

**STUDI ALTERNATIF PERENCANAAN BANGUNAN GEDUNG  
RSUD dr. KANUJOSO DJATIWIWOWO BALIKPAPAN  
MENGUNAKAN STRUKTUR BALOK KOMPOSIT  
(PROFIL BAJA DAN BETON BERTULANG)**

**SKRIPSI  
TEKNIK SIPIL**

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan  
Memperoleh gelar Sarjana Teknik



**YUSRIL HAFIIZH**

**NIM.175060100111038**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
MALANG**

**2021**

LEMBAR PENGESAHAN

STUDI ALTERNATIF PERENCANAAN BANGUNAN GEDUNG  
RSUD Dr. KANUJOSO DJATIWIWOWO BALIKPAPAN  
MENGUNAKAN STRUKTUR BALOK KOMPOSIT  
( PROFIL BAJA DAN BETON BERTULANG )

SKRIPSI  
TEKNIK SIPIL

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan  
Memperoleh gelar Sarjana Teknik



YUSRIL HAFIIZH  
NIM. 175060100111038

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing  
Pada tanggal 01 Desember 2021

Dosen Pembimbing I

Ir. Mohammad Taufik Hidayat, MT.  
NIP. 196112281988021001

Dosen Pembimbing II

Dr. Eng. Lilya Susanti, ST., MT.  
NIP. 198502212019032003

Mengetahui

Ketua Program Studi



Dr. Eng. I. Indradi Wijatmiko, ST., M.Eng (Prac.)  
NIP. 19810220 200604 1 002





**HALAMAN IDENTITAS TIM PENGUJI SKRIPSI**

**JUDUL SKRIPSI :**

**STUDI ALTERNATIF PERENCANAAN BANGUNAN GEDUNG RSUD dr.  
KANUJOSO DJATIWIBOWO BALIKPAPAN MENGGUNAKAN STRUKTUR**

**BALOK KOMPOSIT**

**(PROFIL BAJA DAN BETON BERTULANG )**

Nama Mahasiswa : Yusril Hafiizh

NIM : 175060100111038

Program Studi : Teknik Sipil

Minat : Struktur

Tim Dosen Penguji :

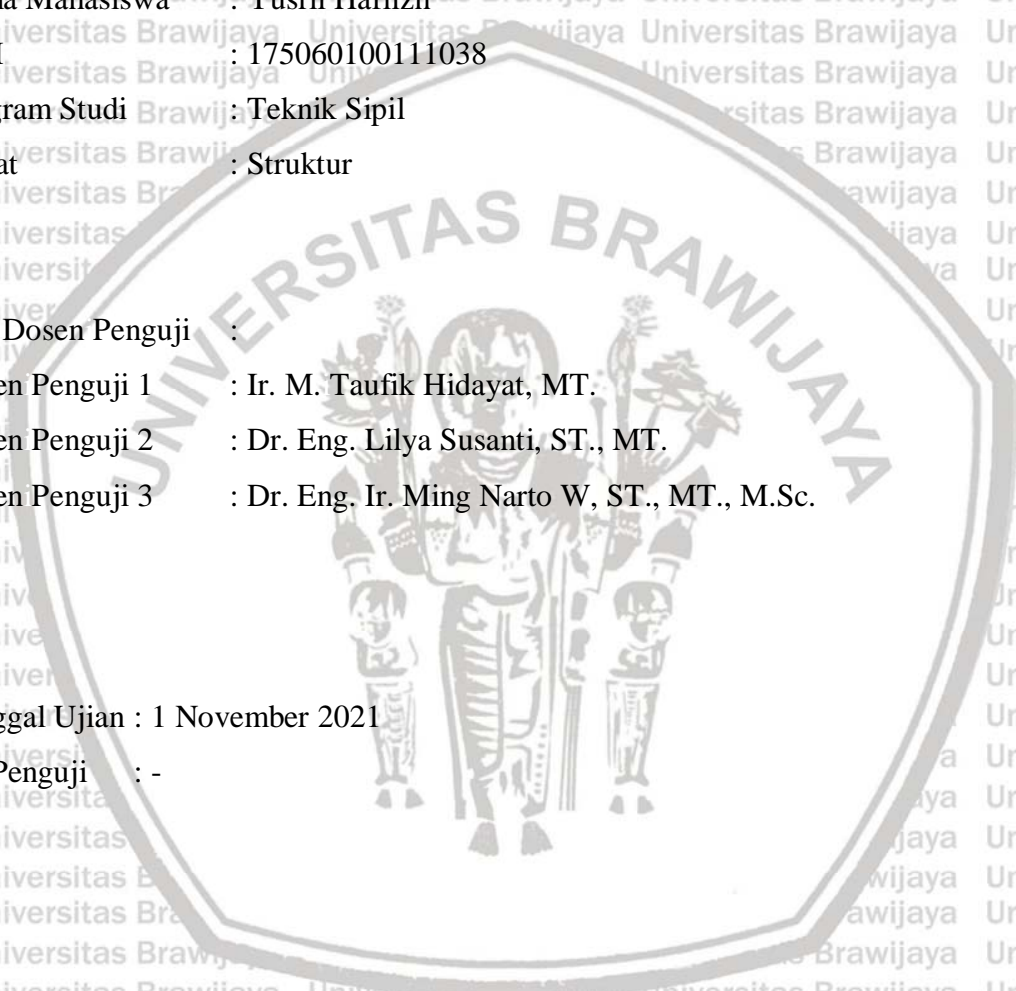
Dosen Penguji 1 : Ir. M. Taufik Hidayat, MT.

Dosen Penguji 2 : Dr. Eng. Lilya Susanti, ST., MT.

Dosen Penguji 3 : Dr. Eng. Ir. Ming Narto W, ST., MT., M.Sc.

Tanggal Ujian : 1 November 2021

SK Penguji : -





**LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS**

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa berdasarkan pengetahuan saya dan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan dikaji 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 plagiasi, saya bersedia skripsi ini dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 17 November 2021



Yusril Hafizh

NIM. 175060100111038

UNIVERSITAS BRAWIJAYA






**RIWAYAT HIDUP**

Yusril Hafiizh lahir di Balikpapan, 6 April 1999, anak Pertama dari Bapak Abdul Halid dan Ibu Yustia Anani. Mulai memasuki bangku sekolah di SD Negeri Balikpapan 01 di tahun 2005 dan lulus pada tahun 2011. Kemudian melanjutkan pendidikan di SMPIT Nunukann dan lulus pada tahun 2014. Selanjutnya menyelesaikan pendidikan di SMA Negeri 1 Balikpapan dan lulus pada tahun 2017. Setelah itu mengenyam bangku perkuliahan hingga lulus S1 (Strata 1) pada tahun 2021 dari Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Kota Malang.

Selama perkuliahan turut aktif dalam kegiatan organisasi kampus,. Serta mengikuti berbagai kepanitiaan yang diselenggarakan di ruang lingkup Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Kota Malang.

Malang, 17 November 2021



Yusril Hafiizh



LEMBAR PERUNTUKAN



*Teriring ucapan Terimakasih untuk Bapak, Mama, Ima, atas limpahan dukungan, materi serta semangat yang telah diberikan*





## RINGKASAN

RSUD dr. Kanujoso Djatiwibowo Balikpapan dibangun menggunakan struktur beton bertulang. Beton bertulang digunakan karena proses pengerjaannya yang mudah dan umum digunakan, karena proses pengerjaannya yang mudah maka mudah pula untuk melakukan pelaksanaannya. Meskipun begitu, beton bertulang juga memiliki kekurangan, yaitu pada pelaksanaannya cenderung memikul beban mati (berat sendiri) yang relatif lebih besar, hal ini dapat mengakibatkan beban gempa yang akan bertambah besar apabila beban mati juga relatif besar. Dalam pembahasan ini RSUD dr. Kanujoso Djatiwibowo Balikpapan merupakan gedung yang akan diredesain menggunakan balok komposit. Dibandingkan balok yang memakai profil baja konvensional, balok komposit bisa menerima momen yang lebih besar dikarenakan kekuatan nominal tambahan dari pelat beton. Sebelum dilakukan analisis, yang pertama dilakukan adalah preliminary design dan analisis struktur serta pembebanan pada ETABS sehingga didapat output gaya dalam yang nantinya dikontrol dengan kekuatan nominalnya.

Pengecekan kapasitas nominal diharuskan mencapai persyaratan  $\Phi M_n \geq M_u$  serta mencapai persyaratan perhitungan gaya lintang  $\Phi V_n \geq V_u$ . Apabila kapasitas nominal tidak memenuhi maka dilakukan alternatif modifikasi dan dilakukan analisis komposit baja – beton. Untuk menjadikan interaksi komposit penuh antara material baja dan beton, maka diberikan shear connector. Setelah gaya dalam diperoleh, dapat diidentifikasi bahwa gempa sangat menentukan pada area tumpuan, momen ultimit yang digunakan yang menentukan di area tumpuan, kemudian dilakukan analisis balok komposit dan terjadi signifikansi kapasitas nominal yaitu, jika dibandingkan saat sebelum komposit, didapatkan balok induk arah memanjang sebesar  $\Phi M_n = 204,125$  kNm dan pada arah melintang sebesar  $\Phi M_n = 111,645$  kNm serta pada balok anak dengan  $\Phi M_n = 32,084$  kNm. Pada saat setelah komposit kapasitas balok induk arah memanjang sebesar  $\Phi M_n = 342,99$  kNm dan pada arah melintang sebesar  $\Phi M_n = 187,038$  serta pada balok anak dengan  $\Phi M_n = 108,076$  kNm. Sehingga didapat signifikansi momen nominal pada balok induk arah memanjang sebesar 168% , arah melintang sebesar 167% dan balok anak sebesar 93%.

Kata kunci: Struktur Baja, Balok Komposit, Penghubung Geser, LRFD



## SUMMARY

*RSUD dr. Kanujoso Djatiwibowo Balikpapan was built using a reinforced concrete structure. Reinforced concrete is used because the process is easy and commonly used, because the process is easy it is easy to carry out the implementation. Even so, reinforced concrete also has drawbacks, namely in practice it tends to carry a relatively larger dead load (self weight), this can result in an earthquake load that will increase if the dead load is also relatively large.*

*In this discussion RSUD dr. Kanujoso Djatiwibowo Balikpapan is a building that will be redesigned using composite beams. Compared to beams using conventional steel profiles, composite beams can receive greater moments due to the additional nominal strength of the concrete slab. Prior to the analysis, the first thing to do is preliminary design and structural analysis as well as loading on the ETABS so that the internal force output is obtained which will be controlled by its nominal strength.*

*Checking the nominal capacity is required to meet the requirements of  $M_n$   $M_u$  and to meet the requirements for calculating the latitude  $V_n$   $V_u$ . If the nominal capacity does not meet, an alternative modification is carried out and an analysis of the steel-concrete composite is carried out. To make a full composite interaction between steel and concrete, a shear connector is provided. After the internal force is obtained, it can be identified that the earthquake is very decisive in the bearing area, the ultimate moment used is decisive in the support area, then an analysis of the composite beam is carried out and a significant nominal capacity occurs, that is, when compared to before the composite, the longitudinal direction of the main beam was obtained by  $M_n = 204.125$  kNm and in the transverse direction of  $M_n = 111.645$  kNm and in the child beam with  $M_n = 32.084$  kNm. At the time after the composite the capacity of the main beam in the longitudinal direction was  $M_n = 342.99$  kNm and in the transverse direction was  $M_n = 187.038$  and in the sub-beam with  $M_n = 108.076$  kNm. So that the significance of the nominal moment on the main beam in the longitudinal direction is 168%, the transverse direction is 167% and the subsidiary beam is 93%.*

*Keywords: Steel Structure, Composite Beam, Shear Connector, LRFD*



**STUDI ALTERNATIF PERENCANAAN BANGUNAN GEDUNG  
RSUD Dr. KANUJOSO DJATIWIBOWO BALIKPAPAN  
MENGUNAKAN STRUKTUR BALOK KOMPOSIT  
(PROFIL BAJA DAN BETON BERTULANG)**

**PROPOSAL SKRIPSI**

TEKNIK SIPIL

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan

Memperoleh gelar Sarjana Teknik



**YUSRIL HAFIIZH**

NIM. 175060100111038

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

**FAKULTAS TEKNIK**

**MALANG**

**2021**



## DAFTAR ISI

<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>4</b>
1.1 Latar Belakang .....	4
1.2 Identifikasi Masalah .....	5
1.3 Rumusan Masalah .....	5
1.4 Tujuan .....	5
1.5 Batasan Masalah .....	6
1.6 Manfaat .....	5
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>8</b>
2.1 Struktur Baja .....	8
2.1.1 Sifat Material Baja .....	8
2.1.2 Macam- Macam Profil Baja .....	8
2.2 Struktur Beton Bertulang .....	9
2.2.1 Sifat Mekanis Beton Bertulang .....	9
2.3 Struktur Komposit .....	12
2.3.1 Pengertian Struktur Komposit .....	12
2.3.2 Metode Pelaksanaan Struktur Komposit .....	13
2.4 Pembebanan .....	13
2.4.1 Beban Mati .....	13
2.4.2 Beban Hidup .....	13
2.5 Beban Gempa .....	14
2.6 Kombinasi Pembebanan .....	22
2.7 Analisis Struktur .....	23
2.8 Analisis Balok dan Kolom .....	25
2.8.1 Perencanaan Balok .....	25
2.8.2 Perhitungan Kolom .....	36
2.9 Kategori Gedung .....	37
2.10 Sistem Stuktur .....	37
2.11 Sambungan .....	38
2.11.1 Sambungan baut .....	38
2.11.2 Sambungan las .....	39
2.12 Penghubung geser .....	40
2.12.1 Macam Macam Penghubung Geser .....	40
2.12.2 Jumlah Angkur Baja .....	44
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>45</b>
3.1 Pengumpulan Data .....	45



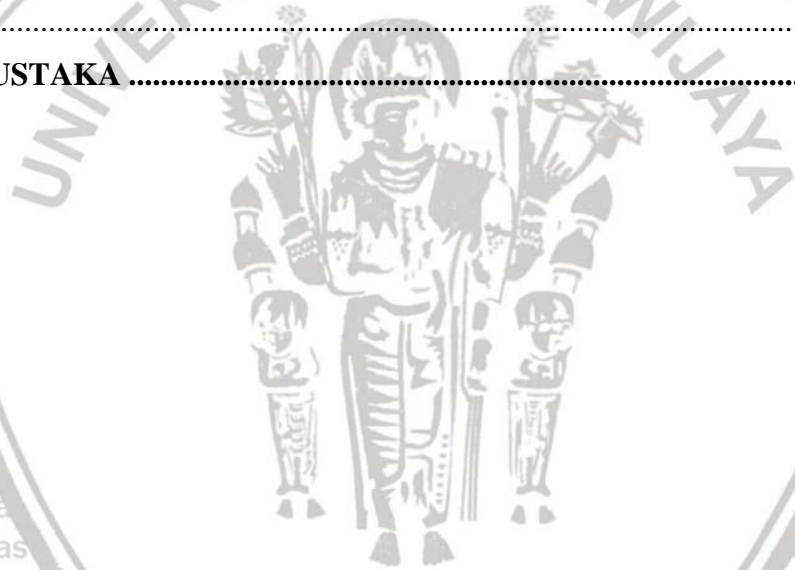


3.2 Data óData Desain .....	45
3.2.1 Data óData Umum.....	45
3.2.2 Data Teknis Gedung Awal .....	46
3.3 Prosedur Perencanaan .....	46
3.3.1 Analisis Pembebanan .....	46
3.3.2 Analisis Struktur.....	47
3.3.3 Desain Penampang .....	48
3.3.4 Gambar Struktur.....	48
3.4 Diagram Alir Perencanaan.....	49
<b>BAB IV .....</b>	<b>51</b>
4.1 Pembebanan Pada Struktur .....	51
4.1.1 Beban Mati (SNI 1727:2020).....	51
4.1.2 Beban Hidup (SNI 1727:2020) .....	52
4.1.3 Pembebanan Balok dan Pelat .....	52
4.2 Analisis Pembebanan .....	52
4.2.2 Pembebanan Pada Pelat.....	52
4.2.3 Pembebanan Gempa.....	53
4.3 Kombinasi Pembebanan.....	59
4.3.1 Kombinasi Pembebanan Akibat Beban Seismik.....	60
4.3.2 Kombinasi Pembebanan Ultimit .....	60
4.4 Pemodelan Struktur Pada SAP2000 .....	61
4.5 Perencanaan Struktur Dengan Material Baja.....	68
4.6 Perencanaan Balok Induk .....	69
4.6.1 Rekapitulasi Output Gaya Dalam.....	69
4.6.2 Penampang Profil Balok Induk .....	70
4.6.3 Kontrol Profil Balok Induk .....	72
4.6.4 Pengecekan Kapasitas Nominal Pra óKomposit .....	73
4.6.5 Pengecekan Kapasitas Nominal Setelah Komposit.....	77
4.6.6 Perhitungan Penghubung Geser ( <i>Shear Connector</i> ).....	86
4.6.7 Pengecekan Kapasitas Nominal Setelah Komposit.....	92
4.6.8 Perhitungan Penghubung Geser ( <i>Shear Connector</i> ) .....	96
4.7 Perencanaan Balok Anak .....	99
4.7.1 Rekapitulasi Output Gaya Dalam.....	99
4.7.2 Penampang Profil Balok Anak.....	99
4.7.3 Kontrol Profil Balok Anak .....	100





4.7.4 Pengecekan Kapasitas Nominal Pra óKomposit.....	101
4.7.5 Pengecekan Kapasitas Nominal Setelah Komposit.....	103
4.7.6 Perhitungan Penghubung Geser ( <i>Shear Connector</i> ).....	106
4.8 Perencanaan Kolom.....	108
4.8.1 Rekapitulasi Output Gaya Dalam.....	108
4.8.2 Penampang Profil Kolom.....	109
4.8.3 Kontrol Kolom Akibat Beban Aksial.....	109
4.8.4 Kontrol Kolom Akibat Momen.....	114
4.9 Perencanaan Sambungan.....	117
4.9.1 Sambungan Balok Induk óBalok Anak.....	117
4.9.2 Sambungan Balok Induk óKolom.....	123
4.10.1 Sambungan Kolom óKolom.....	132
<b>BAB V</b> .....	137
5.1 Kesimpulan.....	137
5.2 Saran.....	138
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	139





## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang

Perkembangan zaman yang semakin maju, membuat beberapa kota yang ada di Indonesia ikut mengembangkan potensi yang ada dalam kota tersebut. Contohnya, kota Balikpapan merupakan salah satu daerah yang berada di propinsi Kalimantan Timur, daerah ini sangat dikenal sebagai kota minyak. Sehingga dalam kurun waktu terakhir, kota Balikpapan tampil sebagai kota minyak yang terkenal di Indonesia. Banyak pendatang baik dari luar kota maupun luar pulau yang memilih kota Balikpapan sebagai tempat untuk mencari pekerjaan. Kota Balikpapan memiliki berbagai Perusahaan yang berkualitas baik swasta maupun negeri, contohnya Pertamina, Trakindo, Hexindo, dll.

Dengan bertambahnya jumlah pendatang yaitu Pekerja baru, membuat kebutuhan akan tempat Fasilitas Kesehatan yang memadai. Yang dimana pada tahun 2019, Balikpapan banyak di datangi oleh pendatang yang baru. Ditambah lagi dengan ketersediaan lahan yang semakin menyempit. Maka dari itu Pemerintah Propinsi Kalimantan Timur membangun fasilitas Kesehatan yang mumpuni.

Dalam pembangunan gedung bertingkat, masyarakat Indonesia lebih condong menggunakan bahan material struktur beton bertulang konvensional dengan menggunakan bekisting yang dicor di tempat. Dikarenakan beton merupakan bahan material yang mudah didapat, mudah dibentuk, dan relative murah. Serta beton merupakan material yang tahan akan temperature tinggi jadi aman jika terjadi kebakaran. Salah satu contoh pembangunan menggunakan beton bertulang konvensional adalah pembangunan gedung RSUD dr. Kanujoso Djatiwibowo Balikpapan. Namun, dalam pembangunan menggunakan metode tersebut memiliki kekurangan dalam hal waktu yang relative lama. Selain perencanaan yang pas perencanaan Infrastruktur juga memerlukan ide dan strategi dalam hal pengerjaan sehingga dapat mempercepat waktu pelaksanaannya. Saat ini, pembangunan gedung di Indonesia tahapan pelaksanaannya masih di dominasi metode beton bertulang konvensional (*cast in situ*), dikarenakan metode tersebut prosesnya mudah dikerjakan. Contoh gedung yang menggunakan metode beton bertulang konvensional yaitu gedung RSUD dr. Kanujoso Djatiwibowo Balikpapan. Namun, metode ini memiliki beberapa kekurangan yaitu terkait waktu pengerjaannya yang relative lama dan tenaga kerja yang dibutuhkan cukup banyak.



Permasalahan terkait struktur beton bertulang diatas mendorong penulis untuk melakukan studi alternatif perencanaan Gedung RSUD dr. Kanujoso Djatiwibowo Balikpapan dengan Struktur Baja Komposit. Saat ini banyak ragam material dan teknik pelaksanaan yang dapat digunakan di lapangan, penggunaan Struktur Baja Komposit ini adalah salah satunya. Struktur Baja Komposit dipilih oleh penulis karena memiliki beberapa kelebihan yaitu sifat material berfungsi sesuai kebutuhan struktur seperti baja yang memiliki kekuatan terhadap Tarik (*Tension*) dan beton yang memiliki kekuatan terhadap Tekan (*Compression*).

RSUD dr. Kanujoso Djatiwibowo Balikpapan dibangun menggunakan struktur beton bertulang. Beton bertulang digunakan karena proses pengerjaannya yang mudah dan umum digunakan, karena proses pengerjaannya yang mudah maka mudah pula untuk melakukan pelaksanaannya. Meskipun begitu, beton bertulang juga memiliki kekurangan, yaitu pada pelaksanaannya cenderung memikul beban mati (berat sendiri) yang relatif lebih besar, hal ini dapat mengakibatkan beban gempa yang akan bertambah besar apabila beban mati juga relatif besar.

## 1.2 Identifikasi Masalah

Permasalahan yang muncul pada perencanaan bangunan tingkat tinggi (*High Rise Building*) adalah bangunan tingkat tinggi memiliki risiko lebih besar karena beban vertikal yang ditumpu, beban gempa yang dipengaruhi oleh wilayah dimana bangunan tersebut berada, serta bagaimana akibat gempa kepada struktur komposit yang direncanakan.

## 1.3 Rumusan Masalah

1. Bagaimana perbedaan yang dihasilkan pada elemen balok sebelum dan sesudah dilakukan alternatif perencanaan struktur komposit?
2. Bagaimana alternatif perencanaan struktur komposit menurut desain perhitungan struktur yang mengacu pada SNI 1729:2015 dan Metode Desain Faktor Beban dan Ketahanan (LRFD) pada Gedung RSUD dr. Kanujoso Djatiwibowo Balikpapan?

## 1.4 Tujuan

Tujuan yang diharapkan adalah:



1. Untuk mengetahui apa saja perbedaan yang dihasilkan pada elemen balok sebelum dan sesudah dilakukan analisis komposit
2. Untuk mengetahui perencanaan alternatif struktur balok komposit menurut desain struktur yang mengacu pada SNI 1729:2020 dan Metode Desain Faktor Beban Ketahanan (LRFD) pada Gedung RSUD dr. Kanujoso Djatiwibowo Balikpapan

### 1.5 Batasan Masalah

1. O w v w " d g v q p " { c p i " f k r c m c k " c f c n c j " d g v q p " f g p
2. Mutu baja yang dipakai adalah baja dengan mutu BJ-52,.
3. Sistem rangka yang digunakan adalah Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB),
4. Objek struktur yang ditinjau adalah Gedung RSUD dr. Kanujoso Djatiwibowo Balikpapan
5. Beban yang bekerja diasumsikan sentris,
6. Perencanaan elemen balok pada Gedung Gedung RSUD dr. Kanujoso Djatiwibowo Balikpapan
7. menggunakan struktur balok komposit,
8. Tidak dilakukan analisis ekonomi,
9. Perhitungan dilakukan hanya pada struktur atas,
10. Perhitungan struktur atap tidak dilakukan,
11. Perhitungan struktur bawah tidak dilakukan dan diasumsikan terjepit di pondasi,
12. Perencanaan elemen kolom menggunakan profil baja *Wide Flange Shape*,
13. Pelat diasumsikan sebagai beban pada struktur,
14. Pemodelan pada *basement* diasumsikan sebagai portal biasa,
15. Perhitungan respon spektrum menggunakan SNI 1726:2019,



**Manfaat**

Manfaat dari penulisan skripsi ini adalah sebagai referensi untuk meningkatkan ilmu pengetahuan dibidang teknik sipil khususnya pada konsentrasi struktur. Penulisan ini diharapkan dapat menambah pemahaman dalam bidang struktur komposit yang aman terhadap beban gempa, baik untuk diri sendiri ataupun untuk orang lain. Serta dapat mengaplikasikan ilmu yang telah didapat selama masa perkuliahan.





## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Struktur Baja

Baja ialah material mempunyai sifat struktural yang amat sangat baik, mulai dikembangkan pada tahun 1900, sejak itu banyak yang memanfaatkan baja sebagai bahan struktural. Konstruksi baja adalah kesatuan sebuah konstruksi atau rangka baja yang terdiri beberapa batang-batang baja yang di sambung-sambung, tiap-tiap jumpa atau yang biasa disebut titik buhul akan di sambung menggunakan baut atau las.

##### 2.1.1 Sifat Material Baja

Baja memiliki Sifat yaitu :

- *Keras, kuat, awet*
- *Memiliki sifat magnetic kuat*
- *Koefisien pemuaian yang rendah*
- *Mampu menahan tekanan atau beban*
- *Tahan terhadap asam*
- *Tahan terhadap karat*

Sifat baja berbeda-beda bergantung ddengan pembuatan baja yang dibuat dan dibentuk. Dalam penggunaannya, apabila baja telah mencapai 90%:

- *Kekuatan tariknya akan bertambah*
- *Sifat untuk meregang berkurang*
- *Kekerasannnya bertambah dan dapat dikeraskan (disepuh)maksimum 1,7% dari karbon.*

##### 2.1.2 Macam- Macam Profil Baja

Standar konstruksi di Indonesia yang memakai material baja sebagai elemen strukturnya dengan bentuk óbentuk tertentu disebut sebagai profil baja. Kebutuhan konstruksi secara permanen, kokoh, stabil dan berkualitas menjadi kebutuhan utama terhadap pembangunan yang berkualitas, juga menjadi dasar misi pembangunan proyek-proyek konstruksi. Berikut adalah jenis ójenis profil baja (berdasarkan bentuknya) yang umum beredar di Indonesia:



- *Wide Flange (WF)*
- *C Channel (Kanal C, CNP)*
- *U Channel (Kanal U, UNP)*
- *Steel Pipe (Pipa Baja, Pipa Hitam, Pipa Galvanis, Pipa Seamless, Pipa Welded)*
- *Square Hollow Section (SHS)*
- *Rectangular Hollow Section (RHS)*

## 2.2 Struktur Beton Bertulang

Beton adalah benda buatan yang terjadi sebagai hasil dari pengerasan suatu campuran tertentu akibat semen, air, dan agregat (batu pecah, kerikil, dan pasir).

Beton bertulang adalah beton yang ditulangi oleh tulangan baja dengan luas dan jumlah tulangan tertentu agar mendapatkan suatu penampang yang mampu menahan beban sehingga kedua material dapat bekerja bersama-sama dalam menahan gaya yang bekerja. Beton normal umumnya mempunyai berat isi 2200 - 2500 kg/m<sup>3</sup>.

Pada beton bertulang, unsur beton dirancang mampu menahan kekuatan tekan yang besar, tetapi tidak mampu menahan tegangan tarik, sehingga tulangan baja yang dicor bersama di dalam beton menjadi material yang dirancang memikul tegangan tarik.

### 2.2.1 Sifat Mekanis Beton Bertulang

#### 2.2.1.1 Sifat Jangka Pendek

- Kuat Tekan.

Nilai kuat tekan beton diperoleh dengan cara pengujian standar, menggunakan mesin uji dengan cara memberikan pembebanan tekan secara bertingkat pada benda uji silinder beton yang bervariasi (diameter 150mm, tinggi 300mm) sampai hancur.

Dasar tata cara pengujian yang umum dipakai yaitu standar ASTM (American Society for Testing materials). Kuat tekan beton umur 28 hari berkisar diantara 10-65 Mpa. Beton bertulang kebanyakan menggunakan beton dengan kuat tekan berkisar 17-30 Mpa.

- Kuat Tarik.

Kuat tarik beton secara tepat dan akurat sukar untuk diukur. Selama ini sifat tarik beton diukur dengan menggunakan modulus keruntuhan (*modulus of rupture*). Belakangan ini, hasil



dari percobaan split silinder beton, umumnya memperlihatkan hasil yang lebih baik dan menggambarkan kuat tarik sebenarnya.

- Kuat Geser.

Kekuatan geser lebih sukar untuk diperoleh, dikarenakan sulitnya mengisolasi geser dari tegangan-tegangan yang lain Hal ini adalah salah satu penyebab banyaknya variasi kekuatan geser yang didapatkan dalam berbagai literature, dimulai dari 20% dari kekuatan tekan pada pembebanan normal, hingga mencapai sebesar 80% dari kekuatan tekan, dalam hal ini dapat dilihat terjadinya kombinasi geser dan tekan.

- Modulus Elastisitas.

Modulus elastisitas, merupakan kemiringan dari bagian awal dari grafik yang lurus dari diagram regangan-tegangan, kemudian akan bertambah besar seiring bertambahnya kekuatan beton.





### 2.2.1.2 Sifat Jangka Panjang

- Rangkak.

Rangkak (Creep) adalah sifat di mana beton mengalami perubahan bentuk (deformasi) permanen akibat beban tetap yang bekerja padanya. Rangkak timbul berupa intensitas yang semakin berkurang untuk selang waktu tertentu dan segera berakhir setelah beberapa tahun berlangsung. Besar deformasi akibat rangkak sebanding dengan besarnya beban yang ditahan dan juga jangka waktu selama pembebanan. Pada umumnya rangkak tidak dapat mengakibatkan dampak langsung kepada kekuatan struktur, tetapi dapat mengakibatkan timbulnya redistribusi tegangan terhadap beban kerja yang kemudian dapat mengakibatkan terjadinya peningkatan lendutan (defleksi).

- Susut.

Susut secara umum didefinisikan sebagai perubahan volume beton yang tidak berhubungan langsung dengan beban. Pada dasarnya terdapat dua jenis susut, yaitu susut plastis dan susut pengeringan. Susut plastis terjadi beberapa jam setelah beton segar dicor ke dalam cetakan bekisting. Sedangkan susut pengeringan terjadi setelah beton mencapai bentuk akhirnya dan proses hidrasi pasta semen telah selesai. Laju perubahan dapat berkurang terhadap waktu, karena beton semakin bertambah umurnya maka akan semakin tahan tegangan dan makin sedikit mengalami susut.

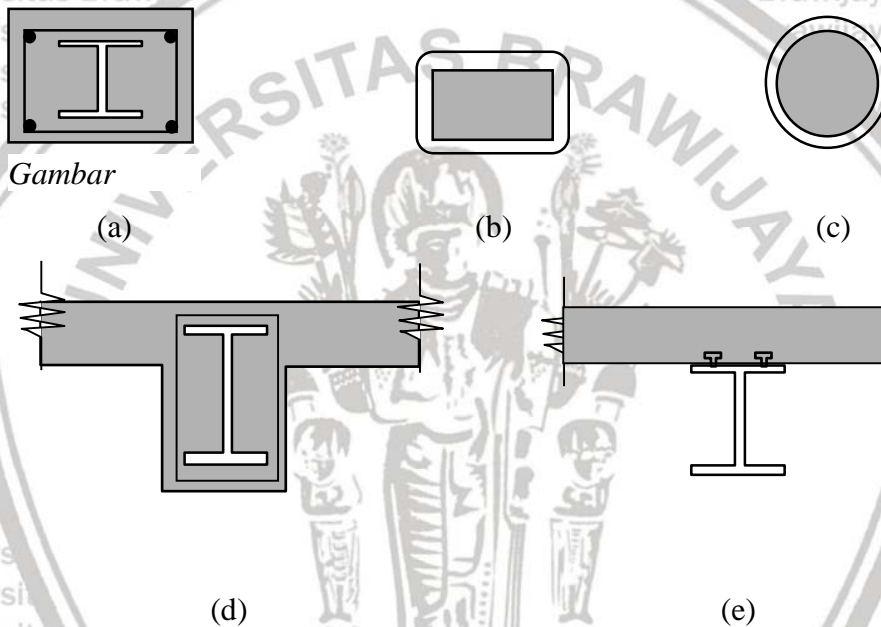


## 2.3 Struktur Komposit

### 2.3.1 Pengertian Struktur Komposit

Struktur komposit (*Composite*) merupakan struktur yang terdiri dari penggabungan dua material atau lebih dengan sifat bahan yang berbeda dan membentuk satu kesatuan sehingga menghasilkan sifat gabungan yang lebih baik. Kebanyakan struktur komposit yang ditemui antara beton dan baja berupa :

1. Kolom baja terbungkus beton/balok baja terbungkus beton (Gambar a dan d).
2. Kolom baja berisi beton/tiang pancang (Gambar b dan c).
3. Balok baja yang menahan slab beton (Gambar e).



Gambar 2.1 Macam-macam Struktur Komposit

Sumber : Pujiyanto (diakses 2020)

Perencanaan komposit mengasumsikan bahwa baja dan beton bekerja bersama dalam menahan beban yang bekerja, sehingga dapat menghasilkan desain profil/element yang lebih ekonomis. Selain itu struktur komposit juga mempunyai beberapa kelebihan, diantaranya adalah lebih kuat (*stronger*) dan lebih kaku (*stiffer*) dari pada struktur non-komposit.



### 2.3.2 Metode Pelaksanaan Struktur Komposit

Perencanaan balok komposit bergantung dengan metode yang digunakan di lapangan.

Ada dua metode pelaksanaan yang digunakan di lapangan yaitu dengan tumpuan sementara (perancah) dan atau tanpa pendukung.

Dengan tumpuan sementara (perancah) berarti selama beton belum mengeras, beban mati akan ditahan oleh perancah kemudian setelah beton mengeras, perancah dilepas sehingga seluruh beban akan ditahan oleh balok komposit.

Tanpa perancah berarti balok baja akan menahan beban mati selama beton belum mengeras. Beban mati tambahan (SIDL) serta beban-beban lain akan ditahan oleh balok komposit yang akan berfungsi apabila beton telah mengeras dan menyatu dengan balok baja.

