

**ALTERNATIF PERENCANAAN ULANG BALOK DAN KOLOM DALAM
PEMBANGUNAN GEDUNG 6 LANTAI MENGGUNAKAN STRUKTUR
BAJA PROFIL WF**

Studi kasus : Proyek Pembangunan Rumah Sakit Bayangkara Nganjuk

SKRIPSI

TEKNIK SIPIL

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



AMMAR IQBAL

NIM. 175060107111035

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2021

LEMBAR PENGESAHAN
ALTERNATIF PERENCANAAN ULANG BALOK DAN KOLOM DALAM
PEMBANGUNAN GEDUNG 6 LANTAI MENGGUNAKAN STRUKTUR
BAJA PROFIL WF

Studi kasus : Proyek Pembangunan Rumah Sakit Bayangkara Nganjuk

SKRIPSI
TEKNIK SIPIL

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



AMMAR IQBAL

NIM. 175060107111035

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
pada tanggal (10 Agustus 2021)

Dosen Pembimbing I

Dr. Ir. Wisnumurti MT.

NIP. 19641207 199002 1 001

Dosen Pembimbing II

Ir. Ari Wibowo, ST., MT., Ph.D

NIP. 19740619 200012 1 002

Mengetahui

Ketua Jurusan/Kepala Program Studi



Dr. Eng. Ir. Indradi W., ST, M. Eng (Prac)

NIP. 19810220 200604 1 002

PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 19 Agustus 2021

Mahasiswa,

Ammar Iqbal

NIM. 175060107111035





**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM SARJANA**



SERTIFIKAT BEBAS PLAGIASI

Nomor : 010/UN10.F07.11.11/PP/2021

Sertifikat ini diberikan kepada :

AMMAR IQBAL

Dengan Judul Skripsi :

**ALTERNATIF PERENCANAAN ULANG BALOK DAN KOLOM
DALAM PEMBANGUNAN GEDUNG 6 LANTAI MENGGUNAKAN STRUKTUR BAJA PROFIL WF
STUDI KASUS PROYEK PEMBANGUNAN RUMAH SAKIT BAYANGKARA NGANJUK**

Telah dideteksi tingkat plagiasinya dengan kriteria toleransi $\leq 20\%$, dan dinyatakan Bebas dari Plagiasi pada tanggal 18 Agustus 2021

Jurusan Teknik Sipil

Alwafi Puji Rahario, ST, MT

NIP. 19700829 200012 1 001

Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil

Dr. Eng. Indradi Wiatmiko, ST., M.Eng (Prac)

NIP. 19810220 200604 1 002

HALAMAN IDENTITAS TIM PENGUJI SKRIPSI

Judul Skripsi :

ALTERNATIF PERENCANAAN ULANG BALOK DAN KOLOM DALAM PEMBANGUNAN GEDUNG 6 LANTAI MENGGUNAKAN STRUKTUR BAJA PROFIL WF STUDI KASUS PROYEK PEMBANGUNAN RUMAH SAKIT BAYANGKARA NGANJUK

Nama Mahasiswa : Ammar Iqbal

NIM : 175060107111035

Program Studi : Teknik Sipil

Minat : Struktur

Tim Dosen Penguji :

Dosen Penguji I : Ir. Christin Remayanti Nainggolan, ST., MT

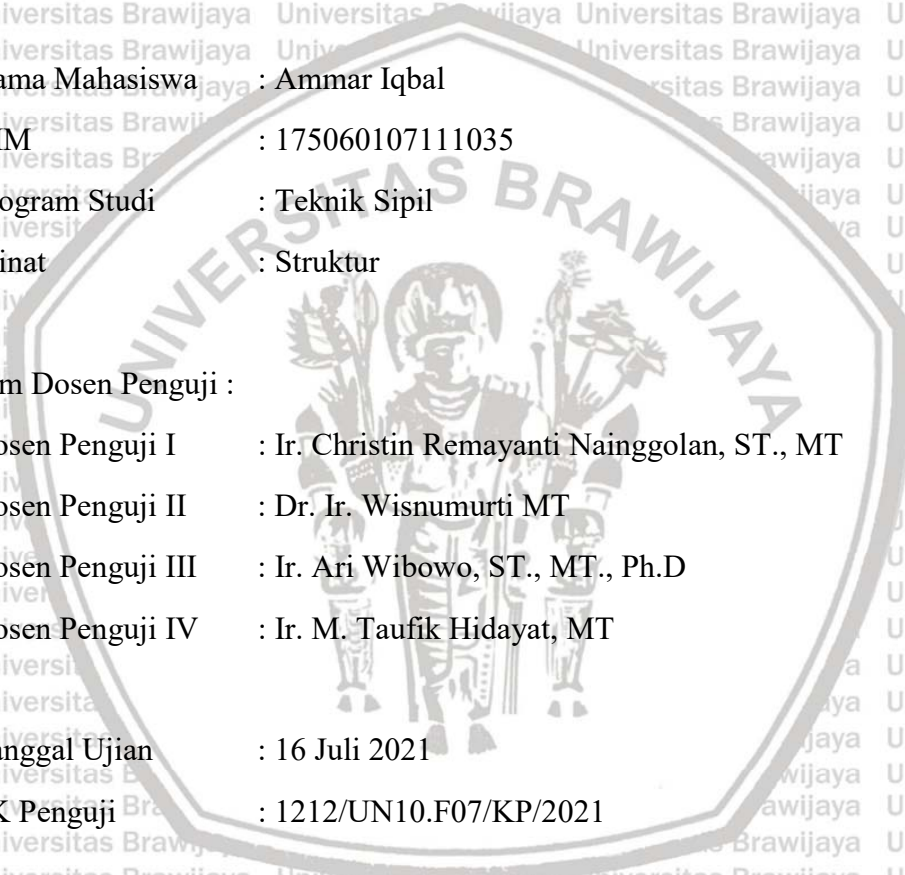
Dosen Penguji II : Dr. Ir. Wisnumurti MT

Dosen Penguji III : Ir. Ari Wibowo, ST., MT., Ph.D

Dosen Penguji IV : Ir. M. Taufik Hidayat, MT

Tanggal Ujian : 16 Juli 2021

SK Penguji : 1212/UN10.F07/KP/2021





*Mengapa Lelah,
Sementara Allah selalu menyemangati dengan
Hayya' alal Falah
Bahwa Jarak kemenangan hanya
Berkisar antara kening dan sajadah*

*Terimakasih untuk Keluarga Tercinta
Bapak dan Ibu Dosen
Teman Seperjuangan Kuliah
Seluruh Elemen Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik
Universitas Brawijaya*

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan anugerah-Nya, sehingga dapat terselesaikannya skripsi ini yang berjudul “ALTERNATIF PERENCANAAN ULANG BALOK DAN KOLOM DALAM PEMBANGUNAN GEDUNG 6 LANTAI MENGGUNAKAN STRUKTUR BAJA PROFIL WF (Studi kasus: Proyek Pembangunan Rumah Sakit Bayangkara Nganjuk)”.

Skripsi ini telah disusun untuk memenuhi persyaratan menyelesaikan studi pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Tidak lupa penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah memberikan bantuan serta dukungan dalam menyelesaikan skripsi ini. Terlebih penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Keluarga dan saudara saya, yang telah memberikan dukungan, semangat, dan motivasi untuk menyelesaikan skripsi ini.
2. Bapak Dr. Ir. Wisnumurti MT. selaku KKJF struktur, Dosen Penasehat Akademik, serta Dosen Pembimbing I yang telah memberikan banyak bimbingan, arahan, masukan dan saran, serta dukungan dalam menyelesaikan skripsi ini.
3. Bapak Ir. Ari Wibowo, ST., MT., Ph.D selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan banyak bimbingan, arahan, masukan dan saran, serta dukungan dalam menyelesaikan skripsi ini.
4. Ibu Christin Remayanti, ST., MT. selaku Dosen Penguji skripsi yang telah memberikan arahan dan masukan dalam penulisan skripsi ini serta telah membimbing dalam perkuliahan di Teknik Sipil.
5. Bapak Dr. Eng. Ir. Alwafi Pujiraharjo ST., MT. selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.
6. Bapak Dr. Eng. Ir. Indradi W., ST., M.Eng. (Prac.) selaku ketua Program Studi S1 Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.
7. Bapak Prof. Dr. Ir. Agoes SMD, MT. yang telah membimbing dalam menyelesaikan tugas Studio Perancangan I serta telah memberikan ilmu dan bimbingan dalam perkuliahan.

8. Bapak Ir. Sugeng Prayitno Budio, MS., IPM. Yang telah membimbing dalam menyelesaikan tugas Studio Perancangan II serta telah memberikan ilmu dan bimbingan dalam perkuliahan.
9. Seluruh Dosen/Tenaga Pengajar, Staff Kependidikan, dan Laboran Teknik Sipil Universitas Brawijaya yang telah memberikan ilmu, bimbingan, serta arahan dalam perkuliahan.
10. Teman-teman yang telah memberikan dukungan dan semangat dalam menyelesaikan skripsi ini.
11. Teman-teman Teknik Sipil Universitas Brawijaya angkatan 2017 dan semua pihak yang telah membantu dalam proses penyelesaian skripsi ini.

Semoga mereka selalu mendapatkan kesehatan dan mendapatkan balasan atas amal baik yang berlipat ganda. Perlu disadari bahwa penyusunan skripsi ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu kritik dan saran yang konstruktif sangat penulis harapkan guna hasil yang lebih maksimal. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat.

Malang, 19 Agustus 2021

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR TABEL.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR LAMPIRAN.....	x
RINGKASAN.....	xii
SUMMARY.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Identifikasi Masalah.....	2
1.3 Rumusan Masalah.....	2
1.4 Pembatasan Masalah.....	2
1.5 Tujuan Penelitian.....	3
1.6 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Pembebanan.....	5
2.1.1 Beban Mati (D).....	5
2.1.2 Beban Hidup (L).....	5
2.1.3 Beban Gempa (E).....	7
2.2 Kombinasi Beban.....	15
2.3 Sistem Struktur.....	15
2.4 Struktur Baja.....	16
2.4.1 Balok.....	17
2.4.2 Kolom.....	20
2.5 Struktur Komposit.....	21
2.6 Sambungan.....	22
2.6.1 Sambungan Baut.....	22
2.6.2 Sambungan las.....	24

2.7 Rincian Anggaran Biaya.....	24
---------------------------------	----

BAB III METODOLOGI PENELITIAN27

3.1 Data Teknis Gedung Awal.....	27
----------------------------------	----

3.2 Metode Dalam Perencanaan.....	27
-----------------------------------	----

3.2.1 Teknik Pengolahan Data.....	27
-----------------------------------	----

3.2.2 Pembahasan Hasil.....	28
-----------------------------	----

3.3 Diagram Alur Perencanaan.....	29
-----------------------------------	----

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN31

4.1 Perancangan Dimensi Struktur.....	31
---------------------------------------	----

4.2.1 Beban Mati (D).....	31
---------------------------	----

4.2.2 Beban Mati Tambahan.....	32
--------------------------------	----

4.2.3 Beban Hidup (L).....	32
----------------------------	----

4.2.4 Beban Gempa.....	33
------------------------	----

4.2.5 Beban Kombinasi.....	40
----------------------------	----

4.3 Pemodelan Struktur Menggunakan SAP2000 V22.....	40
---	----

4.4 Perancangan dan Analisis Kekuatan Balok.....	45
--	----

4.4.1 Kontrol Desain Balok.....	45
---------------------------------	----

4.4.2 Kontrol Tegangan yang Terjadi.....	48
--	----

4.4.2 Kontrol Lendutan.....	49
-----------------------------	----

4.5 Perancangan dan Analisa Kekuatan Kolom.....	50
---	----

4.5.1 Kontrol Desain Kolom.....	50
---------------------------------	----

4.6 Perencanaan Sambungan Baut dan Sambungan Las.....	53
---	----

4.6.1 Sambungan Kolom - Kolom.....	54
------------------------------------	----

4.6.2 Sambungan Pada Balok – Balok.....	59
---	----

4.6.3 Sambungan Pada Balok - Kolom.....	62
---	----

4.7 Rincian Anggaran Biaya.....	68
---------------------------------	----

4.8 Pembahasan.....	70
---------------------	----

4.8.1 Profil Baja WF Pengganti Beton Bertulang.....	70
---	----

4.8.2 Perbandingan Biaya Pekerjaan.....	73
---	----

BAB V PENUTUP75

5.1 Kesimpulan.....	75
---------------------	----

DAFTAR PUSTAKA
LAMPIRAN



(Halaman ini sengaja dikosongkan)



DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Beban Hidup Terdistribusi Merata Minimum, Dan Beban Hidup Terpusat Minimum	5
Tabel 2.2	Kategori Resiko Bangunan Gedung Untuk Beban Gempa	8
Tabel 2.3	Faktor Keutamaan Gempa	9
Tabel 2.4	Klasifikasi Situs	10
Tabel 2.5	Koefisien Situs Fa	10
Tabel 2.6	Koefisien Situs Fv	11
Tabel 2.7	Koefisien Modifikasi Respon	14
Tabel 2.8	Kuat Nominal Baut Dan Batang Berulir	23
Tabel 2.9	Jarak Tepi Minimum Baut	23
Tabel 2.10	Ukuran Minimum Las Sudut	24
Tabel 4.1	Dimensi Awal Balok	31
Tabel 4.2	Berat Sendiri Bahan Bangunan Dan Komponen Gedung	32
Tabel 4.3	Beban Hidup Terdistribusi Minimum Untuk Rumah Sakit	33
Tabel 4.4	Tabel Klasifikasi Situs	33
Tabel 4.5	Kategori Risiko Gempa Dan Faktor Keutamaan Gempa	34
Tabel 4.6	Kategori Desain Seismik	39
Tabel 4.7	Faktor R, Cd, Dan R ₀ Untuk Sistem Pemikul Gaya Seismik	39
Tabel 4.8	Kontrol Desain Balok	48
Tabel 4.9	Kontrol Tegangan Dimensi Balok	49
Tabel 4.10	Kontrol Dimensi Untuk Lendutan Yang Terjadi	50
Tabel 4.11	Harga Satuan Dalam Pekerjaan Besi Dan Aluminium	68
Tabel 4.12	Harga Satuan Pokok Barang Dan Jasa Pemerintah Kota Kediri TA 2021	68
Tabel 4.13	Hasil SAP2000 Untuk Total Bentang Per Dimensi	69
Tabel 4.14	Profil Baja WF Pengganti Beton Bertulang pada Pekerjaan Balok dan Kolom	70
Tabel 4.15	Perbandingan Harga Pekerjaan Profil Baja WF Dengan Beton Bertulang	73

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



DAFTAR GAMBAR

Halaman

Gambar 2.1 S₁ Peta percepatan spektrum respons MCE_R periode 1 detik.(Sumber : SNI. 1726:2019)7

Gambar 2.2 S_s Peta percepatan spektrum respons MCE_R periode 0,2.detik (Sumber : SNI 1726:2019)7

Gambar 2.3 Spektrum respon desain (Sumber : SNI 1726:2019)12

Gambar 2.4 Berbagai jenis struktur dari komposit (*Pujianto,2011*).....22

Gambar 4.2 S_s Gempa maksimum yang dipertimbangkan resiko tertarget (MCE_R)35

Gambar 4.3 S₁ Gempa maksimum yang dapat dipertimbangkan resiko tertarget (MCE_R)35

Gambar 4.4 Tabel 6 SNI 1726:201936

Gambar 4.5 Tabel 7 SNI 1726:201936

Gambar 4.6 Spektrum respon desain37

Gambar 4.7 Peta transisi periode panjang (T_L).....37

Gambar 4.8 Grid System41

Gambar 4.9 Material42

Gambar 4.10 Frame Section42

Gambar 4.11 Respons Spektrum.....43

Gambar 4.12 Pemodelan pada struktur Gedung RS Bayangkara Nganjuk.....44

Gambar 4.13 Denah Perletakan Sambungan Kolom-Kolom.....57

Gambar 4.14 Tampak Depan Pada Sambungan Kolom-Kolom58

Gambar 4.15 Tampak Samping Pada Sambungan Kolom-Kolom58

Gambar 4.16 Denah Perletakkan Sambungan Balok – Balok60

Gambar 4.17 Tampak Atas Pada Sambungan Balok - Balok.....61

Gambar 4.18 Tampak depan pada sambungan balok -balok.....61

Gambar 4.19 Tampak samping pada sambungan balok induk-balok anak61

Gambar 4.20 Denah Perletakan Sambungan Balok-Kolom66

Gambar 4.21 Tampak Atas Pada Sambungan Balok-Kolom66

Gambar 4.22 Tampak Depan Pada Sambungan Balok-Kolom67

Gambar 4.23 Tampak Samping Pada Sambungan Balok-Kolom.....67



Lampiran 1. Denah Perencanaan Struktur Baja Profil WF.....	79
Lampiran 2. Faktor Partisipasi Massa.....	80



(Halaman ini sengaja dikosongkan)



RINGKASAN

Ammar Iqbal, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juli 2021,
*Alternatif Perencanaan Ulang Balok Dan Kolom Dalam Pembangunan Gedung 6 Lantai
Menggunakan Struktur Baja Profil WF*, Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Wisnumurti MT. dan Ir.
Ari Wibowo, ST., MT., Ph.D.

Proses untuk mendesain struktur pada gedung merupakan perencanaan pada struktur gedung yang dibuat kokoh serta dapat diketahui kebutuhan biaya yang akan dikeluarkan. Biaya dalam perencanaan pembangunan bisa terlampaui dengan cara mempertimbangkan jenis struktur yang akan dipakai, karena jenis struktur akan dipakai nantinya akan dipengaruhi oleh biaya yang dikeluarkan demi terlaksananya suatu pekerjaan. Jenis struktur yang dipakai bisa dari baja maupun beton. Baja dan beton adalah dua dari jenis material berbeda yang sering dipakai di dalam suatu konstruksi bangunan. Dari baja dan beton ini bisa untuk saling menopang satu dengan lain, tetapi dapat juga untuk berdiri sendiri-sendiri.

Dalam perencanaan suatu struktur bangunan, jika nilai dari beban nominal terfaktor (ϕP_n) terlalu besar daripada nilai beban ultimate (P_u) pada struktur kolom akan terjadi yang namanya pemborosan. Begitu juga pada struktur balok jika nilai dari momen nominal terfaktor (ϕM_n) terlalu besar daripada nilai momen ultimate (M_u) akan terjadi juga yang namanya pemborosan. Salah satu solusi dari permasalahan ini adalah melalui perencanaan ulang pada struktur balok dan kolom menggunakan struktur baja profil WF untuk menekan angka pemborosan yang terjadi.

Perencanaan ulang pada balok dan kolom menggunakan struktur baja WF ini dalam pembangunan RS Bayangkara Nganjuk bukan hanya dilihat dari faktor angka pemborosan dimana beban terfaktor (ϕP_n) terlampaui besar daripada beban *ultimate* (P_u) pada kolom serta momen rencana terfaktor (M_R) terlampaui besar dari momen *ultimate* (M_u), tetapi juga faktor yang lain seperti apakah tegangan yang terjadi sudah memenuhi syarat dari tegangan yang diizinkan, serta faktor lendutan yang terjadi apakah sudah memenuhi syarat aman ataukah belum. Yang namanya mengganti dari beton bertulang ke baja WF maka kekuatan yang dihasilkan harus setara. Maka dari itu meskipun beban terfaktor (ϕP_n) mendekati daripada beban *ultimate* (P_u) pada kolom serta momen rencana terfaktor (M_R) mendekati momen *ultimate* (M_u) bisa dikatakan hemat/minim dari kata pemborosan tetapi belum tentu kekuatan yang dihasilkan dari baja WF setara kekuatannya dari beton bertulang.

Kata Kunci : perencanaan, angka pemborosan, beban terfaktor, beban *ultimate*, momen terfaktor, momen *ultimate*.

(Halaman sengaja dikosongkan)



SUMMARY

Ammar Iqbal, *Departement of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Brawijaya University, July 2021, Redesign Alternative of Beams And Columns In The Construction of 6-Storey Building Using WF Profile Steel Structure (Case Study : Bayangkara Nganjuk Hospital), Supervisor : Dr. Ir. Wisnumurti MT. and Ir. Ari Wibowo, ST., MT., Ph.D.*

The process to design the structure in the building is planning on the structure of the building that is made sturdy and can be known the cost needs that will be incurred. The cost in planning the development can be exceeded by considering the type of structure to be used, because the type of structure will be used later will be influenced by the costs incurred for the implementation of a work. The type of structure used can be steel or concrete. Steel and concrete are two different types of materials that are often used in a building construction. From steel and concrete this can be to support each other, but it can also stand alone.

In the planning of a building structure, if the value of the load nominal factor (ϕP_n) is too large than the ultimate load value (P_u) on the column structure will occur which is called a waste. Similarly, on the structure of the beam if the value of the factored nominal moment (ϕM_n) is too large than the value of the ultimate moment (M_u) will occur also the name of waste. One solution to this problem is through re-planning the beam and column structures using WF profile steel structures to reduce the number of wastes that occur.

The re-planning of the beams and columns using WF steel structure in the construction of Bayangkara Nganjuk Hospital is not only seen from the waste factor where the factored load (ϕP_n) is too large than the ultimate load (P_u) on the column and the factored plan moment (M_R) is too large from the ultimate moment (M_u), but also other factors such as whether the voltage that occurs is already qualified from the permissible voltage, as well as the factor of the lendutan that occurs whether it is safe or not. The name of the replacement of reinforced concrete to WF steel then the resulting strength must be equal. Therefore, even though the factored load (ϕP_n) is closer than the ultimate load (P_u) on the column as well as the moment of the factored plan (M_R) approaching the ultimate moment (M_u) can be said to be frugal / minimal from the word waste but not necessarily the power produced from WF steel equivalent strength of reinforced concrete.

Keywords : planning, waste figures, factored load, ultimate load, factored moment, ultimate moment.

(Halaman sengaja dikosongkan)



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Proses untuk mendesain struktur pada gedung merupakan perencanaan pada struktur gedung yang dibuat kokoh serta dapat diketahui kebutuhan biaya yang akan dikeluarkan. Biaya dalam perencanaan pembangunan bisa terlampaui dengan cara mempertimbangkan jenis struktur yang akan dipakai, karena jenis struktur akan dipakai nantinya akan dipengaruhi oleh biaya yang dikeluarkan demi terlaksananya suatu pekerjaan. Jenis struktur yang dipakai bisa dari baja maupun beton. Baja dan beton adalah dua dari jenis material berbeda yang sering dipakai di dalam suatu konstruksi bangunan. Dari baja dan beton ini bisa untuk saling menopang satu dengan lain, tetapi dapat juga untuk berdiri sendiri-sendiri. Sehingga dengan begitu banyaknya struktur dengan bentuk dan fungsi yang hampir sama bisa dibangun dengan baja maupun beton.

