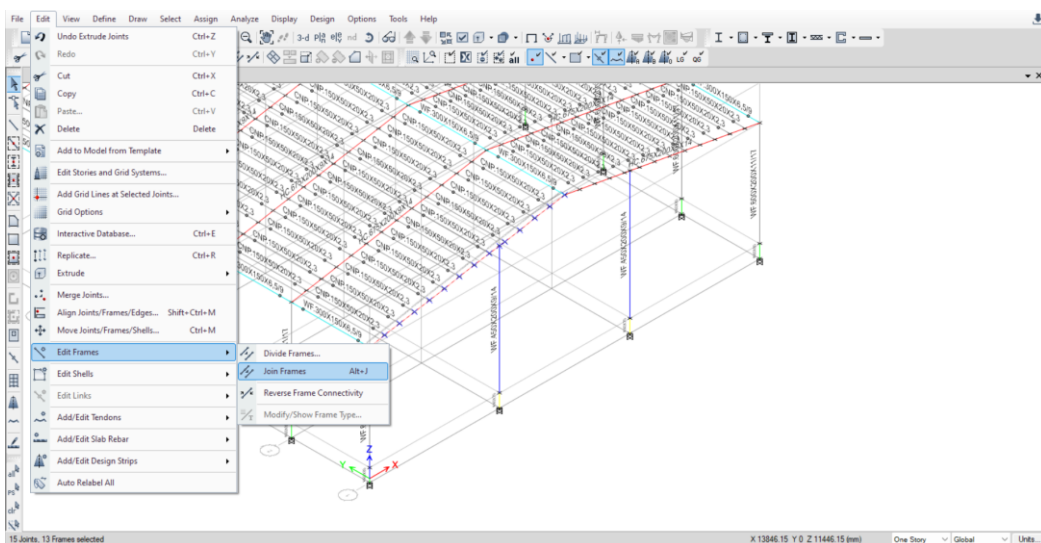


Gambar 2.104. Purlin Berhasil Dimodelkan pada Dua Sisi *Rafter*

Setelah purlin dimodelkan, maka *rafter* yang sebelumnya dibagi untuk mempermudah pemodelan, perlu disatukan kembali dengan cara select *rafter* yang akan disambung → Edit → Edit Frames → Join Frames.



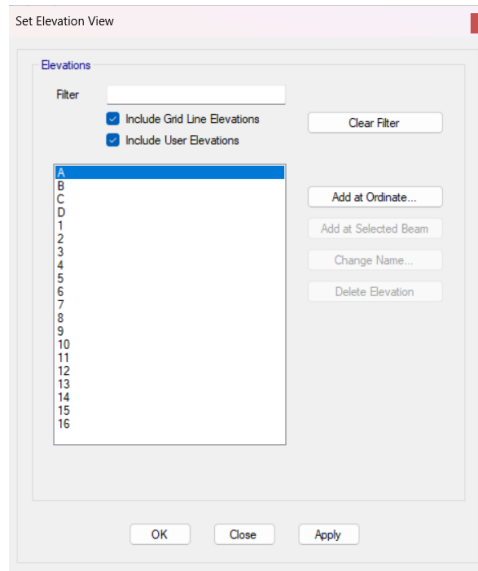
Gambar 2.105. Select Frames *Rafter* yang Akan Digabungkan



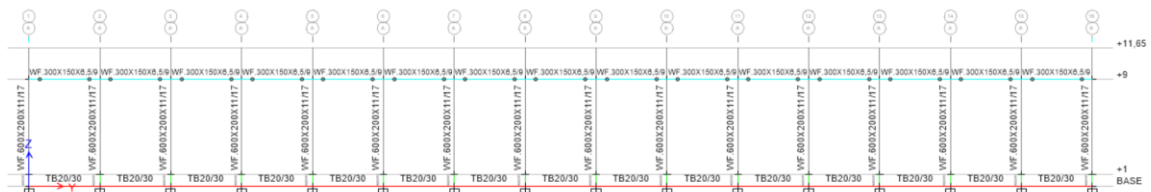
Gambar 2.106. Edit → Edit Frames → Join Frames

L. PEMODELAN BRACING 2L.70X70X7

Pada bangunan industri *bracing* dibutuhkan untuk menjaga kesetimbangan pada arah longitudinal bangunan. Dengan menggunakan *X-bracing*, bangunan dapat berdiri dengan lebih stabil. *X-bracing* dihubungkan dengan kolom baja WF.600X200X11/17 dengan *gusset plate* sehingga dalam pemodelan hubungan antara *X-bracing* dan kolom WF.600X200X11/17 perlu di-*release*. Pemodelan *X-bracing* dapat dilakukan dengan cara mengatur *Elevation View* terlebih dahulu. Klik *Set Elevation View* pada *ribbon* bagian atas → Pilih *Elevation View A*.

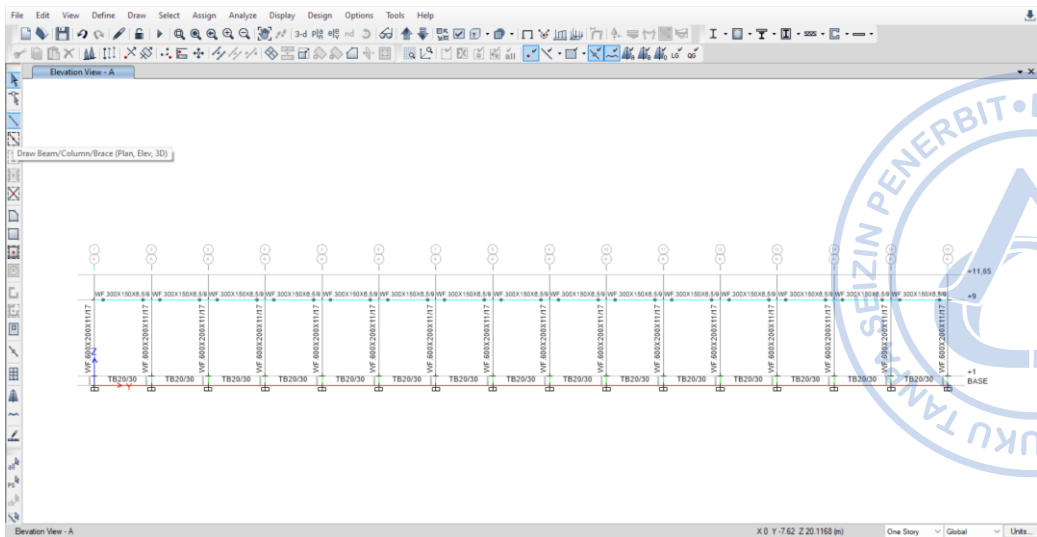


Gambar 2.107. Set Elevation View A



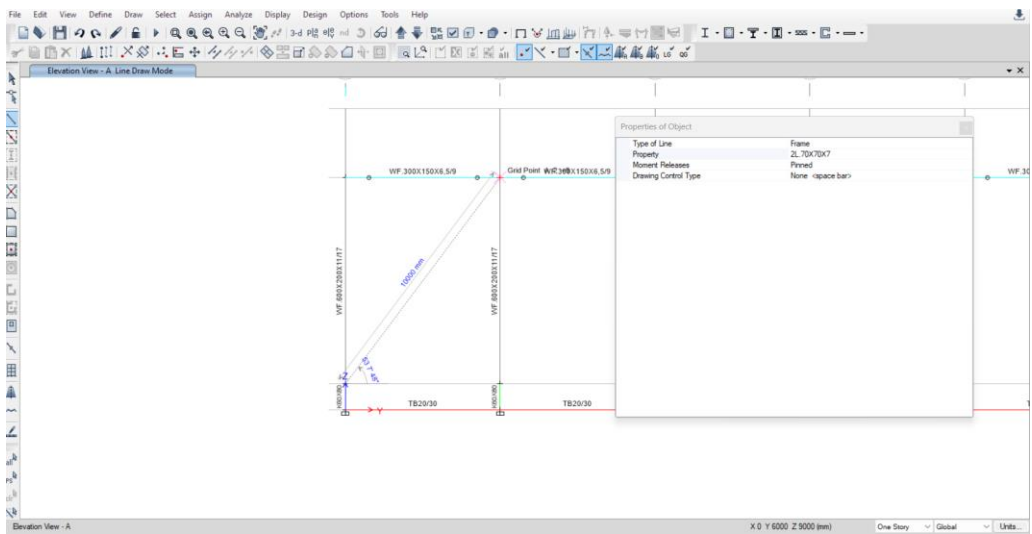
Gambar 2.108. Elevation View A

Modelkan *X-bracing* dengan cara klik *Draw Beam/Column/Brace* (Plan, Elev, 3D) pada *ribbon* bagian kiri → Atur *Properties of Object* sebagaimana gambar di bawah → Hubungkan secara *diagonal bracing* 2L.70X70X7.

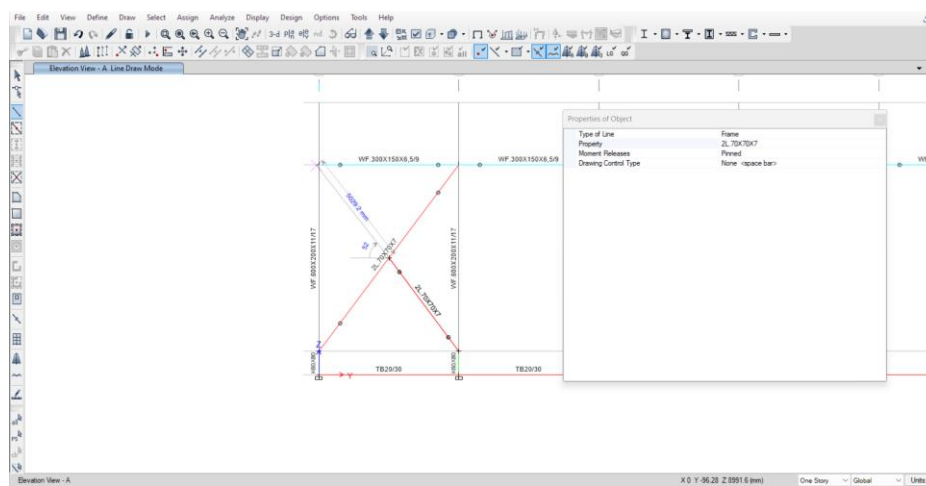
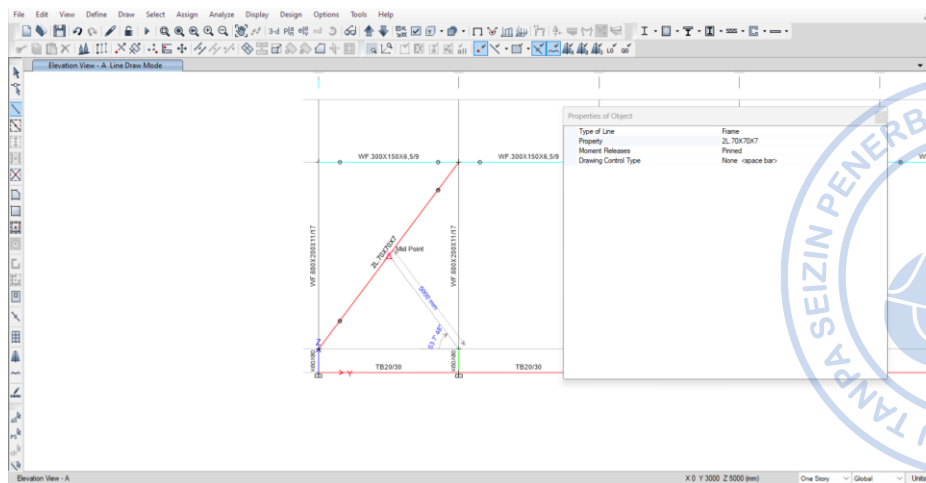


Properties of Object	
Type of Line	Frame
Property	2L.70X70X7
Moment Releases	Pinned
Drawing Control Type	None <space bar>

Gambar 2.109. Draw Beam/Column/Brace (Plan, Elev, 3D)

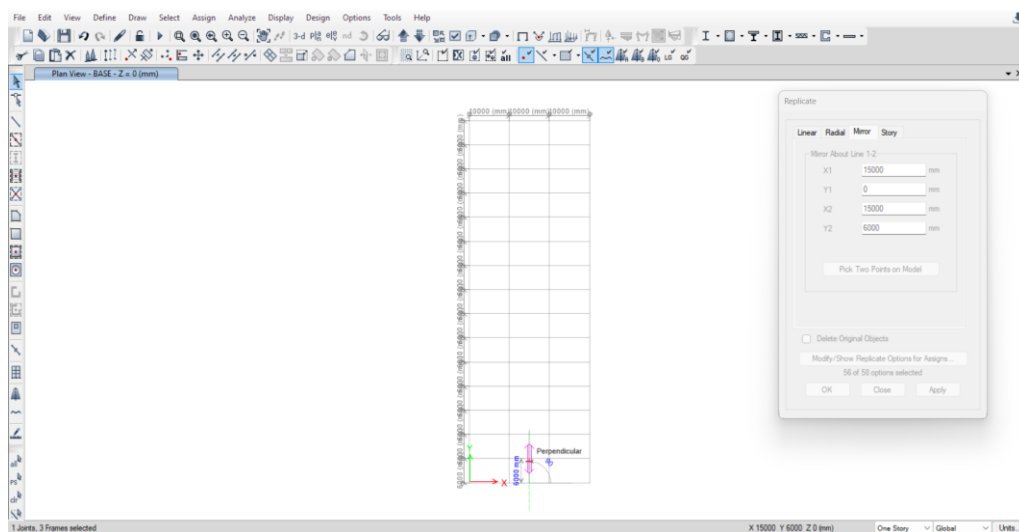


Gambar 2.110. Pemodelan X-bracing Diagonal Pertama

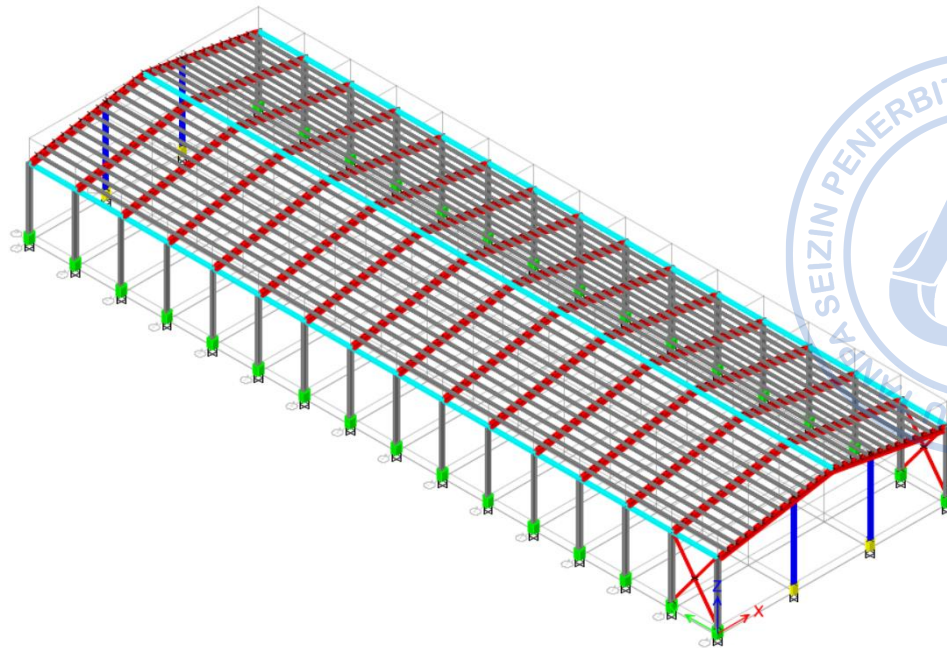


Gambar 2.111. Pemodelan *X-bracing* Diagonal Kedua

Dari model *X-bracing* yang telah dibuat, perlu dilakukan penggandaan pada sisi lain dinding bangunan. Hal tersebut dapat dilakukan dengan cara *Select X-bracing* yang telah dibuat → Klik **Ctrl+R** untuk *Replicate* → Klik *Set Plan View* pada *ribbon* atas → *Select BASE* → Lakukan *Mirror* pada opsi *Replicate* dengan cara *Pick Two Points on Model* → Hubungkan *midpoint* pada bagian tengah As 1 bangunan dengan *midpoint* pada bagian tengah As 2 bangunan → **Apply** → **OK**.

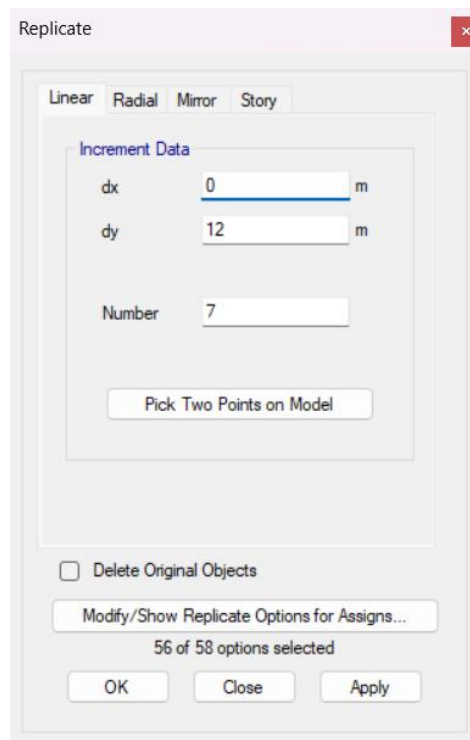


Gambar 2.112. *Replicate* → *Mirror* → *Pick Two Points on Model*

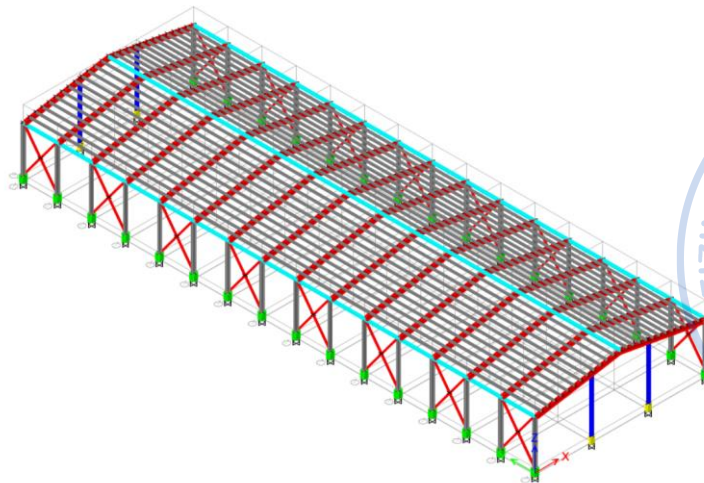


Gambar 2. 113. *X-bracing* Sudah Termodel Di Kedua Sisi Bangunan

X-bracing yang sudah termodelkan perlu direplikasi dengan jarak 12 m dari posisi semula searah y. Pilih *X-bracing* yang telah termodelkan terlebih dahulu. Hal tersebut dilakukan dengan cara *Select* → *Select* → *Properties* → *Frame Sections* → *2L.70X70X7* → *Apply* → *OK*. Setelah *X-bracing* yang sebelumnya sudah dimodelkan terpilih, klik *Ctrl+R* → *Input* jarak dan jumlah replikasi → *Apply* → *OK*.



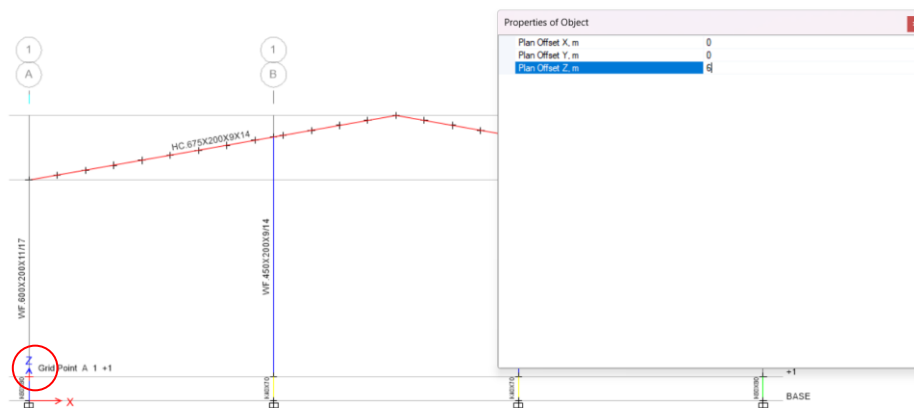
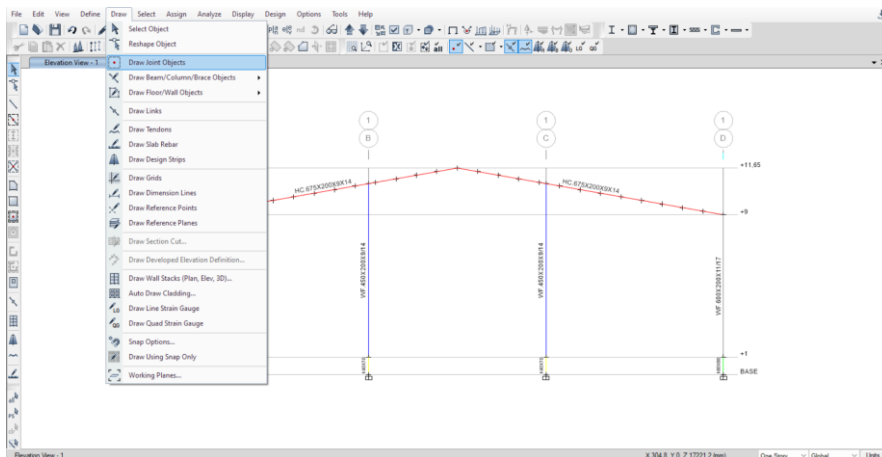
Gambar 2.114. Replicate *X-bracing*



Gambar 2.115. X-bracing Sudah Termodel pada Keseluruhan Bangunan

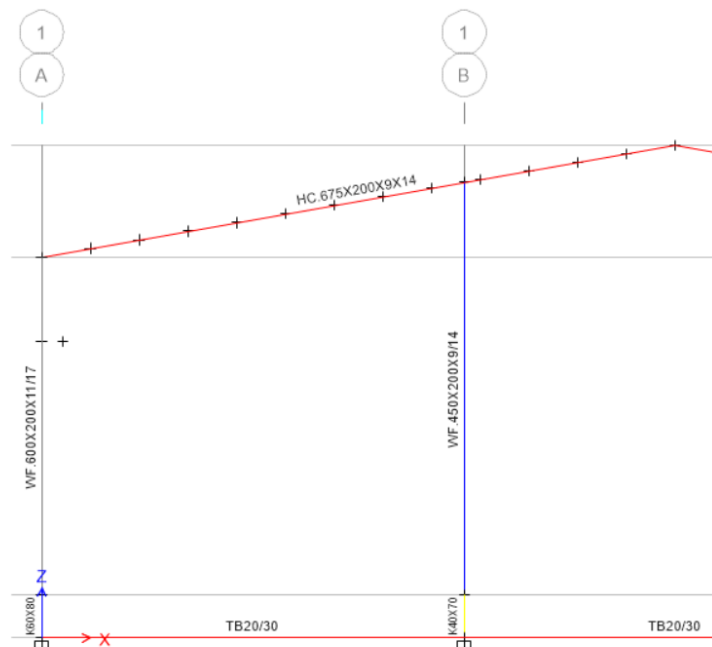
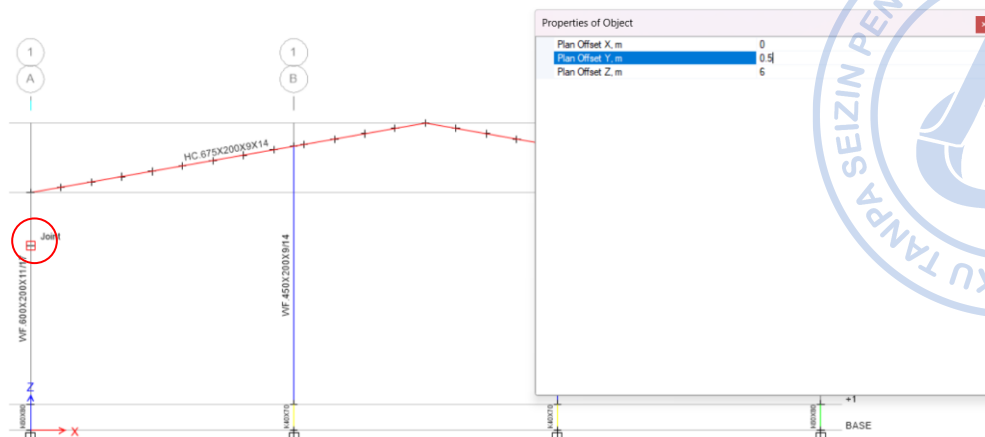
M. Pemodelan *Runway Beam Crane* WF.500X200X10/16

Runway beam crane didesain duduk di atas bracket kolom. Untuk memodelkan *runway beam crane* tersebut, terlebih dahulu diatur elevation view untuk memodelkan *bracket*. Klik Set Elevation View pada *ribbon* bagian atas → Pilih *Elevation View 1*. Buat titik bantuan untuk menentukan posisi *bracket* dengan cara klik Draw → *Draw Joint Objects* → Atur *Properties of Object* sesuai gambar di bawah → Klik pada top kolom pedestal Grid 1-A.



Gambar 2.116. Pemodelan Titik Bantuan 6 m dari Top Pedestal

Buat titik bantuan kembali sejauh 0,5 m dari titik yang sebelumnya telah dimodelkan dengan cara klik *Draw* → *Draw Joint Objects* → *Atur Properties of Object* sesuai gambar di bawah → Klik pada titik bantuan yang dimodelkan sebelumnya.

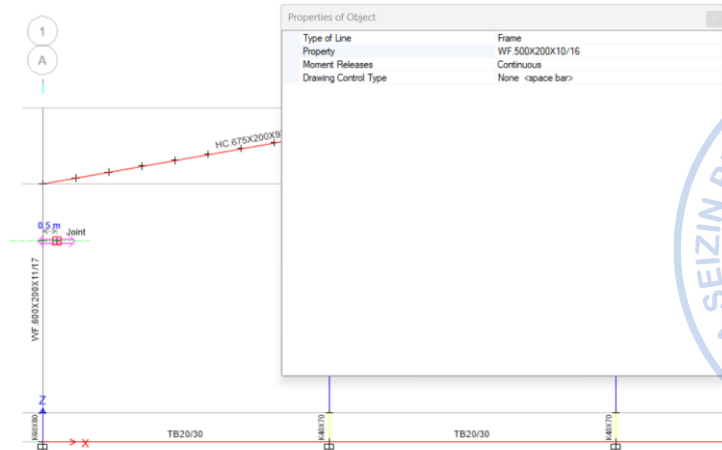


Gambar 2. 117. Pemodelan Titik Bantuan 0,5 m dari Titik yang Dimodelkan Sebelumnya

Setelah itu modelkan *bracket* kolom dengan cara klik *Draw Beam/Column/Brace* (Plan, Elev, 3D) pada *ribbon* bagian kiri → *Atur Properties of Object* sebagaimana gambar di bawah → Hubungkan antara satu titik dengan titik yang lain sebagaimana gambar di bawah.

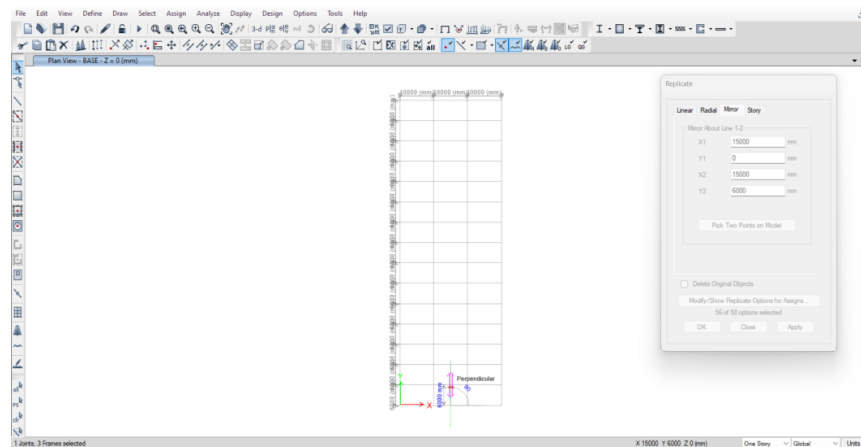
Properties of Object	
Type of Line	Frame
Property	WF.500X200X10/16
Moment Releases	Continuous
Drawing Control Type	None <space bar>

Gambar 2.118. *Properties of Object Bracket*

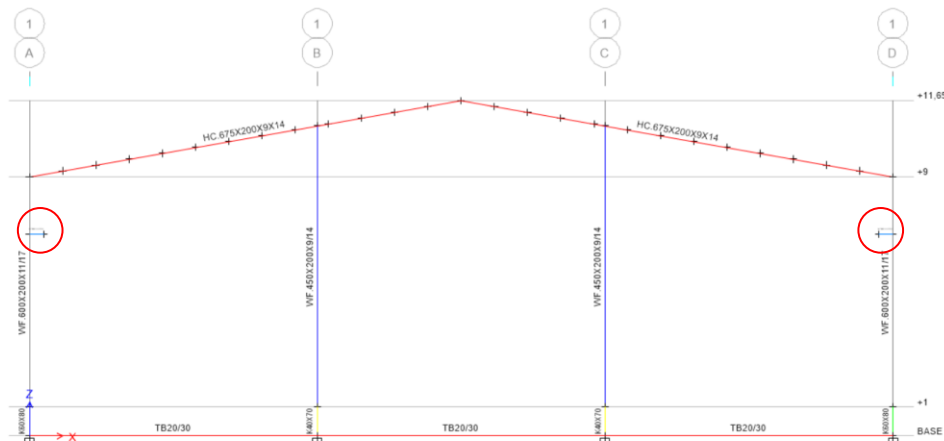


Gambar 2.119. Hubungkan Satu Titik Pangkal Bracket ke Titik yang Lain

Dari model bracket yang telah dibuat, perlu dilakukan penggandaan pada sisi lain berlawanan bangunan. Hal tersebut dapat dilakukan dengan cara Select bracket yang telah dibuat → Klik *Ctrl+R* untuk *Replicate* → Klik *Set Plan View* pada ribbon atas → *Select BASE* → Lakukan *Mirror* pada opsi *Replicate* dengan cara *Pick Two Points on Model* → Hubungkan *midpoint* pada bagian tengah As 1 bangunan dengan *midpoint* pada bagian tengah As 2 bangunan → *Apply* → OK.

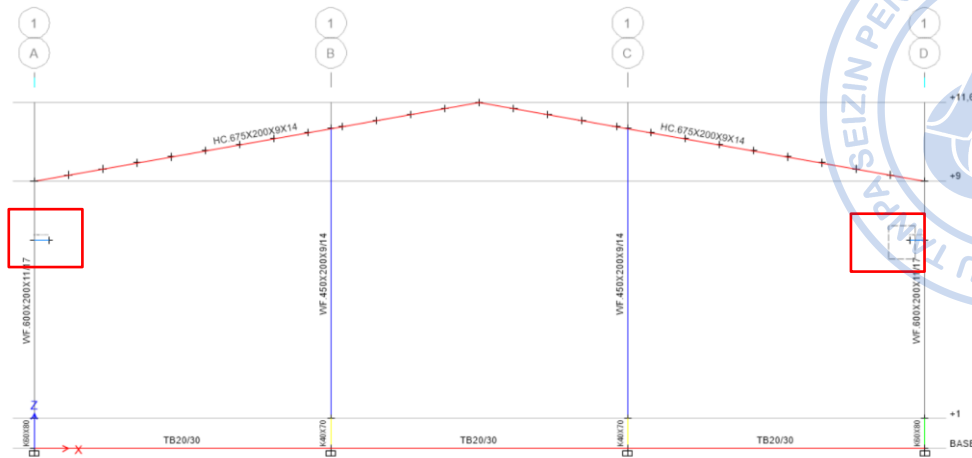


Gambar 2.120. *Replicate* → *Mirror* → *Pick Two Points on Model*



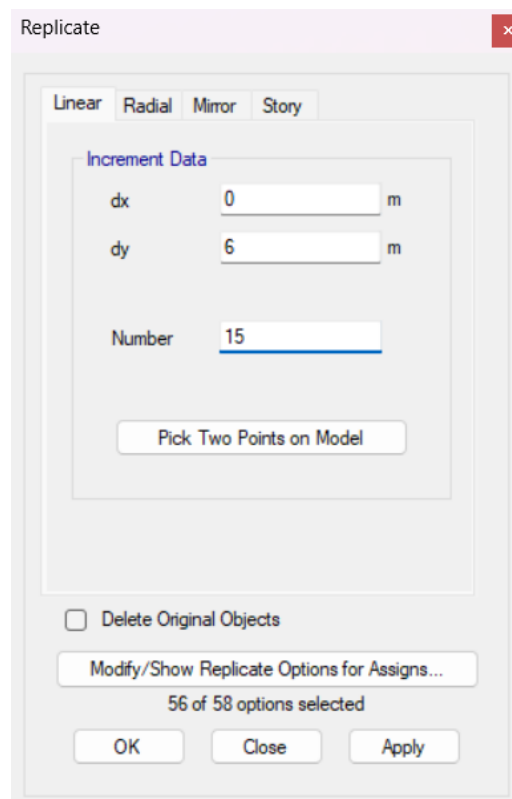
Gambar 2.121. *Bracket* Berhasil Dimodelkan pada Kedua Sisi Bangunan

Bracket yang sudah termodelkan perlu direplikasi dengan jarak 6 m dari posisi semula searah y dengan jumlah 15 buah. Pilih *bracket* yang telah termodelkan terlebih dahulu. Hal tersebut dilakukan dengan cara *drag cursor* pada *bracket* yang telah dimodelkan.

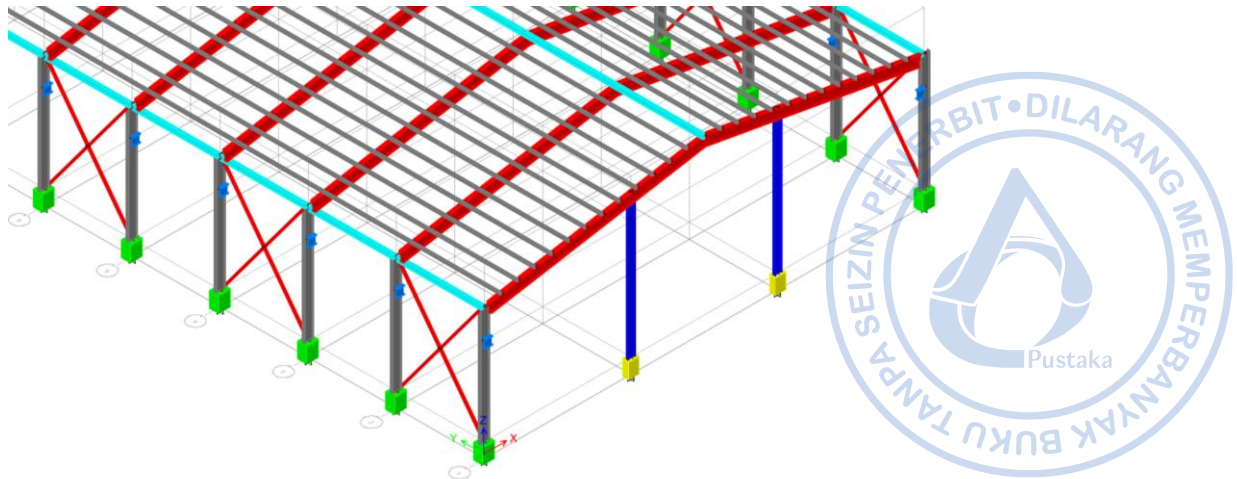


Gambar 2.122. *Select Bracket*

Setelah *bracket* yang sebelumnya sudah dimodelkan terpilih, klik **Ctrl+R** → *Input* jarak dan jumlah replikasi → **Apply** → **OK**.

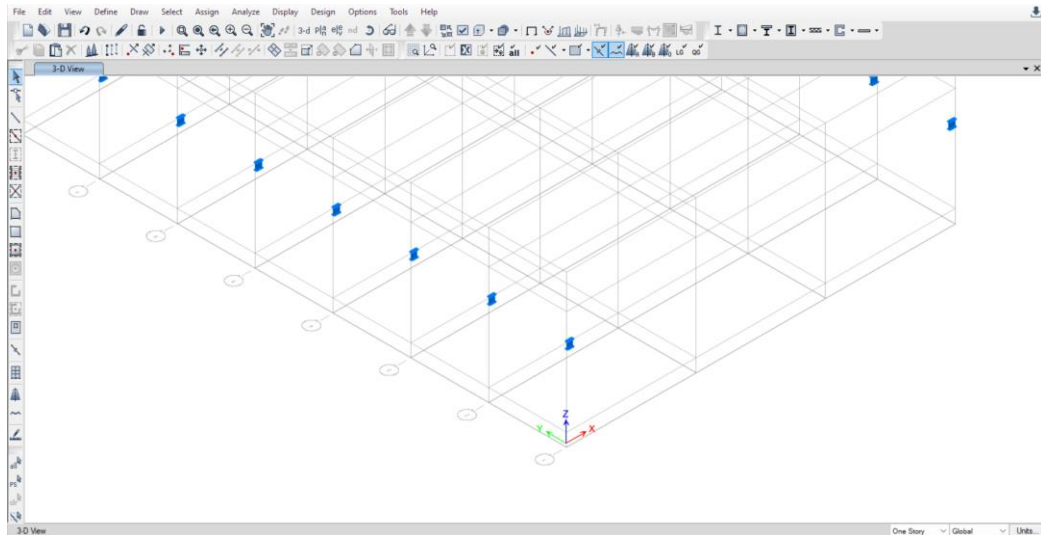


Gambar 2. 123. *Replicate Bracket*



Gambar 2.124. Bracket Sudah Termodel pada Keseluruhan Bangunan

Tampilkan *bracket* yang dimodelkan saja untuk memodelkan *runway beam* dengan cara klik *Select* → *Select* → *Properties* → *Frame Sections* → *WF.500X200X10/16* → Klik kanan → *Select Selected Objects Only*.

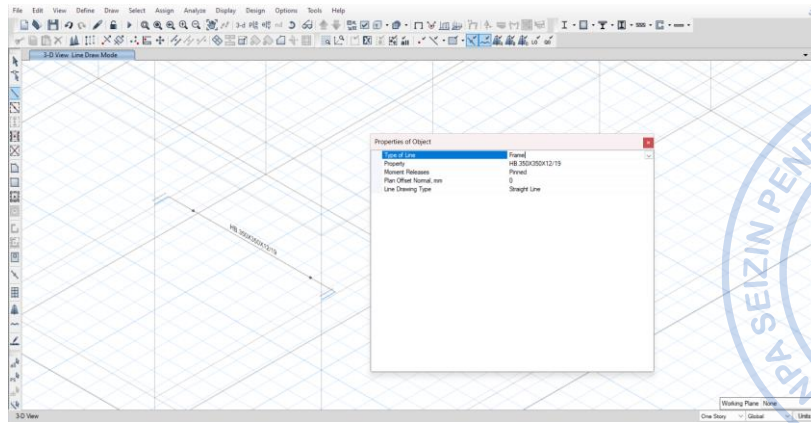


Gambar 2.125. Tampilan *Bracket* yang Sudah Dimodelkan dengan Objek Lain yang Disembunyikan

Untuk memodelkan *runway beam* klik *Draw Beam/Column/Brace* (Plan, Elev, 3D) pada *ribbon* bagian kiri → Atur *Properties of Object* sebagaimana gambar di bawah → Hubungkan antara satu titik dengan titik yang lain sebagaimana gambar di bawah.

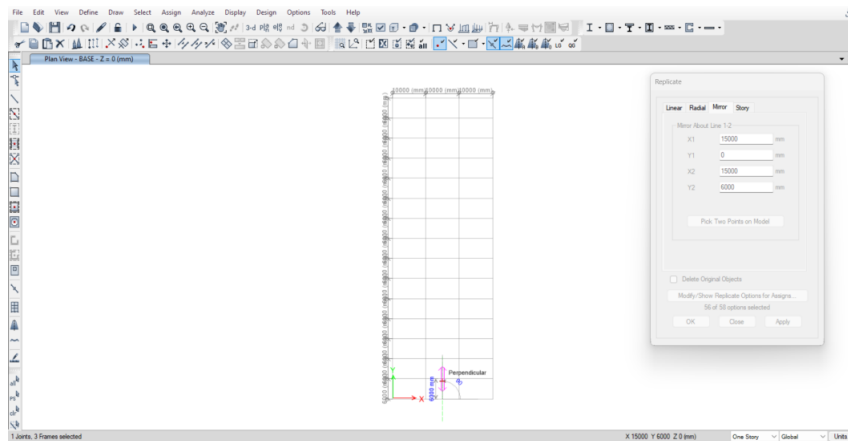
Properties of Object	
Type of Line	Frame
Property	WF.500X200X10/16
Moment Releases	Pinned
Plan Offset Normal, mm	0
Line Drawing Type	Straight Line

Gambar 2.126. Properties of Object *Runway Beam*



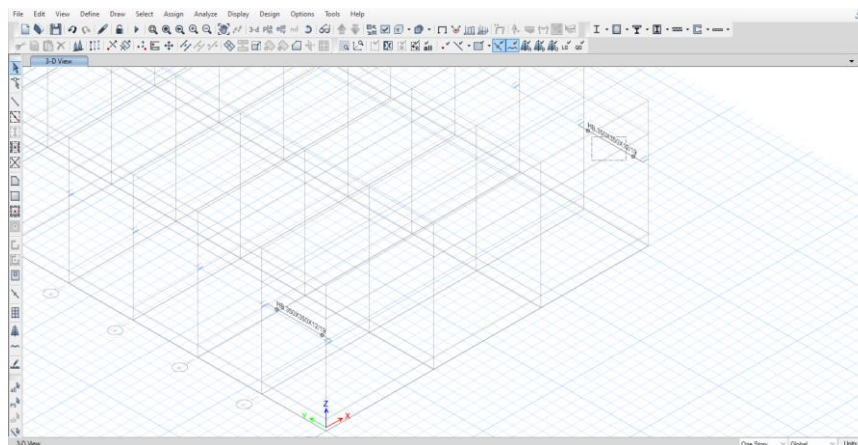
Gambar 2.127. Hubungkan Satu Titik *Bracket* dengan Titik *Bracket* yang Lain

Replikasi *runway beam* yang telah dibuat dengan cara *Select runway beam* → Klik *Ctrl+R* untuk *Replicate* → Klik *Set Plan View* pada *ribbon* atas → *Select BASE* → Lakukan *Mirror* pada opsi *Replicate* dengan cara *Pick Two Points on Model* → Hubungkan *midpoint* pada bagian tengah As 1 bangunan dengan *midpoint* pada bagian tengah As 2 bangunan → *Apply* → *OK*.



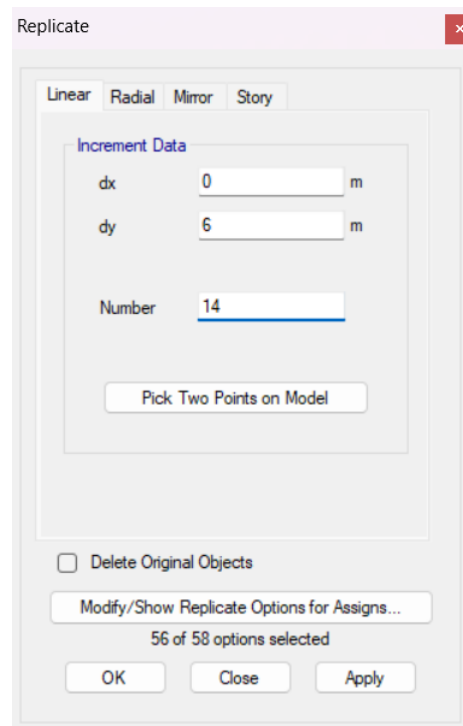
Gambar 2.128. *Replicate* → *Mirror* → *Pick Two Points on Model*

Runway beam yang sudah termodelkan perlu direplikasi dengan jarak 6 m dari posisi semula searah y dengan jumlah 14 buah. Pilih *runway beam* yang telah termodelkan terlebih dahulu. Hal tersebut dilakukan dengan cara drag kursor pada *runway beam* yang telah dimodelkan.

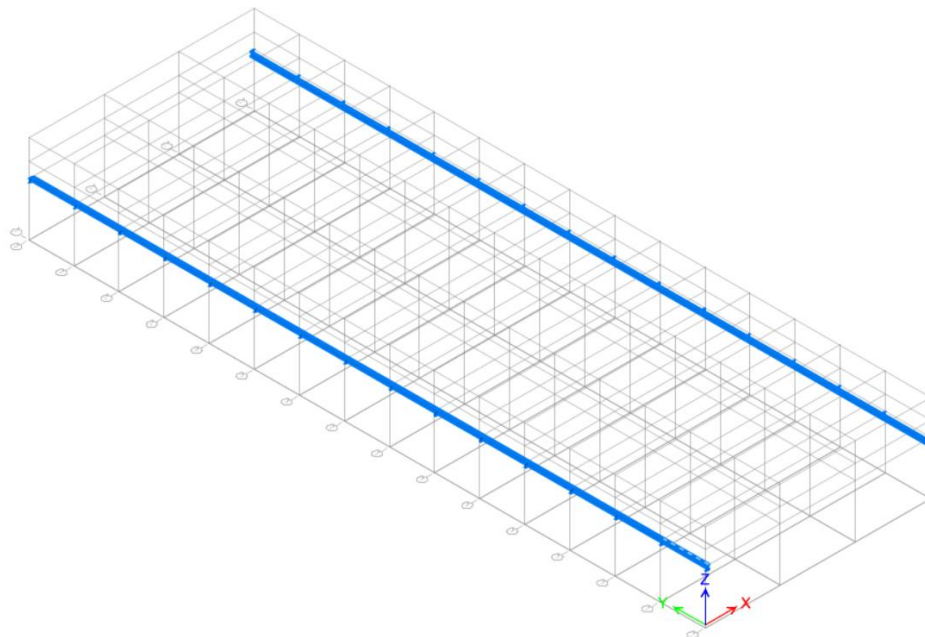


Gambar 2.129. *Select Runway Beam*

Setelah *runway beam* yang sebelumnya sudah dimodelkan terpilih, klik Ctrl+R → *Input* jarak dan jumlah replikasi → *Apply* → *OK*.

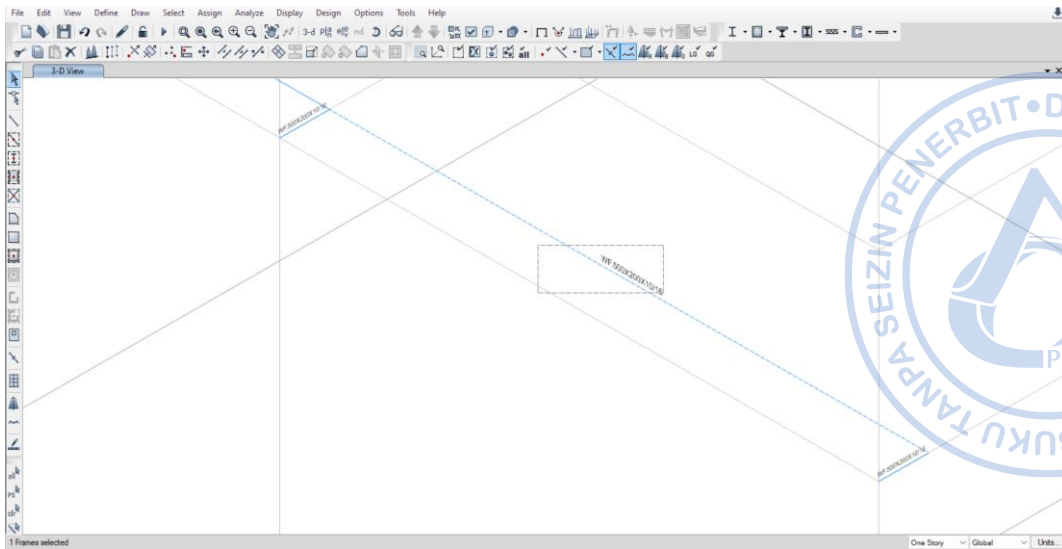


Gambar 2.130. Replicate *Runway Beam*

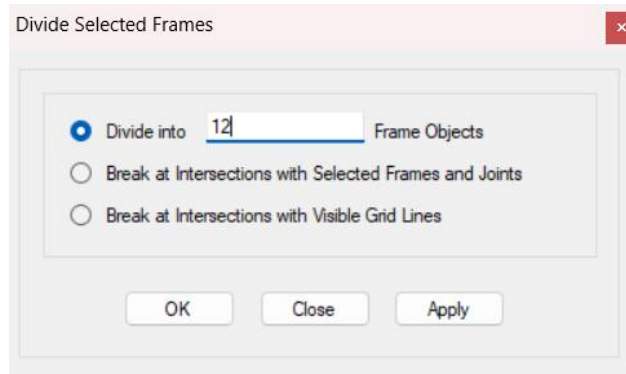


Gambar 2.131. *Runway Beam* yang Berhasil Dimodelkan

Untuk mengantisipasi *buckling* di bagian *top flange runway beam* akibat *lateral thrust* dari *crane*, dipasang *lateral truss* dari 2L.50X50X5. Untuk memodelkan *backing truss* tersebut, terlebih dahulu *runway beam* WF.500X200X10/16 di As 1-A hingga 2-A. *Divide runway beam* tersebut menjadi 12 bagian (per bagian memiliki panjang 500 mm).



Gambar 2.132. *Select Runway Beam*

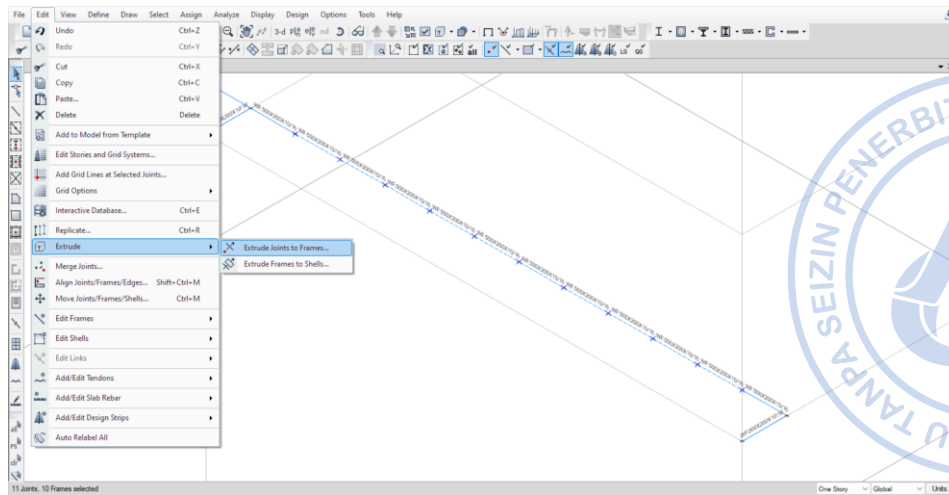


Gambar 2.133. *Divide Runway Beam Menjadi 12 Bagian*

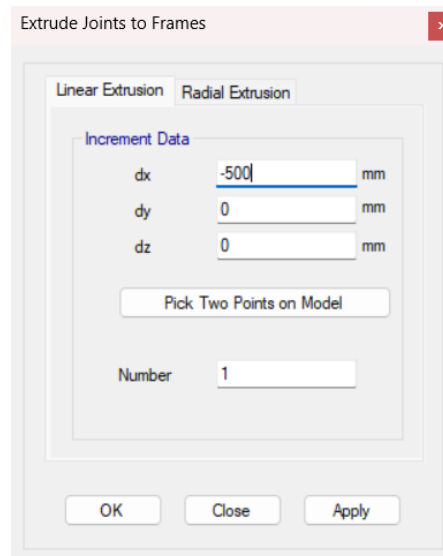
Select *joint-joint* dari *runway beam* yang sudah terbagi tadi untuk melakukan ekstrusi. Terlebih dahulu diatur properti *frame* dengan cara klik *Draw Beam/Column/Brace (Plan, Elev, 3D)* pada *ribbon* bagian kiri → Atur *Properties of Object* sebagaimana gambar di bawah → *Close*. Lakukan ekstrusi agar joint dapat berubah menjadi frame dengan cara klik *Edit* → *Extrude* → *Extrude Joints to Frames* → *Input* panjang dan arah ekstrusi → *Apply* → *OK*.

Properties of Object	
Type of Line	Frame
Property	2L.50X50X5
Moment Releases	Pinned
Plan Offset Normal, mm	0
Line Drawing Type	Straight Line

Gambar 2.134. *Properti dari 2L.50X50X5 yang Akan Diekstrusi*

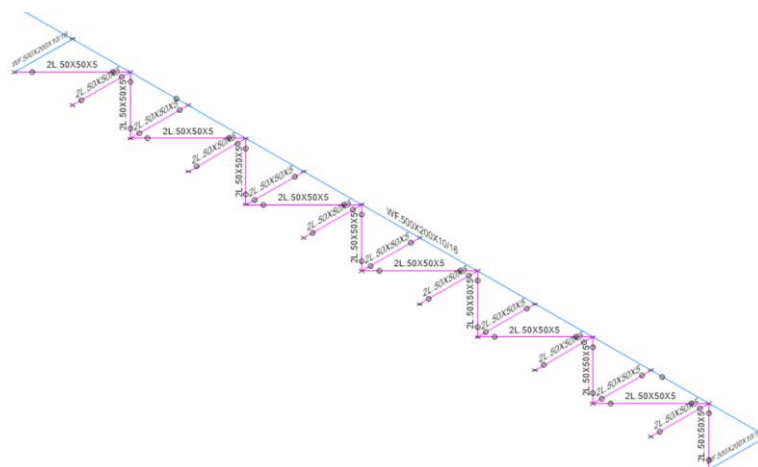


Gambar 2.135. Edit → Extrude → Extrude Joints to Frames



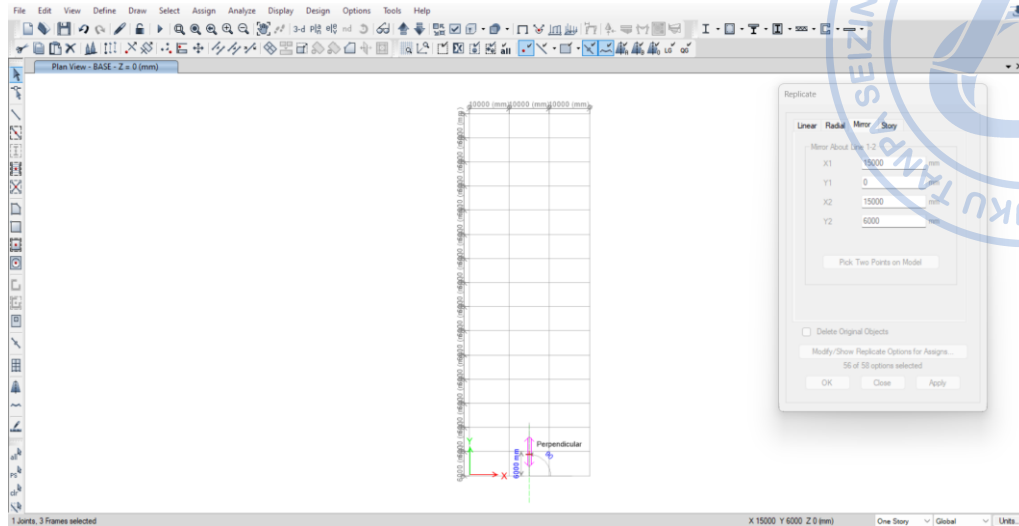
Gambar 2.136. Input Jarak dan Jumlah Ekstrusi Backing truss

Modelkan batang diagonal dan lateral dengan properti *frame* yang sama dengan cara klik *Draw Beam/Column/Brace* (Plan, Elev, 3D) pada *ribbon* bagian kiri → Atur *Properties of Object* → Hubungkan antar joint sebagaimana gambar di bawah.

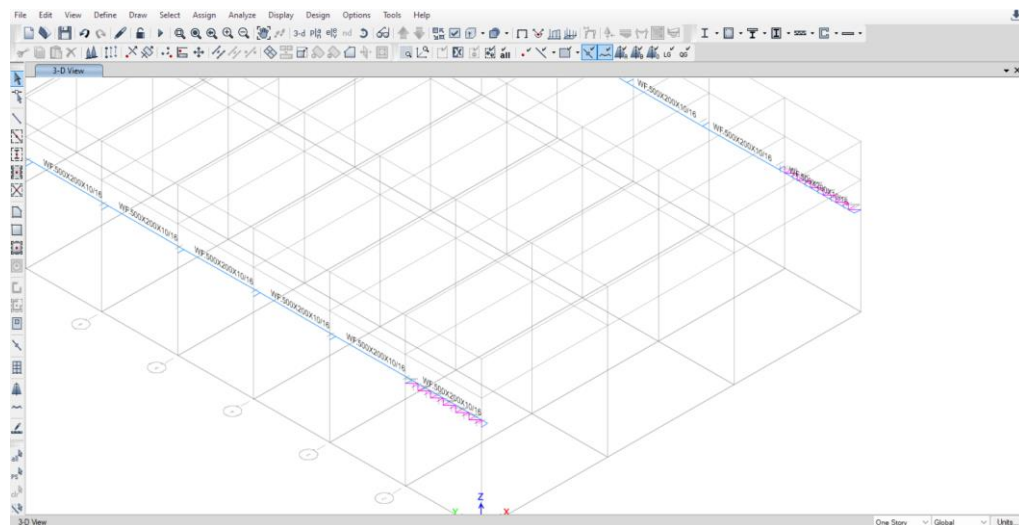


Gambar 2.137. Model Backing truss untuk Runway Beam

Gandakan *backing truss* pada bentang yang telah dibuat dengan cara *Select backing truss* 2L.50.50.5 yang telah dibuat → Klik Ctrl+R untuk *Replicate* → Klik *Set Plan View* pada *ribbon* atas → *Select* BASE → Lakukan *Mirror* pada opsi *Replicate* dengan cara *Pick Two Points on Model* → Hubungkan *midpoint* pada bagian tengah As 1 bangunan dengan *midpoint* pada bagian tengah As 2 bangunan → Apply → OK.