## 2.4 Pembebanan

### 2.4.1 Beban Mati

Beban mati adalah semua material bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, *finishing*, klading gedung dan komponen arsitektural dan struktur lainnya serta peralatan layan terpasang lain termasuk berat derek dan sistem pengangkut material

### 2.4.2 Beban Hidup

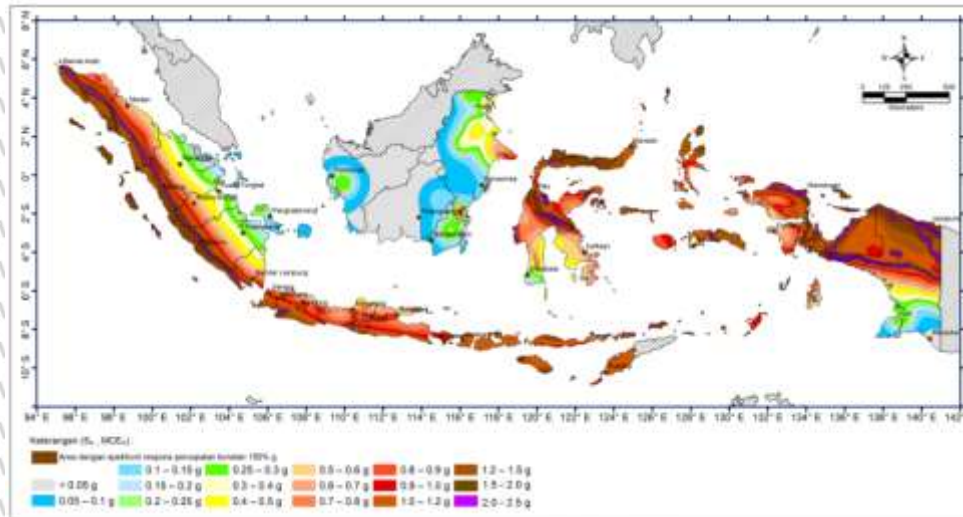
Beban Hidup (*SNI 1727:2020*) adalah beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung atau struktur lain yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan, seperti beban angin, beban hujan, beban gempa, beban banjir, atau beban mati



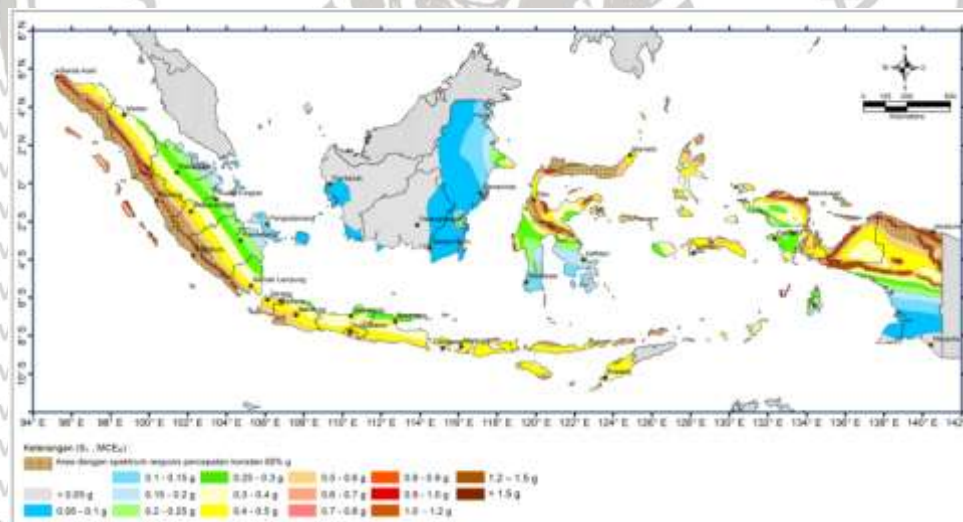
## 2.5 Beban Gempa

### 2.5.1 Wilayah Gempa

Parameter percepatan gempa dapat ditentukan berdasarkan parameter gerak tanah dan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget ( $MCE_R$ ) sesuai kelas situs.



Gambar 2.1  $S_s$ , Peta percepatan spektrum respons  $MCE_R$  periode 0,2 detik  
 Sumber : SNI 1726:2019 (2019)



Gambar 2.2  $S_1$ , Peta percepatan spektrum respons  $MCE_R$  periode 1 detik  
 Sumber : SNI 1726:2019 (2019)



## 2.5.2 Kategori Gedung

Pada SNI 1726:2019 Pasal 4.1.2, berdasarkan fungsi layannya gedung akan di klasifikasikan dengan kategori risiko sebagai berikut:

Tabel 2.1  
Kategori risiko bangunan gedung untuk beban gempa

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



Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
<p>Gedung dan nongedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bangunan-bangunan monumental</li> <li>- Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan</li> <li>- Rumah ibadah</li> <li>- Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat</li> <li>- Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat</li> <li>- Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya</li> <li>- Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat</li> <li>- Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat</li> <li>- 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</li> </ul>	IV
<p>Gedung dan nongedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.</p>	

Sumber : SNI 1726:2019 (2019)

Tabel 2.2  
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 (2019)

### 2.5.3 Konfigurasi Gedung

Struktur Gedung diklasifikasikan menjadi 2 konfigurasi, yaitu beraturan dan tidak beraturan. Pada SNI 1726:2019 Pasal 7.3.2 terdapat syarat-syarat yang kemudian dapat menentukan suatu gedung beraturan atau tidak.

Analisis konfigurasi gedung beraturan dapat dilakukan berdasarkan analisis statik ekuivalen. Sedangkan gedung dengan konfigurasi tidak beraturan harus ditinjau sebagai pengaruh gempa rencana dengan pembebanan dinamik yang analisisnya harus dilakukan berdasarkan analisis respon dinamis.





### 2.5.4 Respons Spektrum

Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek ( $F_a$ ) dan faktor amplifikasi terkait dengan percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik ( $F_v$ ). Parameter spektrum respons percepatan pada periode pendek ( $S_{MS}$ ) dan periode 1 detik ( $S_{M1}$ ) yang disesuaikan dengan pengaruh dari klasifikasi situs tanah yang didapatkan dari perhitungan berikut:

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

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

Keterangan

$S_s$  = Parameter respons spektrum percepatan gempa  $MCE_R$  terpetakan periode pendek (0,2 detik)

$S_1$  = Parameter respons spektrum percepatan gempa  $MCE_R$  terpetakan periode 1 detik

Tabel 2. 3  
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	$\geq 100$
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15smpai 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 (2019)



Tabel 2. 4  
Koefisien Situs,  $F_a$

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget ( $MCE_R$ ) terpetakan pada periode pendek, $T = 0,2$ detik, $S_z$					
	$S_z \leq 0,25$	$S_z = 0,5$	$S_z = 0,75$	$S_z = 1,0$	$S_z = 1,25$	$S_z \geq 1,5$
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 <sup>(a)</sup>					

**CATATAN:**

(a) SS= Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik, lihat 0

Sumber : SNI 1726:2019 (2019)

Tabel 2. 5  
Koefisien Situs,  $F_v$

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 <sup>(a)</sup>					

**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 (2019)

### 2.5.5 Parameter Spektrum Desain

Parameter percepatan spektrum desain pada periode pendek yaitu  $S_{DS}$  dan untuk periode 1 detik yaitu  $S_{D1}$ , harus diperoleh dengan rumus sebagai berikut:

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

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





### 2.5.6 Respons Spektrum Desain

Penggambaran respons spektrum untuk masing-masing wilayah gempa dan jenis tanah adalah:

- a) Untuk periode yang lebih kecil dari  $T_0$ , spektrum respons percepatan desain,  $S_a$ , harus diambil dari persamaan:

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

- b) Untuk nilai periode yang lebih besar atau sama dengan dari  $T_0$  dan lebih kecil dari atau sama dengan  $T_s$ , spektrum respons percepatan desain,  $S_a$ , sama dengan  $S_{DS}$

- c) Untuk periode lebih besar dari  $T_s$ , spektrum respons percepatan desain,  $S_a$ , diambil berdasarkan persamaan:

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \dots(2-6)$$

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

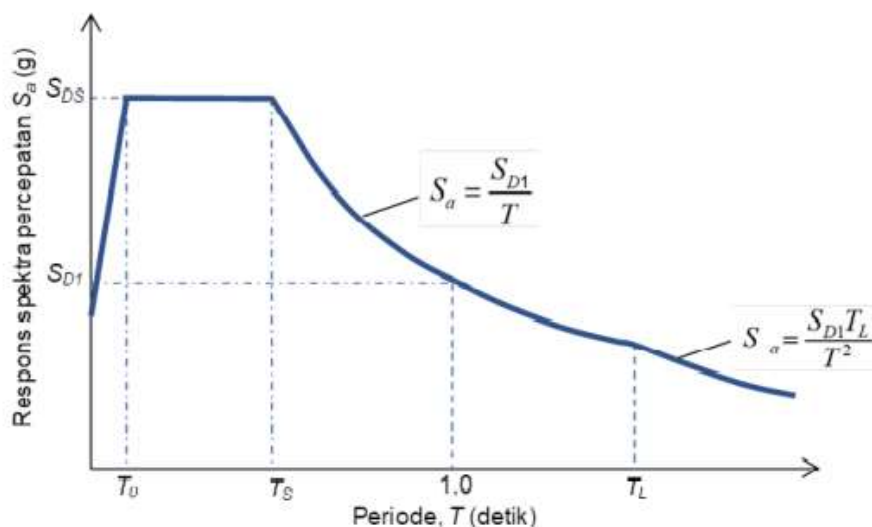
$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \dots(2-8)$$

Keterangan :

$S_{DS}$  = Parameter respons spektra percepatan desain periode pendek

$S_{D1}$  = Parameter respons spektra percepatan desain periode 1 detik

$T$  = Periode getar fundamental struktur



Gambar 2. 2 Desain Respon Spektrum

Sumber : SNI 1726:2019 (2019)



### 2.5.7 Geser Dasar Seismik

Gaya geser dasar seismik ( $V$ ) dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan dengan persamaan berikut: (SNI 1726:2019 Pasal 7.8.1)

$$V = C_s W \quad (2.69)$$

Keterangan:

$C_s$  = koefisien respons seismik yang ditentukan sesuai dengan 0

$W$  = berat seismik efektif menurut 0 (2.610)

Perhitungan koefisien respons seismik,  $C_s$ , harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut: (SNI 1726-2019 Pasal 7.8.1.1)

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2.611)$$

Keterangan:

$S_{DS}$  = parameter percepatan respons spektral desain dalam rentang periode pendek seperti ditentukan dalam 0 atau 0

$R$  = koefisien modifikasi respons

$I_e$  = faktor keutamaan gempa yang ditentukan sesuai dengan 0

Ketentuan:

a. Nilai  $C_s$ , yang terhitung tidak perlu melebihi hasil persamaan berikut:

Untuk  $T \leq T_L$

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2.612)$$

Untuk  $T > T_L$

$$C_s = \frac{S_{D1} T_L}{T^2 \left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2.613)$$

b. Dan juga besarnya nilai  $C_s$  yang dihitung tidak kurang dari hasil persamaan berikut:

$$C_{s(\min)} = 0,044 S_{DS} I_e \times \dots \quad (2.614)$$

c. Sebagai tambahan untuk struktur yang berlokasi di daerah dimana  $S_1$  sama dengan atau lebih besar dari 0,6g, maka  $C_s$  harus tidak kurang dari:





$$C_s = \frac{0,5S_1}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2.615)$$

d. periode fundamental ( $T$ ) untuk struktur dengan ketinggian tidak melebihi 12 tingkat dimana sistem pemikul gaya seismik terdiri dari rangka pemikul momen yang seluruhnya beton atau seluruhnya baja dan rata-rata tinggi tingkat sekurang-kurangnya 3 m yaitu:

$$T = 0,1 N \quad (N = \text{jumlah tingkat}) \quad (2.616)$$

Keterangan:

Dimana  $I_e$  dan  $R$  sebagaimana didefinisikan dalam 0, dan

$S_{D1}$  = parameter percepatan respons spektral desain pada periode 1,0 detik, seperti yang ditentukan dalam 0

$T$  = periode fundamental struktur (detik) yang ditentukan 0

$S_1$  = parameter percepatan respons spektral maksimum yang dipetakan yang ditentukan sesuai 0

Tabel 2. 6

Koefisien modifikasi respon

Sistem pemikul gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, $R^a$	Faktor kuat lebih sistem, $\Omega_0^b$	Faktor pembesaran defleksi, $C_d^c$	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, $h_n$ (m) <sup>d</sup>				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D <sup>e</sup>	E <sup>e</sup>	F <sup>f</sup>
<b>C. Sistem rangka pemikul momen</b>								
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 <sup>g</sup>	TI <sup>h</sup>	TI <sup>h</sup>
4. Rangka baja pemikul momen biasa	3½	3	3	TB	TB	TI <sup>i</sup>	TI <sup>i</sup>	TI <sup>i</sup>
5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus <sup>m</sup>	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 canai dingin pemikul momen khusus dengan pembautan <sup>n</sup>	3½	3 <sup>e</sup>	3½	10	10	10	10	10

Sumber: SNI 1726:2019 (2019)



### 2.5.8 Distribusi Gaya Gempa

Gaya gempa yang akan direncanakan pada elemen struktur dibagi menjadi:

- a. Gaya gempa lateral ( $F_x$ ), gaya yang akan muncul pada semua tingkat, yang harus ditentukan dari persamaan berikut:

$$F_i = C_{vx} V \quad (2.617)$$

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \quad (2.618)$$

- b. Gempa horizontal ( $V_x$ ), geser tingkat desain gempa di semua tingkat harus ditentukan dengan persamaan berikut:

$$V_x = \sum_{i=1}^n F_i \quad (2.619)$$

Keterangan:

$F_i$  = bagian dari geser dasar seismik ( $V$ ) pada tingkat ke- $i$  (kN)

$C_{vx}$  = faktor distribusi vertikal

$V$  = gaya lateral desain total atau geser di dasar struktur (kN)

$w_i$  dan  $w_x$  = bagian berat seismik efektif total struktur ( $W$ ) yang ditempatkan atau dikenakan pada tingkat  $i$  atau  $x$

$h_i$  dan  $h_x$  = tinggi dari dasar sampai tingkat  $i$  atau  $x$  (m)

$k$  = eksponen yang terkait dengan periode struktur sebagai berikut:

- Untuk struktur dengan  $T \leq 0,5$  detik,  $k = 1$
- Untuk struktur dengan  $T \geq 2,5$  detik,  $k = 2$
- Untuk struktur dengan  $0,5 < T < 2,5$  detik,  $k = 2$  atau harus ditentukan dengan interpolasi linier antara 1 dan 2

### 2.6 Kombinasi Pembebanan

Berdasarkan SNI 1729:2020 (pasal B2), beban dan kombinasi beban harus seperti yang ditetapkan oleh peraturan pembebanan yang berlaku. Peraturan pembebanan yang berlaku yaitu SNI-1727:2020 dengan kombinasi pembebanan sebagai berikut:

1.  $U = 1,4 D$
2.  $U = 1,2 D + 1,6 L + 0,5 (Lr \text{ atau } R)$



$$3. U = 1,2 D + 1,6 (Lr \text{ atau } R) + (1,0L \text{ atau } 0,5W)$$

$$4. U = 1,2 D + 1,0W + 1,0L + 0,5 (Lr \text{ atau } R)$$

$$5. U = 1,2 D + 1,0E + 1,0L$$

$$6. U = 0,9 D + 1,0W$$

$$7. U = 0,9 D + 1,0E$$

Keterangan:

$D$  = Beban mati yang diakibatkan oleh material bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, *finishing*, serta peralatan layan tetap

$L$  = Beban hidup yang diakibatkan oleh penggunaan gedung yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan, seperti beban angin, beban hujan, beban gempa, beban banjir, atau beban mati.

$Lr$  = Beban hidup pada atap yang timbul selama perawatan oleh pekerja, peralatan, dan material. Atau pada masa layan yang ditimbulkan oleh orang dan benda bergerak

$W$  = Beban angin

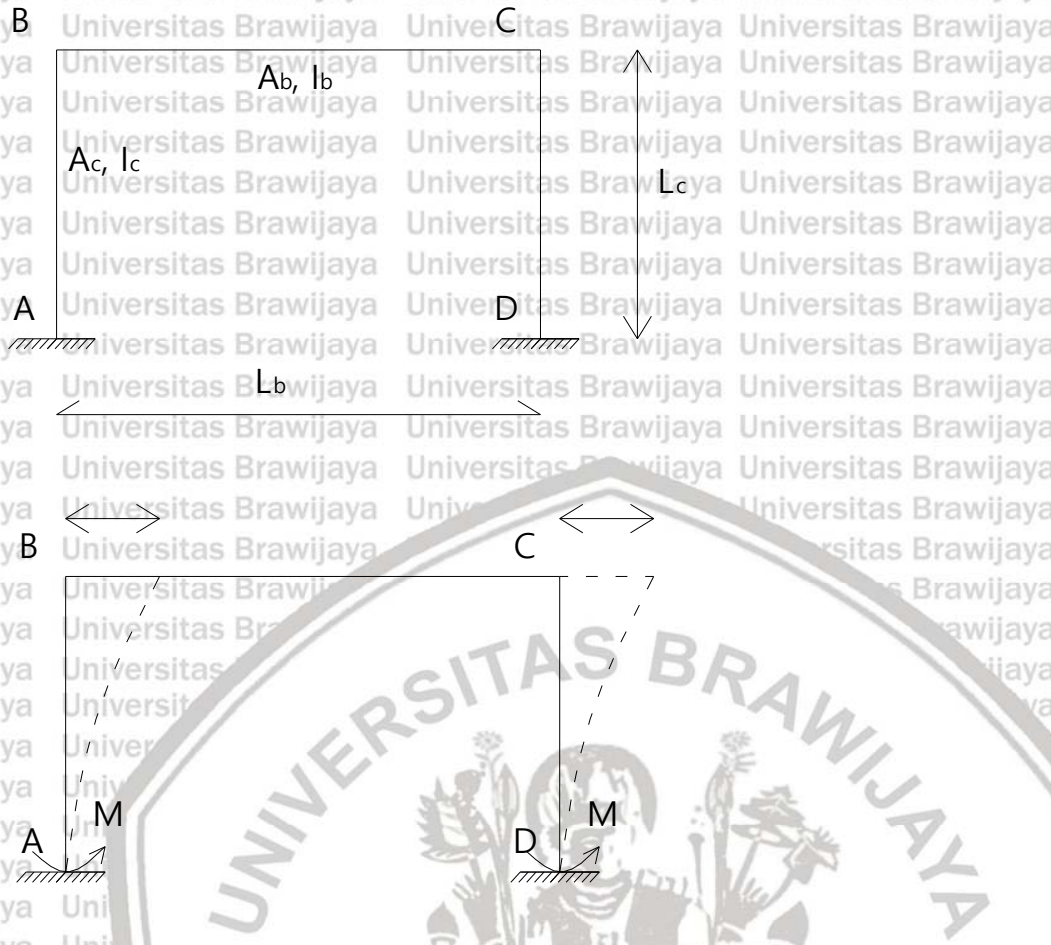
$E$  = Beban gempa yang ditentukan sesuai dengan SNI 1726:2019

$R$  = Beban hujan, tidak termasuk yang diakibatkan oleh genangan air

## 2.7 Analisis Struktur

Analisis struktur menurut kaidah mekanika teknik yang baku merupakan pra-perencanaan bagi desain struktur. Dengan menggunakan bantuan perangkat lunak perhitungan struktur akan mempermudah perhitungan analisis struktur, khususnya struktur statis tak tentu.





Gambar 2.3 Portal Statis Tak Tentu  
 Sumber : Analisis Terdahulu

Pada portal tunggal seperti pada gambar, bagian atas portal pindah secara horizontal sebesar  $\Delta = \frac{P.L_b}{2 E_c A_b}$ . Momen jepit pada kolom  $\frac{6 E_c I_c}{L_c} \Delta$  Tidak seperti pada balok statis tak tentu, perpendekan aksial pada balok dapat ditahan oleh kekakuan kolom pendukungnya sehingga berkurang secara signifikan. Dengan demikian perpendekan aksial dari balok pada portal ditentukan oleh kekakuan kolom. Perpendekan aksial juga dapat disebabkan oleh susut dan rangkak. Apabila kolom mengalami perpendekan aksial pada baloknya, maka analisis tambahan wajib untuk dilakukan. Perpendekan aksial atau penyebab ópenyebab lain yang mempengaruhi portal, seperti susut, rangkak, pengaruh P- $\Delta$  tidak diperhitungkan sebagai pengaruh dari tersier. Pengaruh tersier dapat ditambahkan pada pengaruh sekunder dan primer untuk memperoleh pengaruh total struktur portal. (Budiadi, 2008)



## 2.8 Analisis Balok dan Kolom

### 2.8.1 Perencanaan Balok

#### 2.8.1.1 Desain Penampang Balok (SNI 1729:2020 tabel B4.1b)

Pelat sayap:

$$\lambda = \frac{b_f}{2t_f}$$

$$\lambda_p = 0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\lambda_r = 1.0 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

Pelat badan:

$$\lambda = \frac{h}{t_w} \dots (2-20)$$

$$\lambda_p = 3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (2-21)$$

$$\lambda_r = 5.70 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (2-22)$$

Untuk penjelasan mengenai penampang *I-Wide Flange* kompak, tak kompak, dan langsing pada komponen struktur yang menahan lentur ditentukan oleh kelangsingan dari elemen tekannya 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:

$$M_n = M_p = f_y \cdot Z_x \quad (2-23)$$

#### b. Penampang tak kompak

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

$$M_n = \left[ M_p - (M_p - 0,7 f_y S_x) \frac{(\lambda - \lambda_{pf})}{(\lambda_{rf} - \lambda_{pf})} \right] \quad (2-24)$$

#### c. Penampang langsing

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

$$M_n = \frac{0,9 E k_c S_x}{\lambda^2} \quad (2-25)$$

Dimana:

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

$\lambda_{rf} = \lambda_r$  batas kelangsingan sayap tak kompak

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



## 1. Lebar Efektif

Lebar pada pelat beton yang ditinjau pada perencanaan balok komposit adalah lebar lantai beton yang dapat bersinergi dengan baja yang disebut sebagai lebar efektif. Dalam perencanaan struktur komposit konsep lebar efektif pelat dapat dipakai sehingga akan memudahkan perencanaan. SNI 1729:2020 telah mematok lebar efektif untuk pelat beton yang bekerja secara komposit dengan balok baja, yang merupakan nilai terkecil dari:

Untuk gelagar dengan bentangan yang berbeda-beda (misal gelagar luar/eksterior)

a.  $b_e = \frac{L}{8}$  dihitung dari jarak as ke as tumpuan balok 1 \* -26)

b.  $b_e = 0,5 b_o$  dihitung jarak as ke as balok terdekat 1 \* -27)

c. Jarak as balok ke tepi luar pelat 1 \* -28)

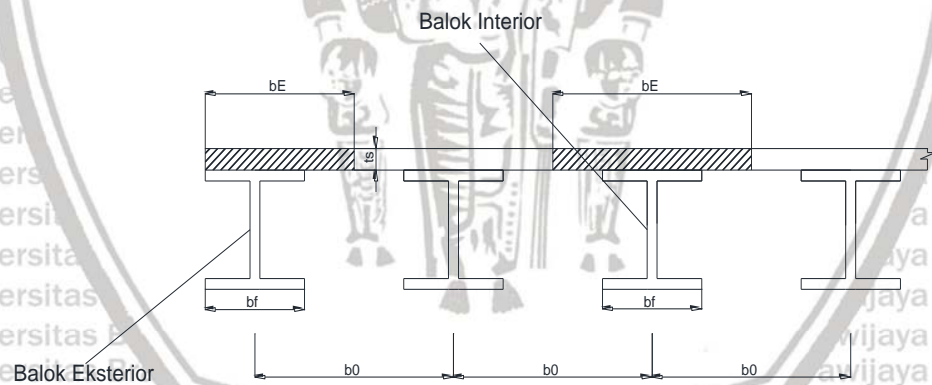
Untuk gelagar dengan bentangan yang sama (misal gelagar dalam/interior)

a.  $b_e = \frac{L}{4}$  dihitung dari jarak as ke as tumpuan balok 1 \* -29)

b.  $b_e = b_o$  jarak as ke as tumpuan balok 1 \* -30)

c.  $0,5 b_o + \text{jarak dari as balok ke tepi luar pelat beton}$  1 \* -31)

d.



Gambar 2.4 Lebar efektif balok komposit

Sumber: Setiawan (2008)



Dimana:

$L$  merupakan panjang bentang

$b_0$  merupakan (jarak antar gelagar dalam)

**2. Kuat Lentur Balok Komposit**

Kuat lentur nominal dari suatu komponen struktur komposit menurut SNI 1729:2020 disebutkan sebagai berikut:

a) Untuk  $\frac{h}{t_w} \leq 3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$  (1\*)-32)

$M_n$  adalah kuat lentur nominal yang dihitung dari distribusi tegangan plastis pada penampang komposit

" ? " 2 . ;

b) Untuk  $\frac{h}{t_w} > 3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$  (1\*)-33)

$M_n$  adalah kuat lentur nominal yang dihitung dari superposisi tegangan elastis yang mempertimbangkan pengaruh akibat tumpuan sementara (perancah)

" ? " 2 . ;



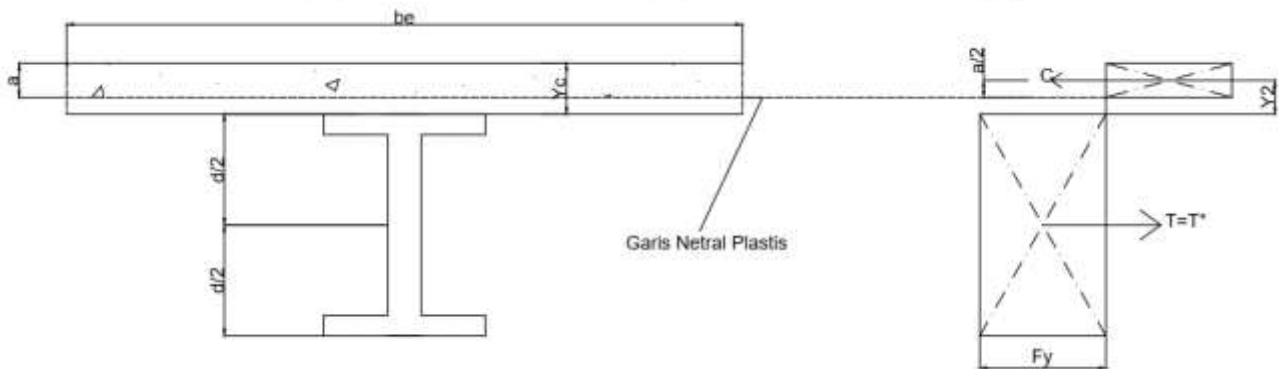


a. Kuat Lentur Positif

Kuat lentur nominal yang dihitung dari distribusi tegangan plastis, dapat dibagi menjadi 3

kasus yaitu sebagai berikut: (Dewobroto 2016)

1. Garis netral plastis (PNA) jatuh pada pelat beton



Gambar 2.5 Distribusi tegangan plastis lapangan case 1

Sumber : Dewobroto (2016)

Mengacu pada Gambar 2.7, maka besar gaya tekan C adalah:

$$C = 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b_e \quad (24)$$

Gaya tarik (T) pada profil baja yaitu berdasarkan :

$$T = A_s \cdot f_y \quad (25)$$

Untuk menghitung kapasitas momen nominal, harus mencapai kesetimbangan gaya, yaitu jika dimana distribusi tegangan plastis memenuhi  $C = T$ , maka dapat diperoleh :

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b_e} \quad (26)$$

$$Y_c = t \quad (\text{pelat beton})$$

$$Y_2 = Y_c - \frac{1}{2} \cdot a \quad (27)$$

Kuat lentur nominal dapat diperoleh mengacu pada Gambar 2.7:

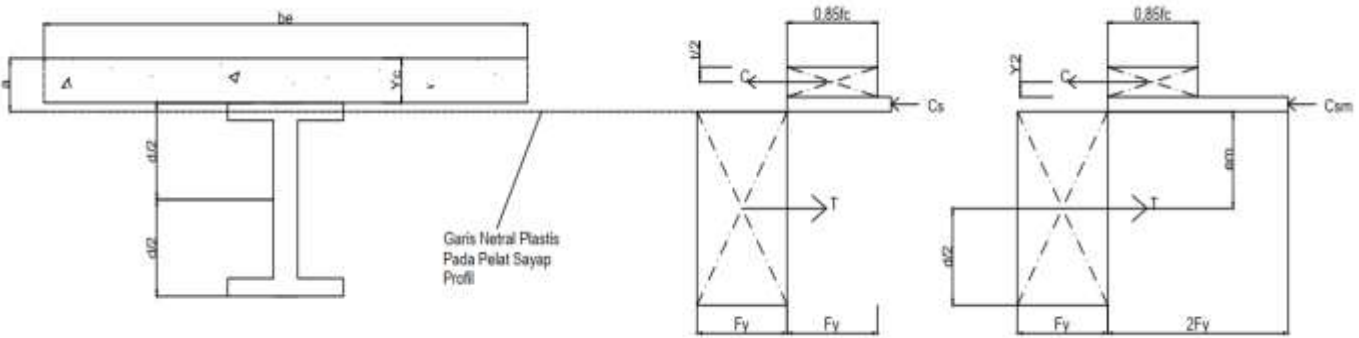
$$M_n = C \left( Y_2 + \frac{1}{2} d \right) = 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b_e \left( Y_2 + \frac{1}{2} d \right) \quad (28)$$

$$= T \left( Y_2 + \frac{1}{2} d \right) = A_s \cdot f_y \left( Y_2 + \frac{1}{2} d \right) \quad (29)$$



Jika dari hasil perhitungan tersebut ternyata  $a > t_s$ , maka asumsi harus diganti. Hasil ini menyatakan bahwa pelat beton tidak cukup kuat untuk menerima gaya tarik yang ada akibat profil baja.

2. Garis netral plastis (PNA) jatuh pada pelat sayap profil baja



Gambar 2.6 Distribusi tegangan plastis lapangan case 2

Sumber : Dewobroto (2016)

Apabila blok tegangan pada beton,  $a$  ternyata lebih tebal dari pelat beton, maka distribusi tegangan dapat diperoleh seperti pada Gambar 2.8 gaya tekan  $C$  yang bekerja pada beton adalah sebesar :

Dengan mengacu dengan Gambar 2.8, maka besarnya gaya tekan  $C$  adalah:

$$C = 0,85 \cdot f_c' \cdot t \cdot b_e \quad (40)$$

Gayatarik  $T$  pada profil bajayaitu sebesar:

$$T = A_s \cdot f_y \quad (41)$$

Pada saat terjadi momen positif maka profil baja juga masih mengalami desak. Hal itu terjadi apabila  $t_f > y > 0$  yang dihitung dengan rumusan sebagai berikut :

$$y = \frac{T-C}{b_f \cdot f_y} \leq t_f \quad (42)$$

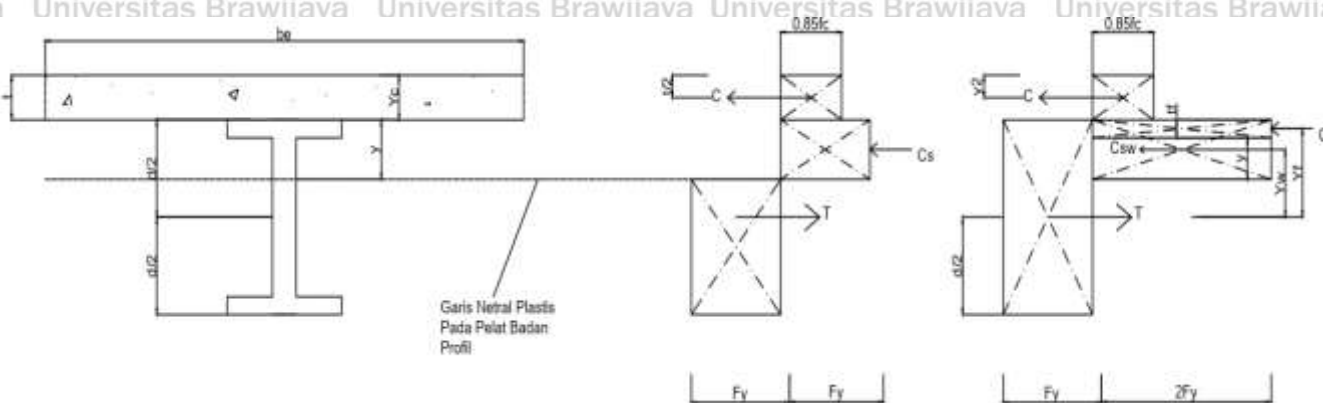
Maka kuat lentur penampang komposit dapat dihitung sebagai berikut :

$$C_{sm} = 2f_y \cdot y \quad (43)$$

$$M_n = C \left( Y_2 + \frac{1}{2}d \right) + C_{sm} (d - y) \cdot \frac{1}{2} \quad (44)$$



3. Garis netral plastis (PNA) jatuh pada pelat sayap profil baja



Gambar 2.7 Distribusi tegangan plastis lapangan case 3  
Sumber : Dewobroto (2016)

Kondisi ini dapat terjadi jika  $T - C - C_{sf} > 0$ .

Dengan mengacu dengan Gambar 2.9, maka besar gaya tekan C adalah:

$$C = 0,85 \cdot f'c' \cdot t \cdot b_e \quad \text{í * -45)}$$

Gaya tarik T pada profil baja yaitu sejumlah

$$T = A_s \cdot f_y \quad \text{í * -46)}$$

Adapun nilai- nilainya dihitung sebagai berikut :

$$C_{sf} = b_f \cdot t_f \cdot 2f_y \quad \text{í * -47)}$$

$$y = \frac{T - C - C_{sf}}{t_w \cdot f_y} \quad \text{í * -48)}$$

$$C_{sw} = t_w \cdot y \cdot 2f_y \quad \text{í * -49)}$$

$$y_f = 1/2 (d - t_f) \quad \text{í * -50)}$$

$$y_w = 1/2 (d + y) - t_f \quad \text{í * -51)}$$

Selanjutnya dapat dicari kapasitas momen plastis sebagai berikut :

$$M_n = C (Y_2 + \frac{1}{2} d) + C_{sf} \cdot y_f + C_{sw} \cdot y_w \quad \text{í * -52)}$$

Keterangan :

C = gaya tekan total

T = gaya Tarik total



$A_s$  = luas penampang profil baja

$f_c$  = kuat tekan beton

$f_y$  = tegangan leleh baja

b. Kuat Lentur Negatif

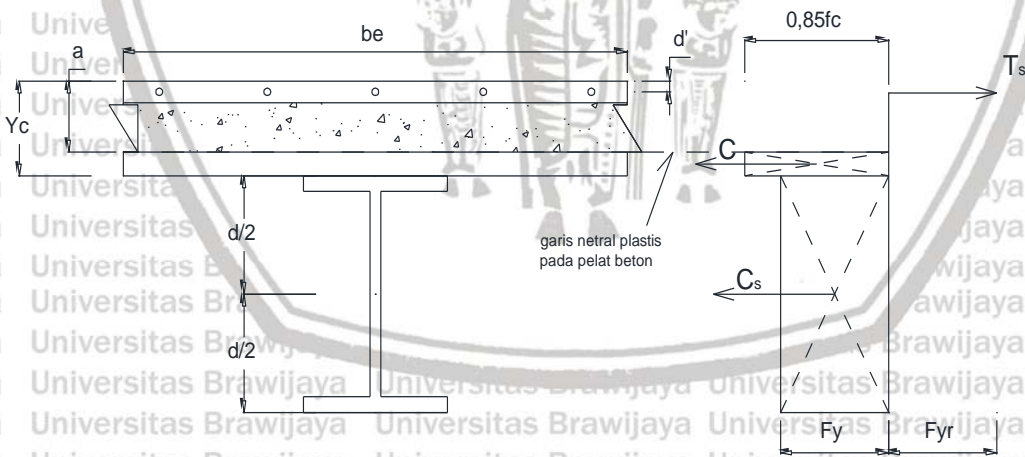
Desain kuat lentur negatif bekerja jika baja atau penampang komposit yang digunakan sederhana. Untuk penampang komposit, beton yang mempunyai gaya tarik tidak dihiraukan, tetapi diperhitungkan gaya tarik akibat baja tulangan pada pelat beton. Persamaan kesetimbangan berfungsi dengan ketentuan sebagai berikut: (Setiawan, 2008)

1. Penampang kompak pada balok baja harus diberikan pengaku.
2. Daerah momen negatif pada luas penampang balok harus dipasang penghubung geser.
3. Daerah lebar efektif yang terdapat pada batang tulangan, harus dijangkar dengan baik.