Proyek pembangunan Gedung Rumah Sakit Bayangkara Nganjuk saat ini, yang sebelumnya menggunakan beton bertulang pada balok dan kolomnya direncanakan ulang menggunakan profil baja WF. Perubahan struktur yang terjadi dari beton bertulang ke baja akan mempengaruhi terhadap jenis struktur yang lain misalnya, plat dan pondasi tentunya akan berubah biaya dalam proses pengerjaan proyek tersebut. Dari sinilah perlu adanya analisis rasio struktur pada beton bertulang dengan struktur baja agar dapat diketahui terhadap keunggulan dan kelemahan masing-masing. Dengan cara menganalisis ulang hitungan struktur proyek pembangunan Gedung Rumah Sakit Bayangkara Nganjuk berlantai 6 ini dapat diharapkan bisa mengetahui nilai besarnya beban *ultimate* (P_u) yang bekerja terhadap struktur kolom serta momen *ultimate* (M_u) pada struktur balok. Nilai dari beban *ultimate* (P_u) yang bekerja pada struktur kolom sangat berpengaruh pada besarnya nilai beban nominal terfaktor (ϕP_n) disebabkan oleh nilai daripada beban nominal terfaktor (ϕP_n) lebih besar daripada beban *ultimate* (P_u) agar struktur pada gedung tersebut bisa dikatakan aman, jika nilai dari beban nominal faktor (ϕP_n) terlampaui besar daripada nilai beban *ultimate* (P_u) maka akan terjadi yang namanya pemborosan. Begitu juga pada struktur balok jika nilai dari momen nominal terfaktor (ϕM_n) terlalu besar daripada nilai momen *ultimate* (M_u) akan terjadi juga yang namanya pemborosan. Salah satu solusi dari permasalahan ini

adalah melalui perencanaan ulang pada struktur balok dan kolom menggunakan struktur baja profil WF untuk menekan angka pemborosan yang terjadi.

1.2 Identifikasi Masalah

Dalam perencanaan suatu struktur bangunan, jika nilai dari beban nominal terfaktor (ϕP_n) terlalu besar daripada nilai beban *ultimate* (P_u) pada struktur kolom akan terjadi yang namanya pemborosan. Begitu juga pada struktur balok jika nilai dari momen nominal terfaktor (ϕM_n) terlalu besar daripada nilai momen *ultimate* (M_u) akan terjadi juga yang namanya pemborosan. Salah satu solusi dari permasalahan ini adalah melalui perencanaan ulang pada struktur balok dan kolom menggunakan struktur baja profil WF untuk menekan angka pemborosan yang terjadi.

1.3 Rumusan Masalah

1. Dimensi profil baja berapakah yang tepat digunakan sebagai pengganti beton bertulang dalam pekerjaan balok dan kolom ?
2. Bagaimanakah perbandingan dari biaya yang dihasilkan dari perubahan pekerjaan balok dan kolom menggunakan struktur beton bertulang dan struktur baja ?

1.4 Pembatasan Masalah

Di dalam suatu penelitian akan dihadapkan dengan yang namanya banyak sekali macam persoalan, dan dengan parameter dari hasil yang didapatkan mampu diberikan hasil yang diinginkan serta secara optimum. Berikut batas-batas dari permasalahan pada perencanaan ulan ini :

1. Dalam analisis perencanaan struktur ulang ini pada proyek pembangunan Gedung Rumah Sakit Bayangkara Nganjuk ditinjau terhadap balok dan kolom menggunakan konstruksi baja.
2. Dari struktur baja yang akan dipakai nantinya menggunakan profil I tunggal dengan mutu baja BJ 37
3. Perencanaan permodelan pada struktur 2D ini dengan menggunakan *Structure Analysis SAP2000 V22*
4. Perhitungan struktur atap tidak dihitung.

5. Perbandingan harga pekerjaan dari balok dan kolom antara yang menggunakan beton bertulang dengan struktur baja ini walaupun bisa dilakukan bukanlah perbandingan yang 100% *head to head* karena masing-masing berdasarkan dari asumsi, pembebanan dan gaya dalam yang berbeda dan juga untuk acuan SNI yang digunakan berbeda antara SNI dari perencanaan proyek dengan SNI dalam penelitian ini.
6. Karena keterbatasan data yang diperoleh maka untuk harga pada per satuan pokok barang dan jasa diambil dari Kota Kediri. Diasumsikan sama untuk harga pada per satuan pokok barang dan jasa dari Kota Kediri dengan Kota Nganjuk.
7. Pemilihan profil WF tidak dilakukan secara optimum.

1.5 Tujuan Penelitian

1. Pada penelitian ini ditujukan untuk menentukan dimensi profil baja yang bisa digunakan sebagai pengganti beton bertulang dalam pekerjaan balok kolom.
2. Pada penelitian ini ditujukan untuk dapat diketahui perbandingan harga pekerjaan pada struktur balok dan kolom jika menggunakan beton bertulang dengan menggunakan struktur baja profil WF.

1.6 Manfaat Penelitian

Manfaat yang tentu bisa diambil dari penelitian ini adalah memperoleh wawasan pada peneliti berikutnya dan juga bagi semua orang yang bergerak di bidang perencanaan konstruksi tentang efisiensi penggunaan profil baja WF pengganti beton bertulang dalam penggunaan balok kolom dan juga sebagai pembanding dalam rencana anggaran biaya yang digunakan dalam balok kolom dari beton bertulang dengan profil baja WF.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)





BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pembebanan

Pembebanan dan kombinasi beban mengacu pada SNI 1727:2020, serta beban gempa yang berpedoman pada SNI 1726:2019. Dalam perencanaan struktur gedung dan non struktur lainnya bisa terbagi beberapa aspek yaitu :

2.1.1 Beban Mati (D)

Beban mati (D) merupakan berat beban dari keseluruhan bahan konstruksi pada gedung atau non struktur lainnya yang merupakan benda mati seperti dinding, tangga, plafon, lantai, *finishing*, atap, komponen arsitektural serta peranti layan yang terpasang lainnya menurut dari SNI 1727:2020.

2.1.2 Beban Hidup (L)

Beban hidup (L) merupakan berat beban yang disebabkan oleh penghuni atau pengguna pada gedung atau struktur lainnya yang bukan termasuk ke dalam kategori beban mati/beban konstruksi ini mengacu dari SNI 1727:2020. Maka dari itu, akibat dari penghunian dan penggunaan suatu gedung atau struktur lainnya dalam merencanakan suatu gedung harus memakai beban maksimum yang dapat digunakan. Tetapi bisa kurang daripada beban yang merata minimum yang sudah ada ketentuan berdasarkan tabel beban hidup terdistribusi.

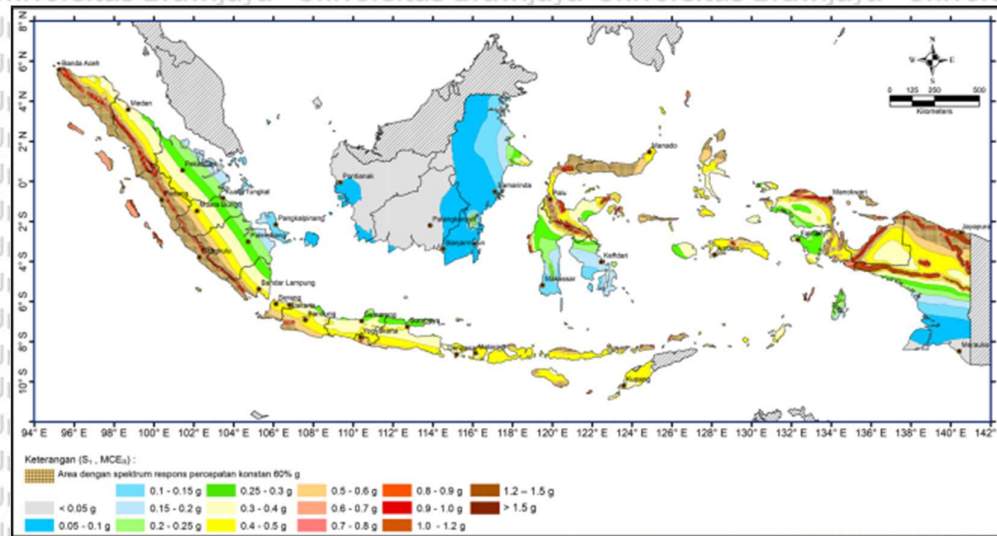
Tabel 2.1
 Beban Hidup yang Terdistribusi Merata Minimum, Serta Beban Hidup yang Terpusat Minimum

Hunian atau penggunaan	Merata psf (kN/m ²)	Terpusat lb (kN)
Susunan tangga, rel pengamandan batang pegangan	Lihat gambar 4.5	
Helipad	60 (2,87) de tidak boleh direduksi	e,t,g
Rumah sakit:		
Ruang operasi, laboratorium	60 (2,87)	1000 (4,45)
Ruang pasien	40 (1,92)	1000 (4,45)
Koridor diatas lantai pertama	80 (3,83)	1000 (4,45)
Hotel (lihat rumah tinggal)		
Perpustakaan		
Ruang baca	60 (2,87)	1000 (4,45)
Ruang penyimpanan	150 (7,18) ^{ah}	1000 (4,45)
Koridor diatas lantai pertama	80 (3,83)	1000 (4,45)
Pabrik		2000 (8,90)
Ringan	125 (6,00) ^a	3000
Berat	250 (11,97) ^a	13,4
Gedung perkantoran:		
Ruang arsip dan komputer harus direncanakan untuk beban yang lebih berat berdasarkan pada perkiraan hunia		
Lobi dan koridor lantai pertama	100 (4,79)	2000 (8,90)
Kantor	50 (2,40)	2000 (8,90)
Koridor diatas lantai pertama	80 (3,83)	2000 (8,90)
Lembaga hukum		
Blok sel	40 (1,92)	
Koridor	100 (4,79)	
Tempat rekreasi		
Tempat bowling, kolam renang, dan penggunaan yang sama	75 (3,59) ^a	
Bangsas dansa dan ruang dansa	100 (4,79) ^a	
Gimnasium	100 (4,79) ^a	
Tempat nonton baik terbuka atau tertutup	100 (4,79) ^a	
Stadium dan tribun/area dengan tempat duduk tetap (terikat pada lantai)	60 (2,87) ^a	
Rumah tinggal		
Hunia (satu keluarga dan dua keluarga)		
Loteng yang tidak dapat didiami tanpa gudang	10 (0,48) ^l	
Loteng yang tidak dapat didiami dengan gudang	20 (0,96) ^m	
Loteng yang dapat didiami dan ruang tidur	30 (1,44)	
Semua ruang kecuali tangga dan balkon	40 (1,92)	
Semua hunian rumah tinggal lainnya		
Ruang pribadi dan koridor yang melayani mereka	40 (1,92)	
Ruang publik dan koridor yang melayani mereka	100 (4,79)	

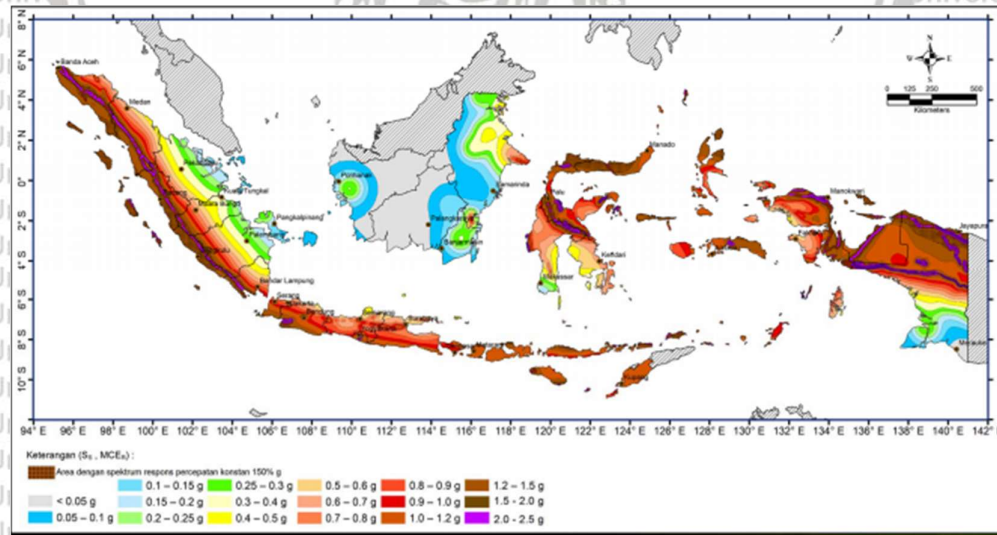
(Sumber :SNI 1727:2020)

2.1.3 Beban Gempa (E)

Parameter pada percepatan gempa yang terjadi dapat ditentukan oleh parameter gerak tanah dan gempa maksimal yang dapat dievaluasi berdasarkan resiko-target (MCE_R) sesuai kelas situs.



Gambar 2.1 S_1 Peta percepatan spektrum respons MCE_R periode 1 detik (Sumber : SNI 1726:2019)



Gambar 2.2 S_s Peta percepatan spektrum respons MCE_R periode 0,2 detik (Sumber : SNI 1726:2019)

a. Kategori resiko pada jenis bangunan yang dipakai
 Dalam SNI 1726:2019 Pasal 4.1.2, didasarkan pada fungsi layannya gedung atau struktur lainnya akan dibedakan dengan kategori resiko sebagai berikut :

Tabel 2.2
 Kelompok Resiko Bangunan pada Gedung untuk Beban Gempa

Jenis pemanfaatan	Kategori resiko
Gedung dan nongedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain: - Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya	I
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/ rumah susun - Pusat perbelanjaan/ mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik	II
Gedung dan nongedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo	III
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: - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi	
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.	IV

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

(Sumber : SNI 1726:2019)

Tabel 2.3
 Faktor Keutamaan Pada Gempa

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

(Sumber: SNI 1726:2019)

b. Klasifikasi situs

Di dalam faktor amplifikasi terbagi atas dua faktor implikasi yaitu dengan percepatan yang mewakili getaran pada periode 1 detik (F_v) dan dengan percepatan getaran yang mewakili periode secara pendek (F_a). Sedangkan untuk nilai dari respon spektrum percepatan periode secara pendek (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{M1}) bisa didapat dengan rumus seperti berikut :

$$S_{MS} = F_a \cdot S_s \dots\dots\dots(2-1)$$

$$S_{M1} = F_v \cdot S_1 \dots\dots\dots(2-2)$$

dengan:

S_s : parameter respon spektral percepatan gempa MCER terpetakan untuk periode pendek (0,2 detik)

S_1 : parameter respon spektral percepatan gempa MCER terpetakan untuk periode 0,1 detik.

Tabel 2.4
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
Kelas situs	\bar{v}_s (m/detik)	\bar{N} atau \bar{N}_{ch}	\bar{s}_u (kPa)
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

(Sumber: SNI 1726:2019)

Tabel 2.5
Koefisien Situs Fa

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 0

(Sumber: SNI 1726:2019)

Tabel 2.6
Koefisien Pada Situs Fv

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode 1 detik, S_1					
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 \leq 0,2$	$S_1 \leq 0,3$	$S_1 \leq 0,4$	$S_1 \leq 0,5$	$S_1 \leq 0,6$
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	1,9	1,8	1,7
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
SF	SS ^(a)					

CATATAN :

- (a) Untuk nilai-nilai antara S_1 dapat dilakukan interpolasi linier
- (b) SS= Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik, lihat 6.10.1

(Sumber: SNI.1726:2019)

c. Parameter pada Percepatan Spektral Desain

Nilai dari percepatan spektral desain untuk periode pendek (S_{DS}) sedangkan untuk periode 1 detik (S_{D1}) ditentukan dengan cara :

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \dots \dots \dots (2-3)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \dots \dots \dots (2-4)$$

dengan :

- S_{DS} : parameter respons *spectral* percepatan desain pada periode pendek.
- S_{D1} : parameter respons *spectral* percepatan desain pada periode 1 detik.

d. Spektrum Respon Desain

Berikut beberapa kategori yang harus dipenuhi agar didapat nilai dari respon spektrum desain :

- 1. Untuk periode $\leq T_0$, nilai spektrum respon percepatan desain (S_a) dengan rumus sebagai berikut :

$$S_a = S_{DS} \cdot (0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0}) \dots \dots \dots (2-5)$$

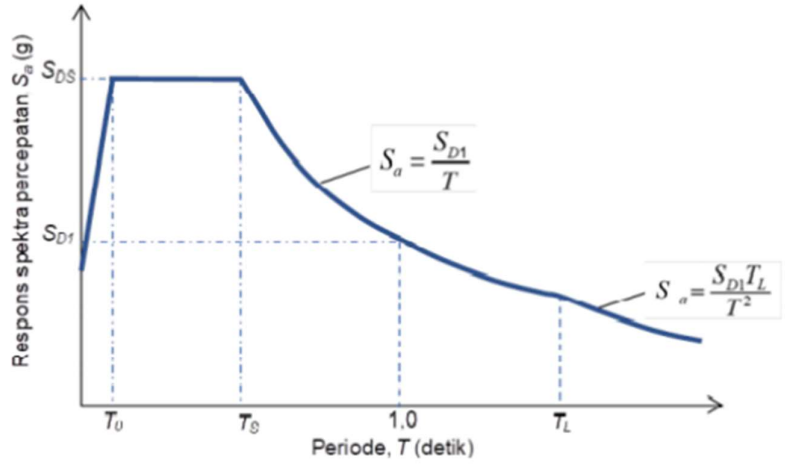
- 2. Untuk periode $\geq T_0$ dan $\leq T_s$ Spektrum respon perencanaan pada desain $S_a = S_{D1}$

- 3. Untuk periode $> T_s$ spektrum respon desain (S_a) memakai rumus sebagai berikut :

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T}, \text{ dengan } T : \text{periode respon fundamental pada struktur.} \dots \dots \dots (2-6)$$

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \dots \dots \dots (2-7)$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \dots \dots \dots (2-8)$$



Gambar 2.3 Spektrum respon desain (Sumber : SNI 1726:2019)

e. Gaya dasar pada seismik

Untuk menghitung gaya dasar seismic (V) berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.8.1 adalah sebagai berikut ini :

$$V = C_s \times W \dots \dots \dots (2-9)$$

dengan :

C_s = koefisien respon seismik

W = berat seismik efektif

Untuk menentukan koefisien respon seismic C_s ditentukan berdasarkan SNI 1726-2019 Pasal 7.8.1.1 menggunakan rumus :

$$C_s = \frac{S_{DS}}{R} \frac{1}{I_e} \dots \dots \dots (2-10)$$

dengan :

S_{DS} = parameter nilai percepatan pada respon spectral desain di rentang periode pendek

R = koefisien modifikasi respon

I_e = faktor keutamaan pada gempa



Ketentuan :

1. Nilai C_s , yang terhitung tidak harus lebih dari hasil pada rumus berikut :

Untuk $T \leq T_L$

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e}\right)} \dots \dots \dots (2-11)$$

Untuk $T > T_L$

$$C_s = \frac{S_{D1} T_L}{T^2 \left(\frac{R}{I_e}\right)} \dots \dots \dots (2-12)$$

2. Dan untuk besarnya nilai dari C_s yang terhitung tidak boleh kurang dari hasil rumus sebagai berikut:

$$C_{s \text{ (min)}} = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01 \dots \dots \dots (2-13)$$

3. Sebagai tambahan pada struktur yang berlokasi di daerah diaman $S_1 \geq 0,6g$ maka C_s memakai rumus :

$$C_s = \frac{S_1}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \dots \dots \dots (2-14)$$

4. Periode fundamental (T) untuk struktur yang memiliki ketinggian bangunan tidak lebih dari 12 tingkat dengan sistem pemikul gaya seismiknya terdiri atas, rangka pemikul momen yang terdiri dari beton seluruhnya atau baja dan ketinggian rerata pada tingkat sekurangnya 3 m yaitu:

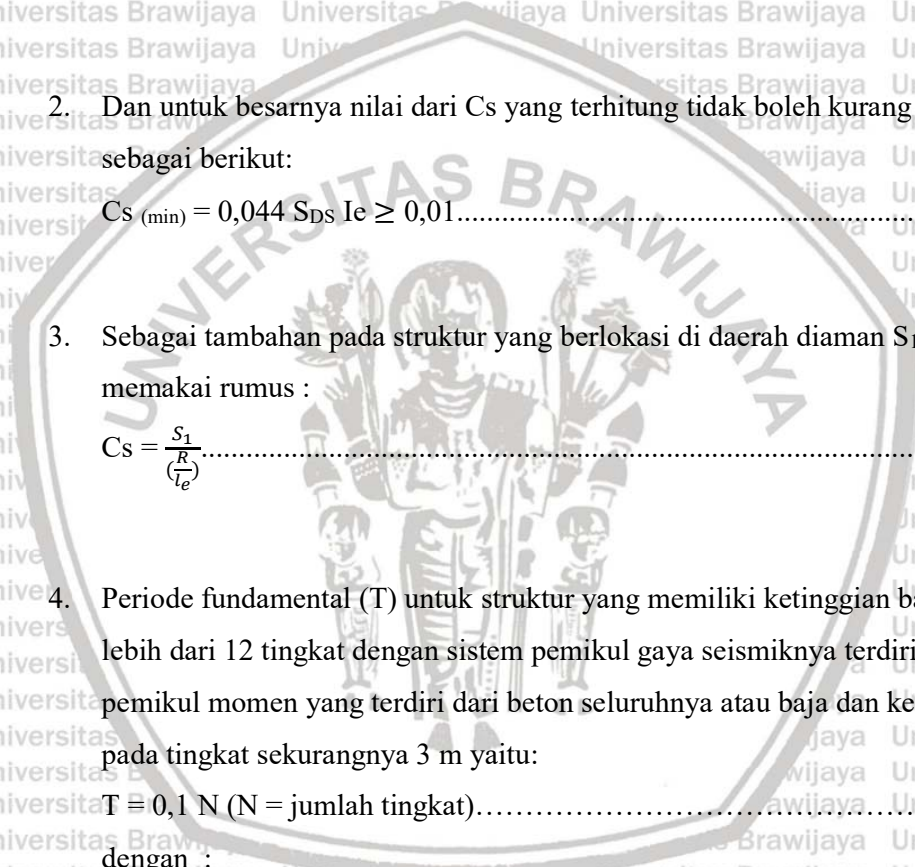
$$T = 0,1 N \text{ (N = jumlah tingkat)} \dots \dots \dots (2-15)$$

dengan :