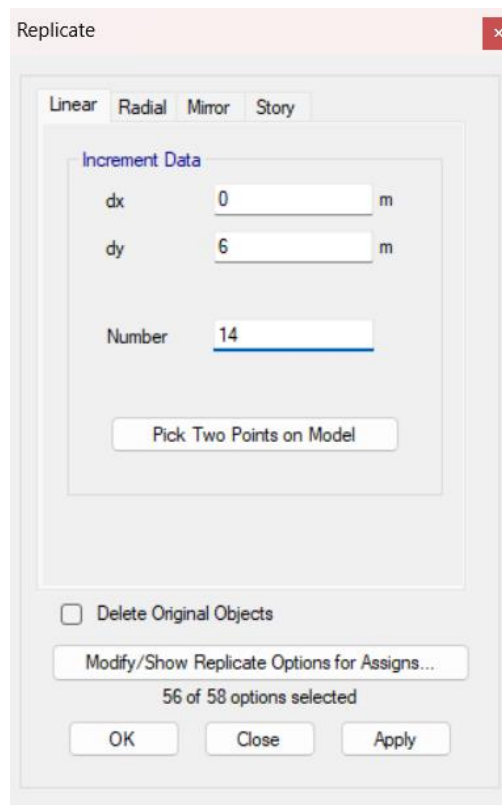


Gambar 2.138. *Replicate* → *Mirror* → *Pick Two Points on Model*

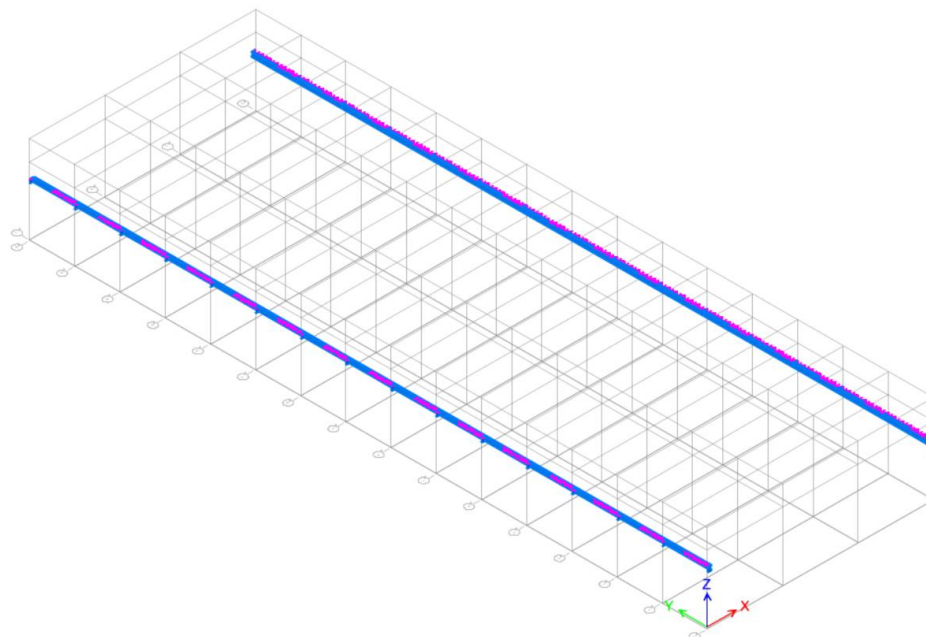


Gambar 2.139. *Backing Truss* Berhasil Di-*Mirror*

Replicate backing truss yang sudah termodelkan dengan jarak 6 m dari posisi semula searah y dengan jumlah 14 buah. Pilih *backing truss* yang telah termodelkan terlebih dahulu dengan cara *Select* → *Select* → *Properties* → *Frame Sections* → 2L.50X50X5 → *Apply* → OK. Setelah *backing truss* terpilih, klik Ctrl+R → *Input* jarak dan jumlah replikasi → *Apply* → OK.

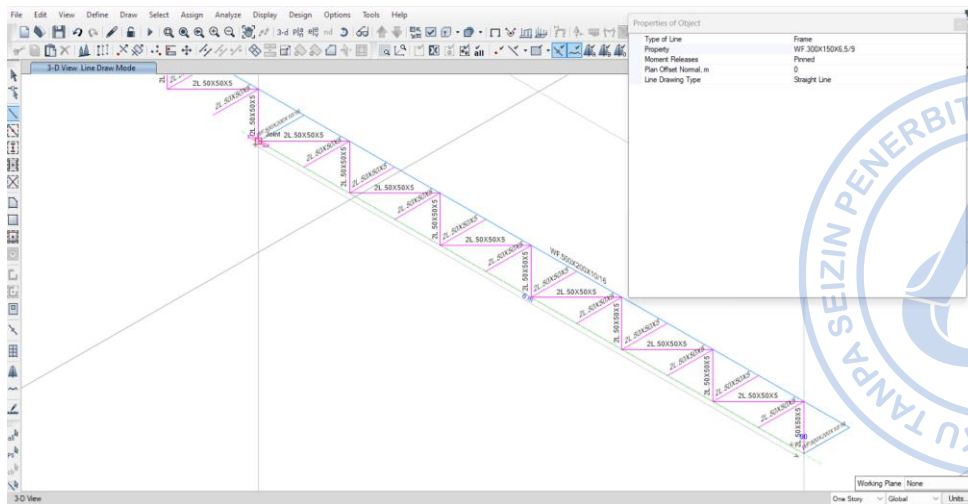


Gambar 2.140. *Input Jarak dan Jumlah Replikasi Backing truss*



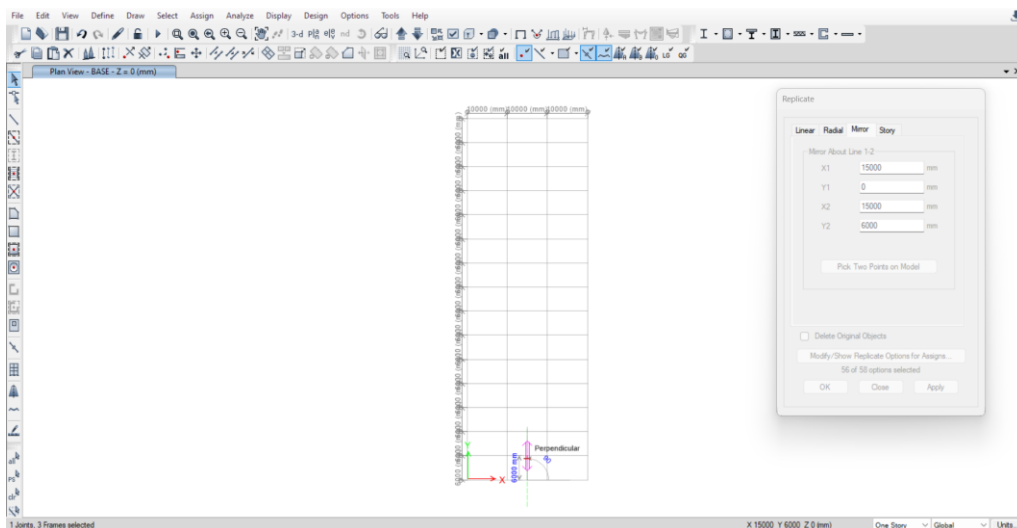
Gambar 2.141. *Input Jarak dan Jumlah Replikasi Backing truss*

Untuk ring *beam* WF.300X150X6,5/9 sebagai penopang *backing truss*, dapat dimodelkan dengan cara yang sama dengan pemodelan frame yang lain. Modelkan ring *beam* dengan cara klik *Draw/Column/Brace (Plan, Elev, 3D)* → Atur properti yang dikehendaki → Hubungkan *frame* dari satu titik ke titik yang lain.



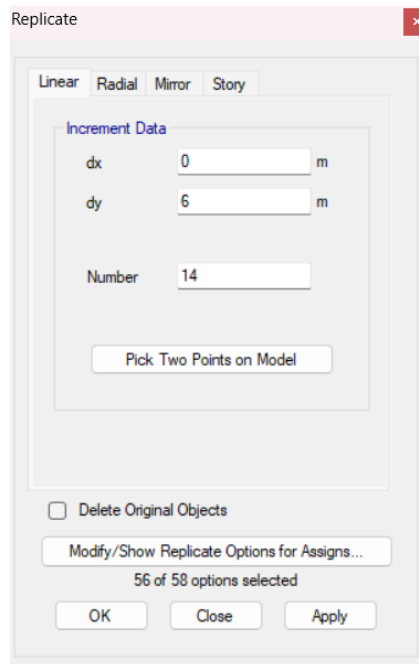
Gambar 2. 142. Pemodelan *Ring Beam* WF.300X150X6,5/9 Sebagai Penopang *Backing Truss*

Mirror ring beam yang telah dibuat dengan cara *Select* WF.300X150X5,5/8 → Klik *Ctrl+R* untuk *Replicate* → Klik *Set Plan View* pada *ribbon* atas → *Select* BASE → Lakukan *Mirror* pada opsi *Replicate* dengan cara *Pick Two Points on Model* → Hubungkan *midpoint* pada bagian tengah As 1 bangunan dengan *midpoint* pada bagian tengah As 2 bangunan → *Apply* → *OK*.



Gambar 2.143. *Replicate* → *Mirror* → *Pick Two Points on Model*

Lakukan penggandaan dengan opsi '*Replicate*' untuk arah memanjang bangunan. Penggandaan objek dilakukan dengan cara *Select* WF.300X150X5,5/8 → *Ctrl + R* → *Input* jarak dan jumlah penggandaan → *Apply* → *OK*.



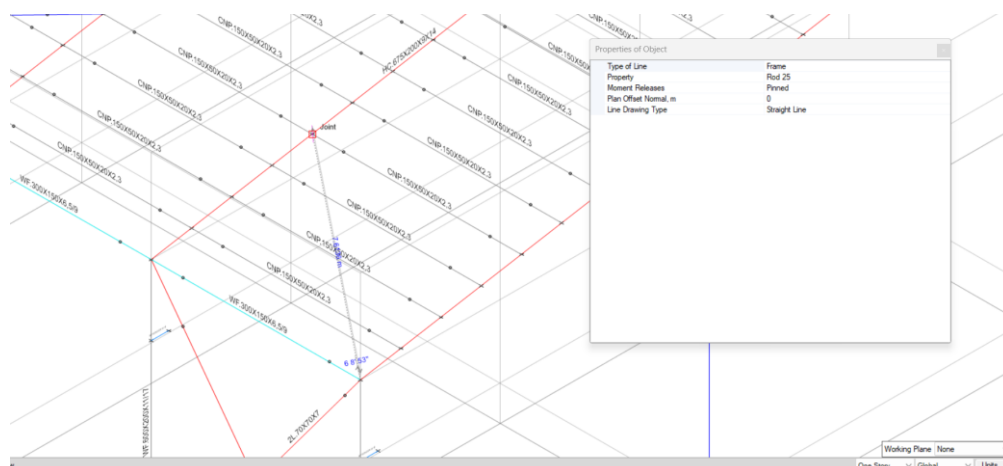
Gambar 2.144. Input Jarak dan Jumlah Replikasi Ring *Beam* Penopang *Backing Truss*

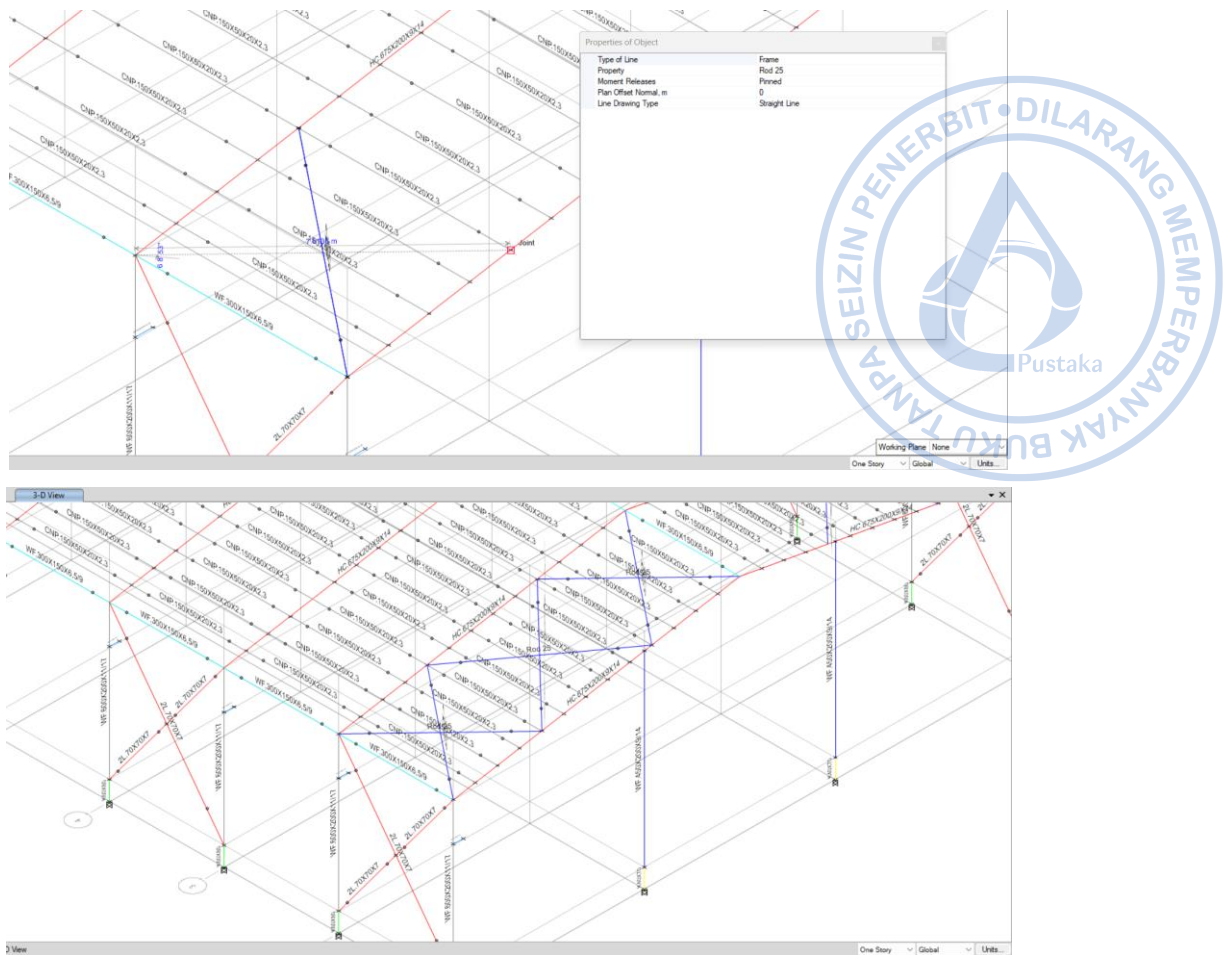
N. PEMODELAN *ROOF BRACING* DENGAN ROD 25 MM

Roof bracing dimodelkan pada bentang di mana *X-bracing* sudah dimodelkan. *Roof bracing* juga berfungsi sebagai ikatan angin. *Roof bracing* dimodelkan sebagai *steel rod* dengan diameter 25 mm sebagaimana yang dijelaskan sebelumnya. Pemodelan *roof bracing* dapat dilakukan dengan cara klik *Draw Beam/Column/Brace* (Plan, Elev, 3D) pada *ribbon* bagian kiri → Atur *Properties of Object* sebagaimana gambar di bawah → Hubungkan secara diagonal *bracing* Rod 25 mm.

Properties of Object	
Type of Line	Frame
Property	Rod 25
Moment Releases	Pinned
Plan Offset Normal, m	0
Line Drawing Type	Straight Line

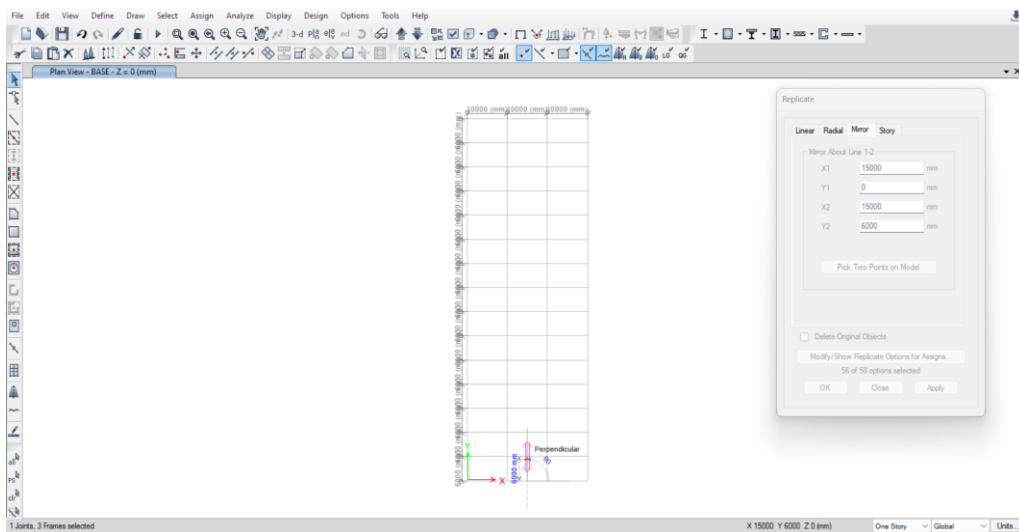
Gambar 2.145. *Properties of Object* Rod 25 mm



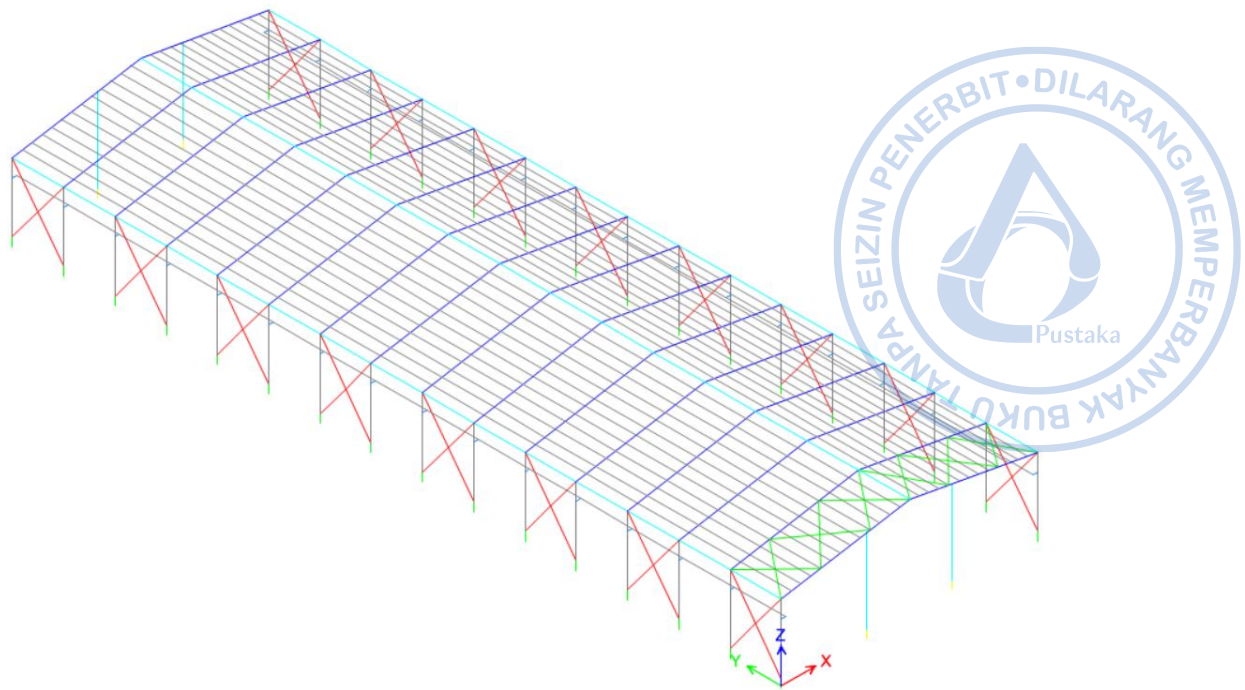


Gambar 2.146. Draw Rod 25 mm Secara Diagonal dari Rafter ke Rafter

Setelah model *roof bracing* dengan Rod 25 mm berhasil dibuat pada satu sisi atap, maka *roof bracing* tersebut perlu direplikasi ke sisi yang lain. Hal tersebut dapat dilakukan dengan cara *Select roof bracing* yang telah dibuat → Klik **Ctrl+R** untuk *Replicate* → Klik *Set Plan View* pada ribbon atas → *Select BASE* → Lakukan *Mirror* pada opsi *Replicate* dengan cara *Pick Two Points on Model* → Hubungkan *midpoint* pada bagian tengah As 1 bangunan dengan *midpoint* pada bagian tengah As 2 bangunan → *Apply* → OK.

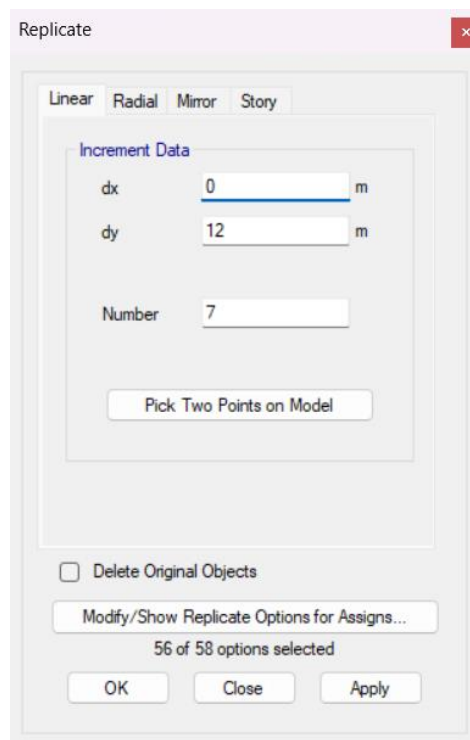


Gambar 2.147. Replicate → Mirror → Pick Two Points on Model

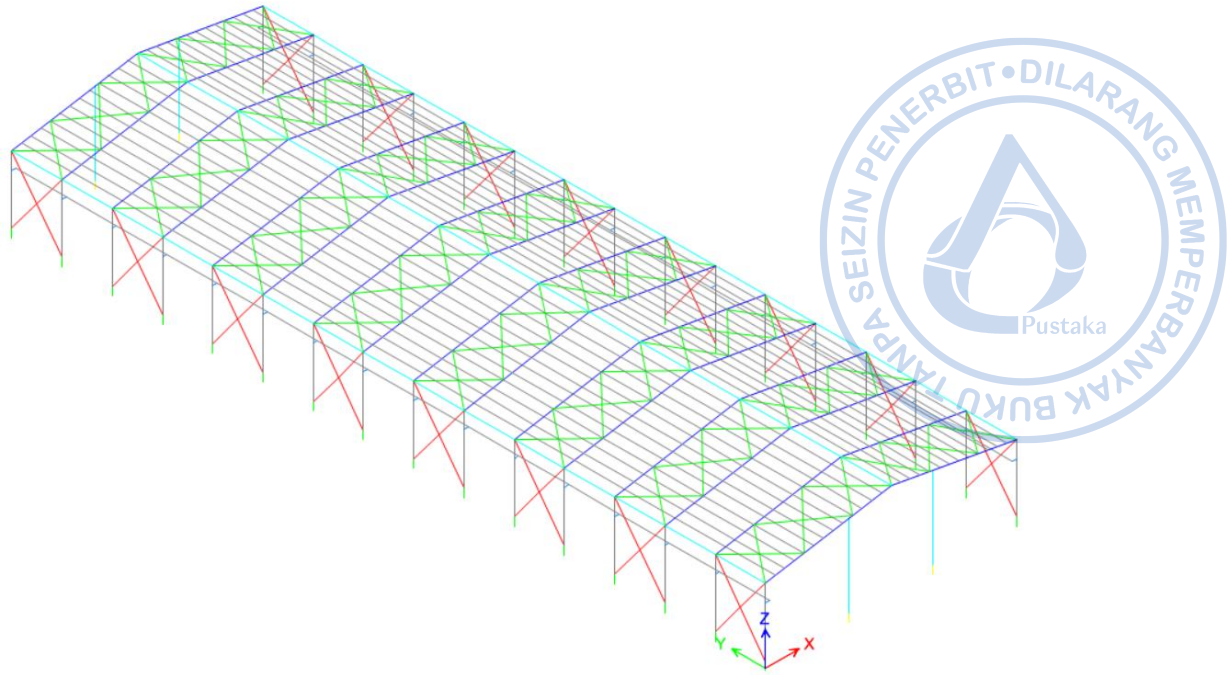


Gambar 2.148. *Roof Bracing* Sudah Termodel di Kedua Sisi Bangunan

Roof bracing yang sudah termodelkan perlu direplikasi dengan jarak 12 m dari posisi semula searah *y*. Pilih *roof bracing* yang telah termodelkan terlebih dahulu. Hal tersebut dilakukan dengan cara *Select* → *Select* → *Properties* → *Frame Sections* → Rod 25 mm → *Apply* → OK. Setelah *roof bracing* yang sebelumnya sudah dimodelkan terpilih, klik Ctrl+R → *Input* jarak dan jumlah replikasi → *Apply* → OK.



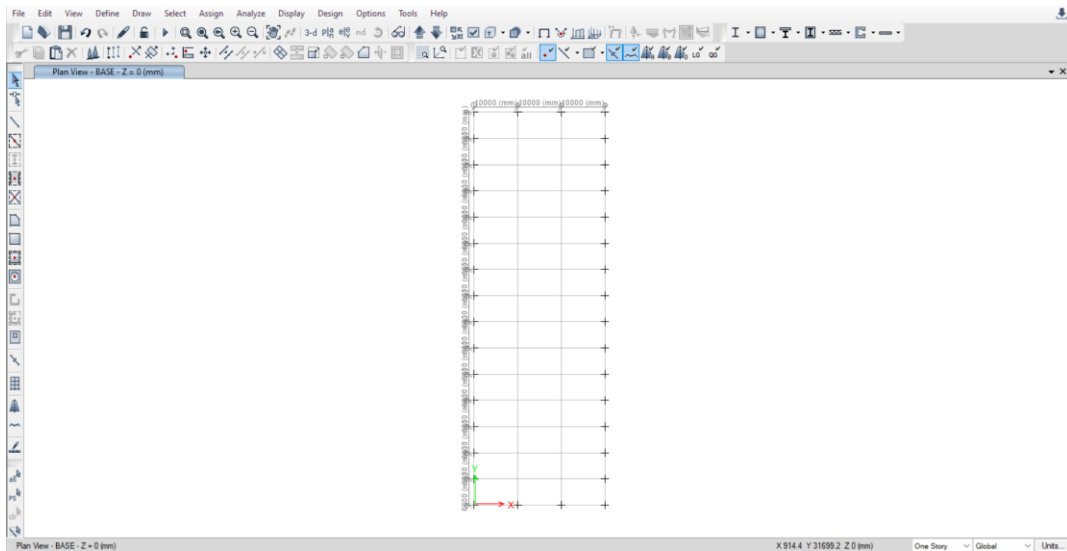
Gambar 2.149. *Replicate Roof Bracing*



Gambar 2.150. Roof Bracing Sudah Termodel pada Keseluruhan Bangunan

O. PEMODELAN TIE BEAM TB20/30

Pemodelan elemen *tie beam* diperlukan agar berat sendiri *tie beam* ikut terhitung saat desain untuk struktur bawah. Pemodelan *tie beam* dapat dilakukan dengan mengatur *View Plan* terlebih dahulu dengan cara klik ikon *Set Plan View* pada *Ribbon* → *Select BASE* → *Apply* → OK.

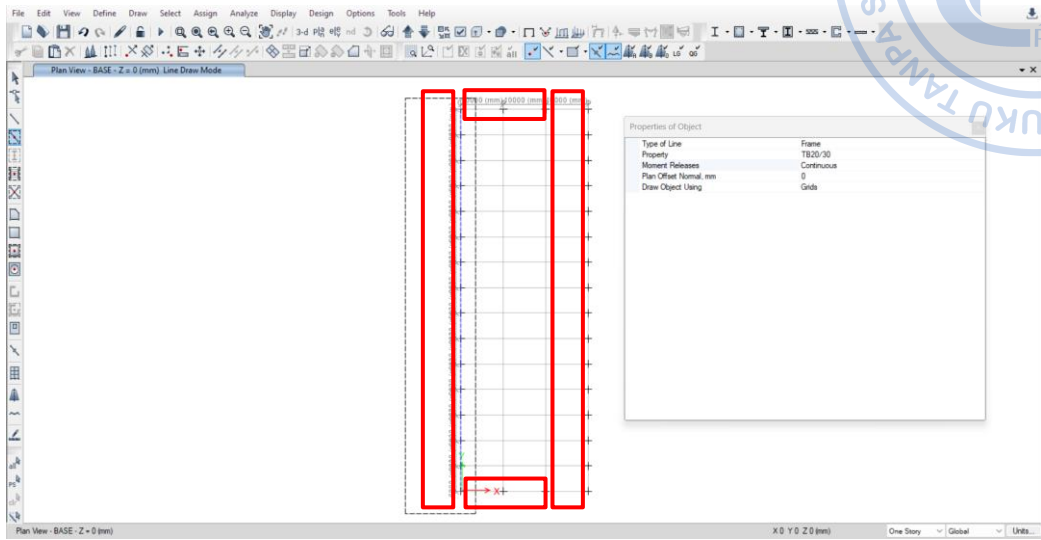


Gambar 2.151. View Plan BASE

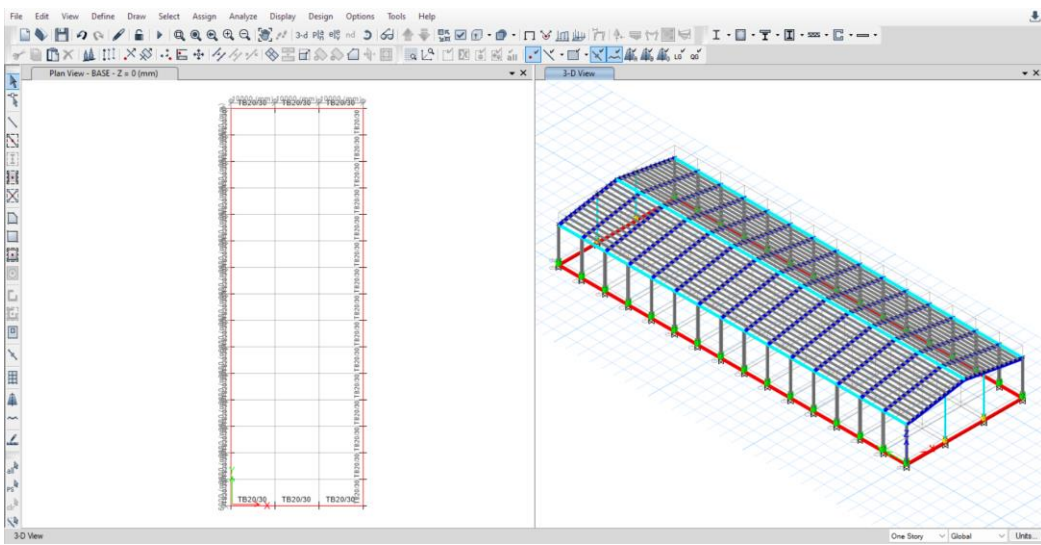
Pemodelan *tie beam* dilakukan dengan cara klik *Draw Beam/Column/Brace Objects* pada *ribbon* bagian kiri → Tentukan *Section Properties Tie Beam* → *Drag* kursor pada area di mana *tie beam* dibutuhkan.

Properties of Object	
Type of Line	Frame
Property	TB20/30
Moment Releases	Continuous
Plan Offset Normal, mm	0
Draw Object Using	Grids

Gambar 2.152. Section Properties Tie Beam TB20/30



Gambar 2.153. Draw TB20/30 Di Area yang Dibutuhkan



Gambar 2.154. TB20/30 yang Sudah Berhasil Dimodelkan

PEMBEBANAN STRUKTUR

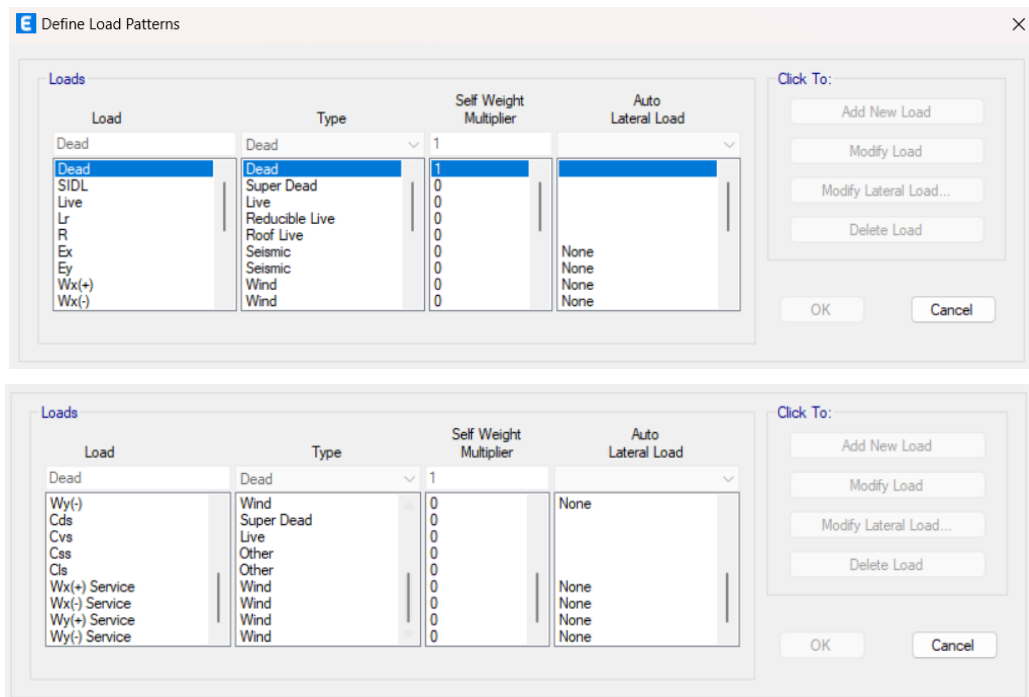


A. PEMBEBANAN PADA BANGUNAN INDUSTRI

Dalam desain bangunan industri, beban diasumsikan terlebih dahulu berdasarkan pertimbangan-pertimbangan teknis yang matang. Beban-beban yang diperhitungkan di antaranya adalah beban mati, beban hidup, beban gempa, dan beban angin. Sebuah desain struktur dikatakan aman apabila memiliki kapasitas yang lebih besar dari beban yang ada sehingga struktur kuat menopang beban tersebut.

B. PEMBUATAN LOAD PATTERN

Load pattern (pola beban) merupakan distribusi spasial dari serangkaian gaya, perpindahan, suhu, dan pengaruh lain tertentu yang bekerja pada suatu struktur. Kombinasi sambungan dan elemen apa pun dapat dipengaruhi oleh kondisi pembebanan dan kinematik. Setiap pola beban diberi tipe desain (*DEAD*, *SUPER DEAD*, *WIND*, *SEISMIC*, dll.) yang mengklasifikasikan tipe beban yang diaplikasikan dan dikomputasikan sesuai tipe beban yang didefinisikan. Dalam ETABS, penentuan load pattern dapat dilakukan dengan cara klik *Define – Load Patterns*. Masukan semua jenis beban seperti gambar di bawah.



Gambar 3.1. Load Pattern Definition

C. PERHITUNGAN BEBAN MATI (*DEAD LOAD*)

Beban mati tambahan merupakan beban yang bekerja pada seluruh atap. Beban ini terdiri dari beban mati, beban mati tambahan, berat sendiri struktur, berat finishing arsitektur dan berat ducting/kabel/pipa M/E dimasukkan serta beban lain yang diperhitungkan sebagai beban tetap pada struktur.

Superimposed Dead Load (SIDL)

Berat sendiri struktur	(Dihitung oleh program)
Penutup atap ($t = 0,55 \text{ mm} + \text{Insulasi}$)	= 6 kg/m^2
ME & Lampu	= 9 kg/m^2 +
	15 kg/m^2

Beban SIDL pada atap = 15 kg/m^2

Pada ETABS beban mati dalam hal ini berat sendiri struktur dapat dihitung secara otomatis begitu berat jenis material di-*input* saat pendefinisian material. Untuk beban kolateral atau beban mati tambahan, beban dapat di-*input* sebagai beban garis pada *rafter*. Beban area perlu dikonversi dahulu menjadi beban garis sebagaimana perhitungan di bawah.

Untuk *rafter* di bagian tengah

Jarak antar portal, a	=	6	m
Panjang <i>rafter</i> , b	=	15,23	m
Area yang dilayani	=	$a*b$	
Beban garis, q_{SIDL}	=	$(q*(a*b))/b$	
	=	$q*a$	
	=	$15*6$	
	=	90	kg/m

Untuk *rafter* di bagian tepi

Jarak antar portal, a	=	3	m
Panjang <i>rafter</i> , b	=	15,23	m
Area yang dilayani	=	$a*b$	
Beban garis, q_{SIDL}	=	$(q*(a*b))/b$	
	=	$q*a$	
	=	$15*3$	
	=	45	kg/m

Secara sederhana konversi beban area ke beban garis dapat dilakukan dengan mengalikan beban area dan bentang portal untuk *rafter* tengah, serta beban area dan setengah bentang portal untuk *rafter* tepi.

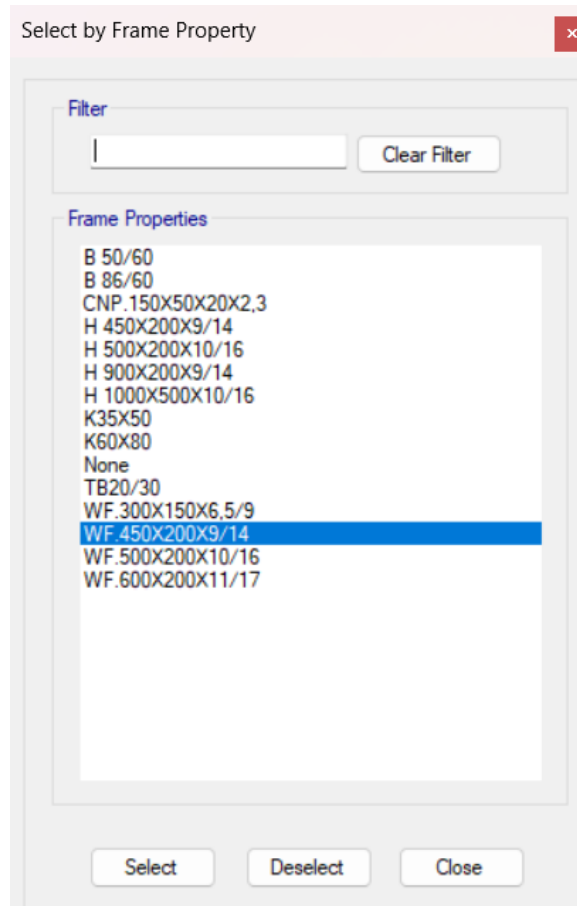
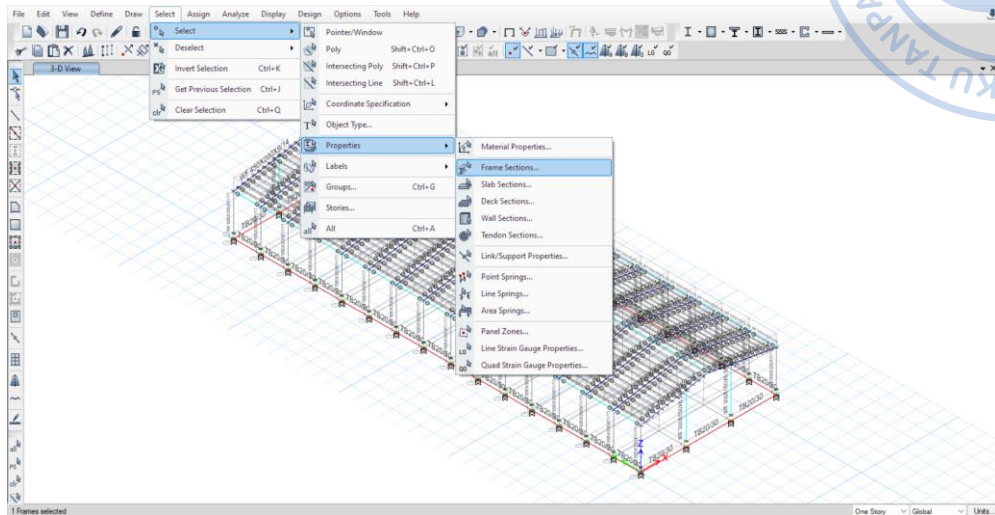
Untuk *rafter* di bagian tengah

Jarak antar portal, a	=	6	m
Beban garis, q_{SIDL}	=	$q*a$	
	=	$15*6$	
	=	90	kg/m

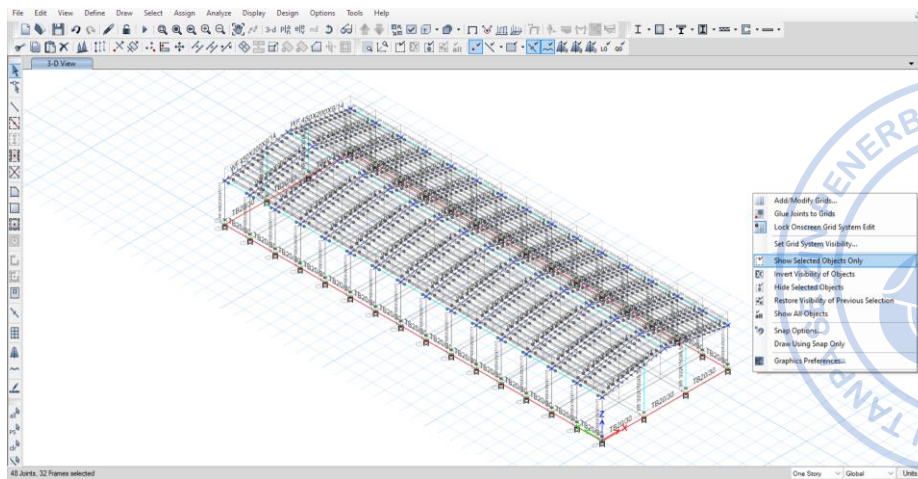
Untuk *rafter* di bagian tepi

$$\begin{aligned} \text{Jarak antar portal, } a &= 6 \text{ m} \\ \text{Beban garis, } q_{SIDL} &= q \cdot 0,5 \cdot a \\ &= 15 \cdot 0,5 \cdot 6 \\ &= 45 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Beban di-input sebagai beban garis pada ETABS dengan cara klik *Select* → *Select* → *Properties* → *Frame Sections* → HC.675X200X9/14 → Klik kanan → *Show Selected Objects Only*.

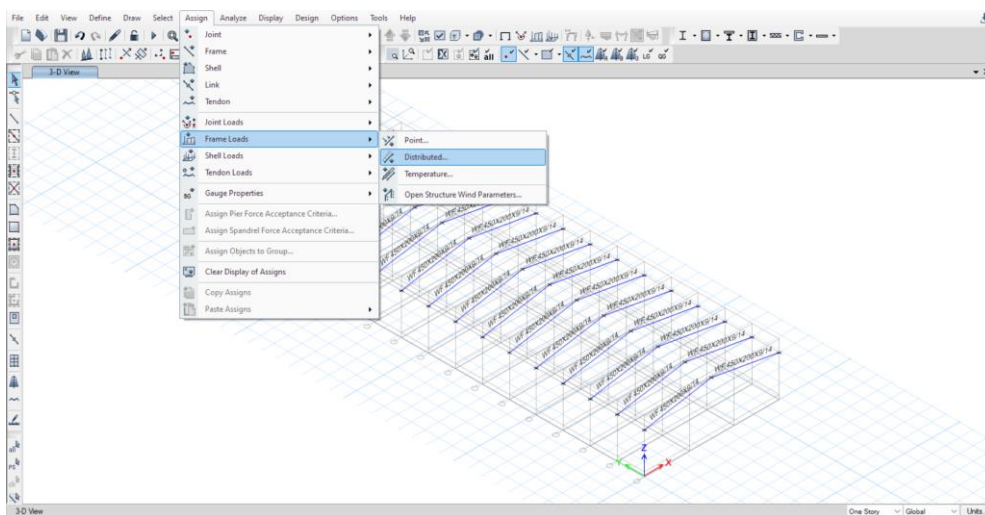


Gambar 3.2. *Select* HC.675X200X9/14

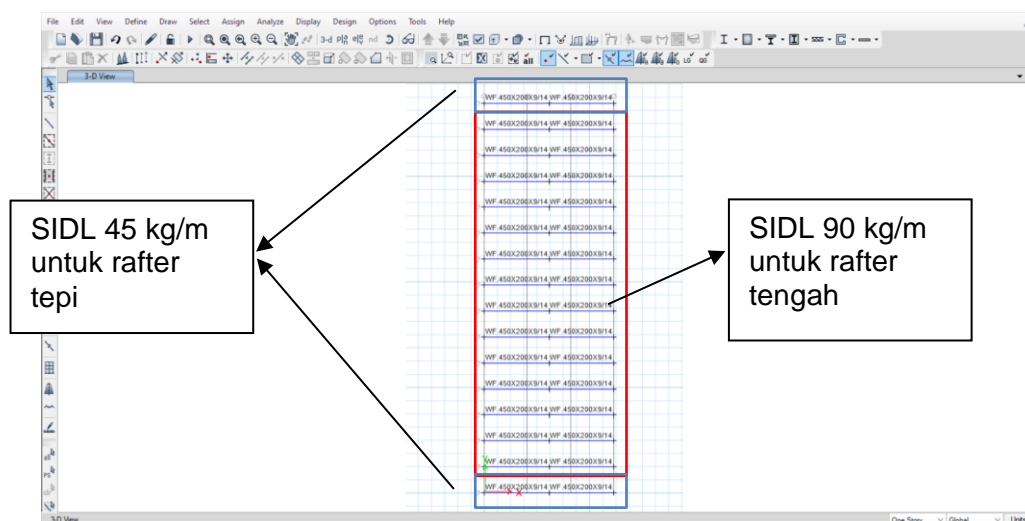


Gambar 3.3. Show HC.675X200X9/14 Only

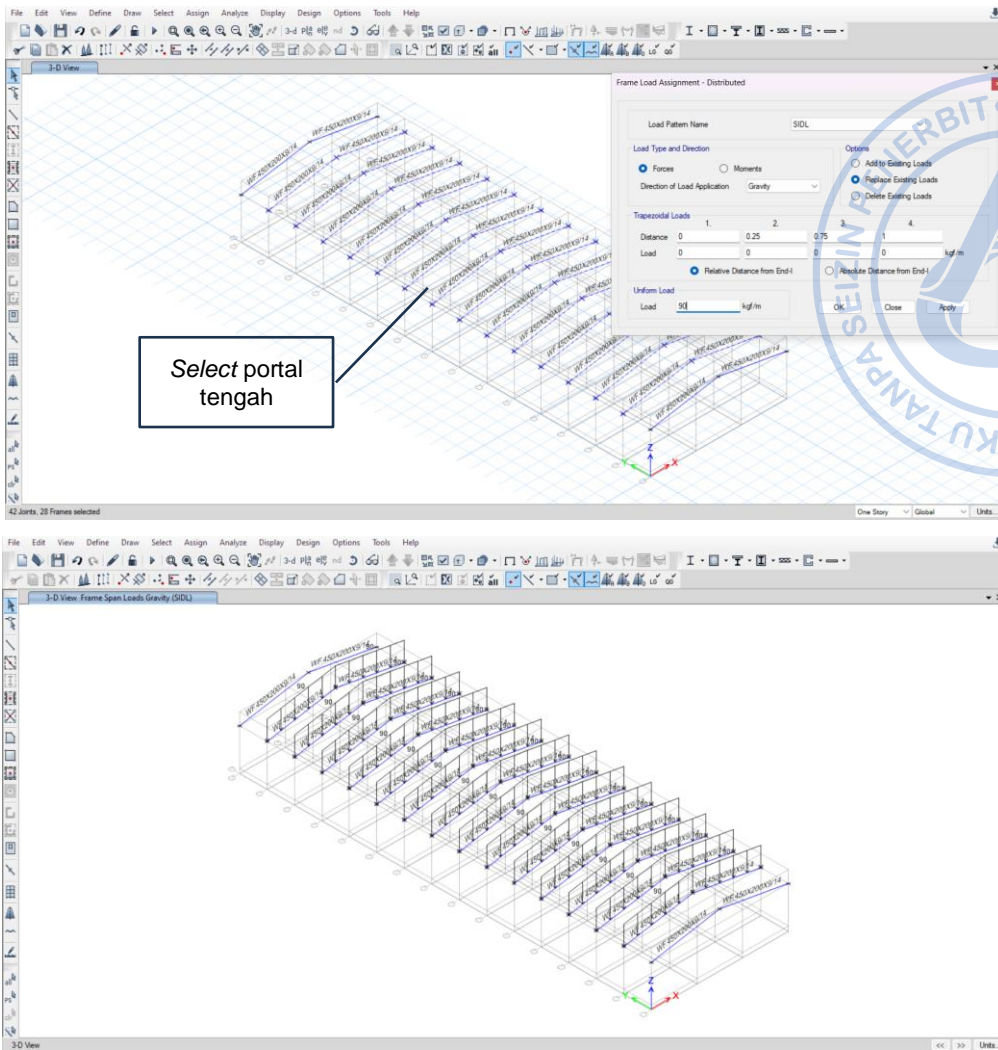
Terlebih dahulu akan diaplikasikan beban pada *rafter* bagian tengah, maka *drag* kursor untuk memilih *rafter* yang akan diaplikasikan beban SIDL 90 kg/m. Setelah *rafter* terpilih maka klik Assign → Frame Load → Distributed → Load Pattern Name = SIDL → Uniform Load = 90 kg/m. Lakukan hal yang sama terhadap *rafter* bagian tepi dengan *Input* besaran beban SIDL = 45 kg/m.



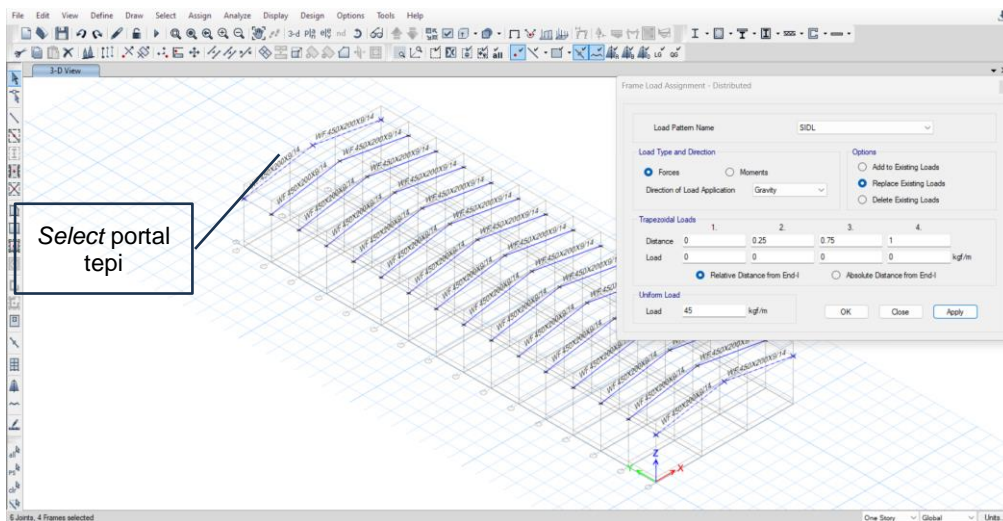
Gambar 3.4. Assign → Frame Loads → Distributed

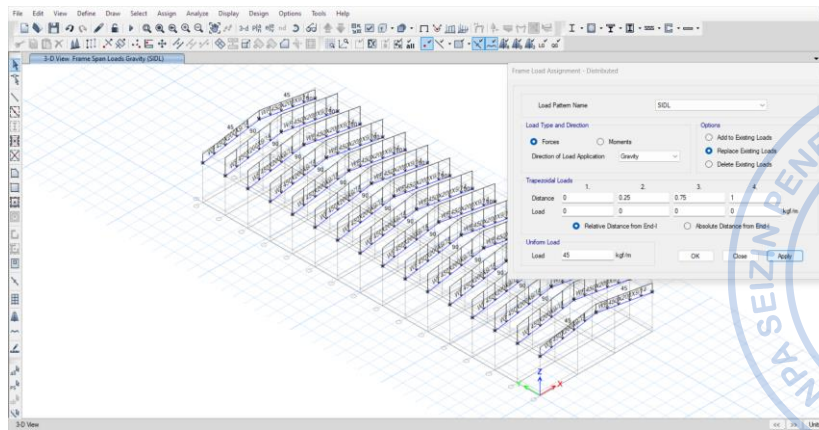


Gambar 3.5. SIDL 90 kg/m untuk Rafter Tengah dan 45 kg/m untuk Rafter Tepi



Gambar 3.6. SIDL 90 kg/m untuk *Rafter* Tengah





Gambar 3.7. SIDL 45 kg/m untuk *Rafter* Tepi

D. PERHITUNGAN BEBAN HIDUP ATAP (*ROOF LIVE LOAD*)

Besaran beban hidup dan reduksi beban hidup mengikuti ketentuan SNI 1727-2020, Beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain.

Beban hidup pada atap = 60 kg/m²

Untuk beban hidup, beban dapat di-*input* sebagai beban garis pada *rafter*. Beban area perlu dikonversi dahulu menjadi beban garis sebagaimana perhitungan di bawah.

Untuk *rafter* di bagian tengah

$$\begin{aligned}
 \text{Jarak antar portal, } a &= 6 \text{ m} \\
 \text{Panjang } \textit{rafter}, b &= 15,23 \text{ m} \\
 \text{Area yang dilayani} &= a*b \\
 \text{Beban garis, } q_{Lr} &= (q*(a*b))/b \\
 &= q*a \\
 &= 60*6 \\
 &= 360 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

Untuk *rafter* di bagian tepi

$$\begin{aligned}
 \text{Jarak antar portal, } a &= 3 \text{ m} \\
 \text{Panjang } \textit{rafter}, b &= 15,23 \text{ m} \\
 \text{Area yang dilayani} &= a*b \\
 \text{Beban garis, } q_{Lr} &= (q*(a*b))/b \\
 &= q*a \\
 &= 60*3 \\
 &= 180 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

Secara sederhana konversi beban area ke beban garis dapat dilakukan dengan mengalikan beban area dan bentang portal untuk *rafter* tengah, serta beban area dan setengah bentang portal untuk *rafter* tepi.

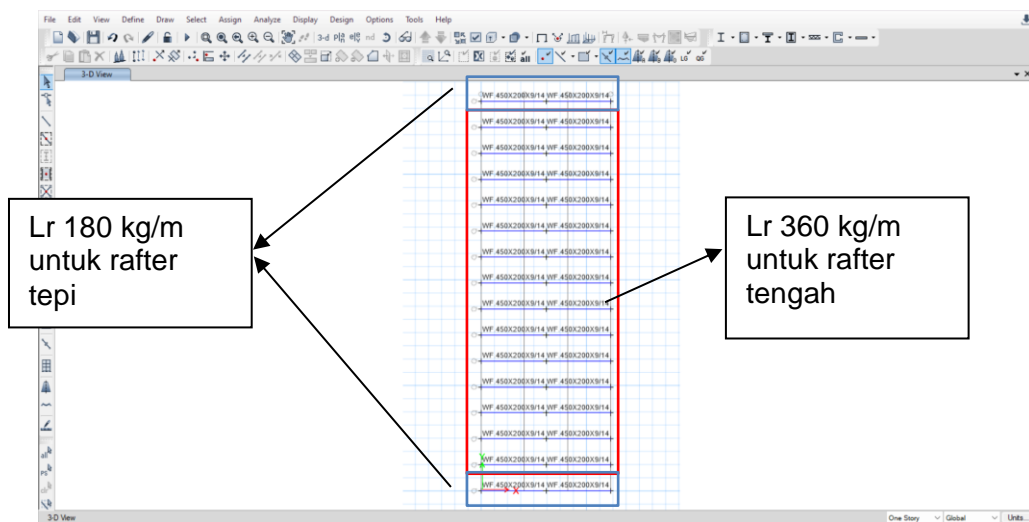
Untuk *rafter* di bagian tengah

$$\begin{aligned}
 \text{Jarak antar portal, } a &= 6 \text{ m} \\
 \text{Beban garis, } q_{Lr} &= q*a \\
 &= 60*6 \\
 &= 360 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

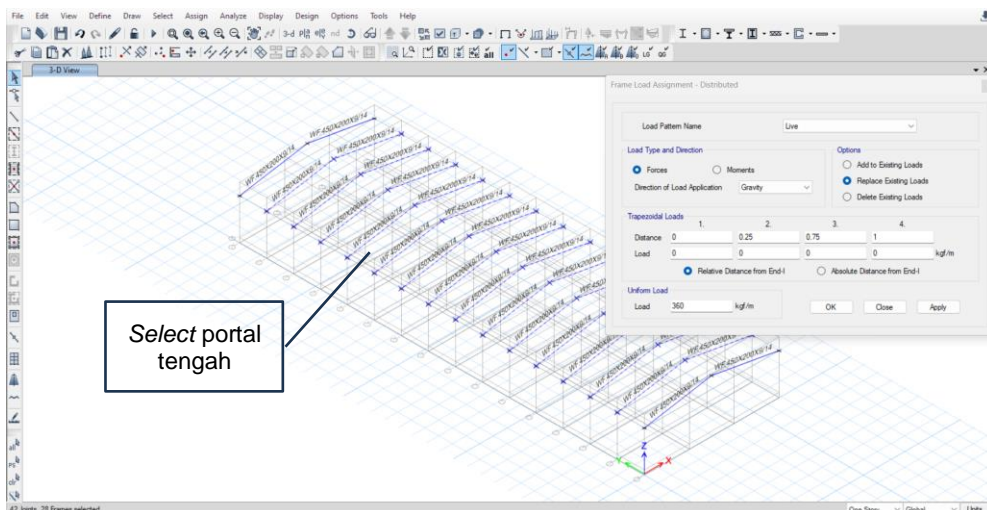
Untuk *rafter* di bagian tepi

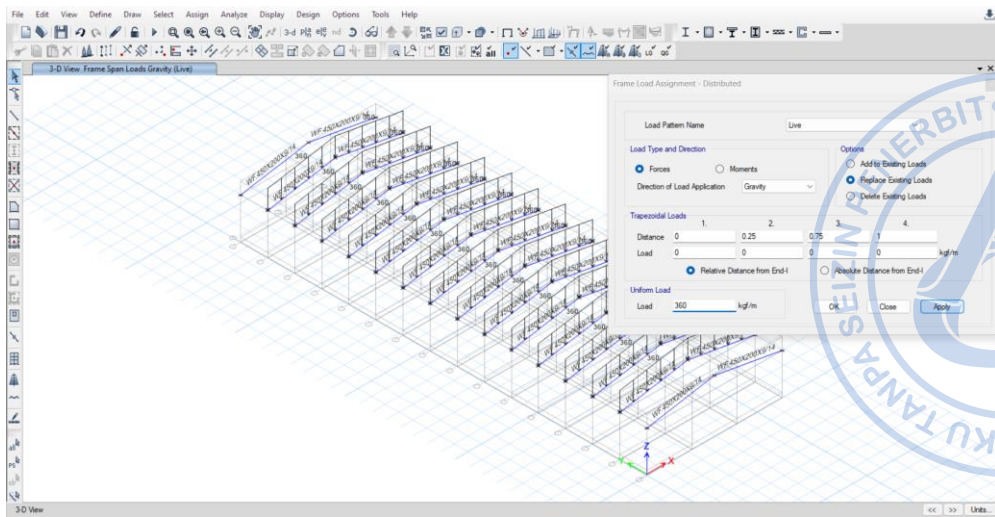
$$\begin{aligned} \text{Jarak antar portal, } a &= 6 \text{ m} \\ \text{Beban garis, } q_{Lr} &= q \cdot 0,5 \cdot a \\ &= 60 \cdot 0,5 \cdot 6 \\ &= 180 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Sebagaimana aplikasi beban mati dan SIDL pada *rafter*, beban hidup di-input dengan cara yang sama dengan besaran yang berbeda pada *rafter* yang telah dimodelkan. Terlebih dahulu akan diaplikasikan beban pada *rafter* bagian tengah, maka drag kursor untuk memilih *rafter* yang akan diaplikasikan beban hidup 360 kg/m. Setelah *rafter* terpilih maka klik *Assign* → *Frame Load* → *Distributed* → *Load Pattern Name* = *Lr* → *Uniform Load* = 360 kg/m. Lakukan hal yang sama terhadap *rafter* bagian tepi dengan *input* besaran beban hidup = 180 kg/m.