Dengan memakai prinsip kesetimbangan

Kuat lentur nominal negatif yang diperoleh akibat distribusi tegangan plastis, dapat dibagi menjadi 3 kasus yaitu sebagai berikut:

1. Garis netral plastis (PNA) jatuh pada pelat beton



Gambar 2.8 Distribusi tegangan plastis tumpuan case 1  
Sumber : Dewobroto (2016)

Dengan mengacu pada Gambar 2.10, maka besar gaya :

Gaya Tarik  $T_{sr}$  pada tulangan sepanjang  $be$  adalah :



$$T_{sr} = A_{sr} \cdot F_{yr} \quad (1 * -43)$$

Gaya tekan C pada beton adalah

$$C = 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b_e \quad (1 * -44)$$

Gaya tekan pada profil baja yaitu sebesar :

$$C_s = A_s \cdot f_y \quad (1 * -45)$$

Untuk menghitung kapasitas momen nominal, harus mencapai keseimbangan gaya, yaitu jika perhitungan distribusi tegangan plastis memenuhi  $C = T$ , maka dapat diperoleh:

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b_e} \quad (1 * -46)$$

$$Y_c = t \quad (\text{pelat beton})$$

Kuat lentur nominal dapat dihitung mengacu dari Gambar 2.8:

$$M_n = T_{sr} \left( \frac{d}{2} + Y_c - d' \right) - C \left( \frac{d}{2} + Y_c - a \right) \cdot \frac{1}{2} \quad (1 * -47)$$

$$= A_s \cdot f_y \left( \frac{d}{2} + Y_c - d' \right) - 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b_e \left( \frac{d}{2} + Y_c - a \right) \cdot \frac{1}{2}$$

$$(1 * -45)$$

Jika dari hasil diperoleh ternyata  $a > t_s$ , maka asumsi harus diganti. Hasil ini memperlihatkan bahwa pelat beton tidak kuat untuk menerima gaya tarik yang timbul pada profil baja.





2. Garis netral plastis (PNA) jatuh pada pelat sayap profil baja



Gambar 2.9 Distribusi tegangan plastis tumpuan case 2  
 Sumber : Dewobroto (2016)

Gaya Tarik  $T_{sr}$  pada tulangan sepanjang  $be$  adalah :

$$T_{sr} = A_s \cdot F_{yr} \tag{38}$$

Gaya Tarik  $T_s$  pada pelat sayap adalah

$$T_s = y \cdot 2F_y \tag{39}$$

Gaya tekan nominal dalam penampang balok komposit baja

$$C_s = A_s \cdot f_y \tag{40}$$

Pada saat terjadi momen negatif maka profil dibagian pelat sayap baja juga masih mengalami tarik. Itu terjadi jika  $tf > y > 0$  yang dihitung dengan rumusan berikut :

$$y = \frac{C_s - T_{sr}}{bf \cdot f_y} \tag{41}$$

Kuat lentur nominal negatif dapat ditentukan dengan perhitungan sebagai berikut:

$$M_n = T_{sr} \left( \frac{d}{2} + Y_c - d' \right) + T_s \left( \frac{d}{2} - \frac{1}{2} y \right) \tag{42}$$





### 3. Garis netral plastis (PNA) jatuh pada pelat sayap profil baja



Gambar 2.10 Distribusi tegangan plastis tumpuan case 3  
Sumber : Dewobroto (2016)

Kondisi ini dapat terjadi jika  $C_s - T_{sr} - T_{sf} > 0$ .

Dengan mengacu dengan Gambar 2.12 maka besar gaya tekan C adalah:

$$C_s = A_s \cdot f_y \quad (1) \quad (43)$$

Gaya tarik T pada tualangan yaitu sebesar

$$T_{sr} = A_s \cdot f_{yr} \quad (1) \quad (44)$$

Adapun nilai- nilainya dihitung sebagai berikut :

$$T_{sf} = b_f \cdot t_f \cdot 2 \cdot f_y \quad (1) \quad (45)$$

$$y = \frac{C_s - T_{sr} - T_{sf}}{t_w \cdot f_y} \quad (1) \quad (46)$$

$$T_{sw} = t_w \cdot y \cdot 2f_y \quad (1) \quad (47)$$

$$y_f = \frac{1}{2} (d - t_f) \quad (1) \quad (48)$$

$$y_w = \frac{1}{2} (d + y) - t_f \quad (1) \quad (49)$$

Selanjutnya dapat dicari kapasitas momen plastis sebagai berikut :

$$M_n = T_{sr} \left( \frac{d}{2} + Y_c - d' \right) + T_{sf} \cdot y_f + T_{sw} \cdot y_w \quad (1) \quad (50)$$



Keterangan :

$C =$  gaya tekan total

$T =$  gaya Tarik total

$A_s =$  luas penampang profil baja

$f_c' =$  mutu beton

$f_y =$  tegangan leleh baja

#### 4. Kuat Geser Nominal Balok Komposit

Kuat geser nominal yang terjadi pada balok komposit, didapat dari kuat geser pelat badan pada penampang baja. Gaya geser yang terjadi pada balok komposit harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

$$V_n \leq \phi (2.8 A_w f_y) \quad (2-71)$$

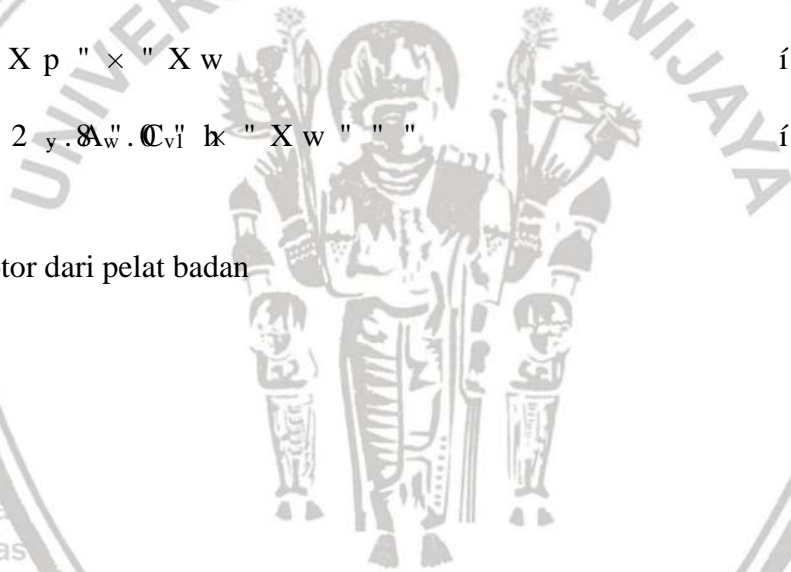
$$V_n \leq \phi (0.6 A_w f_y + A_w f_y) \quad (2-72)$$

Dimana:

$A_w =$  luasan kotor dari pelat badan

$$\phi = 1,0$$

$$C_{v1} = 1,0$$





## 2.8.2 Perhitungan Kolom

### 1. Desain Penampang Kolom

Penampang tidak boleh termasuk dalam kategori penampang langsing:

Pelat sayap:

$$\lambda = \frac{b_f}{2t_f}$$

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

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

Pelat badan:

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

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

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

í \*-73)

í \*-74)

í \*-75)

### 2. Tekuk Lentur dari Komponen Struktur Tekan (SNI 1729:2020 pasal E3)

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

í \*-76)

dimana:

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

$$F_{cr} = \left[ 0,658 \frac{F_y}{F_e} \right] F_y$$

í \*-77)

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

$$F_{cr} = 0,877 F_e$$

í \*-78)

### 3. Persamaan Interaksi Aksial - Momen (SNI 1729:2020 pasal H1)

a. Bila  $\frac{P_r}{P_c} \geq 0,2$

$$\frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left( \frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1,0$$

í \*-79)

b. Bila  $\frac{P_r}{P_c} < 0,2$

$$\frac{P_r}{2P_c} + \frac{8}{9} \left( \frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1,0$$

í \*-80)





## 2.9 Kategori Gedung

Pada SNI 1726:2019, menurut fungsinya, gedung akan diklasifikasikan sebagai kategori risiko bangunan gedung dan non-gedung untuk beban gempa yang tercantum dalam Tabel 2.

## 2.10 Sistem Struktur

Suatu bangunan adalah gabungan dari berbagai elemen dari struktur tiga dimensi. Sedangkan fungsi utama sistem struktur adalah memikul beban yang bekerja pada bangunan dengan aman dan efektif. Fungsi lainnya adalah sebagai penyalur beban ke dalam tanah melalui pondasi. Sistem struktur memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap, sedangkan beban lateral yang di akibatkan oleh gempa dipikul oleh rangka pemikul momen melalui mekanisme lentur, sistem ini terbagi menjadi 3, yaitu SRPMB (Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa), SRPMM (Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah), dan SRPMK (Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus).

### a. Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB)

Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa merupakan sistem yang memiliki deformasi inelastik serta tingkat daktilitas yang paling kecil tapi memiliki kekuatan yang besar. Sistem rangka ini diterapkan pada wilayah dengan tingkat kegempaan rendah.

### b. Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)

Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah adalah suatu-metode perencanaan struktur sistem rangka pemikul momen dimana menitik beratkan kewaspadaannya terhadap kegagalan struktur akibat keruntuhan geser. Sistem rangka ini digunakan sebagai perhitungan struktur gedung pada wilayah dengan tingkat kegempaan sedang.

### c. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus adalah sistem rangka portal yang mampu bersifat daktil penuh dengan pendetilan khusus. Portal yang didesain SRPMK harus dapat mempertahankan kondisi kekuatan kolom lebih tinggi dari balok (*strong column – weak beam*) dan diharapkan dapat mengalami deformasi yang lebih besar apabila terbebani oleh beban gempa rencana.



## 2.11 Sambungan

### 2.11.1 Sambungan baut

Perhitungan sambungan baut berdasarkan tahanan nominal terkecil dari rumusan berikut:

$$\text{Tahanan geser } (\phi Rn) = 0,75 \cdot Fnv \cdot Ab \tag{81}$$

$$\text{Tahanan Tarik } (\phi Rn) = 0,75 \cdot Fnt \cdot Ab \tag{82}$$

$$\text{Tahanan tumpu } (\phi Rn) = 0,75 \cdot F'nt \cdot Ab \tag{83}$$

$$\text{Jumlah baut, } n = \frac{Vu}{\phi Rn} \tag{84}$$

Keterangan:

$Fnv$  = tegangan geser nominal (MPa)

$Fnt$  = tegangan tarik nominal (MPa)

$F'nt$  = tegangan tarik nominal yang dimodifikasi untuk memperhitungkan tegangan geser pada sambungan tumpu (MPa)

$$= 1,3 Fnt - \frac{Fnt}{\phi Fnv} frv \leq Fnt$$

$frv$  = tegangan geser yang diperlukan menggunakan kombinasi beban (MPa)

$Ab$  = luas tubuh baut tidak berulir nominal atau bagian berulir (mm<sup>2</sup>)

Tabel 2. 7

Kekuatan nominal pengencang dan bagian yang berulir (MPa)

Deskripsi Pengencang	Kekuatan Tarik Nominal, $F_u$ ksi (MPa) <sup>1)</sup>	Kekuatan Geser Nominal pada Sambungan Tipe Tumpu, $F_u$ ksi (MPa) <sup>1)</sup>
Baut A307	45 (310) <sup>2)</sup>	27 (185) <sup>2)</sup>
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 bidang baut ada di bidang geser	150 (1.040)	90 (620)
Rakitan baut group C (misal, F3043), apabila ulir dan daerah transisi bidang 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 $F_u$

1) Untuk baut kekuatantinggi yang memikul beban tarik, lihat Lampiran 3  
 2) Untuk ujung sambungan yang obatan dengan panjang pola pengencang lebih besar dari 38 in. (950 mm),  $F_u$  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 taying  
 3) Untuk baut A307, nilai yang ditabulasikan harus direduksi sebesar 1% untuk setiap 1/8 in. (2 mm) di atas 5 diameter dari panjang pada pengangantesebut.  
 4) Ulf diperbolehkan pada bidang geser.

Sumber : SNI 1729:2020 (2020)





Tabel 2.1  
Jarak Tepi Minimum 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

1) 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.  
2) Untuk lubang ukuran berlebih atau lubang slot, lihat Tabel J3.5.M.

Sumber : SNI 1729:2020 (2020)

### 2.11.2 Sambungan las

Pada perencanaan sambungan las sudut, untuk menghitung kekuatan tahanan ( $\phi R_n$ ) sesuai dengan SNI 1729:2020 digunakan rumusan sebagai berikut:

$$R_n = F_{nw} \cdot A_{we} \tag{*85}$$

$$\phi = 0.75 \tag{*86}$$

Dimana:

$$F_{nw} = 0.60 F_{EXX} (1.0 + 0.50 \sin^{1.5} \theta)$$

$F_{EXX}$  = kekuatan klasifikasi logam pengisi, ksi (MPa)

$\theta$  = sudut antara aksi gaya dan sumbu longitudinal las (derajat)

Panjang efektif las sudut

$$L_w = \frac{R_u}{\phi R_{nw}} \tag{*87}$$

Tabel 2.8  
Ukuran minimum las sudut

Tebal bagian paling tebal, t (mm)	Tebal minimum las sudut, a (mm)
$v \leq 8$	3
$8 < v \leq 35$	5
$35 < v \leq 3$ ;	6
$t > 19$	8

Sumber : SNI 1729:2020 (2020)





Sedangkan pembatasan ukuran maksimum las sudut:

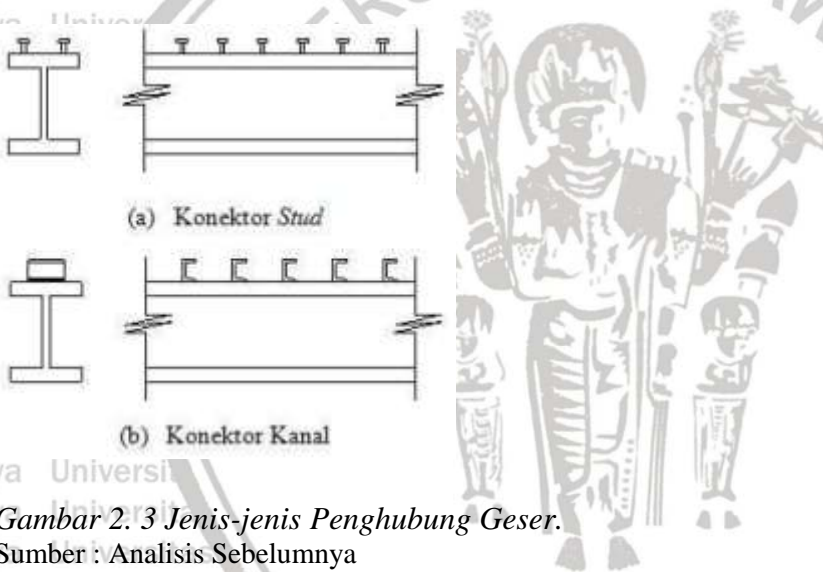
- a) Untuk komponen dengan tebal kurang dari 6 mm, diambil tidak lebih besar dari tebal komponen
- b) Untuk komponen dengan tebal 6 mm atau lebih diambil 2 mm kurang dari tebal komponen

### 2.12 Penghubung geser

Perencanaan komposit antara balok baja dan pelat beton sangat tergantung pada mekanisme transfer geser yang disediakan oleh penghubung geser (*shear connector*).

Penghubung geser berfungsi untuk menahan gesekan (geser) horizontal yang terjadi selama proses pembebanan. Untuk mendapatkan penampang yang berperilaku komposit penuh, penghubung geser harus c kaku sehingga dapat menahan geseran (*slip*) yang terjadi pada bidang pertemuan antara balok baja dan pelat beton (Salmon, dkk, 1991).

#### 2.12.1 Macam Macam Penghubung Geser



Gambar 2. 3 Jenis-jenis Penghubung Geser.

Sumber : Analisis Sebelumnya



Untuk elemen komposit yang menahan momen lentur positif, gaya geser horisontal total antara momen positif maksimum titik momen nol harus diambil nilai terkecil dari:

1.  $V' = 0,85 \cdot f_c \cdot \phi \cdot A_c$  (88)
2.  $V' = A_s \cdot f_y$  (89)
3.  $V' = \phi \cdot \sum Q_n$  (90)

Dengan:

$A_c$  = luas pelat beton didalam lebar efektif ( $\text{mm}^2$ )

$A_s$  = luas penampang melintang baja ( $\text{mm}^2$ )

$\sum Q_n$  = jumlah kekuatan geser nominal angkur baja (N)

Sedangkan untuk elemen komposit menerus dengan baja tulangan longitudinal, gaya geser horisontal total antara momen negatif maksimum dan titik momen nol harus diambil nilai terkecil dari:

1.  $V' = A_{sr} \cdot f_{ysr}$  (91)
2.  $V' = \phi \cdot \sum Q_n$  (92)

Dengan:

$A_{sr}$  = luas baja tulangan longitudinal didalam lebar efektif ( $\text{mm}^2$ )

$f_{ysr}$  = tegangan leleh minimum baja tulangan (MPa)

$\sum Q_n$  = jumlah kekuatan geser nominal angkur baja (N)

Karena ada dua macam penghubung geser yang digunakan, yaitu *steel headed stud* dan kanal. Maka kuat geser nominal dari masing-masing penghubung geser sesuai dengan yang tercantum dalam SNI 1729:2020 adalah sebagai berikut:

- a. Kuat geser dari angkur *steel headed stud*

Kekuatan geser nominal satu angkur *steel headed stud* yang ditanam pada suatu plat beton solid atau pada suatu plat komposit dengan dekharus ditentukan sebagai berikut:

$$Q_n = 0,5 \cdot A_s \cdot \sqrt{f'_c \cdot E_c} \leq R_g \cdot R_p \cdot A_s \cdot F_u \quad (93)$$



Dengan:

$A_{sa}$  adalah luas penampang dari angkur *steel headed stud* ( $\text{mm}^2$ )

$F_u$  adalah kekuatan tarik minimum yang disyaratkan dari suatu angkur *steel headedstud* (Mpa)

$E_c$  adalah modulus elastisitas beton

$E_c = 0,043 W_c^{1,5} \cdot \sqrt{f'_c}$ , (MPa) dimana  $w$  = berat volume beton

$R_g = 1,0$  untuk:

- Satu angkur steel headed stud yang di las pada suatu rusuk dek baja dengan dek yang diorientasikan tegak lurus terhadap profil baja;*
- Sejumlah dari angkur steel headed stud di suatu lajur atau baris secara langsung terhadap profil baja;*
- Sejumlah dari angkur steel headedstud yang di las pada suatu lajur sampai dek baja dengan dek diorientasikan paralel terhadap profil baja dan rasio dari lebar rusuk rata – rata terhadap kedalaman rusuk  $\geq 1,5$*

= 0,85 untuk:

- Dua angkur steel headed stud yang di las pada suatu rusuk dek baja dengan dek yang diorientasikan tegak lurus terhadap profil baja;*
- Satu angkur steel headed stud yang di las melewati dek baja dengan dek diorientasikan paralel terhadap profil baja dan rasio dari lebar rusuk rata – rata terhadap kedalaman rusuk  $< 1,5$*

= 0,7 untuk tiga atau lebih angkur *steel headed stud* yang di las pada suatu rusuk dek baja dengan dek yang diorientasikan tegak lurus terhadap profil baja.

$R_p = 0,75$  untuk:

- Angkur steel headed stud yang di las secara langsung pada profil baja;*
- Angkur steel headed stud yang di las pada suatu plat komposit dengan dek yang diorientasikan tegak lurus terhadap balok dan c;*
- Angkur steel headed stud yang di las melewati dek baja atau lembaran*



baja yang digunakan sebagai material pengisris gelagar, dan ditanamkan pada suatu plat komposit dengan dek diorientasikan paralel terhadap balok tersebut.

$e_{mid-ht} = 0,6$  untuk angkur *steel headed stud* yang di las pada suatu plat komposit dengan  $f_g m \{ c p i \} f k q t k g p v c u k m c p_{mid-M} g 50 mm \} n w t w u \} v g t$   
 $e_{mid-ht}$  = jarak dari tepi kaki angkur *steel headed stud* terhadap badan dek baja, diukur ditengah ótinggi dari rusuk dek, dan pada arah tumpuan beban dari angkur *steel headed stud* (dengan kata lain, pada arah dari momen maksimum untuk suatu balok yang ditumpu sederhana), mm.

Tabel 2. 9  
 Nilai  $R_g$  dan  $R_p$

Kondisi	$R_g$	$R_p$
Tanpa dek	1,0	0,75
Kondisi	$R_g$	$R_p$
Dek diorientasikan paralel terhadap profil baja		
$\frac{w_r}{h_r} \geq 1,5$	1,0	0,75
$\frac{w_r}{h_r} < 1,5$	0,85 <sup>[a]</sup>	0,75
Dek diorientasikan tegak lurus terhadap profil baja Jumlah angkur baja stad berkepala yang memiliki rusuk dek yang sama		
1	1,0	0,6 <sup>[b]</sup>
2	0,85	0,6 <sup>[b]</sup>
3 atau lebih	0,7	0,6 <sup>[b]</sup>
$h_r$ = tinggi rusuk nominal, in. (mm) $w_r$ = lebar rata-rata rusuk atau hauns beton (seperti dijelaskan dalam Pasal I3.2c), in. (mm) [a] Untuk angkur baja stad berkepala tunggal [b] Nilai ini dapat ditingkatkan sampai 0,75 apabila $e_{mid-ht} \geq 2$ in. (50 mm)		

Sumber : SNI 1729:2020 (2020)





b. Kuat geser kanal

Kuat geser nominal ( $Q_n$ ) penghubung geser kanal yang tertanam dalam pelat beton adalah:

$$Q_n = 0,3 \cdot (t_f + 0,5 t_w) \cdot \ell a \cdot \sqrt{f'_c \cdot E_c} \quad (94)$$

Dengan:

$t_f$  adalah ketebalan sayap angkur kanal (mm)

$t_w$  adalah ketebalan badan angkur kanal (mm)

$\ell a$  adalah panjang angkur kanal (mm)

Kekuatan dari angkur kanal harus dikembangkan dengan pengelasan kanal ke sayap balok untuk suatu gaya yang sama dengan  $Q_n$ , dengan memperhitungkan eksentrisitas pada konektor.

### 2.12.2 Jumlah Angkur Baja

Jumlah dari angkur baja yang diperlukan antara penampang dengan momen lentur maksimum positif atau negatif, dan penampang dengan momen nol terdekat harus sama dengan geser horizontal ( $V'$ ) dibagi dengan geser nominal per angkur baja ( $Q_n$ ). Sehingga jumlah angkur baja ( $n$ ) dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$n = \frac{V'}{Q_n} \quad (95)$$





**BAB III**  
**METODOLOGI PENELITIAN**

**3.1 Pengumpulan Data**

Data primer berupa gambar denah bangunan didapatkan dari bagian sarana dan Prasarana RSUD dr. Kanujoso Djatiwibowo Balikpapan yang digunakan sebagai acuan untuk analisis alternatif perencanaan gedung dalam pembahasan skripsi ini.

**3.2 Data – Data Desain**

**3.2.1 Data – Data Umum**



Gambar 3.1 Tampak depan gedung  
Sumber : Data Gedung



Nama Proyek : RSUD dr. Kanujoso Djatiwibowo Balikpapan  
Alamat Proyek : Jl. MT Haryono No.656, Batu Ampar, Kec. Balikpapan  
Utara Kota Balikpapan, Kalimantan Timur 76115  
Fungsi : 7 Lantai untuk Rumah Sakit  
Waktu Pelaksanaan : 300 hari (Agustus 2009 - Juni 2010)  
Biaya : Rp 282.254.000.000,00

### 3.2.2 Data Teknis Gedung Awal

Struktur Gedung : Gedung menggunakan struktur beton  
Jumlah lantai : 7 lantai  
Tinggi Bangunan : ± 35 m  
Tinggi Tiap Lantai  
Lantai 1 : 5,7 m  
Lantai 2- 7 : 4,2 m  
Lantai Atap : 4,2 m  
Zona Gempa : 5

### 3.3 Prosedur Perencanaan

#### 3.3.1 Analisis Pembebanan

Analisis pembebanan pada alternatif perencanaan Gedung RSUD dr. Kanujoso Djatiwibowo Balikpapan secara keseluruhan adalah sebagai berikut:

- Beban Mati
- Beban Hidup
- Beban Angin
- Beban Gempa

Dari pembebanan diatas, maka beton bertulang Gedung RSUD dr. Kanujoso Djatiwibowo Balikpapan harus mampu memikul seluruh kombinasi pembebanan berikut ini:



$$8. U = 1,4 D$$

$$9. U = 1,2 D + 1,6L + 0,5 (Lr \text{ atau } R)$$

$$10. U = 1,2 D + 1,6 (Lr \text{ atau } R) + (1,0L \text{ atau } 0,5W)$$

$$11. U = 1,2 D + 1,0W + 1,0L + 0,5 (Lr \text{ atau } R)$$

$$12. U = 1,2 D + 1,0E + 1,0L$$

$$13. U = 0,9 D + 1,0W$$

$$14. U = 0,9 D + 1,0E$$

Keterangan:

$D$  = Beban mati yang diakibatkan oleh material bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, *finishing*, serta peralatan layan tetap

$L$  = Beban hidup yang diakibatkan oleh penggunaan gedung yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan, seperti beban angin, beban hujan, beban gempa, beban banjir, atau beban mati.

$Lr$  = Beban hidup pada atap yang timbul selama perawatan oleh pekerja, peralatan, dan material. Atau pada masa layan yang ditimbulkan oleh orang dan benda bergerak

$W$  = Beban angin

$E$  = Beban gempa yang ditentukan sesuai dengan SNI 1726:2019

$R$  = Beban hujan, tidak termasuk yang diakibatkan oleh genangan air

### 3.3.2 Analisis Struktur

Dalam studi alternatif ini digunakan perangkat lunak analisis struktur ETABS 18 untuk membantu dalam perhitungan besar nilai momen, gaya geser, dan gaya aksial yang terjadi setelah diberikan beban pada Gedung RSUD dr. Kanujoso Djatiwibowo Balikpapan.

Perhitungan analisis gempa dalam penulisan skripsi ini menggunakan analisis respons spektrum (RSA) yang dimasukan pada perangkat SAP2000 untuk menghitung gaya gempa yang terjadi pada struktur.



### 3.3.3 Desain Penampang

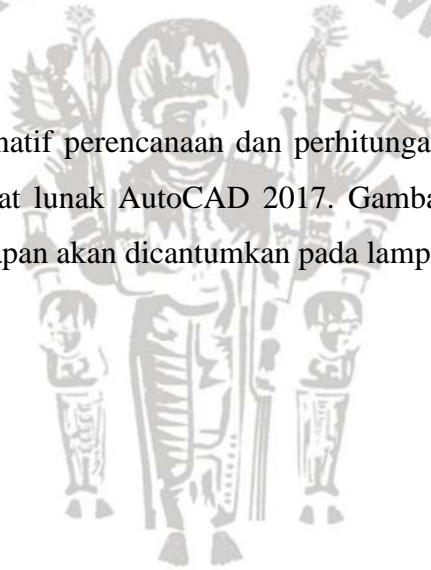
Prinsip dasar yang digunakan pada saat proses desain penampang pada Gedung RSUD dr. Kanujoso Djatiwibowo Balikpapan yakni dengan menggunakan konsep Desain Faktor Beban Ketahanan (LRFD) yang mengacu pada SNI 1729:2015.

Detail dari penampang balok yang digunakan pada penulisan skripsi ini adalah elemen balok komposit dengan pelat beton yang diasumsikan membebani balok dan tidak ikut menahan beban di atasnya. Sedangkan detail penampang kolom yang digunakan adalah profil *Wide Flange Shape* dengan selubung beton.

Setelah melakukan *preliminary design* untuk penentuan dimensi, kemudian akan dilakukan kontrol penampang pada balok dan kolom yang telah direncanakan. Untuk kondisi menggunakan profil WF, pembebanan yang dihitung berupa berat sendiri pelat, beban guna (hidup), spesi, dinding, plafond, dan keramik.

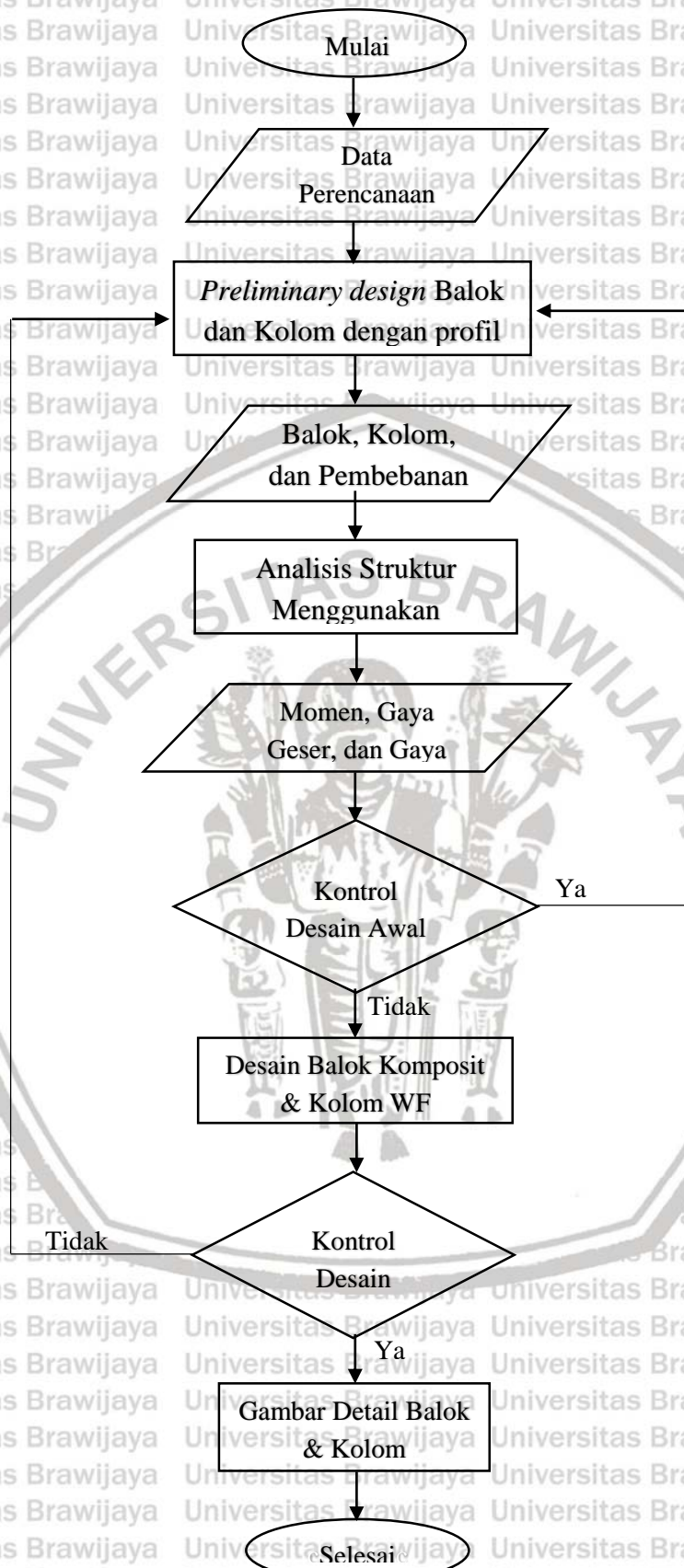
### 3.3.4 Gambar Struktur

Penggambaran dalam alternatif perencanaan dan perhitungan gambar teknik ini dibantu dengan menggunakan perangkat lunak AutoCAD 2017. Gambar denah Gedung RSUD dr. Kanujoso Djatiwibowo Balikpapan akan dicantumkan pada lampiran 1.





3.4 Diagram Alir Perencanaan



Gambar 3.1 Diagram alir tahapan desain







**BAB IV  
HASIL DAN PEMBAHASAN**

**4.1 Pembebanan Pada Struktur**

**4.1.1 Beban Mati (SNI 1727:2020)**

Menurut Peraturan Pembebanan Beton Bertulang Indonesia untuk Gedung Tahun 2020 (SNI 1727:2020), pembebanan beban mati adalah seluruh bahan konstruksi dan komponen arsitektural, yaitu :

- Berat Sendiri / Bahan Bangunan

Profil baja *Wide Flange Shape (WF)*

- Beban Mati tambahan (SDL) pada pelat lantai

Berat Plafond dan Penggantung (etemit) = 0,2 kN/m<sup>2</sup>

Berat lantai keramik setebal 1 cm = 0,22 kN/m<sup>2</sup>

Berat spesi setebal 3 cm = 0,66 kN/m<sup>2</sup>

Berat pasir setebal 1 cm = 0,16 kN/m<sup>2</sup>

Berat Instalasi ME = 0,25 kN/m<sup>2</sup> +

Total Beban Mati tambahan (SDL) pada pelat lantai = 1,49 kN/m<sup>2</sup>

- Beban Mati tambahan (SDL) pada pelat atap

Berat Waterproofing setebal 2 cm = 0,28 kN/m<sup>2</sup>

Berat Plafond dan Penggantung (etemit) = 0,2 kN/m<sup>2</sup>

Berat Instalasi ME = 0,25 kN/m<sup>2</sup> +

Total Beban Mati tambahan (SDL) pada pelat atap = 0,73 kN/m<sup>2</sup>

- Beban Mati tambahan (SDL) pada balok

Beban dinding pasangan ½ batu

Lantai 1 (5,7m x 2,5 kN/m<sup>2</sup>) = 14,25 kN/m

Lantai 2- atap (4,2m x 2,5 kN/m<sup>2</sup>) = 10,5 kN/m





#### 4.1.2 Beban Hidup (SNI 1727:2020)

Menurut Peraturan Pembebanan Beton Bertulang Indonesia untuk Gedung Tahun 2020 (SNI 1727:2020).