S_{D1} = parameter percepatan pada respon spektral desain pada periode 1 detik

T = periode fundamental pada struktur (detik)

S_1 = parameter percepatan pada respon spektral maksimum yang dipetakan



Tabel 2.7
Koefisien Modifikasi Respon

Sistem pemikul gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R^a	Faktor kuat lebih sistem, Ω_b^b	Faktor pembesaran defleksi, C_d^c	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m) ^d				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D ^e	E ^e	F ^f
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	TI
3. Rangka baja pemikul momen menengah	4½	3	4	TB	TB	10 ^g	TI ^h	TI ^h
4. Rangka baja pemikul momen biasa	3½	3	3	TB	TB	TI ⁱ	TI ⁱ	TI ⁱ
5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus ^m	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
7. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2½	TB	TI	TI	TI	TI
8. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
9. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen menengah	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
10. Rangka baja dan beton komposit terkekang parsial pemikul momen	6	3	5½	48	48	30	TI	TI
11. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen biasa	3	3	2½	TB	TI	TI	TI	TI
12. Rangka baja canal dingin pemikul momen khusus dengan pembautan ⁿ	3½	3 ^o	3½	10	10	10	10	10

Sumber: SNI 1726:2019 (2019)

f. Distribusi gaya gempa

Gaya gempa lateral (F_x) (kN) yang muncul pada seluruh tingkat agar ditentukan dengan rumus :

$$F_x = C_{vx} \times V \dots \dots \dots (2-16)$$

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \dots \dots \dots (2-17)$$

dengan :

F_i = bagian daripada geser dasar seismik (v) pada tingkat ke- i (kN)

C_{vx} = faktor distribusi vertikal

V = gaya lateral desain total/geser pada dasar struktur (kN)

w_i dan w_x = berat beban dari seismik efektif total struktur (W) yang berada pada tingkat ke- i atau ke- x

h_i dan h_x = tinggi (h) dari dasar sampai tingkat ke- i atau ke- x (m)

k = eksponen terkait pada periode struktur adalah :

- Untuk struktur dengan $T < 0,5$ detik, $k = 1$
- Untuk struktur dengan $T > 2,5$ detik, $k = 2$
- Untuk struktur dengan $0,5 < T < 2,5$ detik, $k = 2$ atau harus didapatkan dengan interpolasi linier antara 1 sampai 2

2.2 Kombinasi Beban

Menurut SNI 1726 : 2019 menentukan kombinasi beban untuk metode *ultimate* dengan persamaan :

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

2.3 Sistem Struktur

Bangunan merupakan campuran beberapa elemen struktur 3D. Sedangkan guna daripada system struktur untuk menahan berat beban bekerja sepenuhnya terhadap bangunan secara efektif dan aman. Guna lain daripada system struktur untuk mentransfer beban yang bekerja ke dasar tanah melewati pondasi. Suatu system struktur mempunyai rangka pada ruang penyangga beban gravitasi lengkap, sedangkan dengan beban lateral yang diakibatkan gempa nantinya akan disangga oleh system rangka pemikul momen dimana dengan mekanisme system lentur. System rangka pemikul momen ini dibagi menjadi 3 bagian yaitu SRPMK (Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus), SRPMM (Sistem Rangka Pemikul Momen menengah), dan SRPMB (Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa).

a. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus adalah system rangka portal yang bisa bersifat daktil penuh dengan pendetilan khusus. Portal yang didesain SRMPK haarus dapat mempertahankan ondisi kekuatan kolom lebih tinggi daripada balok dan diharapkan bisa mengalami deformasi yang lebih besar jika terbebani dari beban gempa rencana.

b. Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)

Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah merupakan metode perancangan struktur sistem rangka pemikul momen dengan cara menekankan bahwa kesiagaan pada kegagalan

struktur dari runtuh geser. Sistem ini juga bisa dipakai dalam hitungan struktur bangunan dengan wilayah tingkat kecepatan sedang.

c. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMB)

Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa merupakan sistem rangka pemikul momen yang memiliki perubahan bentuk inelastic dan juga memiliki tingkat daktilitas yang kecil tetapi memiliki kekuatan besar. Sistem ini juga bisa digunakan dalam perhitungan sstruktur bangunan pada wilayah dengan tingkat kecepatan rendah.

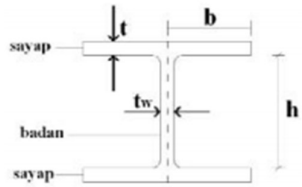
2.4 Struktur Baja

Struktur baja merupakan suatu jenis baja yang digunakan untuk memikul beban berdasarkan pertimbangan dari ekonomi dan kekuatan sifatnya. Struktur baja di Indonesia sudah banyak yang dipakai dalam pembangunan seperti untuk kolom pada bangunan atau struktur lainnya yang bertingkat, sistem penyangga pada atap, hangar, jembatan, dinding penyangga tanah, pondasi pada tiang pancang, dan lain sebagainya.

Menurut Kozai Club 1983 terdapat beberapa keunggulan yang bisa didapatkan dari konstruksi struktur baja yaitu memiliki kekakuan yang merata dan tinggi yang terjadi terhadap gaya tekan maupun gaya tarik bervariasi dari 300 Mpa – 2000 Mpa. Dikarenakan kekuatan yang tinggi ini menyebabkan struktur baja mempunyai dimensi yang lebih kecil dibanding dengan struktur dari material beton bertulang. Maka struktur baja lebih ringan dibandingkan dengan struktur beton bertulang walaupun berat jenis dari baja lebih tinggi daripada beton bertulang.

2.4.1 Balok

1. Cek penampang (SNI: 1729:2020 tabel B4.1b)



Pelat sayap :

$$\lambda = \frac{bf}{2xt}$$

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

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

Pelat badan :

$$\lambda = \frac{h}{t_w} \dots \dots \dots (2-18)$$

$$\lambda_p = 3,76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \dots \dots \dots (2-19)$$

$$\lambda_r = 5,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \dots \dots \dots (2-20)$$

Untuk penjelasan mengenai penampang I-WF kompak, non kompak, dan langsing pada komponen struktur yang menahan ditentukan oleh kelangsingan dari elemen tekan yang diatur pada SNI 1729:2020 Pasal F2 dan F3

a. Penampang kompak

Pada penampang kompak dimana $\lambda \leq \lambda_p$ maka, kuat lentur nominal penampang adalah:

$$M_n = M_p = Z_x \times b \times f_y \dots \dots \dots (2-21)$$

b. Penampang non kompak

Pada penampang dengan $\lambda_p < \lambda \leq \lambda_r$ maka, kuat lentur nominal pada penampang adalah :

$$M_n = (M_p - (M_p - 0,7 \cdot f_y \cdot S_x)) \frac{(\lambda - \lambda_{pf})}{(\lambda_{rf} - \lambda_{pf})} \dots \dots \dots (2-22)$$

c. Penampang langsing

Pada pelat sayap dengan $\lambda \geq \lambda_r$ maka, kuat lentur nominal pada penampang adalah:

$$M_n = \frac{0,9 E_k c S_x}{\lambda^2} \dots \dots \dots (2-23)$$

dengan :

$\lambda_{pf} = \lambda_p$ batas langsing sayap kompak

$\lambda_{rf} = \lambda_r$ batas langsing sayap non kompak

$$K_c = \frac{4}{\sqrt{\frac{h}{t_w}}} \text{ dengan } 0,35 \leq K_c \leq 0,76$$

Dengan nilai reduksi lentur $\Phi_b = 0,9$ maka, untuk kontrol lentur balok :

$$M_u < \Phi M_n \dots \dots \dots (2-24)$$

2. Periksa tekuk torsi lateral

L_b = jarak antar titik-titik yang dikekang untuk menahan perpindahan lateral sayap tekan/torsi

L_p = batas panjang tidak dikekang secara lateral untuk kondisi batas leleh

L_r = batas panjang maksimum tidak dikekang secara lateral pada kondisi batas tekuk torsi-lateral *inelastic*

a. Apabila $L_b \leq L_p$, maka keadaan batas tekuk torsi lateral tidak berlaku

b. Apabila $L_p \leq L_b \leq L_r$

$$M_n = C_b \left[M_p - (M_p - 0,7 F_y S_x) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p \dots \dots \dots (2-25)$$

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

dengan:

- M_{maks} = nilai mutlak momen maksimum dalam segmen tak terbreis, kip-in. (N-mm)
- M_A = nilai mutlak momen pada titik seperempat dari segmen tak terbreis, kip-in. (N-mm)
- M_B = nilai mutlak momen pada titik tengah segmen tak terbreis, kip-in. (N-mm)
- M_C = nilai mutlak momen pada titik tiga perempat segmen tak terbreis, kip-in. (N-mm)



c. Apabila $L_b > L_r$

$$M_n = F_{cr} S_x < M_p \dots \dots \dots (2-26)$$

$$L_p = 1,76 r_y \sqrt{\frac{E}{f_y}} \dots \dots \dots (2-27)$$

$$L_r = 1,95 r_{ts} \frac{E}{0,7 F_y} \sqrt{\left(\frac{J_c}{S_x h_0}\right)^2 + \sqrt{\left(\frac{J_c}{S_x h_0}\right)^2 + 6,76 \left(\frac{0,7 F_y}{E}\right)^2}} \dots \dots \dots (2-28)$$

dengan :

$$h_0 = d - t_f$$

$$r_{ts}^2 = \frac{\sqrt{I_y C_w}}{S_x}, \text{ dengan } C_w = \frac{I_y h_0^2}{4}$$

C = 1 untuk profil I simetris ganda

$$J = \frac{(2.b.t_f^3) + (d.t_w^3)}{3}$$

3. Cek kekuatan geser balok

$$\frac{h}{t_w} \dots \dots \dots (2-29)$$

$$2,24 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \dots \dots \dots (2-30)$$

Karena $\frac{h}{t_w} < 2,24 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$ maka $\phi_v = 1$ dan $C_v = 1$

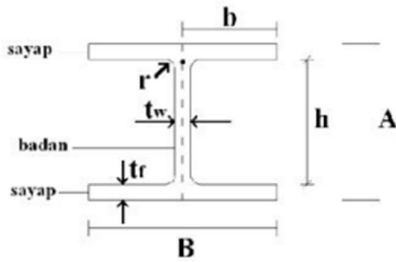
Kuat geser nominal ditentukan :

$$V_n = 0,6 F_y A_w C_v \dots \dots \dots (2-31)$$

Maka rasio pada kapasitas geser balok :

$$\text{Rasio shear} = \frac{v_u}{\phi_v \times V_n} < 1 \dots \dots \dots (2-32)$$

2.4.2 Kolom



1. Cek penampang

Penampang tidak diperbolehkan termasuk kategori penampang langsing :

Pelat sayap :

$$\lambda = \frac{bf}{2xtf}$$

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

$$\lambda_r = 0,56 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

Pelat badan :

$$\lambda = \frac{h}{tw} \dots \dots \dots (2-33)$$

$$\lambda_p = 3,76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \dots \dots \dots (2-34)$$

$$\lambda_r = 1,49 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \dots \dots \dots (2-35)$$

2. Tegangan kritis tekuk lentur

a. Bila $\frac{KL}{r} \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ atau $\frac{F_y}{F_e} \leq 2,25$

$$F_{cr} = (0,658^{F_y/F_e}) f_y, \text{ dengan } F_e = \frac{\pi^2 E}{(\frac{L_c}{r})^2} \dots \dots \dots (2-36)$$

b. Bila $\frac{KL}{r} > 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ atau $\frac{F_y}{F_e} > 2,25$

$$F_{cr} = 0,877 F_e \dots \dots \dots (2-37)$$

3. Tegangan kritis tekuk puntir

$$F_{cr} = (0,658^{F_y/F_e}), \text{ dengan } F_e = \left(\frac{\pi^2 E C_w}{L_{cz}^2} + GJ \right) \frac{1}{I_x + I_y} \dots \dots \dots (2-38)$$

dengan :

$$H_0 = d - t_f$$

$$C_w = \frac{I_y \cdot h_0^2}{4}$$

$$J = \sum \frac{1}{3} b_i^3$$

$$= 2 \left(\frac{1}{3} b_f t_f^3 \right) + \left(\frac{1}{3} h_o t_w^3 \right)$$



4. Kuat tekan nominal

$$P_n = F_{cr} \cdot A_g \dots \dots \dots (2-39)$$

Maka untuk kontrol aksial :

$$P_u < \Phi P_n \dots \dots \dots (2-40)$$

5. Persamaan Interaksi Aksial-Momen

a. Bila $\frac{P_r}{P_c} \geq 0.2$

$$\frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1.0 \dots \dots \dots (2-41)$$

b. Bila $\frac{P_r}{P_c} < 0.2$

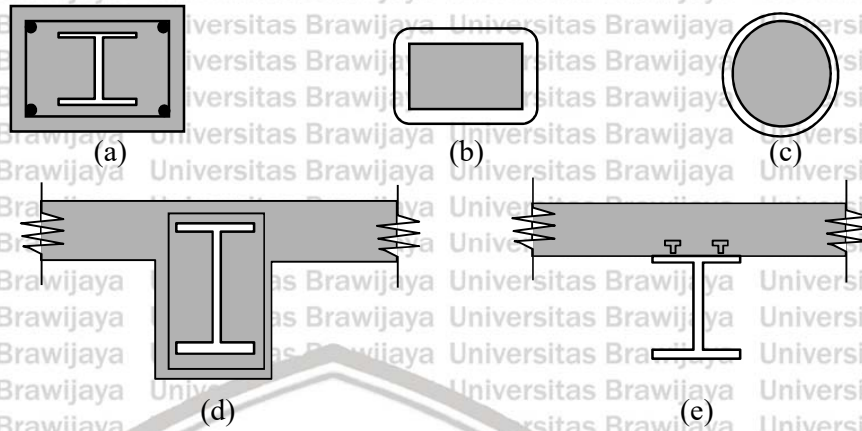
$$\frac{P_r}{2P} + \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1.0 \dots \dots \dots (2-42)$$

2.5 Struktur Komposit

Penggunaan pada komponen beton bertulang sering digunakan pada pembangunan gedung bertingkat misalnya saja sebagai plat lantai. Plat pada lantai beton yang terhubung pada struktur balok dengan memakai profil baja WF yang menggunakan penghubung geser maka, akan menghasilkan yang namanya struktur komposit. Unsur pada struktur komposit ini bisa menyangga total beban pada kisaran 33-50% lebih besar dibandingkan dengan beban yang hanya dipikul oleh struktur pada balok dengan menggunakan profil baja WF jika tidak memakai perlakuan komposit.

Suatu struktur bisa dikatakan struktur komposit jika struktur tersebut gabungan atas dua bahan atau lebih yang memiliki dengan ciri khas sifat berbeda yang nantinya akan terbentuk satu kesatuan yang akan menghasilkan gabungan sifat yang lebih baik. Biasanya struktur komposit terdiri dari :

1. Kolom baja yang dilapisi dari beton/balok baja yang dilapisi beton (Gambar a/d)
2. Kolom baja yang didalamnya beton/tiang pancang (Gambar b/c)
3. Balok baja yang menahan slab pada beton (Gambar e)



Gambar 2.4 Berbagai jenis struktur dari komposit (Pujianto,2011)

Asumsi dalam perancangan struktur dari komposit menyatakan bahwa struktur baja dan struktur beton mampu bekerja bersama dalam menyangga berat beban yang bekerja, yang nantinya mampu menghasilkan suatu desain profil yang lebih hemat. Selain itu juga struktur bangunan yang menggunakan struktur dari komponen komposit mempunyai beberapa keunggulan seperti, lebih kaku dan kuat dibandingkan dengan struktur non-komposit. (Pujianto,2011)

Pada perancangan ulang proyek pembangunan Gedung Rumah Sakit Bayangkara Nganjuk 6 lantai ini menggunakan komponen komposit berupa balok baja dengan plat beton bertulang.

2.6 Sambungan

2.6.1 Sambungan Baut

Perhitungan sambungan baut berdasarkan tahanan nominal terkecil dari rumusan berikut:

$$\text{Tahanan untuk geser } (\phi R_n) = 0,75 \cdot F_{nv} \cdot A_b \dots\dots\dots(2-43)$$

$$\text{Tahanan untuk tarik } (\phi R_n) = 0,75 \cdot F_{nt} \cdot A_b \dots\dots\dots(2-44)$$

$$\text{Tahanan untuk tumpu } (\phi R_n) = 0,75 \cdot F'_{nt} \cdot A_b \dots\dots\dots(2-45)$$

$$\text{Jumlah baut, } n = \frac{v_u}{\phi R_n} \dots\dots\dots(2-46)$$

dengan :

A_b = luas badan baut yang tidak berulir nominal atau bagian berulir (mm^2)

F_{nv} = tegangan geser nominal

F_{nt} = tegangan tarik nominal

F_{nt} = tegangan tarik nominal yang divariasikan untuk memperhitungkan tegangan geser pada sambungan tumpu

$$= 1,3 F_{nt} \frac{F_{nt}}{\phi F_{nv}} f_{rv} \leq F_{nt}$$

F_{rv} = tegangan geser yang diperlukan dalam kombinasi pembebanan

Tabel 2.8

Kuat Nominal Baut Dan Batang Berulir

Deskripsi Pengencang	Kekuatan Tarik Nominal, F_{nt} , ksi (MPa) ^[a]	Kekuatan Geser Nominal pada Sambungan Tipe Tumpu, F_{nv} , ksi (MPa) ^[b]
Baut A307	45 (310) ^[c]	27 (186) ^{[d][e]}
Baut kelompok A (misal, A325), apabila ulir ada di bidang geser	90 (620)	54 (372)
Baut kelompok A (misal, A325), apabila ulir di luar bidang geser	90 (620)	68 (469)
Baut kelompok B (misal, A490), bila ulir ada di bidang geser	113 (780)	68 (469)
Baut kelompok B (misal, A490), apabila ulir di luar bidang geser	113 (780)	84 (579)
Rakitan baut group C (misal, F3043), apabila ulir dan daerah transisi batang baut ada di bidang geser	150 (1.040)	90 (620)
Rakitan baut group C (misal, F3043), apabila ulir dan daerah transisi batang baut di luar bidang geser	150 (1.040)	113 (779)
Bagian berulir yang memenuhi persyaratan Pasal A3.4, apabila ulir ada di bidang geser	$0,75 F_u$	$0,450 F_u$
Bagian berulir yang memenuhi persyaratan Pasal A3.4, apabila ulir di luar bidang geser	$0,75 F_u$	$0,563 F_u$

^[a] Untuk baut kekuatantinggi yang memikul beban fatik tarik, lihat Lampiran 3
^[b] Untuk ujung sambungan yang dibebani dengan panjang pola pengencang lebih besar dari 38 in. (950 mm), F_{nv} harus direduksi sampai 83,3% dari nilai pada tabel. Panjang pola pengencang merupakan jarak maksimum sejajar dengan garis gaya antara sumbu baut yang menyambungkan dua bagian dengan satu permukaan *faying*.
^[c] Untuk baut A307, nilai yang ditabulasikan harus direduksi sebesar 1% untuk setiap $\frac{1}{16}$ in. (2 mm) di atas 5 diameter dari panjang pada pegangan tersebut.
^[d] Ulir diperbolehkan pada bidang geser.

(Sumber : SNI 1729:2020)

Tabel 2.9

Jarak Tepi Minimum Pada Baut

Diameter Baut (mm)	Jarak Tepi Minimum
16	22
20	26
22	28
24	30
27	34
30	38
36	46
Di atas 36	1,25d

^[a] Jika diperlukan, jarak tepi terkecil diperbolehkan asalkan ketentuan yang sesuai dari Pasal J3.10 dan J4 dipenuhi, tetapi jarak tepi yang kurang dari satu diameter baut tidak diperbolehkan tanpa persetujuan dari penanggungjawab perancangan.
^[b] Untuk lubang ukuran berlebih atau lubang slot, lihat Tabel J3.5M.

(Sumber: SNI 1729:2020)

2.6.2 Sambungan las

Kuat rencana pada logam las (per-mm panjang)

$$\phi R_n = 0,75 \cdot F_{nw} \cdot A_{we} \dots \dots \dots (2-47)$$

dengan :

F_{nw} = tegangan nominal dari logam dasar (MPa)

$$= 0,6 F_{exx} (1,0 + 0,50 \sin^{1,5} \theta)$$

F_{exx} = kekuatan jenis logam pengisi

A_{we} = luas efektif las (mm²)

θ = sudut pembebanan yang bisa diukur dari sumbu las longitudinal (derajat)

Panjang efektif dari las sudut :

$$L_w = \frac{R_u}{\phi R_{nw}} \dots \dots \dots (2-48)$$

Ukuran maksimum dari las sudut pada bagian yang tersambung harus :

- a. Untuk ketebalan pada sepanjang tepi material $t_w \leq 6\text{mm}$, diambil $a \leq t_w$
- b. Untuk ketebalan pada sepanjang tepi material $t_w > 6\text{mm}$, diambil $a \leq t_w - 2$ (mm)

Tabel 2. 10
Ukuran Minimal pada Las Sudut

Ketebalan Material dari Bagian Paling Tipis yang Tersambung, in. (mm)	Ukuran Minimum Las Sudut, ^[a] in. (mm)
Sampai dengan ¼ (6)	1/8 (3)
Lebih besar dari ¼ (6) sampai dengan ½ (13)	3/16 (5)
Lebih besar dari ½ (13) sampai dengan ¾ (19)	¼ (6)
Lebih besar dari ¾ (19)	5/16 (8)

^[a] Dimensi kaki las sudut. Las pas tunggal harus digunakan.
Catatan: Lihat Pasal J2.2b untuk ukuran maksimum las sudut.

(Sumber: SNI 1729:2020)

2.7 Rincian Anggaran Biaya

Rincian Anggaran Biaya (RAB) merupakan suatu perkiraan dalam perhitungan yang didasar atas jumlah biaya yang digunakan untuk alat, bahan serta upah dan juga pembiayaan lainnya yang berhubungan pada pelaksanaan suatu pekerjaan atau proyek tersebut. Rumus yang digunakan untuk menghitung RAB sebagai berikut :

$$(\text{jenis pekerjaan}) = \text{volume} \times \text{analisis harga satuan pekerjaan} \dots \dots \dots (2-49)$$

Analisis Harga per-Satuan Pekerjaan (AHSP) merupakan metode kalkulasi dari analisis harga per-satuan pekerjaan pada konstruksi yang dipaparkan berupa hasil kali dari kebutuhan bahan bangunan, upah pekerja, alat-alat harga bangunan, serta harga sewa perlengkapan buat menuntaskan suatu pelaksanaan konstruksi. Besarnya biaya tersebut

bergantung dari besarnya harga per-satuan bahan, harga dari upah serta harga satuan perlengkapan dengan harga upah satuan yang bergantung tingkatan kinerja dari pekerja saat menuntaskan suatu pelaksanaan pekerjaan.