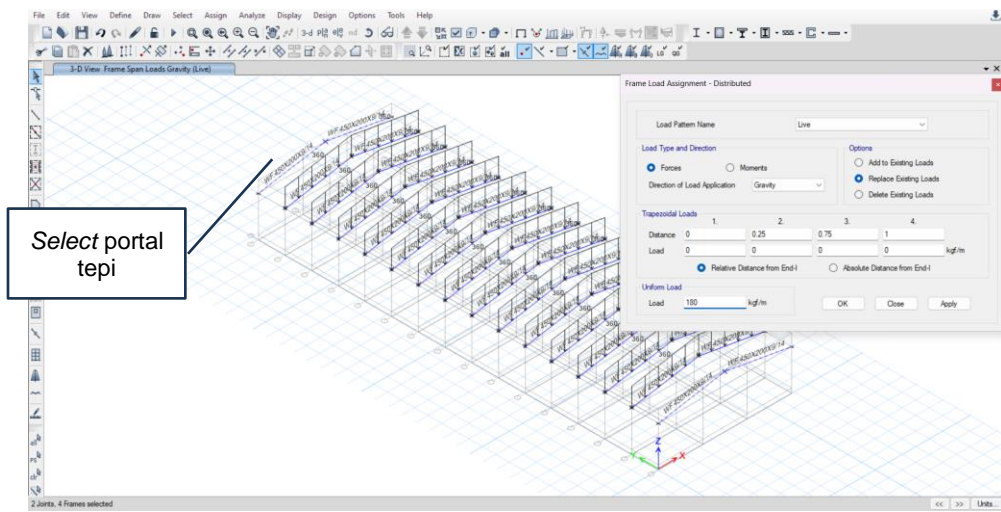


Gambar 3.8. Beban L_r 360 kg/m untuk *Rafter* Tengah dan 180 kg/m untuk *Rafter* Tepi

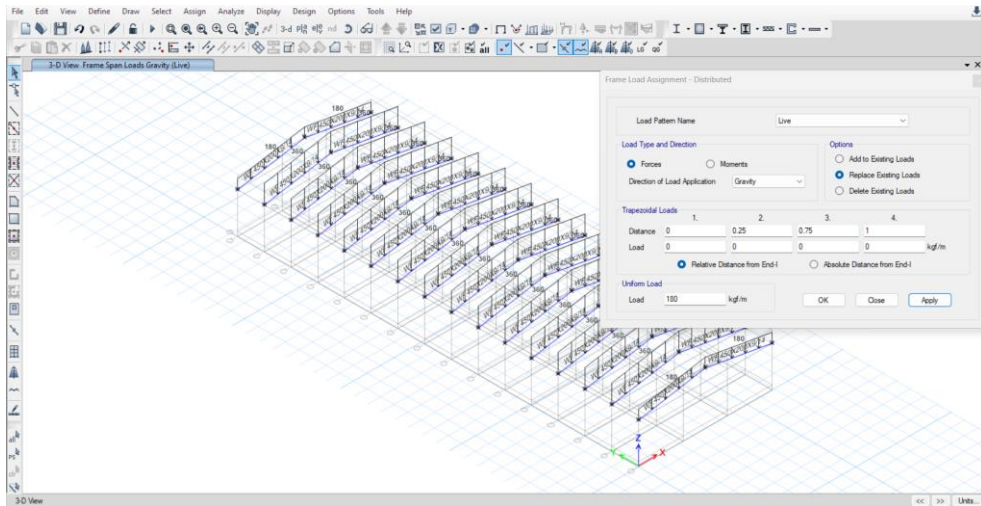




Gambar 3.9. Beban Lr 360 kg/m untuk Rafter Tengah



Select portal tepi



Gambar 3.10. Beban Lr 180 kg/m untuk Rafter Tepi

E. PERHITUNGAN BEBAN HUJAN (*RAIN LOAD*)

Beban akibat genangan air hujan dapat dihitung berdasarkan persamaan yang ada di bagian 2 dengan detail perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\text{Sudut atap, } \alpha &= 10 \text{ derajat} \\ \text{Beban hujan, } R &= 40-0,8 \cdot 10 \\ &= 32 \text{ kg/m}^2 < 20 \text{ kg/m}^2\end{aligned}$$

Maka beban akibat genangan air hujan diambil sebesar 20 kg/m^2 .

Secara sederhana konversi beban area ke beban garis dapat dilakukan dengan mengalikan beban area dan bentang portal untuk *rafter* tengah, serta beban area dan setengah bentang portal untuk *rafter* tepi.

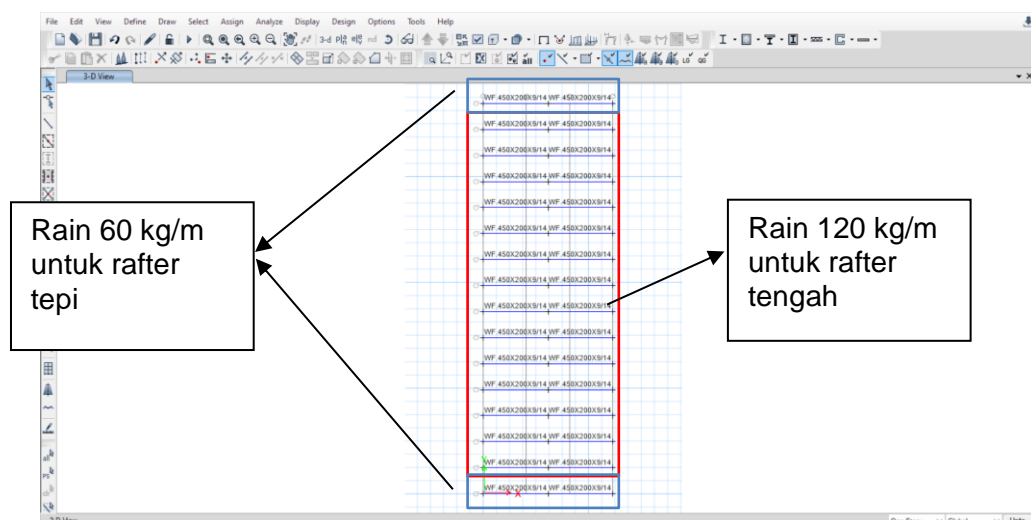
Untuk *rafter* di bagian tengah

$$\begin{aligned}\text{Jarak antar portal, } a &= 6 \text{ m} \\ \text{Beban garis, } q_R &= q \cdot a \\ &= 20 \cdot 6 \\ &= 120 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

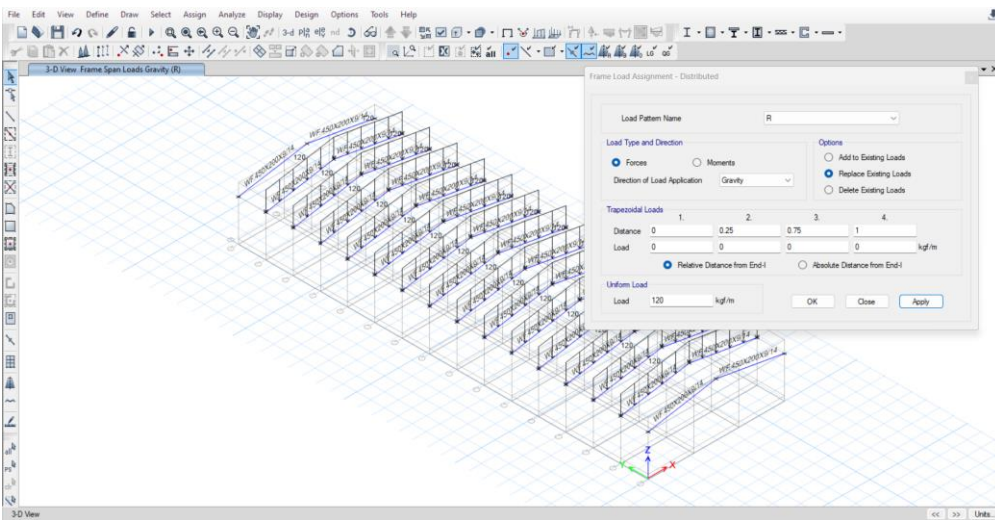
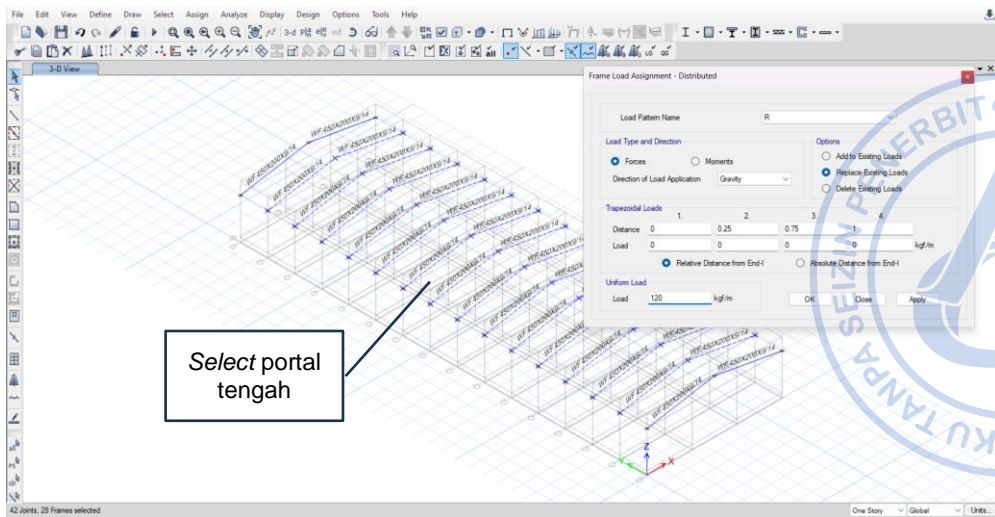
Untuk *rafter* di bagian tepi

$$\begin{aligned}\text{Jarak antar portal, } a &= 6 \text{ m} \\ \text{Beban garis, } q_R &= q \cdot 0,5 \cdot a \\ &= 20 \cdot 0,5 \cdot 6 \\ &= 60 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

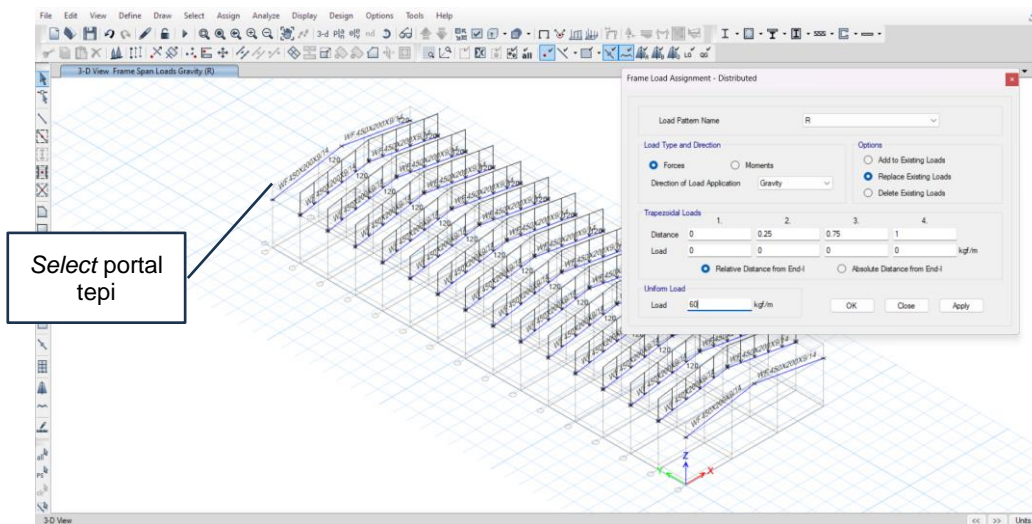
Sebagaimana aplikasi beban-beban sebelumnya pada *rafter*, beban hujan di-input dengan cara yang sama dengan besaran yang berbeda pada *rafter* yang telah dimodelkan. Terlebih dahulu akan diaplikasikan beban pada *rafter* bagian tengah, maka drag kursor untuk memilih *rafter* yang akan diaplikasikan beban hujan 120 kg/m . Setelah *rafter* terpilih maka klik Assign → Frame Load → Distributed → Load Pattern Name = R → Uniform Load = 120 kg/m . Lakukan hal yang sama terhadap *rafter* bagian tepi dengan *input* besaran beban hujan = 60 kg/m .

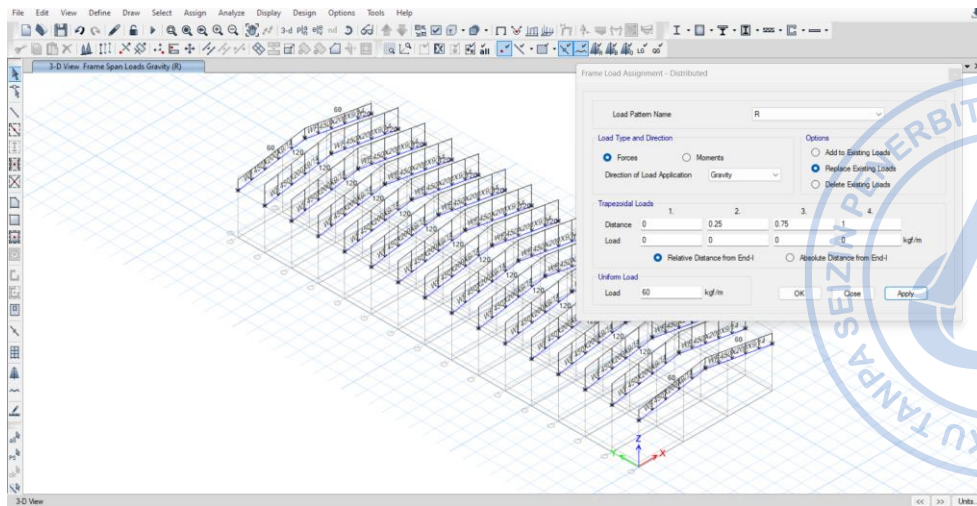


Gambar 3.11. Beban Hujan 120 kg/m untuk *Rafter* Tengah dan 60 kg/m untuk *Rafter* Tepi



Gambar 3.12. Beban Hujan 120 kg/m untuk Rafter Tengah





Gambar 3.13. Beban Hujan 60 kg/m untuk *Rafter* Tepi

F. PERHITUNGAN BEBAN ANGIN (*WIND LOAD*)

Perhitungan angin untuk struktur *warehouse* yang direncanakan dilakukan menggunakan metode yang disederhanakan untuk bangunan bertingkat rendah berdasarkan SNI 1727-2020:

Data-data Awal Bangunan

Kec. Angin, V	=	39,1	m/s	(TPKB Jakarta)
Kategori Risiko	=	II		(Table 1.5-1 Risk Category)
Kategori Eksposur	=	C		(Sect. 26.7)
Tinggi Ujung Atap, h_r	=	11,65	m	($h_r \geq h_e$)
Tinggi dinding, h_e	=	9,00	m	($h_e \leq h_r$)
Lebar Bangunan	=	30	m	(Tegak lurus nok atap)
Panjang Bangunan	=	90	m	(Pararel terhadap nok atap)
Faktor Topografi	=	Gable		(Gable atau Miring Sepihak)
K_{zt}	=	1,00		(Sect. 26.8 & Figure 26.8-1)
K_d	=	0,85		(Table 26.6)
Bangunan tertutup?	=	YA		(Sect. 26.2 & Table 26.11-1)

Parameter dan Koefisien yang Digunakan

Sudut atap, θ	=	$TAN^{-1} * \left(\frac{11,65-9}{\frac{30}{2}} \right)$
	=	10 derajat
Rata-rata tinggi atap, h	=	($h = (h_r+h_e)/2$, untuk sudut atap >10 derajat)
	=	$h = h_e$, untuk sudut atap ≤ 10 derajat
	=	9 m
Tinggi atap, $h \leq 60'$ (18 m)	=	YA
$h \leq L$ atau B	=	YA

Karena bangunan memenuhi dua kriteria di atas, maka bangunan termasuk kriteria bangunan *low-rise*.

Koefisien Tekanan Internal Positif & Negatif, GCpi (Table 26.13-1):

Tabel 26.13-1 - Sistem penahan gaya angin utama dan komponen dan klading (semua ketinggian): koefisien tekanan internal, (GC_{pi}), untuk bangunan tertutup, tertutup sebagian, terbuka sebagian, dan bangunan terbuka (dinding dan atap)

Klasifikasi ketertutupan	Kriteria untuk klasifikasi ketertutupan	Tekanan internal	Koefisien tekanan internal, (GC_{pi})
Bangunan tertutup	A_o kurang dari terkecil $0,01A_g$ atau $4 \text{ ft}^2 (0,37 \text{ m}^2)$ dan $A_{oi}/A_{oi} \leq 0,2$	Sedang	- 0,18 - 0,18
Bangunan tertutup sebagian	$A_o > 1,1A_{oi}$ dan $A_o >$ terkecil dari $0,01A_g$ atau $4 \text{ ft}^2 (0,37 \text{ m}^2)$ dan $A_{oi}/A_{oi} \leq 0,2$	Tinggi	- 0,55 - 0,55
Bangunan terbuka sebagian	Bangunan yang tidak sesuai dengan Klasifikasi tertutup, tertutup sebagian, atau klasifikasi terbuka	Sedang	- 0,18 - 0,18
Bangunan terbuka	Setiap dinding minimal terbuka 80 %	Diabaikan	0,00

CATATAN

1. Tanda plus dan minus menandakan tekanan yang bekerja ke arah dan menjauh dari permukaan dalam, masing-masing.

Gambar 3.14. Penentuan Koefisien Tekanan Internal

$$\text{Tekanan internal positif, } +G_{cpi} = 0,18$$

$$\text{Tekanan internal positif, } -G_{cpi} = -0,18$$

Koefisien eksposur tekanan velositas K_z :

Bangunan masuk ke dalam kategori eksposur C, sehingga nilai α dan Z_g , dapat diambil sebagai berikut:

Eksposur	α	Z_g (m)	\hat{a}	\hat{b}	α	b	c	l (m)	\bar{e}	Z_{min} (m)*
B	7	365.76	1/7	0.84	1/4.0	0.45	0.3	97.54	1/3.0	9.14
C	9.5	274.32	1/9.5	1	1/6.5	0.65	0.2	152.4	1/5.0	4.57
D	11.5	213.36	1/11.5	1.07	1/9.0	0.8	0.15	198.12	1/8.0	2.13

Gambar 3.15. Penentuan Koefisien Eksposur Tekanan Velositas

$$\alpha = 9,5$$

$$Z_g = 274,32$$

$$\begin{aligned} \text{Untuk } 15 \text{ ft} \leq z \leq z_g &= K_z = 2,01 * \left(\frac{z}{z_g}\right)^{\frac{2}{\alpha}} \\ &= K_z = 2,01 * \left(\frac{9}{274,32}\right)^{\frac{2}{10}} = 0,98 \end{aligned}$$

Tekanan Velositas

Tekanan velositas angin ditentukan berdasarkan parameter-parameter yang telah ditentukan sebelumnya dengan persamaan sebagai berikut:

$$q_z = 0,613 * K_z * K_{zt} * K_d * K_e * V^2$$

$$q_z = 0,613 * 0,98 * 1 * 0,85 * 1 * 39,1^2 = 779,84 \text{ N/m}^2$$

Lebar Zona Ujung Dinding dan Atap 'a' dan '2*a'

$$\text{Bentang minimum L atau B} = 30,00 \text{ m}$$

$$0.1*(L \text{ atau } B) = 3,00 \text{ m}$$

$$0.4*h = 4,13 \text{ m}$$

$$0.1*(L \text{ atau } B) < 0,4.h = 3,00 \text{ m}$$

$$0.04*(L, B) = 1,20 \text{ m}$$

$$0.1*(L \text{ atau } B) > 0.04*(L, B) = 3,00 \text{ m}$$

$$0.1*(L \text{ atau } B) > 0.9 \text{ m} = 3,00 \text{ m}$$

Maka zona ujung, a = 3,00 m
 '2*a' = 6,00 m

Beban Angin

Beban angin ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

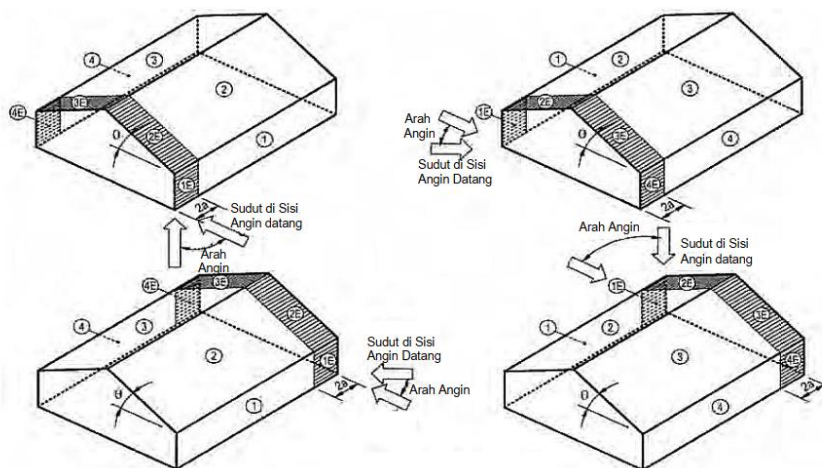
$$p = q_h * [(GC_{pf}) - (GC_{pi})]$$

Dengan koefisien tekanan eksternal yang telah diperhitungkan, G_{cpi} dan G_{cpf} , sesuai pada Gambar 28.3-1 SNI 1727-2020, rekapitulasi perhitungan tekanan angin untuk masing-masing kasus dan sisi adalah sebagai berikut:

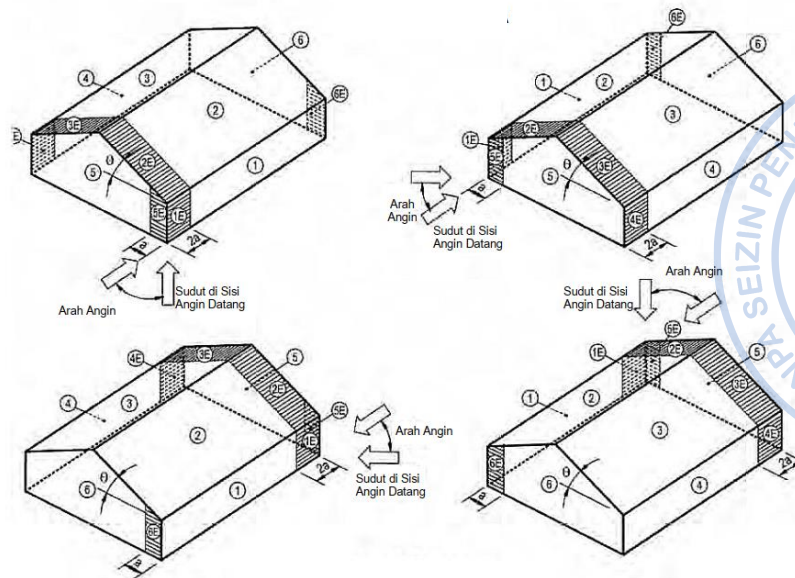


Tabel 3.1.
 Beban Angin SPGAU untuk Kasus A dan B

Beban Angin SPGAU for Kasus A				Beban Angin SPGAU for Kasus B			
Permukaan	GC _{pf}	p = Net Pressures (N/m ²)		Permukaan	*GC _{pf}	p = Net Pressures (N/m ²)	
		(w/ +GC _{pi})	(w/ -GC _{pi})			(w/ +GC _{pi})	(w/ -GC _{pi})
Zona 1	0,44	205	486	Zona 1	-0,45	-491	-211
Zona 2	-0,69	-678	-398	Zona 2	-0,69	-678	-398
Zona 3	-0,41	-457	-177	Zona 3	-0,37	-429	-148
Zona 4	-0,34	-403	-122	Zona 4	-0,45	-491	-211
Zona 5	---	---	---	Zona 5	0,40	172	452
Zona 6	---	---	---	Zona 6	-0,29	-367	-86
Zona 1E	0,67	385	665	Zona 1E	-0,48	-515	-234
Zona 2E	-1,07	-975	-694	Zona 2E	-1,07	-975	-694
Zona 3E	-0,58	-595	-314	Zona 3E	-0,53	-554	-273
Zona 4E	-0,50	-530	-249	Zona 4E	-0,48	-515	-234
Zona 5E	---	---	---	Zona 5E	0,61	335	616
Zona 6E	---	---	---	Zona 6E	-0,43	-476	-195

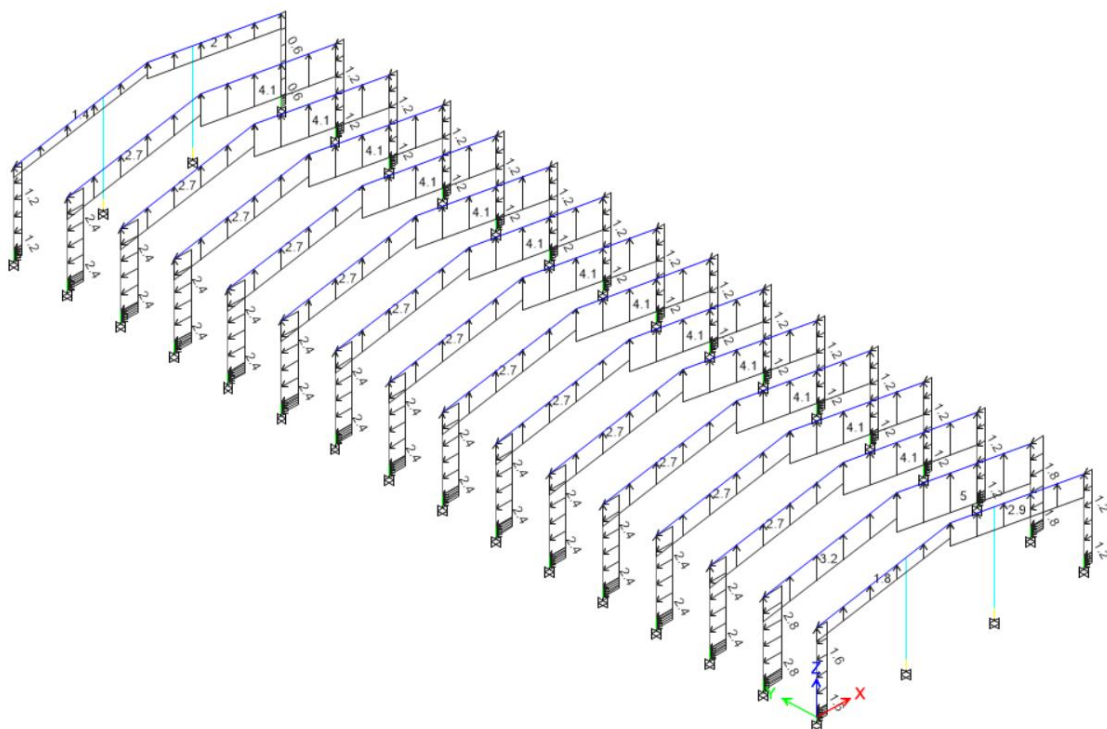


Gambar 2.155. Beban Angin SPGAU Kasus A, Transversal

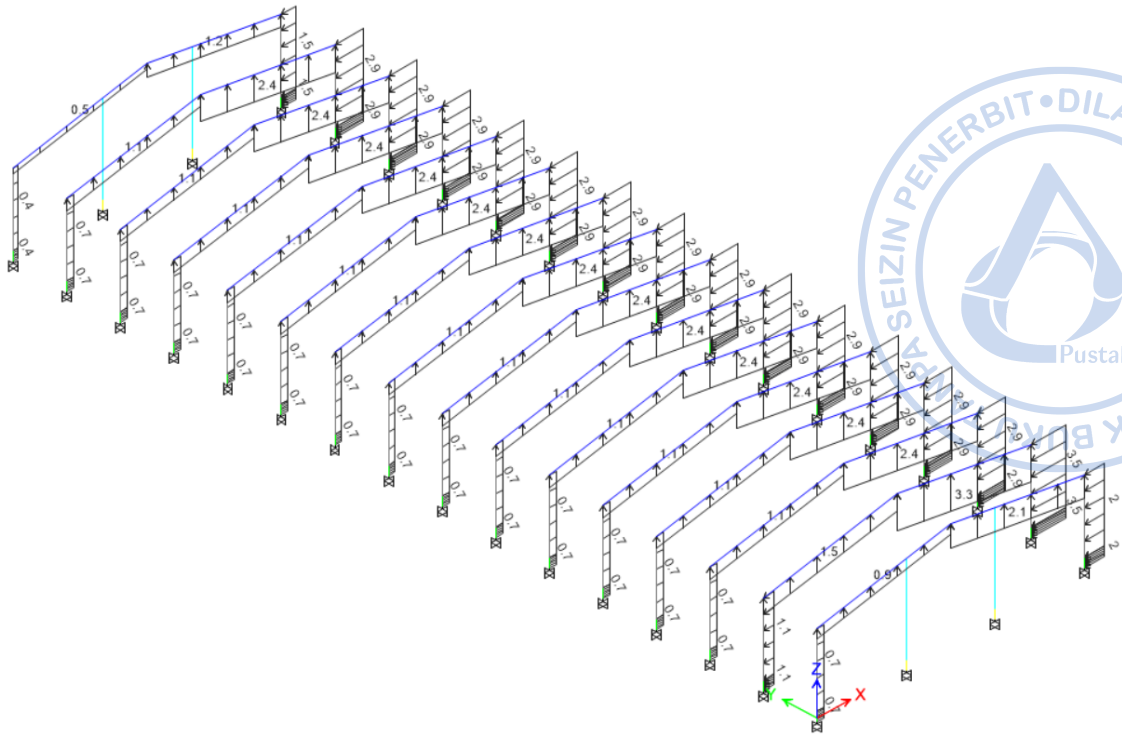


Gambar 2.156. Beban Angin SPGAU Kasus B, Longitudinal

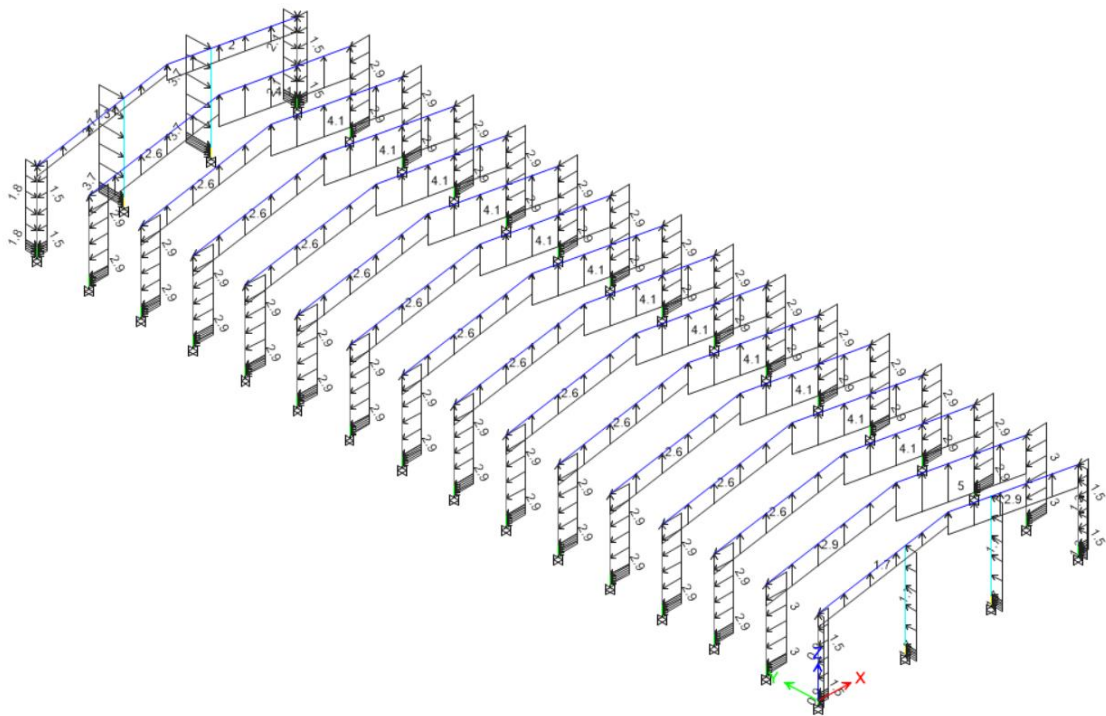
Beban angin baik untuk arah transversal maupun longitudinal di-input pada struktur sebagai beban garis dengan mengalikan tekanan angin dengan area tributari yang dilayani. Hal tersebut dapat dilakukan dengan cara klik *rafter* yang akan di-assign beban terpilih maka klik *Assign* → *Frame Load* → *Distributed* → *Load Pattern Name* = $W_{x(+)} / W_{x(-)} / W_{y(+)} / W_{y(-)}$ → *Uniform Load* = *Input* besaran beban. Beban yang diaplikasikan pada struktur bangunan yang didesain ada pada gambar di bawah ini.



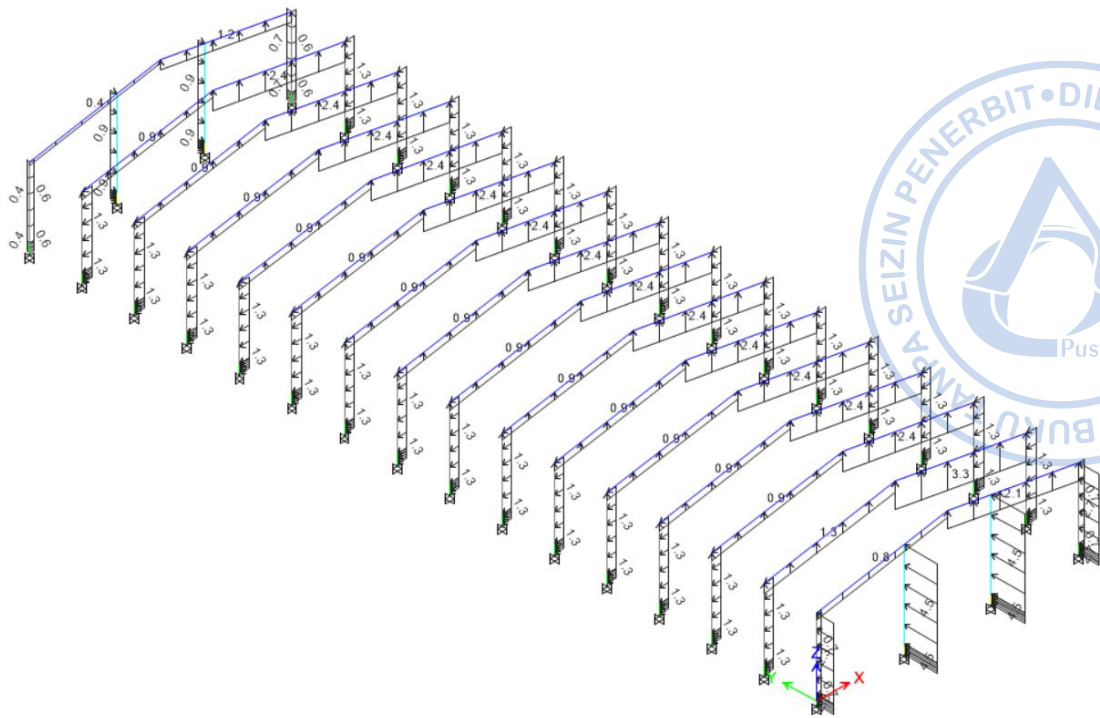
Gambar 3.16. Beban Angin Transversal + G_{Cpi}



Gambar 3.17. Beban Angin Transversal $-G_{Cpi}$



Gambar 3.18. Beban Angin Longitudinal $+G_{Cpi}$



Gambar 319. Beban Angin Longitudinal $-G_{Cpi}$

Untuk beban servis, kecepatan angin yang digunakan adalah 32 m/s. Dengan tata cara perhitungan yang sama dengan apa yang diuraikan sebelumnya, didapatkan beban tekanan angin SPGAU pada tabel di bawah.

Tabel 3.2.

Beban Angin SPGAU untuk Kasus A dan B (Kondisi Servis)

Beban Angin SPGAU for Kasus A				Beban Angin SPGAU for Kasus B			
Permukaan	GCpf	p = Net Pressures (N/m^2)		Permukaan	*GCpf	p = Net Pressures (N/m^2)	
		(w/ +GCpi)	(w/ - GCpi)			(w/ +GCpi)	(w/ - GCpi)
Zona 1	0,44	137	326	Zona 1	-0,45	-329	-141
Zona 2	-0,69	-454	-266	Zona 2	-0,69	-454	-266
Zona 3	-0,41	-306	-118	Zona 3	-0,37	-287	-99
Zona 4	-0,34	-270	-82	Zona 4	-0,45	-329	-141
Zona 5	---	---	---	Zona 5	0,40	115	303
Zona 6	---	---	---	Zona 6	-0,29	-245	-57
Zona 1E	0,67	258	446	Zona 1E	-0,48	-345	-157
Zona 2E	-1,07	-653	-465	Zona 2E	-1,07	-653	-465
Zona 3E	-0,58	-399	-211	Zona 3E	-0,53	-371	-183
Zona 4E	-0,50	-355	-167	Zona 4E	-0,48	-345	-157
Zona 5E	---	---	---	Zona 5E	0,61	225	413
Zona 6E	---	---	---	Zona 6E	-0,43	-319	-131



PERENCANAAN STRUKTUR TERHADAP BEBAN GEMPA

A. PERHITUNGAN BEBAN GEMPA (*SEISMIC LOAD*)

Beban gempa dihitung dan disesuaikan dengan tata cara perhitungan beban gempa yang terdapat pada uraian di Bagian 1. Beban gempa yang digunakan pada struktur ini merupakan beban gempa statik yang dihitung berdasarkan gaya geser dasar bangunan. Tahapan-tahapan penentuan beban gempa akan disajikan pada Bagian 4 ini.

B. KATEGORI RISIKO

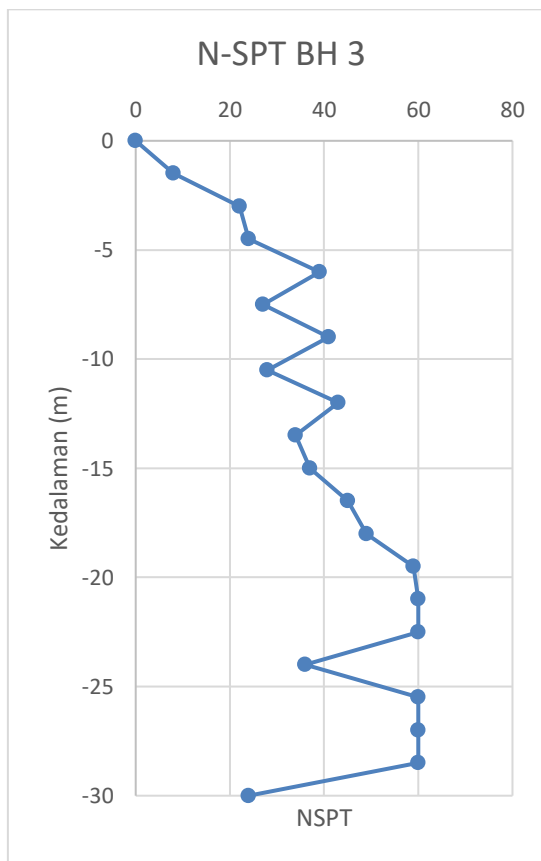
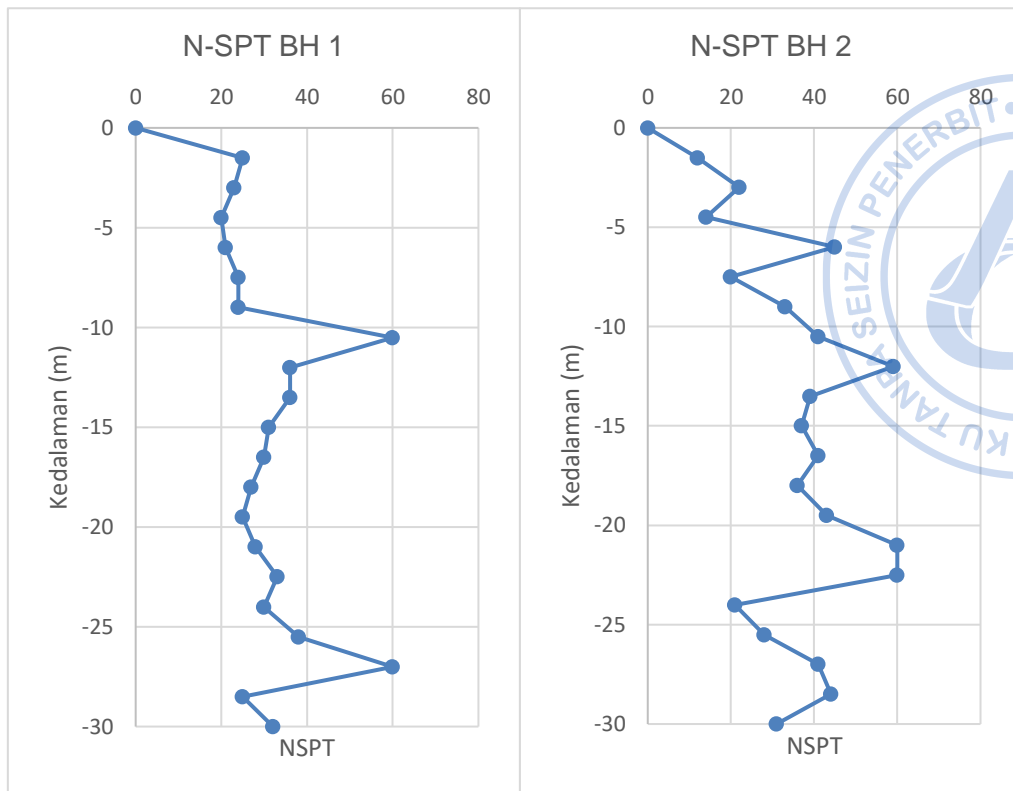
Kategori risiko bangunan ini ditentukan berdasarkan fungsi bangunan. Bangunan yang direncanakan berfungsi sebagai bangunan pabrik yang memiliki kategori risiko II.

C. FAKTOR KEUTAMAAN GEMPA

Setelah kategori risiko bangunan ditentukan berdasarkan jenis pemanfaatan bangunan. Maka, faktor keutamaan gempa sebagai salah satu parameter untuk menentukan besarnya beban gempa dapat ditentukan berdasarkan Tabel 4 SNI 1726-2019 tentang faktor keutamaan gempa. Faktor keutamaan gempa untuk bangunan yang direncanakan adalah 1,00.

D. PENENTUAN KELAS SITUS

Kelas situs ditentukan berdasarkan SNI 1726-2019 berdasarkan data penyelidikan tanah yang tersedia. Pada proyek ini, hanya diketahui satu jenis data penyelidikan tanah yang digunakan untuk menentukan kelas situs, yaitu berupa data N-SPT. Terdapat tiga data N-SPT yang dapat dilihat pada bagian lampiran. Berdasarkan SNI 1726-2019 apabila hanya memperhitungkan satu jenis data tanah, maka kelas situs yang digunakan adalah kelas situs yang paling rendah sesuai ketentuan yang terdapat pada SNI 1726- 2019. Namun pada perhitungan ini, penentuan kelas situs murni berdasarkan nilai yang diperoleh dari data N-SPT. Analisis data N-SPT untuk penentuan kelas situs disajikan pada tabel sebagai berikut.



Gambar 4.1 Hasil Pengujian Tanah pada BH 1, BH 2, dan BH 3

Tabel 4.1.
Klasifikasi Situs Berdasarkan BH-1

Depth (m)	N-SPT	Ni	di	di/Ni
0	0			
		12,5	1,5	0,120
1,5	25			
		24	1,5	0,063
3	23			
		21,5	1,5	0,070
4,5	20			
		20,5	1,5	0,073
6	21			
		22,5	1,5	0,067
7,5	24			
		24	1,5	0,063
9	24			
		42	1,5	0,036
10,5	60			
		48	1,5	0,031
12	36			
		36	1,5	0,042
13,5	36			
		33,5	1,5	0,045
15	31			
		30,5	1,5	0,049
16,5	30			
		28,5	1,5	0,053
18	27			
		26	1,5	0,058
19,5	25			
		26,5	1,5	0,057
21	28			
		30,5	1,5	0,049
22,5	33			
		31,5	1,5	0,048
24	30			
		34	1,5	0,044
25,5	38			
		49	1,5	0,031
27	60			
		42,5	1,5	0,035
28,5	25			
		28,5	1,5	0,053
30	32			
Total			30	1,084
N _{rerata}			27,7	



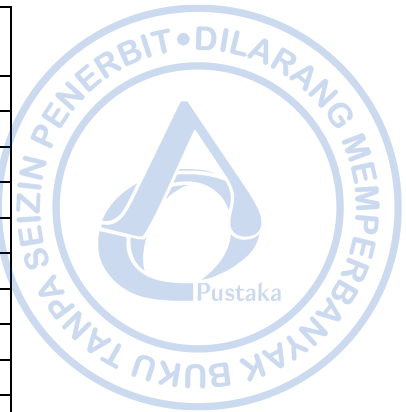
Tabel 4.2.
Klasifikasi Situs Berdasarkan BH-2

Depth (m)	N-SPT	Ni	di	di/Ni
0	0			
		6	1,5	0,250
1,5	12			
		17	1,5	0,088
3	22			
		18	1,5	0,083
4,5	14			
		29,5	1,5	0,051
6	45			
		32,5	1,5	0,046
7,5	20			
		26,5	1,5	0,057
9	33			
		37	1,5	0,041
10,5	41			
		50	1,5	0,030
12	59			
		49	1,5	0,031
13,5	39			
		38	1,5	0,039
15	37			
		39	1,5	0,038
16,5	41			
		38,5	1,5	0,039
18	36			
		39,5	1,5	0,038
19,5	43			
		51,5	1,5	0,029
21	60			
		60	1,5	0,025
22,5	60			
		40,5	1,5	0,037
24	21			
		24,5	1,5	0,061
25,5	28			
		34,5	1,5	0,043
27	41			
		42,5	1,5	0,035
28,5	44			
		37,5	1,5	0,040
30	31			
Total			30	1,102
N _{rerata}			27,2	



Tabel 4.3.
Klasifikasi Situs Berdasarkan BH-3

Depth (m)	N-SPT	Ni	di	di/Ni
0	0			
		4	1,5	0,375
1,5	8			
		15	1,5	0,100
3	22			
		23	1,5	0,065
4,5	24			
		31,5	1,5	0,048
6	39			
		33	1,5	0,045
7,5	27			
		34	1,5	0,044
9	41			
		34,5	1,5	0,043
10,5	28			
		35,5	1,5	0,042
12	43			
		38,5	1,5	0,039
13,5	34			
		35,5	1,5	0,042
15	37			
		41	1,5	0,037
16,5	45			
		47	1,5	0,032
18	49			
		54	1,5	0,028
19,5	59			
		59,5	1,5	0,025
21	60			
		60	1,5	0,025
22,5	60			
		48	1,5	0,031
24	36			
		48	1,5	0,031
25,5	60			
		60	1,5	0,025
27	60			
		60	1,5	0,025
28,5	60			
		42	1,5	0,036
30	24			
Total			30	1,139
N _{rerata}			26,3	



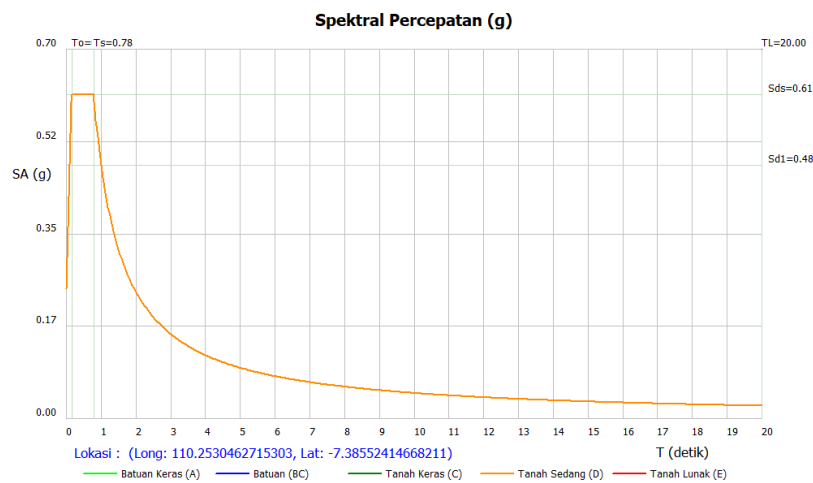
Berdasarkan analisis data N-SPT, diperoleh nilai tahanan penetrasi standar rata-rata tanah dalam lapisan 30 m paling atas (\bar{N}) pada masing-masing titik bore log adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\bar{N}_1 &= 27,7 \\ \bar{N}_2 &= 27,2 \\ \bar{N}_3 &= 26,3\end{aligned}$$

Dikarenakan nilai \bar{N} pada masing-masing titik bore log masih berada dalam rentang 15 sampai dengan 50, maka dapat disimpulkan bahwa kelas situs pada lokasi proyek termasuk dalam kelas situs tanah sedang (SD).

E. PERCEPATAN SPEKTRAL DESAIN

Grafik respon spektrum didesain berdasarkan SNI 1726-2019, yaitu dengan bantuan software respon spektrum analisis yang dikembangkan oleh Kementerian PUPR. Data yang diperlukan untuk menjalankan software ini adalah lokasi proyek dan kelas situs pada lokasi proyek. Berdasarkan data yang diketahui, lokasi proyek berada pada garis bujur 110.2530462715303° dan garis lintang -7.38552414668211° , sedangkan kelas situs pada lokasi proyek telah diketahui berdasarkan perhitungan di subbab sebelumnya, yaitu termasuk dalam kelas situs tanah sedang (SD). Sehingga, diperoleh grafik respon spektrum sebagai berikut.



Gambar 4.2. Grafik Respon Spektrum pada Lokasi Proyek

Selain grafik respon spektrum, *software* respon spektrum analisis juga dapat mengeluarkan data-data lain yang mendukung perhitungan beban gempa. Data-data tersebut adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}S_s &= 0.774412 \text{ g} \\ S_1 &= 0.374278 \text{ g} \\ T_L &= 20 \text{ detik} \\ F_a &= 1.190235 \\ F_v &= 1.925722 \\ S_{MS} &= 0.921732 \text{ g} \\ S_{M1} &= 0.720755 \text{ g} \\ S_{DS} &= 0.614488 \text{ g} \\ S_{D1} &= 0.480504 \text{ g} \\ T_0 &= 0.156391 \text{ detik} \\ T_s &= 0.781957 \text{ detik}\end{aligned}$$

F. PENENTUAN KATEGORI DESAIN SEISMIK

Kategori desain seismik ditentukan berdasarkan Tabel 8 dan 9 SNI 1726-2019. Berdasarkan data yang telah diperoleh yang telah disesuaikan dengan ketentuan yang ada pada SNI 1726-2019, maka dapat disimpulkan bahwa struktur ini termasuk dalam Kategori Desain Seismik D (KDS D).

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

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

Gambar 4.3. Pemilihan Kategori Desain Seismik

G. SISTEM STRUKTUR

Sistem struktur yang digunakan harus disesuaikan dengan Tabel 12 SNI 1726-2019. Pada bangunan industri, biasanya pada arah melintang digunakan sistem struktur rangka baja pemikul momen biasa, sementara pada arah memanjang digunakan sistem rangka baja dengan bresing konsentris biasa. Sistem rangka baja dengan bresing konsentris biasa mengandalkan rangka baja dengan kombinasi *bracing* menggunakan profil *double angle*. Namun tidak semua bentang arah memanjang menggunakan sistem rangka baja dengan bresing konsentris biasa. Bentang yang tidak menggunakan sistem ini, bertugas untuk menahan beban gravitasi saja dan tidak ikut menahan gaya lateral.

Untuk KDS D, penggunaan sistem struktur rangka baja pemikul momen biasa diizinkan berdasarkan Pasal 7.2.5.6. SNI 1726-2019 untuk struktur yang didesain 1 tingkat dengan beban tributari atap tidak lebih dari $0,96 \text{ kN/m}^2$. Ketinggian diizinkan untuk ditambahkan hingga 20 m. Sementara itu penggunaan struktur sistem rangka baja dengan bresing konsentris biasa diizinkan pada bangunan satu tingkat hingga ketinggian 18 m dengan beban mati atap tidak melebihi $0,96 \text{ kN/m}^2$.

B. Sistem rangka bangunan								
1. Rangka baja dengan bresing eksentris	8	2	4	TB	TB	48	48	30
2. Rangka baja dengan bresing konsentris khusus	6	2	5	TB	TB	48	48	30
3. Rangka baja dengan bresing konsentris biasa	3½	2	3½	TB	TB	10'	10'	T1'

C. Sistem rangka pemikul momen								
1. Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka batang baja pemikul momen khusus	7	3	5½	TB	TB	48	30	T1
3. Rangka baja pemikul momen menengah	4½	3	4	TB	TB	10 ^k	T1 ^k	T1 ^k
4. Rangka baja pemikul momen biasa	3½	3	3	TB	TB	T1'	T1'	T1'

Gambar 4.4. Pemilihan Sistem Struktur

Sistem Rangka Baja Pemikul Momen Biasa (Arah Transversal)

$$\text{Koefisien modifikasi respons (R)} = 3,5$$

$$\text{Faktor kuat lebih } (\Omega_0) = 3$$

$$\text{Faktor pembesaran defleksi } (C_d) = 3$$

Sistem Rangka Baja dengan Bresing Konsentris Biasa (Arah Longitudinal)

$$\text{Koefisien modifikasi respons (R)} = 3,25$$

$$\text{Faktor kuat lebih } (\Omega_0) = 2$$

$$\text{Faktor pembesaran defleksi } (C_d) = 3,25$$



H. PERHITUNGAN PERIODE FUNDAMENTAL STRUKTUR

Periode hasil analisis struktur perlu dibatasi untuk perhitungan gaya geser dasar statik oleh beberapa koefisien dan parameter yang telah ditetapkan sesuai pada Tabel 17 dan 18 SNI 1726-2019 Koefisien dan parameter yang dimaksud adalah sebagai berikut:

Periode pada Arah Melintang (OMF)

$$C_u = 1,4$$

$$C_t = 0,0724$$

$$x = 0,8$$

Perhitungan periode struktur dapat dijabarkan sebagai berikut:

$$\text{Tinggi bangunan (seismik)} \quad h = 9 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Periode Fundamental Pendekatan} \quad T_a &= C_t \times h_x \\ &= 0,42 \text{ detik} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Periode maksimum} \quad T_{\max} &= C_u \times T_a \\ &= 0,588 \text{ detik} \end{aligned}$$

Periode pada Arah Memanjang (OCBF)

$$C_u = 1,4$$

$$C_t = 0,0488$$

$$x = 0,75$$

Perhitungan periode struktur dapat dijabarkan sebagai berikut:

$$\text{Tinggi bangunan (seismik)} \quad h = 9 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Periode Fundamental Pendekatan} \quad T_a &= C_t \times h_x \\ &= 0,254 \text{ detik} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Periode maksimum} \quad T_{\max} &= C_u \times T_a \\ &= 0,355 \text{ detik} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan periode fundamental struktur perlu dibandingkan dengan hasil analisis periode fundamental melalui bantuan ETABS. Dari hasil analisis diperoleh periode sebagai berikut:

$$\text{Periode hasil analisis arah-x} \quad T_{c,x} = 0,533 \text{ detik}$$

$$\text{Periode hasil analisis arah-y} \quad T_{c,y} = 0,637 \text{ detik}$$

Dikarenakan periode hasil analisis (T_c) lebih besar dari periode maksimum (T_{\max}), maka periode struktur yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$\text{Periode pakai arah-x} \quad T_x = 0,588 \text{ detik}$$

$$\text{Periode pakai arah-y} \quad T_y = 0,355 \text{ detik}$$

I. PERHITUNGAN GAYA GESER DASAR SEISMIK

Gaya geser dasar seismik dengan metode statik ekuivalen (V) untuk arah-x dan arah-y dihitung berdasarkan pada Pasal 7.8. SNI 1726-2019. Gaya geser dasar seismik dihitung berdasarkan persamaan Persamaan 30 pada SNI 1726-2019. Massa seismik efektif struktur yang dihitung antara lain adalah sebagai berikut:

1. Berat sendiri struktur	=	Dihitung oleh program
2. Beban SIDL (Atap + M/E)	=	15 kg/m ²
3. Dinding termasuk girt	=	15 kg/m ²
4. Beban rel <i>crane</i> + M/E	=	70 kg/m'
5. Berat <i>crane</i> + <i>trolley</i> & <i>hoist</i>	=	10966 + 839,1 kg
	=	11805,1 kg

Perhitungan Koefisien Respon Seismik Arah Transversal (OMF)

$$\begin{aligned} \text{Koefisien respon seismik } (C_S) &= S_{DS}/(R/I_e) \\ &= 0,614488/(3/1,25) \\ &= 0,205 \end{aligned}$$

Nilai C_S perlu dicek terhadap batas atas batas bawah. Untuk batas atas dikarenakan nilai T kurang dari atau sama dengan TL, maka digunakan Persamaan 32 SNI 1726-2019. Sedangkan, untuk batas bawah dikarenakan nilai S_1 lebih kecil dari 0,6. Maka, Persamaan 35 SNI 1726-2019 tidak perlu diperhitungkan.

$$\begin{aligned} \text{Batas atas, } C_{S \max} &= S_{D1}/(T \times (R/I_e)) \\ &= 0,271 \\ \text{Batas bawah, } C_{S \min} &= 0,044 \times S_{DS} \times I_e > 0,01 \\ &= 0,027 > 0,01 \\ &= 0,027 \end{aligned}$$

Dikarenakan nilai $C_{S \min} < C_S < C_{S \max}$, maka nilai C_S yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$\text{Koefisien respon seismik pakai arah transversal, } C_S = 0,205$$

Perhitungan Koefisien Respon Seismik Arah Longitudinal (OCBF)

$$\begin{aligned} \text{Koefisien respon seismik } (C_S) &= S_{DS}/(R/I_e) \\ &= 0,614488/(3,35/1,25) \\ &= 0,189 \end{aligned}$$

Nilai C_S perlu dicek terhadap batas atas batas bawah. Untuk batas atas dikarenakan nilai T kurang dari atau sama dengan TL, maka digunakan Persamaan 32 SNI 1726-2019. Sedangkan, untuk batas bawah dikarenakan nilai S_1 lebih kecil dari 0,6. Maka, Persamaan 35 SNI 1726-2019 tidak perlu diperhitungkan.

$$\begin{aligned} \text{Batas atas, } C_{S \max} &= S_{D1}/(T \times (R/I_e)) \\ &= 0,251 \\ \text{Batas bawah, } C_{S \min} &= 0,044 \times S_{DS} \times I_e > 0,01 \\ &= 0,027 > 0,01 \\ &= 0,027 \end{aligned}$$

Dikarenakan nilai $C_{S \min} < C_S < C_{S \max}$, maka nilai C_S yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$\text{Koefisien respon seismik pakai arah longitudinal, } C_S = 0,189$$

Perhitungan Berat Seismik Efektif Arah Transversal

Berat seismik efektif struktur dihitung berdasarkan massa efektif struktur yang diperoleh dari program dengan kombinasi 100% beban mati dan beban mati tambahan. Pada perhitungan berat seismik efektif untuk bangunan industri, beban dinding pada arah yang paralel terhadap arah yang ditinjau bisa diabaikan dengan asumsi bahwa dinding ikut menahan gaya lateral searah bidang. Selain itu dinding yang dihitung sebagai massa juga hanya separuh dari seluruh luasan yang dihitung. Pada proyek ini, beban dinding dihitung secara keseluruhan untuk memberikan gaya gempa yang lebih konservatif. Perhitungan berat seismik efektif struktur ditampilkan sebagai berikut.