Gedung mendekati fungsi sebagai gedung perkantoran dimana ruang arsip dan komputer harus direncanakan lebih berat, pembebanan beban hidup diatur sebagai berikut:

- Beban Hidup pada pelat atap

$$\text{Beban air} = 0,96 \text{ kN/m}^2$$

- Beban Hidup pada pelat lantai

$$\text{Lobi dan Koridor lantai pertama} = 4,79 \text{ kN/m}^2$$

#### 4.1.3 Pembebanan Balok dan Pelat

Pembebanan pada pelat lantai dan pelat atap diinputkan ke ETABS, untuk pembebanan balok induk dan balok anak diinputkan berat dinding (bata ringan) sebagai beban merata sepanjang balok dengan tinggi per lantai

### 4.2 Analisis Pembebanan

#### 4.2.1 Pembebanan Pada Balok

1. Beban Mati (berat sendiri)

$$\text{Berat Sendiri (Profil WF)} = 1 \text{ selfweight Profil WF}$$

2. Beban Mati tambahan pada balok

$$\text{Beban dinding pasangan } \frac{1}{2} \text{ batu}$$

$$\text{Lantai 1 (5,7m x 2,5 kN/m}^2) = 14,25 \text{ kN/m}$$

$$\text{Lantai 2- atap (4,2m x 2,5 kN/m}^2) = 10,5 \text{ kN/m}^2$$

#### 4.2.2 Pembebanan Pada Pelat

##### 4.2.2.1 Pelat Lantai (Tipikal Lantai GF-8)

1. Beban Mati (berat sendiri)

$$\text{Berat Sendiri} = 1 \text{ self-weight pelat lantai}$$



## 2. Beban Mati tambahan pada pelat lantai

Berat pasir setebal 1 cm = 0,16 kN/m<sup>2</sup>

Berat spesi setebal 3 cm = 0,66 kN/m<sup>2</sup>

Berat lantai keramik setebal 1 cm = 0,22 kN/m<sup>2</sup>

Berat Plafond dan Penggantung (etemit) = 0,2 kN/m<sup>2</sup>

Berat Instalasi ME = 0,25 kN/m<sup>2</sup>+

Total Beban Mati tambahan pada pelat lantai = 1,49 kN/m<sup>2</sup>

## 3. Beban Hidup pada pelat lantai

Lobi dan Koridor lantai pertama = 4,79 kN/m<sup>2</sup>

### 4.2.2.2 Pelat atap (Lantai Top Floor)

#### 1. Beban Mati (berat sendiri)

Berat Sendiri = 1 *self-weight* pelat atap

#### 2. Beban Mati tambahan pada pelat atap

Berat Waterproofing setebal 2 cm = 0,28 kN/m<sup>2</sup>

Berat Plafond dan Penggantung (eternit) = 0,2 kN/m<sup>2</sup>

Berat Instalasi ME = 0,25 kN/m<sup>2</sup>+

Total Beban Mati tambahan pada pelat atap = 0,73 kN/m<sup>2</sup>

#### 3. Beban Hidup pada pelat atap

Beban air = 0,96 kN/m<sup>2</sup>

### 4.2.3 Pembebanan Gempa

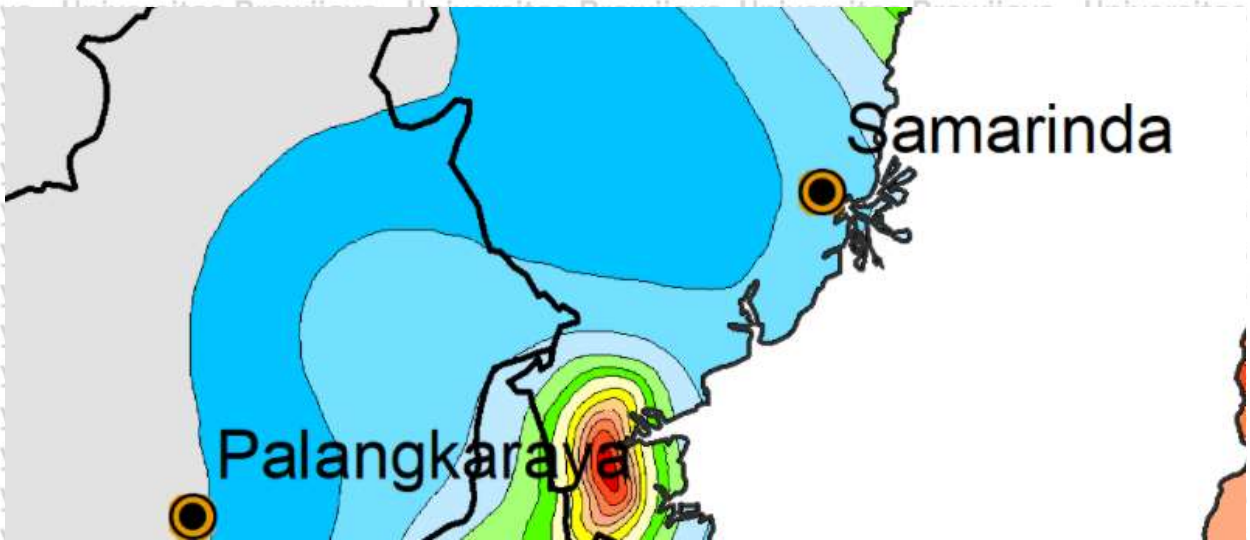
Perhitungan beban gempa mengikuti peraturan yang tertera pada SNI 1726:2019 menggunakan respons spektrum.

#### 4.2.3.1 Menentukan Parameter-parameter seismik respons spectrum

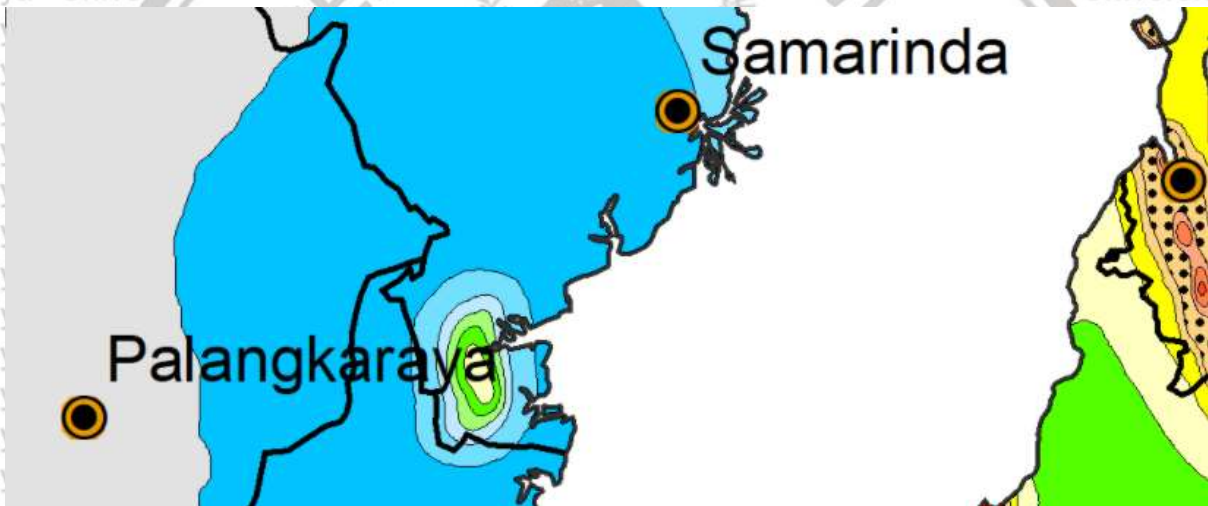
Parameter-parameter seismik didapat dengan memasukkan nama kota atau titik koordinat dari bangunan yang direncanakan ke laman <http://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/> dan untuk Kota Balikpapan didapat:

1. Parameter Gerak Tanah,  $S_1$  (Percepatan Batuan Dasar Periode 1 detik) dan  $S_s$  (Percepatan Batuan Dasar Periode Pendek 0,2 Detik)





Gambar 4. 1 Peta  $S_1$  untuk Kota Balikpapan  
Sumber: SNI 1726:2019



Gambar 4. 2 Peta  $S_s$  untuk Kota Balikpapan  
Sumber: SNI 1726:2019

Maka didapat nilai  $S_1$  sebesar 0,07 g dan  $S_s$  sebesar 0,11 g



## 2. Klasifikasi Situs Tanah

Tabel 4.1

Klasifikasi Situs Tanah Menurut SNI 1726:2019

Kelas situs	$\bar{v}_z$ (m/detik)	$\bar{N}$ atau $\bar{N}_{cr}$	$\bar{s}_u$ (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	$\geq 100$
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		
Kelas situs	$\bar{v}_z$ (m/detik)	$\bar{N}$ atau $\bar{N}_{cr}$	$\bar{s}_u$ (kPa)
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 0)	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)		

Sumber: SNI 1726:2019

Kota Balikpapan secara garis besar memiliki jenis tanah sedang

## 3. Faktor Amplifikasi Terkait Percepatan Yang Mewakili Getaran Periode 1 detik (Fv)

Tabel 4. 2

Koefisien Fv Terhadap Kelas Situs Tanah Menurut SNI 1726:2019

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE <sub>R</sub> ) 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 <sup>(a)</sup>					

Sumber: SNI 1726:2019

Karena nilai  $S_1$  sebesar 0,07 g maka dilakukan interpolasi linier sehingga didapat

$$F_v = 1,43$$





#### 4. Faktor Amplifikasi Getaran Terkait Percepatan Yang Mewakili Getaran Periode Pendek ( $F_a$ )

Tabel 4.3  
Koefisien  $F_a$  Terhadap Kelas Situs Tanah Menurut SNI 1726:2019

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 <sup>(a)</sup>					

#### CATATAN:

(a) SS= Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik, lihat 0

Sumber: SNI 1726:2019

Karena nilai  $S_s$  sebesar 0,11 g maka dilakukan interpolasi linier sehingga didapat  $F_a = 1,3$

#### 5. Parameter $S_{M1}$ (Parameter Spektrum Respons Percepatan Pada Periode Panjang 1 Detik dan $S_{MS}$ (Parameter Spektrum Respons Percepatan Pada Periode Pendek 0,2 Detik)

$$S_{M1} = F_v \cdot S_1$$

$$S_{M1} = 1,43 \times 0,07 = 0,1001$$

$$S_{MS} = F_a \cdot S_s$$

$$S_{MS} = 1,3 \times 0,11 = 0,143$$

Didapat nilai  $S_{M1}$  sebesar 0,1001 g dan  $S_{MS}$  sebesar 0,143 g

#### 6. Parameter $S_{D1}$ (Parameter Percepatan Spektral Desain Untuk Periode Panjang 1 Detik dan $S_{DS}$ (Parameter Percepatan Spektral Desain Untuk Periode Pendek 0,2 Detik)

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

$$S_{D1} = \frac{2}{3} \cdot 0,1001 = 0,066$$

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

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \times 0,143 = 0,095$$

Didapat nilai  $S_{D1}$  sebesar 0,06673 g dan  $S_{DS}$  sebesar 0,09533 g.

### 4.2.3.2 Menentukan Sistem Pemikul Gaya Seismik

#### 1. Menentukan Kategori Risiko Berdasarkan Jenis Pemanfaatan Bangunan gedung

Tabel 4.4  
Kategori Risiko Gempa Menurut SNI 1726:2019



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"> <li>Bangunan-bangunan monumental</li> <li>Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan</li> <li>Rumah ibadah</li> <li>Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat</li> <li>Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat</li> <li>Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya</li> <li>Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk langgap darurat</li> <li>Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat</li> <li>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</li> </ul>	IV
Gedung dan nongedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.	

Sumber: SNI 1726:2019

Karena bangunan gedung difungsikan sebagai rumah sakit, maka termasuk kedalam Kategori Risiko IV.

## 2. Menentukan Faktor Keutamaan Gempa ( $I_e$ )

Tabel 4. 5

Faktor Keutamaan Gempa Menurut SNI 1726:2019

Tabel 4 – Faktor keutamaan gempa

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

RS Kanujoso Djatiwibowo termasuk kedalam Kategori Risiko IV, maka nilai  $I_e = 1,5$ .

## 3. Menentukan Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Periode 1 Detik ( $S_{D1}$ )

Tabel 4. 6

Penentuan Kategori Desain Seismik Berdasarkan Nilai  $S_{D1}$

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

Nilai  $S_{D1} = 0,066$  dan bangunan termasuk kedalam Kategori Risiko

IV maka Kategori Desain Seismik pada bangunan merupakan Kategori Desain Seismik .

**4. Menentukan Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Periode Pendek ( $S_{DS}$ )**

Tabel 4. 7

Penentuan Kategori Desain Seismik Berdasarkan Nilai  $S_{DS}$

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

Sumber: SNI 1726:2019

Nilai  $S_{DS} = 0,095$  dan bangunan termasuk kedalam Kategori Risiko

IV maka Kategori Desain Seismik pada bangunan merupakan Kategori Desain Seismik A.

Secara keseluruhan, setelah ditinjau dari dua parameter seismik  $S_{D1}$  dan  $S_{DS}$  maka bangunan gedung termasuk kedalam Kategori Desain Seismik (KDS) A.

**5. Menentukan Sistem Pemikul Gaya Seismik dan Koefisien Modifikasi Respon**

Tabel 4. 8

Sistem Pemikul Gaya Seismik Beserta Syarat Desain Menurut SNI 1726:2019





Sistem pemikul gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, $R^a$	Faktor kuat lebih sistem, $\Omega_b^b$	Faktor pembesaran defleksi, $C_d^c$	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, $H_n$ (m) <sup>d</sup>				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D <sup>e</sup>	E <sup>e</sup>	F <sup>f</sup>
19. Dinding geser batu bata polos didetail	2	2½	2	TB	TI	TI	TI	TI
20. Dinding geser batu bata polos biasa	1½	2½	1½	TB	TI	TI	TI	TI
21. Dinding geser batu bata prategang	1½	2½	1½	TB	TI	TI	TI	TI
22. Dinding rangka ringan (kayu) yang dilapisi dengan panel struktur kayu yang dimaksudkan untuk tahanan geser	7	2½	4½	TB	TB	22	22	22
23. Dinding rangka ringan (baja canai dingin) yang dilapisi dengan panel struktur kayu yang dimaksudkan untuk tahanan geser, atau dengan lembaran baja	7	2½	4½	TB	TB	22	22	22
24. Dinding rangka ringan dengan panel geser dari semua material lainnya	2½	2½	2½	TB	TB	10	TB	TB
25. Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	8	2½	5	TB	TB	48	48	30
26. Dinding geser pelat baja khusus	7	2	6	TB	TB	48	48	30
<b>C. Sistem rangka pemikul momen</b>								
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 <sup>g</sup>	TI <sup>h</sup>	TI <sup>h</sup>
4. Rangka baja pemikul momen biasa	3½	3	3	TB	TB	TI <sup>i</sup>	TI <sup>i</sup>	TI <sup>i</sup>
5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus <sup>m</sup>	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 canai dingin pemikul momen khusus dengan pembuatan <sup>n</sup>	3½	3 <sup>o</sup>	3½	10	10	10	10	10

Karena tinggi total gedung (h) sebesar 35,1 meter dan Kategori Desain Seismik termasuk dalam KDS A dimana pada KDS A tidak ada batasan terkait maksimal tinggi gedung. Maka, dalam analisis digunakan Rangka Baja Pemikul Momen Biasa (SRPMB) karena tidak ada batasan untuk tinggi gedung.

Maka didapat nilai  $R = 3,5$ . Sesuai SNI 1726:2019, maka input respon spektrum

diberikan nilai pengali sebesar  $\frac{g \cdot I_e}{R}$

$g$  = gravitasi bumi ( $9,81 \text{ m/s}^2$ )

$I_e$  = factor keutamaan Gedung = 1,5 (kategori resiko 1)

$R$  = factor reduksi gempa = 3,5 (Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus)

$$\frac{g \cdot I_e}{R} = \frac{9,81 \cdot 1,5}{3,5} = 4,204$$

Nilai pengali tersebut nantinya dimasukkan kedalam aplikasi

### 4.3 Kombinasi Pembebanan

Pembebanan yang bekerja pada alternatif perencanaan secara umum adalah sebagai berikut:

1. Beban Mati
2. Beban Hidup
3. Beban Gempa
4. Beban Angin





Berdasarkan beban óbeban diatas, maka RSUD dr. Kanujoso Djatiwibowo Balikpapan harus mampu menahan kombinasi pembebanan dasar menurut SNI 1727:2020 yang terdiri dari:

1.  $1,4 D$
2.  $1,2 D + 1,6 L + 0,5 (L_r \text{ atau } R)$
3.  $1,2iD + 1,69( L_r \text{ atau } R ) + (L] \text{ atau } ]0,5W)$
4.  $1,2 D \pm 1,0iW + L + 0,5( L_r \text{ atau } R )$
5.  $1,2 D \pm 1,0iE + L$
6.  $0,9 D \pm 1,0iW$
7.  $0,9 D \pm 1,0iE$

#### 4.3.1 Kombinasi Pembebanan Akibat Beban Seismik

##### 4.3.1.1 Penambahan Faktor Redundansi

Karena RSUD dr. Kanujoso Djatiwibowo Balikpapan termasuk kedalam Kategori Desain Seismik (KDS) A maka SNI 1726:2019 pasal 7.3.4.2 mensyaratkan penambahan faktor redundansi pada pembebanan gempa (E) sebesar 1,3 pada masing-masing arah yang ditinjau.

##### 4.3.2 Kombinasi Pembebanan Ultimit

Setelah memperhitungkan beban seismik ultimit, maka kombinasi pembebanan ultimit yang merupakan penjabaran dari kombinasi pembebanan dasar ditambah dengan beban seismik ultimit dapat dihitung dengan uraian sebagai berikut:

###### 1. Kombinasi 1

$$1,4D$$

###### 2. Kombinasi 2

$$1,2D + 1,6L$$

###### 3. Kombinasi 4A

$$1,2D + 1L + 1W_x + 0W_y$$

###### Kombinasi 4B

$$1,2D + L + 0W_x + 1W_y$$

###### Kombinasi 4C

$$1,2D + L - 1W_x + 0W_y$$

###### Kombinasi 4D

$$1,2D + L + 0W_x - 1W_y$$

###### 4. Kombinasi 5x A

$$1,2D + 1,3EQ_x + 0,39EQ_y + 1L$$

###### Kombinasi 5x B

$$1,2D + 1,3EQ_x - 0,39EQ_y + 1L$$



**Kombinasi 5x C**

$$1,2D - 1,3EQ_X + 0,39EQ_Y + 1L$$

**Kombinasi 5x D**

$$1,2D - 1,3EQ_X - 0,39EQ_Y + 1L$$

**Kombinasi 5Y A**

$$1,2D + 0,39EQ_X + 1,3EQ_Y + 1L$$

**Kombinasi 5Y B**

$$1,2D + 0,39EQ_X - 1,3EQ_Y + 1L$$

**Kombinasi 5Y C**

$$1,2D - 0,39EQ_X + 1,3EQ_Y + 1L$$

**Kombinasi 5Y D**

$$1,2D - 0,39EQ_X - 1,3EQ_Y + 1L$$

**5. Kombinasi 6A**

$$0,9D + 1W_X + 0W_Y$$

**Kombinasi 6B**

$$0,9D + 0W_X + 1W_Y$$

**Kombinasi 6C**

$$0,9D - 1W_X + 0W_Y$$

**Kombinasi 6D**

$$0,9D + 0W_X - 1W_Y$$

**6. Kombinasi 7x A**

$$1,2D + 1,3EQ_X + 0,39EQ_Y$$

**Kombinasi 7x B**

$$1,2D + 1,3EQ_X - 0,39EQ_Y$$

**Kombinasi 7x C**

$$1,2D - 1,3EQ_X + 0,39EQ_Y$$

**Kombinasi 7x D**

$$1,2D - 1,3EQ_X - 0,39EQ_Y$$

**Kombinasi 7Y A**

$$1,2D + 0,39EQ_X + 1,3EQ_Y$$

**Kombinasi 7Y B**

$$1,2D + 0,39EQ_X - 1,3EQ_Y$$

**Kombinasi 7Y C**

$$1,2D - 0,39EQ_X + 1,3EQ_Y$$

**Kombinasi 7Y D**

$$1,2D - 0,39EQ_X - 1,3EQ_Y$$

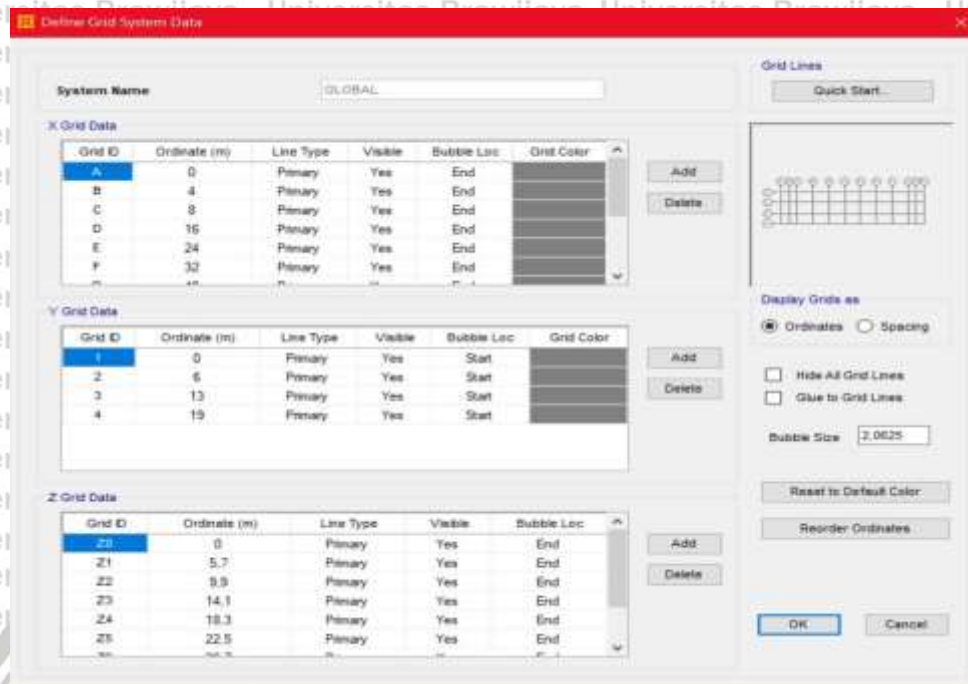
**4.4 Pemodelan Struktur Pada SAP2000**

Untuk mendapatkan *output* berupa gaya dalam dari beban ultimit seperti yang telah dirumuskan pada kombinasi beban, maka diperlukan pemodelan struktur yang baik dan benar. Dengan dibantu oleh perangkat lunak SAP2000, berikut adalah tahapan dan input yang diberikan:



## 1. Grid System

*Grid System* adalah sistem acuan dimana letak koordinat titik-titik pada struktur (sumbu x, y, dan z) dibuat.



Gambar 4. 3 Grid System Pada SAP2000

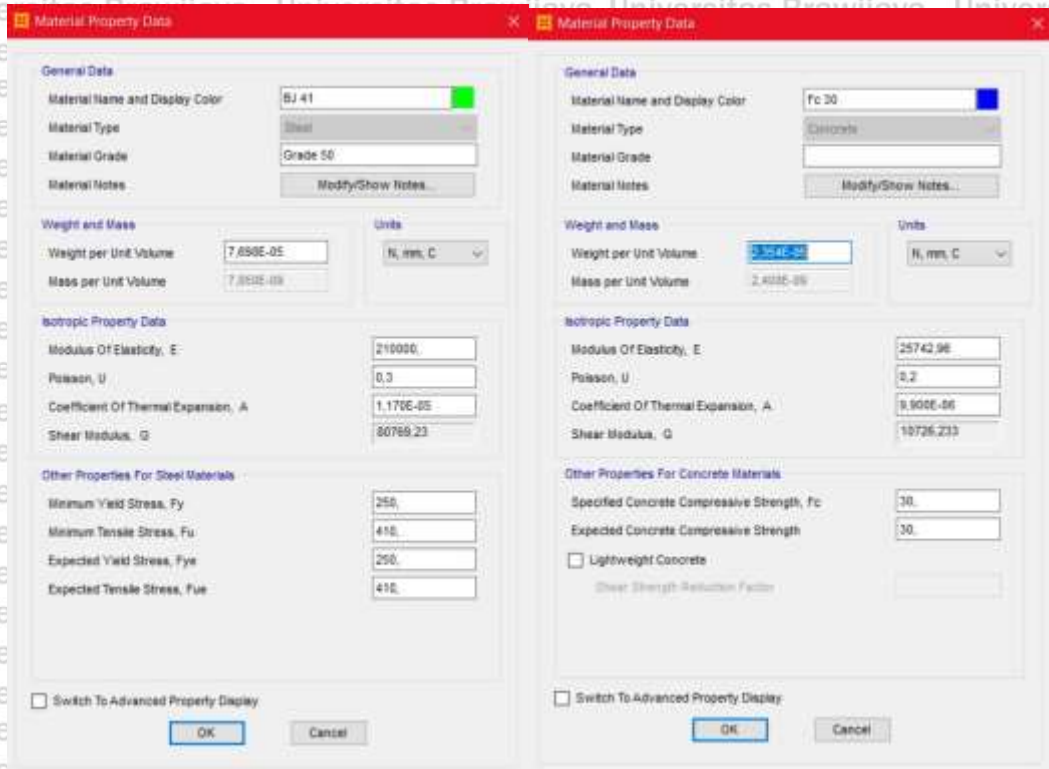
Sumber: Hasil Analisis

Pada *Grid System* juga memuat informasi mengenai pendefinisian elevasi atau tingkatan lantai pada pemodelan struktur.

## 2. Pendefinisian material

Untuk menentukan jenis material dan mutu bahan yang digunakan, maka material struktur perlu didefinisikan dengan cara pilih *Define* → *Material Properties*.





Gambar 4. 4 Pendefinisian Material Pada SAP2000  
 Sumber: Hasil Analisis

3. **Dimensioneering elemen struktur**

Untuk menentukan dan mengubah elemen struktur seperti balok, kolom, dan pelat, maka dapat memilih *Define* → *Section Properties*. Pada menu ini material yang didefinisikan sebelumnya bisa dihubungkan langsung pada saat penentuan dimensi elemen struktur.

- *Frame Section* (Balok dan Kolom)

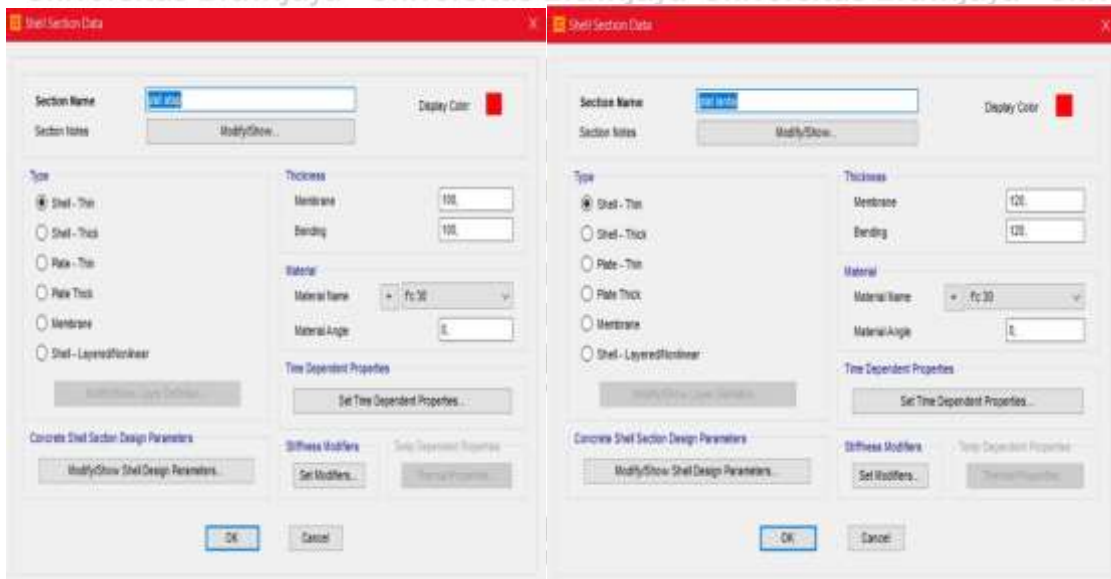




Gambar 4.5 Dimensioneering Elemen Balok dan Kolom Pada ETABS

Sumber: Hasil Analisis

- Slab Section (Pelat)

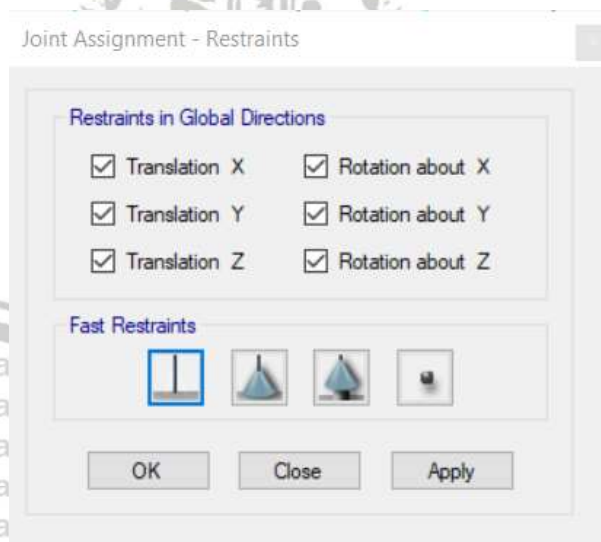


Gambar 4.6 Dimensioneering Elemen Pelat Pada SAP2000

Sumber: Hasil Analisis

#### 4. Assign Tumpuan

Untuk memberikan tumpuan pada kaki kolom, maka dipilih menu *Assign* → *Joint* → *Restraints*. Karena kaki kolom diasumsikan terjepit di pondasi maka dipilih gambar tumpuan jepit pada tab *selection*.



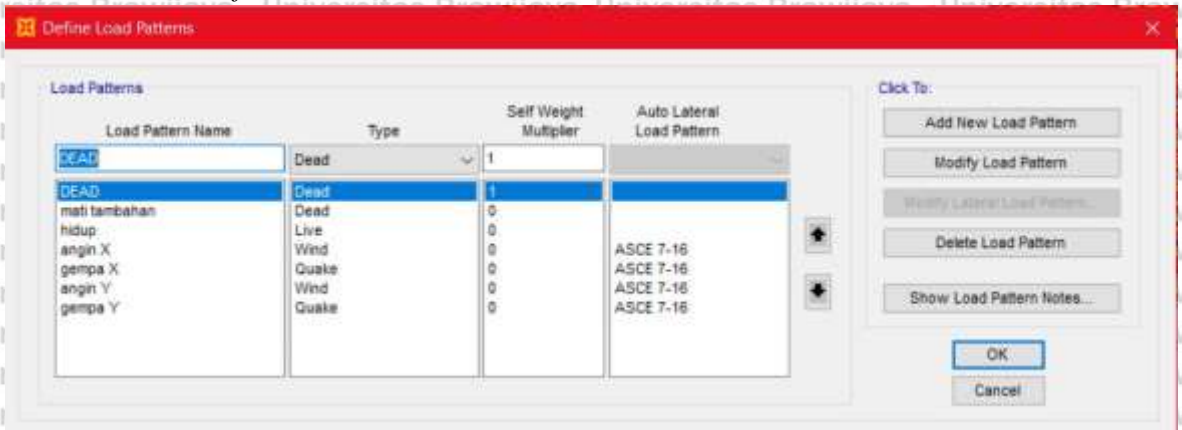
Gambar 4.7 Assign Tumpuan Pada SAP2000

Sumber: Hasil Analisis



### 5. Pendefinisian Beban

Semua jenis beban yang akan bekerja nantinya didefinisikan terlebih dahulu dengan memilih menu *Define* → *Load Patterns*



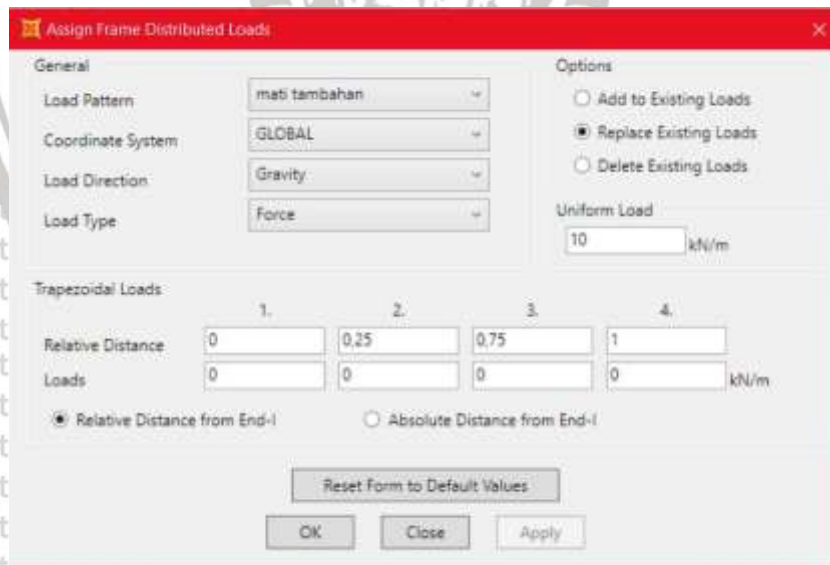
Gambar 4. 8 Pendefinisian Beban Pada SAP2000

Sumber: Hasil Analisis

### 6. Assign Pembebanan

Untuk memberikan pembebanan yang telah dihitung sebelumnya pada pemodelan struktur (*Frame dan Slab Section*), maka dipilih menu *Assign* → *Load*.