(Halaman sengaja dikosongkan)





BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Perhitungan struktur proyek pembangunan Gedung Rumah Sakit Bayangkara Nganjuk, gambar perencanaan, dan juga peraturan dari SNI tentang struktur dari beton bertulang dan struktur dari baja dipakai dalam perencanaan ulang gedung ini. Hasil dari perencanaan nanti berupa dimensi profil baja WF pada balok kolom yang akan digunakan dalam menghitung kebutuhan biaya per pekerjaan dari harga satuan yang didapatkan dan juga sebagai pembandingan dari kebutuhan biaya pekerjaan balok kolom yang menggunakan beton bertulang. Untuk pemodelan menggunakan *SAP 2000* versi 22 yang berpedoman kepada spesifikasi bangunan gedung baja struktural.

3.1. Data Teknis Gedung Awal

Nama Proyek	: Gedung Rumah Sakit Bayangkara Nganjuk
Alamat Proyek	: Jalan Abdurrahman Saleh VI no.56, Kauman, Kecamatan Nganjuk, Kabupaten Nganjuk, Jawa Timur 64411
Biaya	: Rp 32.845.000.000,00
Struktur Gedung	: Struktur dari beton bertulang
Total lantai	: 6 lantai
Tinggi gedung	: 27,5 meter
Ketinggian per lantai	
Lantai basement (1)	: 3,5 meter
Lantai 2-6	: 4 meter
Lantai atap	: 4 meter

3.2. Metode Dalam Perencanaan

3.2.1 Teknik Pengolahan Data

Semua data berupa gambar perencanaan dari proyek dan rab yang telah terkumpul selanjutnya diolah. Tahapan-tahapan dalam pengolahan data tersebut sebagai berikut :

a. Perhitungan pembebanan dan kombinasi pembebanan

Untuk perhitungan pembebanan yang dipakai seperti beban mati (D), beban hidup (L), beban gempa dan juga kombinasi pembebanan menggunakan *Microsoft Excel* sesuai dengan peraturan SNI 1727:2020

b. Menghitung beban gempa yang berpedoman pada SNI 1726:2019

Dalam menghitung beban gempa ini digunakan metode respons spektrum yang nantinya akan diinput ke dalam *SAP 2000 V22*

c. Memasukkan data semua pembebanan ke dalam *Structure Analysis Program (SAP 2000 V22)*

d. Input kombinasi pembebanan yang sudah ditentukan pada *Structure Analysis Program (SAP 2000 V22)* kemudian dianalisis

e. Menentukan profil baja WF yang nantinya akan dipakai sebagai balok dan kolom yang mengacu pada SNI 1729:2020

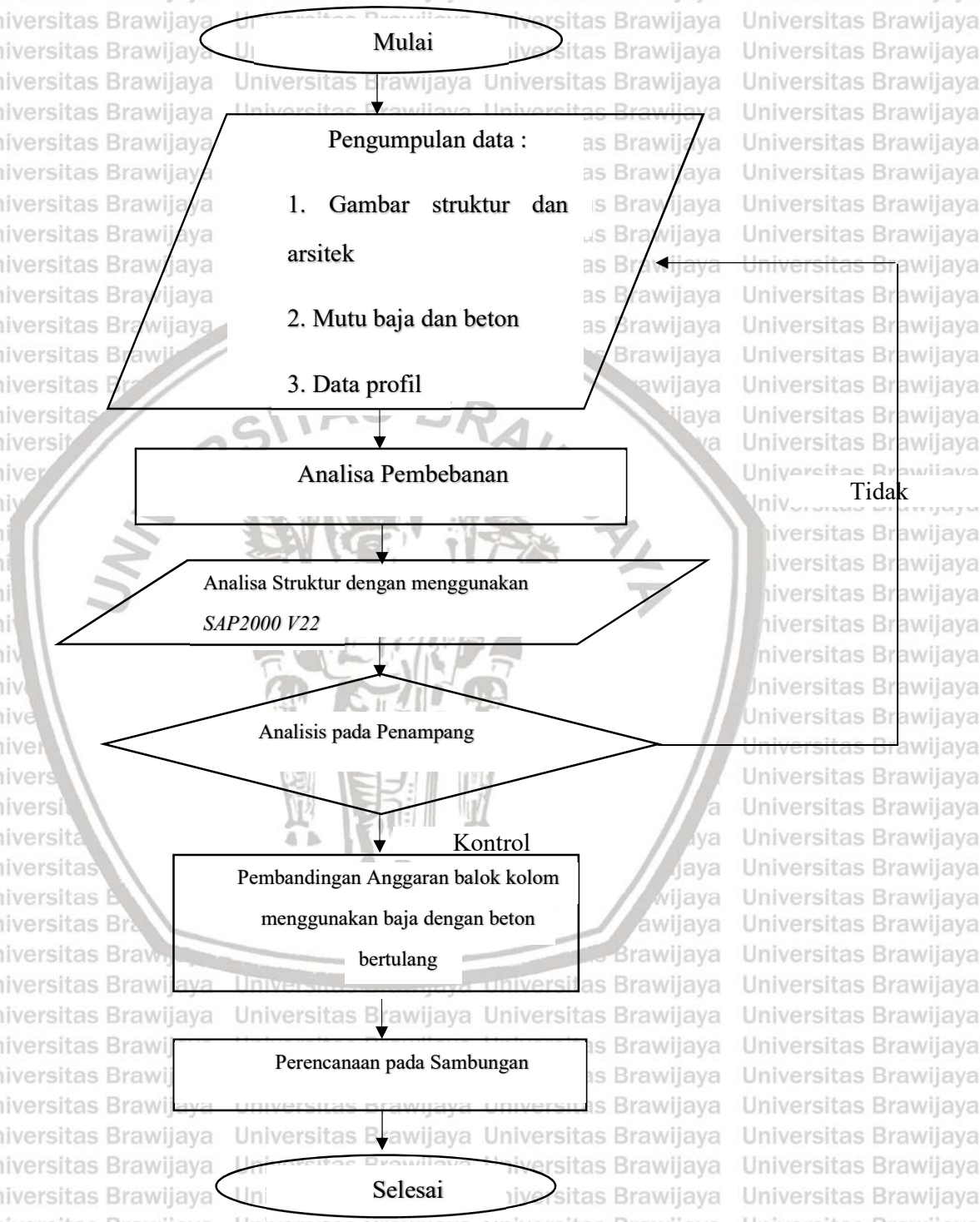
f. Perhitungan sambungan yang berpedoman pada SNI 1729:2020

g. Perbandingan harga biaya pekerjaan menggunakan profil baja dengan beton bertulang

3.2.2 Pembahasan Hasil

Setelah diketahui hasil dari Analisa pada struktur adalah dilakukannya perbandingan harga biaya pekerjaan yang menggunakan dimensi profil baja WF dengan beton bertulang dalam pekerjaan balok dan kolom. Maka dari hasil yang diperoleh kemudian dapat diambil kesimpulannya.

3.3 Diagram Alur Perencanaan



Gambar 3.1 Diagram alur perencanaan



(Halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Perancangan Dimensi Struktur

Perencanaan awal dimensi balok menggunakan asumsi bahwa tinggi balok adalah $L/20$ dengan lebar balok $\frac{1}{2}$ x tinggi balok. Berikut adalah hasil pendimensian balok menggunakan profil baja pada struktur:

Tabel 4.1
Dimensi Awal Balok

Bentang (m)	Dimensi
2.01	175x125x5.5x8
3.255	250x175x7x11
3.7	350x175x7x11
5.2	400x200x7x11
7	500x200x11x19
8	600x200x13x23

Untuk penggambaran dalam perencanaan pada studi alternatif ini digunakan software *AutoCAD 2019*. Untuk peta denah pada gedung RS Bayangkara Nganjuk ini terlampir.

4.2 Analisis Pembebanan

Pembebanan pada perencanaan ulang Gedung RS Bayangkara Nganjuk sebagai berikut.

4.2.1 Beban Mati (D)

Perkiraan berat struktur harus relevan

Tabel 4.2

Berat Sendiri Bahan Bangunan dan Komponen Gedung

Baja	=	7850	kg/m ³
Beton bertulang	=	2400	kg/m ³
Pasir	=	1600	kg/m ³
Keramik per cm tebal	=	24	kg/m ²
Spesi per cm tebal	=	21	kg/m ²
Berat langit-langit + penggantung	=	18	kg/m ²
Berat pasangan bara merah ½ batu	=	250	kg/m ²

4.2.2 **Beban Mati Tambahan****Beban Mati Pelat Lantai**

Berat spesi setebal 3 cm (0,03 x 21)	=	0.63	kg/m ²
Berat keramik setebal 1 cm (0,01 x 24)	=	0.24	kg/m ²
Berat langit-langit + penggantung	=	18	kg/m ²
Berat instalasi ME	=	30	kg/m ²
Total beban mati pada pelat lantai	=	48.87	kg/m ²

Beban Mati Pelat Atap

Berat langit-langit + penggantung	=	18	kg/m ²
Berat instalasi ME	=	30	kg/m ²
Total beban mati pada pelat	=	48	kg/m ²

Beban Mati Balok

Beban dinding pasangan ½ batu ((4-0,4) x 250)	=	900	kg/m ²
---	---	-----	-------------------

4.2.3 **Beban Hidup (L)**

Beban hidup (L) yang akan dipakai pada perencanaan gedung dan struktur lainnya harus memiliki beban maksimum yang diharapkan bisa tidak kurang daripada beban merata minimum sesuai dengan SNI 1727:2020

Tabel 4.3
Beban Hidup Terdistribusi Minimum untuk Rumah Sakit

Beban Hidup

Ruang pada operasi, laboratorium	=	2.87	kN/m ²
Ruang pada pasien	=	1.92	kN/m ²
Koridor diatas lantai pertama	=	3.83	kN/m ²

4.2.4 Beban Gempa

Langkah-langkah analisis beban gempa menggunakan metode respons spektrum adalah sebagai berikut:

- a. Menentukan klasifikasi situs tanah berdasarkan tabel 5 pada SNI 1726:2019

Tabel 4.4

Tabel klasifikasi situs

Kelas situs	\bar{v}_z (m/detik)	N atau N_{ch}	\bar{s}_v (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



Lapis	NSPT	Kedalaman (m)	Tebal (m)	N'=tebal/NSPT	$\Sigma N'$	30 / $\Sigma N'$
0	0	0	0	0	2,06	14,58
1	4	1	1	0,25		
2	6	5	4	0,66667		
3	17	11	6	0,35294		
4	11	16	5	0,45455		
5	24	18	2	0,08333		
6	40	24	6	0,15		
7	60	28	4	0,06667		
8	60	30	2	0,03333		

Sumber : Data Proyek

Berdasarkan data tersebut, maka termasuk kategori dalam SE (Tanah Lunak)

b. Mencari kategori resiko pada gempa dan faktor keutamaan pada gempa

Tabel 4. 5

Kategori Risiko Gempa dan Faktor Keutamaan Gempa

Tabel 3 – Kategori risiko bangunan gedung dan nongedung untuk beban gempa (lanjutan)

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
Gedung dan nongedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk: <ul style="list-style-type: none"> - Bangunan-bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan - Rumah ibadah - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat - Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat - Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat 	IV
Gedung dan nongedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.	

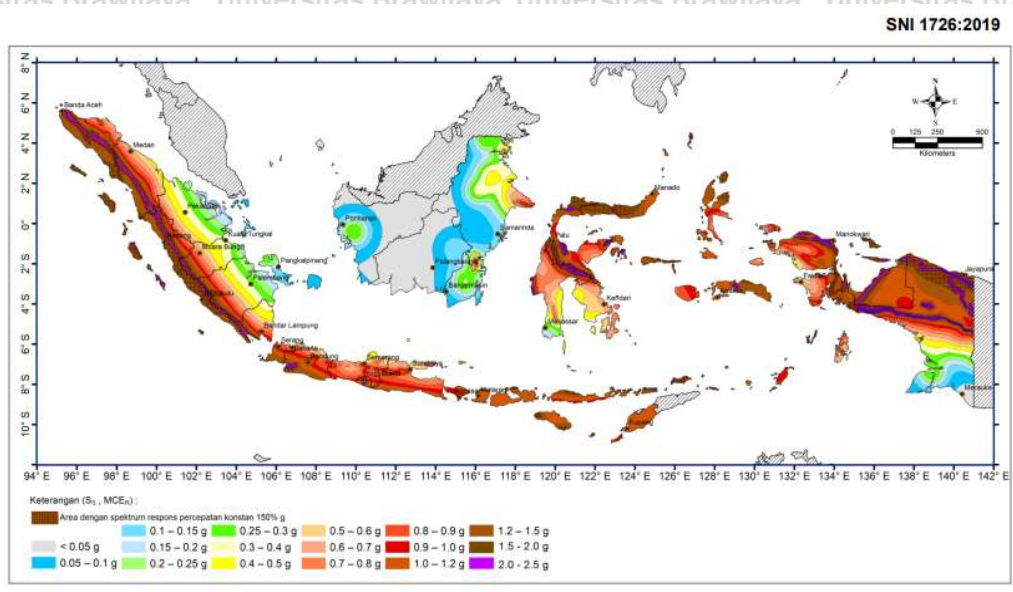
Tabel 4 – Faktor keutamaan gempa

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

(Sumber : SNI 1726 : 2019)

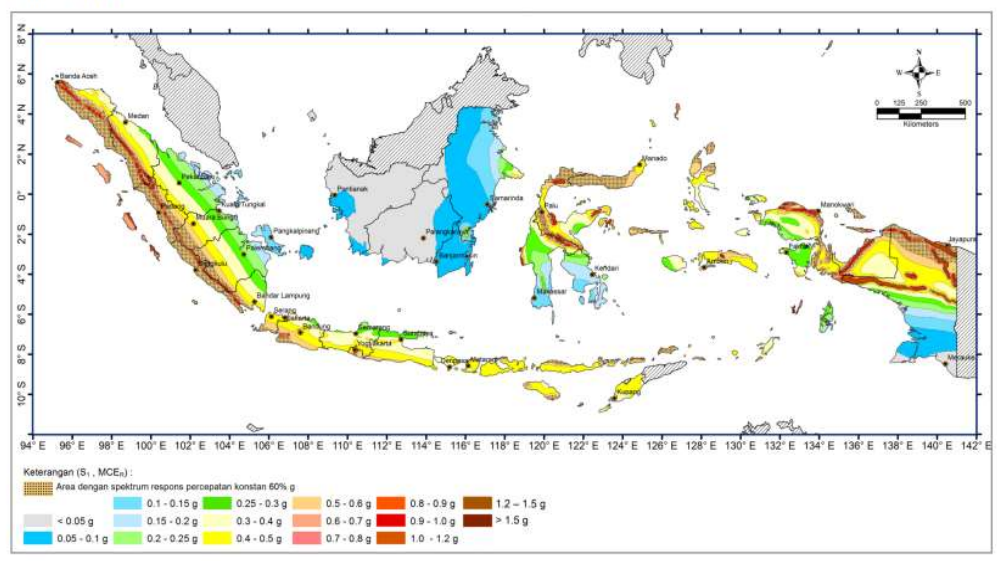


c. Parameter Respon Spektral MCE_R (S_s dan S₁)



Gambar 4.1 S_s Gempa maksimum yang dipertimbangkan resiko tertarget (MCE_R)

SNI 1726:2019



Gambar 4.2 S₁ Gempa maksimum yang dapat dipertimbangkan resiko tertarget (MCE_R)

d. Menentukan nilai dari koefisien F_a dan F_v

$$F_a = 1.2, S_s = 0.75$$

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa (MCE _R) terpetakan pada periode pendek, T=0,2 detik, S_z				
	$S_z \leq 0,25$	$S_z = 0,5$	$S_z = 0,75$	$S_z = 1,0$	$S_z \geq 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	SS ^b				

CATATAN:

- (a) Untuk nilai-nilai antara S_z dapat dilakukan interpolasi linier
- (b) SS= Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik, lihat 6.10.1

Gambar 4.3 Tabel 6 SNI 1726:2019

$$F_v = 2.8, S_1 = 0.3$$

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa MCE _R terpetakan pada periode 1 detik, S_1				
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 \geq 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	SS ^b				

CATATAN :

- (a) Untuk nilai-nilai antara S_1 dapat dilakukan interpolasi linier
- (b) SS= Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik, lihat 6.10.1

Gambar 4.4 Tabel 7 SNI 1726:2019

e. Menentukan nilai S_{MS} dan S_{M1}

$$S_{MS} = F_a \times S_s = 1.2 \times 0.75 = 0.9$$

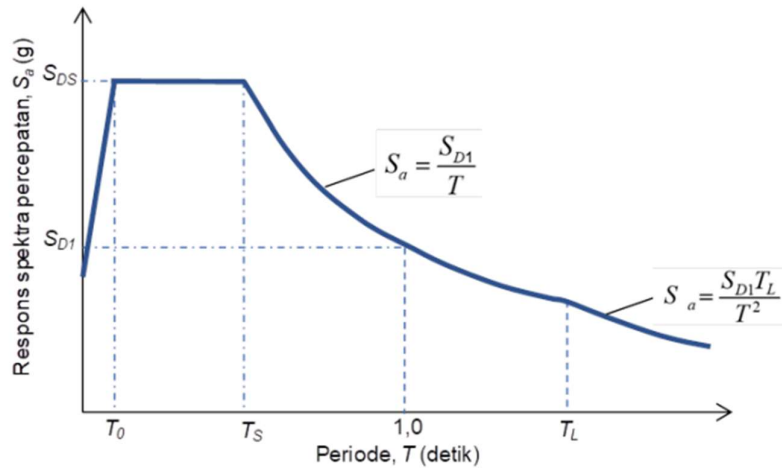
$$S_{M1} = F_v \times S_1 = 2.8 \times 0.3 = 0.84$$

f. Menentukan nilai S_{DS} dan S_{D1}

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \times S_{MS} = \frac{2}{3} \times 0.9 = 0.6$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} \times S_{M1} = \frac{2}{3} \times 0.84 = 0.56$$

g. Menentukan nilai T_0 dan T_s

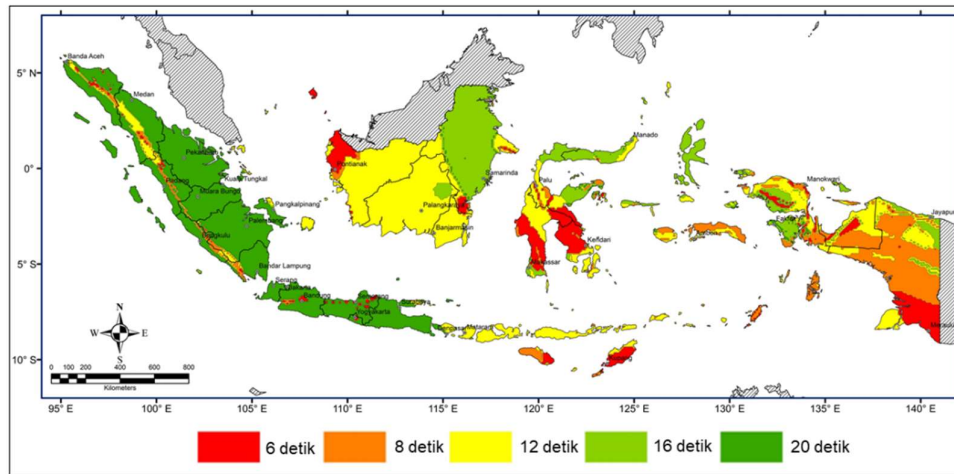


Gambar 4.5 Spektrum respon desain

$$T_0 = 0,2 \frac{SD1}{SDS} = 0,2 \cdot \frac{0,56}{0,6} = 0,19$$

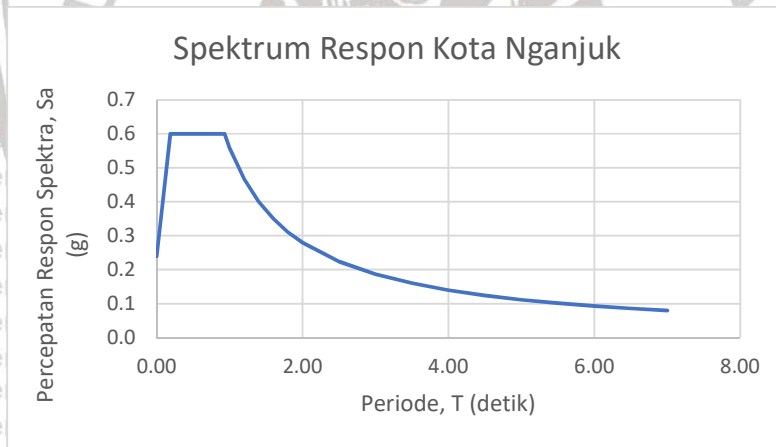
$$T_s = \frac{SD1}{SDS} = \frac{0,56}{0,6} = 0,93$$

SNI 1726:2019



Gambar 4.6 Peta transisi periode panjang (T_L)

T (detik)	Sa (g)	T (detik)	Sa (g)
0.00	0.24	2.50	0.22
0.19	0.60	3.00	0.19
0.50	0.60	3.50	0.16
0.93	0.60	4.00	0.14
0.95	0.59	4.50	0.12
1.00	0.56	5.00	0.11
1.20	0.47	5.50	0.10
1.40	0.40	6.00	0.09
1.60	0.35	6.50	0.09
1.80	0.31	7.00	0.08
2.00	0.28		



h. Kategori desain seismik



Tabel 4.6
Kategori Desain Seismik

Tabel 8 – Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek

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

Tabel 9 – Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada 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

Sumber : SNI 1726:2019

Telah diketahui bahwa dari perhitungan : $S_{DS} = 0,65$ dan $S_{D1} = 0,5$ maka masuk kedalam kategori desain seismik D