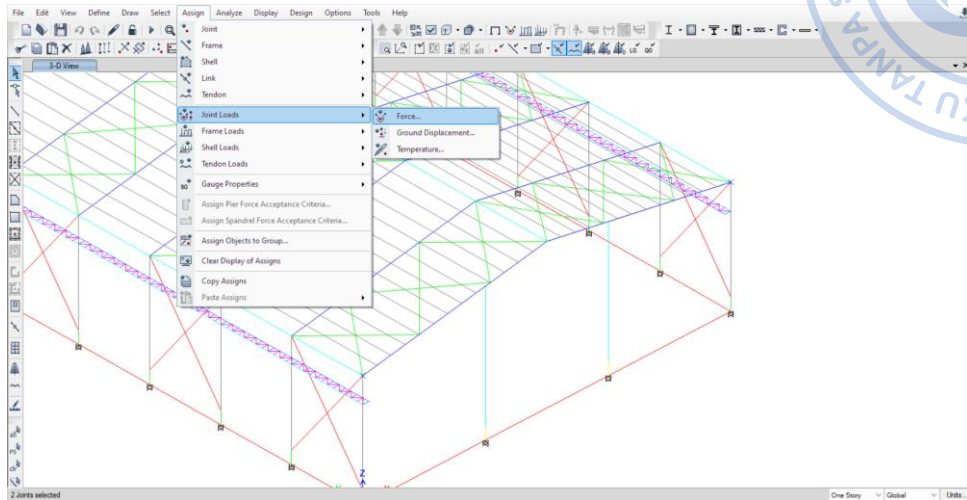
Perhitungan Berat Seismik Efektif untuk Portal Ujung

Luas bangunan yang ditinjau	=	$(3+3)*30$	(Portal ujung saja)
	=	180	m ²
Sudut atap, α	=	10	derajat
Luas atap yang ditinjau	=	Luas bangunan/Cos (α)	
	=	$180/\text{Cos}(10)$	
	=	182,8	m ²
SIDL pada Atap	=	15	kg/m ²
Total SIDL	=	$15*182,8$	
	=	2741,7	kg
Berat dinding + girts (long.)	=	Luas*Berat _{dinding + girts} *n _{sisi}	
	=	$(6*9*0,5*15)*2$	
	=	810	kg
Berat dinding + girt (ujung)	=	Luas*Berat _{dinding + girt} *n _{sisi}	
	=	$((30*9*0,5*15) + (2,65*30*0,5*15))*2$	
	=	5242,5	kg
Total berat dinding + girt	=	6052,5	kg
Panjang <i>runway beam</i>	=	6	m
Berat total rel + M/E	=	$70*6$	
	=	420	kg
Berat <i>crane</i>	=	11805,1	kg
Berat <i>crane</i> + <i>hoist</i> untuk 2 portal	=	$(2/16)*11805,1$	
	=	1475,6	kg
Berat sendiri struktur untuk portal tepi	=	12802,6	kg
Berat seismik efektif, W	=	<i>Dead Load</i> + SIDL + <i>Crane</i>	
	=	$12802,6 + (2741,7 + 6052,5 + 420) + 1475,6$	
	=	23492,4	kg
Gaya geser dasar seismik arah transversal, V_x	=	C_s*W	
	=	$0,205*23492,4$	
	=	4815,9	kg
	=	48,2	kN
Jumlah portal yang ditinjau, n_{Portal}	=	2	
Gaya geser dasar per portal, V_x	=	24,1	kN

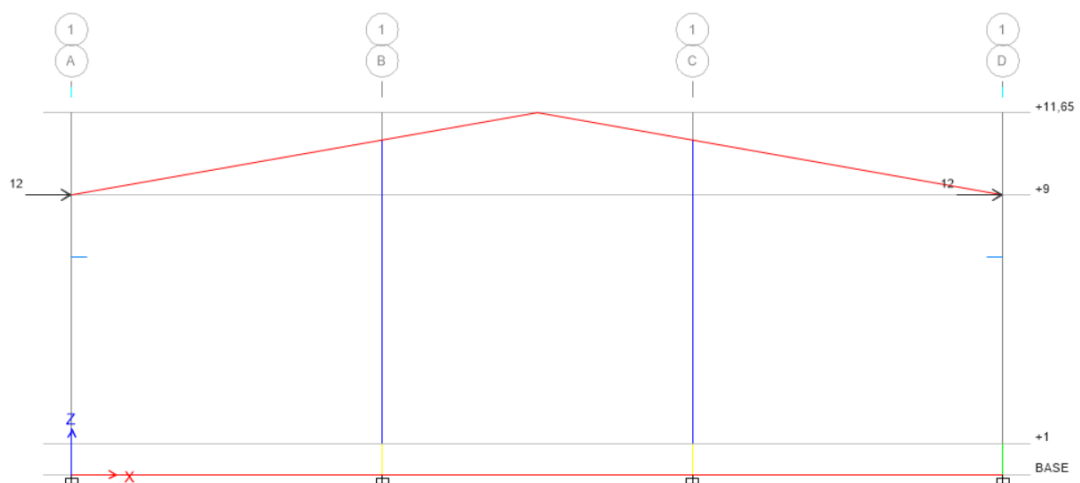
Beban lateral gempa diaplikasikan pada dua titik yaitu pada bagian pangkal portal dan pada bagian ujung portal (As A dan As D).

$$\begin{aligned} \text{Beban diaplikasikan pada 2 titik} &= 24,1/2 && \text{kN} \\ &= 12,0 && \text{kN} \end{aligned}$$

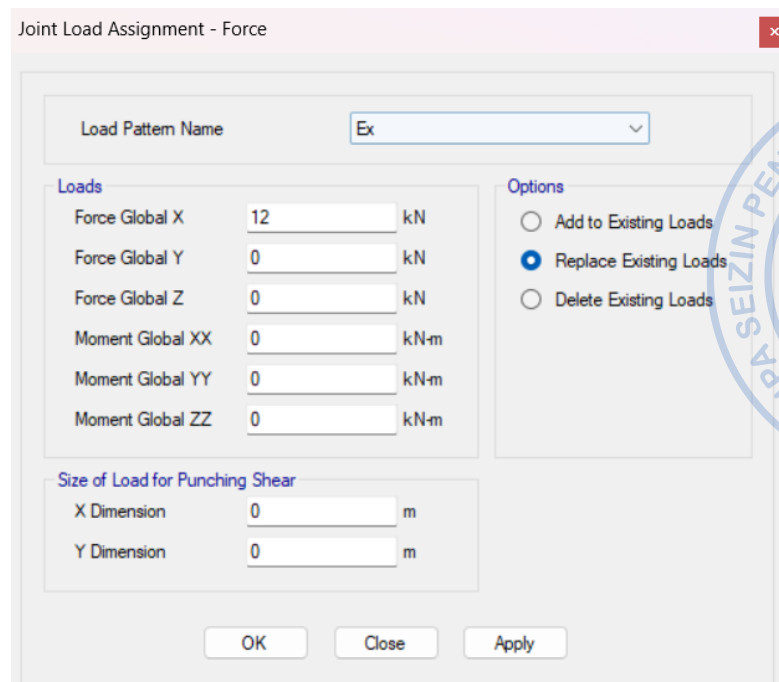
Gaya lateral akibat gempa pada arah x untuk portal ujung di-input pada top kolom dengan cara *Select joint* kolom sebagaimana gambar di bawah → *Assign* → *Joint Loads* → *Forces* → *Input* beban sebagaimana gambar di bawah → *Apply* → *OK*.



Gambar 4.5. *Assign* → *Joint Loads* → *Forces*



Gambar 4. 6. Beban Gempa pada Pangkal dan Ujung Portal Melintang Ujung (As 1 dan As 16)



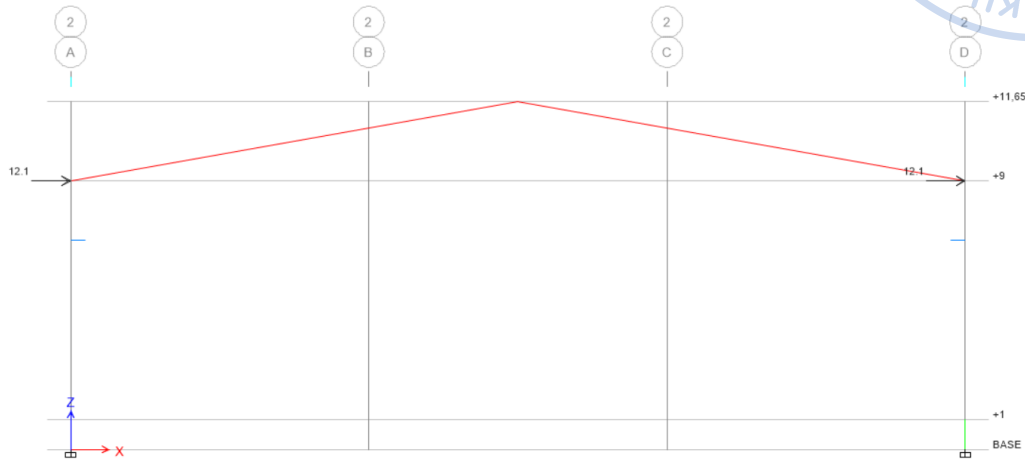
Gambar 4.7. Input Beban Gempa Arah X untuk Portal Tepi

Perhitungan Berat Seismik Efektif untuk Portal Tengah

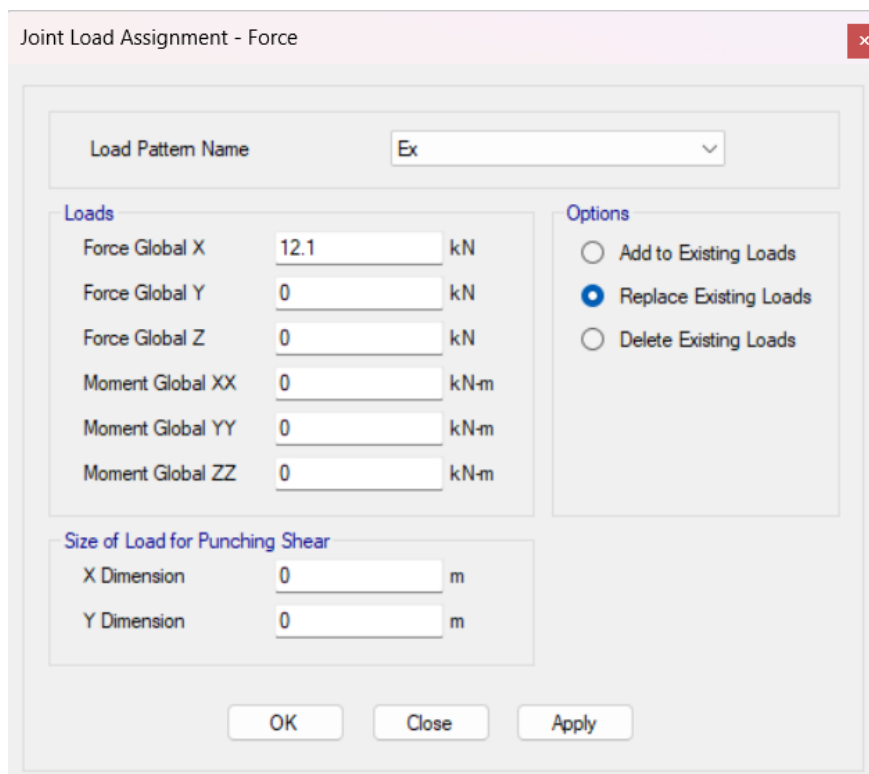
Luas bangunan yang ditinjau	=	$(90-6)*30$	(Portal tengah saja)
		2520	m ²
Sudut atap, α	=	10	derajat
Luas atap yang ditinjau	=	Luas bangunan/Cos (α)	
		$2520/\text{Cos}(10)$	
		2558,9	m ²
SIDL pada Atap	=	15	kg/m ²
Total SIDL	=	$15*2558,9$	
		38383,1	kg
Berat dinding + girt (long.)	=	Luas*Berat _{dinding + girt} *n _{sisi}	
		$(84*9*0,5*15)*2$	
		11340	kg
Panjang <i>runway beam</i>	=	84	m
Berat total rel + M/E	=	$70*84$	
		5880	kg
Berat sendiri struktur untuk portal tengah	=	98889,8	kg
Berat <i>crane</i>	=	11805,1	kg
Berat <i>crane + hoist</i> untuk 14 portal	=	$(14/16)*11805,1$	
		10329,5	kg
Berat seismik efektif, W	=	<i>Dead Load</i> + SIDL + <i>Crane</i>	
	=	$98889,8 + (38383,1 + 11340 + 5880) + 10329,5$	
	=	164822,4	kg
Gaya geser dasar seismik arah transversal, V_x	=	C_s*W	
	=	$0,205*164822,4$	
	=	33788,6	kg
	=	337,9	kN

Jumlah portal yang ditinjau, n_{Portal} = 14
 Gaya geser dasar per portal, V_x = 22,1 kN
 Beban lateral gempa diaplikasikan pada dua titik yaitu pada bagian pangkal portal dan pada bagian ujung portal (As A dan As D).
 Beban diaplikasikan pada 2 titik = 24,1/2 kN
 = 12,1 kN

Gaya lateral akibat gempa pada arah y di-input pada top kolom dengan cara *Select joint* kolom sebagaimana gambar di bawah → *Assign* → *Joint Loads* → *Forces* → *Input* beban sebagaimana gambar di bawah → *Apply* → *OK*.



Gambar 4.8. Beban Gempa pada Pangkal dan Ujung Portal Melintang Tengah (As 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, dan 14)



Gambar 4.9. *Input* Beban Gempa Arah X untuk Portal Tengah

Perhitungan Berat Seismik Efektif Arah Longitudinal

Pada arah longitudinal beban yang diperhitungkan adalah berat sendiri struktur secara keseluruhan, berat dinding secara keseluruhan, beban SIDL, serta beban *crane*. Perhitungan berat seismik efektif struktur ditampilkan sebagai berikut.

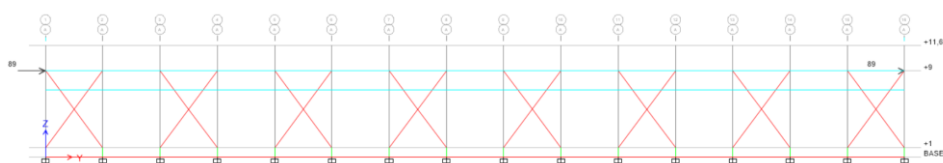
Perhitungan Berat Seismik Efektif untuk Portal Arah Longitudinal

Luas bangunan yang ditinjau	=	90*30	(Seluruh bangunan)
	=	2700	m ²
Sudut atap, α	=	10	derajat
Luas atap yang ditinjau	=	Luas bangunan/Cos (α)	
	=	2700/Cos (10)	
	=	2741,7	m ²
SIDL pada Atap	=	15	kg/m ²
Total SIDL	=	15*2741,7	
	=	41124,8	kg
Berat dinding + girt (total)	=	Luas*Berat _{dinding + girt} *n _{sisi}	
	=	6052,5+11340,0	
	=	17392,5	kg
	=	5242,5	kg
Panjang <i>runway beam</i>	=	90	m
Berat total rel + M/E	=	70*90	
	=	6300	kg
Berat <i>crane</i>	=	11805,1	kg
Berat sendiri struktur (keseluruhan)	=	111692,4	kg
Berat seismik efektif, W	=	<i>Dead Load</i> + SIDL + <i>Crane</i>	
	=	111692,4 + (41124,8 + 17392,5 + 6300) + 11805,1	
	=	188314,7	kg
Gaya geser dasar seismik arah long., V_y	=	$C_s * W$	
	=	0,189 * 188314,7	
	=	35591,5	kg
	=	355,9	kN
Jumlah portal yang ditinjau, n_{Portal}	=	2	
Gaya geser dasar per portal, V_y	=	178,0	kN

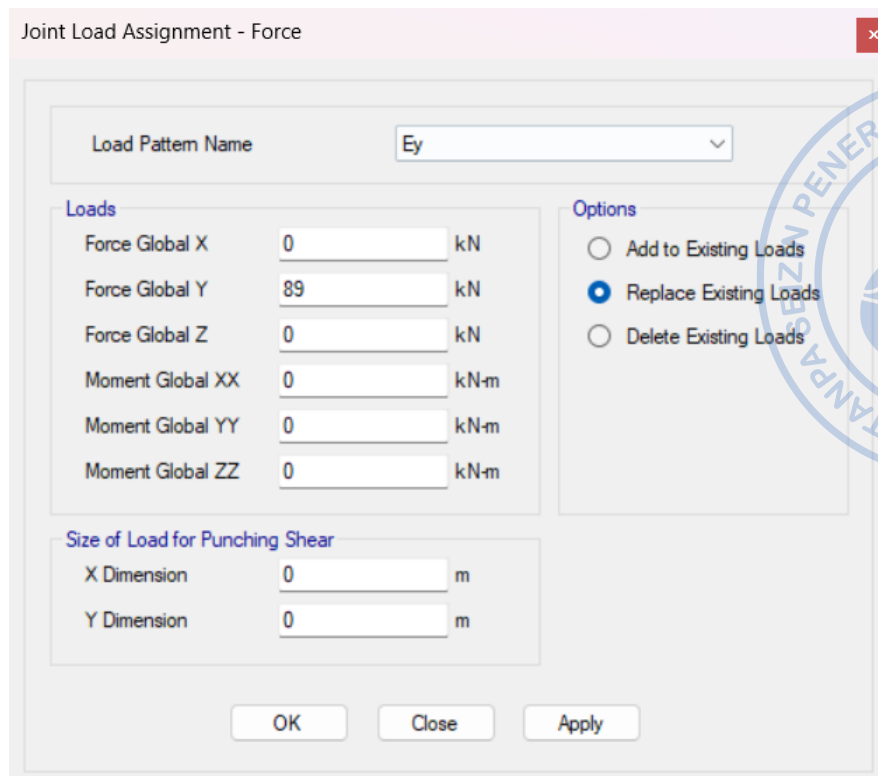
Beban lateral gempa diaplikasikan pada dua titik yaitu pada bagian pangkal portal dan pada bagian ujung portal (As 1 dan As 16).

Beban diaplikasikan pada 2 titik	=	178,0/2	kN
	=	89,0	kN

Gaya lateral akibat gempa pada arah y di-*input* pada top kolom dengan cara *Select joint* kolom sebagaimana gambar di bawah → *Assign* → *Joint Loads* → *Forces* → *Input* beban sebagaimana gambar di bawah → *Apply* → OK.



Gambar 4.10. Beban Gempa pada Pangkal dan Ujung Portal



Gambar 4.11. Input Beban Gempa Arah Y

J. PENGECEKAN SIMPANGAN ANTAR TINGKAT

Simpangan antar tingkat harus dicek berdasarkan pasal 7.12. SNI 1726-2019. Batas simpangan antar tingkat sesuai dengan Tabel 20 SNI 1726-2019. Struktur yang didesain termasuk dalam KDS D, sehingga batasan simpangan antar tingkat harus dibagi dengan faktor redundansi yang diasumsikan sebesar 1.

Tabel 4.4.
Simpangan Antar Tingkat Izin Berdasarkan 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 tingkat.	$0,025h_{sx}^c$	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$
Struktur dinding geser kantilever batu bata ^d	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$
Struktur dinding geser batu bata lainnya	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$
Semua struktur lainnya	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$	$0,010h_{sx}$

Faktor pembesaran defleksi untuk masing-masing tipe struktur untuk arah transversal dan longitudinal adalah sebagai berikut:

Faktor pembesaran defleksi, $C_d = 3$, untuk portal arah transversal

Faktor pembesaran defleksi, $C_d = 3,25$, untuk portal arah longitudinal

Simpangan Inelastik untuk Portal Arah Transversal

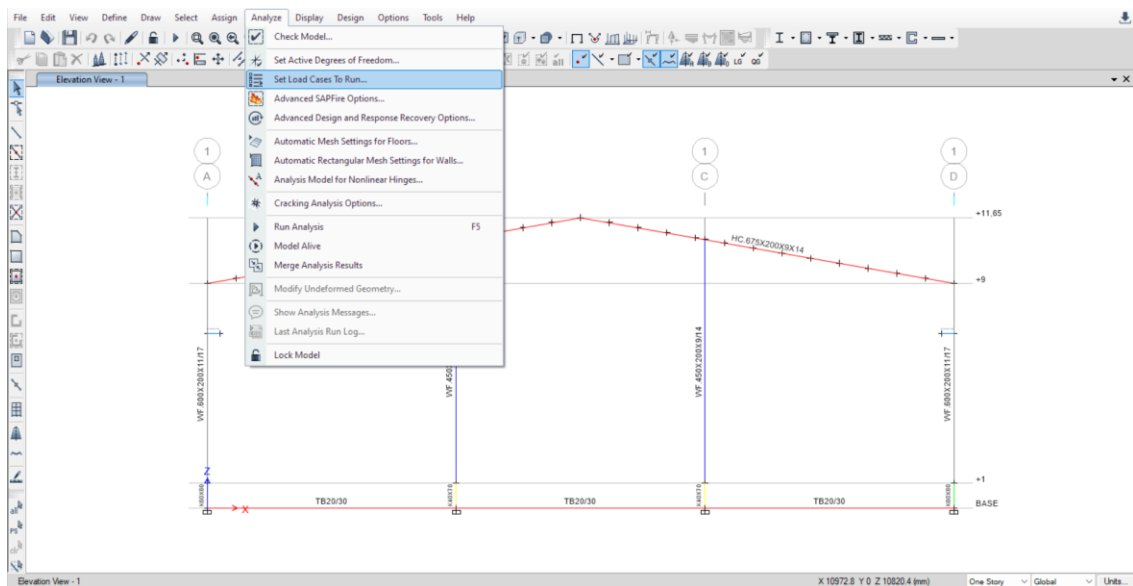
Berdasarkan hasil analisis struktur didapatkan bahwa akibat beban gempa arah x diperoleh simpangan elastik sebesar 9,603 mm. Simpangan tersebut perlu dicek terhadap batas izin yang berlaku berdasarkan SNI 1726-2019. Simpangan elastik tersebut perlu diamplifikasi dahulu

menjadi simpangan inelastik. Perhitungan simpangan inelastik antar tingkat dapat disajikan sebagai berikut:

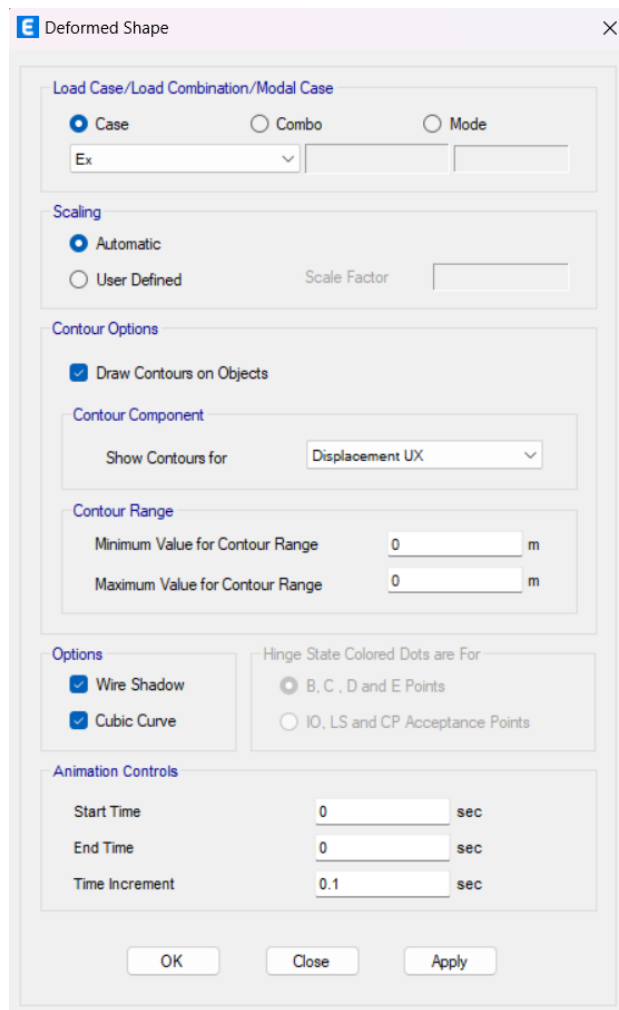
$$\Delta_x = \Delta_{xe} \times \left(\frac{C_d}{I_e} \right)$$

$$\Delta_x = 9,603 \times \left(\frac{3}{1} \right) = 28,809 \text{ mm}$$

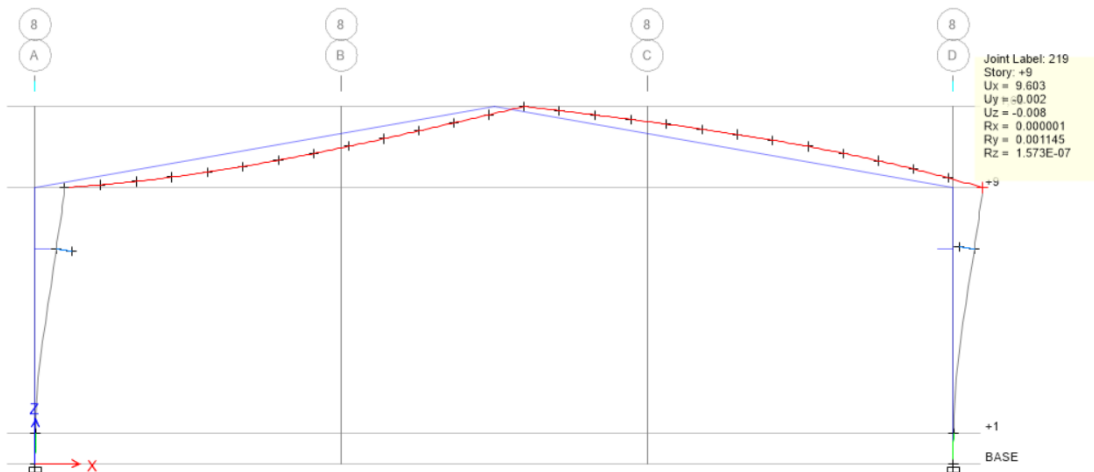
Deformasi pada ETABS, dapat dicek dengan melakukan *running case* terlebih dahulu dengan cara klik *Analyze* → *Set Load Cases to Run* → *Run All* → *Run Now*. Perilaku struktur setelah terkena beban gempa dapat dicek dengan cara klik *Show Deformed Shape* pada *ribbon* bagian atas → *Atur case* yang ingin ditampilkan → *Atur perpindahan* yang ingin ditampilkan → *Apply* → *OK*.



Gambar 4.12. *Analyze* → *Set Load Cases to Run*



Gambar 4.13. Atur Perpindahan yang Ingin Ditampilkan



Gambar 4.14. Simpangan Elastik Akibat Gempa Arah X

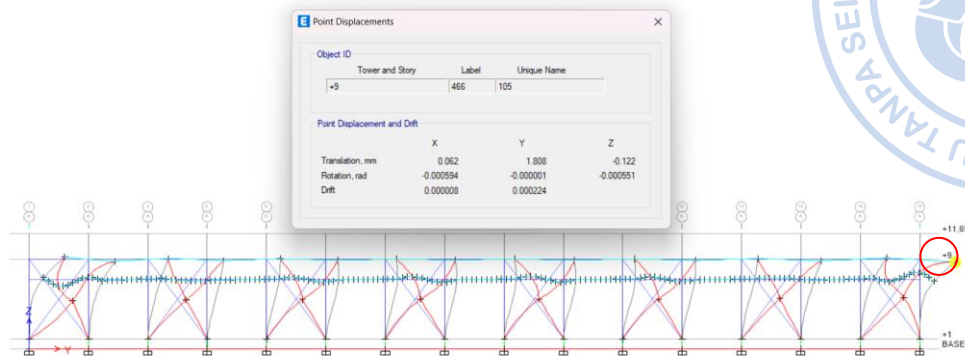
Simpangan Inelastik untuk Portal Arah Longitudinal

Berdasarkan hasil analisis struktur didapatkan bahwa akibat beban gempa arah y diperoleh simpangan elastik sebesar 1,537 mm. Simpangan tersebut perlu dicek terhadap batas izin yang berlaku berdasarkan SNI 1726-2019. Simpangan elastik tersebut perlu diamplifikasi dahulu

menjadi simpangan inelastik. Perhitungan simpangan inelastik antar tingkat dapat disajikan sebagai berikut:

$$\Delta_y = \Delta_{ye} \times \left(\frac{C_d}{I_e} \right)$$

$$\Delta_y = 1,808 \times \left(\frac{3,25}{1} \right) = 5,876 \text{ mm}$$



Gambar 4.15. Simpangan Elastik Akibat Gempa Arah Y

Pengecekan Terhadap Simpangan Antar Tingkat Izin

Simpangan antar tingkat yang sudah dihitung sebelumnya perlu dibandingkan dengan simpangan antar tingkat izin untuk memastikan bahwa struktur tidak mengalami simpangan antar tingkat yang berlebihan. Hasil pengecekan menunjukkan bahwa simpangan antar tingkat struktur masih di bawah batas yang diizinkan.

Tabel 4.5.

Pengecekan Terhadap Simpangan Antar Tingkat Izin

	Δ (mm)	$0,02h_{sx}$ (mm)	Cek
Portal Arah Transversal	28,809	180	OK
Portal Arah Longitudinal	5,876	180	OK

K. PENGECEKAN TERHADAP PENGARUH P-DELTA

Pengaruh P-Delta pada struktur perlu diperhitungkan sesuai dengan Pasal 7.8.7. SNI 1726-2019. Pengaruh P-Delta perlu dibandingkan terhadap nilai koefisien stabilitas (θ) yang dihitung berdasarkan Persamaan 45 SNI 1726-2019. Nilai koefisien stabilitas perlu dicek terhadap batasan koefisien stabilitas (θ_{max}) yang dihitung berdasarkan Persamaan 46 SNI 1726-2019 dan batasan pengaruh P-Delta sebesar 0,1.

Perhitungan Koefisien Stabilitas Portal Arah Transversal

Beban desain vertikal total, P	=	2377,9	kN
Gaya geser seismik, V_x	=	337,9 + 48,2	
	=	386,0	kN
Tinggi tingkat, h_{sx}	=	9	m
Faktor pembesaran defleksi, C_d	=	3	
Simpangan antar tingkat, Δ_x	=	28,809	mm

Koefisien stabilitas dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

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

$$\theta = \frac{2377,9 \times 28,809 \times 1}{386,0 \times 9000 \times 3} = 0,0066$$

Perhitungan Koefisien Stabilitas Portal Arah Longitudinal

Beban desain vertikal total, P	=	2377,9	kN
Gaya geser seismik, V _y	=	355,9	kN
Tinggi tingkat, h _{sx}	=	9	m
Faktor pembesaran defleksi, C _d	=	3,25	
Simpangan antar tingkat, Δ _y	=	5,876	mm

Koefisien stabilitas dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

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

$$\theta = \frac{2377,9 \times 5,876 \times 1}{355,9 \times 9000 \times 3,25} = 0,0013$$

Perhitungan batasan koefisien stabilitas dapat dijabarkan sebagai berikut:

Koefisien Stabilitas Maksimum untuk Portal Arah Transversal

Rasio kebutuhan geser, β	=	1,0
Faktor pembesaran defleksi, C _d	=	3
Batas koefisien stabilitas, θ _{max}	=	0,5/(β×C _d) < 0,25
	=	0,1667

Koefisien Stabilitas Maksimum untuk Portal Arah Longitudinal

Rasio kebutuhan geser, β	=	1,0
Faktor pembesaran defleksi, C _d	=	3,25
Batas koefisien stabilitas, θ _{max}	=	0,5/(β×C _d) < 0,25
	=	0,1538

Pengecekan Koefisien Stabilitas Terhadap Batas Izin

Berdasarkan perhitungan di atas dapat dilihat bahwa nilai dari koefisien stabilitas pada tiap tingkat baik untuk arah-x maupun untuk arah-y masih memenuhi batasan nilai untuk koefisien stabilitas (θ_{max}) dan nilai untuk batasan pengaruh P-Delta sebesar 0,1. Sehingga, dapat disimpulkan bahwa struktur tidak perlu memperhitungkan pengaruh dari P-Delta.

Arah transversal θ = 0,0066 < 0,1667, OK!

Arah longitudinal θ = 0,0013 < 0,1538, OK!



PERENCANAAN STRUKTUR RUNWAY BEAM CRANE



A. PERENCANAAN STRUKTUR CRANE

Dalam perencanaan struktur *runway beam crane*, ketersediaan data *crane* menjadi sesuatu yang penting. Hal tersebut mencakup berat *bridge crane*, *trolley* dan *hoist*, serta kapasitas pengangkatan *crane*. Pada proyek ini, digunakan *single girder crane* tipe *box steel girder* dengan kapasitas pengangkatan 10 ton.

Tabel 5.1.
Data Single Girder Crane dengan Berbagai Bentang untuk SWL 10 t

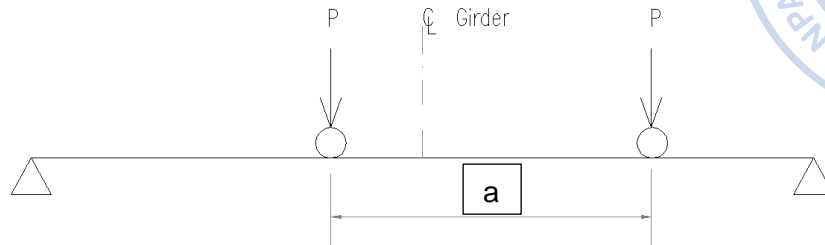
SWL 10 t - 1x EKDR 10-10 4/1 FEM 2m													
L_{KR}	m	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
max. R11 (+G _H)	kg	6300	6402	6457	6578	6761	6907	7151	7220	7444	7518	7755	7831
max. R12 (+G _H)	kg	6300	6402	6457	6578	6761	6907	7151	7220	7444	7518	7755	7831
min. R21 (+G _H)	kg	1229	1317	1359	1467	1638	1773	2009	2069	2285	2353	2582	2652
min. R22 (+G _H)	kg	1229	1317	1359	1467	1638	1773	2009	2069	2285	2353	2582	2652
L	kN	1,52	1,63	1,69	1,83	2,04	2,21	2,50	2,57	2,84	2,92	3,20	3,29
min. HM	kN	1,30	1,19	1,30	1,50	1,80	2,06	1,95	2,09	2,41	2,58	2,93	3,11
max. HM	kN	6,46	5,62	6,03	6,58	7,26	7,86	6,79	7,16	7,72	8,10	8,66	9,05
S	kN	20,64	19,63	19,88	20,46	21,36	22,07	21,29	21,59	22,61	22,94	24,02	24,37
max. H _s	kN	17,24	16,25	16,39	16,70	17,16	17,53	16,59	16,75	17,27	17,45	17,99	18,17
min. H _s	kN	3,40	3,38	3,49	3,76	4,20	4,54	4,70	4,84	5,34	5,50	6,03	6,20
max. P _U (V _{KR} = 40 m/min)	kN	23,92	26,25	27,42	30,13	33,93	43,44	22,19	23,58	27,98	29,30	35,40	37,02
max. P _U (V _{KR} = 60 m/min)	kN	29,01	30,16	31,22	33,83	37,52	41,66	47,69	49,35	54,53	56,43	39,33	40,86*
G _G	kg	5058	5438	5632	6090	6798	7360	8320	8578	9458	9742	10674	10966

Pada proyek ini, digunakan *single girder crane* tipe *box steel girder* dengan kapasitas pengangkatan 10 ton. Berdasarkan informasi yang didapatkan dari vendor terkait, didapatkan beberapa data yang digunakan sebagai acuan desain sebagai berikut:

Tipe <i>crane</i> yang digunakan	=	Cab-operated
Kapasitas <i>crane</i> , P _{lifted}	=	100 kN
Berat <i>bridge crane</i> , P _{bridge}	=	110 kN
Berat <i>trolley</i> dan <i>hoist</i> , P _{th}	=	8,4 kN
Reaksi maksimum roda (tanpa faktor impak) , R _{max}	=	78 kN
Berat rel, W _{rail}	=	0,5 kN/m
Berat mesin elektrikal dan clamp, W _{clamp + electrical}	=	0,23 kN/m
Bentang <i>crane</i>	=	30,0 m
Bentang <i>runway beam crane</i> , L _{sp}	=	6,0 m

Jarak antar roda, S_{wheel}	=	2,0	m
Faktor dampak vertikal	=	25%	
Kelas Layanan <i>Crane</i> (CMMA)	=	A	
Lendutan izin vertikal	=	$L/600$	
Lendutan izin horizontal	=	$L/400$	

Kuat lentur yang dibutuhkan *runway beam crane* didefinisikan menggunakan AISC Manual Tabel 3-23.



Critical wheel location for bending

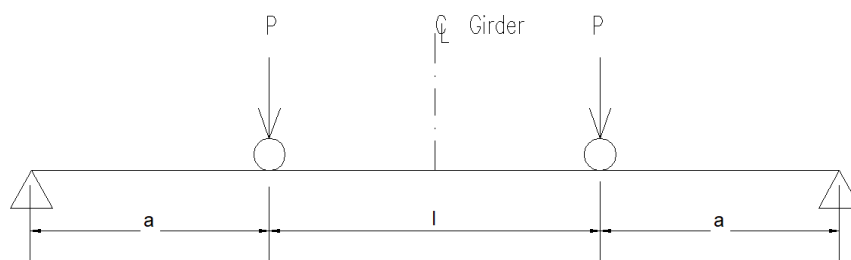
Gambar 5.1. Kondisi Kritis untuk *Bending Moment*

Jarak antar roda, a	=	S_{wheel}	=	2,0	m
Bentang <i>runway beam crane</i> , l	=	L_{sp}	=	6,0	m
		$0,586 * l$	=	3,5	m
Cek apakah $a < 0,586l$			=	OK	

Momen maksimum pada *runway beam crane*

$$M_{max} = \left(\frac{P}{2 * l} \right) * (l - 0,5 * a)^2 = 2,1P \text{ kNm}$$

Perhitungan defleksi akibat beban roda dilakukan menggunakan persamaan untuk *simple beam* sebagai berikut:



Critical wheel location for approximate deflection

Gambar 5.2. Kondisi Kritis untuk Defleksi

Jarak dari tumpuan ke roda pertama, a	=	$(l - S_{wheel})/2$	=	2,0	m
---	---	---------------------	---	-----	---

Defleksi yang diizinkan pada runwah *beam crane*

$$\Delta_{max} = \left(\frac{P * a}{24 * E * I} \right) * (3 * l^2 - 4 * a^2) = \frac{38333,3P}{I} \text{ mm}$$

Kelas layanan <i>crane</i>	=	A, B, C
----------------------------	---	---------

B. KEBUTUHAN PROFIL BERDASARKAN DEFLEKSI VERTIKAL

Bentang <i>runway beam crane</i> , L	=	6000	mm
Defleksi vertikal maksimum yang diizinkan	=	L/600 = 10	mm
Inersia arah x yang dibutuhkan, $I_{xrequired}$	=	38333,4	P/Δ_{max}
	=	300188333,3	mm^4
	=	30018,8	cm^4
Digunakan profil untuk <i>runway beam crane</i>	=	WF 500x200x10/16	
Inersia penampang yang digunakan, I_x	=	47800	cm^4
Cek $I_x > I_{xrequired}$	=	OK	

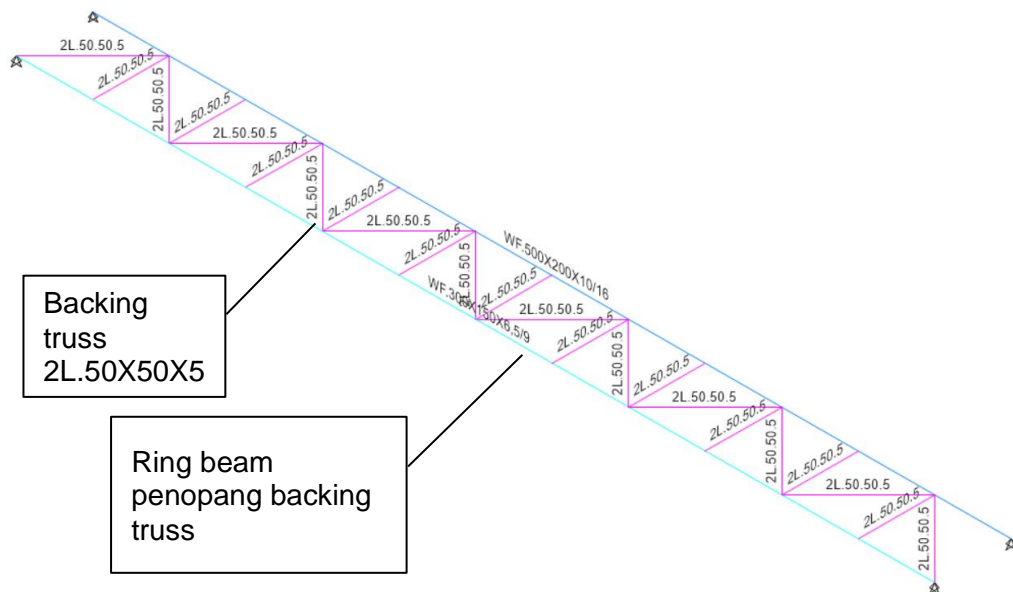


C. KEBUTUHAN PROFIL BERDASARKAN DEFLEKSI HORIZONTAL

Beban lateral pada *runway beam crane* diambil sebesar 20% dari berat *trolley* dan *hoist* serta kapasitas angkat *crane*. Beban lateral disebar secara merata ke semua roda yang ada pada *crane*. Defleksi horizontal pada *crane* diasumsikan akan ditahan oleh *backing truss* dan akan dicek berdasarkan hasil analisis struktur melalui ETABS.

D. PEMODELAN *RUNWAY BEAM CRANE* SECARA PARSIAL

Runway beam dimodelkan secara parsial pada model terpisah dengan bentang 6 m dan tumpuan sendi-sendi. Berikut adalah tampilan dari *runway beam* yang dimodelkan secara parsial.



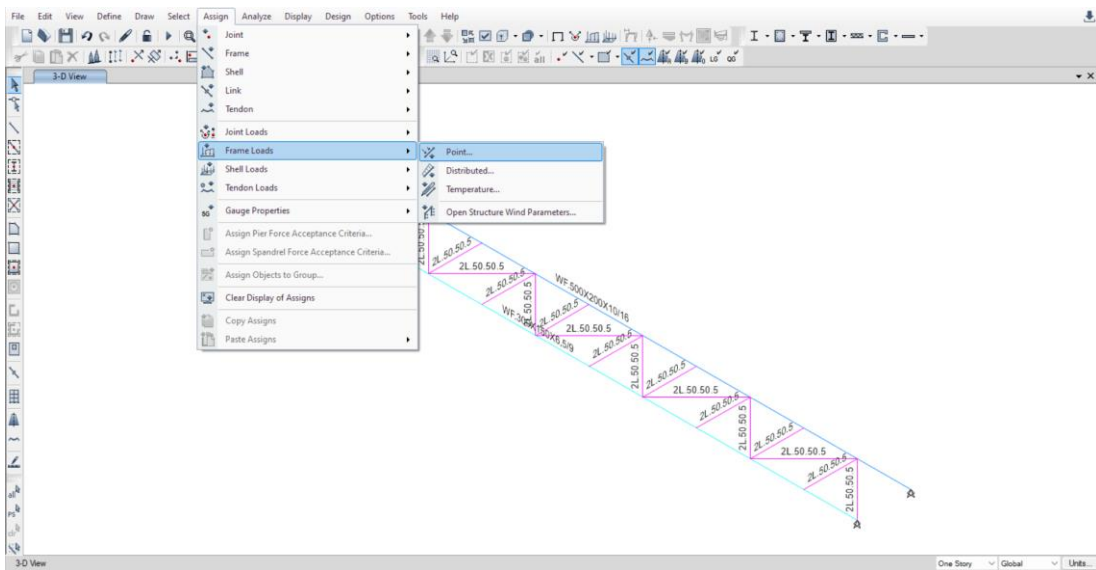
Gambar 5.3. Model *Runway Beam* Parsial

Setelah pemodelan *runway beam* selesai, perlu diaplikasikan beban yang terdiri dari berat sendiri *crane*, berat *trolley* dan *hoist*, kapasitas angkat *crane*, beban transversal, dan beban longitudinal. Beban diaplikasikan pada kondisi di mana beban dapat menghasilkan momen maksimum sebagaimana pada perhitungan di bawah.

$$x = \frac{L}{2} - \frac{s}{4} = 2,5 \text{ m}$$

Maka beban reaksi roda pertama diletakkan sejauh 2,5 m dari tumpuan. Sementara beban roda kedua diletakkan sejauh 4,5 m (x + jarak antar roda). Beban diaplikasikan sebagai beban point load yang dapat diaplikasikan dengan cara *select frame* yang akan diaplikasikan beban → Klik *Assign* → *Frame Loads* → *Point* → Aplikasikan beban sebagaimana gambar di bawah untuk masing-masing *Load Pattern* → *Apply* → OK. Adapun beban yang dimasukkan adalah sebagai berikut:

Beban mati, P_{dead}	=	$(P_{bridge}/4 + P_{th}/2)$	=	31,6	kN
Beban hidup, P_{live}	=	$(P_{lifted}/2)$	=	50	kN
Beban rel dan M/E, q_{dead}			=	0,7	kN/m
Beban transversal, $H_{transversal}$	=	$20\% * ((P_{lifted} + P_{th})/4)$	=	5,4	kN
Beban long., $H_{longitudinal}$	=	$10\% * (P_{max})$	=	7,8	kN



Gambar 5.4. Assign → Frame Load → Point

Frame Load Assignment - Point

Load Pattern Name: Crane Dead

Load Type and Direction:

 Forces

 Moments

 Direction of Load Application: Gravity

Options:

 Add to Existing Loads

 Replace Existing Loads

 Delete Existing Loads

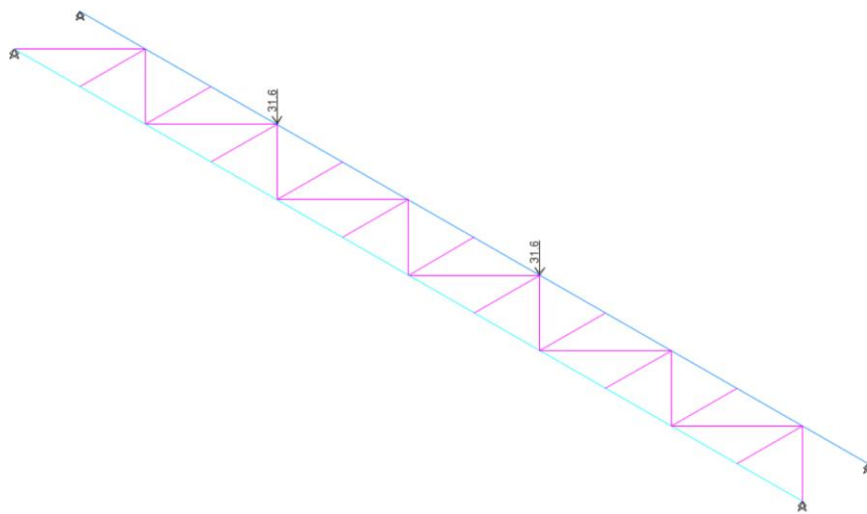
Point Loads

	1.	2.	3.	4.	
Distance	0	2,5	4,5	0	m
Load	0	31,6	31,6	0	kN

Relative Distance from End-I

 Absolute Distance from End-I

OK Close Apply



Gambar 5.5. *Input* Beban untuk P_{dead}

Frame Load Assignment - Distributed

Load Pattern Name: Crane Dead

Load Type and Direction: Forces, Direction of Load Application: Gravity

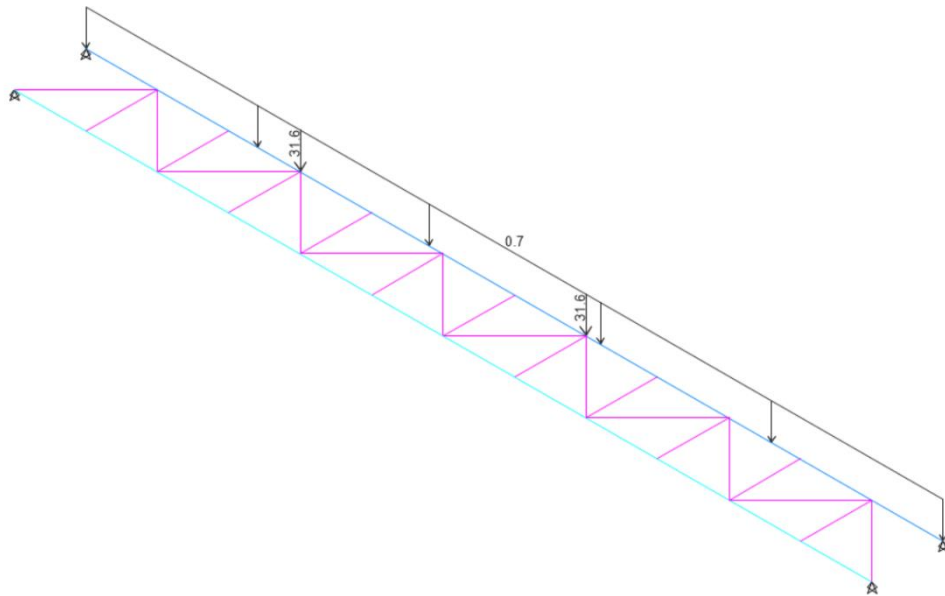
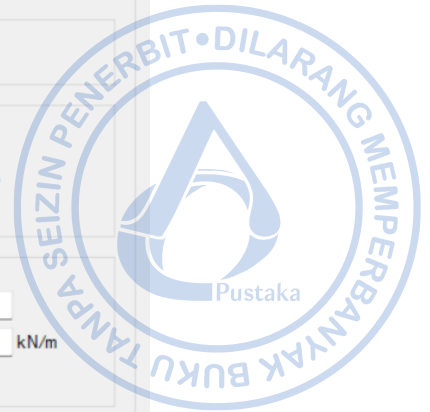
Options: Replace Existing Loads

Trapezoidal Loads	1.	2.	3.	4.
Distance	0	0.25	0.75	1
Load	0	0	0	0

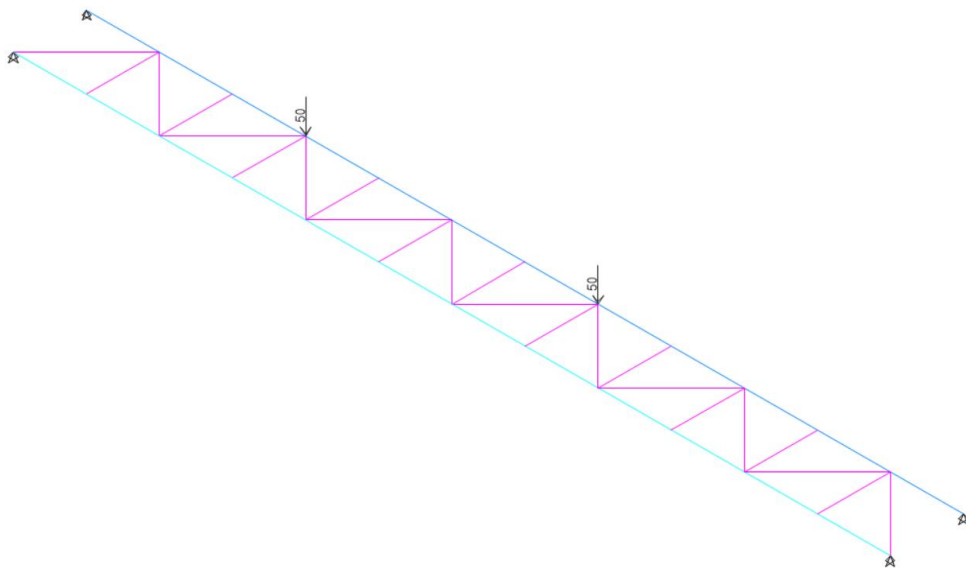
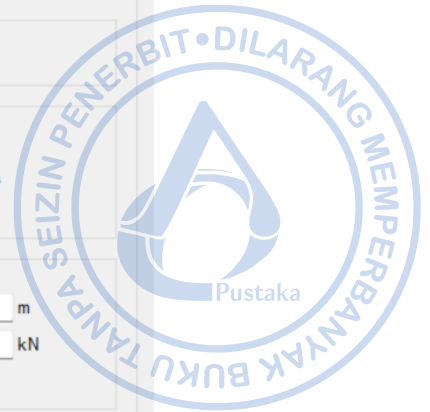
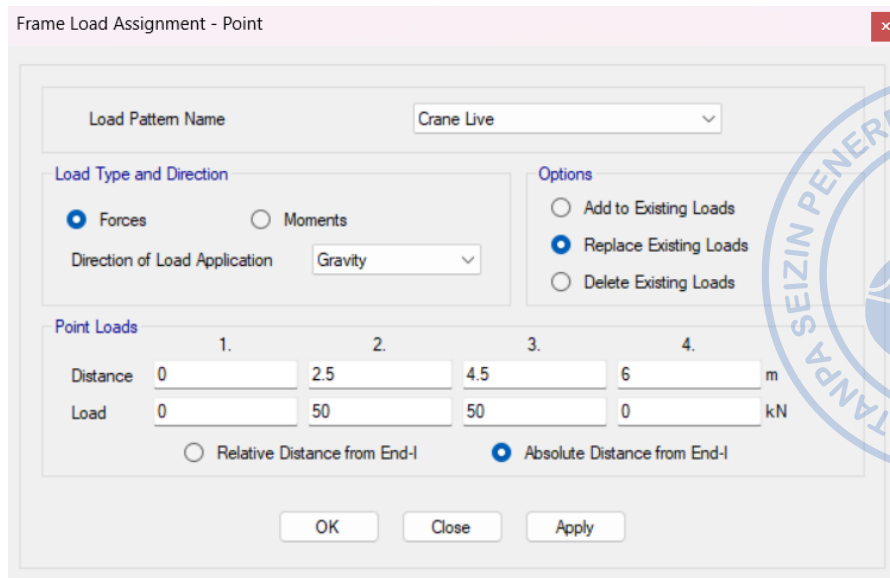
Relative Distance from End-I (Selected)

Uniform Load: Load 0.7 kN/m

Buttons: OK, Close, Apply



Gambar 5.6. *Input* Beban untuk q_{rel}



Gambar 5.7. *Input* Beban untuk P_{lifted}

Frame Load Assignment - Point

Load Pattern Name: Crane Lateral

Load Type and Direction:

 Forces

 Moments

 Direction of Load Application: Global-X

Options:

 Add to Existing Loads

 Replace Existing Loads

 Delete Existing Loads

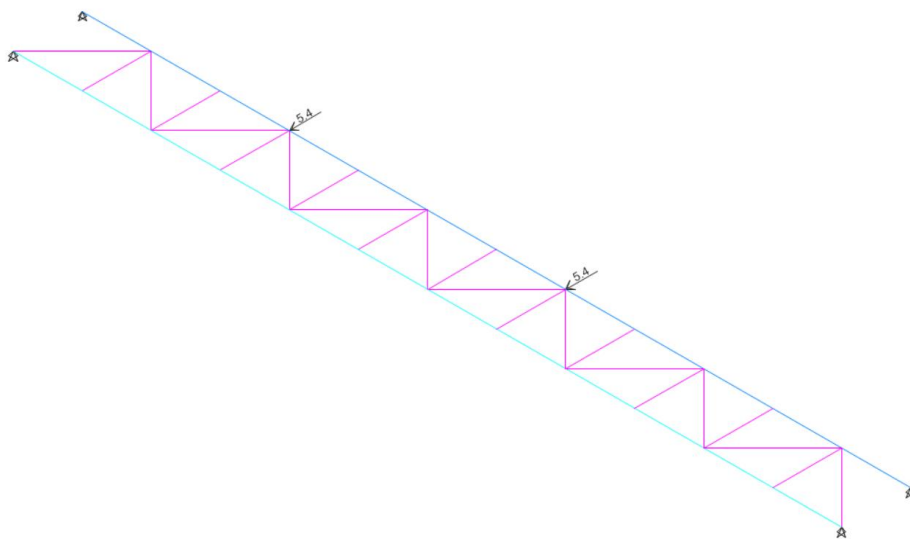
Point Loads

	1.	2.	3.	4.	
Distance	0	2.5	4.5	0	m
Load	0	5.4	5.4	0	kN

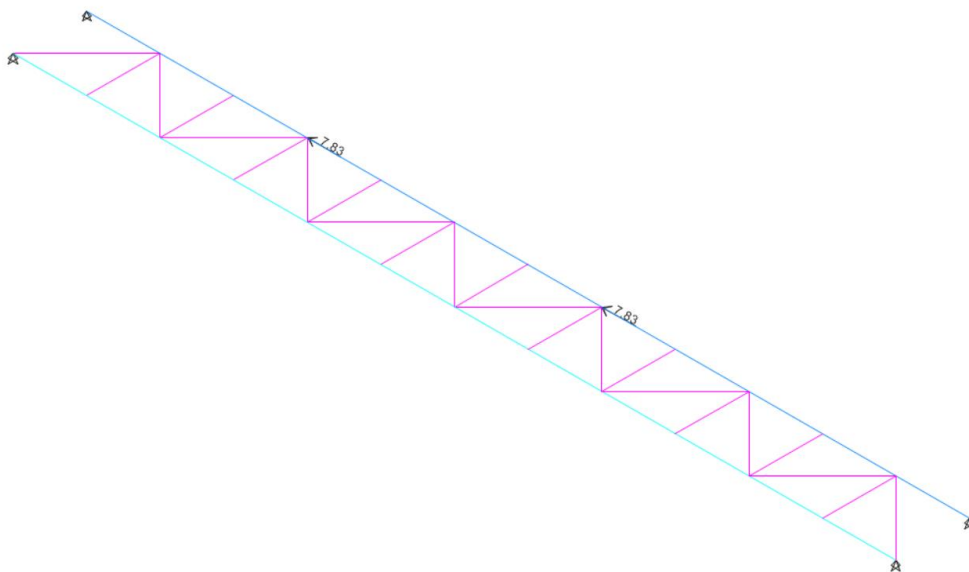
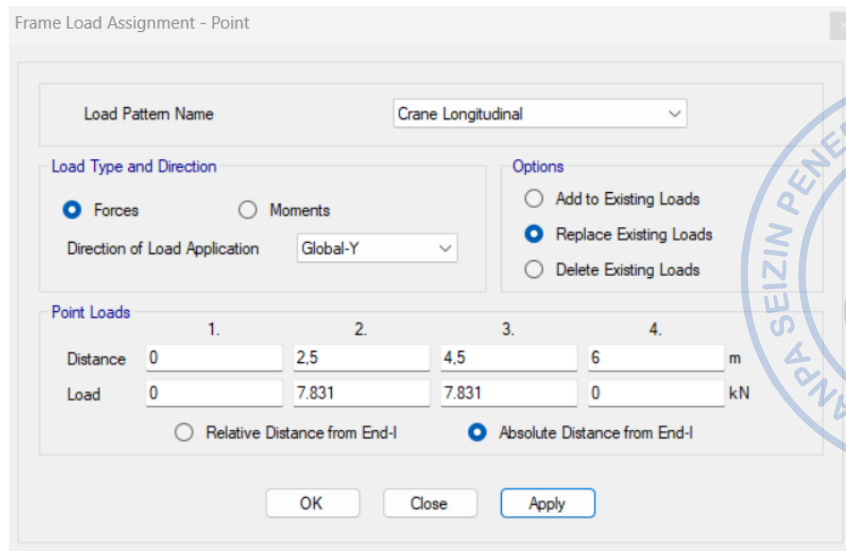
Relative Distance from End-I

 Absolute Distance from End-I

OK Close Apply



Gambar 5.8. *Input* Beban untuk $H_{transversal}$



Gambar 5.9. Input Beban untuk $H_{\text{longitudinal}}$

E. KOMBINASI BEBAN

Faktor beban untuk analisis LRFD ditentukan berdasarkan rekomendasi dari *Design Guide 7: Design Industrial Building*, adalah sebagai berikut:

Faktor beban untuk <i>bridge crane</i>	=	1,2
Faktor beban untuk <i>trolley and hoist</i>	=	1,2
Berat sendiri <i>runway beam</i> dan rel	=	1,2
<i>Lifted load</i>	=	1,6
<i>Lateral thrust and longitudinal forces</i>	=	1,6

Untuk beban vertikal, beban perlu dikalikan lagi dengan faktor dampak sebesar 25%. Atas dasar tersebut, kombinasi beban yang digunakan untuk mengecek kekuatan secara parsial adalah sebagai berikut:

LRFD Crane – 1	=	1,2 Dead + (1,2*1,25) Crane Dead + (1,6*1,25) Crane Live
LRFD Crane – 2	=	1,2 Dead + 1,6*Crane Lateral
LRFD Crane – 3	=	1,2 Dead + 1,6*Crane Longitudinal

Struktur *runway beam* harus mampu menahan kombinasi beban-beban dari berbagai kondisi yang mungkin terjadi pada struktur yaitu kombinasi dari beban mati (*dead load*), beban hidup (*live load*), beban lateral, dan beban longitudinal. Langkah-langkah untuk membuat kombinasi beban adalah dengan cara klik *Define* → *Load Combinations* → *Add New Combo* → *Input* kombinasi beban sebagaimana gambar di bawah → *OK*.