- *Assign* → *Frame Loads* → *Distributed*

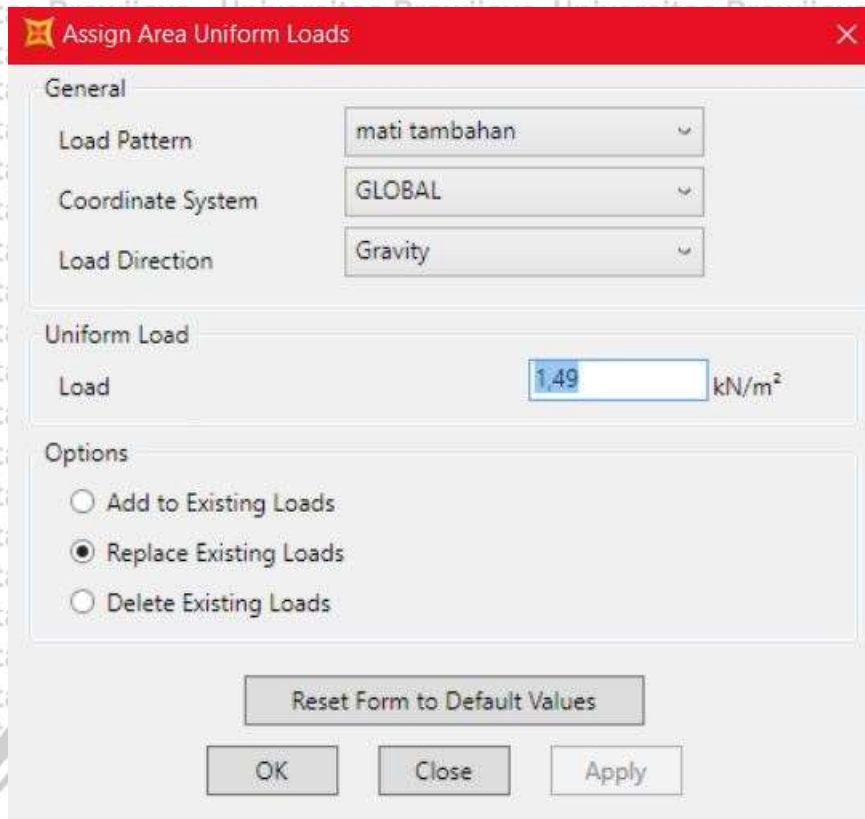


Gambar 4. 9 Frame Load Assignment Pada SAP2000

Sumber: Hasil Analisis

- *Assign* → *Shell Loads* → *Uniform*





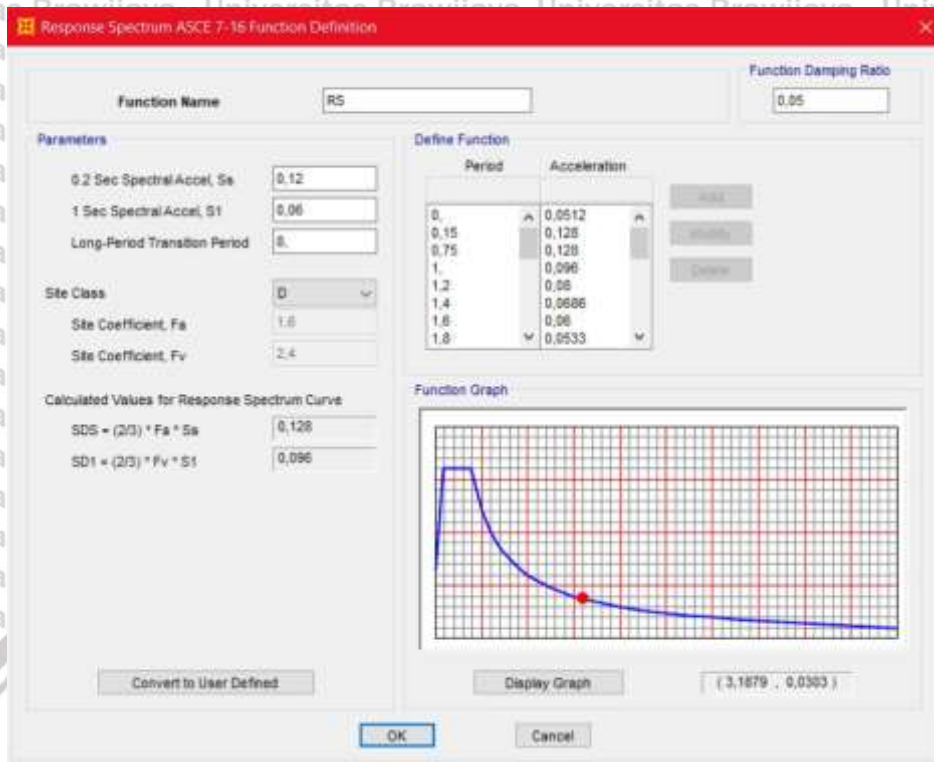
Gambar 4. 10 Shell Load Assignment Pada SAP2000

Sumber: Hasil Analisis

### 7. Input Respons Spektrum

Parameter seismik yang telah diuraikan sebelumnya diinput kedalam SAP2000 dan didapatkan output berupa plot grafik respons spektrum sebagai beban gempa pada struktur. Kelas situs pada ETABS digunakan kelas situs F agar dapat memasukkan parameter seismik  $F_a$  dan  $F_v$  secara manual dan plot grafik respons spektrum mendekati nilai yang tertera pada laman <http://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/>

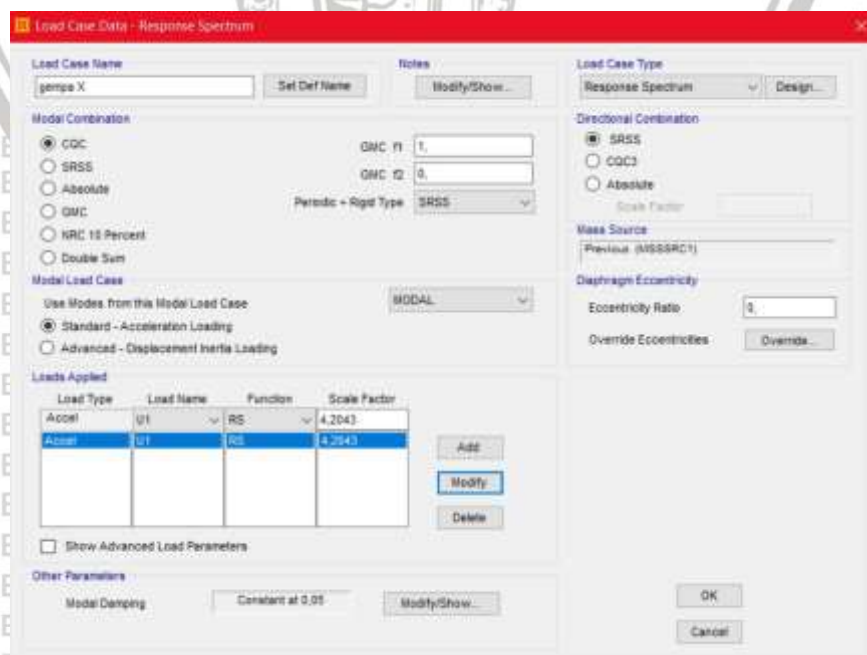




Gambar 4. 11 Input Respons Spektrum Pada SAP2000  
Sumber: Hasil Analisis

### 8. Input Faktor Pengali Koefien Modifikasi Respon

Faktor pengali pada koefisien modifikasi respon telah dihitung pada subbab analisis pembebanan sebesar 1,226 dengan percepatan gravitas dalam satuan  $m/s^2$ . Karena percepatan gravitasi pada ETABS menggunakan satuan  $mm/s^2$ , maka nilai faktor pengali dikalikan 1000 menjadi 1226,25 baik untuk gempa arah X ataupun arah Y.



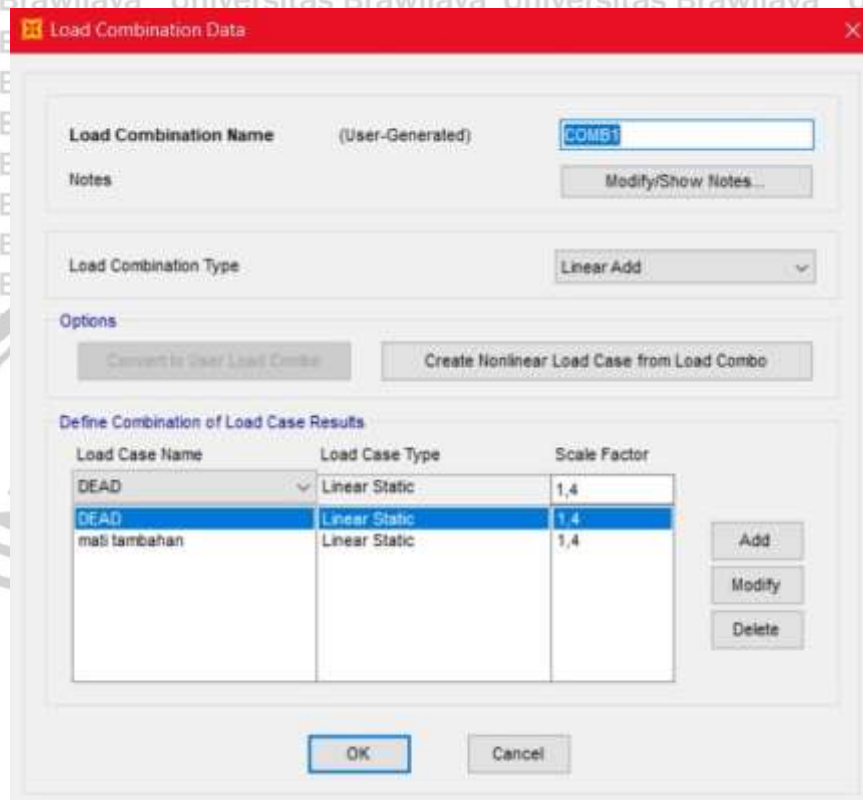


Gambar 4. 12 Input Faktor Pengali Koefisien Modifikasi Respon

Sumber: Hasil Analisis

### 9. Input Kombinasi Beban

Setelah pendefinisian dan modifikasi parameter seismik untuk beban gempa telah selesai, maka penginputan kombinasi beban perlu dilakukan sebelum *running analysis* oleh ETABS. Input kombinasi beban dapat dilakukan dengan memilih menu *Define* → *Load Combination* dan memasukkan jenis beban dan faktor beban ultimit yang telah dihitung pada subbab analisis pembebanan.



Gambar 4. 13 Input Kombinasi Beban Pada SAP2000

Sumber: Hasil Analisis

### 10. Running Analysis

*Running Analysis* dilakukan untuk mendapatkan output berupa gaya-gaya dalam dan respon struktur terhadap beban yang diberikan. *Running analysis* dilakukan dengan memilih menu *Analyze* → *Run Analysis*, atau dengan klik F5 dan menunggu hingga animasi respon struktur muncul.

#### 4.5 Perencanaan Struktur Dengan Material Baja

Perencanaan struktur alternatif pada RSUD dr. Kanujoso Djatiwibowo Balikpapan menggunakan material struktur baja sebagai material utama profil WF mutu BJ-41 dengan ukuran sebagai berikut:

- Profil WF 250x250x9x14 digunakan untuk Balok Induk dengan posisi memanjang (*Long Section*)



- Profil WF 200x200x8x12 digunakan untuk Balok Induk dengan posisi melintang (*Cross Section*)
- Profil WF 100x100x6x9 digunakan untuk Balok Anak
- Profil WF 300x300x10x15 digunakan untuk Kolom

**4.6 Perencanaan Balok Induk**

Output berupa respon struktur dan gaya dalam dari perangkat lunak SAP2000 dengan memasukkan profil hasil *preliminary design* kemudian dilakukan analisis kekuatan nominalnya menggunakan SNI 1729:2020.

**4.6.1 Rekapitulasi Output Gaya Dalam**

Rekapitulasi output yang didapat dari ETABS akibat kombinasi beban ultimit pada balok induk memanjang dan melintang adalah sebagai berikut:

*Tabel 4. 9*  
Rekap Gaya Dalam Pada Balok Induk Memanjang

Momen (Mu)		Geser (Vu)
Lapangan	Tumpuan	
185,779 kNm	-332,609 kNm	213,288 kN

Sumber : Hasil Analisis

*Tabel 4. 10*  
Rekap Gaya Dalam Pada Balok Induk Melintang

Momen (Mu)		Geser (Vu)
Lapangan	Tumpuan	
113,924 kNm	-165,847 kNm	128,116 kN

Sumber : Hasil Analisis

Dengan bentang terbesar posisi memanjang sebesar 8 m dan bentang posisi melintang sebesar 7 m





4.6.2 Penampang Profil Balok Induk

4.6.2.1 Penampang Profil Balok Induk Memanjang (*Long Section*)



Gambar 4. 14 Penampang Profil Balok Induk Memanjang  
Sumber: Hasil Analisis

- W = 72,4 kg/m
- d = 250 mm
- bf = 250 mm
- tw = 9 mm
- tf = 14 mm
- ro = 16 mm
- h = d + 2(tf + ro) = 190 mm
- A = 92,8 cm<sup>2</sup>
- I<sub>x</sub> = 10800 cm<sup>4</sup>
- I<sub>y</sub> = 3650 cm<sup>4</sup>
- r<sub>x</sub> = 108 mm
- r<sub>y</sub> = 62,9 mm
- S<sub>x</sub> = 867 cm<sup>3</sup>
- S<sub>y</sub> = 292 cm<sup>3</sup>

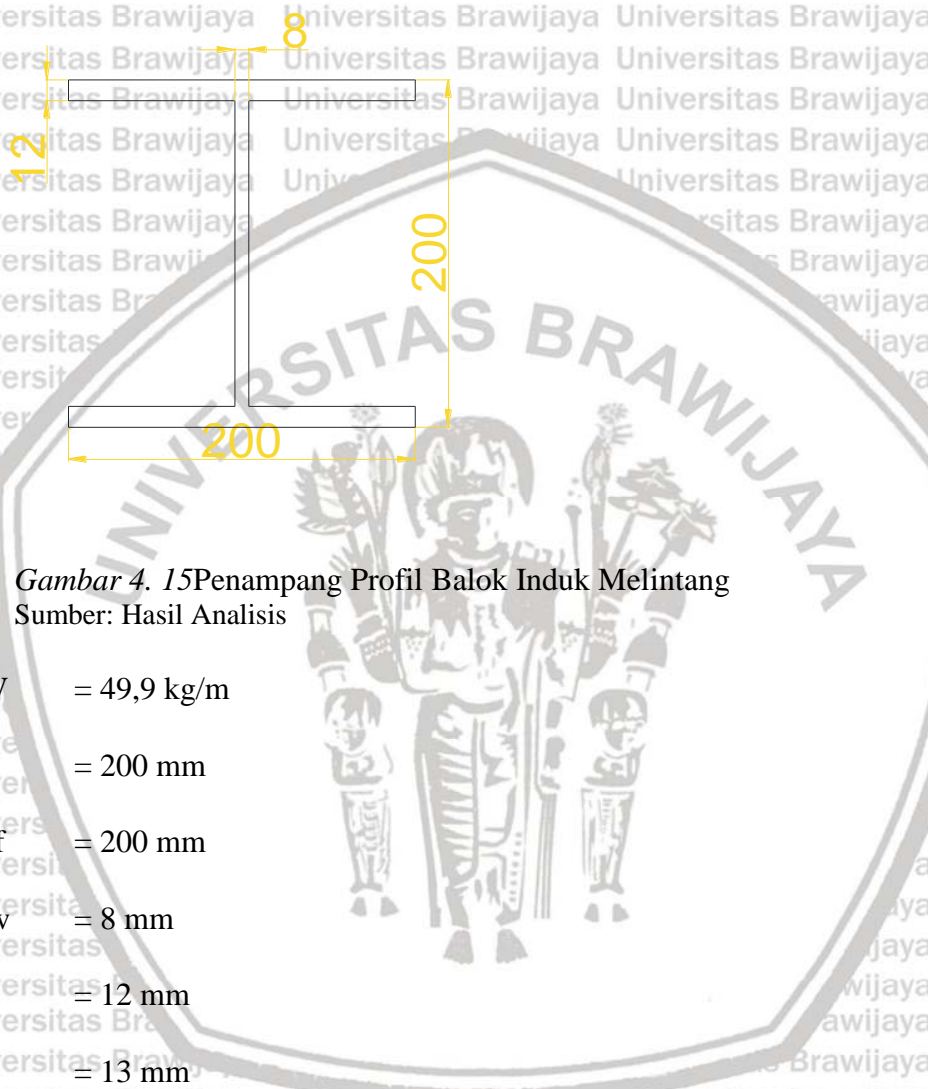




$$Z_x = b \cdot t_f \cdot (d - t_f) + \frac{1}{4} t_w \cdot h^2 = 907,225 \text{ cm}^3$$

$$Z_y = 1,5 \cdot S_y = 438 \text{ cm}^3$$

**4.6.2.2 Penampang Profil Balok Induk Melintang (Cross Section)**



Gambar 4. 15 Penampang Profil Balok Induk Melintang  
Sumber: Hasil Analisis

$$W = 49,9 \text{ kg/m}$$

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

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

$$t_w = 8 \text{ mm}$$

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

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

$$h = d - 2(t_f + r_o) = 150 \text{ mm}$$

$$A = 63,53 \text{ cm}^2$$

$$I_x = 4720 \text{ cm}^4$$

$$I_y = 1600 \text{ cm}^4$$

$$r_x = 86,2 \text{ mm}$$



$$r_y = 50,2 \text{ mm}$$

$$S_x = 472 \text{ cm}^3$$

$$S_y = 160 \text{ cm}^3$$

$$Z_x = b \cdot t_f \cdot (d - t_f) + \frac{1}{4} t_w \cdot h^2 = 496,2 \text{ cm}^3$$

$$Z_y = 1,5 \cdot S_y = 240 \text{ cm}^3$$

#### 4.6.3 Kontrol Profil Balok Induk

Berdasarkan tabel B4.1a SNI 1729:2020, komponen struktur yang mengalami lentur harus dicek untuk rasio lebar terhadap tebal penampang dibandingkan dengan batas rasio lebar terhadap tebal yang telah ditentukan untuk mengetahui apakah penampang tersebut kompak atau nonkompak (langsing).

##### 4.6.3.1 Kontrol Profil Balok Induk Memanjang (*Long Section*)

- Pelat Sayap

$$\lambda = \frac{b_f}{2t_f} = \frac{250}{28} = 8,928$$

$$\lambda_p = 0,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 0,38 \sqrt{\frac{210000}{250}} = 11,01$$

Nilai  $\lambda < \lambda_p$  maka pelat sayap kompak

- Pelat Badan

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{190}{9} = 21,111$$

$$\lambda_p = 3,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 3,76 \sqrt{\frac{210000}{250}} = 108,98$$

Nilai  $\lambda < \lambda_p$  maka pelat badan kompak

##### 4.6.3.2 Kontrol Profil Balok Induk Melintang (*Cross Section*)

- Pelat Sayap

$$\lambda = \frac{b_f}{2t_f} = \frac{200}{24} = 8,333$$

$$\lambda_p = 0,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 0,38 \sqrt{\frac{210000}{250}} = 11,01$$

Nilai  $\lambda < \lambda_p$  maka pelat sayap kompak

- Pelat Badan

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{150}{8} = 11,013$$



$$\lambda_p = 3,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 3,76 \sqrt{\frac{210000}{250}} = 108,98$$

Nilai  $\lambda < \lambda_p$  maka pelat badan kompak

#### 4.6.4 Pengecekan Kapasitas Nominal Pra – Komposit

Kapasitas nominal untuk komponen struktur dengan profil WF yang mengalami lentur menurut tabel F1.1 SNI 1729:2020 didapat dari nilai terkecil pada kondisi batas leleh (Y, *yield*) dan kondisi Tekuk Torsi-Lateral (LTB, *Lateral Torsional Buckling*).

##### 4.6.4.1 Pengecekan Kapasitas Nominal Balok Induk Memanjang (*Long Section*)

- Berdasarkan batas leleh (Y)

Karena penampang kompak, maka:

$$\begin{aligned} M_n &= M_p = F_y \cdot Z_x \\ &= 250 \cdot 907225 \cdot 10^3 \\ &= 226806250 \text{ Nmm} \\ &= 226,80265 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0,9 \cdot 226,80265 \\ &= 204,125625 \text{ kNm} \end{aligned}$$

- Berdasarkan Tekuk-Torsi Lateral (LTB)

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

$$\begin{aligned} L_p &= 1,76 \cdot r_y \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1,76 \cdot 75,7 \sqrt{\frac{210000}{250}} \\ &= 1, \text{ m} \end{aligned}$$

$$h_0 = d \cdot \phi_{tr}$$

$$= 250 \cdot 0,914 = 236 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} r_{ts}^2 &= \frac{I_y h_0}{2S_x} \\ &= \frac{3650 \cdot 10^4 \cdot 236}{2 \cdot 867 \cdot 10^3} \end{aligned}$$

$$= 4697,70$$

$$r_{ts} = 70,48$$

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

$$= 2 \left( \frac{1}{3} 250 \cdot 14^3 \right) + \left( \frac{1}{3} 236 \cdot 9^3 \right)$$

$$= 514681,333 \text{ mm}^4$$

Karena profil simetris ganda, maka nilai  $c = 1$



$$\begin{aligned}
 L_r &= 1,95 \cdot r_{ts} \cdot \frac{E}{0,7 \cdot f_y} \cdot \sqrt{\frac{J \cdot c}{S_x \cdot h_0} + \sqrt{\left(\frac{J \cdot c}{S_x \cdot h_0}\right)^2 + 6,76 \cdot \left(\frac{0,7 \cdot f_y}{E}\right)^2}} \\
 &= 1,95 \cdot 70,48 \cdot \frac{210000}{0,7 \cdot 250} \cdot \sqrt{\frac{514681,333.1}{867000 \cdot 236} + \sqrt{\left(\frac{514681,333.1}{867000 \cdot 236}\right)^2 + 6,76 \cdot \left(\frac{0,7 \cdot 250}{210000}\right)^2}} \\
 &= 164927,75 \cdot 0,076 \\
 &= 12598,68 \text{ mm} \\
 &\cong 12,5 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Nilai  $L_p < L_b$   $\phi_L$  maka:

$$M_n = C_b \left[ M_p - (M_p - 0,7 \cdot f_y \cdot S_x) \cdot \left( \frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \geq M_p$$

$$M_{\text{MAKS}} = \text{cc kNm}$$

$$M_A \left( \frac{1}{4} L \right) = 83,152 \text{ kNm}$$

$$M_B \left( \frac{1}{2} L \right) = 332,609 \text{ kNm}$$

$$M_C \left( \frac{3}{4} L \right) = 249,457 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned}
 C_b &= \frac{12,5 M_{\text{maks}}}{2,5 M_{\text{maks}} + 3 M_A + 4 M_B + 3 M_C} \\
 &= \frac{12,5 \cdot 572,907}{2,5 \cdot 332,609 + 3 \cdot 83,152 + 4 \cdot 332,609 + 3 \cdot 249,457} \\
 &= 1,315
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 0,7 \cdot F_y \cdot S_x &= 0,7 \cdot 250 \cdot 867000 \\
 &= 151725000 \text{ Nmm} \\
 &= 151,725 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= C_b \left[ M_p - (M_p - 0,7 \cdot f_y \cdot S_x) \cdot \left( \frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \\
 &= 1,315 \left[ 226,8 - (226,8 - 151,725) \cdot \left( \frac{8-3,2}{12,5-3,2} \right) \right] \geq M_p = 226,8 \text{ kNm} \\
 &= 248,01 \text{ kNm} \geq M_p = 226,8 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Maka dipakai nilai  $M_n$  terkecil berdasarkan batas leleh sebesar  $\phi M_n = 204,125 \text{ kNm}$

$$\phi M_n = 204,125 \text{ kNm} > M_u \text{ Lapangan} = 185,779 \text{ kNm}$$

$$\phi M_n = 204,125 \text{ kNm} > M_u \text{ Tumpuan} = 332,609 \text{ kNm}$$



Karena nilai kapasitas nominal pada  $M_u$  Lapangan telah terpenuhi dan pada  $M_u$  Tumpuan belum terpenuhi, maka pada analisis komposit nilai kapasitas nominal komposit hanya akan dibandingkan dengan  $M_u$  Tumpuan.

**4.6.4.2 Pengecekan Kapasitas Nominal Balok Induk Melintang (Cross Section)**

- Berdasarkan batas leleh (Y)

Karena penampang kompak, maka:

$$\begin{aligned}
 M_n &= M_p = F_y \cdot Z_x \\
 &= 250 \cdot 469200 \cdot 10^3 \\
 &= 124050000 \text{ Nmm} \\
 &= 124,05 \text{ kNm} \\
 \phi M_n &= 0,9 \cdot 124,05 \\
 &= 111,645 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

- Berdasarkan Tekuk-Torsi Lateral (LTB)

$$L_b = 7 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 L_p &= 1,76 \cdot r_y \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1,76 \cdot 50,2 \sqrt{\frac{210000}{250}} \\
 &= 2,56 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 h_0 &= d \cdot \phi_{tr} \\
 &= 200 \cdot 0,912 = 188 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 r_{ts}^2 &= \frac{I_y h_0}{2S_x} \\
 &= \frac{1600 \cdot 10^4 \cdot 188}{2 \cdot 472 \cdot 10^3} \\
 &= 3186,44
 \end{aligned}$$

$$r_{ts} = 56,484$$

$$\begin{aligned}
 J &= 2 \left( \frac{1}{3} b_f \cdot t_f^3 \right) + \left( \frac{1}{3} h_0 \cdot t_w^3 \right) \\
 &= 2 \left( \frac{1}{3} 200 \cdot 12^3 \right) + \left( \frac{1}{3} 188 \cdot 8^3 \right) \\
 &= 262485,333 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

Karena profil simetris ganda, maka nilai  $c = 1$

$$\begin{aligned}
 L_r &= 1,95 \cdot r_{ts} \cdot \frac{E}{0,7 \cdot f_y} \cdot \sqrt{\frac{J \cdot c}{S_x \cdot h_0} + \sqrt{\left( \frac{J \cdot c}{S_x \cdot h_0} \right)^2 + 6,76 \cdot \left( \frac{0,7 \cdot f_y}{E} \right)^2}} \\
 &= 1,95 \cdot 56,484 \cdot \frac{210000}{0,7 \cdot 250} \cdot \sqrt{\frac{262485,333}{472000 \cdot 188} + \sqrt{\left( \frac{262485,333}{472000 \cdot 188} \right)^2 + 6,76 \cdot \left( \frac{0,7 \cdot 250}{210000} \right)^2}}
 \end{aligned}$$





$$= 132089,646 \cdot 0,081$$

$$= 10699,261 \text{ mm}$$

$$\approx 10,5 \text{ m}$$

Nilai  $L_p < L_b \cdot \phi L_r$ , maka:

$$M_n = C_b \left[ M_p - (M_p - 0,7 \cdot f_y \cdot S_x) \cdot \left( \frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \geq M_p$$

$$M_{MAKS} = 165,847 \text{ kNm}$$

$$M_A \left( \frac{1}{4} L \right) = 41,462 \text{ kNm}$$

$$M_B \left( \frac{1}{2} L \right) = 165,847 \text{ kNm}$$

$$M_C \left( \frac{3}{4} L \right) = 124,385 \text{ kNm}$$

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

$$= \frac{12,5 \cdot 165,847}{2,5 \cdot 165,847 + 3 \cdot 41,462 + 4 \cdot 165,847 + 3 \cdot 124,385}$$

$$= 1,31$$

$$0,7 \cdot F_y \cdot S_x = 0,7 \cdot 250 \cdot 472000$$

$$= 82600000 \text{ Nmm}$$

$$= 82,6 \text{ kNm}$$

$$M_n = C_b \left[ M_p - (M_p - 0,7 \cdot f_y \cdot S_x) \cdot \left( \frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right]$$

$$= 1,31 \left[ 124,05 - (124,05 - 82,6) \cdot \left( \frac{7-2,56}{10,5-2,56} \right) \right] \geq M_p = 74,75 \text{ kNm}$$

$$= 74,75 \text{ kNm} \geq M_p = 226,806 \text{ kNm}$$

Maka dipakai nilai  $M_n$  terkecil berdasarkan batas tekuk sebesar  $\phi M_n = 67,27 \text{ kNm}$

$$\phi M_n = 67,27 \text{ kNm} < M_u \text{ Lapangan} = 113,924 \text{ kNm}$$

$$\phi M_n = 67,27 \text{ kNm} < M_u \text{ Tumpuan} = 165,847 \text{ kNm}$$

Karena nilai kapasitas nominal pada  $M_u$  Lapangan dan Tumpuan tidak terpenuhi, maka pada analisis komposit nilai kapasitas nominal komposit akan dibandingkan dengan  $M_u$  keduanya.



#### 4.6.5 Pengecekan Kapasitas Nominal Setelah Komposit

##### 4.6.5.1 Pengecekan Kapasitas Nominal Komposit Balok Induk Memanjang (*Long*

###### *Section*)

###### 1. Lebar efektif ( $b_e$ )

Karena balok merupakan balok interior, maka nilai  $b_e$  dipilih terkecil dari:

$$a. \quad b_e = \frac{L}{4}$$

$$= \frac{8}{4}$$

$$= 2 \text{ m}$$

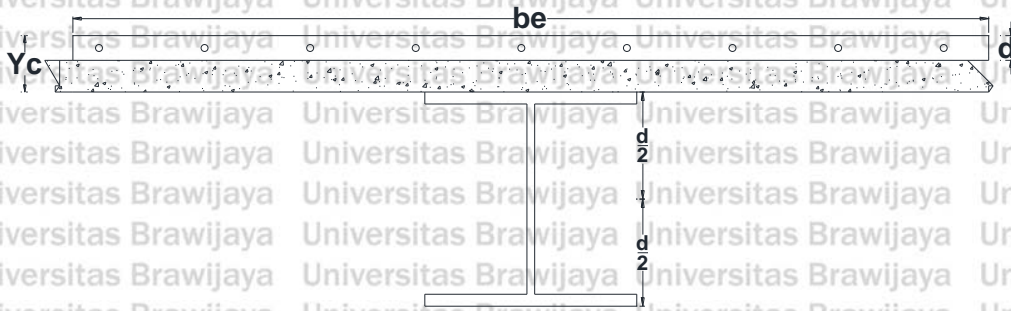
$$b. \quad b_e = b_0 \text{ (jarak antar gelagar)}$$

$$= 8 \text{ m}$$

Maka dipilih nilai  $b_e$  terkecil sebesar 2m







Gambar 4. 16 Balok Induk Komposit  
Sumber: Analisis Penulis

2. Pengecekan penampang kompak pada pelat badan profil

$$\frac{h_c}{t_w} = \frac{d + Y_c}{t_w} = \frac{250 + 120}{9} = \frac{370}{9} = 41,11$$

$$r = \sqrt{\frac{E_s}{F_y}} = 397,6 \sqrt{\frac{210000}{250}} = 108,98$$

$$41,11 < 108,98$$

3. Perencanaan jumlah tulangan pada pelat beton

$$f \phi = 52 \text{ mm}$$

$$t = 120 \text{ mm}$$

$$A_{smin} = \frac{1,4}{F_y} b \cdot d$$

$$= \frac{1,4}{250} 1000 \cdot (120 + 630)$$

$$= 504 \text{ mm}^2$$

Dicoba menggunakan tulangan Ø10

$$\text{Jarak tulangan pelat beton, } s = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot b}{A_{smin}}$$

$$= \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 10^2 \cdot 1000}{504}$$

$$= 155,83 \text{ mm} \approx 150 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan Ø10 @150 sehingga,

$$A_{sc} = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot b}{s} = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 10^2 \cdot 1000}{150} = 523,59 \text{ mm}^2 > A_{smin}, \text{ pelat beton menggunakan}$$

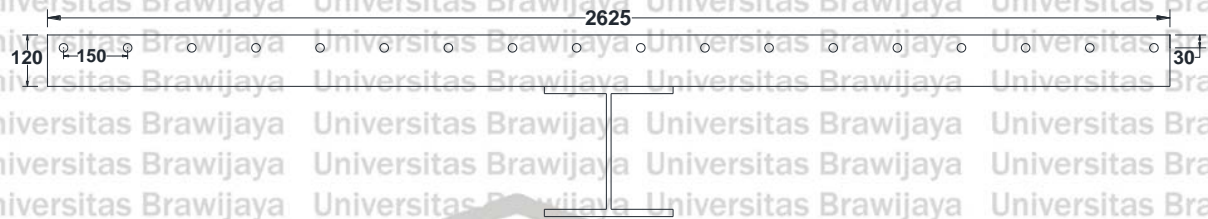
tulangan polos





Jumlah tulangan sepanjang  $b_e$  ( $n$ )

$$n = \frac{b_e}{s} = \frac{2000}{150} = 13,33 \cong 15 \text{ buah}$$



Gambar 4.17 Lebar Efektif Pada Balok Induk Memanjang Komposit

Sumber: Analisis Penulis

#### 4. Mencari sumbu netral plastis pada balok (PNA)

Karena momen negatif (tumpuan), maka serat bawah (profil baja) tertekan dan serat atas (tulangan sepanjang lebar efektif pada pelat beton) tertarik. Sehingga didapat:

- $T_{sr} = n \cdot A_{sr} \cdot F_y$   
 $= 15 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 10^2 \cdot 250$   
 $= 294375 \text{ N}$   
 $= 2943,75 \text{ kN}$

- $C_s = A_s \cdot F_y$   
 $= 9280 \cdot 250$   
 $= 2320000 \text{ N}$   
 $= 2320 \text{ kN}$

Nilai  $C_s > T_{sr}$  maka sumbu netral plastis (PNA) jatuh di pelat baja.