Tabel 4.7
Faktor R, Cd, dan Ω_0 untuk sistem pemikul gaya seismik

Sistem pemikul gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R^a	Faktor kuat lebih sistem, Ω_0^b	Faktor pembesaran defleksi, C_d^c	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_s (m) ^d				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D ^e	E ^e	F ^f
C. Sistem rangka pemikul momen								
1. Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	5%	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka batang baja pemikul momen khusus	7	3	5%	TB	TB	48	30	TI
3. Rangka baja pemikul momen menengah	4½	3	4	TB	TB	10 ^e	TI ^k	TI ^k
4. Rangka baja pemikul momen biasa	3½	3	3	TB	TB	TI ^l	TI ^l	TI ^l
5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus ^m	8	3	5%	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4%	TB	TB	TI	TI	TI
7. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2%	TB	TI	TI	TI	TI
8. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus	8	3	5%	TB	TB	TB	TB	TB
9. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen menengah	5	3	4%	TB	TB	TI	TI	TI
10. Rangka baja dan beton komposit terkekang parsial pemikul momen	6	3	5%	48	48	30	TI	TI
11. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen biasa	3	3	2%	TB	TI	TI	TI	TI
12. Rangka baja canai dingin pemikul momen khusus dengan pembautan ⁿ	3½	3 ^o	3%	10	10	10	10	10

Sumber: SNI 1726:2019 (2019)

Dari tabel tersebut untuk kategori desain seismik D maka termasuk dalam Rangka baja pemikul momen khusus dan untuk nilai R (koefisien modifikasi respons) = 8

4.2.5 Beban Kombinasi

Struktur yang akan direncanakan harus sedemikian rupa dengan kuat rencana sama atau lebih dari pengaruh beban terfaktor pada kombinasi pembebanan sesuai peraturan SNI 1726 : 2019

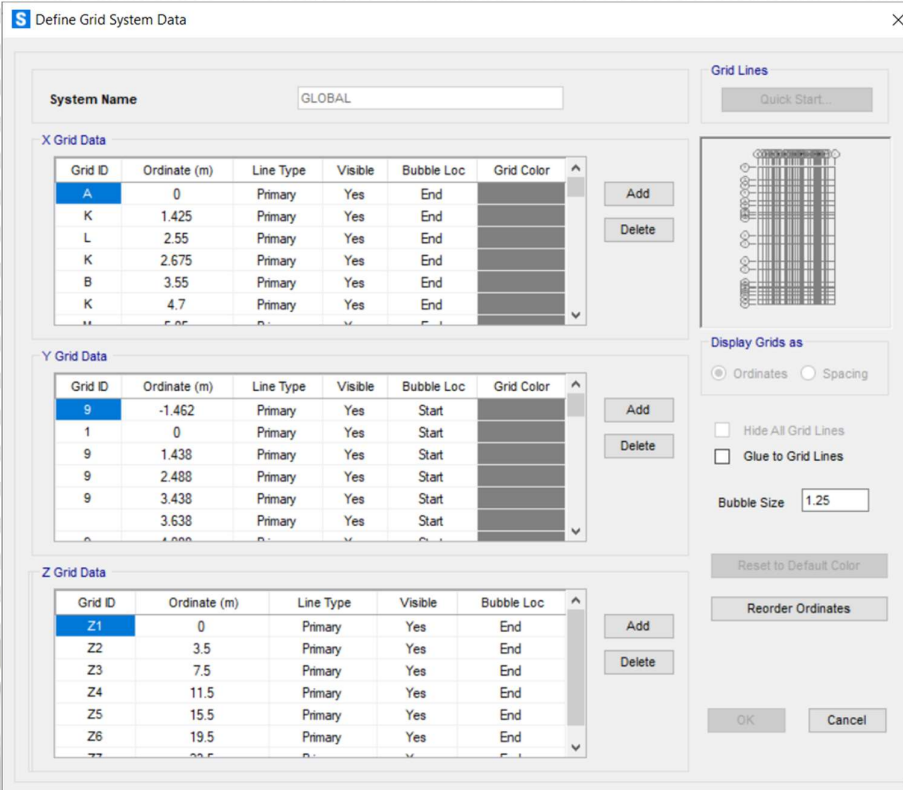
- 1.4D
- $1.2D + 1.6L + 0.5(L_r \text{ atau } R)$
- $1.2D + 1.6(L_r \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0.5W)$
- $1.2D + 1.0W + L + 0.5(L_r \text{ atau } R)$
- $1.2D + 1.0E + L$
- $0.9D + 1.0W$
- $0.9D + 1.0E$

4.3 Pemodelan Struktur Menggunakan SAP2000 V22

Ada beberapa tahapan yang harus dilakukan untuk membuat permodelan struktur menggunakan *software SAP2000 V22*. Berikut ini merupakan beberapa tahapan dan input yang dimasukkan ke dalam *software SAP2000 V22* :

a. Grid System

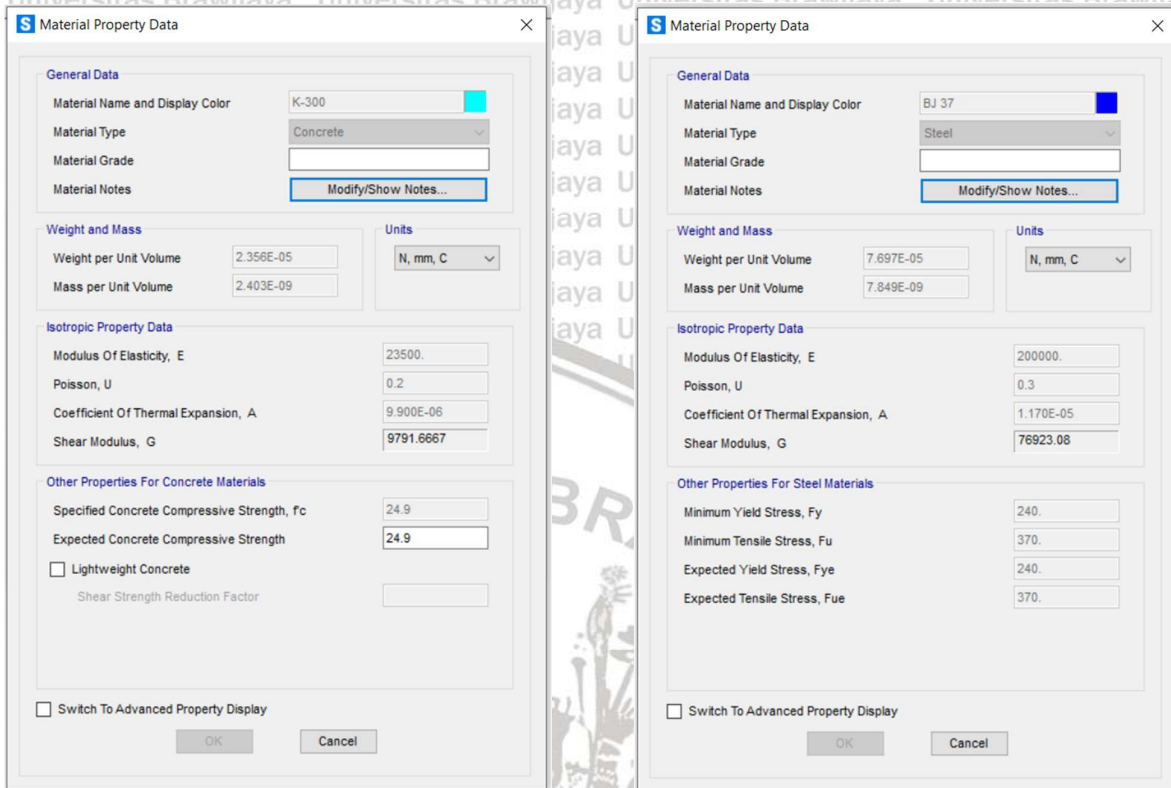
Grid system adalah untuk menentukan letak koordinat titik-titik pada struktur dalam sumbu x, y dan z



Gambar 4.7 Grid System

b. *Define* → *Materials*

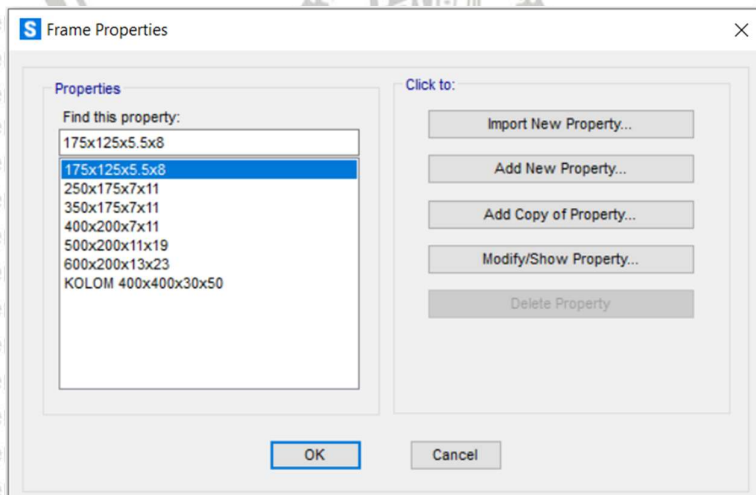
Mendefinisikan data material atau mutu bahan yang akan digunakan dalam pemodelan struktur. Untuk material yang dipakai pada penelitian ini menggunakan mutu beton K-300 dan mutu baja BJ-37.



Gambar 4.8 Material

c. Define → Section Properties

Menginput data pada dimensi balok, kolom dan pelat.



Gambar 4.9 Frame Section

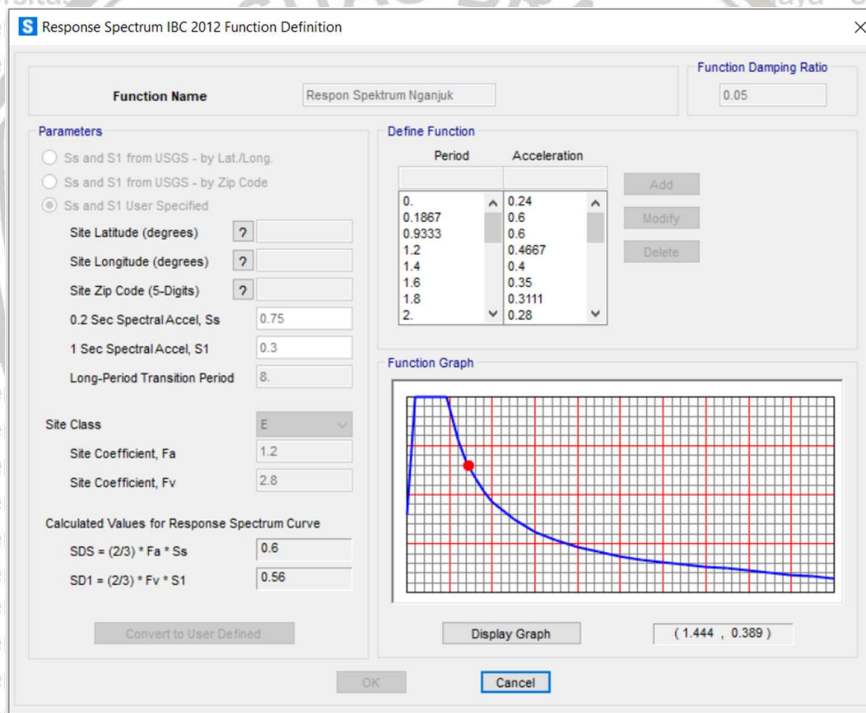
d. *Define* → *Load Patterns*

Memuat informasi tentang data pembebanan pada struktur yang dianalisis. Beban yang bekerja pada analisa struktur yang dilakukan adalah:

- *Dead load*
- *Super dead*
- *Live load*
- *Quake*

e. *Other Function* → *Respons Spektrum*

Memasukkan data respon spektrum yang bekerja pada beban gempa dengan pemodelan struktur.



Gambar 4.10 Respons Spektrum

f. *Define* → *Load Combination*

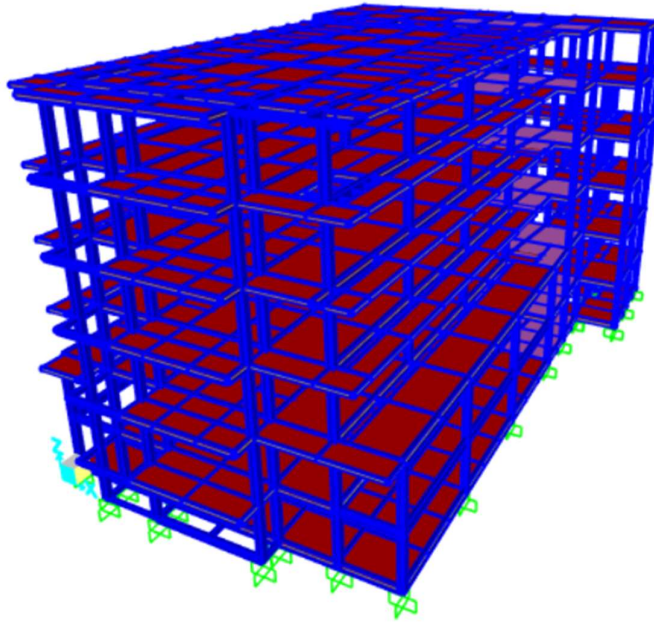
Mendefinisikan kombinasi pembebanan yang digunakan dalam analisa struktur.

g. *Anlyze* → *Run Analyze*

Langkah untuk didapatkan hasil dari data input yang telah dimasukkan.

h. *Display* → *Show Tables*

Memuat data yang di dapat, meliputi besaran momen, gaya lintang dan juga gaya normal pada elemen tersebut yang setelah dilakukannya analisis.



Gambar 4.11 Pemodelan pada struktur Gedung RS Bayangkara Nganjuk



4.4 Perancangan dan Analisis Kekuatan Balok

4.4.1 Kontrol Desain Balok

Data Profil Rencana B IWF 600x200x13x23

Dari hasil analisis struktur dengan menggunakan *SAP2000 V22* diperoleh gaya dalam pada balok terbesar yaitu sebagai berikut :

$$Mu = 30189.60 \text{ Kgm}$$

$$Vu = 19926.07 \text{ Kg}$$

$$d = 600 \text{ mm}$$

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

$$tw = 13 \text{ mm}$$

$$tf = 23 \text{ mm}$$

$$r = 22 \text{ mm}$$

$$h = d - (2tf) - (2tw) = 510 \text{ mm}$$

$$A = 107.7 \text{ cm}^2$$

$$Ix = 103000 \text{ cm}^4$$

$$Iy = 3180 \text{ cm}^4$$

$$rx = 24.6 \text{ cm}$$

$$ry = 4.31 \text{ cm}$$

$$Sx = 3380 \text{ cm}^3$$

$$Sy = 314 \text{ cm}^3$$

$$Zx = b \cdot tf(d - tf) + \frac{1}{4} \cdot tw(d - 2tf)^2 = 3499.525 \text{ cm}^3$$

$$E_{it} = 200000 \text{ Mpa}$$

$$Fy = 240 \text{ Mpa}$$



a. Cek penampang

Pelat sayap :

$$\lambda = \frac{bf}{2xtf} = 4.35$$

$$\lambda_p = 0,38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 10.97$$

$$\lambda_r = 1.0 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 28.87$$

$\lambda \leq \lambda_p$, Maka penampang kompak

Pelat badan :

$$\lambda = \frac{h}{tw} = 39.23$$

$$\lambda_p = 3,76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 108.54$$

$$\lambda_r = 5,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 166.28$$

b. Kondisi leleh

$$M_n = M_p = Z_x \cdot f_y$$

$$= 3499525 \times 240$$

$$= 839886000 \text{ Nmm}$$

c. Tekuk torsi lateral

$$L_p = 1.76 r_y \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 2189.77 \text{ mm}$$

$$L_r = 1.95 r_{ts} \cdot \frac{E}{0.7F_y} \sqrt{\left(\frac{J_c}{S_x h_0}\right) + \sqrt{\left(\frac{J_c}{S_x h_0}\right)^2 + 6.76 \cdot \left(\frac{0.7F_y}{E}\right)^2}}$$

$$h_0 = d - tf = 577 \text{ mm}$$

$$r_{ts}^2 = \frac{\sqrt{I_y C_w}}{S_x}, \text{ dengan } C_w = \frac{I_y h_0^2}{4} = 2.65E + 12 \text{ mm}^6$$

$$r_{ts}^2 = 2714.29 \text{ mm}^2$$

$$r_{ts} = 52.10 \text{ mm}$$

C = 1 untuk profil I simetris ganda

$$J = \frac{(2bt_f^3) + (dt_w^3)}{3} = 2044823 \text{ mm}^4$$

Sehingga $L_r = 7125.55 \text{ mm}$

Untuk $L_b = 4 \text{ m}$ (asumsi, ditentukan berdasarkan nilai antara L_p dan L_r)

Karena $L_p < L_b < L_r$, maka :

$$M_n = C_b \left[M_p - (M_p - 0.7F_y S_x) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p$$

$$C_b = \frac{12.5M_{maks}}{2.5M_{maks} + 3M_A + 4M_B + 3M_C}$$

dengan:

- M_{maks} = nilai mutlak momen maksimum dalam segmen tak terbreis, kip-in. (N-mm)
- M_A = nilai mutlak momen pada titik seperempat dari segmen tak terbreis, kip-in. (N-mm)
- M_B = nilai mutlak momen pada titik tengah segmen tak terbreis, kip-in. (N-mm)
- M_C = nilai mutlak momen pada titik tiga perempat segmen tak terbreis, kip-in. (N-mm)

$$M_{maks} = M_u = 296.06 \text{ kNm}$$

$$M_A = 74.01 \text{ kNm}$$

$$M_B = 296.06 \text{ kNm}$$

$$M_C = 222.04 \text{ kNm}$$

Maka nilai $C_b = 1.32$

Sehingga, untuk nilai :

$$M_n = 973831010.4 \text{ Nmm (kondisi tekuk torsi lateral)}$$

$$M_n = 839886000 \text{ Nmm (kondisi leleh)}$$

Maka diambil nilai M_n terkecil yaitu 839886000 Nmm

$$\phi M_n = 755897400 \text{ Nmm} = 77080.3483 \text{ kgm}$$

Kontrol momen :

$$M_u < \phi M_n$$

$$30189.60 < 77080.3483 \dots \text{ (OK!)}$$

d. Pemeriksaan kuat geser balok

$$\frac{h}{tw} = 39.23$$

$$2.24 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 64.66$$

Karena $\frac{h}{tw} < 2.24 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$ maka $\phi_v = 1$ dan $C_v = 1$

$$A_w = d \cdot tw = 600.13 = 7800 \text{ mm}^2$$

Sehingga , $V_n = 0.6F_y.A_w.C_v$

$$V_n = 1123200 \text{ N}$$

$$\phi V_n = 1123200 \text{ N} = 112320 \text{ kg}$$

Kontrol geser :

$$V_u < \phi V_n$$

$$19926.07 < 112320 \dots (OK!)$$

Untuk kontrol desain balok yang lainnya disajikan dalam bentuk tabel seperti berikut :

Tabel 4.8
Kontrol Desain Balok

Dimensi	Mu (kgm)	Mn (kgm)	ϕM_n	Vu (kg)	Vn (kg)	ϕV_n
175x125x5.5x8	2,347.00	4,937.74	4,443.97	2,210.34	13,860.00	12,474.00
250x175x7x11	4,087.89	13,485.88	12,137.29	4,425.53	25,200.00	22,680.00
350x175x7x11	9,041.58	20,578.21	18,520.39	6,887.08	35,280.00	31,752.00
400x200x7x11	21,904.74	26,071.36	23,464.23	15,068.21	51,840.00	46,656.00
500x200x11x19	13,658.05	59,097.15	53,187.43	9,449.31	79,200.00	71,280.00
600x200x13x23	30,189.60	89,368.18	80,431.36	19,926.07	112,320.00	101,088.00

4.4.2 Kontrol Tegangan yang Terjadi

Untuk dimensi 600x200x13x23

$$L = 8 \text{ m}$$

$$B = \frac{7}{2} + \frac{3.7}{2} = 5.35 \text{ m}$$

$$t_{\text{plat}} = 15 \text{ cm}$$

$$B_{\text{beton}} = 2400 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Beban hidup} = 250 \text{ kg/m}$$

$$S_x = 3380 \text{ cm}^3$$

$$q_{\text{profil}} = 134 \text{ kg/m}$$

$$q_{\text{plat}} = 0.15 \times 2400 \times 5.35$$

$$= 1926 \text{ kg/m}$$

$$q_{\text{hidup}} = 250 \times 5.35$$

$$= 1337.5 \text{ kg/m}$$

$$q_{\text{total}} = q_{\text{profil}} + q_{\text{plat}} + q_{\text{hidup}}$$

$$= 134 + 1926 + 1337.5$$

$$= 3397.5 \text{ kg/m}$$



$$M = \frac{1}{8} qL^2$$

$$= \frac{1}{8} \cdot 3397.5 \cdot 8^2$$

$$= 27180 \text{ kgm}$$

$$\sigma = \frac{M}{S_x}$$

$$= \frac{27180 \times 100}{3380}$$

$$= 804.14 \text{ kg/cm}^2$$

Untuk BJ 37 maka tegangan leleh = 2400 kg/cm² sedangkan tegangan dasar = 1600 kg/cm²

Kontrol tegangan (804.4 kg/cm² < 1600 kg/cm²) dan (804.4 kg/cm² < 2400 kg/cm²) maka profil tersebut dinyatakan memenuhi syarat dan aman. Untuk dimensi balok yang lainnya disajikan dalam bentuk tabel sebagai berikut :

Tabel 4.9
Kontrol Tegangan Dimensi Balok

Dimensi	Tegangan (kg/cm ²)
175x125x5.5x8	346.90
250x175x7x11	333.50
350x175x7x11	646.56
400x200x7x11	427.22
500x200x11x19	818.93
600x200x13x23	804.14

4.4.3 Kontrol Lendutan

Berikut disajikan contoh perhitungan kontrol lendutan :

$$E \text{ baja} = 200000 \text{ Mpa}$$

$$= 20394320000 \text{ kg/m}^2$$

$$q_{\text{total}} = 3397.5 \text{ kg/m}$$

$$L = 8 \text{ m}$$

$$I_x = 103000 \text{ cm}^4$$

$$= 0.00103 \text{ m}^4$$

- Batas lendutan maksimum untuk tumpuan sederhana menggunakan pendekatan sebagai berikut :

$$\Delta_{max} \frac{L}{360} = \frac{8}{360} = 0.02222 \text{ m}$$

- Lendutan akibat beban luar

$$\Delta_y = \frac{5 \cdot q \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I_x} = \frac{5 \cdot 3397.5 \cdot 8^4}{384 \cdot 20394320000 \cdot 0.00103} = 0.00863 \text{ m}$$

Karena lendutan akibat beban luar < lendutan izin maka dimensi tersebut aman dan memenuhi syarat. Berikut disajikan dalam bentuk tabel untuk kontrol lendutan dimensi balok yang lainnya :