General Data

Load Combination Name: LRFD Crane - 1

Combination Type: Linear Add

Notes: Modify/Show Notes...

Auto Combination: No

Define Combination of Load Case/Combo Results

Load Name	Scale Factor
Dead	1.2
Crane Dead	1.5
Crane Live	2

Buttons: Add, Delete, OK, Cancel

Gambar 5.10. Kombinasi LRFD Crane - 1

General Data

Load Combination Name: LRFD Crane - 2

Combination Type: Linear Add

Notes: Modify/Show Notes...

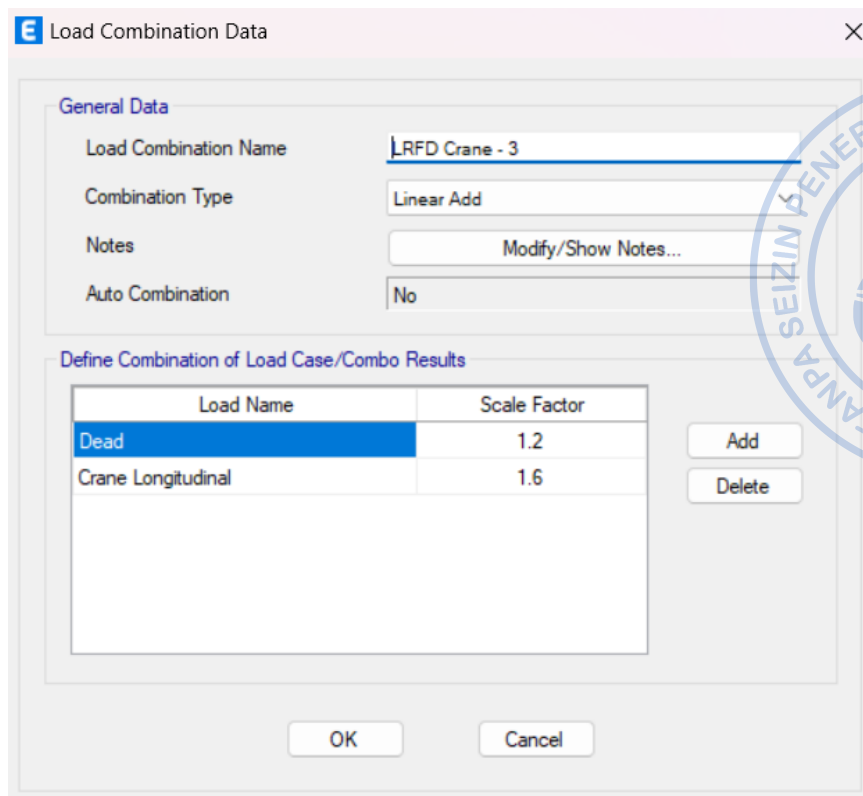
Auto Combination: No

Define Combination of Load Case/Combo Results

Load Name	Scale Factor
Dead	1.2
Crane Lateral	1.6

Buttons: Add, Delete, OK, Cancel

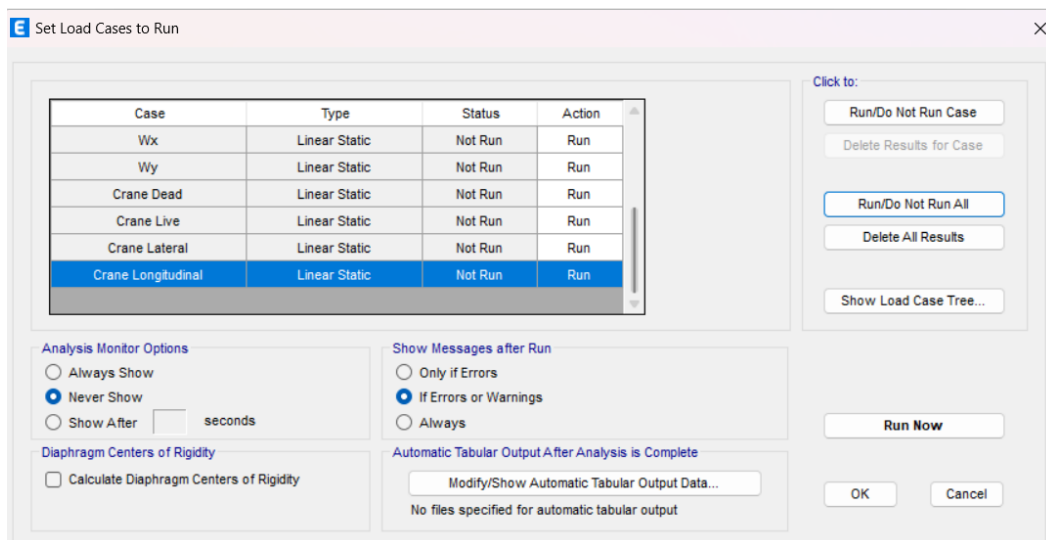
Gambar 5.11. Kombinasi LRFD Crane - 2



Gambar 5.12. Kombinasi LRFD Crane - 3

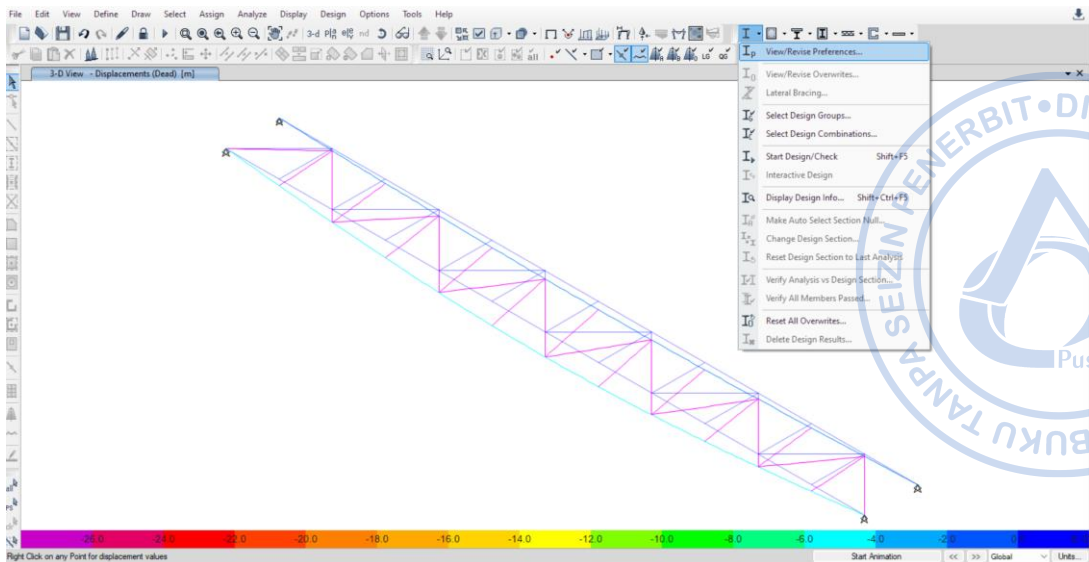
F. DESAIN STRUKTUR *RUNWAY BEAM*

Untuk melakukan desain struktur pada ETABS, lakukan running case terlebih dahulu dengan cara klik *Analyze* → *Set Load Cases to Run* → *Run All* → *Run Now*.

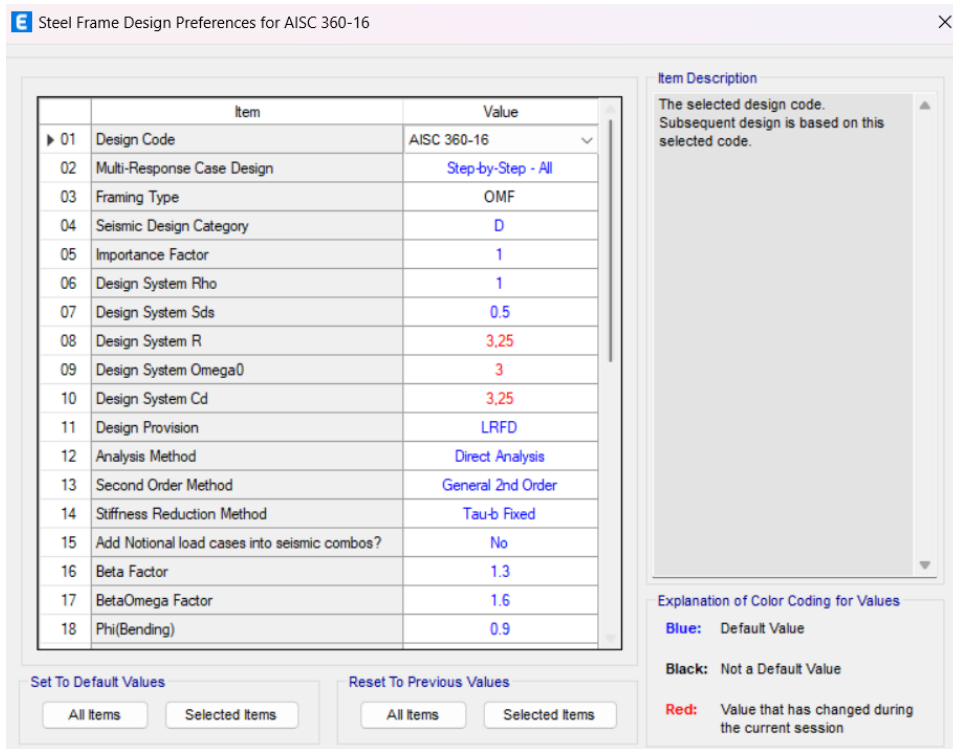


Gambar 5.13. Run All Cases

Atur *Design Preferences* untuk memilih standar yang akan digunakan dalam desain elemen struktur dengan cara klik *Steel Frame Design* pada *ribbon* bagian atas → *View/Revise Preferences* → *Atur Design Preferences* sebagaimana gambar di bawah.

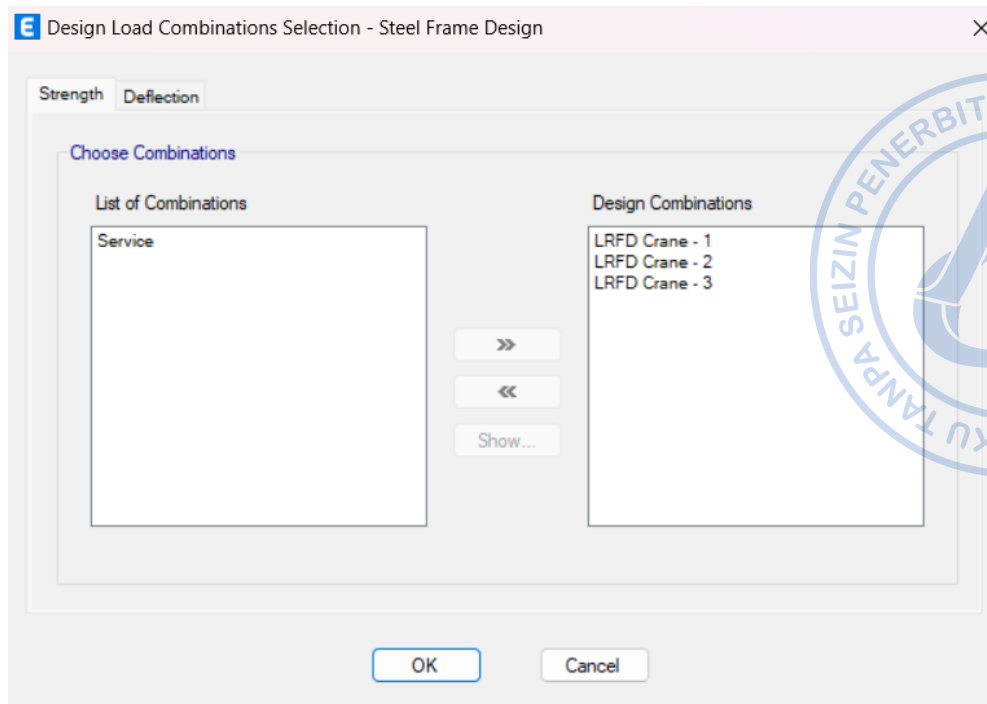


Gambar 5.14. Steel Frame Design → View/Revise Preferences



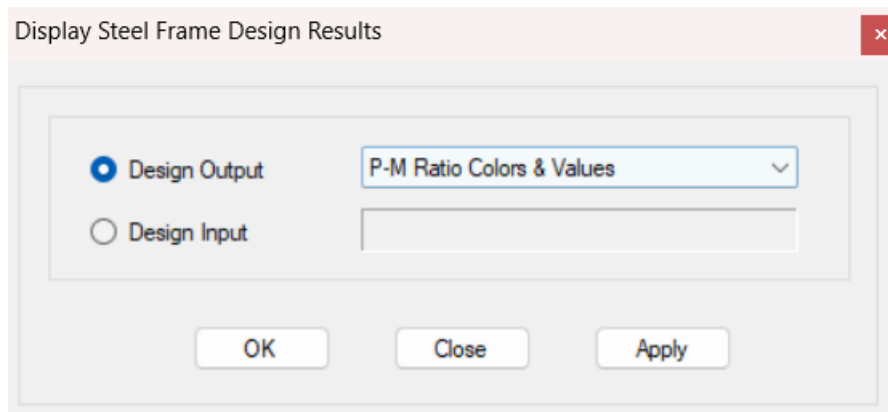
Gambar 5.15. Design Preferences untuk Desain Elemen Struktur Runway Beam

Atur kombinasi pembebanan yang akan digunakan dalam desain elemen struktur dengan cara klik *Steel Frame Design* pada *ribbon* bagian atas → *Select Design Combinations* → Atur kombinasi pembebanan sebagaimana gambar di bawah.



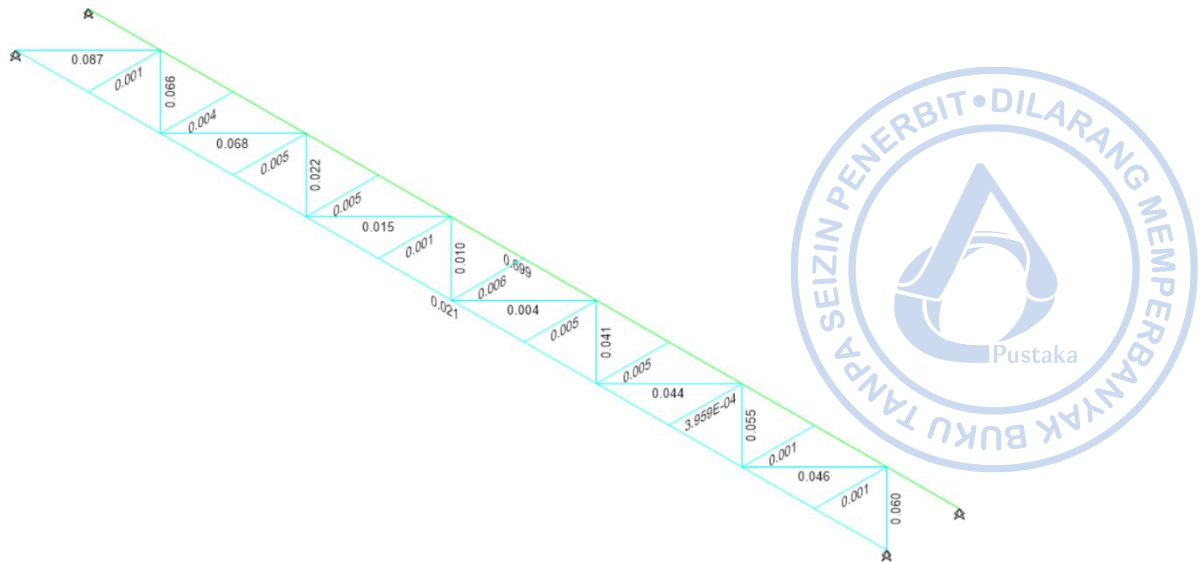
Gambar 5.16. Kombinasi Pembebanan untuk Desain Elemen Struktur *Runway Beam*

Setelah kombinasi pembebanan dan preferensi desain yang akan digunakan dalam desain elemen struktur diatur, lakukan desain dengan cara klik *Steel Frame Design* pada ribbon bagian atas → *Start Check/Design*. Cek *stress ratio* elemen struktur dengan cara klik *Steel Frame Design* → *Display Design Info* → *Design Output* → *P-M Ratio Colors and Values*.



Gambar 5.17. Display Steel Frame Design Result untuk Elemen Struktur *Runway Beam*

Dari hasil analisis diketahui bahwa *stress ratio* yang terjadi pada *runway beam crane* WF.500X200X10/16 adalah $0,699 < 1$, OK.

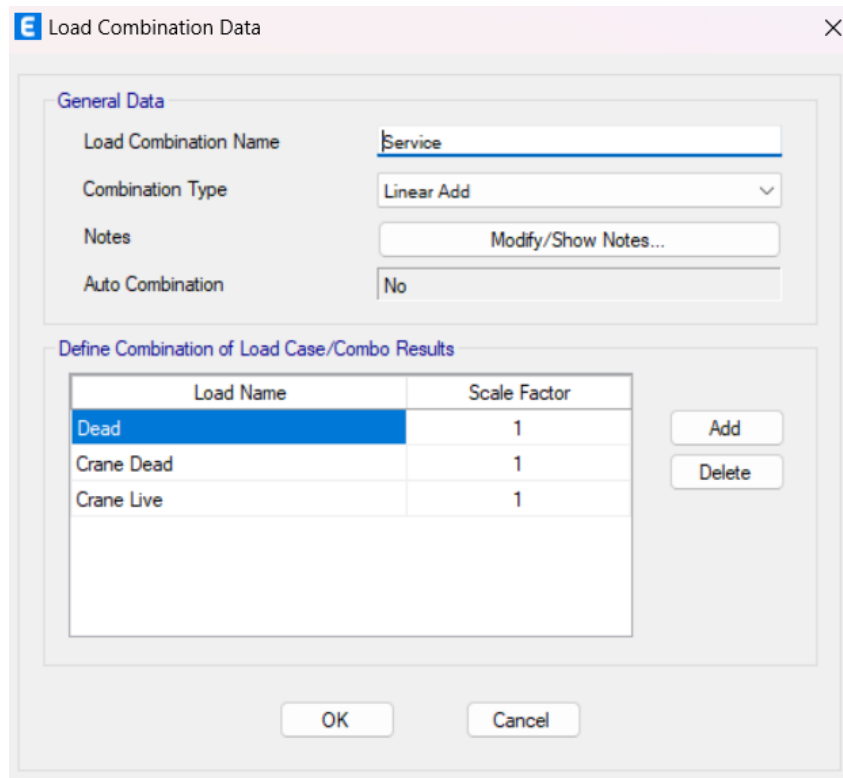


Gambar 5.18. Stress Ratio Elemen Struktur Runway Beam

G. PENGECEKAN LENDUTAN

Lendutan akibat beban roda maksimum dan beban lateral perlu dicek terhadap batas yang diizinkan. Pengecekan terhadap lendutan dapat dilakukan dengan cara klik *Show Deformed Shape* pada *ribbon* bagian atas → Atur *case* yang ingin ditampilkan → Atur perpindahan yang ingin ditampilkan → *Apply* → OK. Adapun kombinasi pembebanan yang digunakan untuk pengecekan lendutan vertikal dan horizontal adalah sebagai berikut:

- Kombinasi Service Vertikal = 1 *Dead* + 1 *Crane Dead* + 1 *Crane Live*
- Kombinasi Service Horizontal = 1 *Crane Lateral*

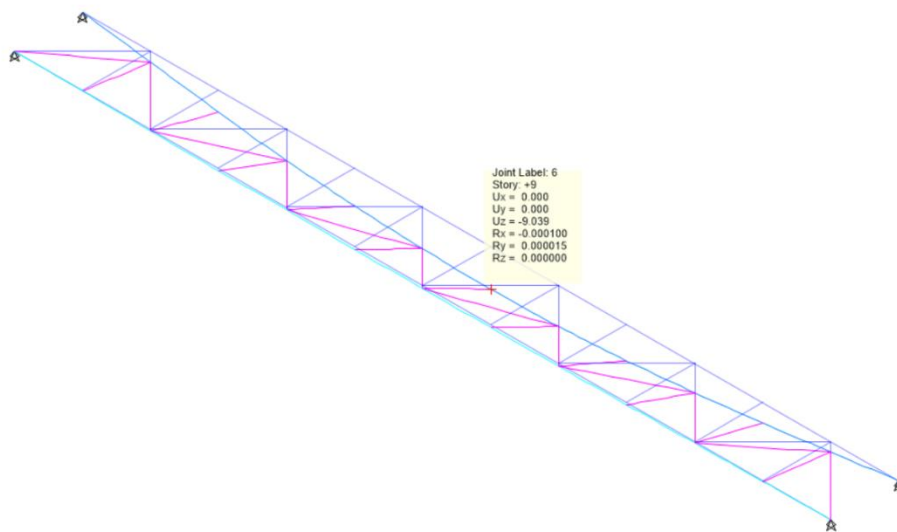
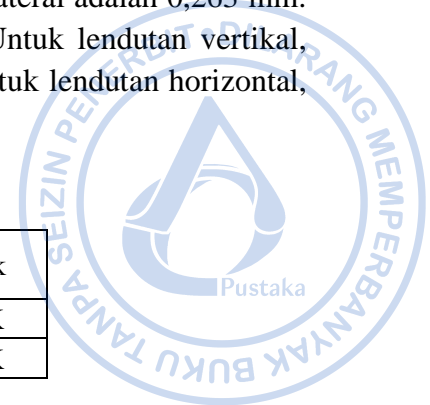


Gambar 5.19. Kombinasi Pembebanan untuk Lendutan Vertikal

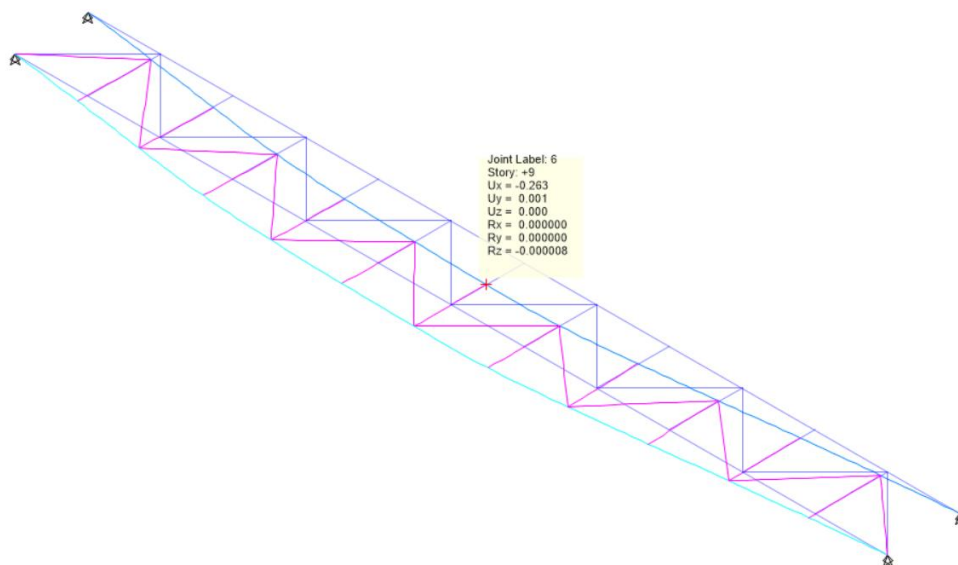
Berdasarkan hasil analisis lendutan yang terjadi akibat beban roda maksimum adalah 9,039 mm. Sementara lendutan horizontal yang terjadi akibat beban lateral adalah 0,263 mm. Lendutan yang terjadi perlu dicek terhadap batas yang diizinkan. Untuk lendutan vertikal, lendutan izin dibatasi pada L/600 untuk Kelas Layanan *Crane A*. Untuk lendutan horizontal, lendutan izin dibatasi pada L/400 untuk Kelas Layanan *Crane A*.

Tabel 5.2.
Pengecekan Terhadap Lendutan Izin

	Δ (mm)	$\delta_{\text{allowable}}$ (mm)	Cek
Lendutan Vertikal	9,039	10	OK
Lendutan Horizontal	0,263	15	OK



Gambar 5.20. Lendutan Vertikal Akibat Beban Roda Maksimum



Gambar 5.21. Lendutan Horizontal Akibat Beban Lateral

H. DESAIN ELEMEN STRUKTUR *RUNWAY BEAM* DENGAN SNI 1729-2020

Peraturan desain struktur baja di Indonesia mengacu pada SNI 1729-2020 yang merupakan adopsi identik dari AISC 360-16. Berikut ini disajikan perhitungan struktur *runway beam* yang mengacu pada SNI 1729-2020.

Pengecekan pada *Tension Flange* Akibat Beban Terkombinasi

Data awal *runway beam crane* diketahui sebagai berikut:

Digunakan profil untuk <i>runway beam crane</i>	=	WF 500x200x10/16	
Mutu baja, f_y	=	240	MPa
Tinggi profil, H	=	500	mm
Lebar sayap, b_f	=	200	mm
Tebal sayap, t_f	=	16	mm
Tebal badan, t_w	=	10	mm
Luas profil, A	=	130,3	cm ²
	=	13026	mm ²
Momen inersia x, I_x	=	47800	cm ⁴
Momen inersia y, I_y	=	2140	cm ⁴
Radius girasi x, r_x	=	19,2	cm
Radius girasi y, r_y	=	4,1	cm
Modulus penampang elastis x, S_x	=	1910	cm ³
	=	1910000	mm ³
Modulus penampang elastis y, S_y	=	214	cm ³
	=	214000	mm ³
Modulus elastisitas, E	=	200000	MPa
Tinggi bersih, h	=	468	mm
Jarak antar titik berat sayap, h_o	=	484	mm
Tinggi bersih, h'	=	468	mm
C_w	=	1253269600000	mm ⁶

Pengecekan Rasio Tebal Terhadap Lebar Sayap

$$\lambda_f = \frac{0,5 * b_f}{t_f} = 6,3$$

$$\lambda_r = 1,0 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 28,9$$

$$\lambda_p = 0,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 11,0$$

Karena $\lambda_f < \lambda_p$, maka sayap termasuk ke dalam penampang kompak.

Pengecekan Rasio Tebal Terhadap Lebar Badan

$$\lambda_w = \frac{h}{t_w} = 46,8$$

$$\lambda_r = 5,70 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 164,5$$

$$\lambda_p = 3,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 108,5$$

Karena $\lambda_w < \lambda_p$, maka badan profil termasuk ke dalam kategori kompak.

$\lambda_f < \lambda_p$ dan $\lambda_w < \lambda_p$, dapat disimpulkan bahwa WF.500X200X10/16 merupakan profil kompak sehingga pasal F2 berlaku.

Pengecekan Panjang L_p

$$L_p = 1,76 * r_y * \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 2059,3 \text{ mm}$$

Pengecekan Panjang L_r

$$C_w = \frac{(h_o)^2 * b_f^3 * t}{24} = 1253269600000 \text{ mm}^6$$

$$J = \frac{2 * b_f * t^3 + h_o * t_w^3}{3} = 707466,7 \text{ mm}^4$$

$$r_{ts} = \sqrt{\frac{\sqrt{I_y * C_w}}{S_x}} = 52,1 \text{ mm}$$

c = 1 (Profil I simetris ganda)

$$L_r = 1,95 * r_{ts} * \frac{E}{0,7 * f_y} \sqrt{\frac{J * c}{S_x * h_o} + \sqrt{\left(\frac{J * c}{S_x * h_o}\right)^2 + 6,76 \left(\frac{0,7 * f_y}{E}\right)^2}} = 6708,0 \text{ mm}$$

Perhitungan Kuat Lentur Pelehan (Momen Plastis)

Kapasitas momen plastis dapat dihitung berdasarkan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Modulus penampang plastis, } Z_x = 2096360 \text{ mm}^3$$

Sehingga,

$$M_n = M_p = f_y * Z_x$$

$$M_n = 503126400 \text{ Nmm} = 503,1 \text{ kNm}$$

$$\emptyset M_n = 452,8 \text{ kNm}$$

Perhitungan Kuat Lentur Tekuk Torsi Lateral

$$L_b \text{ (Panjang tidak diperkaku)} = 500 \text{ mm}$$

$$L_p = 2059,3 \text{ mm}$$

$$L_r = 6708,0 \text{ mm}$$

Karena $L_b < L_p$, maka termasuk bentang pendek sehingga kuat lentur tekuk torsi lateral dapat diabaikan.

Pengecekan Stress Ratio Akibat Kombinasi LRFD Crane – 1

$$\text{Momen akibat beban terkombinasi, } M_{rx} = 315,9 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{rx}}{\emptyset M_{nx}} + \frac{M_{ry}}{\emptyset M_{ny}} = \frac{315,9}{452,8} + 0 = 0,698 < 1, \text{ OK!}$$

Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh nilai *stress ratio* yang relatif sama dengan hasil desain melalui ETABS.



Pengecekan pada Compression Flange Akibat Beban Terkombinasi
Pengecekan Rasio Tebal Terhadap Lebar Sayap

$$\lambda_f = \frac{0,5 * b_f}{t_f} = 6,3$$

$$\lambda_r = 1,0 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 28,9$$

$$\lambda_p = 0,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 11,0$$

Karena $\lambda_f < \lambda_p$, maka sayap termasuk ke dalam penampang kompak. Maka yang dihitung cukup momen plastis saja.

Perhitungan Kuat Lentur Pelehan (Momen Plastis)

Kapasitas momen plastis dapat dihitung berdasarkan persamaan sebagai berikut:

Modulus penampang plastis, $Z_y = 1356500 \text{ mm}^3$

Sehingga,

$$M_n = M_p = f_y * Z_y \leq 1,6 * f_y * S_y$$

$$M_n = M_p = 325560000 \text{ Nmm} \leq 82176000 \text{ Nmm}$$

$$M_n = 82176000 \text{ Nmm} = 82,2 \text{ kNm}$$

$$\phi M_n = 73,95 \text{ kNm}$$

Pengecekan Stress Ratio Akibat Kombinasi LRFD Crane – 2

Momen akibat beban terkombinasi, $M_{rx} = 5,1 \text{ kNm}$

Momen akibat beban terkombinasi, $M_{ry} = 0,96 \text{ kNm}$

$$\frac{M_{rx}}{\phi M_{nx}} + \frac{M_{ry}}{\phi M_{ny}} = \frac{5,1}{452,8} + \frac{0,96}{73,95} = 0,024 < 1, \text{ OK!}$$

Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh nilai *stress ratio* yang relatif sama dengan hasil desain melalui ETABS.

Pengecekan Web Sidesway Buckling

Gaya-gaya terpusat akibat beban terpusat *crane* sangat rawan untuk menimbulkan *web sidesway buckling* pada profil. Maka pengecekan untuk *web sidesway buckling* menjadi penting untuk mengantisipasi *buckling* pada *web*. Hal tersebut dilakukan pada perhitungan sebagai berikut:

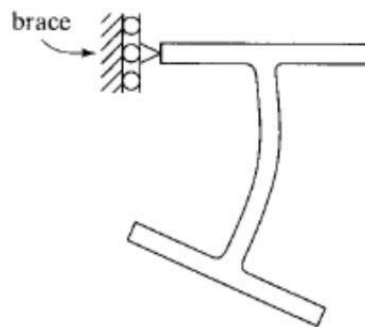
Data Teknis

Profil yang digunakan	=	WF 500x200x10/16
Tinggi balok, H	=	500 mm
Lebar flange, b_f	=	200 mm
Tebal flange, t_f	=	16 mm
Tebal web, t_w	=	10 mm
Fillet radius, r	=	20 mm
Tinggi bersih pelat badan, h_w	=	$H - 2 * t_f - 2 * r$
	=	428 mm
Unbraced length, L_b	=	0,5 m
Yield strength, F_y	=	240 MPa



Jika sayap tekan ditahan melawan rotasi:			
Rasio tinggi bersih dan tebal web	=	h_w/t_w	= 42,8
Rasio bentar tak terkekang dan lebar flange	=	L_b/b_f	= 2,5
Cek	=	$(h_w/t_w)/(L_b/b_f)$	
	=	17,120	
Kesimpulan, $(h_w/t_w)/(L_b/b_f) \leq 2,3$	=	Tidak perlu dicek	

Berdasarkan hasil perhitungan, *web sidesway buckling* pada profil *runway beam* tidak perlu dicek. Adanya *backing truss* yang menopang *top flange* sekaligus sebagai pengaku lateral maka pengaruh *web sidesway buckling* dapat diantisipasi. Ini menunjukkan besarnya pengaruh *backing truss* sebagai pengaku lateral *runway beam crane* sekaligus untuk menjaga *runway beam crane* dari *web sidesway buckling*.



Gambar 5.22. Ilustrasi *Web Sidesway Buckling* pada Profil Penampang

I. DESAIN FATIK UNTUK *RUNWAY BEAM*

Analisis terhadap fatik perlu dilakukan mengingat *crane* bergerak secara siklik dan dapat mengakibatkan tegangan lokal yang cukup kritis pada bagian-bagian tertentu dari komponen *runway crane*. Fisher. et. al. (2003) merekomendasikan panduan dalam melakukan desain fatik untuk *runway beam*. Beberapa item yang perlu dicek terhadap fatik untuk komponen *runway beam* antara lain adalah sebagai berikut:

- Tegangan pada *Tension Flange*
Untuk *runway beam* yang didesain dari pelat girder yang disusun menjadi suatu profil tertentu, kebutuhan akan fatik menjadi lebih tinggi. Untuk profil dari pelat girder kategori tegangan B pada Pasal 1 Tabel A-3.1. SNI 1729-2020 bisa digunakan. Sementara untuk profil giras panas, kategori tegangan A pada pada Pasal 1 Tabel A-3.1. SNI 1729-2020 bisa digunakan.
- *Web to Flange Welds*
Untuk profil yang disusun dari pelat girder, *crack* rawan terjadi pada las antara web dengan *flange*. Penggunaan *full penetration welds* direkomendasikan untuk menghubungkan antara *web* dan *flange* untuk profil yang disusun dari pelat girder. Untuk las, kategori tegangan F pada pada Pasal 8.2. Tabel A-3.1. SNI 1729-2020 bisa digunakan.
- *Tiebacks*
Tiebacks disediakan di ujung girder di tiap bentang untuk mentransfer gaya lateral dari *top flange* ke kolom. Ketentuan fatik untuk *tiebacks* dapat bervariasi tergantung tipe *tiebacks* yang digunakan untuk menopang struktur *runway beam*.

- *Bearing Stiffeners*
Pengaku tumpu diberikan dibagian ujung *runway beam* yang dibuat dari profil pelat girder. Crack akibat fatik dapat terjadi saat *bearing stiffener* dilas *fillet* ke bawah *top flange*. Setiap beban roda *crane* dapat menyebabkan tegangan geser pada *fillet welds* dan perlu dicek terhadap beban fatik.
- *Intermediate Stiffeners*
Meski *runway beam* dominan terjadi lentur, apabila *stiffener* digunakan, pengecekan terhadap potensi fatik perlu dilakukan. Fatik perlu dicek pada posisi dimana *stiffener* bersinggungan dengan *tension flange*.
- *Channel Caps* dan *Cap Plates*
Profil *channel* atau *cap plates* biasa digunakan sebagai perkuatan pada bagian *top flange* dari *runway beam*. Perkuatan di bagian *top flange runway beam* dapat memberikan stabilitas torsi lateral yang baik. Tegangan geser pada las antara profil perkuatan dengan *runway beam* ditentukan berdasarkan Pasal 8.2 SNI 1729-2020.
- Pelat Cap pada Kolom *Crane*
Untuk *crane* kelas berat yang didesain dengan beban ekstra, kolom tambahan dibutuhkan sebagai penopang *runway beam*. Pelat cap di bagian atas kolom tersebut perlu dicek terhadap fatik. Pembautan antara *runway beam* dengan *cap plate* harus bisa mengakomodir gaya longitudinal dari *crane*.
- *Laced Crane Girders* atau *Backing truss*
Untuk *crane* dengan beban lateral yang besar, *backing truss* sebagai perkuatan bagian *top flange* dari gaya lateral diperlukan. Sistem *backing truss* dapat didesain dengan berbagai macam profil utamanya profil siku. Pengecekan terhadap fatik perlu disesuaikan dengan sistem *backing truss* yang digunakan dan sesuai dengan SNI 1729-2020.
- Tambatan Rel
Rel yang ditambatkan pada *runway beam* perlu didesain terhadap potensi fatik. Untuk rel yang ditambatkan dengan las pada bagian *top flange runway beam*, tambatan rel perlu dicek berdasarkan Pasal 7.1. SNI 1729-2020.

Pengecekan Tegangan Lentur pada *Tension Flange*

Hanya momen akibat beban hidup yang digunakan untuk menentukan tegangan lentur.

$$\begin{aligned} \text{Momen akibat beban live load, } M_{\text{live}} &= 104,2 \text{ kNm} \\ &= 104200000 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\text{Tahanan momen profil, } S_x = 1910000 \text{ mm}^3$$

$$\text{Tegangan lentur, } f_{bx} = M_{\text{live}}/S_x = 54,6 \text{ MPa}$$

Konstanta C_f diambil dari kategori fatik B Pasal 1 Tabel A.3-1 SNI 1729-2020.

$$\text{Konstanta, } C_f = 25$$

$$\text{Klasifikasi } crane = A$$

$$\text{Jumlah fluktuasi rentang tegangan pada umur desain, } n_{SR} = 20000$$

$$\text{Ambang batas maksimum, } F_{th} = 165 \text{ MPa}$$

$$\text{Design stress range, } F_{sr} = 6900 * \left(\frac{C_f}{n_{SR}} \right)^{0,333} \geq F_{th}$$

$$= 165 \text{ MPa}$$

$$\text{Cek, } F_{sr} > f_{bx} = \text{OK!}$$

Pengecekan pada Stiffener

Momen akibat beban live load, M_{live}	=	104,2	kNm
	=	104200000	Nmm
Jarak dari ujung stiffener ke garis netral, c	=	184	mm
Inersia penampang, I_x	=	478000000	mm ⁴
Tegangan lentur, f_{bx}	=	$M_{live} * c / I_x$	40,1 MPa
Konstanta, C_f	=	44	
Klasifikasi <i>crane</i>	=	A	
Jumlah fluktuasi rentang tegangan pada umur desain, n_{SR}	=	20000	
Ambang batas maksimum, F_{th}	=	165	MPa
Design stress range, F_{sr}	=	$\left(\frac{C_f}{n_{SR}}\right)^{0,333}$	$\geq F_{th}$
	=	165	MPa
Cek, $F_{sr} > f_{bx}$	=		OK!

Pengecekan pada Top Flange Rail Clips

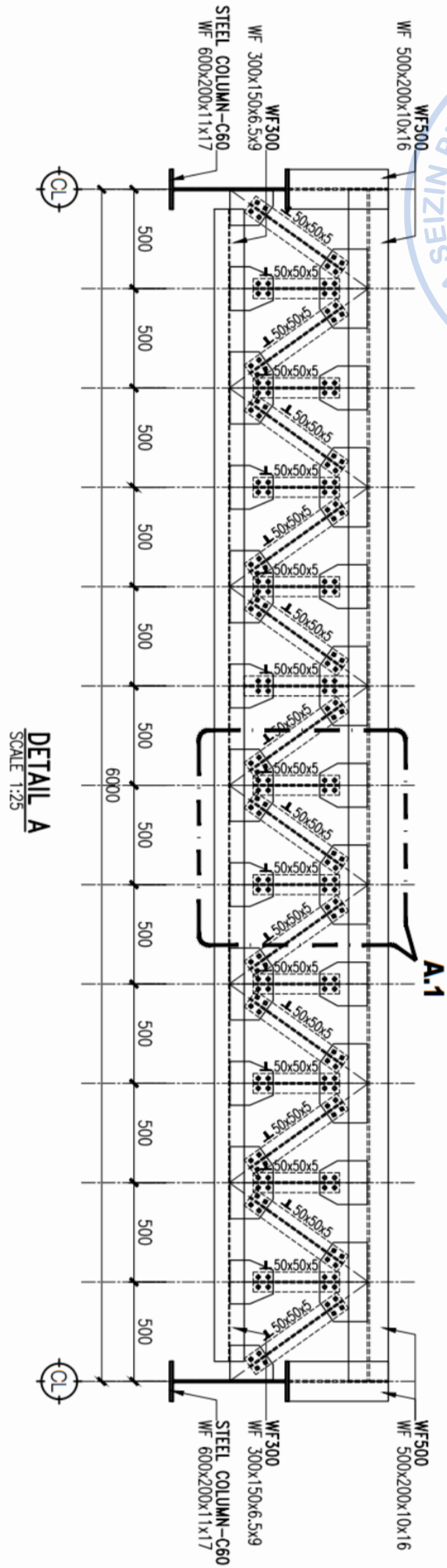
Fatig yang terjadi pada *top flange* diakibatkan oleh tegangan akibat beban lateral. Beban vertikal akibat beban roda maksimum selalu mengakibatkan tegangan tekan pada bagian *top flange*. Retak fatig tidak terjadi pada daerah dengan tegangan tekan sehingga kombinasi beban antara beban minimum roda dan beban lateral maksimum akan diaplikasikan untuk mengecek adanya potensi fatig di bagian *top flange*. Kombinasi beban ini memungkinkan terjadinya tegangan tarik pada bagian *top flange*.

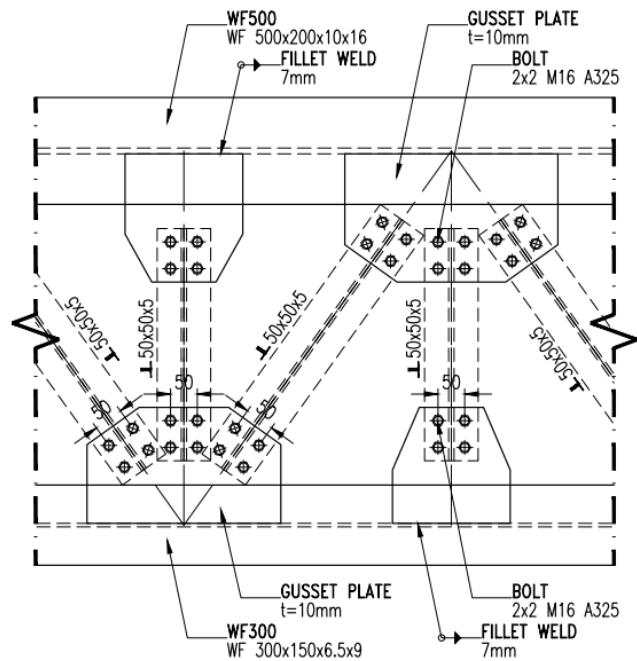
Beban roda minimum, P_{min}	=	26,5	kNm
Beban roda minimum + impak, P_{min}	=	31,9	kNm
Momen arah x akibat beban roda maksimum + 50% beban lateral, M_x	=	66,5	kNm
Momen arah y akibat beban roda maksimum + 50% beban lateral (50%), $M_y/2$	=	0,15	kNm
Tahanan momen profil, S_x	=	1910000	mm ³
Tegangan lentur sumbu kuat, f_{bx}	=	M_x / S_x	34,8 MPa
Jarak bagian belakang rail clip dengan top flange, c	=	133,4	mm
Inersia sumbu lemah, I_y	=	21400000,0	mm ⁴
Tegangan lentur sumbu kuat, f_{by}	=	$M_y * c / I_y$	0,9 MPa
Cek $f_{bx} > f_{by}$	=		OK

Tegangan pada sumbu kuat lebih besar daripada tegangan pada sumbu lemah sehingga tegangan lentur lebih mungkin terjadi pada *tension flange* tidak pada *top flange*. Pengecekan tegangan lentur pada *tension flange* sudah dilakukan dan tegangan lentur yang terjadi masih di bawah ambang batas maksimum yang disyaratkan.

J. DETAIL RUNWAY BEAM

Sesuai dengan perhitungan di atas, *runway beam* didesain dengan WF.500X200X11/16 dengan *backing truss* siku ganda 2L.50X50X5. Sambungan antara *backing truss*, *runway beam* dan supporting *beam* didesain dengan *gusset plate*. Detail sambungan dapat dilihat pada gambar berikut.



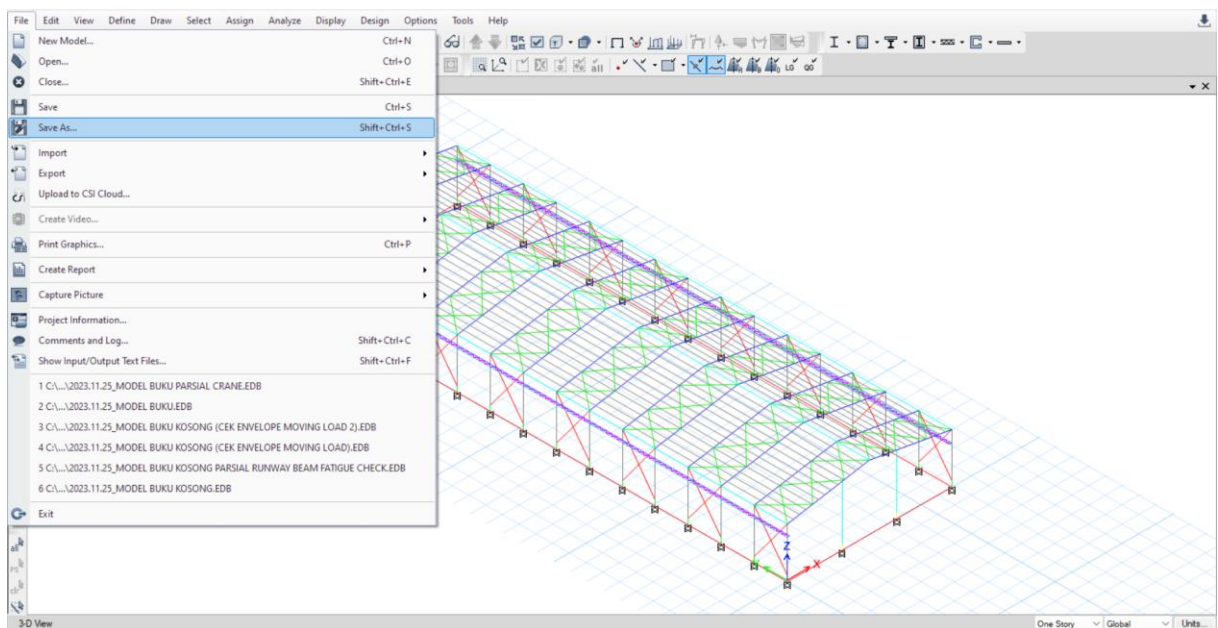


DETAIL A.1
SCALE 1:10

Gambar 5.23. Detail Runway Beam

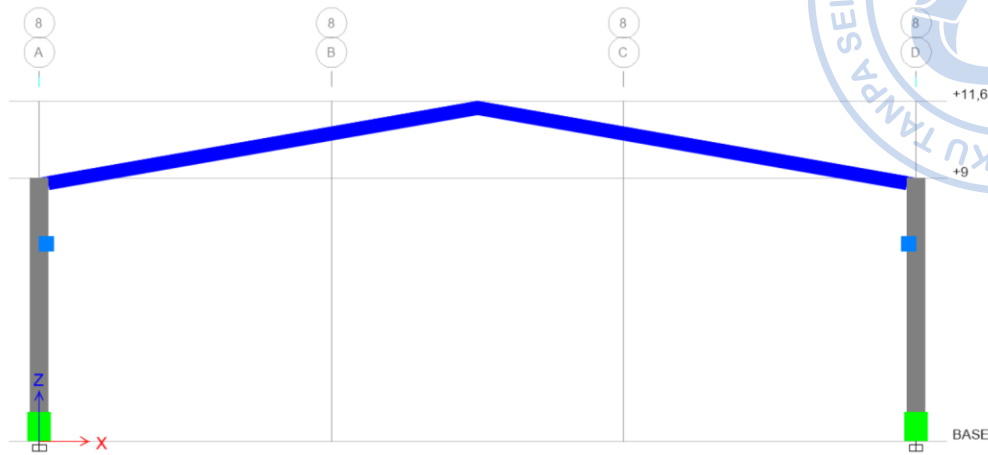
K. DESAIN KOLOM YANG MENDUKUNG BEBAN CRANE

Kolom yang mendukung beban *crane* harus didesain cukup kuat menahan beban yang ada. Terlebih beban *crane* merupakan beban yang akan menimbulkan momen eksentris karena tidak bekerja pada titik berat kolom. Beban *crane* memiliki beban gravitasi yang besar sehingga kombinasi pembebanan dengan tinjauan utama beban mati dan beban hidup akan menentukan. Satu portal bangunan akan ditinjau kekuatannya dengan melakukan *Save As* dari model yang telah dibuat sebelumnya. Hal tersebut dapat dilakukan dengan cara klik *File* → *Save As* → Beri nama baru dan letakkan pada *folder* yang diinginkan.

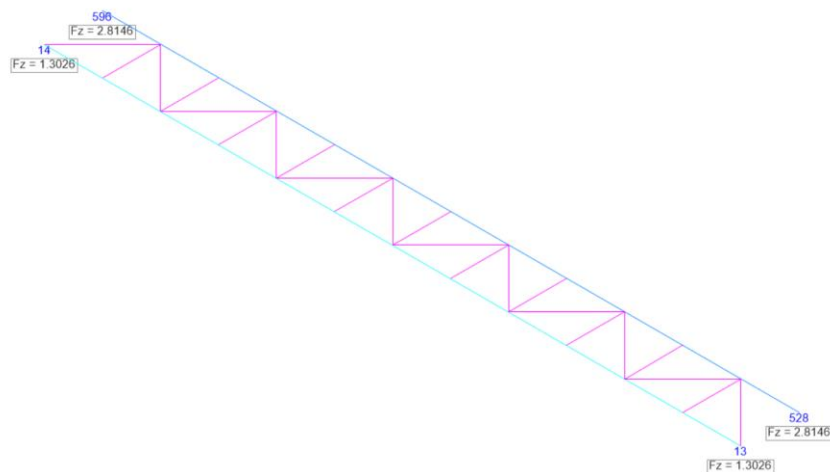


Gambar 5.24. Beban Mati Akibat Crane pada Bracket

Sisakan satu portal rangka dan hapus portal yang lain sebagaimana gambar di bawah. Aplikasikan beban *crane*, beban angkat *crane*, serta berat sendiri *runway beam* di atas ujung bracket. Untuk pembebanan akibat beban *crane* disajikan pada perhitungan di bawah. Adapun berat sendiri *runway* serta *backing truss* diambil dari reaksi *runway beam* yang telah dimodelkan secara parsial sebagaimana gambar di bawah. Reaksi tersebut akan dimasukkan juga sebagai beban pada kolom untuk memberikan hasil yang konservatif saat desain kolom.



Gambar 5.25. Portal yang Ditinjau



Gambar 5.26. Berat Sendiri *Runway Beam* dan *Backing Truss*

Kapasitas <i>crane</i> , P_{lifted}	=	100	kN
Berat bridge <i>crane</i> , P_{bridge}	=	110	kN
Berat <i>trolley</i> dan <i>hoist</i> , P_{th}	=	8,4	kN
Berat rel + M/E, $q_{\text{rail+M/E}}$	=	0,7	kN/m
Beban terpusat rel + M/E, $P_{\text{rail+M/E}}$	=	$0,5 \cdot q \cdot L_{\text{sp}}$	= 2,1 kN
Bentang <i>runway beam crane</i> , L_{sp}	=	6,0	m
Faktor impak	=	25%	

Asumsi beban maksimum akibat beban crane di kolom bagian kiri.