#### 5. Mencari sumbu garis netral ( $y$ )

$$y = \frac{C_s - T_{sr}}{b_f \cdot f_y}$$

$$= \frac{2320000 - 294375}{250 \cdot 250}$$

$$= 32,41 \text{ mm} > t_f = 14 \text{ mm}$$

Maka garis netral jatuh di pelat badan. Dicari tarik pada pelat sayap.

$$T_{sf} = b_f \cdot t_f \cdot 2F_y$$

$$= 250 \cdot 14 \cdot 2 \cdot 250$$

$$= 1750000 \text{ N}$$

$$= 1750 \text{ kN}$$



$$y = \frac{C_s - T_{sr} - T_{sf}}{t_w \cdot f_y}$$

$$= \frac{2320000 - 294375 - 1750000}{9 \cdot 250}$$

$$= 122,5 \text{ mm}$$

$$\cong 125 \text{ mm}$$

Mencari tarik pada pelat badan ( $T_{sw}$ )

$$T_{sw} = t_w \cdot y \cdot 2F_y$$

$$= 9 \cdot 125 \cdot 2 \cdot 250$$

$$= 562500 \text{ N}$$

$$= 562,5 \text{ kN}$$

Mencari jarak ke titik berat pelat sayap ( $y_f$ )

$$y_f = \frac{1}{2} (d - \delta_{tf})$$

$$= \frac{1}{2} (250 - 14)$$

$$= 118 \text{ mm}$$

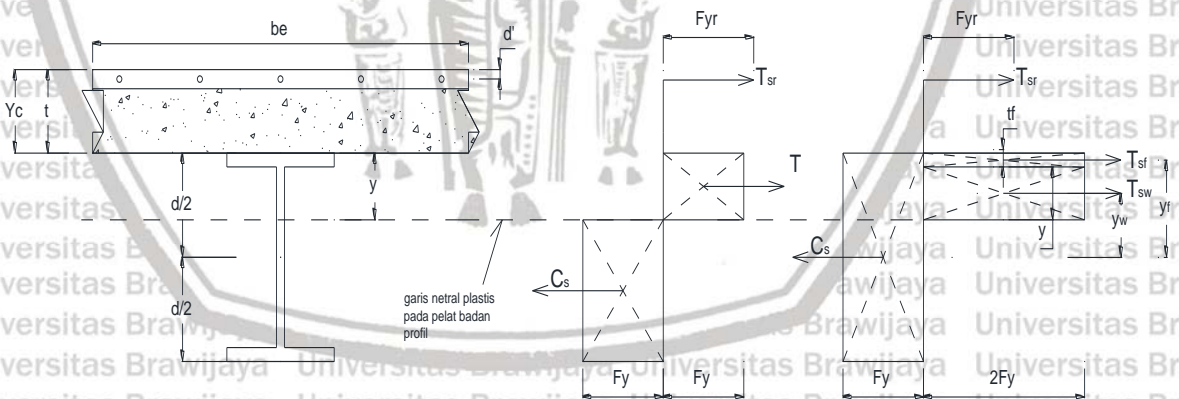
Mencari jarak ke titik berat pelat sayap ( $y_w$ )

$$y_w = \frac{1}{2} (d + y) - \delta_{tf}$$

$$= \frac{1}{2} (250 + 125) - 14$$

$$= 173,5 \text{ mm}$$

6. Menghitung kapasitas momen lentur balok komposit ( $M_n$ )



Gambar 4. 18 Distribusi Tegangan Balok Komposit Kasus 3

Sumber: Analisis Penulis





$$\begin{aligned}
 M_n &= T_{sr} \left( \frac{d}{2} + Y_c - d' \right) + T_{sf} \cdot y_f + T_{sw} \cdot y_w \\
 &= 294375 \left( \frac{250}{2} + 120 - 30 \right) + 1750000 \cdot 118 + 562500 \cdot 173,5 \\
 &= 381106250 \text{ Nmm} \\
 &= 381,106 \text{ kNm} \\
 \phi M_n &= 0,9 \cdot 381,106 \\
 &= 342,99 \text{ kNm} > M_u = 332,69 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

7. Menghitung kapasitas geser nominal balok komposit ( $V_n$ )

Pengecekan persyaratan  $\frac{h}{t_w} \leq 4 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$  pada penampang pelat badan

$$\frac{h}{t_w} = \frac{d+Y_c}{t_w} = \frac{250+120}{9} = \frac{370}{9} = 41,11$$

$$2,24 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 2,24 \sqrt{\frac{210000}{250}} = 64,92$$

Nilai  $\frac{h}{t_w} \leq 4 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$  maka  $\phi_v = 1,0$  dan  $C_v = 1,0$

$$A_w = d \cdot t_w = 250 \cdot 9 = 2250 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 \text{Sehingga } V_n &= 0,6 F_y \cdot A_w \cdot C_v \\
 &= 0,6 \cdot 250 \cdot 2250 \cdot 1,0 \\
 &= 337500 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\phi V_n = 0,75 \cdot 337500 = 253125 \text{ N} = 253,125 \text{ kN}$$

8. Menghitung kapasitas momen torsi ( $T_n$ )

$$\text{Panjang bentang (L)} = 8 \text{ m} = 8000 \text{ mm}$$

$$\text{Momen torsi maksimum } (T_{maks}) = 34,26 \text{ kNm}$$

$$\text{Momen torsi geser } (T_{giir}) = \frac{T}{180} = \frac{8000}{180} = 44,44 \text{ mm}$$

$$\phi_{maks} = 56 \cdot 44,44 = 2486,56 \text{ mm}^2 (\text{OK})$$





#### 4.6.5.2 Pengecekan Kapasitas Nominal Komposit Balok Induk Melintang (*Cross Section*)

##### 1. Lebar efektif ( $b_e$ )

Karena balok merupakan balok interior, maka nilai  $b_e$  dipilih terkecil dari:

$$\begin{aligned} \text{a. } b_e &= \frac{L}{4} \\ &= \frac{7}{4} \\ &= 1,75 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b. } b_e &= b_0 \text{ (jarak antar gelagar)} \\ &= 10,5 \text{ m} \end{aligned}$$

Maka dipilih nilai  $b_e$  terkecil sebesar 1,75 m

##### 2. Pengecekan penampang kompak pada pelat badan profil

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{d+Y_c}{t_w} = \frac{200+120}{8} = \frac{320}{8} = 40$$

$$r \text{ " ? } \sqrt{\frac{E_s}{F_y}} = 397,6 \sqrt{\frac{210000}{250}} = 108,98$$

" > " penampang pelat badan kompak atau nonlangsing

##### 3. Perencanaan jumlah tulangan pada pelat beton

$$f \phi \text{ " ? " } 5 \text{ 2 " o o}$$

$$t = 120 \text{ mm}$$

$$A_{smin} = \frac{1,4}{F_y} b \cdot d$$

$$= \frac{1,4}{250} 1000 \cdot (120 + 630)$$

$$= 504 \text{ mm}^2$$

Dicoba menggunakan tulangan Ø10

$$\text{Jarak tulangan pelat beton, } s = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot b}{A_{smin}}$$

$$= \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 10^2 \cdot 1000}{504}$$

$$= 155,83 \text{ mm} \approx 150 \text{ mm}$$

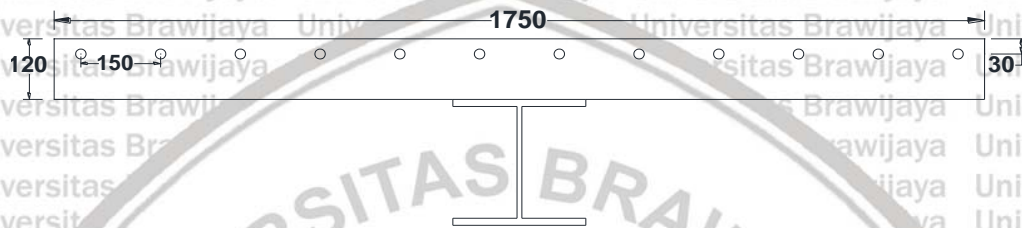
Dipakai tulangan Ø10 @150 sehingga,



$$A_{sc} = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot b}{s} = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 10^2 \cdot 1000}{150} = 523,59 \text{ mm}^2 > A_{s_{min}}, \text{ pelat beton menggunakan tulangan polos}$$

Jumlah tulangan sepanjang  $b_e$  (n)

$$n = \frac{b_e}{s} = \frac{1750}{150} = 11,67 \cong 12 \text{ buah}$$



Gambar 4. 19 Lebar Efektif Pada Balok Induk Melintang Komposit

Sumber: Analisis Penulis

#### 4. Mencari sumbu netral plastis pada balok (PNA)

Karena momen negatif (tumpuan), maka serat bawah (profil baja) tertekan dan serat atas (tulangan sepanjang lebar efektif pada pelat beton) tertarik. Sehingga didapat:

- $T_{sr} = n \cdot A_{sr} \cdot F_y$
- $= 12 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 10^2 \cdot 250$
- $= 235619,45 \text{ N}$
- $= 235,62 \text{ kN}$

- $C_s = A_s \cdot F_y$
- $= 6353 \cdot 250$
- $= 1588250 \text{ N}$
- $= 1588,25 \text{ kN}$

Nilai  $C_s > T_{sr}$  maka sumbu netral plastis (PNA) jatuh di pelat baja.



5. Mencari sumbu garis netral ( $y$ )

$$y = \frac{C_s - T_{sr}}{b_f \cdot f_y} = \frac{235619,45 - 1588250}{200 \cdot 250} = 27,05 \text{ mm} > t_f = 14 \text{ mm}$$

Maka garis netral jatuh di pelat badan. Dicari tarik pada pelat sayap.

$$T_{sf} = b_f \cdot t_f \cdot 2F_y = 200 \cdot 12 \cdot 2 \cdot 250 = 1200000 \text{ N}$$

$$= 1750 \text{ kN}$$

$$y = \frac{C_s - T_{sr} - T_{sf}}{t_w \cdot f_y} = \frac{1588250 - 235619,45 - 1200000}{9 \cdot 200} = 84,79 \text{ mm}$$

$$\cong 85 \text{ mm}$$

Mencari tarik pada pelat badan ( $T_{sw}$ )

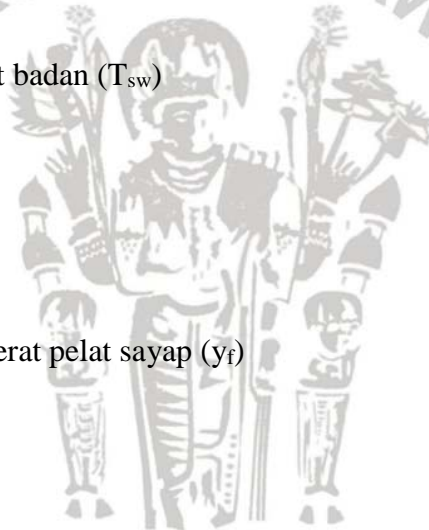
$$T_{sw} = t_w \cdot y \cdot 2F_y = 8 \cdot 85 \cdot 2 \cdot 250 = 340000 \text{ N} = 340 \text{ kN}$$

Mencari jarak ke titik berat pelat sayap ( $y_f$ )

$$Y_f = \frac{1}{2} (d - \delta t_f) = \frac{1}{2} (200 - 12) = 94 \text{ mm}$$

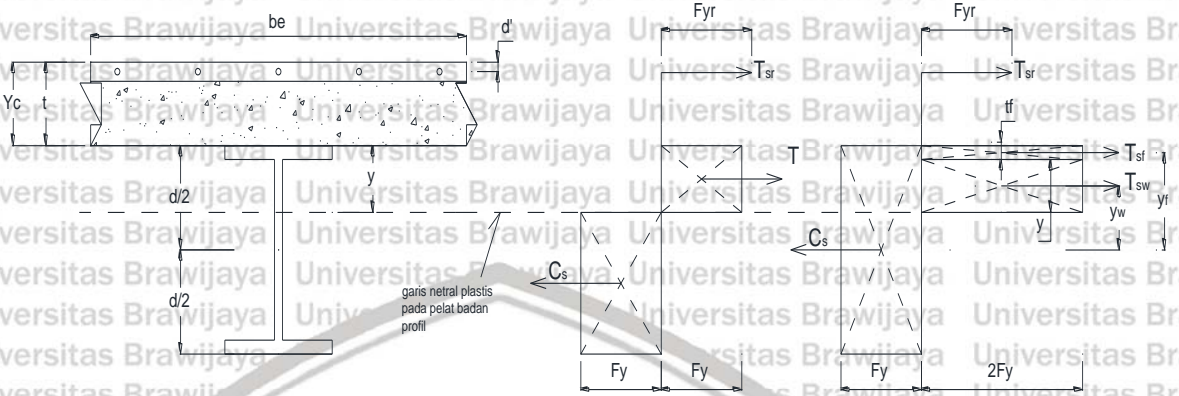
Mencari jarak ke titik berat pelat sayap ( $y_w$ )

$$Y_w = \frac{1}{2} (d + y) - \delta t_f = \frac{1}{2} (200 + 85) - 612 = 130,5 \text{ mm}$$





6. Menghitung kapasitas momen lentur balok komposit (Mn)



Gambar 4. 20 Distribusi Tegangan Balok Komposit Kasus 3  
 Sumber: Analisis Penulis

$$\begin{aligned}
 M_n &= T_{sr} \left( \frac{d}{2} + Y_c - d' \right) + T_{sf} \cdot y_f + T_{sw} \cdot y_w \\
 &= 235619,45 \left( \frac{250}{2} + 120 - 30 \right) + 1200000 \cdot 94 + 340000 \cdot 130,5 \\
 &= 207828181,75 \text{ Nmm} \\
 &= 207,82 \text{ kNm} \\
 \phi M_n &= 0,9 \cdot 207,82 \\
 &= 187,038 \text{ kNm} > M_u = 165,847 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

7. Menghitung kapasitas geser nominal balok komposit (Vn)

Pengecekan persyaratan  $\frac{h}{t_w} \leq 4 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$  pada penampang pelat badan

$$\frac{h}{t_w} = \frac{d + Y_c}{t_w} = \frac{200 + 120}{8} = \frac{320}{8} = 40$$

$$2,24 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 2,24 \sqrt{\frac{210000}{250}} = 64,92$$

Nilai  $\frac{h}{t_w} \leq 4 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$  maka  $\phi_v = 1,0$  dan  $C_v = 1,0$

$$A_w = d \cdot t_w = 200 \cdot 8 = 1600 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 \text{Sehingga } V_n &= 0,6 F_y \cdot A_w \cdot C_v \\
 &= 0,6 \cdot 250 \cdot 1600 \cdot 1,0 \\
 &= 240000 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\phi V_n = 0,9 \cdot 240000 = 216000 \text{ N} > 128,116 \text{ kN}$$





$$8. \quad M_q p v t q n \quad n g p f w v c p \quad * \hat{e} +$$

$$\text{Panjang bentang (L)} = 7 \text{ m} = 7000 \text{ mm}$$

$$N g p f w v c p \quad o c m u k \quad o m m s) = 19,177 \text{ mm} \quad v g t \quad l c f k \quad * \hat{e}$$

$$N g p f w v \quad g_{ijud} = \frac{L}{180} \pm \frac{7000}{180} = 38,888 \text{ mm}$$

$$\hat{e}_{maks} \quad ? \quad 3 \quad ; \quad 3 \quad 9_{ijud} = 38,888 \text{ mm} \quad (OK)$$

#### 4.6.6 Perhitungan Penghubung Geser (*Shear Connector*)

Agar terjadi aksi komposit penuh, maka antara pelat beton dan balok baja perlu diberikan penghubung geser (*shear connector*) yang juga berfungsi sebagai penahan slip antara material beton dan baja. Jenis *shear connector* yang dipakai adalah *headed stud anchor*. Perhitungan akan didetailkan pada subbab 4.6.6.1 dan 4.6.6.2.

##### 4.6.6.1 Penghubung Geser Pada Balok Induk Memanjang (*Long Section*)

SNI 1729:2020 mensyaratkan untuk diameter *headed stud anchor* yang digunakan tidak boleh melebihi 2,5 kali dari tebal pelat dasar (tebal flens) dan panjang *stud anchor* (L) harus melebihi 4 kali dari diameternya.

$$\varnothing_{stud} \leq 2,5 t_f$$

$$\varnothing_{stud} \leq 4 \cdot 70 = 280 \text{ mm}$$

$$\varnothing_{stud} \leq 57$$

Dicoba menggunakan  $\varnothing_{stud} = 22 \text{ mm}$  dengan  $L = 100 \text{ mm}$  dan  $F_u$  sebesar 450 MPa.

$$L_{stud} \times 3 = 66 \text{ mm}$$

$$L_{stud} \times 4 = 88 \text{ mm}$$

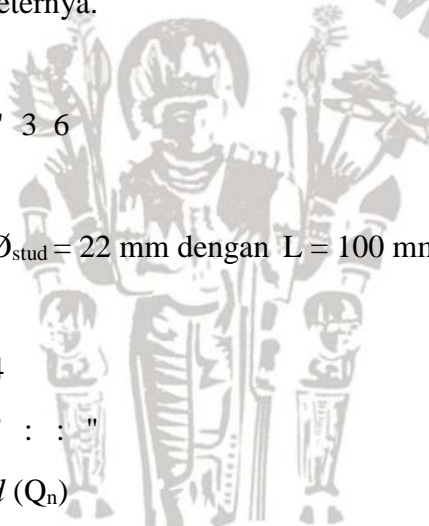
$$L_{stud} \geq 322 \text{ mm} \times 4 = 1288 \text{ mm}$$

Kuat geser nominal *stud* ( $Q_n$ )

$$Q_n = 0,5 A_{sa} \sqrt{f'_c \cdot E_c} \leq R_g \cdot R_p \cdot A_{sa} \cdot F_u$$

$$A_{sa} = \frac{1}{4} \pi \cdot 22^2$$

$$= 380 \text{ mm}^2$$





$$\begin{aligned}
 E_c &= 4700 \sqrt{f'_c} \\
 &= 4700 \sqrt{30} \\
 &= 25742,96 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 0,5 A_{sa} \sqrt{f'_c} \cdot E_c &= 0,5 \cdot 308 \sqrt{30} \cdot 25742,96 \\
 &= 167030,24 \text{ N} \\
 &= 167,03 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$R_g = 1$  untuk pelat beton tanpa dek baja dan *stud* dilas langsung pada profil baja

$R_p = 0,75$  untuk *stud* dilas langsung pada profil baja

$$\begin{aligned}
 R_g \cdot R_p \cdot A_{sa} \cdot F_u &= 1 \cdot 0,75 \cdot 380 \cdot 450 \\
 &= 128294,79 \text{ N} \\
 &= 128,29 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Dipilih nilai terkecil untuk  $Q_n$ , sehingga  $Q_n = 128,29 \text{ kN}$

Karena garis netral plastis jatuh pada pelat badan (kasus 3 + " o c m c " p k n .c k " X ø " ?

$$\begin{aligned}
 F_y \\
 X ø " ? ; 4 : 2 0 " 4 7 2 \\
 &= 2320000 \text{ N} \\
 &= 2320 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Jumlah *stud* yang diperlukan ( $n$ )

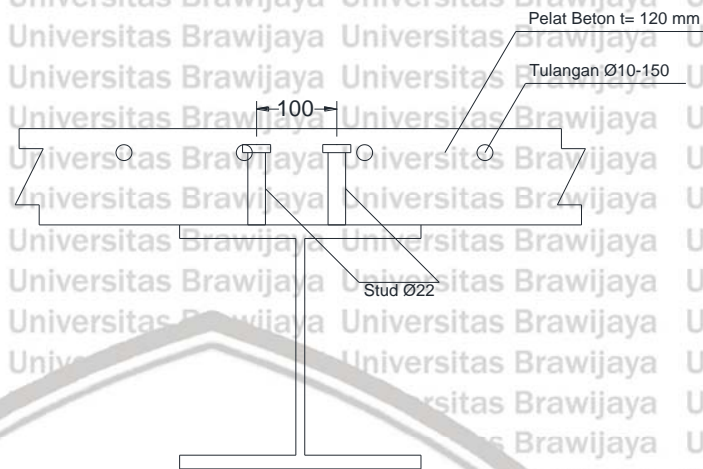
$$n = \frac{V'}{Q_n} = \frac{2320}{128,29} = 18,08 \approx 20 \text{ buah dipasang 2 buah perbaris pada setengah bentangnya}$$

adapun persyaratan jarak *stud* yang diatur dalam SNI 1729:2020 adalah sebagai berikut:

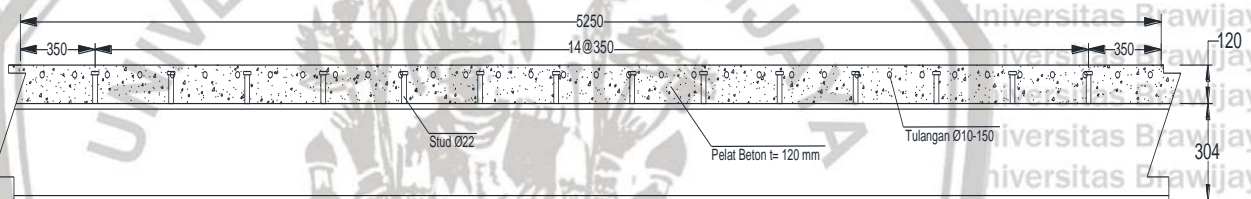
1. Selimut lateral minimum = 25 mm  
F k i w p c m c p " f ø ? " 5 2 " o o
2. Jarak minimum ke tepi bebas = 200 mm  
Digunakan  $S_{tepi} = 350 \text{ mm}$
3. Spasi as ke as minimum *stud* arah manapun (transversal maupun longitudinal)  
sebesar  $4 \varnothing_{stud} = 88 \text{ mm}$   
Digunakan  $S_{trans} = 100 \text{ mm}$  dan  $S_{long} = 350 \text{ mm}$



4. Spasi as ke as maksimum *stud* tidak boleh melebihi  $6 t_p = 6 \cdot 120 = 720$  mm atau 900 mm



Gambar 4. 21 Pemasangan Shear Stud Balok Induk Memanjang Arah Transversal  
Sumber: Analisis Penulis



Gambar 4. 22 Pemasangan Shear Stud Balok Induk Memanjang Arah Longitudinal  
Sumber: Analisis Penulis

#### 4.6.6.2 Penghubung Geser Pada Balok Induk Melintang (Cross Section)

SNI 1729:2020 mensyaratkan untuk diameter *headed stud anchor* yang digunakan tidak boleh melebihi 2,5 kali dari tebal pelat dasar (tebal flens) dan panjang *stud anchor* (L) harus melebihi 4 kali dari diameternya.

$$\varnothing_{\text{stud}} \leq 2,5 t_p$$

$$\varnothing_{\text{stud}} \leq 2,5 \cdot 120 = 300 \text{ mm}$$

$$\varnothing_{\text{stud}} \leq 220 \text{ mm}$$

Dicoba menggunakan  $\varnothing_{\text{stud}} = 22$  mm dengan  $L = 100$  mm dan  $F_u$  sebesar 450 MPa.

$$L_{\text{stud}} \geq 4 \varnothing_{\text{stud}}$$

$$L_{\text{stud}} \geq 4 \cdot 22 = 88 \text{ mm}$$

$$L_{\text{stud}} \geq 88 \text{ mm}$$

Kuat geser nominal *stud* ( $Q_n$ )



UNIVERSITAS BRAWIJAYA





$$Q_n = 0,5 A_{sa} \sqrt{f'c \cdot Ec} \leq R_g \cdot R_p \cdot A_{sa} \cdot Fu$$

$$A_{sa} = \frac{1}{4} \pi \cdot 22^2$$

$$= 380 \text{ mm}^2$$

$$Ec = 4700 \sqrt{f'c}$$

$$= 4700 \sqrt{30}$$

$$= 25742,96 \text{ MPa}$$

$$0,5 A_{sa} \sqrt{f'c \cdot Ec} = 0,5 \cdot 308 \sqrt{30 \cdot 25742,96}$$

$$= 167030,24 \text{ N}$$

$$= 167,03 \text{ kN}$$

$R_g = 1$  untuk pelat beton tanpa dek baja dan *stud* dilas langsung pada profil baja

$R_p = 0,75$  untuk *stud* dilas langsung pada profil baja

$$R_g \cdot R_p \cdot A_{sa} \cdot Fu = 1 \cdot 0,75 \cdot 380 \cdot 450$$

$$= 128294,79 \text{ N}$$

$$= 128,29 \text{ kN}$$

Dipilih nilai terkecil untuk  $Q_n$ , sehingga  $Q_n = 128,29 \text{ kN}$

Karena garis netral plastis jatuh pada pelat badan (kasus 3 + " o c m c " p k n . c k " X ø " ?

$$F_y$$

$$X \phi " ? " ; 4 3 : " 0 " 4 7 2$$

$$= 2304500 \text{ N}$$

$$= 2304,5 \text{ kN}$$

Jumlah *stud* yang diperlukan (n)

$$n = \frac{V'}{Q_n} = \frac{2304,5}{128,29} = 17,96 \approx 18 \text{ buah dipasang 2 buah perbaris pada setengah bentangnya}$$

adapun persyaratan jarak *stud* yang diatur dalam SNI 1729:2020 adalah sebagai berikut:

1. Selimut lateral minimum = 25 mm  
 $F k i w p c m c p " f \phi ? " 5 2 " o o$
2. Jarak minimum ke tepi bebas = 200 mm  
 Digunakan  $S_{tepi} = 350 \text{ mm}$

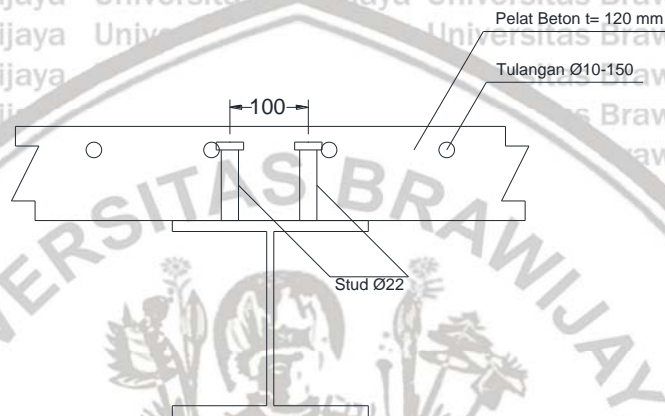




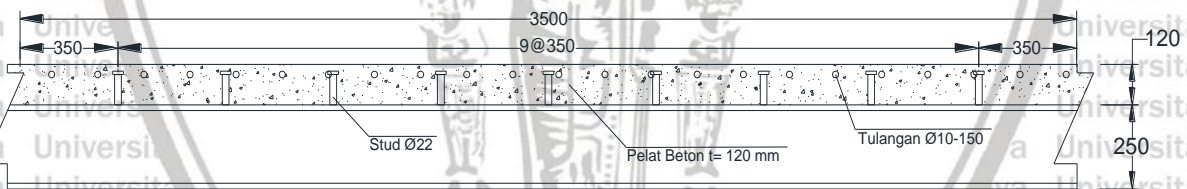
3. Spasi as ke as minimum *stud* arah manapun (transversal maupun longitudinal) sebesar  $4 \varnothing_{stud} = 88 \text{ mm}$

Digunakan  $S_{trans} = 100 \text{ mm}$  dan  $S_{long} = 350 \text{ mm}$

4. Spasi as ke as maksimum *stud* tidak boleh melebihi  $6 t_p = 6 \cdot 120 = 720 \text{ mm}$  atau  $900 \text{ mm}$ .



Gambar 4. 23 Pemasangan Shear Stud Balok Induk Melintang Arah Transversal  
Sumber: Analisis Penulis



Gambar 4. 24 Pemasangan Shear Stud Balok Induk Melintang Arah Longitudinal  
Sumber: Analisis Penulis



#### 4.6.7 Pengecekan Kapasitas Nominal Setelah Komposit

Struktur komposit merupakan gabungan antara dua material atau lebih (dalam hal ini baja dan beton), maka akan dihitung kapasitas nominal gabungan dari pelat beton dan profil baja.

##### 1. Lebar efektif ( $b_e$ )

Karena balok merupakan balok interior, maka nilai  $b_e$  dipilih terkecil dari:

$$c. \quad b_e = \frac{L}{4}$$

$$= \frac{3,5}{4}$$

$$= 0,875 \text{ m}$$

##### d. $b_e = b_0$ (jarak antar gelagar)

$$= 8 \text{ m}$$

Maka dipilih nilai  $b_e$  terkecil sebesar 0,875 m

##### 2. Pengecekan penampang kompak pada pelat badan profil

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{d+Y_c}{t_w} = \frac{100+120}{6} = \frac{220}{6} = 36,67$$

$$r = \sqrt{\frac{E_s}{F_y}} = 39,7 \sqrt{\frac{210000}{250}} = 108,98$$

" > " r " o c m c " r dap kompak atau nohlangsing c v " d c

##### 3. Perencanaan jumlah tulangan pada pelat beton

f  $\phi$  " ? " 5 2 " o o

$$t = 120 \text{ mm}$$

$$A_{smin} = \frac{1,4}{F_y} b \cdot d$$

$$= \frac{1,4}{250} 1000 \cdot (120 + 630)$$

$$= 504 \text{ mm}^2$$

Dicoba menggunakan tulangan  $\phi 10$

$$\text{Jarak tulangan pelat beton, } s = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot b}{A_{smin}}$$

$$= \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 10^2 \cdot 1000}{504}$$



$$= 155,83 \text{ mm} \cong 150 \text{ mm}$$

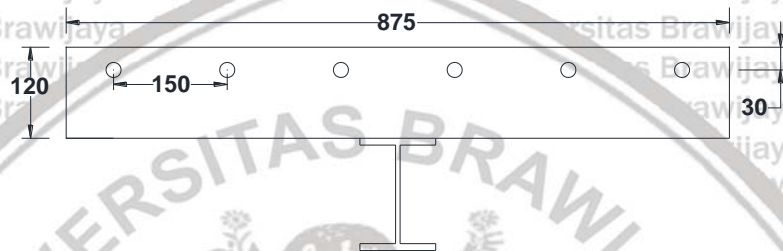
Dipakai tulangan Ø10 ó150 sehingga,

$$A_{sC} = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot b}{s} = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 10^2 \cdot 1000}{150} = 523,59 \text{ mm}^2 > A_{s\text{min}}, \text{ pelat beton menggunakan}$$

tulangan polos

Jumlah tulangan sepanjang  $b_e$  (n)

$$n = \frac{b_e}{s} = \frac{875}{150} = 5,83 \cong 6 \text{ buah}$$



Gambar 4. 25 Lebar Efektif Pada Balok Anak Komposit

Sumber: Analisis Penulis

4. Mencari sumbu netral plastis pada balok (PNA)

Karena momen negatif (tumpuan), maka serat bawah (profil baja) tertekan dan serat

atas (tulangan sepanjang lebar efektif pada pelat beton) tertarik. Sehingga didapat:

- $T_{sr} = n \cdot A_{sr} \cdot F_y$
- $= 6 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 10^2 \cdot 250$
- $= 117809,72 \text{ N}$
- $= 117,81 \text{ kN}$

- $C_s = A_s \cdot F_y$
- $= 2190 \cdot 250$
- $= 547500 \text{ N}$
- $= 547,5 \text{ kN}$

Nilai  $C_s > T_{sr}$  maka sumbu netral plastis (PNA) jatuh di pelat baja.

5. Mencari sumbu garis netral (y)

$$y = \frac{C_s - T_{sr}}{bf \cdot f_y}$$

$$= \frac{547500 - 117809,72}{100 \cdot 250}$$



$$= 17,18 \text{ mm} > t_f = 9 \text{ mm}$$

Maka garis netral jatuh di pelat badan. Dicari tarik pada pelat sayap.

$$T_{sf} = b_f \cdot t_f \cdot 2F_y$$

$$= 100 \cdot 8 \cdot 2 \cdot 250$$

$$= 400000 \text{ N}$$

$$= 400 \text{ kN}$$

$$y = \frac{C_s - T_{sr} - T_{sf}}{t_w \cdot f_y}$$

$$= \frac{547500 - 117809,72 - 400000}{6 \cdot 250}$$

$$= 19,79 \text{ mm}$$

$$\cong 20 \text{ mm}$$

Mencari tarik pada pelat badan ( $T_{sw}$ )

$$T_{sw} = t_w \cdot y \cdot 2F_y$$

$$= 59380,56 \text{ N}$$

$$= 59,38 \text{ kN}$$

Mencari jarak ke titik berat pelat sayap ( $y_f$ )

$$Y_f = \frac{1}{2} (d - \delta t_f)$$

$$= \frac{1}{2} (100 - 8)$$

$$= 46 \text{ mm}$$

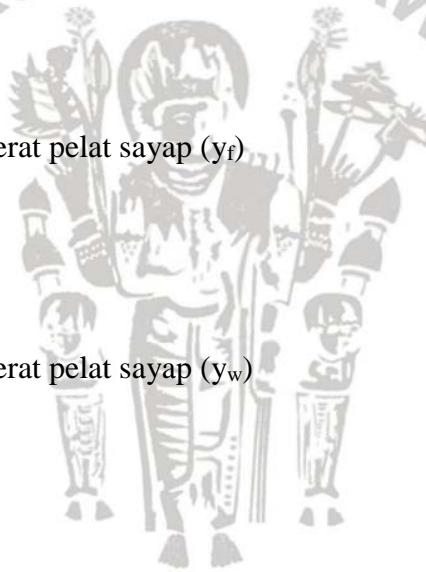
Mencari jarak ke titik berat pelat sayap ( $y_w$ )

$$Y_w = \frac{1}{2} (d + y) \delta t_f$$

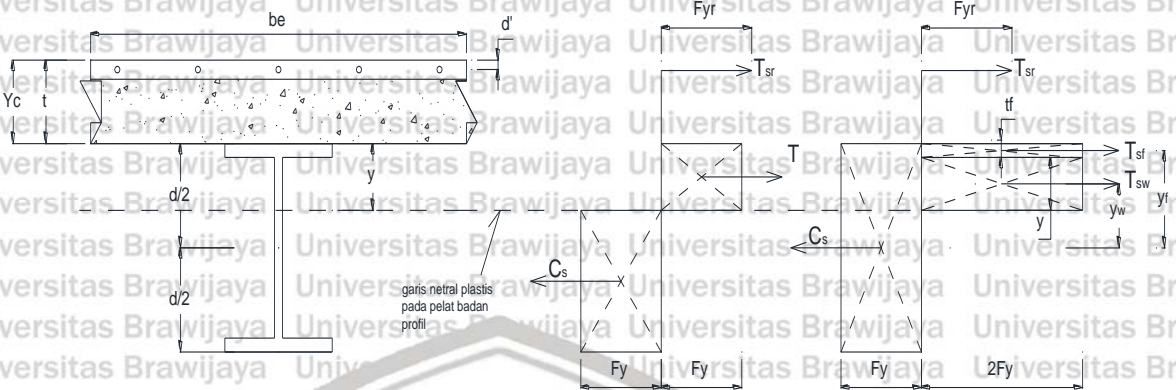
$$= \frac{1}{2} (100 + 20) \delta 8$$

$$= 52$$

## 6. Menghitung kapasitas momen lentur balok komposit ( $M_n$ )







Gambar 4. 26 Distribusi Tegangan Balok Komposit Kasus 3

Sumber: Analisis Penulis

$$\begin{aligned}
 Mn &= T_{sr} \left( \frac{d}{2} + Y_c - d' \right) + T_{sf} \cdot y_f + T_{sw} \cdot y_w \\
 &= 117809,72 \left( \frac{100}{2} + 120 - 30 \right) + 400000 \cdot 46 + 59380,56 \cdot 52 \\
 &= 37981149,920 \text{ Nmm} \\
 &= 37,98 \text{ kNm} \\
 \phi Mn &= 0,9 \cdot 37,98 \\
 &= 34,182 \text{ kNm} > Mu = 25,0309 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

7. Menghitung kapasitas geser nominal balok komposit (Vn)

Pengecekan persyaratan  $\frac{h}{t_w} \leq 4 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$  pada penampang pelat badan

$$\frac{h}{t_w} = \frac{d + Y_c}{t_w} = \frac{100 + 120}{6} = \frac{220}{6} = 36,67$$

$$2,24 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 2,24 \sqrt{\frac{210000}{250}} = 64,92$$

Nilai  $\frac{h}{t_w} \leq 4 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$  maka  $\phi_v = 1,0$  dan  $C_v = 1,0$

$$A_w = d \cdot t_w = 100 \cdot 6 = 600 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 \text{Sehingga } V_n &= 0,6 F_y \cdot A_w \cdot C_v \\
 &= 0,6 \cdot 250 \cdot 600 \cdot 1,0 \\
 &= 90000 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\phi V_n = 0,9 \cdot 90000 = 81000 \text{ N} > 17,815 \text{ kN}$$





8.  $M_{q p v t q n} = n g p f w v c p \cdot \hat{e} +$

Panjang bentang (L) = 3,5 m = 3500 mm

$N_{g p f w v c p} = o c m u k_{maks} = 13,7 \text{ cm} = 137 \text{ mm}$  v g t l c f k  $\cdot \hat{e}$

$N_{g p f w v c p} = \frac{L}{180} \pm \frac{3500}{180} = 19,444 \text{ mm}$

$\hat{e}_{maks} = 35 \cdot 9 \cdot 3 = 9,444 \text{ mm}$  (OK)

#### 4.6.8 Perhitungan Penghubung Geser (Shear Connector)

SNI 1729:2020 mensyaratkan untuk diameter *headed stud anchor* yang digunakan tidak boleh melebihi 2,5 kali dari tebal pelat dasar (tebal flens) dan panjang *stud anchor* (L) harus melebihi 4 kali dari diameternya.