Tabel 4.10
Kontrol Dimensi Untuk Lendutan yang Terjadi

No	Dimensi	L (m)	Lendutan maks (L/360) (m)	q. total (kg/m)	Ix (m4)	Lendutan akibat beban (m)	Kontrol lendutan
1	600x200x13x23	8	0.02222	3397.50	0.00103	0.00863	KONTROL
2	500x200x11x19	7	0.01944	2981.59	0.00057	0.00809	KONTROL
3	400x200x7x11	5.2	0.01444	1276.60	0.00020	0.00300	KONTROL
4	350x175x7x11	3.7	0.01028	2928.19	0.00014	0.00258	KONTROL
5	250x175x7x11	3.255	0.00904	1264.10	0.00006	0.00148	KONTROL
6	175x125x5.5x8	2.01	0.00558	1243.30	0.00002	0.00085	KONTROL

4.5 Perancangan dan Analisa Kekuatan Kolom

4.5.1 Kontrol Desain Kolom

Data Profil Rencana K IWF 400x400x30x50

Dari hasil analisis struktur dengan menggunakan SAP2000 V22 diperoleh gaya dalam pada kolom terbesar yaitu sebagai berikut :

$$P_u = 276470.39 \text{ kg}$$

$$M_u = 14756.44 \text{ kgm}$$

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

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

$$t_w = 30 \text{ mm}$$

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

$$r = 22 \text{ mm}$$

$$h = d - (2t_f) - (2r) = 256 \text{ mm}$$

$$r_x = 18.8 \text{ cm}$$

$$r_y = 10.7 \text{ cm}$$

$$I_x = 187000 \text{ cm}^4$$

$$I_y = 60500 \text{ cm}^4$$

$$S_x = 8170 \text{ cm}^3$$

$$S_y = 2900 \text{ cm}^3$$

$$A_s = 52860 \text{ mm}^2$$

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

$$F_y = 240 \text{ Mpa}$$

$$L = 4000 \text{ mm}$$

1. Menghitung kuat perlu

a. Cek penampang

Pelat sayap :

$$\lambda = \frac{bf}{2xtf} = 4$$

$$\lambda_r = 0.56 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 16.17$$

$\lambda < \lambda_r$ Maka penampang profil non langsing

Pelat badan :

$$\lambda = \frac{h}{tw} = 8.53$$

$$\lambda_r = 1.49 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 43.01$$

b. Tegangan kritis tekuk lentur

$K = 1$ (asumsi jepit-jepit)

$$L = 4000 \text{ mm}$$

$$L_c = K.L = 4000 \text{ mm}$$

$$\frac{L_c}{r} = 37.38$$

$$4,71 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 139.324$$

Karena $\frac{KL}{r} \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$, Maka :

$$F_{cr} = \left(0,658 \frac{f_y}{f_e}\right) f_y, \text{ dengan } F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{L_c}{r}\right)^2} = 1412.46 \text{ Mpa}$$

$$F_{cr} = 223.52 \text{ Mpa}$$

c. Tegangan kritis tekuk puntir

$$H_0 = d-t_f = 350 \text{ mm}$$

$$C_w = \frac{I_y h_0^2}{4} = 1.85E+13 \text{ mm}^6$$

$$K_z = 1$$

$$G = 80000 \text{ Mpa}$$

$$J = \sum \frac{1}{3} b_i^3$$

$$= 2 \left(\frac{1}{3} b_f t_f^3 \right) + \left(\frac{1}{3} h_0 t_w^3 \right)$$

$$= 36483333.33 \text{ mm}^4$$

$$F_e = \left(\frac{\pi^2 E C_w}{L_{ez}^2} + GJ \right) \frac{1}{I_x + I_y}$$

$$F_e = 3695427.018$$

$$F_{cr} = \left(0,658 \frac{f_y}{F_e} \right) = 239.99 \text{ Mpa}$$

d. Kuat tekan nominal

F_{cr} tekuk puntir > F_{cr} tekuk lentur, maka tekuk yang dihasilkan adalah tekuk lentur.

Sehingga untuk kuat tekan nominalnya adalah :

$$P_n = F_{cr} \cdot A_g$$

$$= 223.52 \times 52860$$

$$= 11815499.77 \text{ N} = 1181549.77 \text{ kg}$$

Kontrol Rasio Aksial

$$P_u < \Phi P_n$$

$$276470.39 < 0.9 \times 1181549.77$$

$$276470.39 < 1063394.79 \dots (\text{OK!})$$

2. Menghitung kuat lentur nominal untuk kolom

a. Cek penampang

Pelat sayap :

$$\lambda = \frac{b_f}{2xt_f} = 4$$

$$\lambda_p = 0.38 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 10.97$$

$\lambda < \lambda_p$, maka termasuk kompak

Pelat badan :

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = 8.53$$

$$\lambda_p = 3.76 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 108.54$$

b. Kondisi leleh

$$M_n = M_p = Z_x \cdot F_y = 1797.96 \text{ kNm}$$

c. Tekuk torsi lateral

$$L_p = 1,76 r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$L_p = 5436.33 \text{ mm}$$

$$L_b = 2000 \text{ mm}$$

Sesuai ketentuan jika $L_b < L_p$, maka tidak akan terjadi tekuk lateral

d. Kuat lentur pada kolom (ditentukan oleh kondisi leleh)

$$\phi M_n = 0.9 \cdot 1797.96 = 1618.17 \text{ kNm}$$

Kontrol rasio momen

$$M_u < \phi M_n$$

$$144.613 < 1618.17 \dots \text{ (OK!)}$$

e. Interaksi Momen-Aksial

$$P_r = 276470.39 \text{ kg}$$

$$P_c = 1181549.77 \text{ kg}$$

$$M_{rx} = 14756.44 \text{ kgm}$$

$$M_{cx} = 1618.17 \text{ kNm} = 165119.39 \text{ kgm}$$

$$\frac{P_r}{P_c} = 0.23$$

$$\text{Karena } \frac{P_r}{P_c} \geq 0.2 \text{ maka } \frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1.0$$

$$0.31 \leq 1$$

4.6 Perencanaan Sambungan Baut dan Sambungan Las

Agar menjadi satu kesatuan, elemen struktur baja harus disambung dengan menggunakan alat penyambung. Baik sambungan kolom – kolom, balok – balok dan balok – kolom, ataupun

Adapun alat penyambung yang digunakan berupa sambungan baut beserta pelat sambung dan sambungan las.

4.6.1 Sambungan Kolom - Kolom

Antara kolom satu dengan yang lainnya harus disambung agar menjadi monolit.

Sambungan yang dipakai pada sambungan kolom – kolom adalah sambungan baut. Kolom yang digunakan menggunakan profil WF 400x400x30x50

1. Rekapitulasi gaya dalam pada kolom

$$\text{Momen (Mu)} = 30.960,86 \text{ kgm} = 303622317,719 \text{ Nmm}$$

$$\text{Gaya geser (Vu)} = 14.691,21 \text{ kg}$$

$$\text{Gaya aksial (Pu)} = 424.997,64 \text{ kg}$$

2. Konfigurasi Alat Penyambung

a. Konfigurasi baut

Digunakan baut A325 dengan diameter 22 mm

$$d_b = 22 \text{ mm}$$

$$F_{nt} = 620 \text{ Mpa}$$

$$F_{nv} = 372 \text{ Mpa}$$

$$F_u = 825 \text{ Mpa}$$

b. Konfigurasi pelat sambung

Pelat penyambung untuk *flens*, $h = 420$ mutu BJ – 37

$$h = 420 \text{ mm}$$

$$t_p = 12 \text{ mm}$$

$$F_y = 240 \text{ Mpa}$$

$$F_u = 370 \text{ Mpa}$$

c. Pelat penyambung untuk *web*, $h = 300$ mutu BJ-37

$$h = 300 \text{ mm}$$

$$t_p = 12 \text{ mm}$$

$$F_y = 240 \text{ Mpa}$$

$$F_u = 370 \text{ Mpa}$$

Desain Sambungan kolom-kolom

1. Sambungan baut pada *flens*

$$\bullet \quad M_{web} = \frac{I_{web}}{I_x} \cdot Mu$$

$$= \frac{1}{12} \cdot t_w \cdot h_w^3 \cdot Mu$$

$$= \frac{1,30,}{1,87 \cdot 10^9} \cdot 303622317,719$$

$$= 12566693,92 \text{ Nmm}$$

$$= 12,567 \text{ kNm}$$

- $M_{flens} = M_u - M_{web}$

$$= 303,622 - 12,567$$

$$= 291,055 \text{ kNm}$$

- $R_u = \frac{M_{flens}}{d}$

$$= \frac{291,055 \times 10^6}{458}$$

$$= 635491,266 \text{ N}$$

$$= 635,491 \text{ kN}$$

R_u merupakan gaya tarik *ultimate* yang dapat diterima profil sehingga $R_u = T_u$

- $T_u = A_g \cdot f_y$

$$635491,266 = A_g \cdot 240$$

$$A_g = 2647,88 \text{ mm}^2$$

Tebal pelat sambung yang dibutuhkan, $t_p = \frac{A_g}{h_p}$

- $T_p = \frac{2647,88}{420}$

$$= 6,3 \text{ mm, dipakai } t_p \approx 12 \text{ mm}$$

- Kuat geser baut

$$\phi R_n = 0,75 \cdot F_{nv} \cdot A_b$$

$$= 0,75 \cdot 372 \cdot \left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 22^2\right)$$

$$= 106057,026 \text{ N}$$

$$= 106,057 \text{ kN}$$

- Kuat tumpu dan sobek lubang baut

$$R_n = 1,5 \cdot l_c \cdot t_p \cdot F_u \leq 3,0 \cdot d \cdot t_p \cdot F_u$$

$$l_c = 22 + 2 = 24 \text{ mm}$$

$$\phi R_n = 1,5 \cdot 24 \cdot 12 \cdot 370 \leq 3,0 \cdot 22 \cdot 12 \cdot 370$$

$$= 159840 \text{ N} \leq 293040 \text{ N}$$

$$= 159,84 \text{ kN}$$

Kuat geser baut menentukan sehingga nilai $\phi R_n = 106,057 \text{ kN}$

Maka, jumlah baut yang dibutuhkan :

$$n = \frac{635,491}{106,057} = 5,99 \approx 6 \text{ buah}$$

• Persyaratan jarak pada baut menurut SNI 1729 : 2020

- Jarak minimum (tiap baut) = $3 \cdot d_b = 3 \cdot 22 = 66 \text{ mm}$
- Jarak maksimum (tiap baut) = $24 \cdot t_p = 24 \cdot 12 = 288 \text{ mm}$ atau $\leq 300 \text{ mm}$
- Jarak tepi minimum = 28 mm (table J3.4M SNI 1729 : 2020)
- Jarak tepi maksimum = $12 \cdot 12 = 144 \text{ mm}$ atau $\leq 150 \text{ mm}$

Maka, dipilih :

- Jarak antar baut = $66 < 150 < 288 \text{ mm}$
- Jarak tepi baut = $28 < 90 < 144 \text{ mm}$

2. Sambungan baut pada web

h pelat sambung = 300

Ipelat sambung $> I_{web}$

$$\frac{1}{12} \cdot t_p \cdot h p^3 > \frac{1}{12} \cdot t_w \cdot h w^3$$

$$2 \cdot \frac{1}{12} \cdot 12 \cdot 300^3 > \frac{1}{12} \cdot 30 \cdot 314^3$$

$$810000000 \text{ mm}^4 > 77397860 \text{ mm}^4$$

Maka , jumlah baut yang dibutuhkan :

$$n = \frac{R_u}{\phi R_n} = \frac{V_u}{\phi R_n} = \frac{144,071}{106,057} = 1,358 \approx 4 \text{ buah}$$

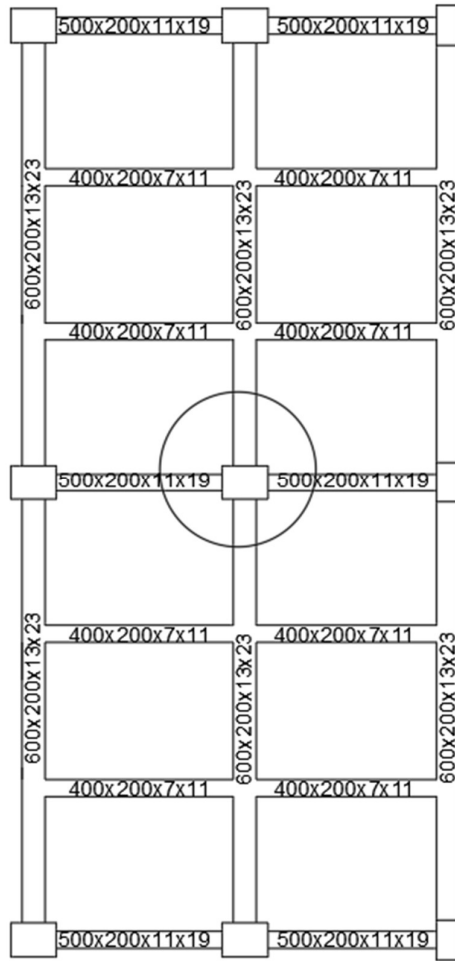
• Persyaratan jarak pembautan menurut SNI 1729:2020

- Jarak minimum (tiap baut) = $3 \cdot d_b = 3 \cdot 22 = 66 \text{ mm}$
- Jarak maksimum (tiap baut) = $24 \cdot t_p = 24 \cdot 12 = 288 \text{ mm}$ atau $\leq 300 \text{ mm}$
- Jarak tepi minimum = 28 mm (table J3.4M SNI 1729 :2020)
- Jarak tepi maksimum = $12 \cdot 12 = 144 \text{ mm}$ atau $\leq 150 \text{ mm}$

Maka, dipilih :

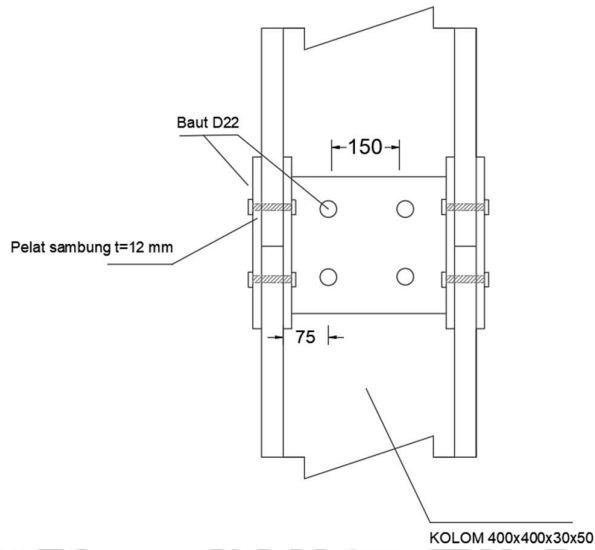
- Jarak antar baut = $66 < 150 < 300 \text{ mm}$
- Jarak tepi baut = $28 < 75 < 150 \text{ mm}$

Pendetailan Sambungan :

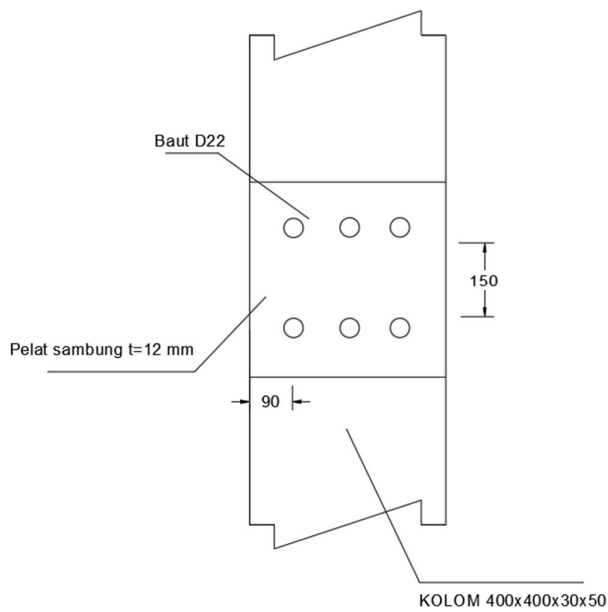


Gambar 4.12 Denah Perletakan Sambungan Kolom-Kolom





Gambar 4.13 Tampak Depan Pada Sambungan Kolom-Kolom



Gambar 4.14 Tampak Samping Pada Sambungan Kolom-Kolom

4.6.2 Sambungan Pada Balok – Balok

Balok dengan profil WF 600x200x13x23 disambung dengan balok profil WF 400x200x7x11 yang menggunakan sambungan baut dan pelat sambung agar monolit.

Rekap gaya dalam pada balok 400x200x7x11

$$\text{Momen (Mu)} = 30666,64 \text{ kgm}$$

$$\text{Geser (Vu)} = 21095,49 \text{ kgm} = 206.876 \text{ kNm}$$

Konfigurasi Alat Penyambung

a. Konfigurasi baut

digunakan baut A325 dengan diameter $\frac{1}{2}$ in

$$d_b = \frac{1}{2} \text{ in} = 12,7 \text{ mm}$$

$$F_{nt} = 620 \text{ Mpa}$$

$$F_{nv} = 372 \text{ Mpa}$$

$$F_u = 825 \text{ Mpa}$$

b. Konfigurasi pelat sambung

digunakan pelat penyambung profil siku (L) 75.75.9 memakai mutu baja BJ-37

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

$$t_p = 9 \text{ mm}$$

$$F_y = 240 \text{ Mpa}$$

$$F_u = 370 \text{ Mpa}$$

Desain pada sambungan balok induk – balok anak

1. Kuat geser baut

$$\phi R_n = 0,75 \cdot F_{nv} \cdot A_b$$

$$= 0,75 \cdot 372 \cdot \left(\frac{1}{4} \pi 12,7^2 \right)$$

$$= 35342,85 \text{ N}$$

$$= 35,34 \text{ kN}$$

2. Kuat tumpu dan sobek lubang baut

$$L_c = \frac{9}{16} \text{ in} = 15 \text{ mm}$$

$$\phi R_n = 1,5 \cdot l_c \cdot t_p \cdot F_u \leq 3,0 \cdot d \cdot t_p \cdot F_u$$

$$= 1,5 \cdot 15 \cdot 9 \cdot 370 \leq 3,0 \cdot 12,7 \cdot 9 \cdot 370$$

60

$$= 74925 \text{ N} \leq 126873 \text{ N}$$

$$= 74,93 \text{ kN}$$

Kuat geser baut menentukan sehingga nilai $\phi R_n = 35,35 \text{ kN}$

Maka, jumlah baut yang dibutuhkan :

$$n = \frac{R_u}{\phi R_n} = \frac{V_u}{\phi R_n} = \frac{206,876}{35,34} = 5,85 \approx 6 \text{ buah}$$

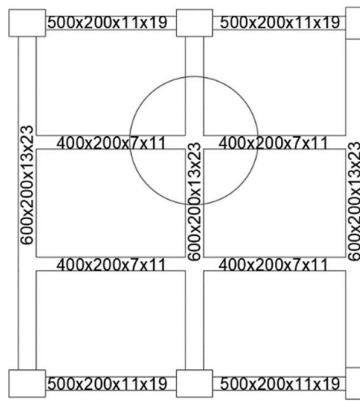
c. Persyaratan jarak pada baut menurut SNI 1729 : 2020

- Jarak minimum (tiap baut) = $3 \cdot d_b = 3 \cdot 12,7 = 38,1 \text{ mm}$
- Jarak maksimum (tiap baut) = $24 \cdot t_p = 24 \cdot 9 = 216 \text{ mm}$ atau $\leq 300 \text{ mm}$
- Jarak tepi minimum = $\frac{3}{4} \text{ in} = 19,1 \text{ mm}$ (table J3.4M SNI 1729 :2020)
- Jarak tepi maksimum = $12,6 = 72 \text{ mm}$ atau $\leq 150 \text{ mm}$

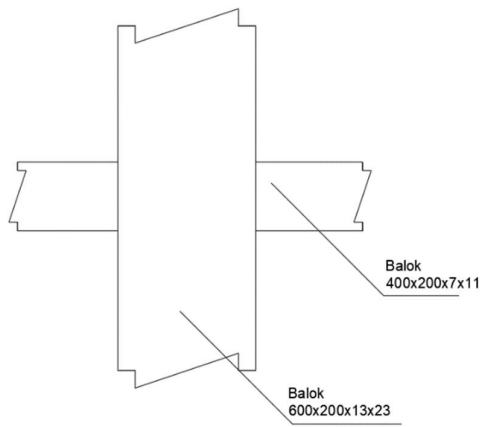
Maka, dipilih :

- Jarak tiap baut = $38,1 < 40 < 216 \text{ mm}$
- Jarak tepi baut = $19,1 < 25 < 72 \text{ mm}$

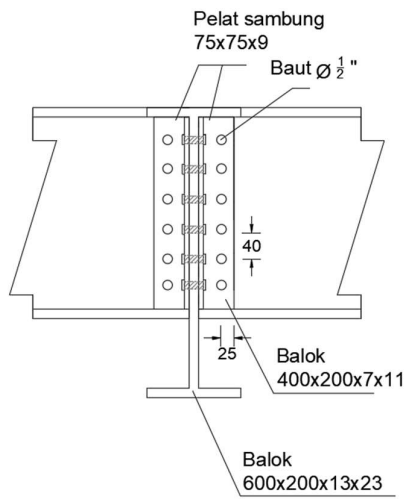
Pendetailan Sambungan :



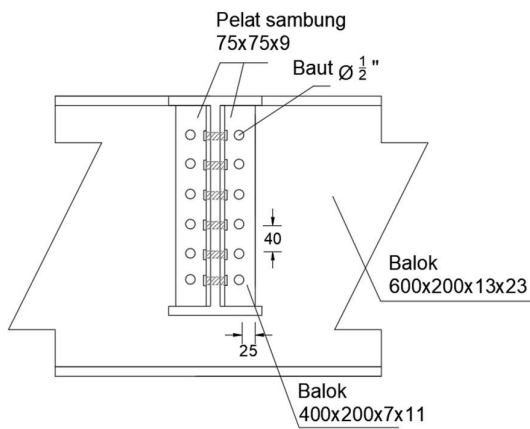
Gambar 4.15 Denah Perletakkan Sambungan Balok – Balok



Gambar 4.16 Tampak Atas Pada Sambungan Balok - Balok



Gambar 4.17 Tampak depan pada sambungan balok - balok



Gambar 4.18 Tampak samping pada sambungan balok - balok

4.6.3 Sambungan Pada Balok - Kolom

Balok Induk dan Kolom disambung menggunakan kombinasi sambungan las – baut

berserta pelat sambung dan pelat pengaku (*stiffener*) untuk menambah kekakuan *joint*.