Beban pada bagian kiri kolom portal:

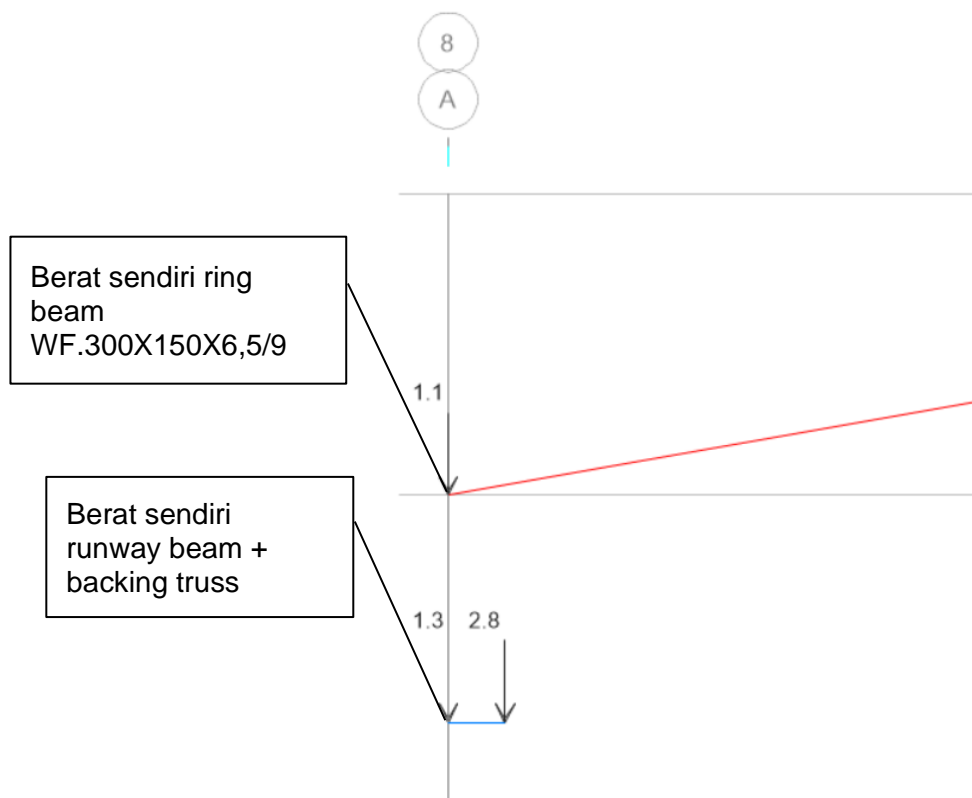
<u>Kapasitas crane, $P_{lifted}/2$</u>	=	50	kN	+
Diaplikasikan beban crane live + 25% beban dampak, P_{live}	=	62,5	kN	
Berat bridge crane, $P_{bridge}/4$	=	27,4	kN	
Berat trolley dan hoist, $P_{th}/2$	=	4,2	kN	
<u>Beban terpusat rel + M/E, $P_{rail+M/E}$</u>	=	2,1	kN	+
Diaplikasikan beban crane dead +25% beban dampak, P_{dead}	=	42,1	kN	

Beban pada bagian kanan kolom portal:

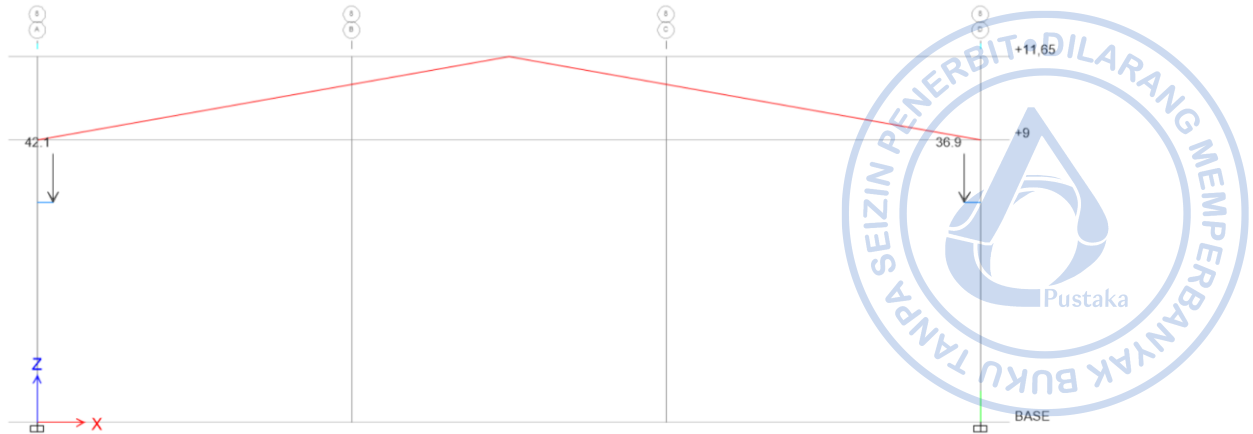
<u>Kapasitas crane, $P_{lifted}/2$</u>	=	0	kN	+
Diaplikasikan beban crane live + 25% beban dampak, P_{live}	=	62,5	kN	
Berat bridge crane, $P_{bridge}/4$	=	27,4	kN	
Berat trolley dan hoist, $P_{th}/2$	=	0	kN	
<u>Beban terpusat rel + M/E, $P_{rail+M/E}$</u>	=	2,1	kN	+
Diaplikasikan beban crane dead +25% beban dampak, P_{dead}	=	36,9	kN	

Beban-beban lain yang dipertimbangkan:

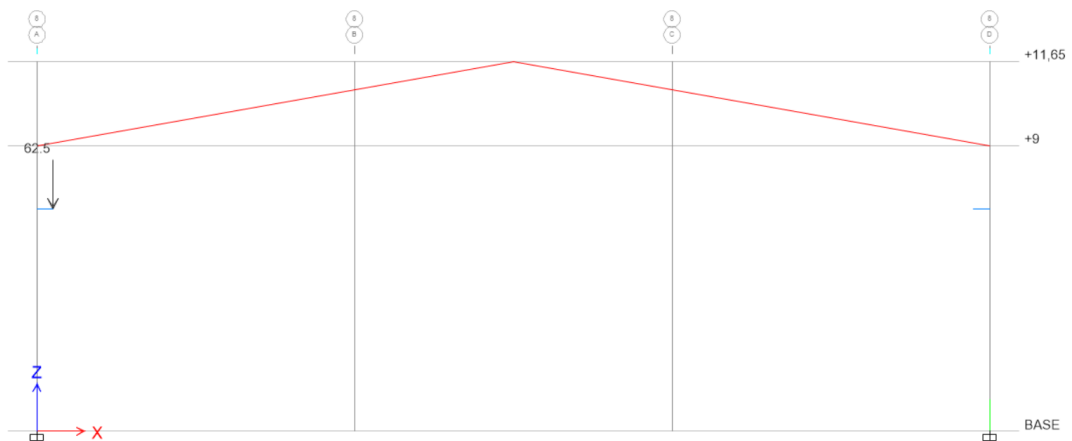
Reaksi diujung runway beam	=	2,8	kN
Reaksi diujung ring beam penunjang backing truss	=	1,3	kN
Gaya lateral pada masing-masing kolom, H	=	5,4	kN
Berat sendiri ring beam di top kolom (WF.300X150X6,5/9)	=	1,1	kN



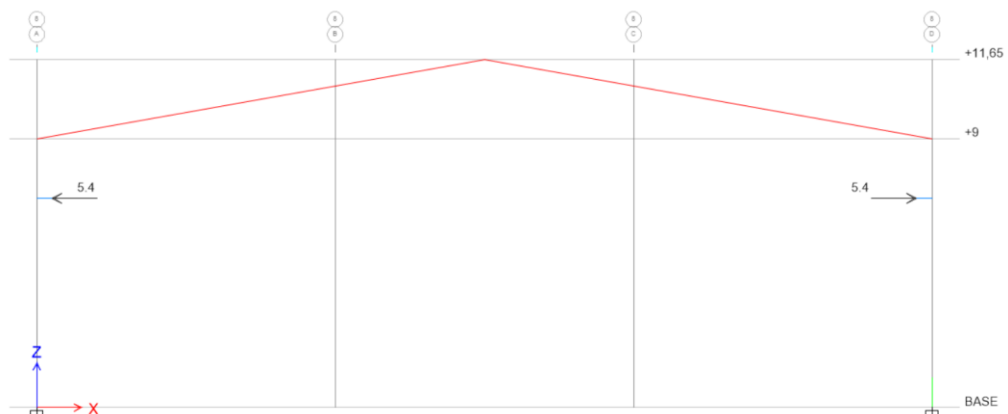
Gambar 5.27. Berat Sendiri Runway Beam, Backing Truss, dan Ring Beam



Gambar 5.28. Beban Mati Akibat *Crane* pada *Bracket*



Gambar 5.29. Beban Hidup Akibat *Crane* pada *Bracket*



Gambar 5.30. Beban Lateral pada Kolom Portal

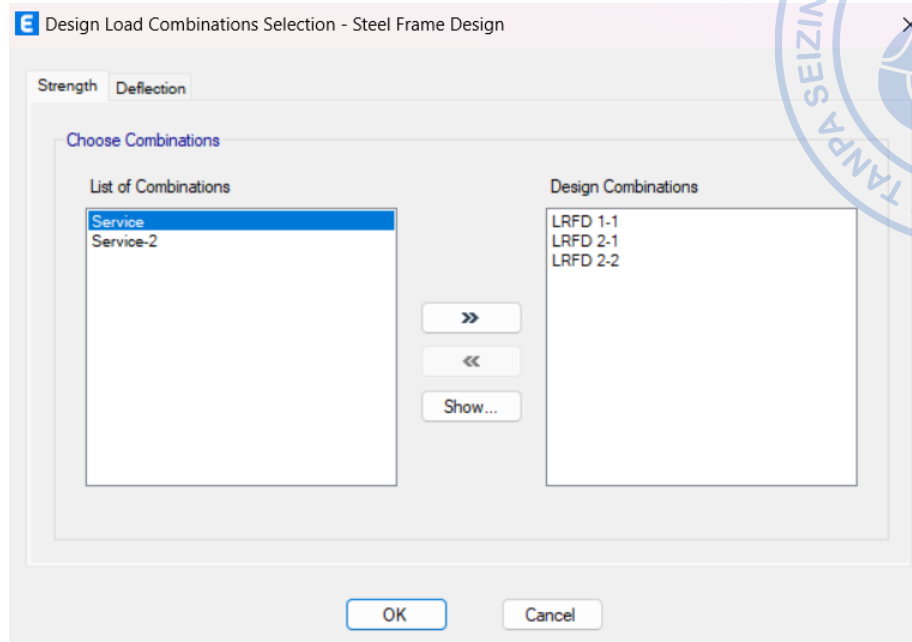
Kombinasi pembebanan yang digunakan:

$$\text{LRFD 1-1} = 1,4 \text{ Dead} + 1,4 P_{\text{dead}(\text{crane})}$$

$$\text{LRFD 2-1} = 1,2 \text{ Dead} + 1,2 P_{\text{dead}(\text{crane})} + 1,6 P_{\text{live}(\text{crane})} + 1,6 H_{\text{crane}} + 0,5 L_r$$

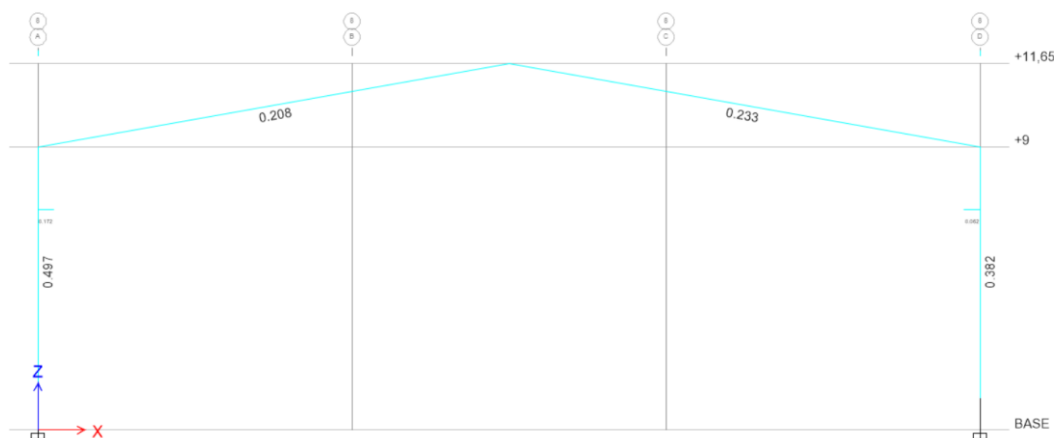
$$\text{LRFD 2-2} = 1,2 \text{ Dead} + 1,2 P_{\text{dead}(\text{crane})} + 1,6 P_{\text{live}(\text{crane})} + 1,6 H_{\text{crane}} + 0,5 R$$

Struktur yang sudah dimodelkan perlu di-run terlebih dahulu sebelum dilakukan desain. Running case untuk desain struktur portal dapat dilakukan dengan cara yang sama dengan desain untuk struktur *runway* sebelumnya. Atur kombinasi pembebanan yang akan digunakan dalam desain elemen struktur dengan cara klik *Steel Frame Design* pada *ribbon* bagian atas → *Select Design Combinations* → Atur kombinasi pembebanan sebagaimana gambar di bawah.



Gambar 5.31. Kombinasi Pembebanan untuk Desain Elemen Struktur Portal Akibat Beban *Crane*

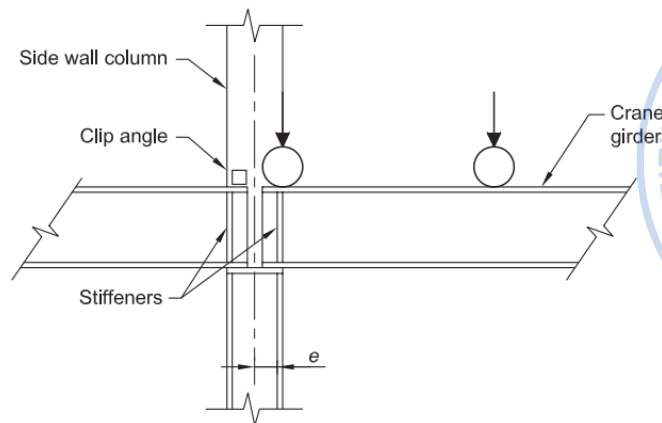
Desain struktur portal yang menopang beban *crane* dapat dilakukan dengan cara yang sama dengan desain struktur *runway beam*. Dari hasil analisis diketahui bahwa stress ratio yang terjadi pada elemen kolom portal yang ditinjau akibat beban *crane* $0,497 < 1$, OK.



Gambar 5.32. Stress Ratio Kolom Portal $0,497 < 1$, OK!

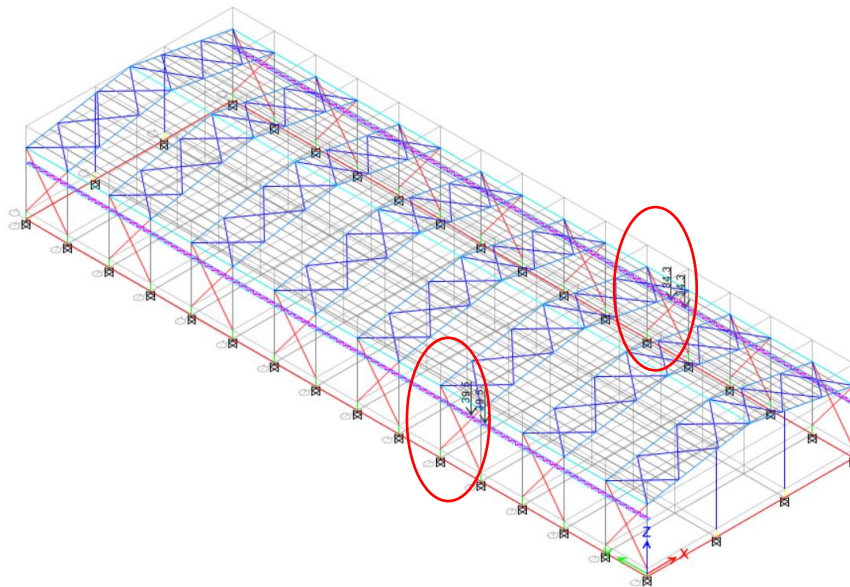
Pengaruh beban *crane* terhadap bangunan secara keseluruhan sangat perlu untuk dicek. Beban *crane* dapat menghasilkan gaya paling kritis apabila roda pertama terletak tepat pada titik kolom. Karena beban *crane* merupakan beban bergerak (*moving load*), maka titik kritis beban *crane* pada bangunan perlu ditinjau dengan sekian skenario. Titik kritis tersebut tentu sangat ditentukan oleh konfigurasi bangunan. Beban *crane* yang terdiri dari beban vertikal,

transversal, dan longitudinal akan menghasilkan efek yang sangat signifikan terhadap bangunan.

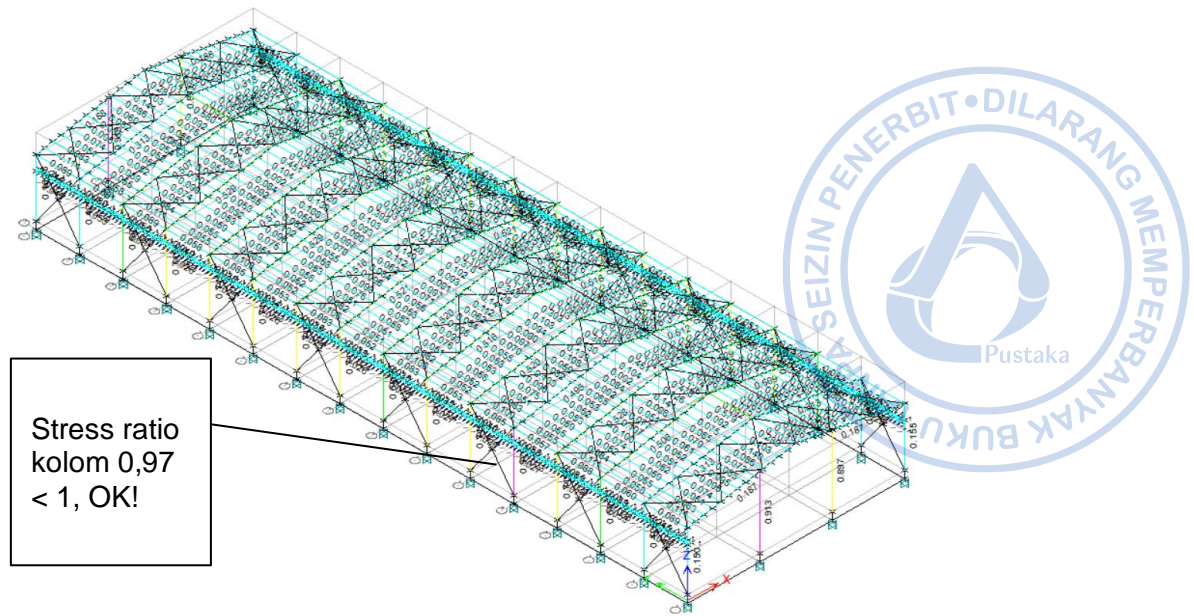


Gambar 5.33. Kemungkinan Titik Kritis Beban *Crane* Terhadap Kolom
(Sumber: *Design Guide 7 AISC: Industrial Building Design*, 2019)

Dari sekian skenario pembebanan *crane* pada bangunan yang didesain, lokasi paling kritis untuk portal rangka bangunan yang didesain terjadi saat roda pertama beban *crane* berada pada As 5. Akibat kombinasi pembebanan vertikal, transversal dan longitudinal *crane*, serta tambahan beban mati, dan beban hidup atap, *stress ratio* yang terjadi pada kolom WF.600X200X11/17 adalah $0,97 < 1$, OK!



Gambar 5.34. Pembebanan *Crane* pada Portal 3d



Gambar 5.35. *Stress Ratio* Kolom yang Mendukung Beban *Crane* Kondisi Model 3d

DESAIN STRUKTUR BANGUNAN INDUSTRI



A. KOMBINASI PEMBEBANAN YANG DIGUNAKAN

Oleh karena bangunan industri yang didesain juga memiliki *crane*, maka beban-beban akibat berat sendiri *crane*, kapasitas angkat *crane*, dan beban-beban terkait akan dimasukkan ke kombinasi pembebanan sesuai SNI 1727-2020. Berat sendiri *crane* (termasuk dengan *hoist*) didefinisikan sebagai C_{ds} . Kapasitas angkat *crane* termasuk sebagai beban hidup dan didefinisikan sebagai C_{vs} . Gaya lateral *crane* didefinisikan sebagai C_{ss} . Sementara gaya longitudinal *crane* didefinisikan sebagai C_{ls} . Dengan $S_{ds} = 0,614488$ dan faktor redundansi = 1, maka kombinasi beban yang digunakan adalah sebagai berikut:

Tabel 6.1.
Kombinasi Pembebanan yang Digunakan

Nomor	DL	SIDL	C_{ds}	C_{vs}	C_{ss}	C_{ls}	LL	L_r	R	$W_{x(+)}$	$W_{x(-)}$	$W_{y(+)}$	$W_{y(-)}$	E_x	E_y
1	1,1	1,4	1,4	1,4											
2	2,1	1,2	1,2	1,2	1,6	1,6	1,6	1,6	0,5						
	2,2	1,2	1,2	1,2	1,6	1,6	1,6	1,6		0,5					
3	3,1	1,2	1,2	1,2	1	1	1	1	1,6						
	3,2-1	1,2	1,2	1,2	1	1	1		1,6		0,5				
	3,2-2	1,2	1,2	1,2	1	1	1		1,6			0,5			
	3,3-1	1,2	1,2	1,2	1	1	1		1,6				0,5		
	3,3-2	1,2	1,2	1,2	1	1	1		1,6					0,5	
	3,4-1	1,2	1,2	1,2	1	1	1		1,6		0,38		0,38		
	3,4-2	1,2	1,2	1,2	1	1	1		1,6			0,38		0,38	
	3,5	1,2	1,2	1,2	1	1	1	1		1,6					
	3,6-1	1,2	1,2	1,2	1	1	1			1,6	0,5				
	3,6-2	1,2	1,2	1,2	1	1	1			1,6		0,5			
	3,7-1	1,2	1,2	1,2	1	1	1			1,6			0,5		
	3,7-2	1,2	1,2	1,2	1	1	1			1,6				0,5	
3,8-1	1,2	1,2	1,2	1	1	1			1,6	0,38		0,38			
3,8-2	1,2	1,2	1,2	1	1	1			1,6		0,38		0,38		
4	4,1-1	1,2	1,2	1,2	1	1	1	1	0,5		1				
	4,1-2	1,2	1,2	1,2	1	1	1	1	0,5			1			
	4,2-2	1,2	1,2	1,2	1	1	1	1	0,5				1		
	4,2-3	1,2	1,2	1,2	1	1	1	1	0,5					1	
	4,5-1	1,2	1,2	1,2	1	1	1	1	0,5		0,75		0,75		

Nomor	DL	SIDL	C _{ds}	C _{vs}	C _{ss}	C _{ls}	LL	L _r	R	W _{x(+)}	W _{x(-)}	W _{y(+)}	W _{y(-)}	E _x	E _y	
	4,5-2	1,2	1,2	1,2	1	1	1	1	0,5			0,75		0,75		
	4,3-1	1,2	1,2	1,2	1	1	1	1		0,5	1					
	4,3-2	1,2	1,2	1,2	1	1	1	1		0,5		1				
	4,4-1	1,2	1,2	1,2	1	1	1	1		0,5			1			
	4,4-1	1,2	1,2	1,2	1	1	1	1		0,5				1		
	4,6-1	1,2	1,2	1,2	1	1	1	1		0,5	0,75		0,75			
	4,6-2	1,2	1,2	1,2	1	1	1	1		0,5		0,75		0,75		
5	5,1-1	0,9	0,9							1						
	5,1-2										1					
	5,2-1	0,9	0,9									1				
	5,2-2												1			
	5,3-1	0,9	0,9							0,75		0,75				
	5,3-2										0,75		0,75			
6	6,1	1,32	1,32	1,32				1						1	0,3	
	6,2	1,32	1,32	1,32				1						1	-0,3	
	6,3	1,32	1,32	1,32				1						-1	0,3	
	6,4	1,32	1,32	1,32				1						-1	-0,3	
	6,5	1,32	1,32	1,32				1						0,3	1	
	6,6	1,32	1,32	1,32				1						-0,3	1	
	6,7	1,32	1,32	1,32				1						0,3	-1	
	6,8	1,32	1,32	1,32				1						-0,3	-1	
7	7,1	0,78	0,78	0,78										1	0,3	
	7,2	0,78	0,78	0,78										1	-0,3	
	7,3	0,78	0,78	0,78										-1	0,3	
	7,4	0,78	0,78	0,78										-1	-0,3	
	7,5	0,78	0,78	0,78										0,3	1	
	7,6	0,78	0,78	0,78										-0,3	1	
	7,7	0,78	0,78	0,78										0,3	-1	
	7,8	0,78	0,78	0,78										-0,3	-1	

Di mana:

Keterangan:

DL = Beban mati

SIDL = Beban mati tambahan

LL = Beban hidup

L_r = Beban hidup atap

R = Beban hujan

W_{X(+)} = Beban angin arah x dengan G_{cpi(+)}

W_{X(-)} = Beban angin arah x dengan G_{cpi(-)}

W_{y(+)} = Beban angin arah y dengan G_{cpi(+)}

W_{y(-)} = Beban angin arah y dengan G_{cpi(-)}

E_x = Beban gempa arah x

E_y = Beban gempa arah y

C_{ds} = Beban mati akibat bridge crane dan trolley + hoist

C_{vs} = Beban angkat crane

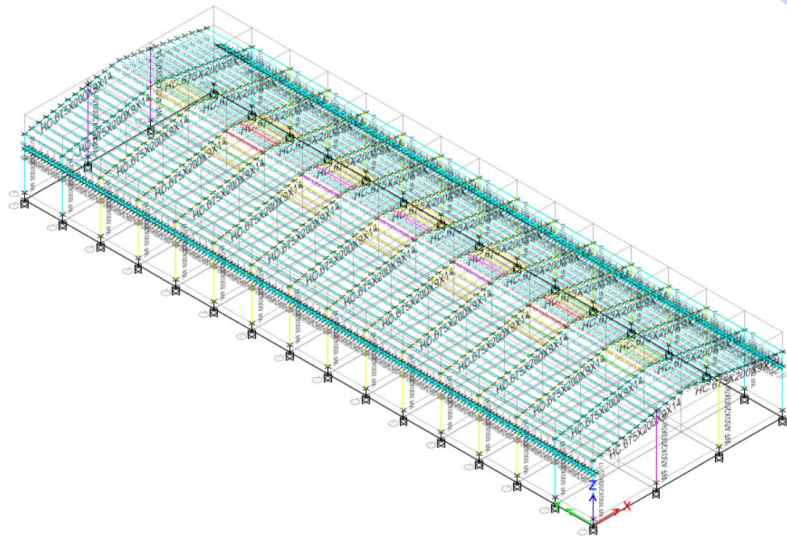
C_{ss} = Beban lateral akibat beban crane

C_{ss} = Beban longitudinal akibat beban crane

B. STRESS RATIO STRUKTUR

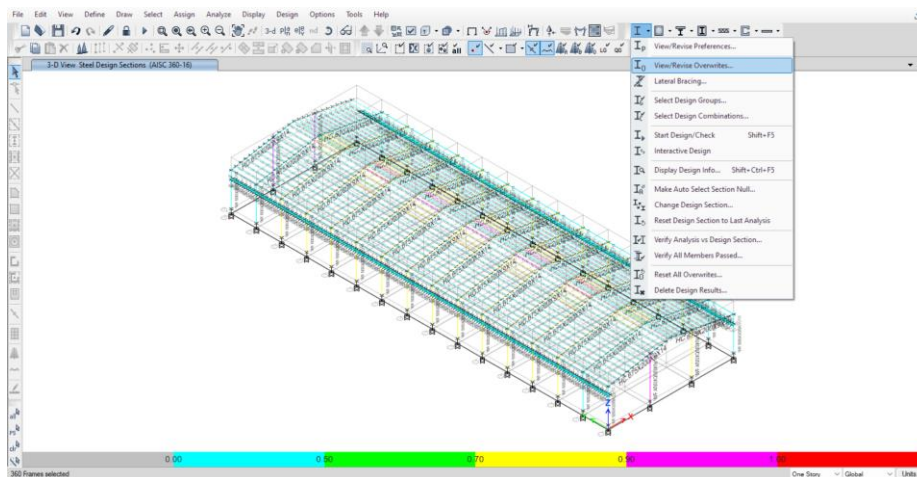
1. Desain Elemen Struktur *Rafter*, Kolom dan Purlin

Struktur perlu didesain aman terhadap beban terkombinasi yang telah diaplikasikan. Di awal, elemen struktur yang akan didesain adalah elemen *rafter*, purlin, dan kolom. Elemen *X-bracing* tidak didesain secara linear karena hanya dapat menahan tarik (*tension-only brace*). Analisis untuk desain *X-bracing* akan dilakukan di tahap selanjutnya. Berdasarkan hasil analisis didapatkan bahwa *stress ratio* struktur adalah sebagai berikut:

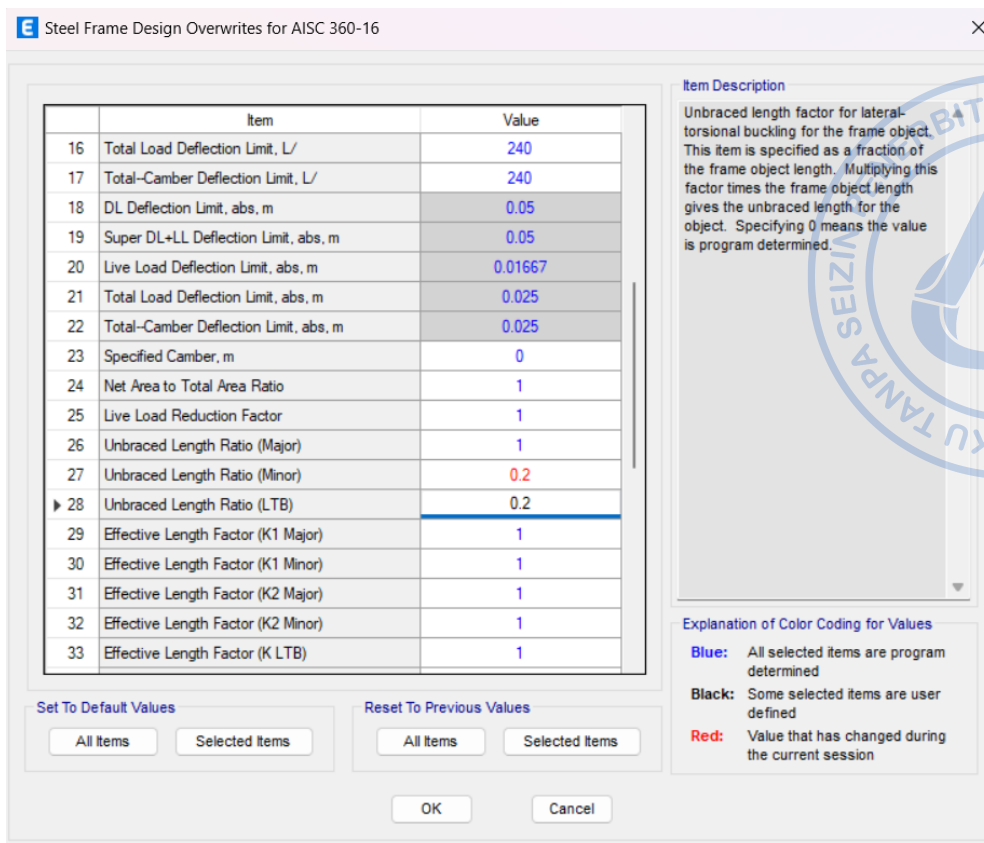


Gambar 6.1. *Stress Ratio* Purlin > 1, NOT OK!

Didapatkan bahwa beberapa elemen purlin dan *rafter* masih memiliki *stress ratio* > 1. Untuk elemen purlin, *stress ratio* yang masih di atas 1 terjadi karena panjang tak terbreising yang masih belum diatur. Setiap elemen purlin akan dipasang *sag rod* dengan jarak 1,2 m sehingga lebar tak terbreising dari elemen purlin tidaklah 6 m tapi menjadi 1,2 m (1/5 dari bentang asli). Untuk mengatur panjang tak terbreising dari purlin dapat dilakukan dengan cara *Select* semua elemen purlin → Klik *Steel Frame Design* di ribbon bagian atas → *View/Revise Overwrites* → Atur parameter *Unbraced Length Ratio (Minor)* dan *Unbraced Length Ratio (LTB)* menjadi 0,2 (1/5 dari bentang asli) → OK.

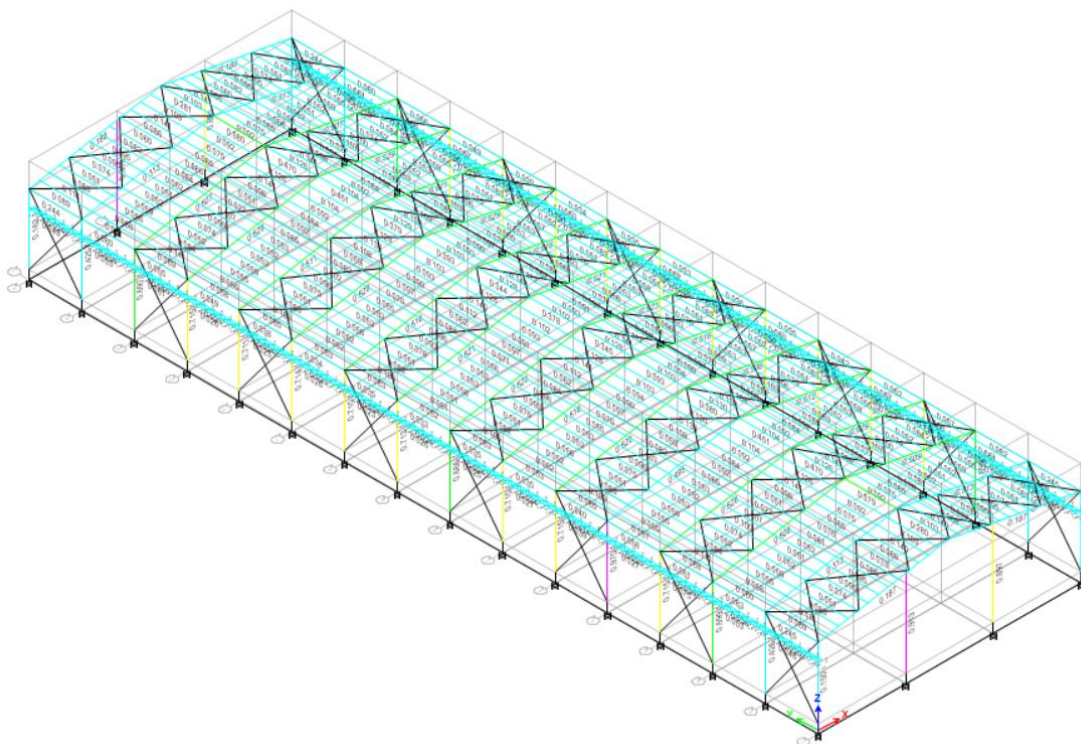


Gambar 6.2. *Steel Frame Design* → *View/Revise Overwrites*



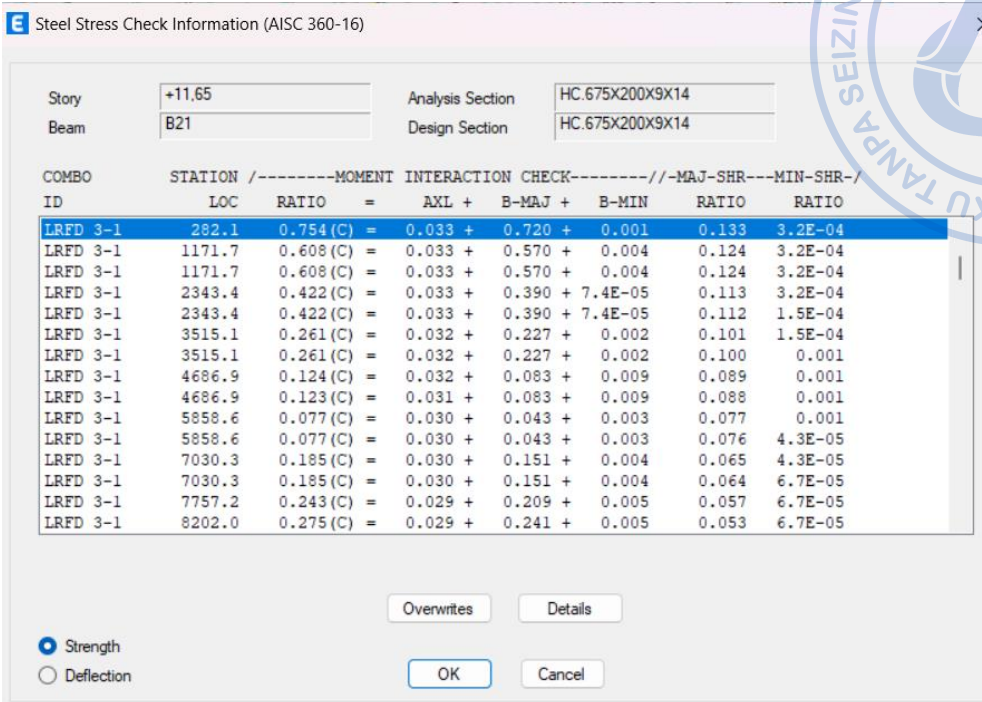
Gambar 6.3. Atur LTB Sesuai Panjang Bentang Tak Terbreising

Pasca panjang tak terbreising dari purlin CNP.150X50X20X2,3 diatur, lakukan desain elemen struktur kembali. Hasil desain elemen struktur menunjukkan bahwa setelah panjang tak terbreising dari purlin diatur, *stress ratio* purlin menjadi < 1 , OK!



Gambar 6.4. *Stress Ratio* Elemen Portal Utama < 1 , OK

Bagian tumpuan dari *rafter* seringkali memiliki momen negatif yang lebih besar dibandingkan dengan posisi lain. Seringkali *rafter* mengalami kegagalan pada bagian tersebut. Di lapangan, *rafter* dipasang dengan tambahan *eaves haunch* dan *apex haunch*. Pemodelan *haunch* dapat meningkatkan modulus penampang plastis (Z_x) dan dapat meningkatkan kapasitas momen mayor dari *rafter*.



Steel Stress Check Information (AISC 360-16)

Story: +11.65 Analysis Section: HC.675X200X9X14
 Beam: B21 Design Section: HC.675X200X9X14

COMBO ID	STATION / LOC	MOMENT RATIO	INTERACTION CHECK	MAJ-SHR	MIN-SHR
LRFD 3-1	282.1	0.754 (C)	= 0.033 + 0.720 + 0.001	0.133	3.2E-04
LRFD 3-1	1171.7	0.608 (C)	= 0.033 + 0.570 + 0.004	0.124	3.2E-04
LRFD 3-1	1171.7	0.608 (C)	= 0.033 + 0.570 + 0.004	0.124	3.2E-04
LRFD 3-1	2343.4	0.422 (C)	= 0.033 + 0.390 + 7.4E-05	0.113	3.2E-04
LRFD 3-1	2343.4	0.422 (C)	= 0.033 + 0.390 + 7.4E-05	0.112	1.5E-04
LRFD 3-1	3515.1	0.261 (C)	= 0.032 + 0.227 + 0.002	0.101	1.5E-04
LRFD 3-1	3515.1	0.261 (C)	= 0.032 + 0.227 + 0.002	0.100	0.001
LRFD 3-1	4686.9	0.124 (C)	= 0.032 + 0.083 + 0.009	0.089	0.001
LRFD 3-1	4686.9	0.123 (C)	= 0.031 + 0.083 + 0.009	0.088	0.001
LRFD 3-1	5858.6	0.077 (C)	= 0.030 + 0.043 + 0.003	0.077	0.001
LRFD 3-1	5858.6	0.077 (C)	= 0.030 + 0.043 + 0.003	0.076	4.3E-05
LRFD 3-1	7030.3	0.185 (C)	= 0.030 + 0.151 + 0.004	0.065	4.3E-05
LRFD 3-1	7030.3	0.185 (C)	= 0.030 + 0.151 + 0.004	0.064	6.7E-05
LRFD 3-1	7757.2	0.243 (C)	= 0.029 + 0.209 + 0.005	0.057	6.7E-05
LRFD 3-1	8202.0	0.275 (C)	= 0.029 + 0.241 + 0.005	0.053	6.7E-05

Strength (selected) Deflection

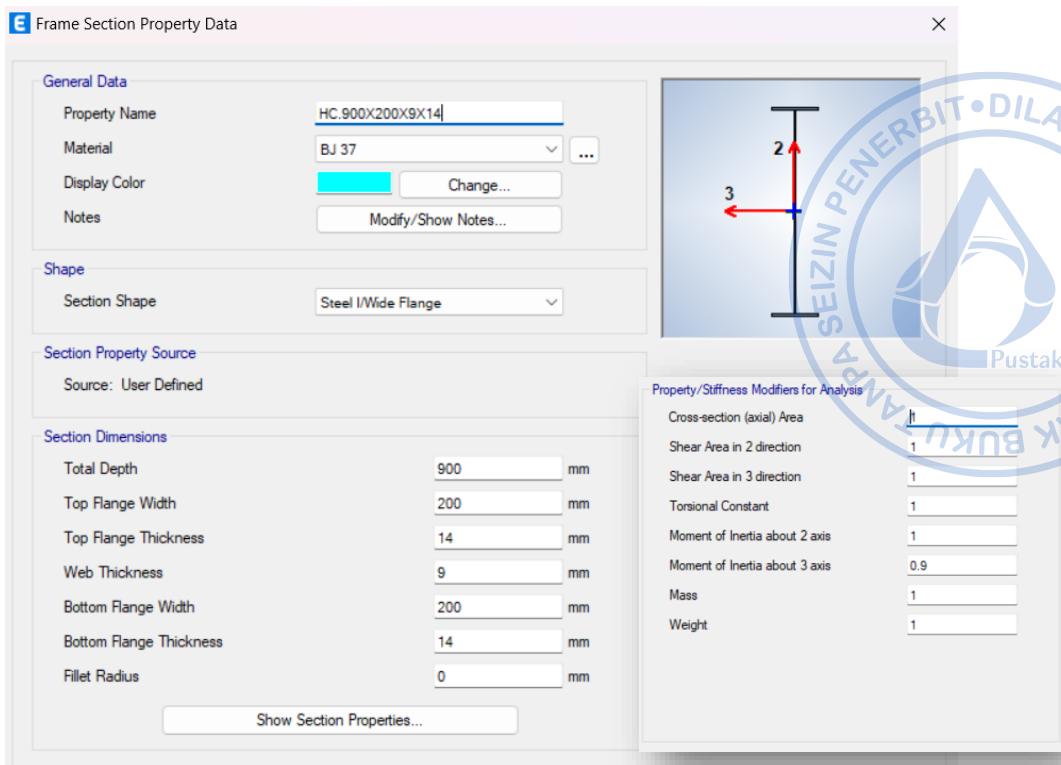
Overwrites Details OK Cancel

Gambar 6.5. Stress Ratio di Tumpuan Sebelum Pemodelan Haunch = 0,754

Elemen *haunch* di pangkal *rafter* dapat dilakukan dengan opsi pemodelan *Nonprismatic Section* saat penentuan penampang profil. Elemen *haunch* ditentukan sebagai berikut:

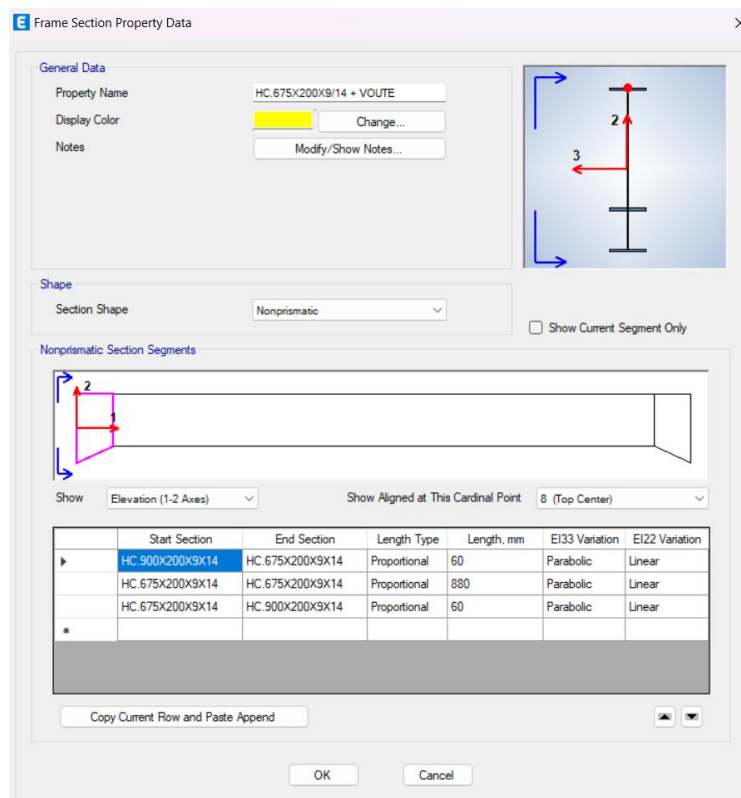
- Tinggi haunch = 1,5XWF.450X200X9/14 (Profil original dari HC)
- = 1,5X450
- = 225 mm
- Tinggi total haunch = 675 + 225
- = 900 mm
- Panjang haunch = 2XWF.450X200X9/14
- = 900 mm
- Panjang total *rafter* = 15232 mm
- Panjang haunch = 0,06 ~ 6% dari panjang total *rafter*
- Panjang bersih *rafter* = 100% - 2*6% dari panjang total *rafter*
- = 848% dari panjang total *rafter* HC.675X200X9/14

Maka akan dipasang *haunch* dengan panjang 900 mm dan tinggi 900 mm di pangkal pertemuan *rafter* dengan kolom dan *rafter* dengan *rafter*. Hal yang terlebih dahulu perlu dilakukan adalah mendefinisikan penampang modifikasi untuk *haunch* pada *rafter* yaitu profil HC.900X200X9/14. Properti penampang HC.900X200X9/14 terlampir sebagaimana gambar di bawah.



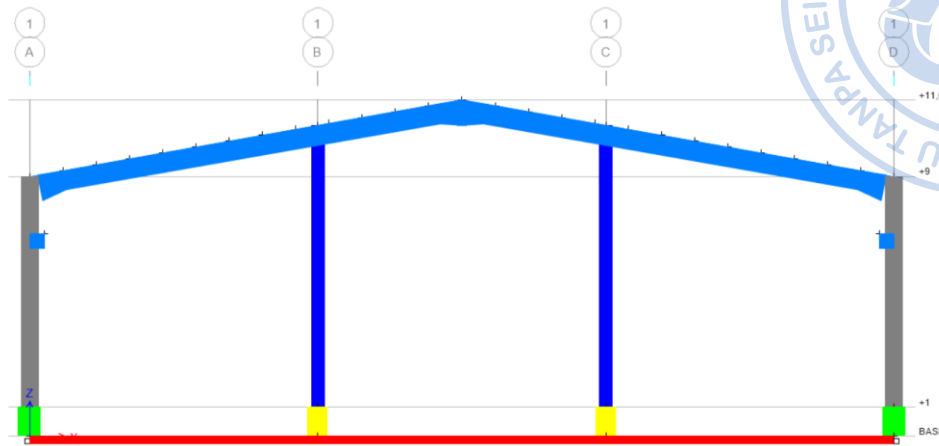
Gambar 6.6. Profil Haunch HC.900X200X9/14

Setelah properti *haunch* dapat didefinisikan, lakukan pemodelan penampang nonprismatis guna menggabungkan *haunch* dan *rafter* biasa. Modelkan penampang nonprismatis dengan cara klik *Add New Property* → *Nonprismatic Section* → Atur penampang nonprismatis *rafter* + *voute* sebagaimana gambar di bawah → OK.



Gambar 6.7. Penampang HC.675X200X9/14 + *Voute* Di Pangkal *Rafter*

Gantikan semua penampang *rafter* HC.675X200X9/14 dengan properti *rafter* HC.675X200X9/14 yang telah dimodifikasi dengan tambahan haunch. Hal tersebut dapat dilakukan dengan cara Select elemen *rafter* WF.450X200X9/14 → Assign → Section Property → WF.450X200X9/14 + *Voute*. Maka penampang *rafter* dengan tambahan *haunch* di tumpuan dan di bagian tengah sudah berhasil dimodelkan.



Gambar 6.8. Model Portal dengan WF.450X200X9/14 + *Voute*

Setelah *haunch* tersebut berhasil dimodelkan, lakukan desain ulang terhadap *rafter* yang baru saja di-assign. Berdasarkan hasil terjadi peningkatan kapasitas momen plastis pada *rafter*, dan *stress ratio* berkurang menjadi 0,625.

Steel Stress Check Information (AISC 360-16)

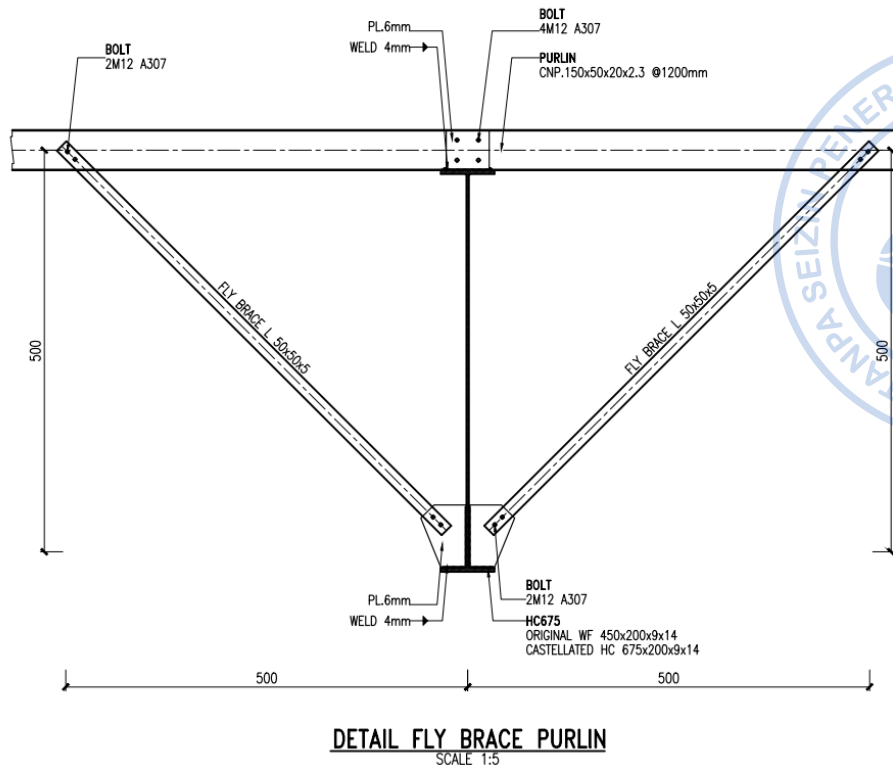
Story: +11.65, Beam: B21, Analysis Section: HC.675X200X9/14 + VOUTE, Design Section: HC.675X200X9/14 + VOUTE

COMBO ID	STATION LOC	MOMENT RATIO	INTERACTION CHECK =	AXL +	B-MAJ +	B-MIN	MAJ-SHR RATIO	MIN-SHR RATIO
LRFD 3-1	282.1	0.525 (C)	=	0.032 +	0.492 +	0.001	0.131	2.9E-04
LRFD 3-1	1171.7	0.625 (C)	=	0.034 +	0.588 +	0.004	0.123	2.9E-04
LRFD 3-1	2343.4	0.444 (C)	=	0.033 +	0.410 +	3.0E-04	0.112	3.2E-04
LRFD 3-1	2343.4	0.444 (C)	=	0.033 +	0.410 +	3.0E-04	0.111	2.1E-04
LRFD 3-1	3515.1	0.284 (C)	=	0.033 +	0.249 +	0.003	0.100	2.1E-04
LRFD 3-1	3515.1	0.284 (C)	=	0.033 +	0.249 +	0.003	0.099	0.001
LRFD 3-1	4686.9	0.147 (C)	=	0.032 +	0.106 +	0.009	0.088	0.001
LRFD 3-1	4686.9	0.146 (C)	=	0.031 +	0.106 +	0.009	0.087	0.001
LRFD 3-1	5858.6	0.053 (C)	=	0.031 +	0.019 +	0.003	0.076	0.001
LRFD 3-1	5858.6	0.053 (C)	=	0.031 +	0.019 +	0.003	0.075	7.7E-06
LRFD 3-1	7030.3	0.160 (C)	=	0.031 +	0.126 +	0.003	0.064	7.7E-06
LRFD 3-1	7030.3	0.159 (C)	=	0.031 +	0.126 +	0.003	0.064	6.7E-05
LRFD 3-1	7757.2	0.217 (C)	=	0.030 +	0.183 +	0.004	0.056	6.7E-05
LRFD 3-1	8202.0	0.248 (C)	=	0.030 +	0.214 +	0.004	0.052	6.7E-05

Buttons: Overwrites, Details, Strength (selected), Deflection, OK, Cancel

Gambar 6.9. *Stress Ratio Rafter* HC.675X200X9/14 Menjadi Lebih Kecil = 0,625

Pada proyek ini, purlin dimodelkan sebagai tambatan lateral untuk *rafter*. Dengan profil HC.675X200X9/14 yang cukup tinggi, maka dibutuhkan tambahan *fly brace* dari profil siku L.50X50X5. Detail purlin sebagai tambatan lateral bagi HC.675X200X9/14 dapat dilihat sebagaimana gambar berikut.

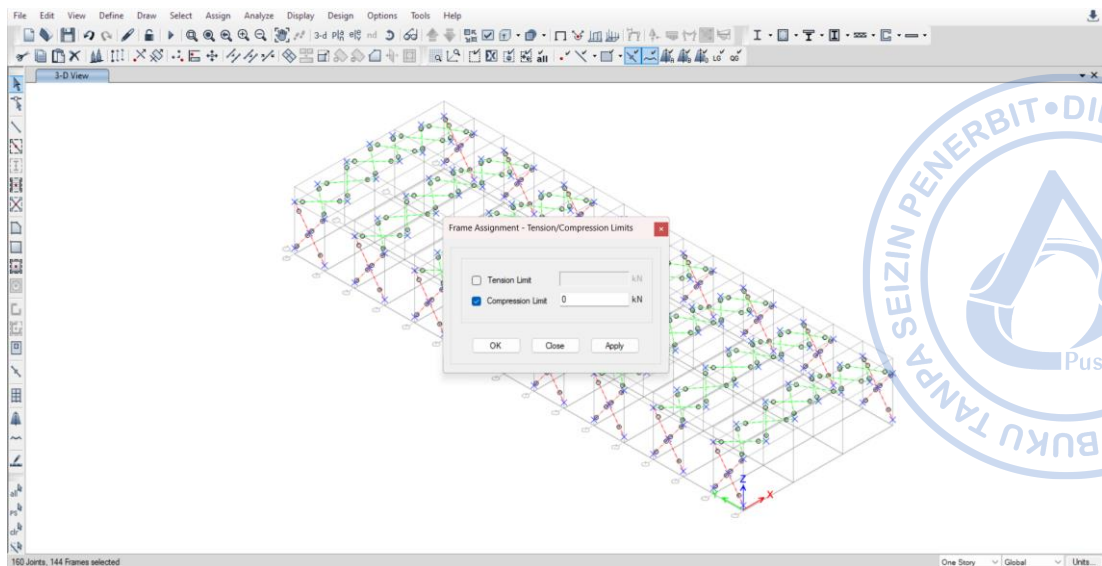


Gambar 6.10. Detail *Fly Brace*

2. Desain Elemen Struktur *X-bracing*

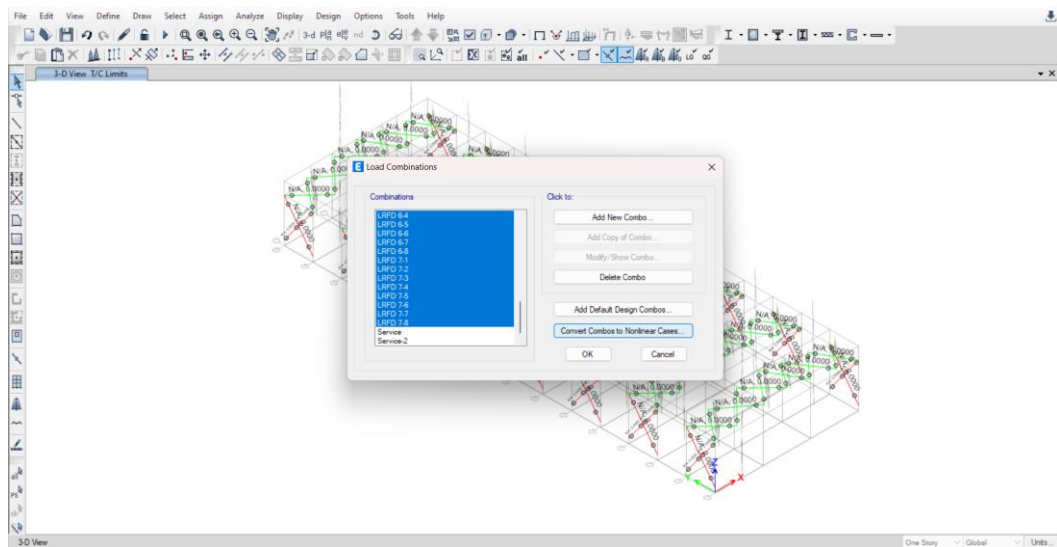
X-bracing yang didesain hanya untuk menahan gaya tarik memiliki kapasitas aksial tekan yang sangat kecil sehingga didesain hanya untuk menahan gaya aksial tarik. Desain untuk *X-bracing* yang didesain untuk menahan gaya aksial tarik saja, perlu dilakukan secara nonlinear. Untuk memudahkan proses analisis, pemodelan dan desain *X-bracing* melalui model terpisah dari analisis dan desain elemen struktur lain sangat direkomendasikan. Pada kasus ini, model ETABS disimpan ulang terlebih dahulu.

Sebelum melakukan analisis dan desain, hal yang perlu lebih dulu dilakukan adalah meniadakan kapasitas tekan dari *X-bracing* yang dimodelkan. Hal tersebut dapat dilakukan dengan cara select semua *X-bracing* 2L.70X70X7 dan Rod 25 yang ada pada arah longitudinal bangunan dan pada atap → *Assign* → *Frame Tension/Compression Limits* → Set kapasitas aksial tekan = 0 kN → OK.



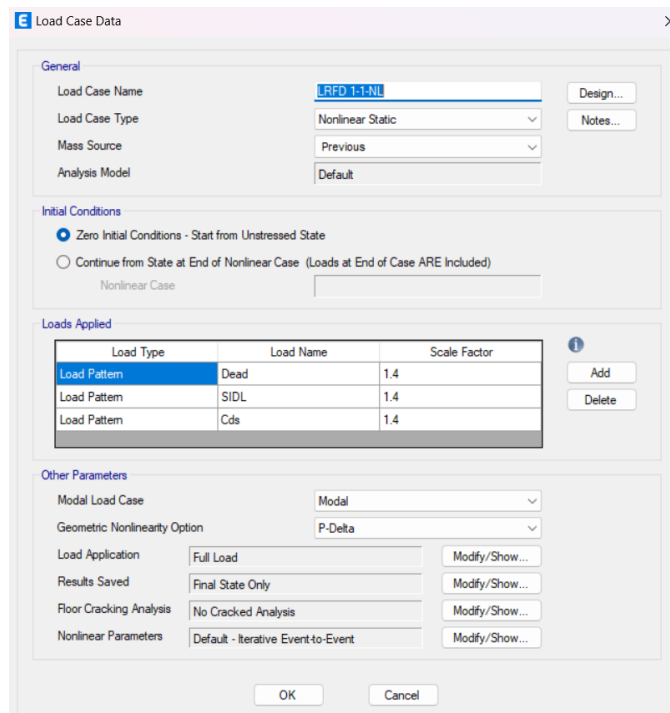
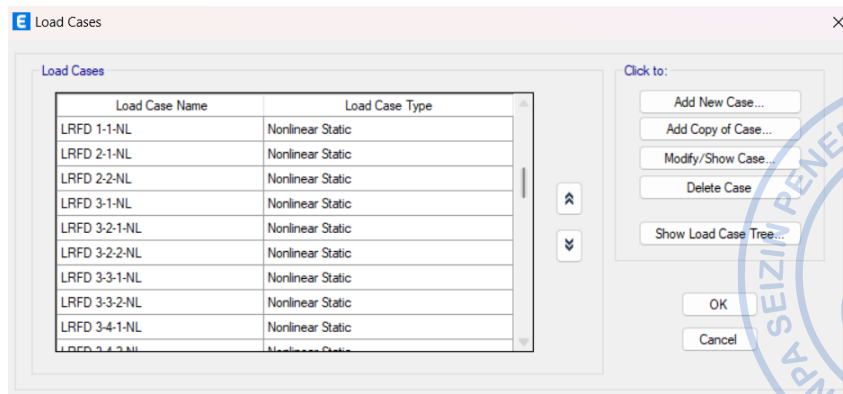
Gambar 6.11. Pengaturan *Compression Limit* pada *X-bracing*

Setelah kapasitas tekan dari *X-bracing* diabaikan, maka kombinasi pembebanan linear yang sudah didefinisikan sebelumnya perlu dikonversikan menjadi *nonlinear case*. Hal tersebut dapat dilakukan dengan cara *Define* → *Load Combination* → Pilih kombinasi LRFD yang akan dikonversikan menjadi *Nonlinear Case* → OK!

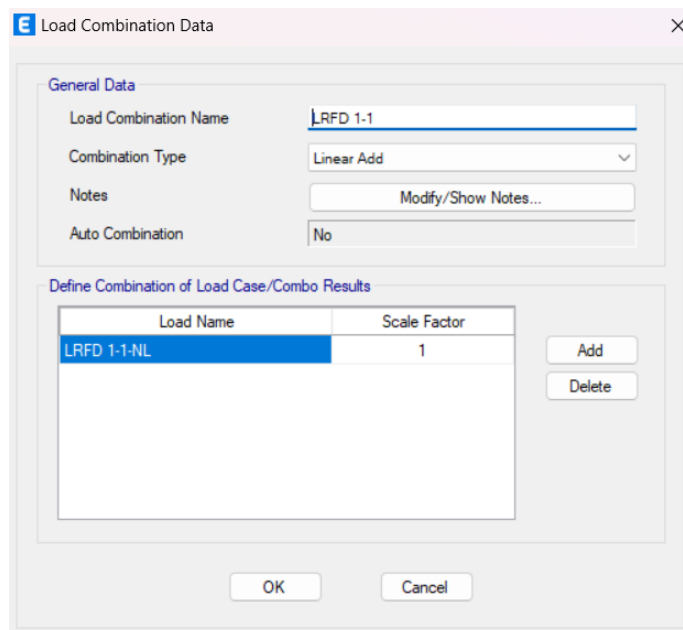


Gambar 6.12. *Convert Combinations to Nonlinear Cases*

Semua kombinasi yang dikonversi menjadi *nonlinear cases* dapat dicek pada *Define* → *Load Cases*. Kombinasi beban akan terkonversi menjadi *Nonlinear Static Case* dengan faktor kombinasi LRFD yang sama dengan apa yang didefinisikan pada analisis *nonlinear*. Selain itu semua kombinasi yang sudah dikonversi, secara default akan langsung dikonversi menjadi kombinasi beban dengan *Load Case Nonlinear* sebagaimana hasil konversi dari kombinasi beban sebelumnya.