$\varnothing_{stud} \leq 4 \cdot 7 \text{ mm}$

$\varnothing_{stud} \leq 4 \cdot 7 = 28 \text{ mm}$

$\varnothing_{stud} \leq 4 \cdot 2$

Dicoba menggunakan  $\varnothing_{stud} = 19 \text{ mm}$  dengan  $L = 90 \text{ mm}$  dan  $F_u$  sebesar 450 MPa.

$L_{stud} \times 6 = 114 \text{ mm}$

$L_{stud} \times 6 = 114 \text{ mm}$

$L_{stud} \geq 2 \times 98 = 196 \text{ mm}$

Kuat geser nominal *stud* ( $Q_n$ )

$$Q_n = 0,5 A_{sa} \sqrt{f'_c \cdot E_c} \leq R_g \cdot R_p \cdot A_{sa} \cdot F_u$$

$$A_{sa} = \frac{1}{4} \pi \cdot 19^2$$

$$= 283 \text{ mm}^2$$

$$E_c = 4700 \sqrt{f'_c}$$

$$= 4700 \sqrt{30}$$

$$= 25742,96 \text{ MPa}$$

$$0,5 A_{sa} \sqrt{f'_c \cdot E_c} = 0,5 \cdot 283 \sqrt{30 \cdot 25742,96}$$

$$= 124582,48 \text{ N}$$

$$= 124,582 \text{ kN}$$



$R_g = 1$  untuk pelat beton tanpa dek baja dan *stud* dilas langsung pada profil baja

$R_p = 0,75$  untuk *stud* dilas langsung pada profil baja

$$R_g \cdot R_p \cdot A_{sa} \cdot F_u = 1 \cdot 0,75 \cdot 283 \cdot 450$$

$$= 95690,95 \text{ N}$$

$$= 95,69 \text{ kN}$$

Dipilih nilai terkecil untuk  $Q_n$ , sehingga  $Q_n = 95,69 \text{ kN}$

Karena garis netral plastis jatuh pada pelat badan (kasus 3 + " o c m c " p k n . c k " X ø " ?

$F_y$

$$X ø " ? " 4 8 : 6 " 0 " 4 7 2$$

$$= 671000 \text{ N}$$

$$= 671 \text{ kN}$$

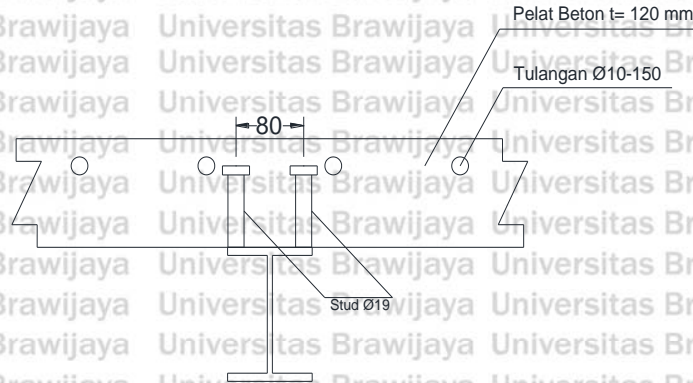
Jumlah *stud* yang diperlukan ( $n$ )

$$n = \frac{v'}{Q_n} = \frac{671}{95,69} = 7,01 \cong 8 \text{ buah dipasang 2 buah perbaris pada setengah bentangnya}$$

adapun persyaratan jarak *stud* yang diatur dalam SNI 1729:2020 adalah sebagai berikut:

1. Selimut lateral minimum = 25 mm  
F k i w p c m c p " f ø ? " 5 2 " o o
2. Jarak minimum ke tepi bebas = 200 mm  
Digunakan  $S_{tepi} = 350 \text{ mm}$
3. Spasi as ke as minimum *stud* arah manapun (transversal maupun longitudinal)  
sebesar  $4 \varnothing_{stud} = 76 \text{ mm}$   
Digunakan  $S_{trans} = 80 \text{ mm}$  dan  $S_{long} = 350 \text{ mm}$
4. Spasi as ke as maksimum *stud* tidak boleh melebihi  $6 t_p = 6 \cdot 120 = 720 \text{ mm}$  atau 900 mm.







#### 4.7 Perencanaan Balok Anak

Output berupa respon struktur dan gaya dalam dari perangkat lunak SAP2000 dengan memasukkan profil hasil *preliminary design* kemudian dilakukan analisis kekuatan nominalnya menggunakan SNI 1729:2020.

##### 4.7.1 Rekapitulasi Output Gaya Dalam

Rekapitulasi output yang didapat dari SAP2000 akibat kombinasi beban ultimit pada balok induk memanjang dan melintang adalah sebagai berikut:

Tabel 4.11  
Rekap Gaya Dalam Pada Balok Anak

Momen (Mu)	Geser (Vu)
25,0309 kNm	17,515 kN

Sumber : Hasil Analisis

Dengan bentang balok anak terbesar sebesar 3,5 m.

##### 4.7.2 Penampang Profil Balok Anak



Gambar 4. 27 Penampang Profil Balok Anak

Sumber: Hasil Analisis

$$W = 17,2 \text{ kg/m}$$

$$d = 100 \text{ mm}$$



$$bf = 100 \text{ mm}$$

$$tw = 6 \text{ mm}$$

$$tf = 8 \text{ mm}$$

$$r_0 = 10 \text{ mm}$$

$$h = d - 2(tf + r_0) = 64 \text{ mm}$$

$$A = 21,9 \text{ cm}^2$$

$$I_x = 383 \text{ cm}^4$$

$$I_y = 134 \text{ cm}^4$$

$$r_x = 4,18 \text{ mm}$$

$$r_y = 2,47 \text{ mm}$$

$$S_x = 76,5 \text{ cm}^3$$

$$S_y = 28,7 \text{ cm}^3$$

$$Z_x = b \cdot tf \cdot (d - tf) + \frac{1}{4} tw \cdot h^2 = 79,744 \text{ cm}^3$$

$$Z_y = 1,5 \cdot S_y = 43,05 \text{ cm}^3$$

#### 4.7.3 Kontrol Profil Balok Anak

Berdasarkan tabel B4.1a SNI 1729:2020, komponen struktur yang mengalami lentur harus dicek untuk rasio lebar terhadap tebal penampang dibandingkan dengan batas rasio lebar terhadap tebal yang telah ditentukan untuk mengetahui apakah penampang tersebut kompak atau nonkompak (langsing).

- Pelat Sayap

$$\lambda = \frac{bf}{2tf} = \frac{100}{16} = 6,25$$

$$\lambda_p = 0,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 0,38 \sqrt{\frac{210000}{250}} = 11,01$$

Nilai  $\lambda < \lambda_p$  maka pelat sayap kompak

- Pelat Badan

$$\lambda = \frac{h}{tw} = \frac{64}{6} = 10,6$$

$$\lambda_p = 3,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 3,76 \sqrt{\frac{210000}{250}} = 108,98$$



Nilai  $\lambda < \lambda_p$  maka pelat badan kompak

#### 4.7.4 Pengecekan Kapasitas Nominal Pra – Komposit

Kapasitas nominal untuk komponen struktur dengan profil WF yang mengalami lentur menurut tabel F1.1 SNI 1729:2020 didapat dari nilai terkecil pada kondisi batas leleh ( $Y$ , *yield*) dan kondisi Tekuk Torsi-Lateral (LTB, *Lateral Torsional Buckling*).

- Berdasarkan batas leleh ( $Y$ )

Karena penampang kompak, maka:

$$\begin{aligned} M_n &= M_p = F_y \cdot Z_x \\ &= 250 \cdot 79744 \cdot 10^3 \\ &= 19936000 \text{ Nmm} \\ &= 19,936 \text{ kNm} \\ \phi M_n &= 0,9 \cdot 19,936 \\ &= 17,946 \text{ kNm} \end{aligned}$$

- Berdasarkan Tekuk-Torsi Lateral (LTB)

$$L_b = 3,5 \text{ m}$$

$$L_p = 1,76 \cdot r_y \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1,76 \cdot 23,7 \sqrt{\frac{210000}{250}}$$

$$= 1,25 \text{ m}$$

$$h_0 = d \cdot \phi_t$$

$$= 100 \cdot 0,8 = 92 \text{ mm}$$

$$r_{ts}^2 = \frac{I_y h_0}{2S_x}$$

$$= \frac{134 \cdot 10^4 \cdot 92}{2 \cdot 76,5 \cdot 10^3}$$

$$= 805,75$$

$$r_{ts} = 28,38$$

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

$$= 2 \left( \frac{1}{3} 100 \cdot 8^3 \right) + \left( \frac{1}{3} 92 \cdot 6^3 \right)$$

$$= 40757 \text{ mm}^4$$

Karena profil simetris ganda, maka nilai  $c = 1$



$$\begin{aligned}
 L_r &= 1,95 \cdot r_{ts} \cdot \frac{E}{0,7 \cdot f_y} \cdot \sqrt{\frac{J \cdot c}{S_x \cdot h_0} + \sqrt{\left(\frac{J \cdot c}{S_x \cdot h_0}\right)^2 + 6,76 \cdot \left(\frac{0,7 \cdot f_y}{E}\right)^2}} \\
 &= 1,95 \cdot 28,38 \cdot \frac{210000}{0,7 \cdot 250} \cdot \sqrt{\frac{40757 \cdot 1}{76500 \cdot 92} + \sqrt{\left(\frac{40757 \cdot 1}{76500 \cdot 92}\right)^2 + 6,76 \cdot \left(\frac{0,7 \cdot 250}{210000}\right)^2}} \\
 &= 66422,68 \cdot 0,109 \\
 &= 7240,07 \text{ mm} \\
 &\cong 7,2 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Nilai  $L_p < L_b$   $\phi_L$  maka:

$$M_n = C_b \left[ M_p - (M_p - 0,7 \cdot f_y \cdot S_x) \cdot \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p}\right) \right] \geq M_p$$

$$M_{MAKS} = 25,0309 \text{ kNm}$$

$$M_A \left(\frac{1}{4}\right) = 6,258 \text{ kNm}$$

$$M_B \left(\frac{1}{2}\right) = 25,031 \text{ kNm}$$

$$M_C \left(\frac{3}{4}\right) = 18,773 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned}
 C_b &= \frac{12,5 M_{maks}}{2,5 M_{maks} + 3 M_A + 4 M_B + 3 M_C} \\
 &= \frac{12,5 \cdot 25,0309}{2,5 \cdot 25,0309 + 3 \cdot 6,258 + 4 \cdot 25,031 + 3 \cdot 18,773} \\
 &= 1,31
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 0,7 \cdot F_y \cdot S_x &= 0,7 \cdot 250 \cdot 76500 \\
 &= 13387500 \text{ Nmm} \\
 &= 13,38 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= C_b \left[ M_p - (M_p - 0,7 \cdot f_y \cdot S_x) \cdot \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p}\right) \right] \\
 &= 1,31 \left[ 19,936 - (19,936 - 13,38) \cdot \left(\frac{3,5 - 1,25}{7,2 - 1,25}\right) \right] \geq M_p = 23,019 \text{ kNm} \\
 &= 45,118 \text{ kNm} \geq M_p = 35,649 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Maka dipakai nilai  $M_n$  terkecil berdasarkan batas leleh sebesar  $\phi M_n = 32,084 \text{ kNm}$

$$\phi \phi_p = 0,9 \cdot 32,084 = 28,876 \text{ kNm}$$





#### 4.7.5 Pengecekan Kapasitas Nominal Setelah Komposit

Struktur komposit merupakan gabungan antara dua material atau lebih (dalam hal ini baja dan beton), maka akan dihitung kapasitas nominal gabungan dari pelat beton dan profil baja.

1. Lebar efektif ( $b_e$ )

Karena balok merupakan balok interior, maka nilai  $b_e$  dipilih terkecil dari:

$$e. \quad b_e = \frac{L}{4}$$

$$= \frac{3,5}{4}$$

$$= 0,875 \text{ m}$$

- f.  $b_e = b_0$  (jarak antar gelagar)

$$= 10,5 \text{ m}$$

Maka dipilih nilai  $b_e$  terkecil sebesar 0,875 m

2. Pengecekan penampang kompak pada pelat badan profil

$$\frac{h}{t_w} = \frac{d+Y_c}{t_w} = \frac{148+120}{6} = \frac{268}{6} = 44,67$$

$$r = \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 397 \sqrt{\frac{210000}{250}} = 108,98$$

$$44,67 < 108,98 \quad \text{r o c m c " r g p c o r c p i " r g n g c v " d c f c p e " m q o r v c m "}$$

3. Perencanaan jumlah tulangan pada pelat beton

$$f \phi = 52 \text{ o o}$$

$$t = 120 \text{ mm}$$

$$A_{smin} = \frac{1,4}{F_y} b \cdot d$$

$$= \frac{1,4}{250} 1000 \cdot (120 + 630)$$

$$= 504 \text{ mm}^2$$

Dicoba menggunakan tulangan  $\phi 10$

$$\text{Jarak tulangan pelat beton, } s = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot b}{A_{smin}}$$

$$= \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 10^2 \cdot 1000}{504}$$



$$= 155,83 \text{ mm} \approx 150 \text{ mm}$$

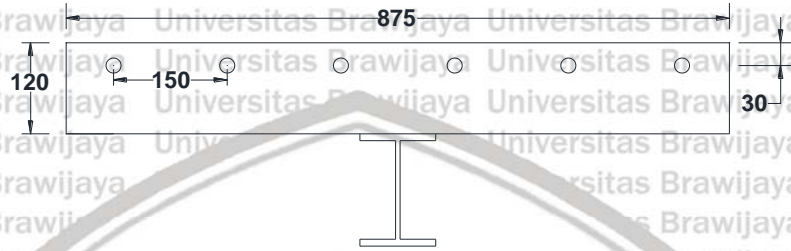
Dipakai tulangan Ø10 6150 sehingga,

$$A_{sc} = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot b = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 10^2 \cdot 1000 = 523,59 \text{ mm}^2 > A_{smin}, \text{ pelat beton menggunakan}$$

tulangan polos

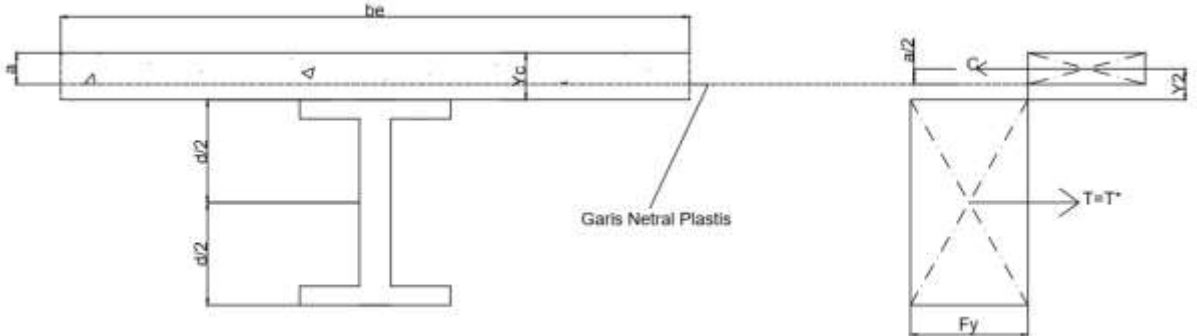
Jumlah tulangan sepanjang  $b_e$  (n)

$$n = \frac{b_e}{s} = \frac{875}{150} = 5,83 \approx 6 \text{ buah}$$



Gambar 4. 28 Lebar Efektif Pada Balok Anak Komposit  
Sumber: Hasil Analisis

4. Mencari sumbu netral plastis balok (PNA)



Gambar 4. 29 Distribusi Tegangan Balok Komposit Case 1  
Sumber: Hasil Analisis

Diasumsikan sumbu netral plastis pada balok komposit jatuh pada pelat beton (case 1), dengan  $a < t_p$  ( $Y_c$ ) maka:

- Besar gaya tekan C pada pelat beton adalah:

$$C = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b_e$$

- Sedangkan gaya tarik T pada profil baja adalah:

$$T = A_s \cdot f_y$$

Kemudian untuk menghitung kapasitas momen nominal pada struktur komposit

Mengadopsi cara perhitungan kesetimbangan gaya  $C = T$  seperti pada perhitungan



Struktur beton. Sehingga, tinggi blok tegangan beton (a) adalah:

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b_e}$$

$$= \frac{2684 \cdot 250}{0,85 \cdot 30 \cdot 875}$$

= 30,07 mm → asumsi benar bahwa nilai a < tp (Yc)

5. Menghitung kapasitas momen lentur balok komposit (Mn)

$$M_n = T \left( \frac{d}{2} + Y_c \right)$$

$$= A_s \cdot f_y \left( \frac{d}{2} + Y_c - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 2684 \cdot 250 \left( \frac{148}{2} + 120 - \frac{30,07}{2} \right)$$

$$= 120084565,8 \text{ Nmm}$$

$$= 120,085 \text{ kNm}$$

$$\phi M_n = 0,9 \cdot 120,085$$

$$= 108,076 \text{ kNm} > M_{u \text{ tumpuan}} = 37,859 \text{ kNm}$$

6. Menghitung kapasitas geser nominal balok komposit (Vn)

Pengecekan persyaratan  $\frac{h}{t_w} \leq 4 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$  pada penampang pelat badan

$$\frac{h}{t_w} = \frac{d + Y_c}{t_w} = \frac{148 + 120}{6} = \frac{268}{6} = 44,67$$

$$2,24 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 2,24 \sqrt{\frac{210000}{250}} = 64,92$$

Nilai  $\frac{h}{t_w} \leq 4 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$  maka  $\phi_v = 1,0$  dan  $C_v = 1,0$

$$A_w = d \cdot t_w = 148 \cdot 6 = 888 \text{ mm}^2$$

$$\text{Sehingga } V_n = 0,6 F_y \cdot A_w \cdot C_v$$

$$= 0,6 \cdot 250 \cdot 888 \cdot 1,0$$

$$= 133200 \text{ N}$$

$$\phi V_n = 0,75 \cdot 133200 = 99900 \text{ N} = 99,9 \text{ kN}$$

7. Menghitung kapasitas momen geser (Mn)

Panjang bentang (L) = 3,5 m = 3500 mm

$$M_n = \phi \cdot M_p = 0,9 \cdot 16117 \text{ mm} = 14505,3 \text{ mm}$$





$$N_{gpfwv} = \frac{L}{180} \leq \frac{3500}{180} = 19,444 \text{ mm}$$

$$e_{maks} = 38,33 \text{ mm} = 19,444 \text{ mm} (\text{OK})$$

#### 4.7.6 Perhitungan Penghubung Geser (*Shear Connector*)

SNI 1729:2020 mensyaratkan untuk diameter *headed stud anchor* yang digunakan tidak boleh melebihi 2,5 kali dari tebal pelat dasar (tebal flens) dan panjang *stud anchor* (L) harus melebihi 4 kali dari diameternya.

$$\varnothing_{stud} \leq 2,5 t_f$$

$$\varnothing_{stud} \leq 2,5 \cdot 9$$

$$\varnothing_{stud} \leq 22,5$$

Dicoba menggunakan  $\varnothing_{stud} = 19 \text{ mm}$  dengan  $L = 90 \text{ mm}$  dan  $F_u$  sebesar 450 MPa.

$$L_{stud} \times 4 \varnothing_{stud}$$

$$L_{stud} \times 4 \cdot 19$$

$$L_{stud} = 90 \times 76$$

Kuat geser nominal *stud* ( $Q_n$ )

$$Q_n = 0,5 A_{sa} \sqrt{f'_c \cdot E_c} \leq R_g \cdot R_p \cdot A_{sa} \cdot F_u$$

$$A_{sa} = \frac{1}{4} \pi \cdot 19^2$$

$$= 283 \text{ mm}^2$$

$$E_c = 4700 \sqrt{f'_c}$$

$$= 4700 \sqrt{30}$$

$$= 25742,96 \text{ MPa}$$

$$0,5 A_{sa} \sqrt{f'_c \cdot E_c} = 0,5 \cdot 283 \sqrt{30 \cdot 25742,96}$$

$$= 124582,48 \text{ N}$$

$$= 167,03 \text{ kN}$$

$R_g = 1$  untuk pelat beton tanpa dek baja dan *stud* dilas langsung pada profil baja

$R_p = 0,75$  untuk *stud* dilas langsung pada profil baja

$$R_g \cdot R_p \cdot A_{sa} \cdot F_u = 1 \cdot 0,75 \cdot 283 \cdot 450$$

$$= 95690,95 \text{ N}$$

$$= 95,69 \text{ kN}$$





Dipilih nilai terkecil untuk  $Q_n$ , sehingga  $Q_n = 95,69 \text{ kN}$

Karena garis netral plastis jatuh pada pelat beton (*case 1 + " o c m c " p k n . f k " X ø " ? " X ø " ? " 4 8 : 6 " 0 " 4 7 2*)

$$= 671000 \text{ N}$$

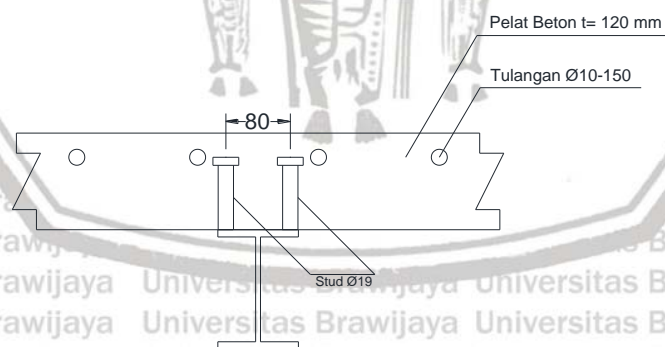
$$= 671 \text{ kN}$$

Jumlah *stud* yang diperlukan ( $n$ )

$$n = \frac{V'}{Q_n} = \frac{671}{95,69} = 7,01 \cong 8 \text{ buah dipasang 2 buah perbaris pada setengah bentangnya}$$

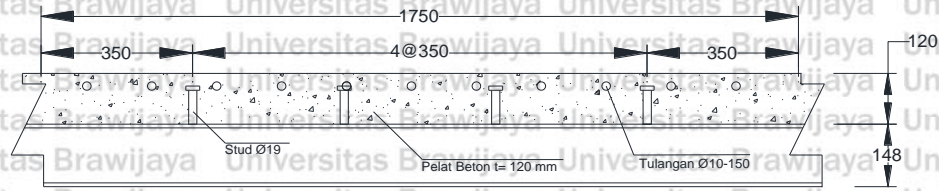
adapun persyaratan jarak *stud* yang diatur dalam SNI 1729:2020 adalah sebagai berikut:

5. Selimut lateral minimum = 25 mm  
F k i w p c m c p " f ø ? " 5 2 " o o
6. Jarak minimum ke tepi bebas = 200 mm  
Digunakan  $S_{tepi} = 350 \text{ mm}$
7. Spasi as ke as minimum *stud* arah manapun (transversal maupun longitudinal) sebesar  $4 \phi_{stud} = 76 \text{ mm}$   
Digunakan  $S_{trans}=80 \text{ mm}$  dan  $S_{long}= 350 \text{ mm}$
8. Spasi as ke as maksimum *stud* tidak boleh melebihi  $6 t_p = 6 \cdot 120 = 720 \text{ mm}$  atau 900 mm.



Gambar 4. 30 Pemasangan Shear Stud Balok Anak Arah Transversal  
Sumber: Hasil Analisis





Gambar 4. 31 Pemasangan Shear Stud Balok Anak Arah Longitudinal  
 Sumber: Hasil Analisis

**4.8 Perencanaan Kolom**

Output berupa respon struktur dan gaya dalam dari perangkat lunak SAP2000 dengan memasukkan profil hasil *preliminary design* kemudian dilakukan analisis kekuatan nominalnya menggunakan SNI 1729:2020. Pada perencanaan kolom, nilai yang dijadikan perbandingan dari analisis kekuatan nominal penampang adalah momen dan gaya aksial yang dipikul oleh kolom.

Perencanaan kolom menggunakan profil WF 350x350x14x22 dan WF 300x300x15x10

**4.8.1 Rekapitulasi Output Gaya Dalam**

Rekapitulasi output yang didapat dari SAP2000 akibat kombinasi beban ultimit pada kolom adalah sebagai berikut:

Tabel 4. 11  
 Rekap Gaya Dalam Pada Kolom 350x350

Momen (Mu)	Gaya Aksial (Pu)
150,345 kNm	2629,542 kN

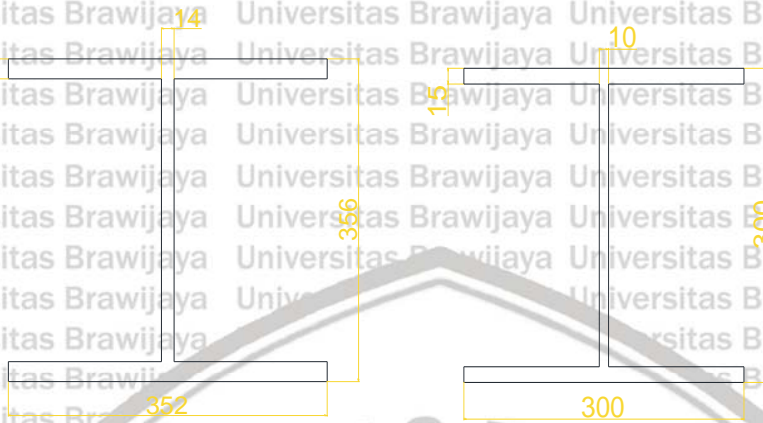
Tabel 4. 12  
 Rekap Gaya Dalam Pada Kolom 300x300

Momen (Mu)	Gaya Aksial (Pu)
123,009 kNm	1415,907 kN





### 4.8.2 Penampang Profil Kolom



Gambar 4. 32 Penampang Profil Kolom  
Sumber: Hasil Analisis

$w =$	159 kg/m	$w =$	94 kg/m
$d =$	356 mm	$d =$	300 mm
$bf =$	352 mm	$bf =$	300 mm
$tw =$	14 mm	$tw =$	10 mm
$tf =$	22 mm	$tf =$	15 mm
$r0 =$	20 mm	$r0 =$	18 mm
$h =$	272 mm	$h =$	234 mm
$A =$	202 cm <sup>2</sup>	$A =$	119,8 cm <sup>2</sup>
$Ix =$	47600 cm <sup>4</sup>	$Ix =$	20400 cm <sup>4</sup>
$Iy =$	16000 cm <sup>4</sup>	$Iy =$	6750 cm <sup>4</sup>
$rx =$	15,3 cm	$rx =$	13,1 cm
$ry =$	8,9 cm	$ry =$	7,51 cm
$Sx =$	2670 cm <sup>3</sup>	$Sx =$	1360 cm <sup>3</sup>
$Sy =$	909 cm <sup>3</sup>	$Sy =$	450 cm <sup>3</sup>
$Zx =$	2845,44 cm <sup>3</sup>	$Zx =$	1419,39 cm <sup>3</sup>
$Zy =$	1363,5 cm <sup>3</sup>	$Zy =$	675 cm <sup>3</sup>

### 4.8.3 Kontrol Kolom Akibat Beban Aksial

Berdasarkan tabel B4.1a SNI-1729:2020, komponen struktur yang mengalami tekan akibat beban aksial harus dicek untuk rasio lebar terhadap tebal penampang dibandingkan



dengan batas rasio lebar terhadap tebal yang telah ditentukan untuk mengetahui apakah penampang kolom langsing atau nonlangsing.

• Klasifikasi Penampang (Langsing atau Nonlangsing)

1. Pelat Sayap

Untuk Profil 350 X 350

$$\lambda = \frac{bf}{2tf} = \frac{352}{2 \cdot 22} = 8$$

$$\lambda_r = 0,56 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 0,56 \sqrt{\frac{210000}{250}} = 16,23$$

Untuk Profil 300 X 300

Nilai  $\lambda < \lambda_r$  maka pelat sayap nonlangsing

$$\lambda = \frac{bf}{2tf} = \frac{300}{2 \cdot 15} = 10$$

$$\lambda_r = 0,56 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 0,56 \sqrt{\frac{210000}{250}} = 16,23$$

Nilai  $\lambda < \lambda_r$  maka pelat sayap nonlangsing

2. Pelat Badan

Untuk Profil 350 X 350

$$\lambda = \frac{h}{tw} = \frac{272}{14} = 19,42$$

$$\lambda_p = 1,49 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1,49 \sqrt{\frac{210000}{250}} = 43,18$$

Nilai  $\lambda < \lambda_r$  maka pelat badan nonlangsing

Untuk Profil 300 X 300

$$\lambda = \frac{h}{tw} = \frac{234}{10} = 23,4$$

$$\lambda_p = 1,49 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1,49 \sqrt{\frac{210000}{250}} = 43,18$$

Nilai  $\lambda < \lambda_r$  maka pelat badan nonlangsing



- Penentuan Kuat Tekan Nominal Akibat Tekuk Global

Setelah klasifikasi penampang dan dapat disimpulkan bahwa profil WF 350x350x22x14 dan 300x300x14x10 merupakan penampang nonlangsing, maka selanjutnya menentukan kuat tekan nominal seperti yang disyaratkan pada SNI 1729:2020 Pasal E3 (FB, tekuk lentur tanpa elemen langsing) dan E4 (TB, tekuk torsi tanpa elemen langsing) dengan memilih nilai kuat tekan nominal terkecil dari FB dan TB.

#### 1. Kuat Tekan Nominal Terhadap Tekuk óLentur (FB)

Untuk Profil 350 X 350

$$K_{\text{desain}} = 0,65 \text{ (tumpuan jepit ójepit)}$$

$$L = 5,7 \text{ m} = 5700 \text{ mm}$$

$$L_c = \frac{K \cdot L}{r} = \frac{0,65 \cdot 5700}{89} = 41,62$$

$$4,71 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 4,71 \sqrt{\frac{210000}{250}} = 136,51$$

$$\frac{K \cdot L}{r} \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{f_y}}, \text{ maka nilai } F_{cr} = (0,658 \frac{F_y}{F_e}) \cdot F_y$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210000}{(41,62)^2} = 1195,97 \text{ MPa}$$

$$F_{cr} = (0,658 \frac{250}{1195,97}) \cdot 250 = 229,05 \text{ MPa}$$

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

$$= 229,05 \cdot 202 \cdot 10^2$$

$$= 4626945,354 \text{ N}$$

$$= 4626,945 \text{ kN}$$

Untuk Profil 300 X 300

$$K_{\text{desain}} = 0,65 \text{ (tumpuan jepit ójepit)}$$

$$L = 5,7 \text{ m} = 5700 \text{ mm}$$

$$L_c = \frac{K \cdot L}{r} = \frac{0,65 \cdot 5700}{75,1} = 49,33$$

$$4,71 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 4,71 \sqrt{\frac{210000}{250}} = 136,51$$



$\frac{K \cdot L}{r} = 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ , maka nilai  $F_{cr} = (0,658 \frac{F_y}{F_e}) \cdot F_y$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210000}{(49,33)^2} = 850,85 \text{ MPa}$$

$$F_{cr} = (0,658 \frac{250}{850,85}) \cdot 250 = 221,07 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} P_n &= F_{cr} \cdot A_g \\ &= 221,07 \cdot 119,8 \cdot 10^2 \\ &= 2648422,469 \text{ N} \\ &= 2648,422 \text{ kN} \end{aligned}$$

## 2. Kuat Tekan Nominal Terhadap Tekuk óTorsi (TB)

Untuk Profil 350 X 350

$$\begin{aligned} h_0 &= d \text{ ótf} \\ &= 356 \text{ ó22} \\ &= 334 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$C_w = \frac{I_y \cdot h_0^2}{4} = \frac{16000 \cdot 10^4 \cdot 334^2}{4} = 4462240000000 \text{ mm}^6$$

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

$$\begin{aligned} J &= 2 \left( \frac{1}{3} b_f \cdot t_f^3 \right) + \left( \frac{1}{3} h_0 \cdot t_w^3 \right) \\ &= 2 \left( \frac{1}{3} 352 \cdot 22^3 \right) + \left( \frac{1}{3} 334 \cdot 14^3 \right) \\ &= 2804229,333 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$K_z = 1$$

$$\begin{aligned} F_e &= \left( \frac{\pi^2 E \cdot C_w}{(K_z L)^2} + G \cdot J \right) \frac{1}{I_x + I_y} \\ &= \left( \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 4462240000000}{(1 \cdot 5700)^2} + 77200 \cdot 2804229,333 \right) \frac{1}{(47600+16000) \cdot 10^4} \\ &= 2551513,88 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$F_{cr} = (0,658 \frac{250}{2551513,88}) \cdot 250 = 249,99 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} P_n &= F_{cr} \cdot A_g \\ &= 249,99 \cdot 202 \cdot 10^2 \\ &= 5049792,904 \text{ N} \\ &= 5049,792 \text{ kN} \end{aligned}$$



Untuk 300 X 300

$$h_0 = d \text{ ótf}$$

$$= 300 \text{ ó15}$$

$$= 285 \text{ mm}$$

$$C_w = \frac{I_y \cdot h_0^2}{4} = \frac{6750 \cdot 10^4 \cdot 285^2}{4} = 1370671875000 \text{ mm}^6$$

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

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

$$= 2 \left( \frac{1}{3} 300 \cdot 15^3 \right) + \left( \frac{1}{3} 285 \cdot 10^3 \right)$$

$$= 770000 \text{ mm}^4$$

$$K_z = 1$$

$$F_e = \left( \frac{\pi^2 E \cdot C_w}{(K_z L)^2} + G \cdot J \right) \frac{1}{I_x + I_y}$$

$$= \left( \frac{\pi^2 210000 \cdot 1370671875000}{(1 \cdot 5700)^2} + 77200 \cdot 770000 \right) \frac{1}{(20400+6750) \cdot 10^4}$$

$$= 2511,20 \text{ MPa}$$

$$F_{cr} = (0,658^{\frac{250}{2511,20}}) \cdot 250 = 239,79 \text{ MPa}$$

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

$$= 239,79 \cdot 119,8 \cdot 10^2$$

$$= 287264,2 \text{ N}$$

$$= 2872,68 \text{ kN}$$

Nilai  $P_n$  akibat tekuk ólentur (FB) lebih kecil dari  $P_n$  akibat tekuk ótorsi (TB) sehingga  $P_n$  akibat tekuk ólentur menentukan.