Elemen yang disambung adalah balok induk dengan profil WF 600x200x13x23, dan kolom

400x400x30x50

Rekap gaya dalam pada balok 600x200x13x23

Momen (M_u) = 50788,83 kgm = 498068279,71 Nmm

Geser (V_u) = 31251,73 kg = 306470 N

Konfigurasi Alat Penyambung

1. Konfigurasi baut

Digunakan baut A325 TIPE M22

d_b = 22 mm

F_{nt} = 620 Mpa

F_{nv} = 372 Mpa

F_u = 825 Mpa

2. Konfigurasi las

Dicoba menggunakan las elektroda 90 (E90XX)

F_{uw} = 620 Mpa

3. Konfigurasi plat sambung

Digunakan plat sambung profil dengan mutu BJ-37

h = 908 mm

t_p = 14 mm

F_y = 240 Mpa

F_u = 370 Mpa

4. Konfigurasi pengaku (*stiffener*)

Digunakan *stiffener* untuk balok sebesar $\frac{1}{2}$ profil balok dengan mutu BJ-37

b_f = 300 mm

d = 304 mm

t_w = 11 mm

t_f = 17 mm

F_y = 240 Mpa

F_u = 370 Mpa

Desain sambungan baut

Perhitungan untuk sambungan baut pada sambungan balok-kolom disamakan dengan menggunakan kontrol V_u terbesar dari balok induk.

a. Kuat geser baut

$$\begin{aligned}\phi R_n &= 0,75 \cdot F_{nv} \cdot A_b \\ &= 0,75 \cdot 372 \cdot \left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 22^2\right) \\ &= 106057,03 \text{ N} \\ &= 106,06 \text{ kN}\end{aligned}$$

b. Kuat tumpu dan sobek lubang baut

$$\begin{aligned}L_c &= 22 + 2 = 24 \text{ mm} \\ R_n &= 1,5 \cdot L_c \cdot t_p \cdot F_u \leq 3,0 \cdot d \cdot t_p \cdot F_u \\ &= 1,5 \cdot 24 \cdot 14 \cdot 370 \leq 3,0 \cdot 22 \cdot 14 \cdot 370 \\ &= 186480 \text{ N} \leq 341880 \text{ N} \\ &= 186,48 \text{ kN}\end{aligned}$$

Kuat geser menentukan sehingga nilai $\phi R_n = 106,06 \text{ kN}$

Maka, jumlah baut yang dibutuhkan :

$$n = \frac{R_u}{\phi R_n} = \frac{V_u}{\phi R_n} = \frac{306,47}{106,06} = 2,9 \approx 4 \text{ buah}$$

c. Persyaratan jarak pembautan menurut SNI 1729:2020

- Jarak minimum (tiap baut) = $3 \cdot d_b = 3 \cdot 22 = 66 \text{ mm}$
- Jarak maksimum (tiap baut) = $24 \cdot t_p = 24 \cdot 14 = 336 \text{ mm}$ atau $\leq 300 \text{ mm}$
- Jarak tepi minimum = 28 mm (table J3.4M SNI 1729:2020)
- Jarak tepi maksimum = $12 \cdot t_p = 12 \cdot 14 = 168 \text{ mm}$ atau $\leq 150 \text{ mm}$

Maka, dipilih :

- Jarak antar baut = $66 < 200 < 300 \text{ mm}$
- Jarak tepi baut = $28 < 70 < 108 \text{ mm}$

Desain sambungan las

Dicoba menggunakan las sudut

1. Sambungan las sudut di *flens*

a. Tebal las :

$$t_f = 17 \text{ mm}$$

Tabel J2.4 SNI 1729:2020 mensyaratkan ukuran minimum las sudut untuk tebal *flens*

$13 \leq t_f \leq 19$ sebesar 6 mm dan maksimum sebesar tebal *flens* yang dilas.

Maka, $W_{min} = 6 \text{ mm}$

$W_{maks} = 17 \text{ mm}$

Digunakan $W = 12 \text{ mm}$

b. Panjang las yang dibutuhkan :

digunakan las sudut sama kaki sehingga luas efektif sebesar :

$$A_{we} = \sin 45^\circ \cdot w$$

$$= 0,707 \cdot 12$$

$$= 8,48 \text{ mm}^2$$

$$F_{nw} = 0,6 F_{E90} (1,0 + 0,50 \sin^{1,5} \Theta)$$

$$= 0,6 \cdot 620 \cdot (1,0 + 0,50 \sin^{1,5} 45^\circ)$$

$$= 482,6 \text{ Nmm}$$

Kekuatan nominal las :

$$\phi R_n = 0,75 \cdot F_{nw} \cdot A_{we}$$

$$= 0,75 \cdot 482,6 \cdot 8,48$$

$$= 3069,336 \text{ N}$$

Pada *flens*, gaya yang dipikul adalah momen, maka :

$$R_u \text{ balok} = \frac{M_u}{d} = \frac{498068279,71}{304} = 1638382,5 \text{ Nmm}$$

$$L_w \text{ balok} = \frac{R_u}{\phi R_n} > L_{min} = 4 \cdot a$$

$$= \frac{1638382,5}{3069,336} > L_{min} = 4,6$$

$$= 533,79 \text{ mm} > 24 \text{ mm}$$

$$\approx 550 \text{ mm}$$



2. Sambungan las sudut di web

a. Tebal las :

$$t_w = 11 \text{ mm}$$

Tabel J2.4 SNI 1729:2020 mensyaratkan ukuran minimum las sudut untuk tebal *flens* 6

$\leq t_f \leq 13$ sebesar 5 mm dan maksimum sebesar tebal *web* yang dilas.

$$\text{Maka, } W_{\min} = 5 \text{ mm}$$

$$W_{\max} = 11 \text{ mm}$$

$$\text{Digunakan } W = 10 \text{ mm}$$

b. Panjang las yang dibutuhkan :

Digunakan las sudut sama kaki sehingga luas efektif sebesar :

$$A_{we} = \sin 45^\circ \cdot w$$

$$= 0,707 \cdot 10$$

$$= 7,07 \text{ mm}^2$$

$$F_{nw} = 0,6 F_{E90} (1,0 + 0,50 \sin^{1,5} \theta)$$

$$= 0,60 \cdot 620 \cdot (1,0 + 0,50 \sin^{1,5} 45^\circ)$$

$$= 482,6 \text{ Nmm}$$

Kekuatan nominal las :

$$\phi R_n = 0,75 \cdot F_{nw} \cdot A_{we}$$

$$= 0,75 \cdot 482,6 \cdot 7,07$$

$$= 2558,99 \text{ N}$$

Pada *web*, gaya yang dipikul adalah gaya geser, maka :

$$L_w \text{ balok} = \frac{V_u}{\phi R_n} > L_{\min} = 4 \cdot a$$

$$= \frac{306470}{2558,99} > 4,5$$

$$= 119,76 > 20$$

$$\approx 120 \text{ mm}$$

3. Sehingga, didapatkan panjang pengelasan pada :

1. *Flens* (pelat sayap)

$$W = 12 \text{ mm}$$

$$L_w \text{ balok} = 550 \text{ mm}$$

2. *Web* (pelat badan)

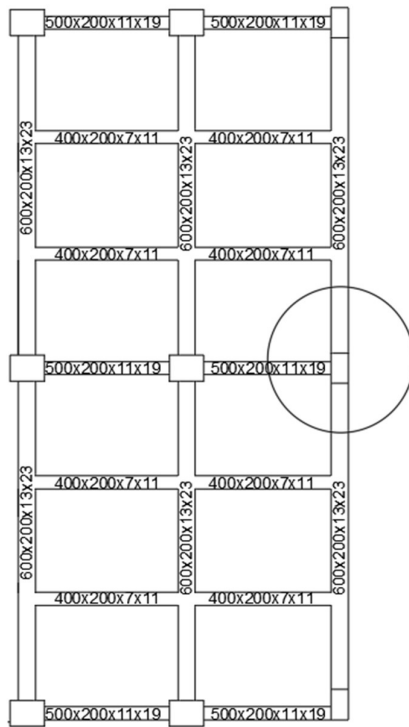
$$W = 10 \text{ mm}$$

$$L_w \text{ balok} = 120 \text{ mm}$$

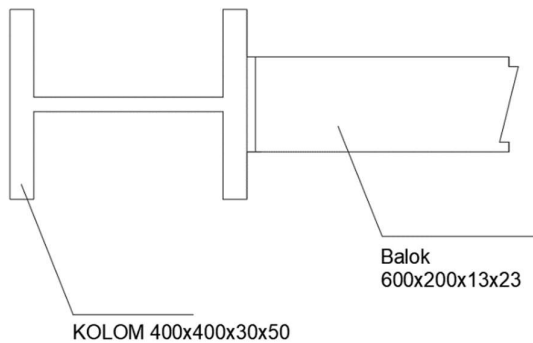
3. Pelat pengaku (*stiffener*)

Nilai W dan L_w pada pengaku mengikuti dengan *flens* dan *web* yang diperkaku (diletakkan di balok)

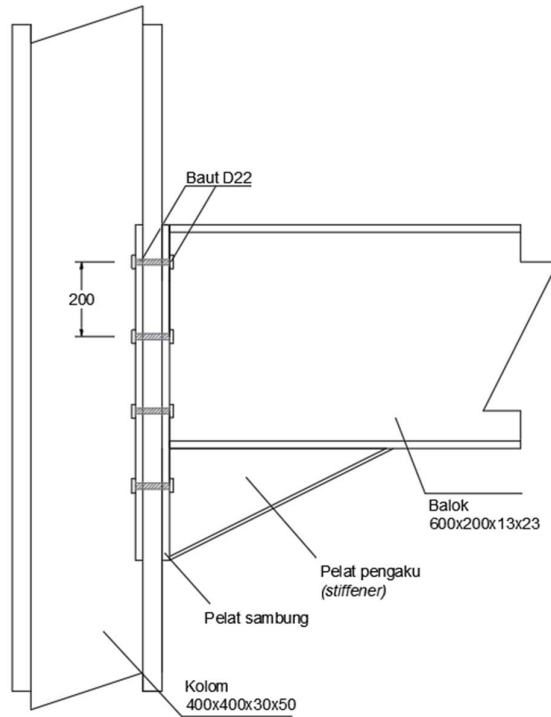
Pendetailan Sambungan :



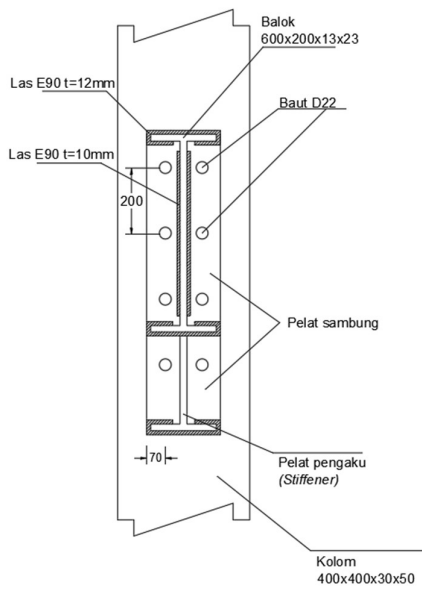
Gambar 4.19 Denah Perletakan Sambungan Balok-Kolom



Gambar 4.20 Tampak Atas Pada Sambungan Balok-Kolom



Gambar 4.21 Tampak Depan Pada Sambungan Balok-Kolom



Gambar 4.22 Tampak Samping Pada Sambungan Balok-Kolom

4.7 Rincian Anggaran Biaya

Berikut hasil dari perhitungan rincian anggaran biaya yang dikeluarkan untuk pekerjaan balok dan kolom menggunakan profil baja WF:

Tabel 4.11
Harga Satuan dalam Pekerjaan Besi dan Aluminium

A.4.2.1 HARGA SATUAN PEKERJAAN BESI DAN ALUMINIUM

A.4.2.1.1. Pemasangan 1 kg besi profil

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
A	TENAGA					
	Pekerja	L.01	OH	0,060		
	Tukang las konstruksi	L.03	OH	0,060		
	Kepala tukang	L.03	OH	0,006		
	Mandor	L.04	OH	0,003		
					JUMLAH TENAGA KERJA	
B	BAHAN					
	Besi Profil		Kg	1,150		
					JUMLAH HARGA BAHAN	
C	PERALATAN					
					JUMLAH HARGA ALAT	
D	Jumlah (A+B+C)					
E	Overhead & Profit (Contoh 15%)				15% x D (maksimum)	
F	Harga Satuan Pekerjaan (D+E)					

Sumber : Analisis Harga Satuan Pekerjaan Bidang Cipta Karya Kementerian PUPR

Tabel 4.12
Harga Satuan Pokok Barang dan Jasa Pemerintah Kota Kediri TA 2021

No.	URAIAN BARANG / JASA	SPEKIFIKASI	SATUAN	HARGA SATUAN
99	Seng Gelombang BJLS 30	80 x 150 cm	Lbr	83.945
100	Seng Datar BJLS 27	80 x 180 cm	Lembar	77.200
101	Seng Datar BJLS 0,03	Lbr = 0,5m	Lembar	45.300
102	Seng Gelombang BJLS 30	(0,02x80x180) cm	Lbr	130.707
103	Seng Gelombang BJLS 30	80x210 cm	Lbr	88.837
104	Seng Plat	3 x 6 "	Lbr	46.762
105	Seng Talang BJLS 30	L = 90 cm	m"	32.960
106	Seng Gelombang BJLS 30	80x240 cm	Lbr	103.000
107	Seng Gelombang BJLS 30	80 x 180 cm	Lbr	66.332
108	Seng Datar BJLS 40		M2	47.300
109	Besi beton polos		Kg	14.000
110	Besi beton ulir		Kg	15.500
111	Besi beugel/baut	25 cm f 12	Buah	51.700
112	Besi plat bordes	2,3 mm	Lbr	1.287.500
113	Besi plat strip		Kg	27.000
114	Besi Profil	U 3mm	Kg	17.800
115	Besi profil WF		Kg	17.800
116	Besi profil WF	<= 200 mm	Kg	22.700
117	Besi profil WF	<= 200 mm s/d 400 mm	Kg	23.700
118	Besi siku L 40,40,4 mm	L 40,40,4 mm	Ljr	154.500
119	Besi siku L 60,60,6 mm	L60,60,6 mm	Buah	479.800

Sumber : Harga Satuan Pokok Barang dan Jasa Pemerintah Kota Kediri TA.2021

Tabel 4.13
Hasil SAP2000 untuk total bentang per dimensi

TABLE: Material List 2 - By Section Property				
Section	ObjectType	NumPieces	TotalLength	TotalWeight
Text	Text	Unitless	m	Kgf
600x200x13x23	Frame	206	1335.92375	186457.23
500x200x11x19	Frame	172	720.45351	71715.11
400x200x7x11	Frame	483	1515.395	97629.3
350x175x7x11	Frame	148	376.80402	16189.64
250x175x7x11	Frame	347	1012.431	43277.29
175x125x5.5x8	Frame	33	62.133	1401.85
KOLOM 400x400x30x50	Frame	314	1226.00069	471523.95

Sumber : Perhitungan pada SAP2000

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
A	TENAGA					
	Pekerja	L.01	OH	0.06	75,000.00	4,500.00
	Tukang Las Konstruksi	L.03	OH	0.06	85,000.00	5,100.00
	Kepala Tukang	L.03	OH	0.01	90,000.00	540.00
	Mandor	L.04	OH	0.00	100,000.00	300.00
					Jumlah	10,440.00
B	BAHAN					
	Besi Profil		kg	1.15	17,800.00	20,470.00
					Jumlah	20,470.00
C	ALAT					
D	Jumlah (A+B+C)					30,910.00
E	Overhead & Profit 10%					3,091.00
F	Harga Satuan Pekerjaan (D+E)					34,001.00

No	Uraian	Total bentang (m)	Berat (kg/m)	Harga Satuan (Rp)	Jumlah harga (Rp)
I	PEKERJAAN BALOK				
1	175x125x5.5x8	62.13	23.3	34,001.00	49,223,210.30
2	250x175x7x11	1,012.43	44.1	34,001.00	1,518,083,689.61
3	350x175x7x11	376.80	49.6	34,001.00	635,460,988.81
4	400x200x7x11	1,515.40	56.6	34,001.00	2,916,311,909.36
5	500x200x11x19	720.45	103	34,001.00	2,523,102,398.73
6	600x200x13x23	1,335.92	134	34,001.00	6,086,647,618.78
II	PEKERJAAN KOLOM				
1	400x400x30x50	1,226.00	415	34,001.00	17,299,378,526.19
				Jumlah	31,028,208,341.77

4.8 Pembahasan

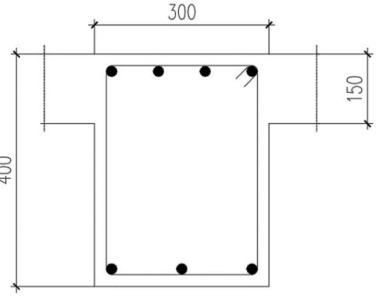
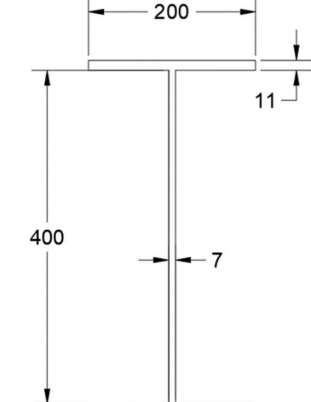
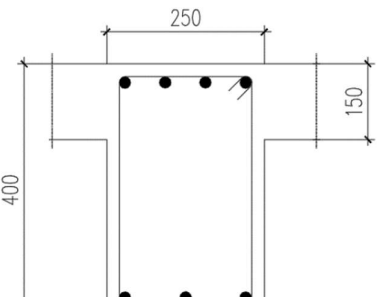
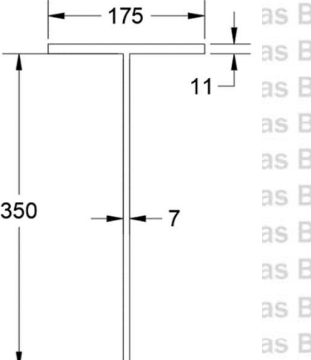
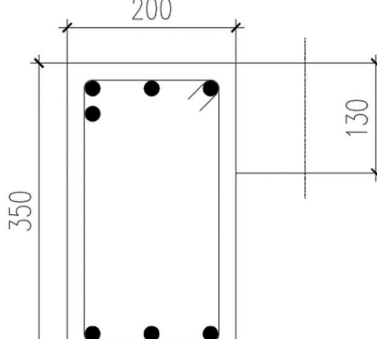
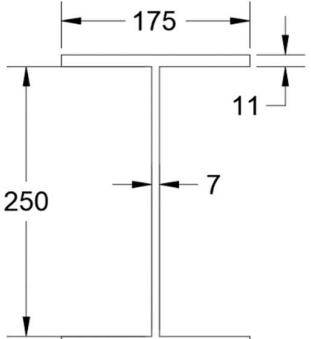
4.8.1 Profil Baja WF Pengganti Beton Bertulang

Berikut disajikan dalam bentuk tabel hasil analisis perencanaan menggunakan baja profil WF pengganti beton bertulang pada pekerjaan balok dan kolom.

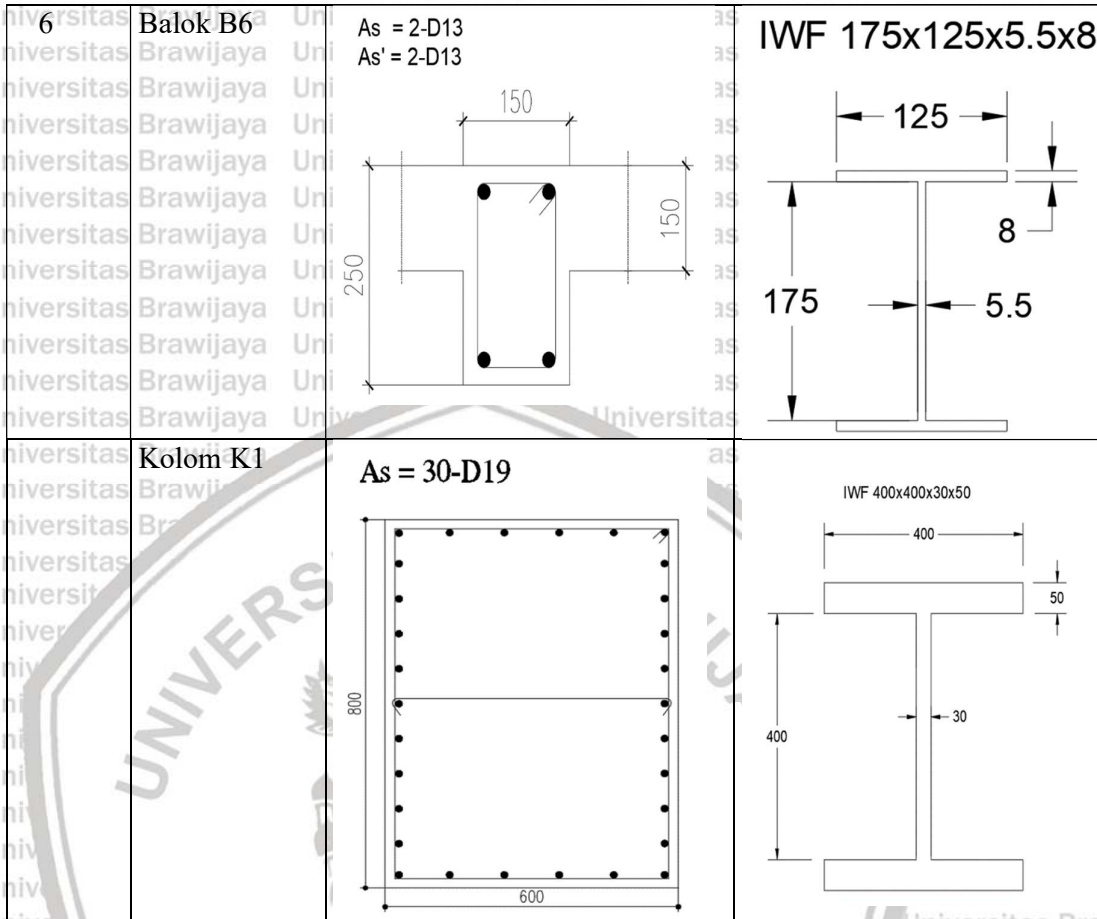
Tabel 4.14
Profil Baja WF Pengganti Beton Bertulang pada Pekerjaan Balok dan Kolom

No	Type	Beton	Baja
1	Balok B1	<p>As = 8-D19 As' = 5-D19</p>	<p>IWF 600x200x13x23</p>
2	Balok B2	<p>As = 8-D19 As' = 5-D19</p>	<p>IWF 500x200x11x19</p>



<p>3</p>	<p>Balok B3</p>	<p>As = 4-D16 As' = 3-D16</p> 	<p>IWF 400x200x7x11</p> 
<p>4</p>	<p>Balok B4</p>	<p>As = 4-D13 As' = 3-D13</p> 	<p>IWF 350x175x7x11</p> 
<p>5</p>	<p>Balok B5</p>	<p>As = 4-D13 As' = 3-D13</p> 	<p>IWF 250x175x7x11</p> 





4.8.2 Perbandingan Biaya Pekerjaan

Berikut disajikan dalam bentuk tabel perbandingan pengeluaran biaya untuk pekerjaan balok dan kolom antara profil baja WF dengan beton bertulang.