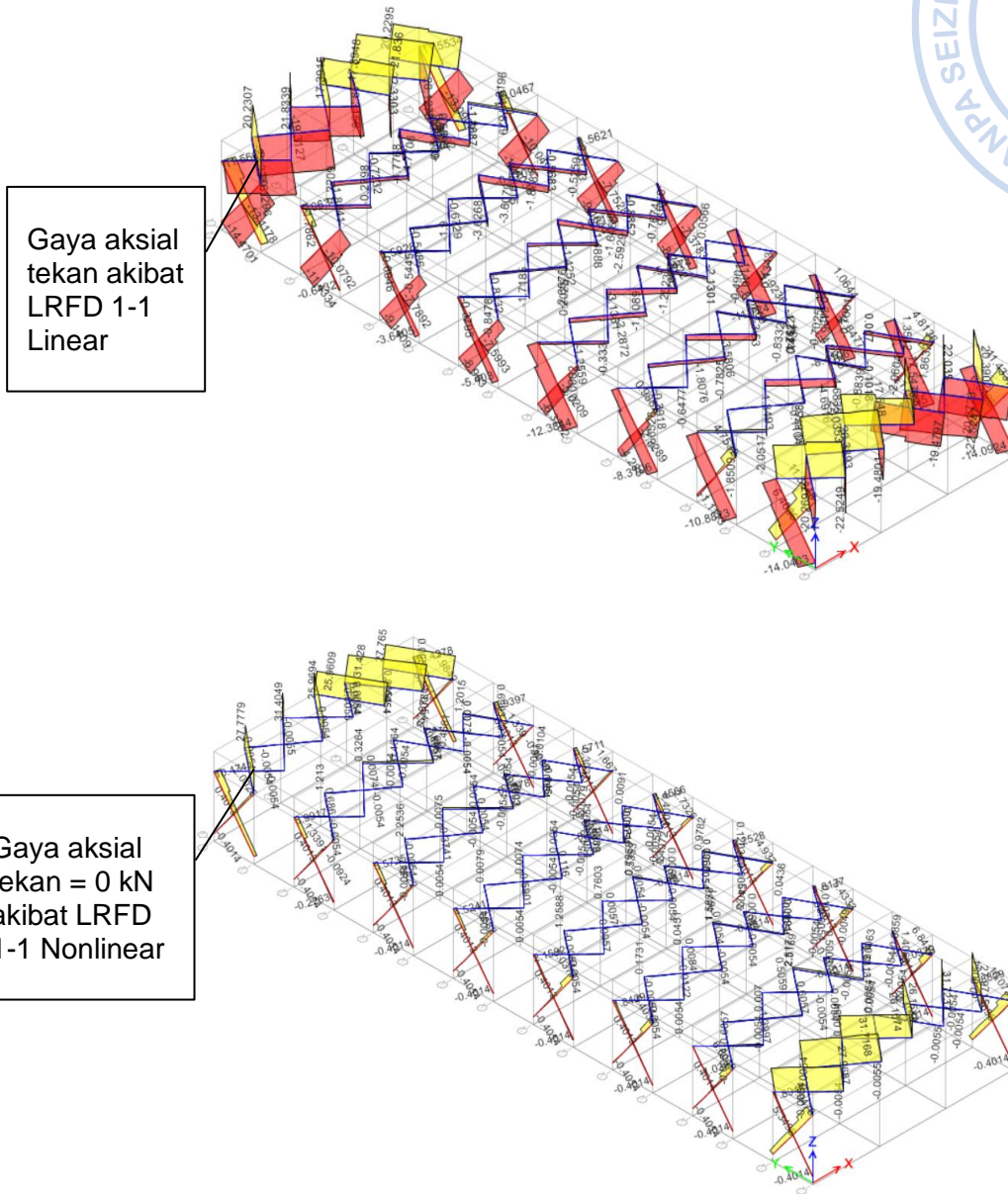
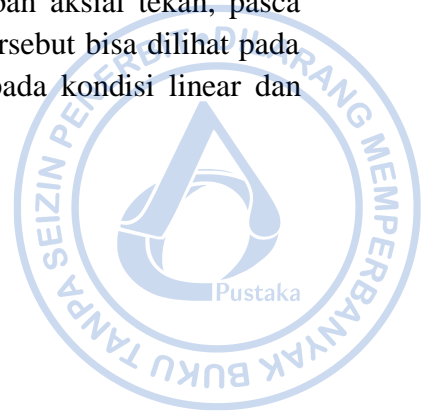


Gambar 6.13. Kombinasi yang Telah Dikonversi Menjadi *Nonlinear Static Case*



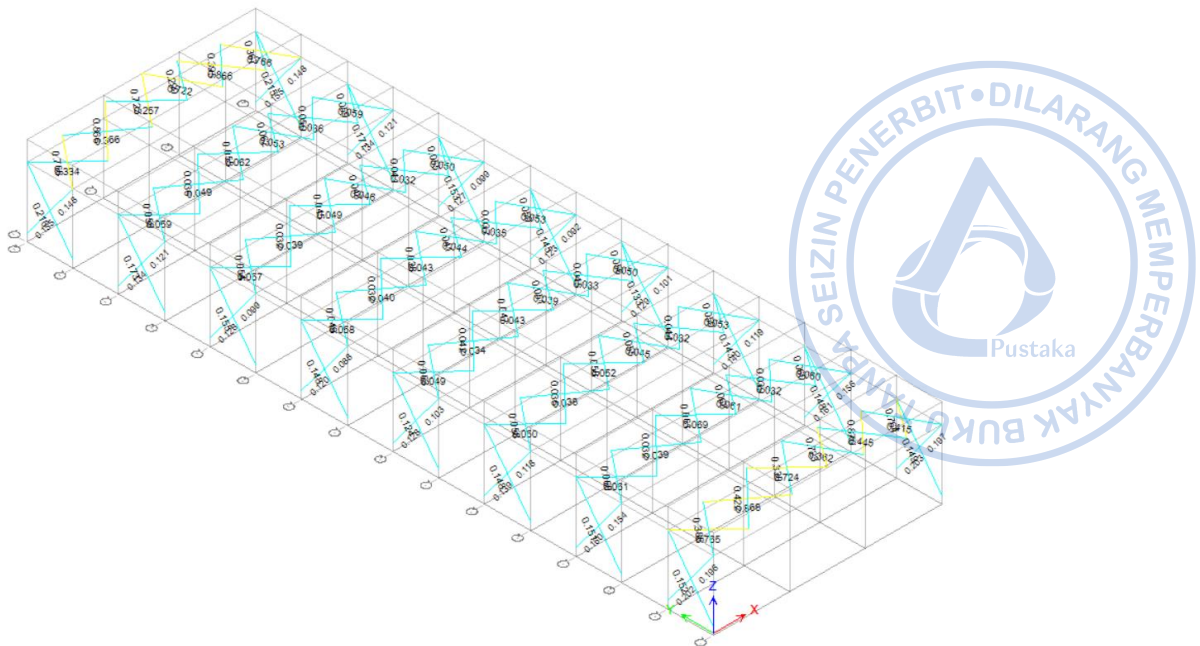
Gambar 6.14. Kombinasi Beban dengan *Nonlinear Load Case*

Analisis nonlinear akan memakan waktu sedikit lebih lama dibanding analisis linear. Elemen *X-bracing* yang sebelumnya ikut mengalami beban aksial tekan, pasca analisis nonlinear akan mengalami beban aksial tarik saja. Hal tersebut bisa dilihat pada gambar di bawah yang menggambarkan perbedaan *X-bracing* pada kondisi linear dan nonlinear.



Gambar 6.15. Perbandingan Gaya Aksial pada *X-bracing*

Berdasarkan hasil analisis dan desain struktur didapatkan bahwa stress ratio pada *X-bracing* 2L.70X70X7 dan Rod 25 mm < 1, OK!



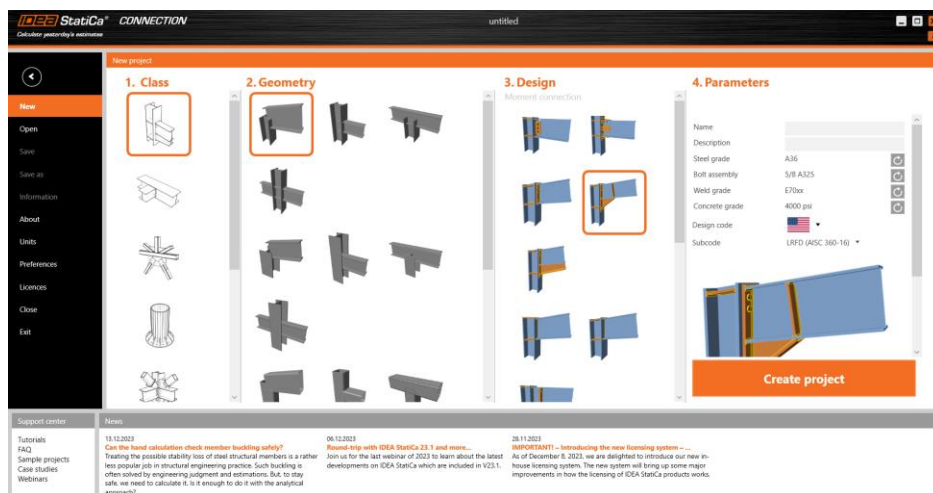
Gambar 6.16. Stress Ratio X-bracing < 1, OK!

C. DESAIN SAMBUNGAN

Subbab ini menjelaskan beberapa tahapan dalam desain sambungan melalui *software* IdeaStatica. Terdapat tiga sambungan yang akan dijadikan contoh desain yaitu sambungan *rafter* dengan kolom, sambungan *rafter* dengan *rafter*, serta sambungan pelat dasar. Analisis dan desain sambungan mengacu pada SNI 1729-2020 yang merupakan adopsi identik dari AISC 360-16.

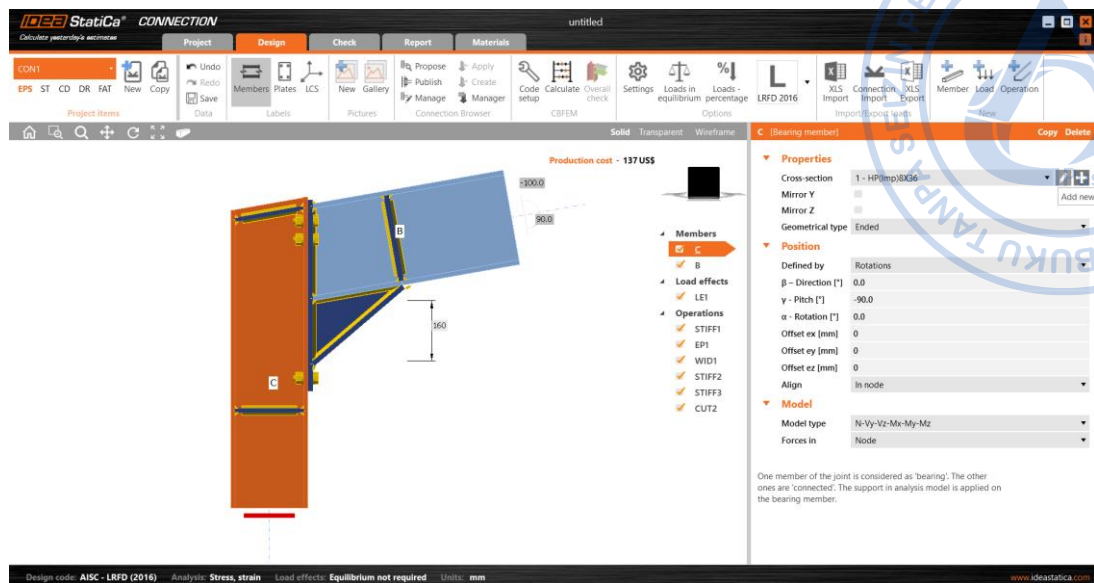
1. Desain Sambungan Rafter dengan Kolom

Sambungan antara *rafter* dengan kolom biasa disebut dengan *eaves haunch*. Sambungan tersebut akan didesain melalui IdeaStatica. Secara default sambungan antara *rafter* dengan kolom sudah tersedia di IdeaStatica namun perlu disesuaikan dengan dimensi profil, kebutuhan alat sambung dan alat bantu sambung. Pertama, buatlah sambungan antara *rafter* dan kolom sesuai dengan templat yang sudah disediakan IdeaStatica.

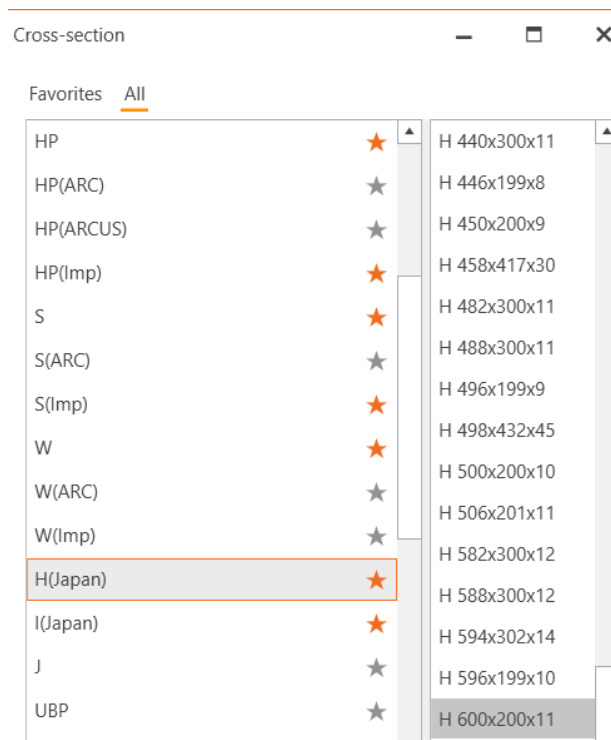


Gambar 6.17. Templat Sambungan Rafter dengan Kolom

Properti kolom perlu diganti menjadi WF.600X200X11/17. Hal tersebut dilakukan dengan cara klik elemen C di bawah opsi *Members* di bagian kanan → *Add New* → Pilih profil dari H (*Japan*) karena profil di Indonesia mengadopsi dari profil JIS → H600X200X11 ~ (WF.600X200X11/17) → OK!

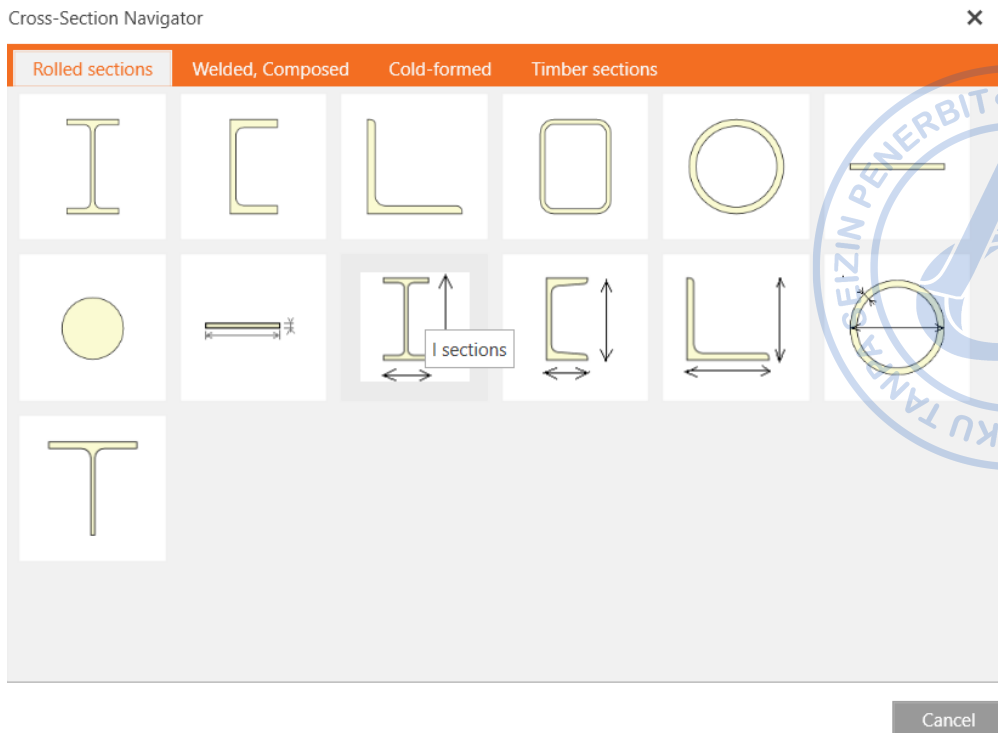


Gambar 6.18. Tambahkan Profil Baru untuk Mendefinisikan WF.600X200X11/17

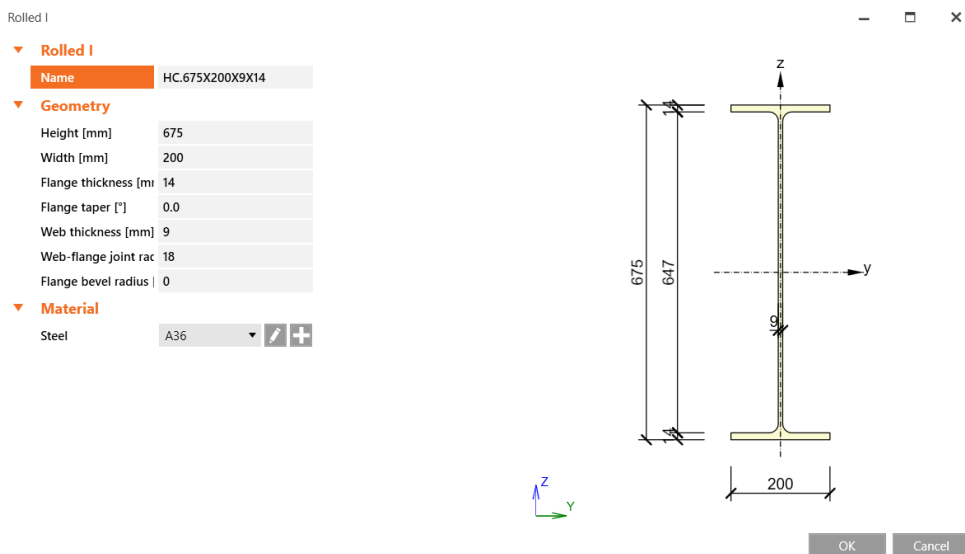


Gambar 6.19. Pilih H.600X200X11 → WF.600X200X11/17 untuk Sebagai Kolom pada yang Akan Terhubung dengan Rafter

Setelah properti kolom berhasil didefinisikan, lakukan hal yang sama terhadap *rafter*. Profil HC.675X200X9/14 perlu didefinisikan terlebih dahulu. Klik menu *Materials* pada *ribbon* bagian atas → Klik *Cross Section* untuk membuat penampang baru → Pilih *I Sections* sebagaimana pada gambar di bawah → Atur properti HC.675X200X9X14 sebagaimana gambar di bawah.



Gambar 6.20. Tambahkan Profil Baru



Gambar 6.21. Properti Penampang HC.675X200X9/14

Setelah properti *rafter* HC.675X200X9/14 berhasil didefinisikan, ganti profil *rafter* eksisting dengan profil yang baru saja dibuat.

B [Member] Set bearing Copy Delete

▼ Properties

Cross-section 4 - HC.675X200X9/14 (I675) ↕ +

Mirror Y

Mirror Z

Geometrical type Ended ▼

▼ Position

Defined by Rotations ▼

β - Direction [°] 0.0

γ - Pitch [°] 10.0

α - Rotation [°] 0.0

Offset ex [mm] 0

Offset ey [mm] 0

Offset ez [mm] 0

Align In node ▼

▼ Model

Model type N-Vy-Vz-Mx-My-Mz ▼

Forces in Node ▼



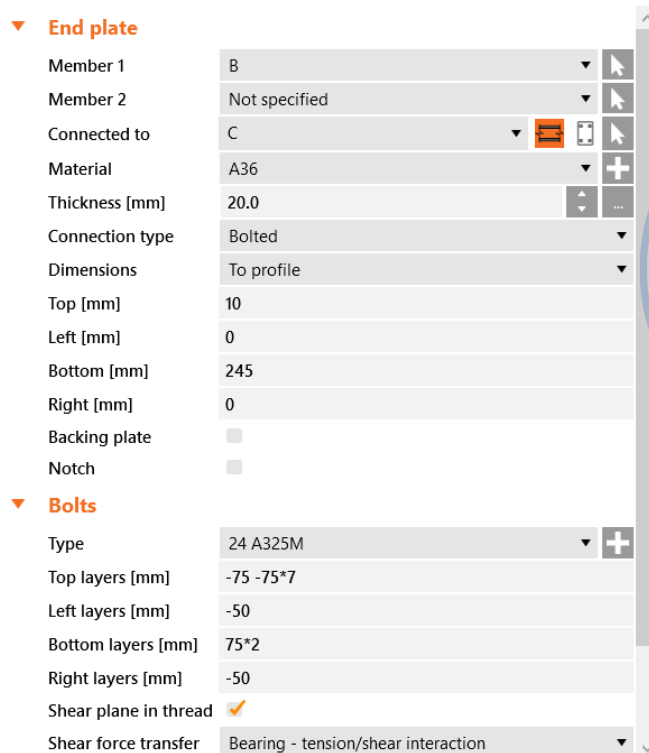
One member of the joint is considered as 'bearing'. The other ones are 'connected'. The support in analysis model is applied on the bearing member.

Gambar 6.22. Properti Penampang HC.675X200X9/14

Secara *default* bagian *cap plate* didesain sebagai *stiffener* dengan kode operasi STIFF1. Properti STIFF1 perlu disesuaikan. Atur properti STIFF1 sesuai dengan gambar di bawah.

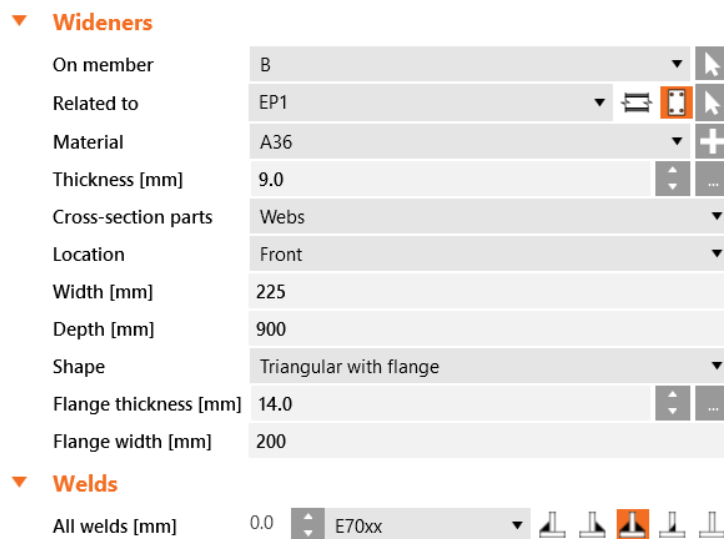
Gambar 6.23. Properti STIFF1

Utamanya, hubungan antara *rafter* HC.675X200X9/14 dan kolom WF.600X200X11/17 disambung dengan adanya *end plate*. Sambungan *end plate* juga didesain dengan tambahan *haunch* yang didefinisikan dengan operasi *Widener*. Properti *end plate* perlu dimodifikasi sedemikian rupa baik untuk ketebalan pelat, jumlah dan dimensi baut, serta ketebalan las. Jarak minimum antar baut ditetapkan sebesar 3d, sementara jarak tepi diatur dengan jarak 1,5*d. Properti EP1 dapat didefinisikan sebagaimana gambar di bawah.



Gambar 6.24. Properti EP1

Haunch dapat didefinisikan dengan operasi ‘*Widener.*’ *Haunch* menghubungkan antara *rafter* dengan *end plate*. Ketebalan badan dari *haunch* sama dengan tebal badan dari profil *rafter*, begitu juga dengan ketebalan sayap dari *haunch* yang didesain sama tebal dengan sayap profil *rafter*. Properti WID1 dapat didefinisikan sesuai gambar di bawah.



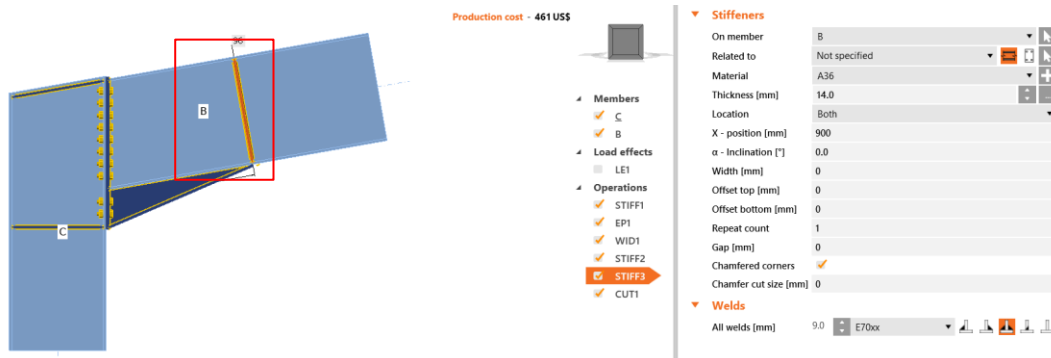
Gambar 6.25. Properti WD1

Selanjutnya, atur properti pelat pengaku yang memberikan perkuatan tambahan di sayap bawah *rafter*. Pelat pengaku didefinisikan sebagai STIFF2. Properti pelat pengaku STIFF2 dapat didefinisikan sebagaimana gambar di bawah.



Gambar 6.26. Properti STIFF2

Selanjutnya, atur properti pelat pengaku di bagian *rafter* yang dipasang di akhir haunch. Pelat pengaku tersebut didefinisikan sebagai STIFF3. Properti pelat pengaku STIFF3 dapat didefinisikan sebagaimana gambar di bawah.



Gambar 6.27. Properti STIFF3

Operasi *Cut Member* digunakan untuk memotong *member* kolom. Operasi *Cut Member* didefinisikan dengan kode CUT1. Properti CUT1 dapat dilihat pada gambar sebagaimana di bawah.

▼ **Cut of member**

Member	C
Cut by	B
Cutting method	Bounding box
Cutting plane	Farther
Direction	Parallel
Offset [mm]	20

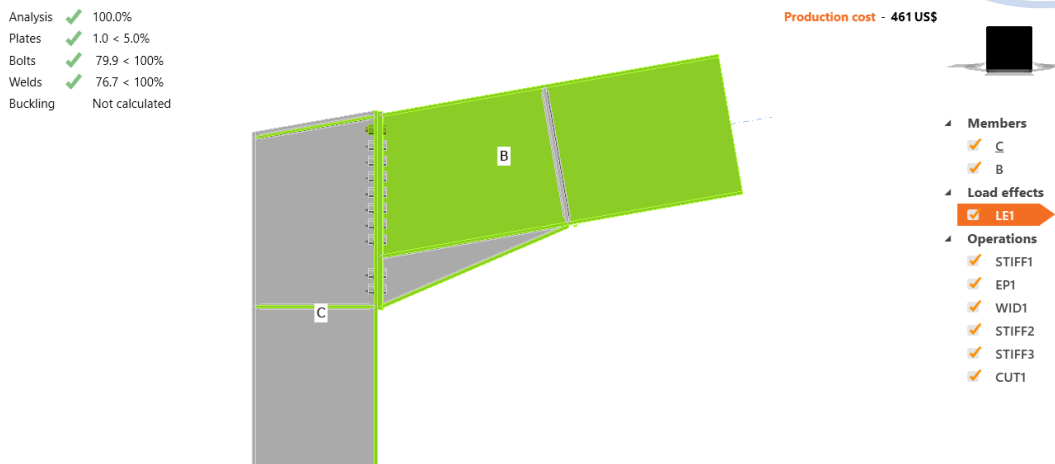
Gambar 6.28. Properti CUT1

Di akhir, beban perlu ditambahkan untuk menganalisis kekuatan dari sambungan *eaves haunch* yang telah didesain. Klik kanan pada *Load Effects* → *New Load* → Klik LE1 di bawah menu *Load Effects* → Atur beban sebagaimana gambar di bawah.

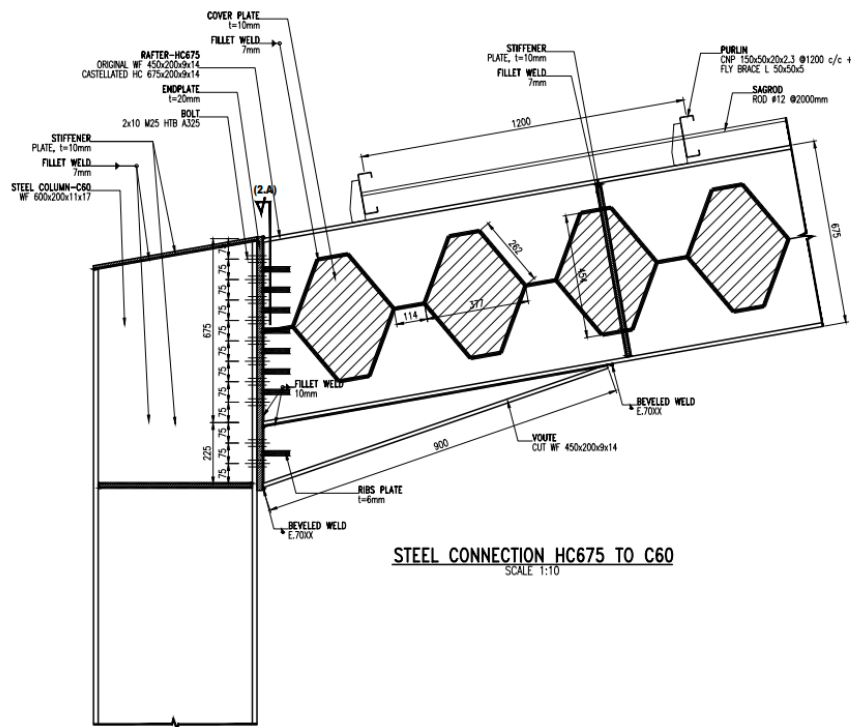
	Member	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
>	B / End	-123.1	-0.2	104.4	0.0	446.6	-0.1

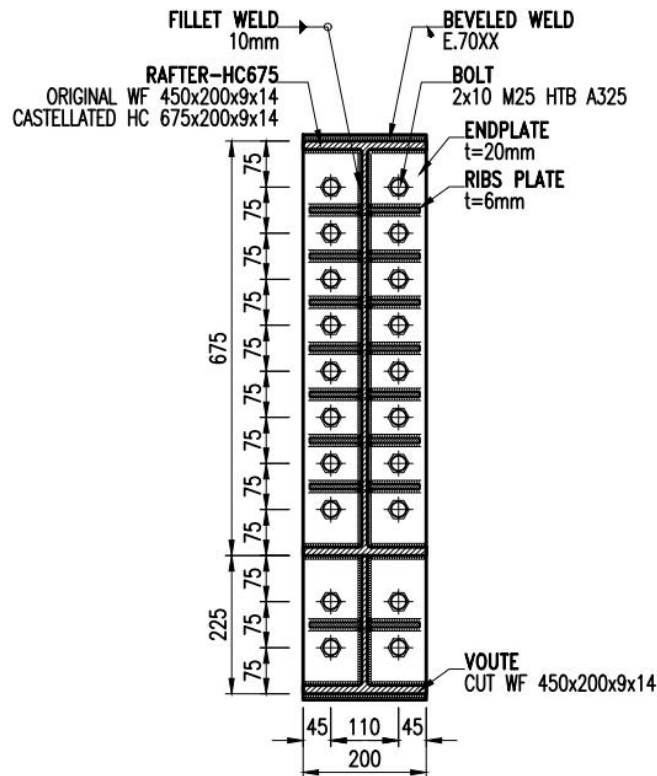
Gambar 6.29. Pengaturan Beban untuk Desain *Eaves haunch*

Desain dapat dilakukan dengan cara klik *Calculate* pada *ribbon* bagian atas. Seluruh elemen sambungan akan dicek baik elemen yang disambung, alat bantu sambung maupun alat penyambung. Hasil pengecekan menunjukkan bahwa sambungan yang didesain masih kuat untuk menahan beban struktur yang ada.



Gambar 6.30. Hasil Analisis Sambungan *Eaves Haunch*





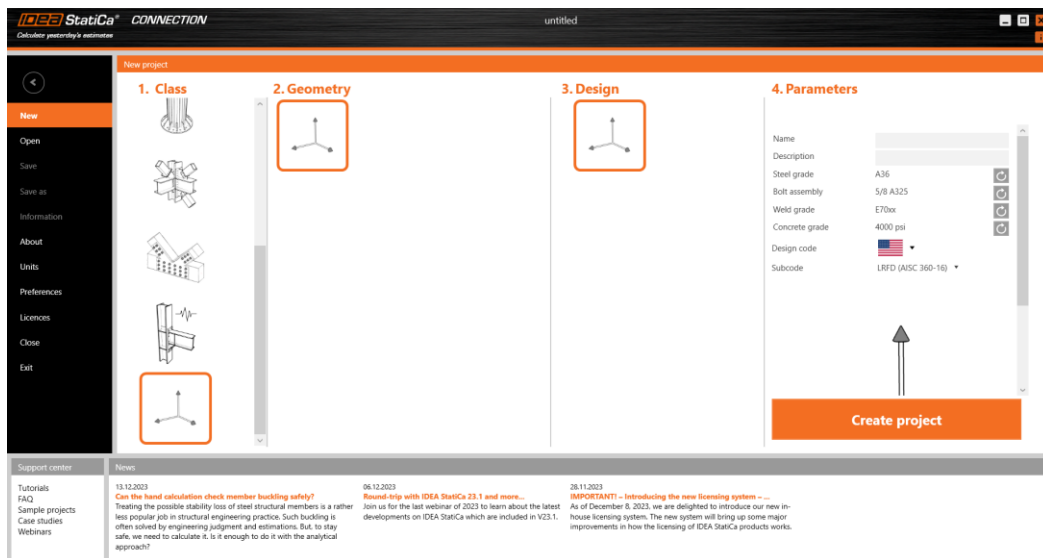
SECTION 2.A

SCALE 1:10

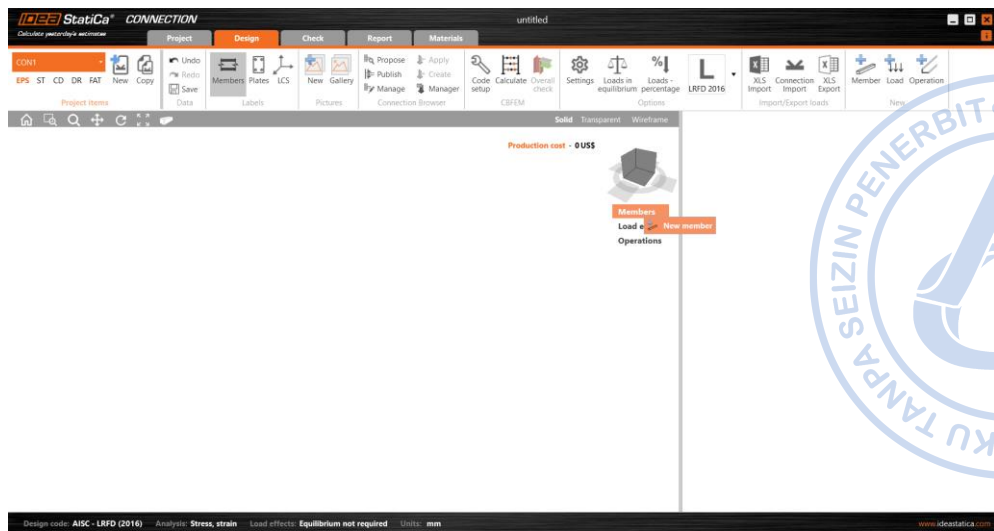
Gambar 6.31. Detail Sambungan *Eaves Haunch*

2. Desain Sambungan *Rafter dengan Rafter*

Hubungan antara *rafter* dengan *rafter* biasa disebut dengan *apex haunch*. Sambungan *apex haunch* akan didesain menggunakan IdeaStatica. Buat proyek sambungan baru dengan cara klik *New* → Pilih *Blank*. Setelah proyek baru berhasil dibuat profil baru dengan cara klik kanan pada opsi *Members* → *New Member*. *Member* yang baru dibuat tidak memiliki profil HC.675X200X9/14, maka profil tersebut perlu diatur terlebih dahulu.

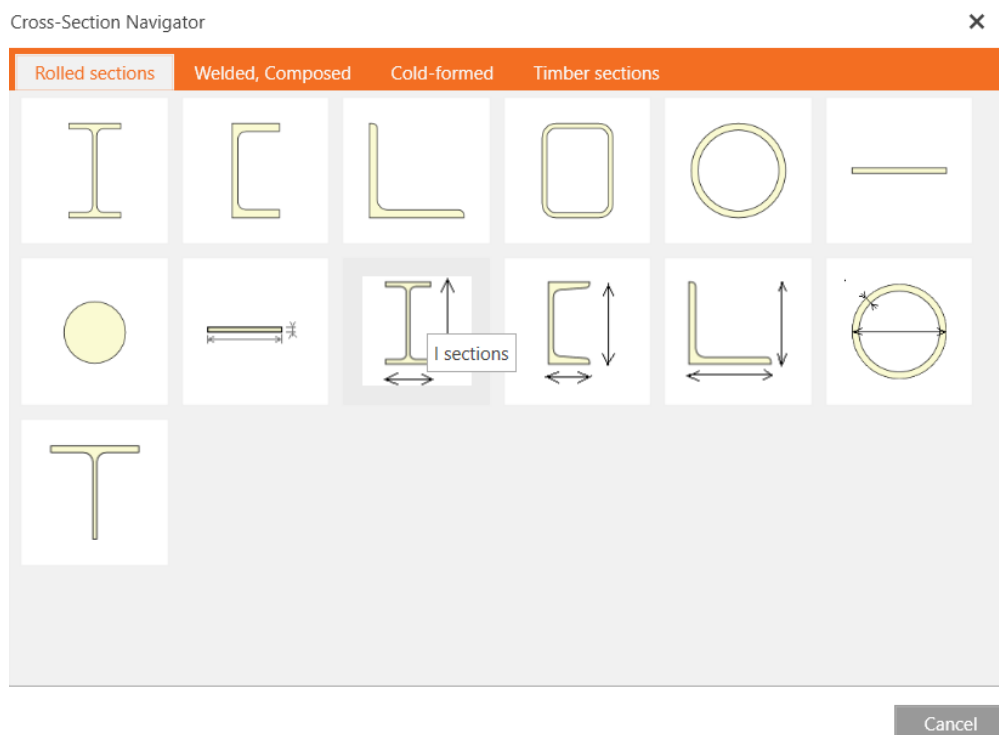


Gambar 6.32. Buat *New Property* → Pilih *Blank*

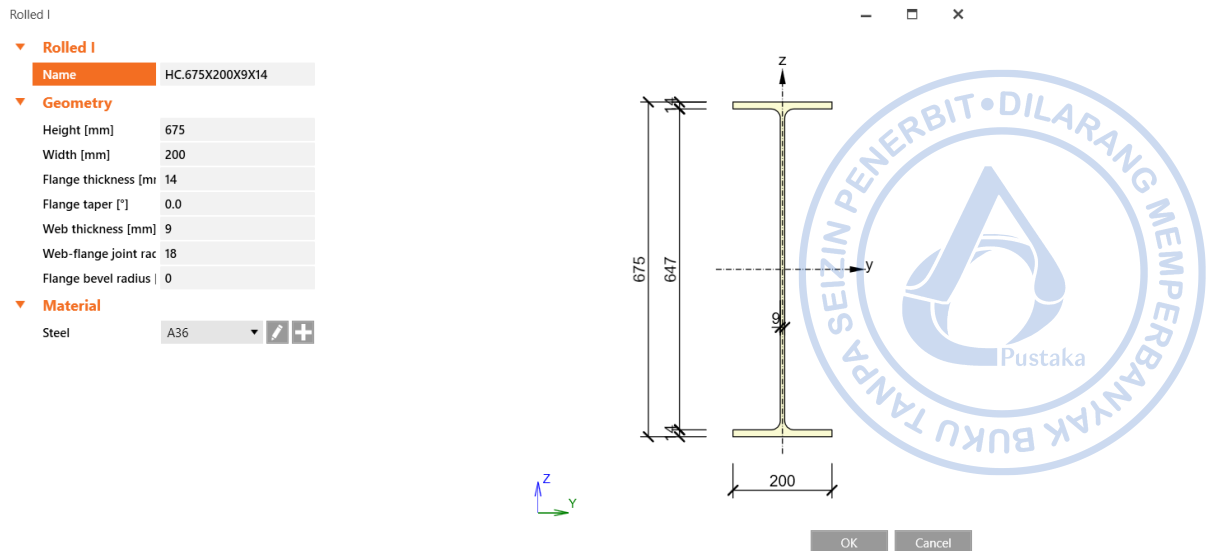


Gambar 6.33. Pembuatan Member Baru

Klik menu *Materials* pada *ribbon* bagian atas → Klik *Cross Section* untuk membuat penampang baru → Pilih *I Sections* sebagaimana pada gambar di bawah → Atur properti HC.675X200X9X14 sebagaimana gambar di bawah.

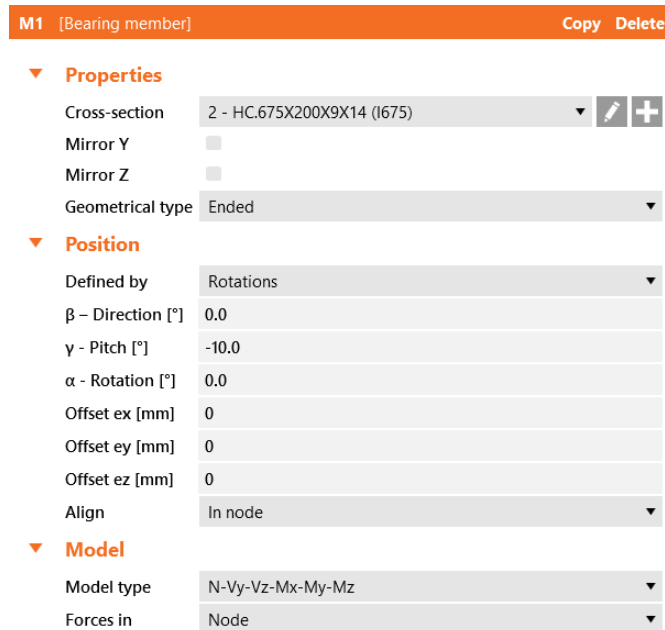


Gambar 6.34. Tambahkan Profil Baru



Gambar 6.35. Properti Penampang HC.675X200X9/14

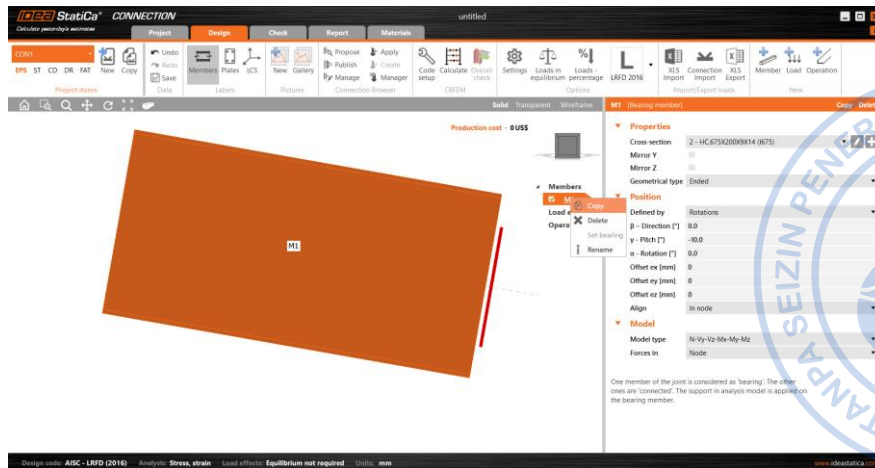
Setelah properti *rafter* HC.675X200X9/14 berhasil didefinisikan, ganti profil *rafter* eksisting dengan profil yang baru saja dibuat.



One member of the joint is considered as 'bearing'. The other ones are 'connected'. The support in analysis model is applied on the bearing member.

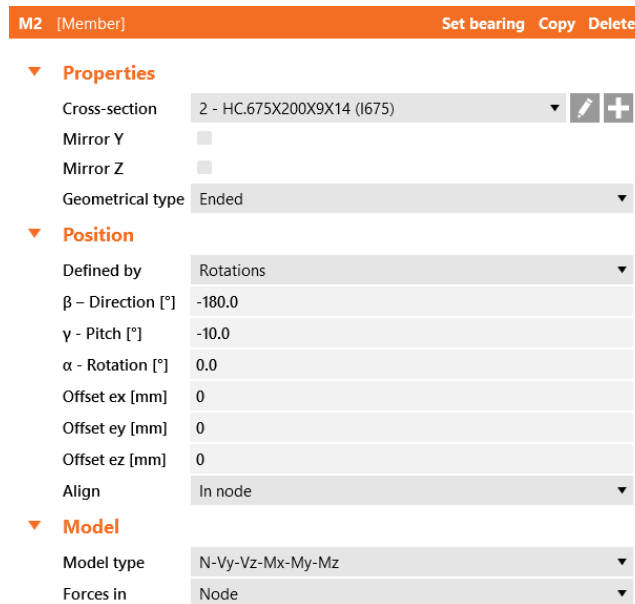
Gambar 6.36. Properti *Rafter* HC.675X200X9/14

Gandakan *rafter* yang telah dimodelkan dengan cara klik kanan pada M1 di bawah menu *Members* → *Copy*.



Gambar 6.37. Gandakan Rafter Pertama

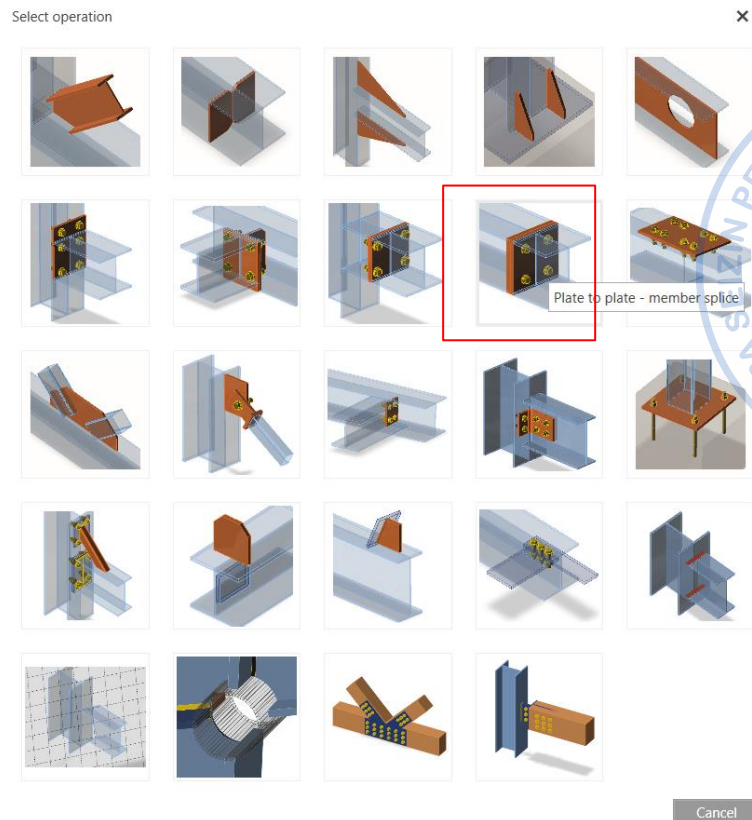
Atur properti *rafter* kedua sebagaimana gambar di bawah.



One member of the joint is considered as 'bearing'. The other ones are 'connected'. The support in analysis model is applied on the bearing member.

Gambar 6.38. Properti Rafter Kedua

Kedua *rafter* yang bertemu perlu dihubungkan dengan *double end plate*. Untuk menyambungkan antara kedua *rafter* tersebut, klik kanan pada *Operations* → pilih *Plate to Plate*.



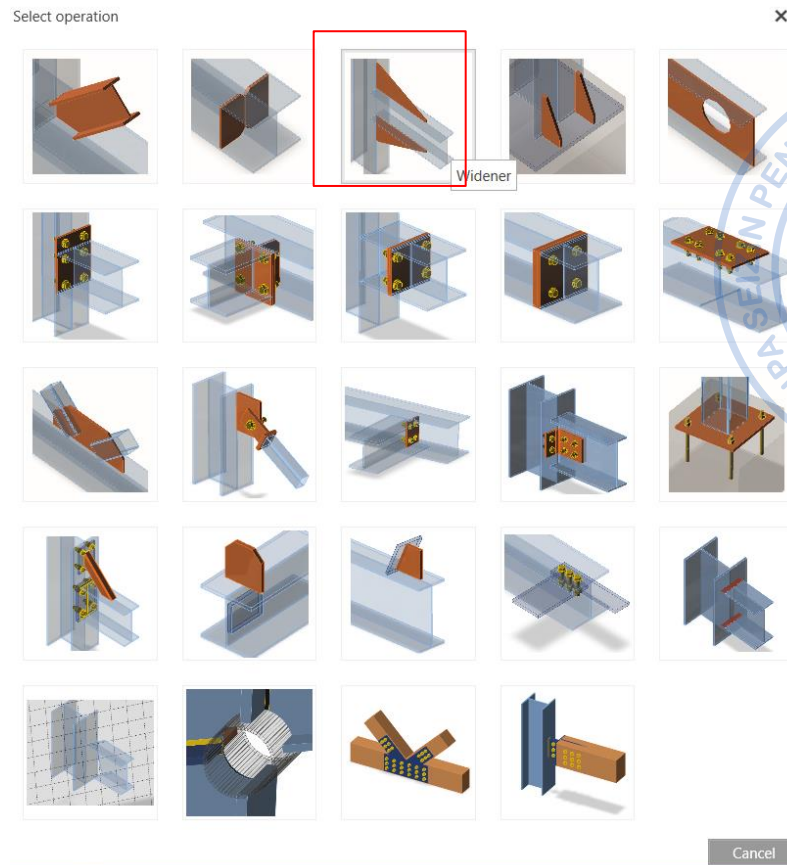
Gambar 6.39. *Plate to Plate* untuk Menghubungkan Kedua *Rafter*

Properti *double end plate* perlu diatur baik dari ketebalan pelat, jumlah baut serta dimensi pelat. Klik PP1 → Atur properti *Plate to Plate* sebagaimana gambar dibawah.



Gambar 6.40. Properti *Plate to Plate*

Tambahkan *haunch* di bagian bawah *rafter* dengan operasi *Widener*. Properti *haunch*: panjang *haunch*, kedalaman *haunch*, dan jumlah baut perlu diatur sebagaimana gambar di bawah.



Gambar 6. 41. *Widener* untuk Membentuk Haunch pada Pertemuan Rafter

▼ **Wideners**

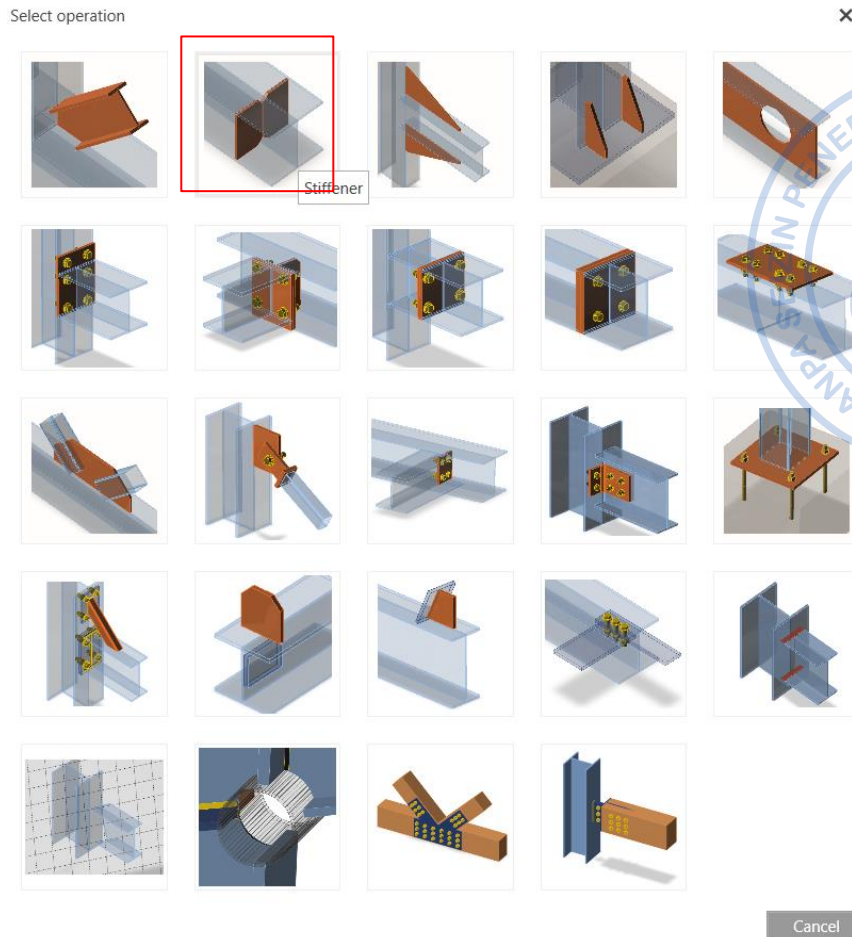
On member	M1
Related to	PP1a
Material	A36
Thickness [mm]	9.0
Cross-section parts	Webs
Location	Front
Width [mm]	225
Depth [mm]	900
Shape	Triangular with flange
Flange thickness [mm]	0.0
Flange width [mm]	14

▼ **Welds**

All welds [mm] 5.7 E70xx

Gambar 6.42. Properti *Haunch* Bagian Kanan

Di bagian ujung dari *haunch* perlu ditambahkan pelat pengaku. Hal tersebut dapat dilakukan dengan cara klik kanan pada *Operations* → Pilih *Stiffener* → Atur properti sebagaimana gambar di bawah.



Gambar 6.43. Stiffener Sebagai Tambahan Pelat Di Ujung Haunch

▼ **Stiffeners**

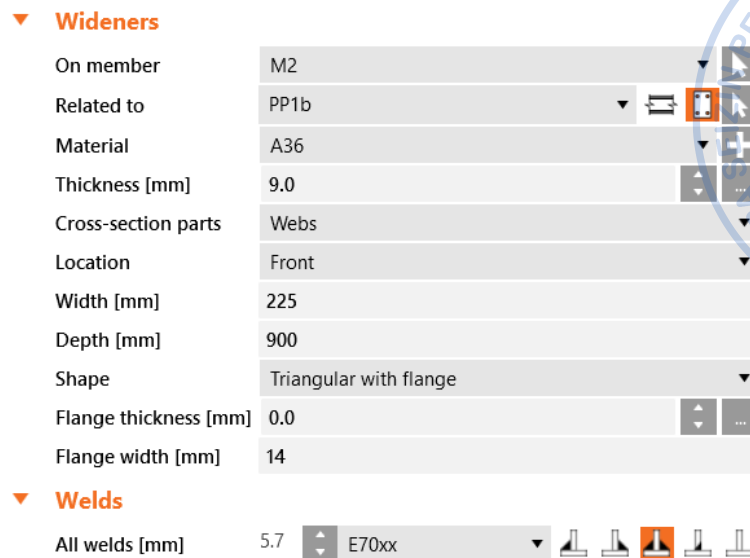
On member	M1
Related to	WID1a
Position	Lower
Material	A36
Thickness [mm]	14.0
Location	Both
X - position [mm]	0
α - Inclination [°]	0.0
Width [mm]	0
Offset top [mm]	0
Offset bottom [mm]	0
Repeat count	1
Gap [mm]	0
Chamfered corners	<input type="checkbox"/>
Chamfer cut size [mm]	0

▼ **Welds**

All welds [mm]	6.0	E70xx
----------------	-----	-------

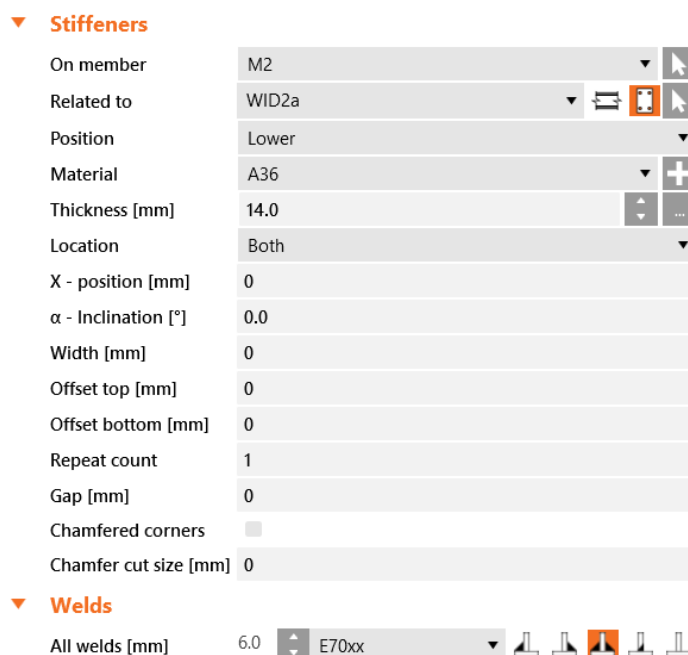
Gambar 6.44. Properti Stiffener Bagian Kanan

Apex haunch yang sudah termodel pada satu sisi dapat digandakan pada sisi yang lain. *Widener* dapat digandakan dengan cara klik kanan pada WID1 → *Copy*. Setelah widener berhasil digandakan, atur properti WID2 sebagaimana gambar di bawah.



Gambar 6.45. Properti *Haunch* Bagian Kiri

Stiffener di bagian kanan *rafter* yang sudah termodel perlu digandakan pada sisi yang lain. *Stiffener* dapat digandakan dengan cara klik kanan pada STIFF1 → *Copy*. Setelah stiffener berhasil digandakan, atur properti STIFF2 sebagaimana gambar di bawah.



Gambar 6.46. Properti *Stiffener* Bagian Kiri

Terakhir, beban perlu ditambahkan untuk menganalisis kekuatan dari sambungan aped haunch yang telah didesain. Klik kanan pada *Load Effects* → *New Load* → Klik LE1 di bawah menu *Load Effects* → Atur beban sebagaimana gambar di bawah.

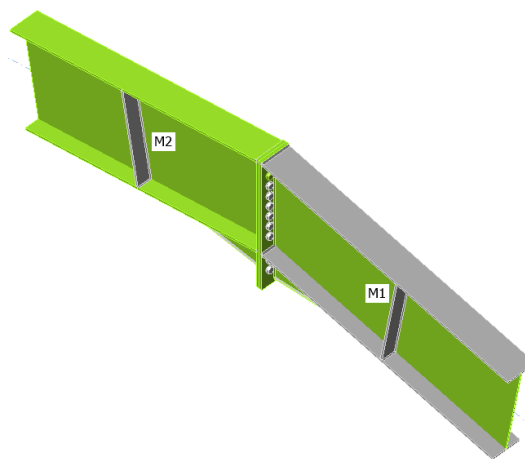
	Member	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
>	M2 / End	-92.6	0.0	-15.2	0.0	-219.2	0.0

Gambar 6.47. Beban untuk Desain Apex Haunch

Analisis dan desain *apex haunch* dapat dilakukan dengan cara klik *Calculate* pada *ribbon* bagian atas. Seluruh elemen sambungan akan dicek baik elemen yang disambung, alat bantu sambung maupun alat penyambung. Hasil pengecekan menunjukkan bahwa sambungan yang didesain masih cukup kuat untuk menahan beban struktur yang ada.

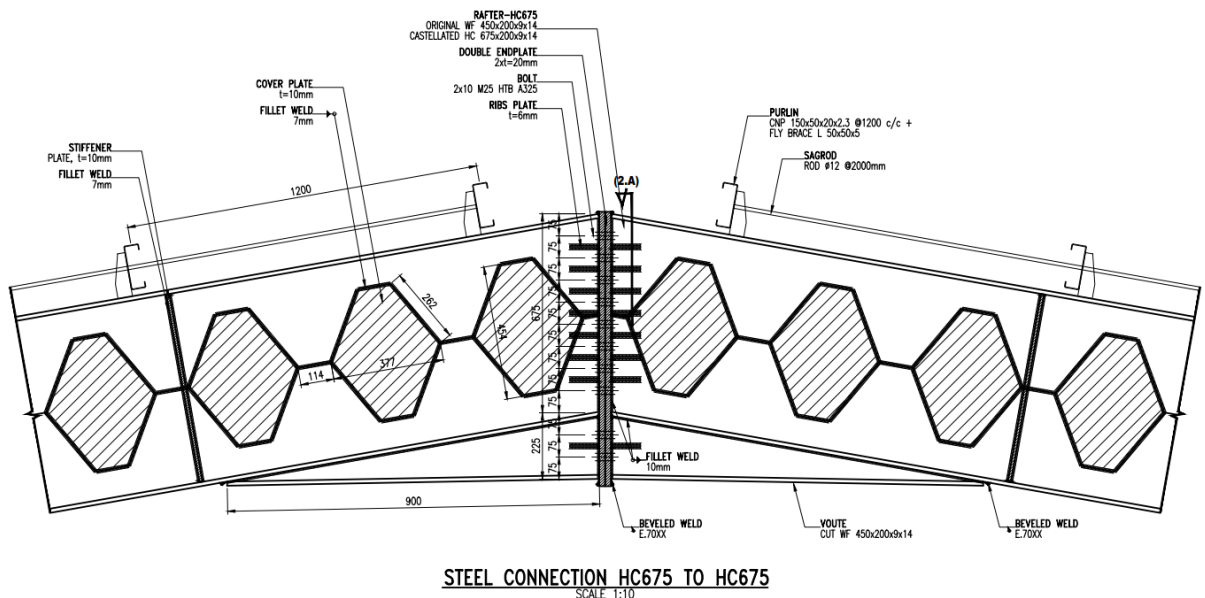
Analysis ✓ 100.0%
 Plates ✓ 0.4 < 5.0%
 Bolts ✓ 81.3 < 100%
 Welds ✓ 95.1 < 100%
 Buckling Not calculated

Production cost - 504 US\$



- Members
 - ✓ M1
 - ✓ M2
- Load effects
 - ✓ LE1
- Operations
 - ✓ PP1
 - ✓ WID1
 - ✓ STIFF1
 - ✓ WID2
 - ✓ STIFF2

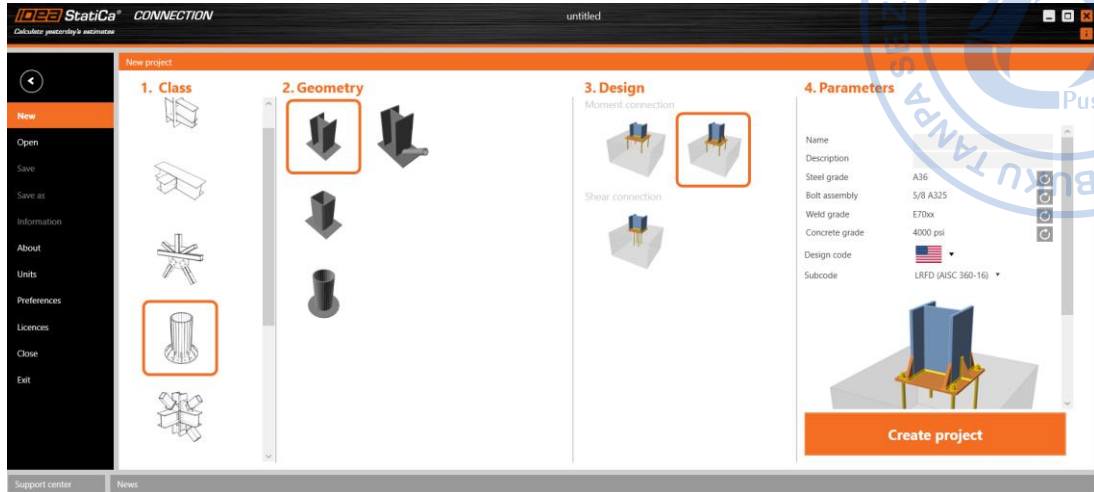
Gambar 6.48. Hasil Analisis Apex Haunch



Gambar 6.49. Detail Sambungan Apex Haunch

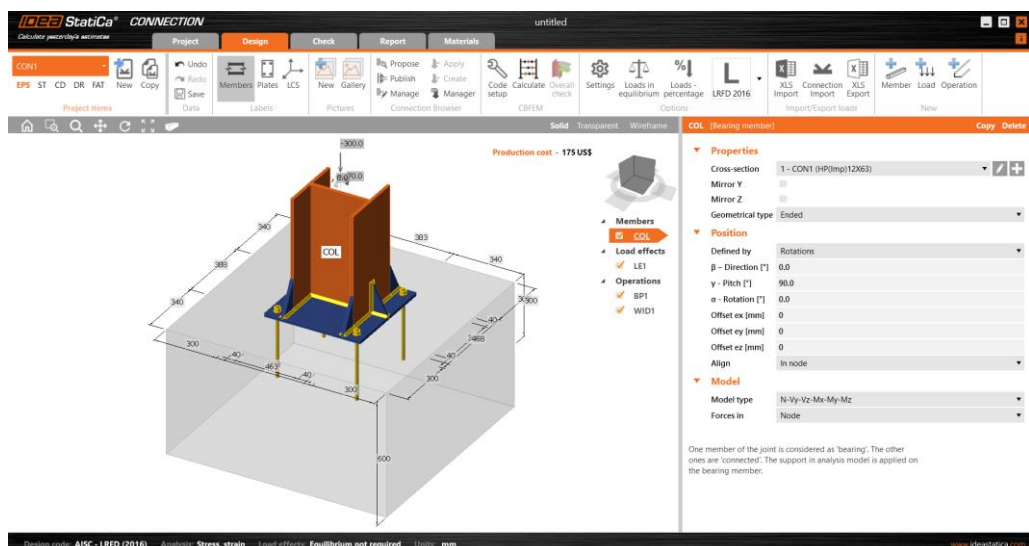
3. Desain Sambungan Base Plate

Sambungan antara kolom dengan *rafter* akan didesain melalui IdeaStatica. Langkah pertama dalam pemodelan sambungan adalah buat model berdasarkan *template* sambungan yang disediakan oleh IdeaStatica. *Base plate* didesain untuk menahan momen sehingga tipe yang digunakan adalah sambungan momen.

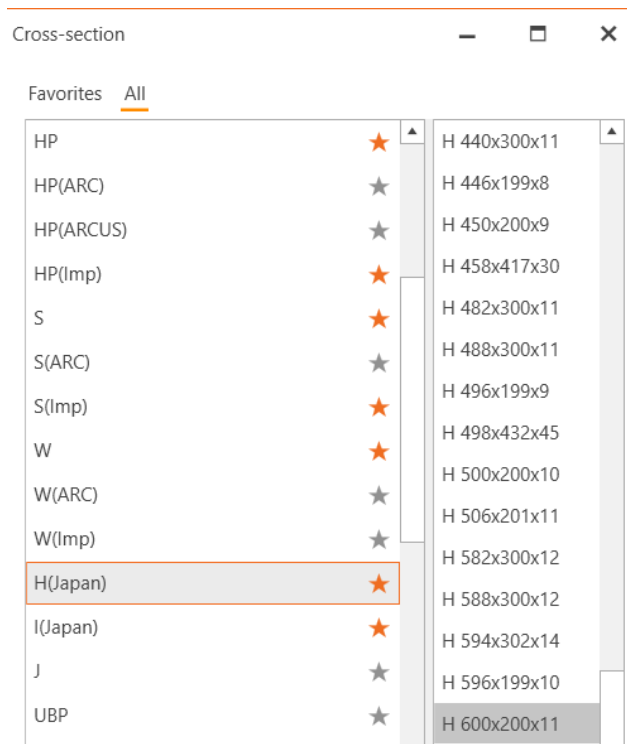


Gambar 6.50. Base Plate dengan Tipe Sambungan Momen

Sambungan antara kolom dengan *rafter* akan didesain melalui IdeaStatica. Langkah pertama dalam pemodelan sambungan adalah buat model berdasarkan *template* sambungan yang disediakan oleh IdeaStatica. *Base plate* didesain untuk menahan momen sehingga tipe yang digunakan adalah sambungan momen. Ubah dimensi profil kolom menjadi WF.600X200X11/17 dengan cara *Select* kolom → *Add New* → Pilih profil dari H (Japan) karena profil di Indonesia mengadopsi dari profil JIS → H600X200X11/17 ~ (WF.600X200X11/17) → OK!



Gambar 6.51. Tambahkan Profil Baru untuk Mendefinisikan WF.600X200X11/17

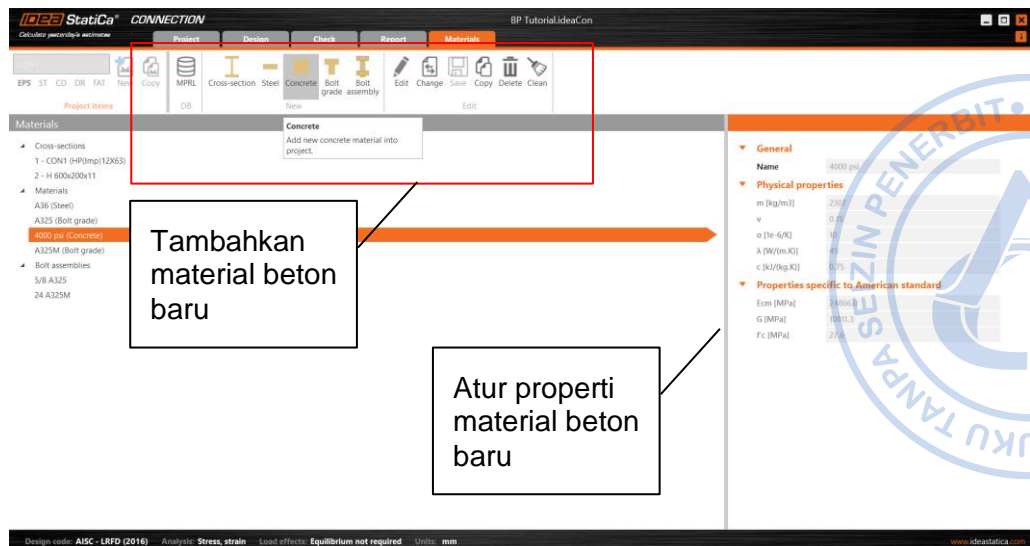


Gambar 6.52. Pilih H.600X200X11 → WF.600X200X11/17 untuk Sebagai Kolom pada Pelat Dasar

Adapun dimensi pelat rib, angkur, dan elemen pendukung lain terlebih dahulu ditentukan sebagai berikut:

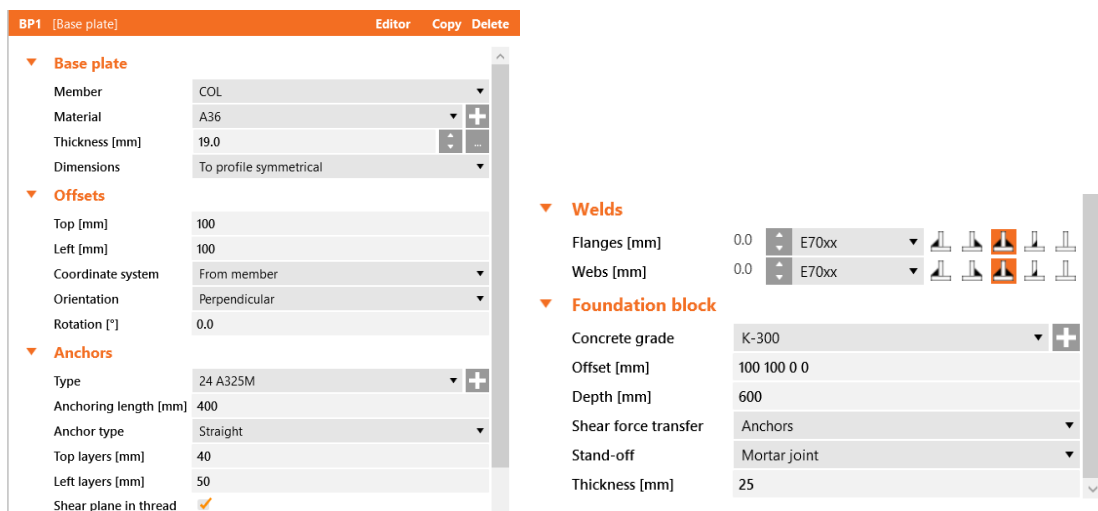
Mutu angkur A307, f_y	=	240	MPa
Mutu beton, f_c	=	25	MPa
Dimensi kolom pedestal	=	K600X800	
Panjang angkur	=	400	mm
Jumlah angkur	=	10M25	
Tebal pelat dasar	=	19	mm
Tebal pelat rib	=	17	mm

Atur mutu material untuk beton dengan cara klik Materials pada *ribbon* bagian atas → Buat mutu beton baru → *Edit* mutu beton dengan properti sebagaimana di bawah.



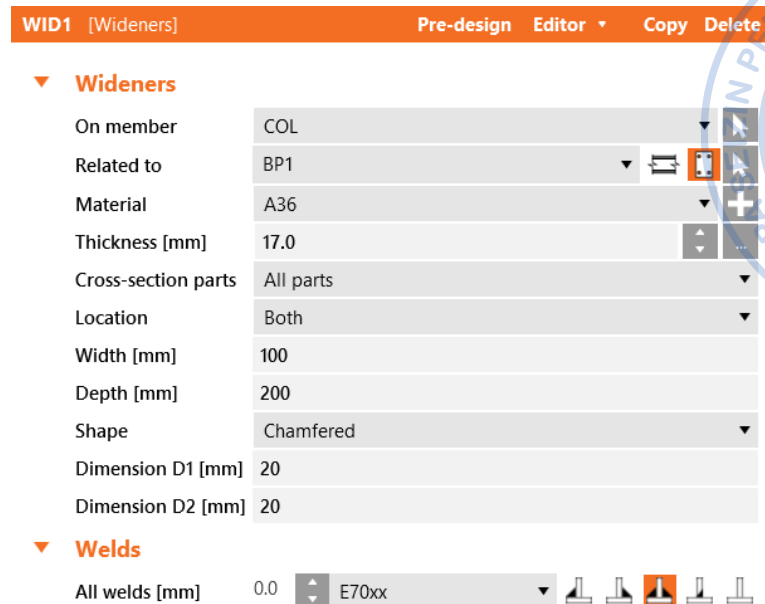
Gambar 6.53. Pengaturan Mutu Beton K-300

Setelah mutu material beton berhasil didefinisikan, properti pelat dasar: dimensi dan tebal pelat, ukuran dan kedalaman angkur, serta dimensi kolom perlu diatur. Klik BP1 di bawah menu *Operations* terlebih dahulu → Atur properti pelat dasar sebagaimana gambar di bawah.



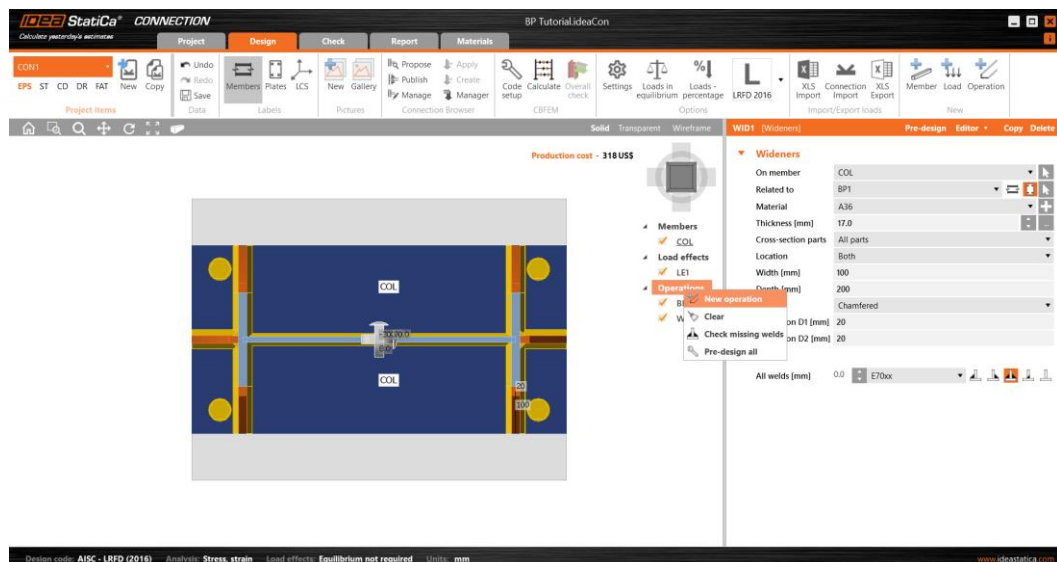
Gambar 6.54. Pengaturan Properti Pelat Dasar

Setelah itu, properti pelat pengaku seperti ketebalan pelat dan dimensinya, juga perlu untuk diatur. Klik WID1 di bawah menu *Operations* → Atur properti pelat pengaku sebagaimana gambar di bawah.



Gambar 6.55. Pengaturan Properti Pelat Pengaku

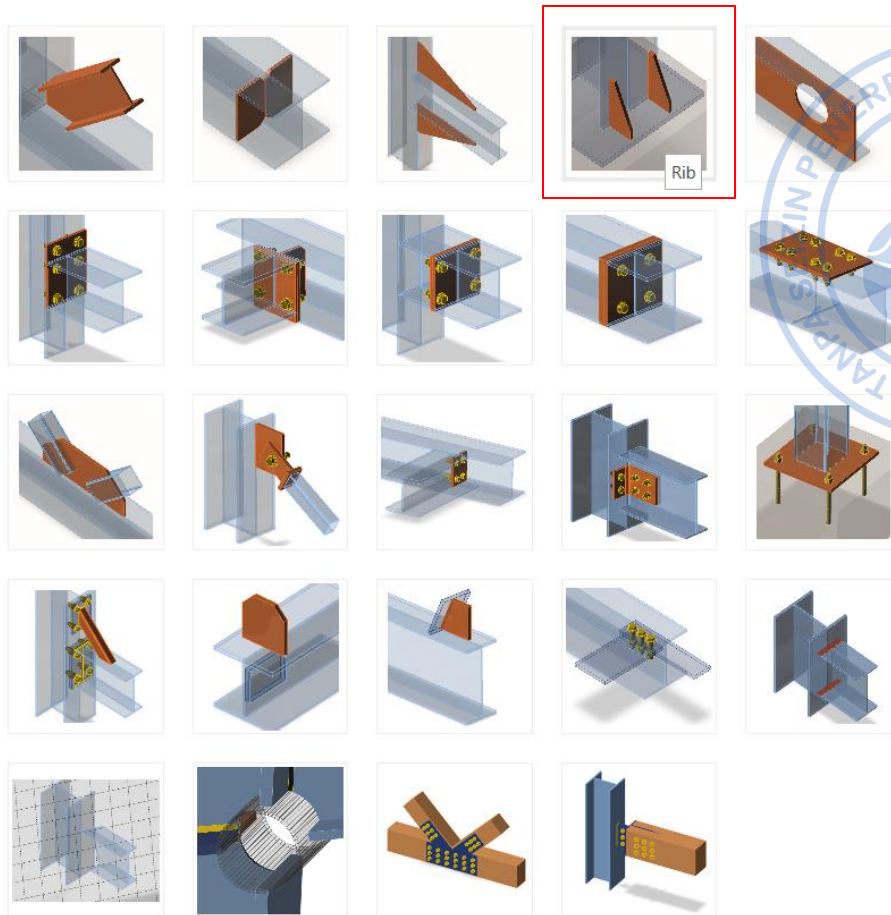
Untuk memperkuat sambungan antara kolom WF.600X200X11/17, perlu ditambahkan pelat rib yang menempel pada bagian badan kolom. Hal tersebut dapat dilakukan dengan cara klik kanan pada menu *Operations* → *New Operation* → Pilih *Rib* → Atur properti RIB1 sebagaimana gambar di bawah.



Gambar 6.56. Tambahkan Operasi Baru

Select operation

X



Cancel

Gambar 6.57. Pilih Rib

RIB1 [Ribs] Pre-design Editor Copy Delete

▼ **Ribs**

On member	COL
Related to	BP1
Material	A36
Thickness [mm]	17.0
Width [mm]	100
Depth [mm]	200
Shape	Chamfered
Dimension D1 [mm]	20
Dimension D2 [mm]	20
Cross-section parts	Web 1
Surface	Both
Location	Both
X - position [mm]	150
Repeat count	1
Add first	<input checked="" type="checkbox"/>

▼ **Welds**

All welds [mm]	0.0	E70xx
----------------	-----	-------

Gambar 6.58. Pengaturan Properti Pelat Rib

Angkur lain perlu ditambahkan di perimeter kolom baja. Hal tersebut dapat dilakukan dengan cara klik kanan pada menu *Operations* → *New Operation* → *Pilih Bolt or Grid Contact* → Atur properti angkur tambahan sebagaimana gambar di bawah.

▼ Bolt/Anchor grid or Contact

Fastener: Anchors
 Items count: 1
 Item 1: BP1

▼ Fasteners

Type: 24 A325M
 Anchoring length [mm]: 400
 Anchor type: Straight
 Coord. system: Orthogonal
 Origin [mm]: 0 0
 Rows [mm]: 0 150; -150
 Positions [mm]: 150; -150
 Grid: Regular
 Shear plane in thread:

▼ Foundation block

Anchored to: Existing block
 Concrete block: CB 1

Gambar 6.59. Pengaturan Properti Angkur Tambahan

Terakhir, beban perlu ditambahkan untuk menganalisis kekuatan dari sambungan yang telah didesain. Klik LE1 di bawah menu *Load Effects* → Atur beban sebagaimana gambar di bawah.

	Member	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
>	COL / End	-314.2	-0.1	115.1	0.0	357.7	-0.1

Gambar 6.60. Beban untuk Desain Pelat Dasar

Beton di bawah pelat dasar diasumsikan tidak didesain untuk menahan tarik dan geser. Tahanan tarik dan geser akan ditugaskan pada ekstra tulangan yang akan ditambahkan pada tulangan pedestal. Untuk mengatur hal tersebut klik *Code Setup* di ribbon bagian atas → *Concrete breakout resistance* → *None*.

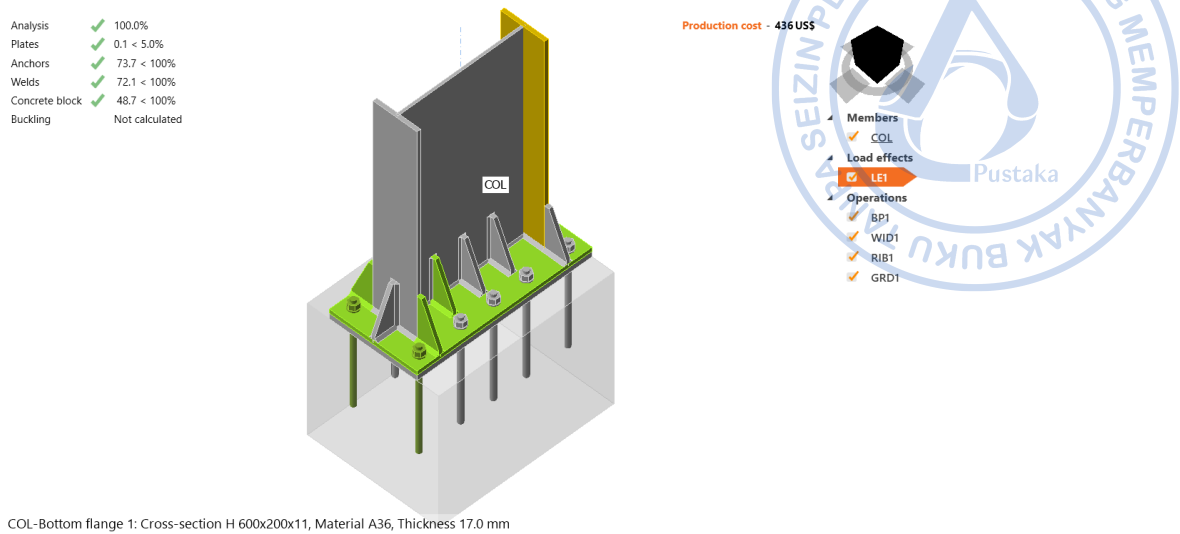
Code and calculation settings

▼ Analysis and checks

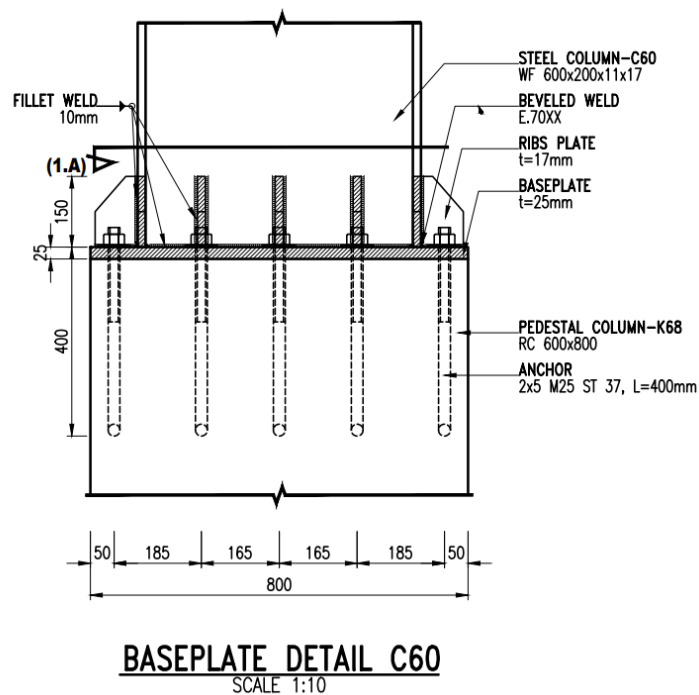
Stop at limit strain:
 Geometrical nonlinearity (GMNA):
 Detailing:
 Concrete breakout resistance: None
 Local deformation check:
 Friction coefficient in slip-resistance [-]: 0.30
 Base metal capacity at the fusion face:

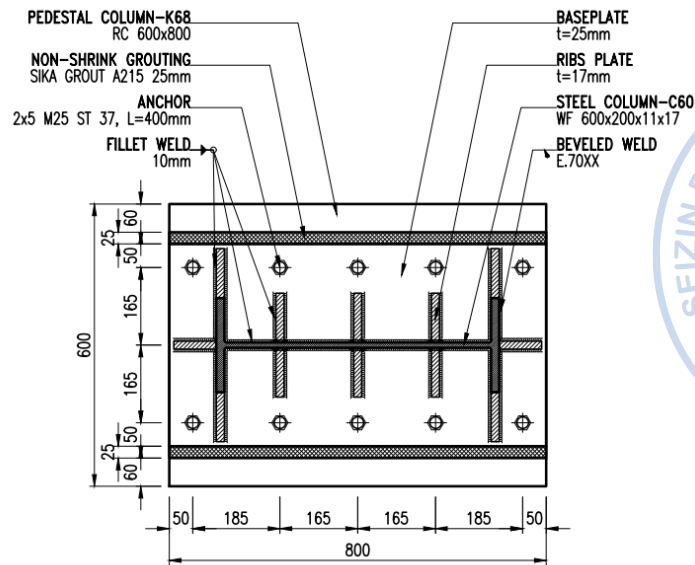
Gambar 6.61. Pengaturan *Concrete Breakout Resistance*

Lakukan desain pelat dasar klik *Calculate* pada *ribbon* bagian atas. Seluruh elemen sambungan akan dicek baik elemen yang disambung, alat bantu sambung maupun alat penyambung. Hasil pengecekan menunjukkan bahwa sambungan yang didesain masih cukup kuat untuk menahan beban struktur yang ada.



Gambar 6.62. Hasil Analisis Pelat Dasar





SECTION 1.A
SCALE 1:10

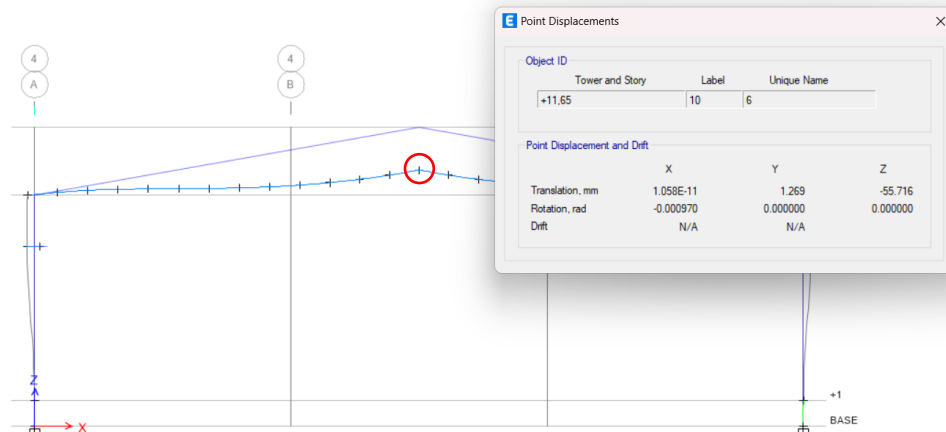
Gambar 6.63. Detail Base Plate

D. PENGECEKAN KEMAMPULAYANAN STRUKTUR

Lendutan yang terjadi pada struktur yang menopang atap harus dianalisis terhadap lendutan izin didasarkan pada Tabel 1 pada *Design Guide 3: Serviceability Design for Steel Building* yang mengadopsi IBC Tabel 1604.4. Pengecekan lendutan diperlukan untuk memastikan bahwa deformasi yang terjadi tidak menyebabkan kerusakan struktural maupun non struktural. Umumnya terdapat dua kondisi lendutan yang ditinjau yaitu lendutan akibat beban tetap dan lendutan akibat beban tambahan. Pengecekan lendutan untuk struktur yang ditinjau disajikan sebagaimana berikut:

1. Lendutan pada Atap Akibat L_r

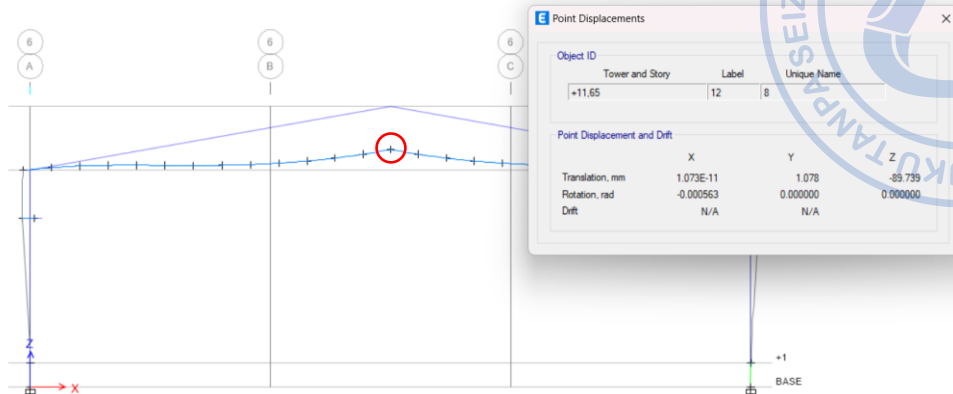
Bentang yang diperhitungkan, L	=	30000 mm
$L/360, \Delta_{all}$	=	83,3 mm
Lendutan seketika maksimum, Δ_{max}	=	55,7 mm
Cek, $\Delta_{max} < \Delta_{all}$	=	OK



Gambar 6.64. Lendutan Akibat Beban Hidup Atap

2. Lendutan pada Atap Akibat Beban Layan (Beban Mati + L_r)

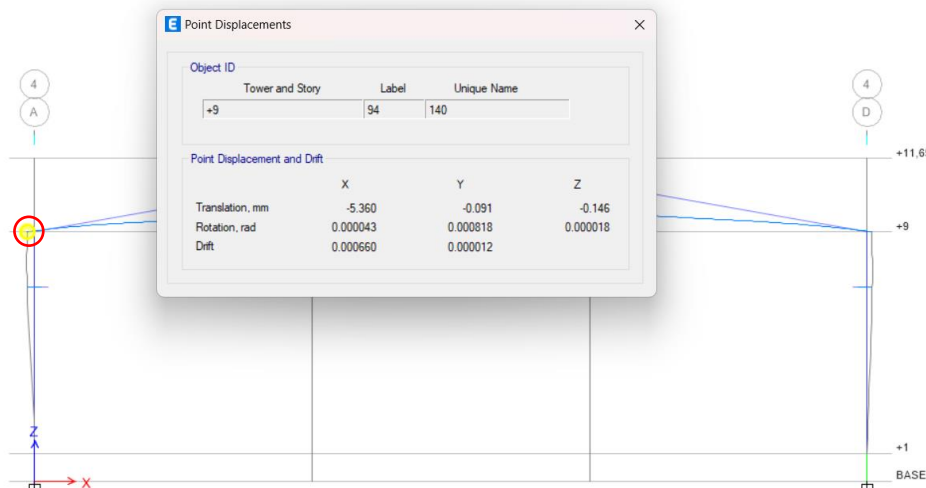
Bentang yang diperhitungkan, L	=	30000	mm
$L/240, \Delta_{all}$	=	125	mm
Lendutan seketika maksimum, Δ_{max}	=	89,7	mm
Cek, $\Delta_{max} < \Delta_{all}$	=	OK	



Gambar 6.65. Lendutan Akibat Beban Layan (Beban Mati + L_r)

3. Lendutan pada Atap Akibat Beban Angin (Beban Mati + $0,5W_{x(+)}$)

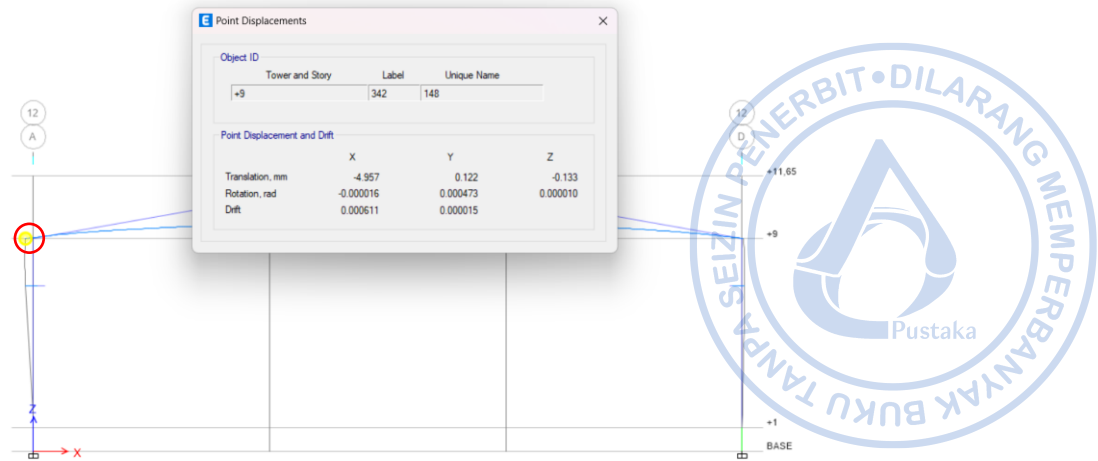
Bentang yang diperhitungkan, H	=	9000	mm
$H/500, \Delta_{all}$	=	45	mm
Lendutan yang terjadi, Δ_{max}	=	5,4	mm
Cek, $\Delta_{max} < \Delta_{all}$	=	OK	



Gambar 6.66. Lendutan Akibat Beban Angin $W_{x(+)}$

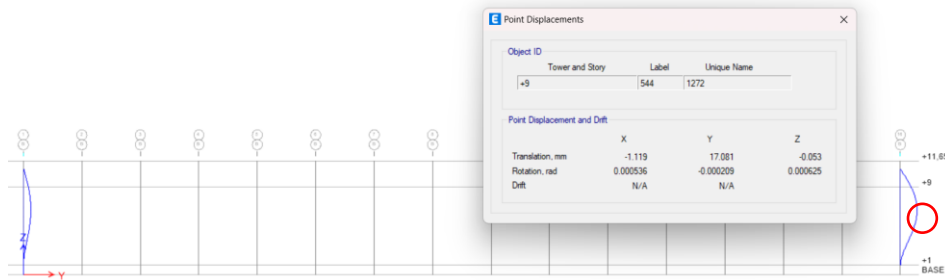
4. Lendutan pada Atap Akibat Beban Angin (Beban Mati + $0,5W_{x(-)}$)

Bentang yang diperhitungkan, H	=	9000	mm
$H/200, \Delta_{all}$	=	45	mm
Lendutan yang terjadi, Δ_{max}	=	4,96	mm
Cek, $\Delta_{max} < \Delta_{all}$	=	OK	



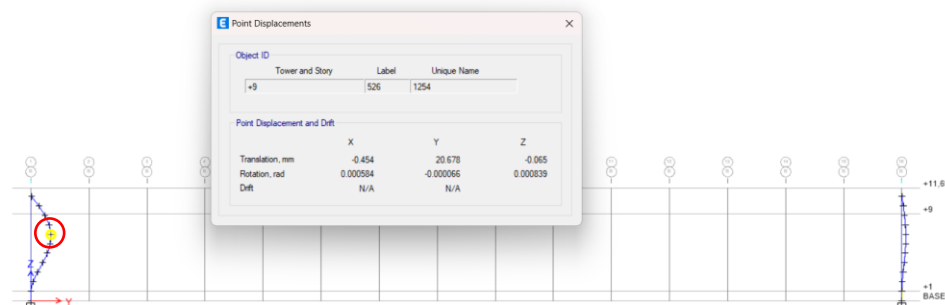
Gambar 6.67. Lendutan Akibat Beban Angin $W_{x(-)}$

5. Lendutan pada Atap Akibat Beban Angin (Beban Mati + $0,5W_{y(+)}$)
- Bentang yang diperhitungkan, H = 9000 mm
- $H/200, \Delta_{all}$ = 45 mm
- Lendutan yang terjadi, Δ_{max} = 17,8 mm
- Cek, $\Delta_{max} < \Delta_{all}$ = OK



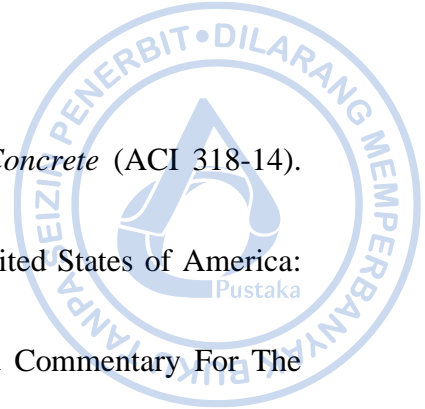
Gambar 6.68. Lendutan Akibat Beban Angin $W_{y(-)}$

6. Lendutan pada Atap Akibat Beban Angin (Beban Mati + $0,5W_{y(-)}$)
- Bentang yang diperhitungkan, H = 9000 mm
- $H/200, \Delta_{all}$ = 45 mm
- Lendutan yang terjadi, Δ_{max} = 20,7 mm
- Cek, $\Delta_{max} < \Delta_{all}$ = OK



Gambar 6.69. Lendutan Akibat Beban Angin $W_{y(-)}$

REFERENSI



- ACI Committee 318. 2014. *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-14)*. Michigan: American Concrete Institute.
- AIST. 2003. *Guide for the Design and Construction of Mill Buildings*. United States of America: AIST TR-13, Association for Iron and Steel
- American Society of Civil Engineers. 2000. FEMA 356: Prestandard And Commentary For The Seismic Rehabilitation Of Buildings. Washington D.C.: ASCE.
- American Society of Civil Engineers. 2016. *ASCE 7-16: Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures*. United States of America: ASCE.
- American Institute of Steel Construction. 2016. *AISC 2016: Specification for Structural Steel Buildings*. United States of America: AISC.
- Badan Standarisasi Nasional. 2017. *SNI 2052-2017: Baja Tulangan Beton*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional. 2019. *SNI 1726-2019: Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional. 2019. *SNI 2847-2019: Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional. 2020. *SNI 1727-2020: Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional. 2020. *SNI 1729-2020: Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional. 2020. *SNI 7860-2020: Ketentuan Seismik Untuk Bangunan Gedung Baja Struktural*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Demag Crane & Components. *Demag EKKE Standard Single-Girder Overhead Travelling Crane*.
- Demag Crane & Components. *Demag Standard Cranes*.
- Departemen Pekerjaan Umum. 1987. *Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung*. Jakarta: Yayasan Badan Penerbit PU.
- Direktorat Jenderal Cipta Karya. 2021. *Aplikasi Spektrum Respons Desain Indonesia 2021*. Diakses pada 25 November 2023, dari <http://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/>
- Fisher, James. M. 2019. *Design Guide 7: Industrial Building Design*. Chicago: American Institute of Steel Construction (AISC).
- Fisher, J.M. & Van de Pas, J.P. 2002. *New Fatigue Provisions for the Design of Crane Runway Girders*. Engineering Journal, AISC, Vol. 29, No. 2, pp. 65–73.

- Fisher, J.M. and Kloiber, L.A. 2006. *Design Guide 1: Base Plate and Anchor Rod Design*. Chicago: American Institute of Steel Construction (AISC).
- Irsyam, Masyhur. 2017. *Pemutakhiran Sumber dan Peta Gempa Indonesia 2017*. Prosiding dari Seminar Sehari Kebencanaan HUT RI Ke-72.
- MacCrimmon, M.A. 2005. *Guide for The Design of Crane-Cupporing Steel Structures*. Ontario: Canadian Institue of Steel Construction.
- MBMA. 2018. *Metal Building Systems Manual*. Ohio: Metal Building Manufacturers Association.
- Metal Building Manufacturers Association*. 2008. *Seismic Design Guide for Metail Building Systems*. United States of America: MBMA.
- Newman, Alexander. 2004. *Metal Building Systems, Design and Specifications*. United States of America: McGraw Hill.
- Pusat Studi Gempa Nasional. 2017. *Peta Sumber Dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017*. Jakarta: Pusat Litbang Perumahan dan Permukiman.
- West, M.A., Fisher, J.M., and Griffis, L.G. 2003. *Design Guide 3: Serviceability Design Considerations for Steel Buildings*. Chicago: American Institute of Steel Construction (AISC).
- Wiryanto. 2016. *Stuktur Baja – Perilaku, Analisis & Desain – AISC 2010*. Tangerang: Lumina Press.

LATAR BELAKANG PENULIS



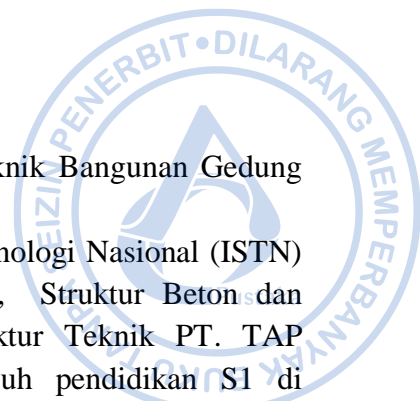
Ir. Totok Andi Prasetyo, S.T., M.T. - (Ahli Teknik Bangunan Gedung Jenjang 9 dan Ahli Geoteknik Jenjang 9)

Penulis merupakan dosen di Institut Sains dan Teknologi Nasional (ISTN) di Jakarta, mengajar Mata Kuliah Struktur Baja, Struktur Beton dan Pondasi. Penulis juga praktisi profesional Direktur Teknik PT. TAP Rekayasa Struktur di Bekasi. Penulis menempuh pendidikan S1 di Universitas Islam Indonesia (UII) Yogyakarta lulus Tahun 2001, lalu mengambil Magister Teknik (MT) di kampus ISTN dari tahun 2018 lulus 2020. Penulis memiliki pengalaman 24 tahun sebagai praktisi dalam bidang struktur dan geoteknik. Berbagai macam bangunan yang penulis tangani mulai dari struktur baja yang sederhana sampai yang *complicated industrial building*. Selain struktur baja juga beliau menangani struktur beton dari *low-rise* sampai *high-rise building*. Buku ini disusun berdasarkan SNI yang terbaru.



Naufal Yasir, S.T. – (Ahli Muda Teknik Bangunan Gedung Jenjang 7)

Naufal Yasir merupakan alumni Teknik Sipil Universitas Diponegoro (2018-2022). Selama masa kuliah penulis aktif dalam kegiatan akademik sebagai asisten dosen Struktur Beton Bertulang 1. Semenjak kuliah, penulis juga aktif untuk berkecimpung pada beberapa proyek lokal di daerahnya. Sekarang penulis aktif bekerja sebagai *structural engineer* di PT. TAP Rekayasa Struktur.





Quality Steel Building Material

STEEL STRUCTURE

UNION FLOOR DECK II®
UNION NEW FLOOR DECK I®
UNION FLOOR DECK W-1000®
UNION NEW FLOOR DECK W-1000®
UNION WIRE MESH®
UNION C-CHANNEL
UNION PRACTICAL COLUMN
UNION FENCE MESH

ROOFING & CLADDING

UNION CLIP PANEL®
UNION NEW CLIP PANEL®
UNION DECK®
UNION NEW DECK®
UNION MP DECK®
UNION NEW MP DECK®

RACKING

UNION SLOTTED ANGLE®

LIGHT GAUGE STEEL

UNION TRUSS® HAT PROFILE
UNION TRUSS® C PROFILE
Q-TRUSS

METAL ROOF TILE

UNION S-ROOF®
UNION ROOF®
UNION S5® (Gema)
UNION S9®
UNION S11® (Sumo)



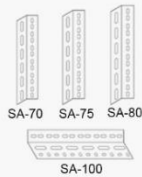
1972

PT. UNION METAL

A UNION SAMPOERNA co.

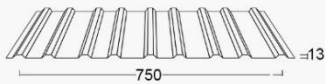
RACKING

Union Slotted Angle®

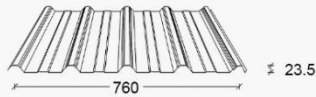


METAL ROOF TILE

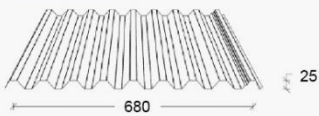
Union S-Roof®



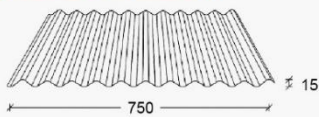
Union S5® (Gema)



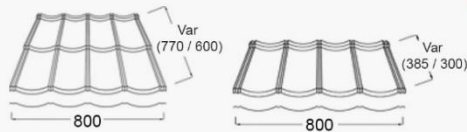
Union S9®



Union S11® (Sumo)



Union Roof®



Specification

Base Material
High Tensile Steel G550,
Minimum Yield Strength 550 Mpa (N/mm²)

Coating
Zinc-Aluminum

Standard Thickness
0.65 mm TCT & 0.75 mm TCT (C Profile)
0.55 mm TCT (Hat Profile)

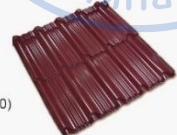
Material Standard
SNI 4096-2007

Per sheet 2 x 4
8 leaf

Effective Width
Classic = 800 mm
Prima = 720 mm

Effective Length
770 mm

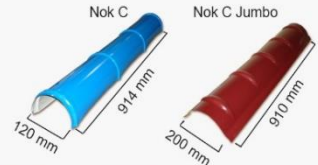
1 m²
Classic = 1.62 sheet
Prima = 1.80 sheet



Prima



Classic

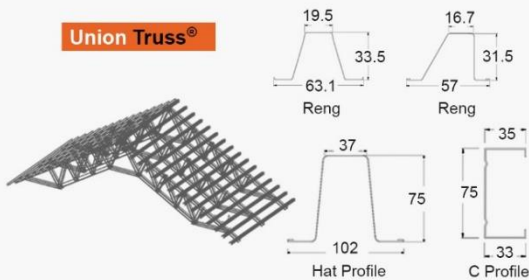


* Available Color choices

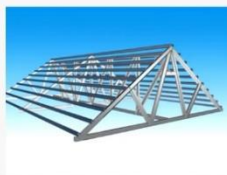


LIGHT GAUGE STEEL

Union Truss®



Q-Truss



Specification

Base Material
High Tensile Steel G550,
Minimum Yield Strength 550 Mpa (N/mm²)

Coating
Zinc-Aluminum

Standard Thickness
0.65 mm TCT & 0.75 mm TCT (C Profile)
0.55 mm TCT (Hat Profile)

Material Standard
SNI 4096-2007

Head Office :

Menara Sudirman Lantai 16
Jl. Jend. Sudirman Kav. 60
Jakarta 12190 Indonesia
Phone : (62-21) 522.7707
Fax : (62-21) 522.7718/9
WA : 0813.8862.8234 [Text Only]
Email : marketing@unionmetal.co.id

Factory I :

Kawasan Industri Jababeka I
Jl. Jababeka V Blok U No. 1
Cikarang - Bekasi 17530

Factory II :

Kawasan Ngoro Industrial Park
Blok F2 No. 2 Mojokerto,
Jawa Timur 61385

Rep Office : Bandung

Jalan Kejaksaan No. 28, Bandung 40111
Phone : (62-22) 423.1849
(62-22) 423.6489
Fax : (62-22) 420.8314
Email : unionbdg@unionmetal.co.id

Rep Office : Surabaya

Ruko Golden Palace A-28,
Jl. Mayjend HR. Muhammad,
Pradah Kali Kendal, Dukuhpakis,
Surabaya 60226
Phone : (62-31) 9914.1234 [hunting]
Fax : (62-31) 9914.5234
Email : unionsby@unionmetal.co.id

Rep Office : Semarang

Jl. Brigjen Sudiarto 573 H/587 H
Pedurungan Kidul, Semarang 50192
Phone : (62-24) 7644.0234
Fax : (62-24) 7644.2234
Email : unionsmg@unionmetal.co.id

Warehouse Banjarmasin

Pergudangan Bizpark Blok C01 No. 2 & 6
Jl. Gubernur Soebarjo, Kayu Bawang
Gambut, Banjarmasin 70652
Phone : (62-511) 7946.108
Email : sls_banjarmasin@unionmetal.co.id

Warehouse Palu

Jl. Re. Martadinata KM. 08 No. 72
(Gudang Salim Jaya)
Palu 94119
Email : sls_palu@unionmetal.co.id

Warehouse Manado

Jl. Raya Manado - Bitung No. 2
Desa Maumbi Jaga 9, Kec. Kalawat Airmadidi
Minahasa Utara, Manado 95378
Phone : (62-431) 814.116
Fax : (62-431) 814.135
Email : sls_manado@unionmetal.co.id

Warehouse Balikpapan

Jl. Projakal No. 47 RT. 55, Kel. Graha Indah
Kariangau, Balikpapan Utara,
Kalimantan Timur 76136
Phone : (62-542) 8539.777
Email : sls_balikpapan@unionmetal.co.id

Warehouse Pontianak

Pergudangan Sakura Bizz No. C8,
Jln Adisucipto No. 228, Kab. Kubu Raya,
Pontianak 78117
Phone : (62-561) 6710.706
Email : sls_pontianak@unionmetal.co.id

Warehouse Makassar

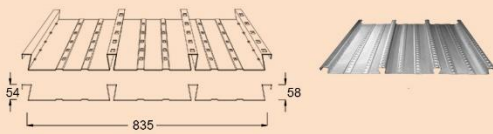
Jl. Kima Raya 2 Blok A No. 10
Komplek Pergudangan Perintis Kemerdekaan,
Makassar 90241
Phone : (62-411) 4723.377
Fax : (61-411) 4723.378
Email : sls_makassar@unionmetal.co.id



SPECIAL FOR
ROOFING & CLADDING

12/2023

Union New Floor Deck I New



Specification

Base Material

High Tensile Steel
Minimum Yield Strength 560 MPa (N/mm²)

Cover Layer

Hot Dip Galvanized

Think Cover Layer

220 - 275 gr/m²

Standard Thickness

0.75 mm up to 1.25 mm TCT

Material Weight

8.37 kg/m² for thickness of 0.75 mm TCT
11.81 kg/m² for thickness of 1.05 mm TCT
14.10 kg/m² for thickness of 1.25 mm TCT

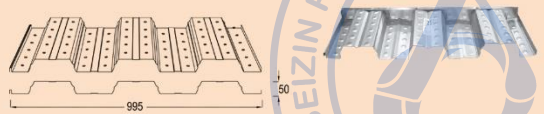
Material Standard

SNI 07-2053-2006

Length

12,000 mm Max (Subject to transportation facility)

Union Floor Deck W-1000®



Specification

Base Material

High Tensile Steel
Minimum Yield Strength 560 MPa (N/mm²)

Cover Layer

Hot Dip Galvanized

Think Cover Layer

220 - 275 gr/m²

Standard Thickness

0.75 mm up to 1.45 mm TCT

Material Weight

6.55 kg/m² for thickness of 0.70 mm TCT
7.03 kg/m² for thickness of 0.75 mm TCT
9.91 kg/m² for thickness of 1.05 mm TCT
11.83 kg/m² for thickness of 1.25 mm TCT
13.76 kg/m² for thickness of 1.45 mm TCT

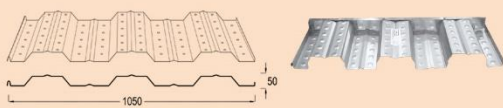
Material Standard

SNI 07-2053-2006

Length

12,000 mm Max (Subject to transportation facility)

Union New Floor Deck W-100® New



Specification

Base Material

High Tensile Steel
Minimum Yield Strength 560 MPa (N/mm²)

Cover Layer

Hot Dip Galvanized

Think Cover Layer

220 - 275 gr/m²

Standard Thickness

0.70 mm up to 1.05 mm TCT

Material Weight

6.20 kg/m² for thickness of 0.70 mm TCT
6.66 kg/m² for thickness of 0.75 mm TCT
9.93 kg/m² for thickness of 1.05 mm TCT

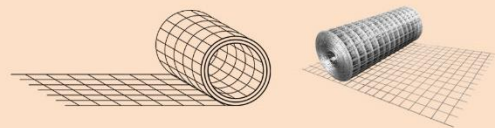
Material Standard

SNI 07-2053-2006

Length

12,000 mm Max (Subject to transportation facility)

Union Wire Mesh®



Specification

D of Wire Mesh

4 mm up to 16 mm (Engineering Mesh)

Yield Strength Min.

5,000 kg/cm² ;U50

Weld Shear Strength

2,500 kg/cm²

Types of Bar Surfaces

Plain and Deformed

Standard Spacings

150 mm x 150 mm (Type M)
100 mm x 200 mm (Type B)

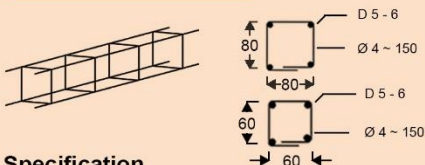
Standard Sizes

Sheet : 5.4 m x 2.1 m (M4 - M10, M12, M16)
Roll : 54 m x 2.1 m (M4 - M6)

Material Standard

SNI 07-0663-1995

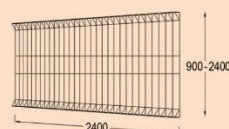
Union Practical Column



Specification

D of Practical Column : D 5 - 6 mm
D of Stirrup : Ø4 ~ 150 mm
Yield Strength Min. : 5,000 kg/cm² ;U50
Effective Length : 3,000 mm

Union Fence Mesh

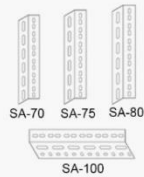


Specification

D of Fence Mesh : D 6 - 7 mm
Yield Strength Min. : 5,000 kg/cm² ;U50
Effective Length : 2,400 mm
Types of Fence Mesh : P-90 Ø6, P-120 Ø6
P-150 Ø7, P-175 Ø7
P-190 Ø7, P-240 Ø7

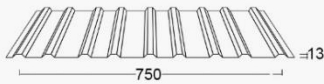
RACKING

Union Slotted Angle®



METAL ROOF TILE

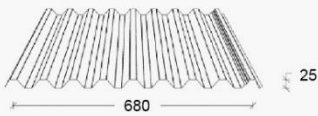
Union S-Roof®



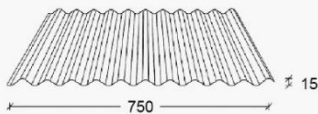
Union S5® (Gema)



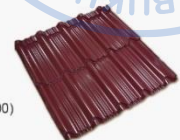
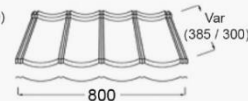
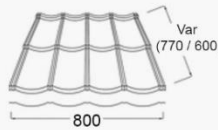
Union S9®



Union S11® (Sumo)



Union Roof®



Prima



Classic

Specification

Battern Spacing 385 mm

Per sheet 2 x 4

8 leaf

Effective Width

Classic = 800 mm

Prima = 720 mm

Effective Length

770 mm

1 m²

Classic = 1.62 sheet

Prima = 1.80 sheet

Per sheet 1 x 4

4 leaf

Effective Width

Classic = 800 mm

Prima = 720 mm

Tilt Angle

12° s/d 90°

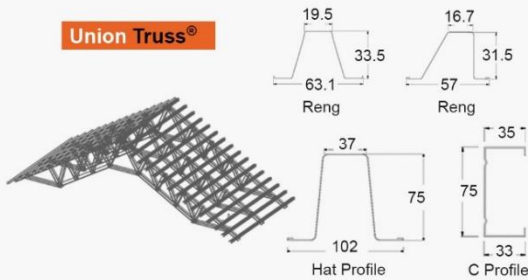


* Available Color choices



LIGHT GAUGE STEEL

Union Truss®



Q-Truss



Specification

Base Material

High Tensile Steel G550,

Minimum Yield Strength 550 Mpa (N/mm²)

Coating

Zinc-Aluminum

Standard Thickness

0.65 mm TCT & 0.75 mm TCT (C Profile)

0.55 mm TCT (Hat Profile)

Material Standard

SNI 4096-2007

Head Office :

Menara Sudirman Lantai 16
Jl. Jend. Sudirman Kav. 60
Jakarta 12190 Indonesia
Phone : (62-21) 522.7707
Fax : (62-21) 522.7718/9
WA : 0813.8862.8234 [Text Only]
Email : marketing@unionmetal.co.id

Factory I :

Kawasan Industri Jababeka I
Jl. Jababeka V Blok U No. 1
Cikarang - Bekasi 17530

Factory II :

Kawasan Ngoro Industrial Park
Blok F2 No. 2 Mojokerto,
Jawa Timur 61385

Rep Office : Bandung

Jalan Kejaksaan No. 28, Bandung 40111
Phone : (62-22) 423.1849
(62-22) 423.6489
Fax : (62-22) 420.8314
Email : unionbdg@unionmetal.co.id

Rep Office : Surabaya

Ruko Golden Palace A-28,
Jl. Mayjend HR. Muhammad,
Pradah Kali Kendal, Dukuhpakis,
Surabaya 60226
Phone : (62-31) 9914.1234 [hunting]
Fax : (62-31) 9914.5234
Email : unionsby@unionmetal.co.id

Rep Office : Semarang

Jl. Brigjen Sudiarto 573 H/587 H
Pedurungan Kidul, Semarang 50192
Phone : (62-24) 7644.0234
Fax : (62-24) 7644.2234
Email : unionsmg@unionmetal.co.id

Warehouse Banjarmasin

Pergudangan Bizpark Blok C01 No. 2 & 6
Jl. Gubernur Soebarjo, Kayu Bawang
Gambut, Banjarmasin 70652
Phone : (62-511) 7946.108
Email : sts_banjarmasin@unionmetal.co.id

Warehouse Palu

Jl. Re. Martadinata KM. 08 No. 72
Desa Maumbi Jaga 9, Kec. Kalawat Airmadidi
Palu 94119
Email : sts_palu@unionmetal.co.id

Warehouse Manado

Jl. Raya Manado - Bitung No. 2
Kariangau, Balikpapan Utara,
Minahasa Utara, Manado 95378
Phone : (62-431) 814.116
Fax : (62-431) 814.135
Email : sts_manado@unionmetal.co.id

Warehouse Balikpapan

Jl. Projakal No. 47 RT. 55, Kel. Graha Indah
Kariangau, Balikpapan Utara,
Kalimantan Timur 76136
Phone : (62-542) 8539.777
Email : sts_balikpapan@unionmetal.co.id

Warehouse Pontianak

Pergudangan Sakura Bizz No. C8,
Jln Adisucipto No. 228, Kab. Kubu Raya,
Pontianak 78117
Phone : (62-561) 6710.706
Email : sts_pontianak@unionmetal.co.id

Warehouse Makassar

Jl. Kimia Raya 2 Blok A No. 10
Komplek Pergudangan Perintis Kemerdekaan,
Makassar 90241
Phone : (62-411) 4723.377
Fax : (61-411) 4723.378
Email : sts_makassar@unionmetal.co.id



SPECIAL FOR
ROOFING & CLADDING

12/2023