Tabel 4.15
Perbandingan Harga Pekerjaan Profil baja WF dengan Beton Bertulang

No	Tipe	Beton		Baja		Kenaikan (%)
		Dimensi	Harga (Rp)	Dimensi	Harga (Rp)	
1	B1	40/65	1,201,931,156.35	600x200x13x23	6,086,647,618.78	406.41
2	B2	30/55	553,187,996.23	500x200x11x19	2,523,102,398.73	356.10
3	B3	30/40	422,392,738.52	400x200x7x11	2,916,311,909.36	590.43
4	B4	25/40	162,851,199.82	350x175x7x11	635,460,988.81	290.21
5	B5	20/35	257,350,133.30	250x175x7x11	1,518,083,689.61	489.89
6	B6	15/25	65,309,029.76	175x125x5.5x8	49,223,210.30	(24.63)
7	K1	60/80	2,511,861,665.28	400x400x30x50	17,299,378,526.19	588.71

Dari keseluruhan perhitungan pada biaya, harga beton bertulang lebih murah dibandingkan dengan harga baja yang dihitung dari harga pembangunan RS Bayangkara Nganjuk. Sehingga hasil dari perencanaan ulang menggunakan struktur baja ini belum bisa diterapkan pada pembangunan RS Bayangkara Nganjuk. Hal ini disebabkan karena dalam perancangan ulang menggunakan bahan yang berbeda, harga satuan baja serta dalam prinsip perencanaan mementingkan konsep ekonomis. Namun dari segi kekuatan keseluruhan perancangan ulang menggunakan struktur baja ini tergolong aman.

Dari hasil perhitungan ini perbandingan harga antara beton bertulang dengan struktur baja masih terlampaui kasar, mengingat bahwa analisis dan perencanaan dilakukan secara manual dengan adanya perbedaan bahan yang dipakai dalam perencanaan ulang struktur ini juga dipengaruhi oleh selisih beda harga cukup signifikan, karena dari berat profil sendiri saja lebih berat beton daripada baja sehingga yang terjadi dilapangan akan terpengaruh pada bentang yang dapat digunakan secara efisien dan efektif.

(Halaman sengaja dikosongkan)



BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Perencanaan ulang pada balok dan kolom menggunakan struktur baja WF ini dalam pembangunan RS Bayangkara Nganjuk bukan hanya dilihat dari faktor angka pemborosan dimana beban terfaktor (ϕP_n) terlampaui besar daripada beban *ultimate* (P_u) pada kolom serta momen rencana terfaktor (M_R) terlampaui besar dari momen *ultimate* (M_u), tetapi juga faktor yang lain seperti apakah tegangan yang terjadi sudah memenuhi syarat dari tegangan yang diizinkan, serta faktor lendutan yang terjadi apakah sudah memenuhi syarat aman ataukah belum. Yang namanya mengganti dari beton bertulang ke baja WF maka kekuatan yang dihasilkan harus setara. Maka dari itu meskipun beban terfaktor (ϕP_n) mendekati daripada beban *ultimate* (P_u) pada kolom serta momen rencana terfaktor (M_R) mendekati momen *ultimate* (M_u) bisa dikatakan hemat/minim dari kata pemborosan tetapi belum tentu kekuatan yang dihasilkan dari baja WF setara kekuatannya dari beton bertulang.

Kesimpulan yang didapat pada perencanaan ulang menggunakan profil baja WF ini adalah :

1. Hasil dari perencanaan ulang untuk dimensi profil baja wf pengganti beton bertulang pada pekerjaan balok dan kolom pada proyek pembangunan RS Bayangkara Nganjuk sebagai berikut :

No	Tipe	Beton	Baja
1	B1	40/65	600x200x13x23
2	B2	30/55	500x200x11x19
3	B3	30/40	400x200x7x11
4	B4	25/40	350x175x7x11
5	B5	20/35	250x175x7x11
6	B6	15/25	175x125x5.5x8
7	K1	60/80	400x400x30x50

2. Dari hasil analisis yang dilakukan, penggunaan profil baja WF sebagai pengganti struktur beton bertulang pada Rumah Sakit Bayangkara Nganjuk membutuhkan lebih banyak biaya dengan persentase sebagai berikut:

- a. Balok B1 406.41%, Balok B2 356.10%, Balok B3 590.43%, Balok B4 290.21%, Balok B5 489.89%, Balok B6 -24.63%.
- b. Kolom K1 588.71%

5.2 Saran

1. Tentu perlu adanya studi lebih lanjut terkait menghitung manajemen waktu atau penjadwalan yang terjadi yang mampu dilaksanakan mendekati sesuai dengan kondisi di lapangan yang sesungguhnya.
2. Agar perbandingan lebih setara maka disarankan dari 1 asumsi yang sama untuk perencanaan pekerjaan beton bertulang ini dan struktur baja untuk didapatkan hasil yang lebih maksimal.



DAFTAR PUSTAKA

Futariani, Yovi Surya. 2013. *Kajian Struktur Baja Sebagai Alternatif Review Design Struktur Beton Bertulang (Studi Kasus pada Gedung LPTK FT UNY)*. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.

Efendi S Moch. Ricky dan Yusroniya Eka Putri. 2013. *Perbandingan Biaya dan Waktu Antara Struktur Beton Bertulang dan Struktur Baja Pembangunan Gedung Ruang Kuliah Universitas Trunojoyo Madura*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Arifianto, Andy Kristafi dan Handika Setya Wijaya. 2019. *Perbandingan Efisiensi Balok Kolom Beton dan Kolom Baja di Bangunan Museum MPU Purwa Kota Malang*. Malang: Universitas Tribhuwana Tunggaladewi Malang

Wardhani Inees Kusuma. 2016. *Perencanaan Ulang Struktur Baja Menggunakan Spesifikasi Bangunan Gedung Baja Struktural (SNI 1729:2015)*. Cirebon: Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

Wibowo Wahyu Pratomo. 2012. *Modifikasi Perencanaan Menggunakan Struktur Baja dengan Balok Komposit pada Gedung Pemerintah Kabupaten Ponorogo*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember

<https://www.coursehero.com/file/43828423/7-kompositdoc/> (diakses 10 Februari 2021 pukul 20.00 WIB)

<https://www.pengadaanbarang.co.id/2019/09/ahsp.html> (diakses 1 maret 2021 pukul 12.00 WIB)

SNI 1729:2020. Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural. Dinas Pekerjaan Umum

SNI 1726:2019. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung SNI 1726:2019. Dinas Pekerjaan Umum.

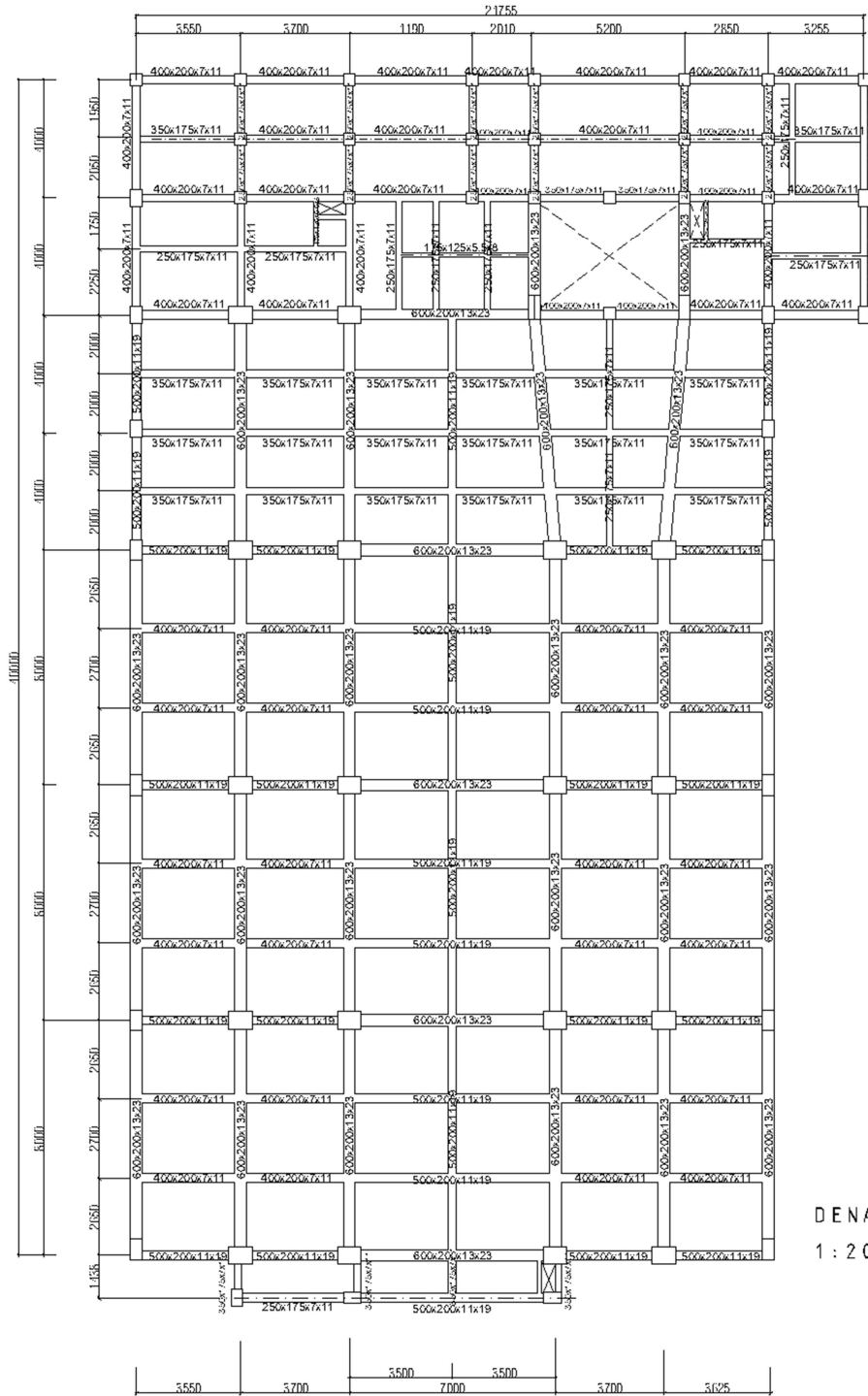
Arifi Eva dan Desy Setyowulan. 2020. *Perencanaan Struktur Baja*. Malang : UB Press

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



LAMPIRAN

Lampiran I. Denah Perencanaan Struktur Baja Profil WF



DENAH LT. 1
1 : 200

Lampiran 2. Faktor Partisipasi Massa

TABLE: Modal Participating Mass Ratios

OutputCase	StepType	StepNum	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
Text	Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
MODAL	Mode	1	1.052977	0.485	0.038	1.147E-07	0.485	0.038	1.147E-07	0.005859	0.224	0.181	0.005859	0.224	0.181
MODAL	Mode	2	1.026693	0.03	0.718	2.846E-08	0.515	0.756	1.432E-07	0.107	0.013	0.005935	0.113	0.238	0.186
MODAL	Mode	3	0.788642	0.202	0.000625	7.951E-11	0.718	0.757	1.433E-07	0.00005099	0.062	0.536	0.113	0.3	0.723
MODAL	Mode	4	0.338959	0.038	0.081	9.048E-07	0.756	0.838	0.00001048	0.043	0.032	0.02	0.156	0.331	0.743
MODAL	Mode	5	0.334892	0.072	0.046	7.376E-07	0.828	0.884	0.00001786	0.025	0.06	0.031	0.181	0.391	0.774
MODAL	Mode	6	0.247377	0.038	0.0000988	3.069E-08	0.867	0.884	0.000001816	0.00004613	0.041	0.094	0.181	0.433	0.869
MODAL	Mode	7	0.190494	0.0002326	0.05	0.00001357	0.867	0.934	0.000003173	0.009047	0.00007883	0.000382	0.19	0.433	0.869
MODAL	Mode	8	0.177253	0.04	0.0004391	0.000006301	0.907	0.934	0.000009474	0.00006036	0.015	0.019	0.19	0.448	0.888
MODAL	Mode	9	0.164833	0.000001176	6.418E-08	5.666E-08	0.907	0.934	0.00000953	9.229E-09	0.0000107	0.00001743	0.19	0.448	0.888
MODAL	Mode	10	0.162169	1.18E-09	1.707E-08	0.001063	0.907	0.934	0.001072	0.0008851	0.00005264	2.059E-08	0.191	0.448	0.888
MODAL	Mode	11	0.161751	4.803E-08	0.000000136	0.00001624	0.907	0.934	0.001089	0.0001293	0.00002259	3.295E-08	0.191	0.448	0.888
MODAL	Mode	12	0.159258	0.0002682	4.261E-08	0.0001372	0.907	0.934	0.001226	0.0001323	0.0000686	0.00002536	0.191	0.448	0.888
MODAL	Mode	13	0.15903	0.00001068	1.959E-07	0.0003115	0.907	0.934	0.001537	0.0001462	0.0003912	0.00001319	0.191	0.448	0.888
MODAL	Mode	14	0.157728	0.000006524	0.000001543	0.000001488	0.907	0.934	0.001539	0.00008991	0.00004768	0.000003731	0.191	0.448	0.888
MODAL	Mode	15	0.156099	4.333E-07	0.00003841	0.00004829	0.907	0.934	0.001587	0.000000319	0.00008038	7.663E-08	0.191	0.449	0.888
MODAL	Mode	16	0.154974	8.767E-07	0.00004703	0.00000232	0.907	0.934	0.001589	8.207E-07	0.00001246	4.132E-07	0.191	0.449	0.888
MODAL	Mode	17	0.15475	2.765E-14	2.443E-14	0.001444	0.907	0.934	0.003033	0.0008693	0.00005614	7.9E-15	0.192	0.449	0.888
MODAL	Mode	18	0.154703	0.000002005	0.000003691	0.0003411	0.907	0.934	0.003374	0.0004342	6.561E-07	5.401E-07	0.193	0.449	0.888
MODAL	Mode	19	0.154536	1.276E-09	0.000005473	0.0002964	0.907	0.934	0.00367	0.0005639	0.000001298	1.973E-07	0.193	0.449	0.888
MODAL	Mode	20	0.153281	4.173E-07	0.0000181	0.00000287	0.907	0.934	0.003673	0.00000436	0.00008322	6.514E-07	0.193	0.449	0.888
MODAL	Mode	21	0.15138	0.00002169	0.000000134	0.0001026	0.907	0.934	0.003776	0.0005162	0.000006321	0.000001156	0.194	0.449	0.888
MODAL	Mode	22	0.151175	0.00004651	4.015E-11	0.0001244	0.907	0.934	0.0039	0.002087	0.00004977	0.000001439	0.196	0.449	0.888
MODAL	Mode	23	0.150981	1.558E-08	6.187E-07	0.0001495	0.907	0.934	0.004044	0.0007567	0.000003539	0.00004529	0.197	0.449	0.888
MODAL	Mode	24	0.150177	0.000002033	0.00001903	0.00004543	0.907	0.934	0.004089	0.0002049	0.0001841	0.000000286	0.197	0.449	0.888
MODAL	Mode	25	0.14987	0.00003463	3.918E-07	0.00001444	0.907	0.934	0.004131	0.0000529	0.00003888	0.00002796	0.197	0.449	0.888
MODAL	Mode	26	0.149687	5.604E-07	0.000007138	0.0002237	0.907	0.934	0.006368	0.0006151	0.000005324	4.264E-07	0.198	0.449	0.888
MODAL	Mode	27	0.148401	0.0001713	0.000001355	6.172E-07	0.907	0.934	0.006369	0.00001077	0.00002345	0.0001008	0.198	0.449	0.888
MODAL	Mode	28	0.146805	0.00005252	0.00004641	0.0006285	0.907	0.934	0.006997	0.00007992	0.0001675	3.231E-07	0.198	0.449	0.888
MODAL	Mode	29	0.145773	0.00009707	5.055E-08	0.00002768	0.907	0.934	0.007025	0.0001977	0.00008618	1.35E-09	0.198	0.449	0.888
MODAL	Mode	30	0.144707	0.000001635	0.000001092	0.00004397	0.907	0.934	0.007069	0.0001116	0.00001636	0.000003156	0.198	0.449	0.888
MODAL	Mode	31	0.143967	0.000002116	5.781E-07	0.014	0.907	0.934	0.022	0.004184	0.015	0.00003497	0.202	0.465	0.888
MODAL	Mode	32	0.14352	7.339E-07	0.00002478	0.0001827	0.907	0.935	0.022	0.000005093	0.0002715	0.000006209	0.202	0.465	0.888
MODAL	Mode	33	0.142936	3.012E-08	0.00001023	0.00002694	0.907	0.935	0.022	0.00002673	0.00004539	3.199E-08	0.202	0.465	0.888
MODAL	Mode	34	0.14265	4.162E-07	0.000008045	0.00001177	0.907	0.935	0.022	0.00001516	0.00001998	8.286E-09	0.202	0.465	0.888
MODAL	Mode	35	0.141492	0.000000449	0.00001349	0.00005631	0.907	0.935	0.022	0.001267	0.00001702	0.000000968	0.203	0.465	0.888
MODAL	Mode	36	0.141372	0.00003997	3.106E-07	0.000002102	0.907	0.935	0.022	0.000008158	0.000003647	0.000003655	0.203	0.465	0.888
MODAL	Mode	37	0.141201	0.00005707	8.604E-08	0.00002664	0.907	0.935	0.022	0.00004216	0.00002877	0.0001206	0.204	0.465	0.888
MODAL	Mode	38	0.140611	0.000005684	0.000001077	0.00003718	0.907	0.935	0.022	0.00001852	0.0001147	0.00005949	0.204	0.465	0.889
MODAL	Mode	39	0.139171	0.0004692	0.000001788	0.00001676	0.908	0.935	0.022	0.0002324	0.0004096	0.0004494	0.204	0.465	0.889
MODAL	Mode	40	0.138761	0.0000801	0.000009655	0.00003046	0.908	0.935	0.022	0.002003	0.000007535	0.0006437	0.206	0.465	0.89
MODAL	Mode	41	0.137847	9.85E-14	8.604E-15	0.001516	0.908	0.935	0.023	0.0009004	0.00001089	5.113E-15	0.207	0.465	0.89
MODAL	Mode	42	0.136819	0.00000759	0.000003766	0.00005908	0.908	0.935	0.024	0.009423	0.0000163	0.00000969	0.216	0.465	0.889
MODAL	Mode	43	0.135493	0.0004681	0.00007898	0.00001183	0.908	0.935	0.024	0.001776	0.0008287	0.0003434	0.218	0.466	0.89
MODAL	Mode	44	0.134208	0.000007553	0.00002666	0.0001909	0.908	0.935	0.024	0.001107	0.00005187	0.00004113	0.219	0.467	0.89
MODAL	Mode	45	0.133078	0.00003796	0.000001295	0.0003354	0.908	0.935	0.027	0.00107	0.008237	0.0000959	0.22	0.475	0.89
MODAL	Mode	46	0.132601	2.88E-08	0.00000151	0.001994	0.908	0.935	0.029	0.001737	0.001356	0.00000242	0.222	0.476	0.89
MODAL	Mode	47	0.131376	0.000001079	0.0001093	0.001965	0.908	0.935	0.031	0.00169	0.00003555	0.00002125	0.223	0.476	0.89
MODAL	Mode	48	0.130721	0.0000809	0.0001727	0.0005796	0.908	0.935	0.032	0.0001068	0.000001521	0.0001757	0.224	0.476	0.89
MODAL	Mode	49	0.130664	0.000003583	0.00000738	0.0001535	0.908	0.935	0.032	0.0002016	0.0001191	0.0003763	0.224	0.477	0.891
MODAL	Mode	50	0.130129	0.001609	0.0000198	0.0003995	0.91	0.935	0.032	0.000114	0.00193	0.00059	0.224	0.478	0.896
MODAL	Mode	51	0.12923	0.016	0.0001221	0.0006558	0.926	0.935	0.033	0.0001744	0.007559	0.029	0.224	0.486	0.925
MODAL	Mode	52	0.129195	8.161E-15	2.436E-14	0.0001696	0.926	0.935	0.033	0.007286	0.000003547	4.896E-14	0.231	0.486	0.925
MODAL	Mode	53	0.128248	0.0005135	0.0002616	0.068	0.926	0.935	0.101	0.023	0.001545	0.0003264	0.254	0.488	0.925
MODAL	Mode	54	0.126687	0.00001122	0.0001443	0.02	0.926	0.936	0.121	0.0003197	0.00002678	1.234E-07	0.254	0.488	0.925
MODAL	Mode	55	0.126026	0.00003759	0.000005323	0.0003829	0.926	0.936	0.121	0.024	0.0006644	0.00001239	0.278	0.488	0.925
MODAL	Mode	56	0.125429	0.0001508	0.0002391	6.406E-07	0.926	0.936	0.121	0.008435	0.000001666	2.516E-08	0.286	0.488	0.925
MODAL	Mode	57	0.125226	0.0008435	0.002348	0.009434	0.927	0.938	0.131	0.0005214	0.0003206	0.0001159	0.287	0.491	0.926
MODAL	Mode	58	0.124685	0.000004784	0.021	0.002379	0.927	0.959	0.133	0.011	0.0001981	0.0001963	0.298	0.492	0.926
MODAL	Mode	59	0.124138	7.619E-07	0.001297	0.001241	0.927	0.961	0.134	0.002221	0.000003937	0.00007452	0.3	0.492	0.926
MODAL	Mode	60	0.122175	0.000004192	0.00000228	0.02	0.927	0.961	0.155	1.487E-07	0.00001949	0.000003183	0.3	0.492	0.926