Untuk kolom 350x350

$$\text{Ø}P_n = 0,9 \cdot 4626,945$$

$$= 4164,250 \text{ kN}$$

Sehingga,  $\text{Ø}P_n = 4164,250 \text{ m P} \cdot u \neq 26R9,542 \text{ kN}$

Untuk kolom 300x300

$$\text{Ø}P_n = 0,9 \cdot 2648,422$$



$$= 2383,578 \text{ kN}$$

Sehingga,  $\phi P_n = 2383,578 \text{ m P}_n \times 1485,907 \text{ kN}$

#### 4.8.4 Kontrol Kolom Akibat Momen

Kapasitas nominal untuk komponen struktur dengan profil WF nonlangsing yang mengalami lentur menurut tabel F1.1 SNI 1729:2020 didapat dari nilai terkecil pada kondisi batas leleh ( $Y$ , *yield*) dan kondisi Tekuk Torsi-Lateral (LTB, *Lateral Torsional Buckling*).

Untuk kolom 350x350

- Berdasarkan batas leleh ( $Y$ )  
 Karena penampang nonlangsing, maka:

$$\begin{aligned} M_n &= M_p = F_y \cdot Z_x \\ &= 250 \cdot 2845,44 \cdot 10^3 \\ &= 711360000 \text{ Nmm} \\ &= 711,36 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0,9 \cdot 711,36 \\ &= 640,224 \text{ kNm} \end{aligned}$$

- Berdasarkan Tekuk-Torsi Lateral (LTB)

$$L_b = 5,7 \text{ m}$$

$$L_p = 1,76 \cdot r_y \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1,76 \cdot 107 \sqrt{\frac{210000}{250}}$$

$$= 4,53 \text{ m}$$

$$h_0 = d \cdot \phi_{tr}$$

$$= 356 \cdot 0,93 = 331 \text{ mm}$$

$$r_{ts}^2 = \frac{I_y h_0}{2 S_x}$$

$$= \frac{16000 \cdot 10^4 \cdot 334}{2 \cdot 2670 \cdot 10^3}$$

$$= 10007,49$$

$$r_{ts} = 100,03$$

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

$$= 2 \left( \frac{1}{3} 352 \cdot 22^3 \right) + \left( \frac{1}{3} 334 \cdot 14^3 \right)$$





$$= 2804229,333 \text{ mm}^4$$

Karena profil simetris ganda, maka nilai  $c = 1$

$$L_r = 1,95 \cdot r_{ts} \cdot \frac{E}{0,7 \cdot f_y} \cdot \sqrt{\frac{J \cdot c}{S_x \cdot h_0} + \sqrt{\left(\frac{J \cdot c}{S_x \cdot h_0}\right)^2 + 6,76 \cdot \left(\frac{0,7 \cdot f_y}{E}\right)^2}}$$

$$= 1,95 \cdot 100,03 \cdot \frac{210000}{0,7 \cdot 250} \cdot \sqrt{\frac{2804229,333 \cdot 1}{2670000 \cdot 334} + \sqrt{\left(\frac{2804229,333 \cdot 1}{2670000 \cdot 334}\right)^2 + 6,76 \cdot \left(\frac{0,7 \cdot 250}{210000}\right)^2}}$$

$$= 234087,624 \cdot 0,0834$$

$$= 19533,677 \text{ mm}$$

$$\approx 19,5 \text{ m}$$

Nilai  $L_p < L_b$   $\bar{O}L_r$  maka:

$$M_n = C_b \left[ M_p - (M_p - 0,7 \cdot f_y \cdot S_x) \cdot \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p}\right) \right] \geq M_p$$

$$M_{\text{MAKS}} = 150,345 \text{ kNm}$$

$$M_A \left(\frac{1}{4}L\right) = 37,586 \text{ kNm}$$

$$M_B \left(\frac{1}{2}L\right) = 75,173 \text{ kNm}$$

$$M_C \left(\frac{3}{4}L\right) = 112,759 \text{ kNm}$$

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

$$= \frac{12,5 \cdot 150,345}{2,5 \cdot 150,345 + 3 \cdot 37,586 + 4 \cdot 75,173 + 3 \cdot 112,759}$$

$$= 1,667$$

$$0,7 \cdot F_y \cdot S_x = 0,7 \cdot 250 \cdot 2670000$$

$$= 467250000 \text{ Nmm}$$

$$= 467,25 \text{ kNm}$$

$$M_n = C_b \left[ M_p - (M_p - 0,7 \cdot f_y \cdot S_x) \cdot \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p}\right) \right]$$

$$= 1,667 \left[ 711,36 - (711,36 - 467,25) \cdot \left(\frac{5,70 - 4,53}{19,5 - 4,53}\right) \right] \geq M_p = 711,36$$

$$= 1093,86 \text{ kNm} \geq M_p = 711,36 \text{ kNm}$$

Maka dipakai nilai  $M_n$  terkecil berdasarkan batas leleh sebesar  $\bar{O}M_n = 640,224 \text{ kNm}$

$$\bar{O}M_n = 640,224 \text{ kNm} > M_u = 150,345 \text{ kNm}$$



Untuk kolom 300x300

- Berdasarkan batas leleh (Y)  
 Karena penampang nonlangsing, maka:

$$\begin{aligned} M_n &= M_p = F_y \cdot Z_x \\ &= 250 \cdot 1419,39 \cdot 10^3 \\ &= 354847500 \text{ Nmm} \\ &= 354,84 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0,9 \cdot 354,84 \\ &= 319,36 \text{ kNm} \end{aligned}$$

- Berdasarkan Tekuk-Torsi Lateral (LTB)

$$L_b = 5,7 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} L_p &= 1,76 \cdot r_y \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1,76 \cdot 107 \sqrt{\frac{210000}{250}} \\ &= 3,83 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h_0 &= d \cdot \phi_{tr} \\ &= 300 \cdot 0,15 = 285 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} r_{ts}^2 &= \frac{I_y h_0}{2 S_x} \\ &= \frac{6750 \cdot 10^4 \cdot 285}{2 \cdot 1360 \cdot 10^3} \\ &= 7072,61 \end{aligned}$$

$$r_{ts} = 84,09$$

$$\begin{aligned} J &= 2 \left( \frac{1}{3} b_f \cdot t_f^3 \right) + \left( \frac{1}{3} h_0 \cdot t_w^3 \right) \\ &= 2 \left( \frac{1}{3} 300 \cdot 15^3 \right) + \left( \frac{1}{3} 285 \cdot 10^3 \right) \\ &= 770000 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

Karena profil simetris ganda, maka nilai  $c = 1$

$$L_r = 1,95 \cdot r_{ts} \cdot \frac{E}{0,7 \cdot f_y} \cdot \sqrt{\frac{J \cdot c}{S_x \cdot h_0} + \sqrt{\left( \frac{J \cdot c}{S_x \cdot h_0} \right)^2 + 6,76 \cdot \left( \frac{0,7 \cdot f_y}{E} \right)^2}}$$

$$= 1,95 \cdot 84,09 \cdot \frac{210000}{0,7 \cdot 250} \cdot \sqrt{\frac{770000 \cdot 1}{1360 \cdot 285} + \sqrt{\left( \frac{770000 \cdot 1}{1360 \cdot 334} \right)^2 + 6,76 \cdot \left( \frac{0,7 \cdot 250}{210000} \right)^2}}$$

$$= 196791,22 \cdot 0,0701$$

$$= 13812,07 \text{ mm}$$





$$\cong 13,8 \text{ m}$$

Nilai  $L_p < L_b$ .  $\ddot{O}L_r$  maka:

$$M_n = C_b \left[ M_p - (M_p - 0,7 \cdot f_y \cdot S_x) \cdot \left( \frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \geq M_p$$

$$M_{\text{MAKS}} = 123,009 \text{ kNm}$$

$$M_A \left( \frac{1}{4}L \right) = 30,572 \text{ kNm}$$

$$M_B \left( \frac{1}{2}L \right) = 61,505 \text{ kNm}$$

$$M_C \left( \frac{3}{4}L \right) = 92,257 \text{ kNm}$$

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

$$= \frac{12,5 \cdot 123,009}{2,5 \cdot 123,009 + 3 \cdot 30,572 + 4 \cdot 61,505 + 3 \cdot 92,257}$$

$$= 1,667$$

$$0,7 \cdot F_y \cdot S_x = 0,7 \cdot 250 \cdot 1360000$$

$$= 238000000 \text{ Nmm}$$

$$= 238 \text{ kNm}$$

$$M_n = C_b \left[ M_p - (M_p - 0,7 \cdot f_y \cdot S_x) \cdot \left( \frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right]$$

$$= 1,667 \left[ 354,84 - (354,84 - 238) \cdot \left( \frac{5,70 - 3,83}{13,8 - 3,83} \right) \right] \geq M_p = 354,84$$

$$= 480,85 \text{ kNm} \geq M_p = 354,84 \text{ kNm}$$

Maka dipakai nilai  $M_n$  terkecil berdasarkan batas leleh sebesar  $\phi M_n = 319,362 \text{ kNm}$

$$\phi M_n = 319,362 \text{ kNm} > M_u = 123,009 \text{ kNm.}$$

#### 4.9 Perencanaan Sambungan

Agar menjadi satu kesatuan, elemen struktur baja harus disambung dengan menggunakan alat penyambung. Baik sambungan balok óbalok, balok ókolom, ataupun kolom ókolom. Adapun alat penyambung yang digunakan berupa sambungan baut beserta pelat sambung dan sambungan las.

##### 4.9.1 Sambungan Balok Induk – Balok Anak

Balok Induk arah memanjang penampang profil WF 250x250x9x14 dan arah melintang dengan profil WF 200x200x8x12 disambung dengan balok anak profil WF 100x100x6x9 dengan menggunakan sambungan baut dan pelat sambung agar monolit.



### 4.9.1.1 Rekapitulasi Gaya Dalam Pada Balok Anak

Tabel 4. 13

Rekap Gaya Dalam Pada Balok Anak

Momen (Mu)	Geser (Vu)
------------	------------





25,0309kNm	17,515kN
------------	----------

Sumber : Analisis Penulis

### 4.9.1.2 Konfigurasi Alat Penyambung

1. Konfigurasi baut

Digunakan baut A325 dengan diameter ½ in

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

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

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

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

2. Konfigurasi pelat sambung

Digunakan pelat penyambung profil siku (L) 75.75.9 dengan mutu BJ 637

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

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

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

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

### 4.9.1.3 Desain Sambungan Balok Induk – Balok Anak

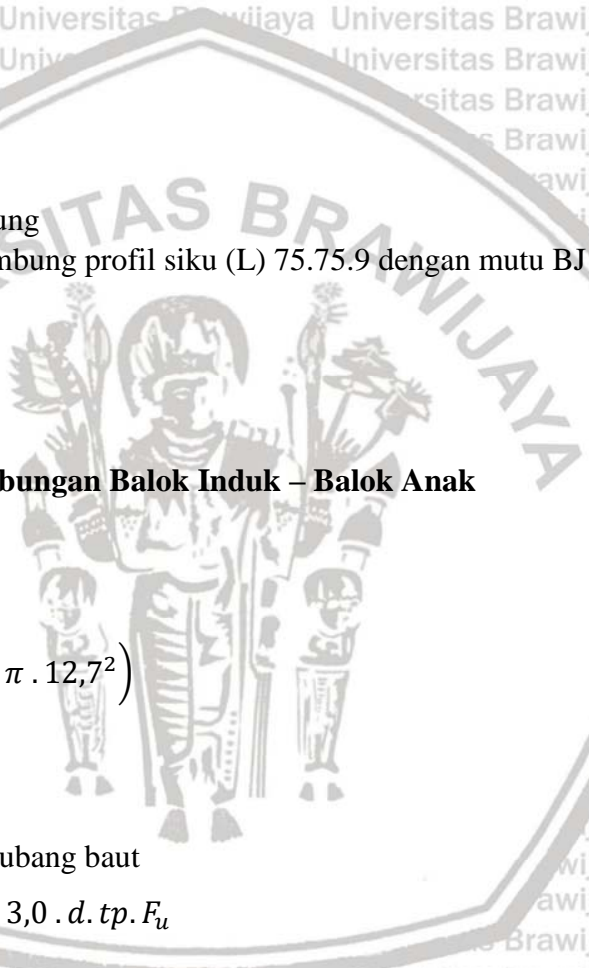
1. Kuat geser baut

$$\begin{aligned} \phi R_n &= 0,75 \cdot F_{nv} \cdot A_b \\ &= 0,75 \cdot 372 \cdot \left( \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 12,7^2 \right) \\ &= 35342,85 \text{ N} \\ &= 35,34 \text{ kN} \end{aligned}$$

2. Kuat tumpu dan sobek lubang baut

$$\begin{aligned} R_n &= 1,5 \cdot l_c \cdot t_p \cdot F_u \leq 3,0 \cdot d \cdot t_p \cdot F_u \\ l_c &= \frac{9}{16} \text{ in} = 15 \text{ mm} \\ \phi R_n &= 1,5 \cdot l_c \cdot t_p \cdot F_u \leq 3,0 \cdot d \cdot t_p \cdot F_u \\ &= 1,5 \cdot 15 \cdot 9 \cdot 370 \leq 3,0 \cdot 12,7 \cdot 9 \cdot 370 \\ &= 74925 \text{ N} \leq 126873 \text{ N} \\ &= 74,93 \text{ kN} \end{aligned}$$

Kuat geser baut menentukan sehingga nilai  $\phi R_n = 35,34 \text{ kN}$





Maka, jumlah baut yang dibutuhkan:

$$n = \frac{Ru}{\phi Rn} = \frac{Vu}{\phi Rn} = \frac{17,515}{35,34} = 0,49 \cong 2 \text{ buah}$$

3. Persyaratan jarak baut menurut SNI 1729:2020

- Jarak minimum (tiap baut) =  $3 d_b = 3 \cdot 12,7 = 38,1 \text{ mm}$
- Jarak maksimum (tiap baut) =  $24 t_p = 24 \cdot 9 = 216 \text{ mm}$

Atau  $\phi 300 \text{ mm}$

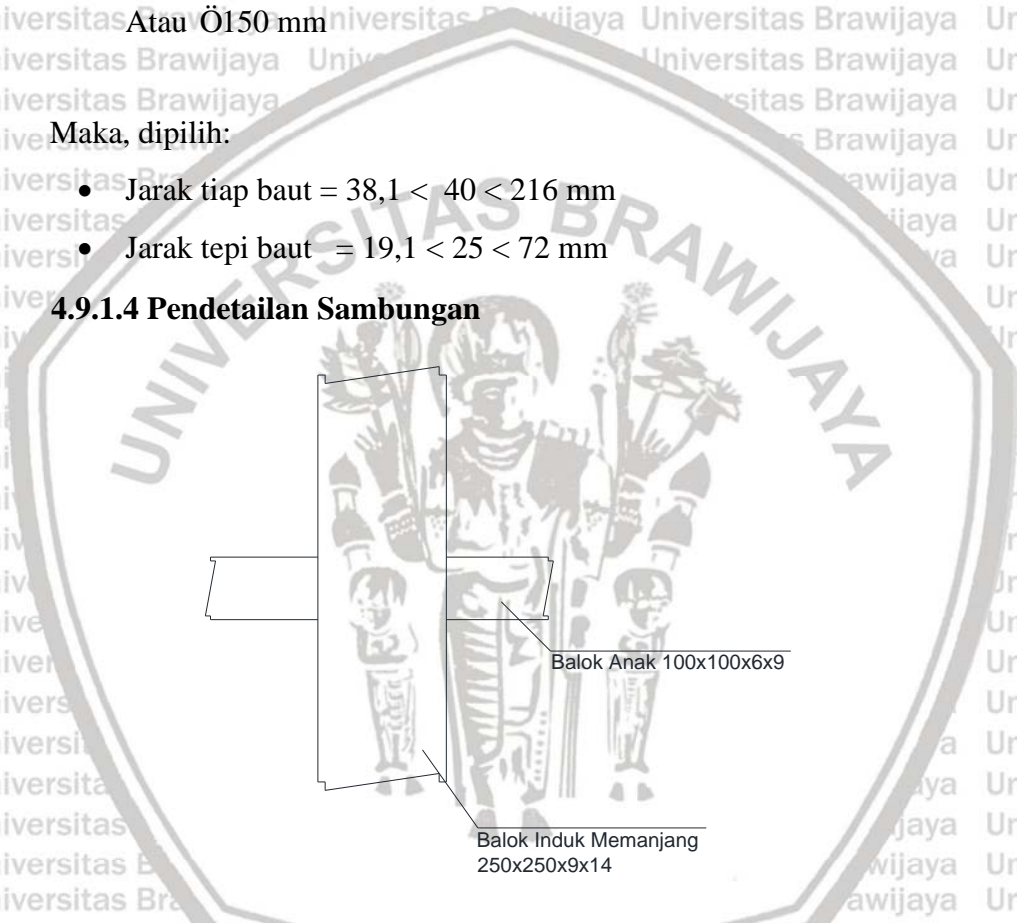
- Jarak tepi minimum =  $\frac{3}{4} \text{ in} = 19,1 \text{ mm}$  (tabel J3.4M SNI 1729:2020)
- Jarak tepi maksimum =  $12 \cdot t_w = 12 \cdot 6 = 72 \text{ mm}$

Atau  $\phi 150 \text{ mm}$

Maka, dipilih:

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

4.9.1.4 Pendetailan Sambungan

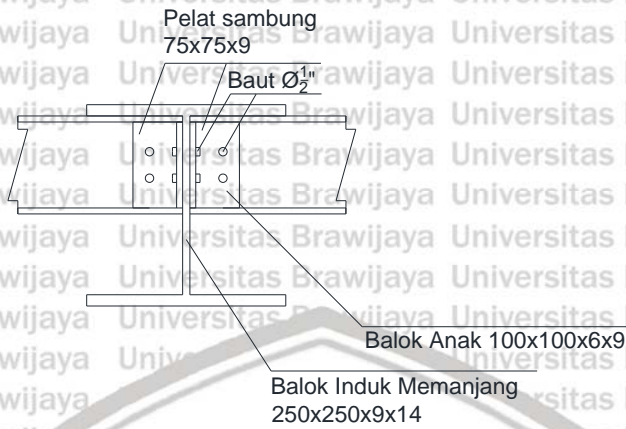


Gambar 4. 33 Tampak Atas Sambungan Balok Induk Memanjang dan Balok Anak

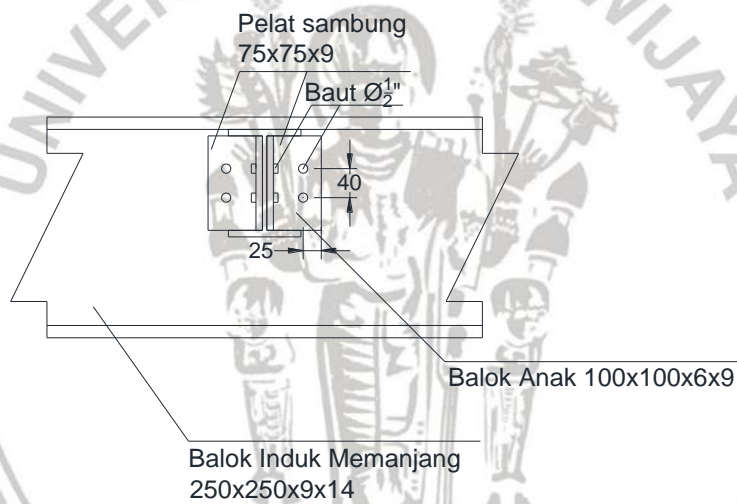
Sumber: Analisis Penulis







Gambar 4. 34 Tampak Depan Sambungan Balok Induk Memanjang óBalok Anak  
 Sumber: Analisis Penulis



Gambar 4. 35 Tampak Samping Sambungan Balok Induk Memanjang óBalok Anak  
 Sumber: Analisis Penulis



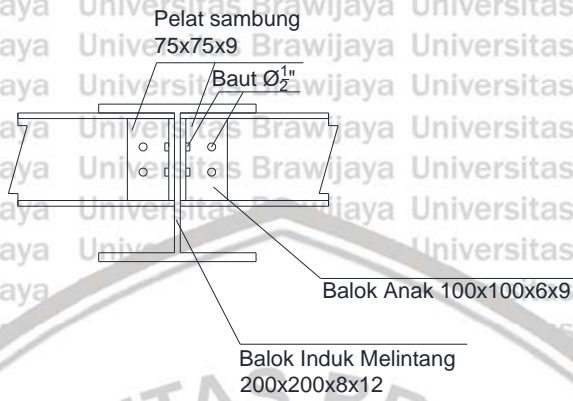


UNIVERSITAS BRAWIJAYA

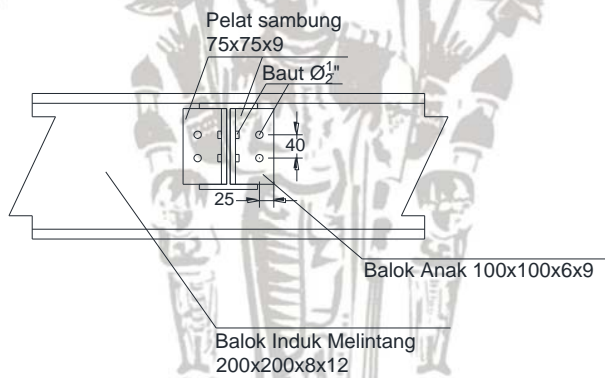




Gambar 4. 36 Tampak Atas Sambungan Balok Induk Melintang óBalok Anak  
 Sumber: Analisis Penulis



Gambar 4. 37 Tampak Depan Sambungan Balok Induk Melintang óBalok Anak  
 Sumber: Analisis Penulis



Gambar 4. 38 Tampak Samping Sambungan Balok Induk Melintang óBalok Anak  
 Sumber: Analisis Penulis

#### 4.9.2 Sambungan Balok Induk – Kolom

Balok Induk dan Kolom disambung menggunakan kombinasi sambungan las óbaut beserta pelat sambung dan pelat pengaku (*stiffener*) untuk menambah kekakuan *joint*. Elemen yang disambung adalah balok induk memanjang dengan profil WF 250x250x9x14, balok induk memanjang 200x200x8x12 dan kolom 350x350x14x22.



### 4.9.2.1 Rekapitulasi Gaya Dalam Pada Balok Induk

Tabel 4. 14

Rekap Gaya Dalam Pada Balok Induk Memanjang

Momen (Mu)		Geser (Vu)
Lapangan	Tumpuan	
332,609kNm	- 185,779kNm	213,288kN

Sumber : Analisis Penulis

Tabel 4. 15

Rekap Gaya Dalam Pada Balok Induk Melintang

Momen (Mu)		Geser (Vu)
Lapangan	Tumpuan	
165,847kNm	- 113,924kNm	128,116kN

Sumber : Analisis Penulis

### 4.9.2.2 Konfigurasi Alat Penyambung

#### 1. Konfigurasi baut

Digunakan baut A325 tipe M22

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

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

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

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

#### 2. Konfigurasi las

Dicoba menggunakan las elektroda 90 (E90XX)

$$F_{uw} = 620 \text{ MPa}$$

#### 3. Konfigurasi pelat sambung

Digunakan pelat sambung profil sebesar dua kali tinggi profil balok (balok + pengaku)

mutu BJ 637

$$h = 500 \text{ mm (memanjang) dan } 400 \text{ mm (melintang)}$$

$$t_p = 14 \text{ mm}$$

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

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

#### 4. Konfigurasi pengaku (*stiffener*)

Digunakan *stiffener* untuk balok sebesar profil balok (memanjang dan melintang) mutu

BJ 637

$$b_f = 250 \text{ mm (memanjang) dan } 200 \text{ mm (melintang)}$$





$d = 250$  mm (memanjang) dan 200 mm (melintang)

$t_w = 9$  mm (memanjang) dan 6 mm (melintang)

$t_f = 14$  mm (memanjang) dan 12 mm (melintang)

$F_y = 240$  MPa

$F_u = 370$  MPa

#### 4.9.2.3 Desain Sambungan Baut

Perhitungan untuk sambungan baut pada sambungan balok okolom disamakan dengan menggunakan kontrol  $V_u$  terbesar dari balok induk memanjang.

##### 1. Kuat geser baut

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

##### 2. Kuat tumpu dan sobek lubang baut

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

Kuat geser baut menentukan sehingga nilai  $\phi R_n = 106,06$  kN

Maka, jumlah baut yang dibutuhkan:

$$n = \frac{R_u}{\phi R_n} = \frac{V_u}{\phi R_n} = \frac{213,288}{106,06} = 2,01 \cong 4 \text{ buah}$$

##### 3. Persyaratan jarak pembautan menurut SNI 1729:2020

- Jarak minimum (tiap baut) =  $3 d_b = 3 \cdot 22 = 66$  mm
- Jarak maksimum (tiap baut) =  $24 t_p = 24 \cdot 14 = 336$  mm

Atau  $\phi 300$  mm

- Jarak tepi minimum = 28 mm (tabel J3.4M SNI-1729:2020)
- Jarak tepi maksimum =  $12 \cdot t_w = 12 \cdot 9 = 108$  mm



Atau  $\phi 150$  mm

Maka, dipilih:

- Jarak antar baut =  $66 < 75 < 300$  mm
- Jarak tepi baut =  $28 < 70 < 108$  mm

#### 4.9.2.4 Desain Sambungan Las

Dicoba menggunakan las sudut

##### 1. Sambungan las sudut di flens

- Tebal las:

$$t_f \text{ memanjang} = 14 \text{ mm}$$

$$t_f \text{ melintang} = 12 \text{ mm}$$

tabel J2.4 SNI 1729:2020 mensyaratkan ukuran minimum las sudut untuk tebal

flens  $13 \phi_t \geq 3 ; u g d g u c t " 8 " o o " f c p " o c m u k o w o " u g d$

Maka,  $w_{\min} = 6$  mm

$$w_{\max} \text{ memanjang} = 14 \text{ mm}$$

$$w_{\max} \text{ melintang} = 12 \text{ mm}$$

digunakan  $w = 10$  mm

- Panjang las yang dibutuhkan:

Digunakan las sudut sama kaki sehingga luas efektif sebesar:

$$\begin{aligned} A_{we} &= \sin 45^\circ \cdot w \\ &= 0,707 \cdot 10 \\ &= 7,07 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{nw} &= 0,60 F_{E90} (1,0 + 0,50 \sin^{1,5} \theta) \\ &= 0,60 \cdot 620 \cdot (1,0 + 0,50 \sin^{1,5} 45^\circ) \\ &= 482,6 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Kekuatan nominal las:

$$\begin{aligned} \phi R_n &= 0,75 \cdot F_{nw} \cdot A_{we} \\ &= 0,75 \cdot 482,6 \cdot 7,07 \\ &= 2558,98 \text{ N} \end{aligned}$$

Pada flens, gaya yang dipikul adalah momen, maka:

$$R_u \text{ balok memanjang} = \frac{Mu}{d} = \frac{332609000}{250} = 1330436 \text{ Nmm}$$



$$Ru \text{ balok melintang} = \frac{Mu}{a} = \frac{165847000}{200} = 829235 \text{ Nmm}$$

Kebutuhan panjang las:

$$Lw \text{ balok memanjang} = \frac{Ru}{\phi R_n} > L_{\min} = 4 \cdot a$$

$$= \frac{1330436}{2558,98} > 4 \cdot 6$$

$$= 519,90 \text{ mm} > 24 \text{ mm}$$

$$\cong 525 \text{ mm}$$

$$Lw \text{ balok melintang} = \frac{Ru}{\phi R_n} > L_{\min} = 4 \cdot a$$

$$= \frac{8292356}{2558,98} > 4 \cdot 6$$

$$= 324,04 \text{ mm} > 24 \text{ mm}$$

$$\cong 325 \text{ mm}$$

## 2. Sambungan las sudut di web

- Tebal las:

$$t_w \text{ memanjang} = 9 \text{ mm}$$

$$t_w \text{ melintang} = 8 \text{ mm}$$

tabel J2.4 SNI 1729:2020 mensyaratkan ukuran minimum las sudut untuk tebal

flens 6  $t_f \geq 3,5 \sqrt{t_f}$  " u g d g u c t " 7 " o o " f c p " o c m u k o w o " u g d

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

$$w_{\max} \text{ memanjang} = 9 \text{ mm}$$

$$w_{\max} \text{ melintang} = 8 \text{ mm}$$

digunakan  $w = 8 \text{ mm}$

- Panjang las yang dibutuhkan:

Digunakan las sudut sama kaki sehingga luas efektif sebesar:

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

$$= 0,707 \cdot 8$$

$$= 5,65 \text{ mm}^2$$

$$F_{nw} = 0,60 F_{E90} (1,0 + 0,50 \sin^{1,5} \theta)$$

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

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

Kekuatan nominal las:



$$\begin{aligned}\phi R_n &= 0,75 \cdot F_{nw} \cdot A_{we} \\ &= 0,75 \cdot 482,6 \cdot 5,65 \\ &= 2047,18 \text{ N}\end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}L_w \text{ balok memanjang} &= \frac{V_u}{\phi R_n} > L_{\min} = 4 \cdot a \\ &= \frac{213288}{2047,18} > 4 \cdot 5 \\ &= 104,186 \text{ mm} > 20 \text{ mm} \\ &\cong 105 \text{ mm}\end{aligned}$$

1.

$$\begin{aligned}L_w \text{ balok melintang} &= \frac{V_u}{\phi R_n} > L_{\min} = 4 \cdot a \\ &= \frac{128116}{2047,18} > 4 \cdot 5 \\ &= 62,58 \text{ mm} > 20 \text{ mm} \\ &\cong 65 \text{ mm}\end{aligned}$$

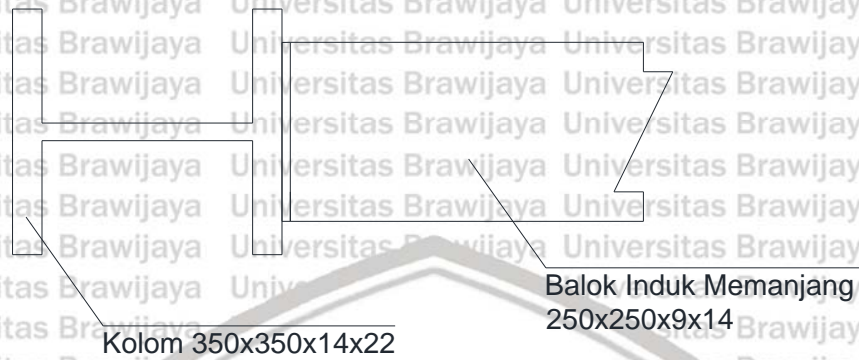
3. Sehingga, didapatkan panjang pengelasan pada:

- Flens (pelat sayap)
  - $w = 10 \text{ mm}$
  - Lw balok memanjang = 525 mm
  - Lw balok melintang = 325 mm
- Web (pelat badan)
  - $w = 8 \text{ mm}$
  - Lw balok memanjang = 105 mm
  - Lw balok melintang = 65 mm

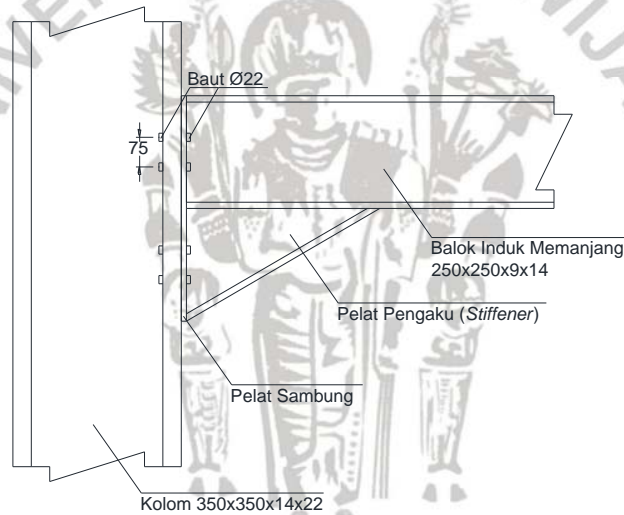
Nilai  $w$  dan  $L_w$  pada pengaku mengikuti dengan flens dan web yang diperkaku (diletakan di balok memanjang atau melintang).



#### 4.9.2.5 Pendetailan Sambungan

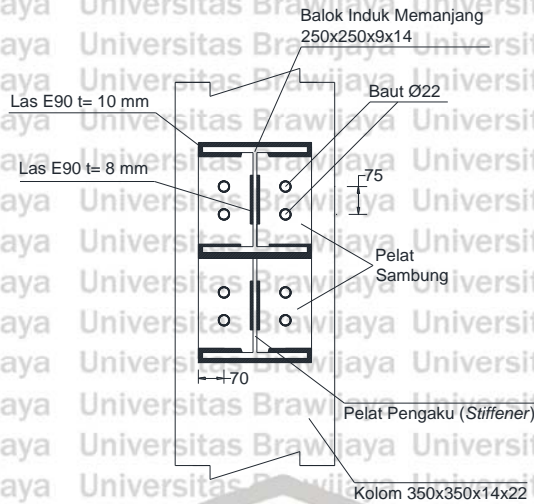


Gambar 4. 39 Tampak Atas Sambungan Balok Induk Memanjang ó Kolom  
 Sumber: Analisis Penulis

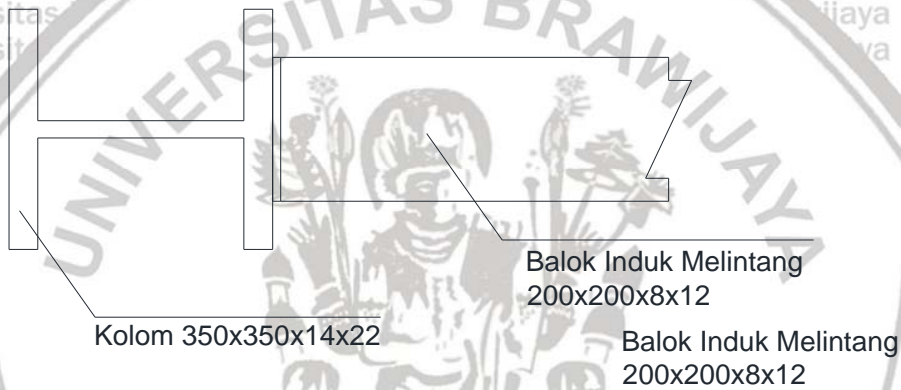


Gambar 4. 40 Tampak Depan Sambungan Balok Induk Memanjang ó Kolom  
 Sumber: Analisis Penulis





Gambar 4. 41 Tampak Samping Sambungan Balok Induk Memanjang ó Kolom  
 Sumber: Analisis Penulis

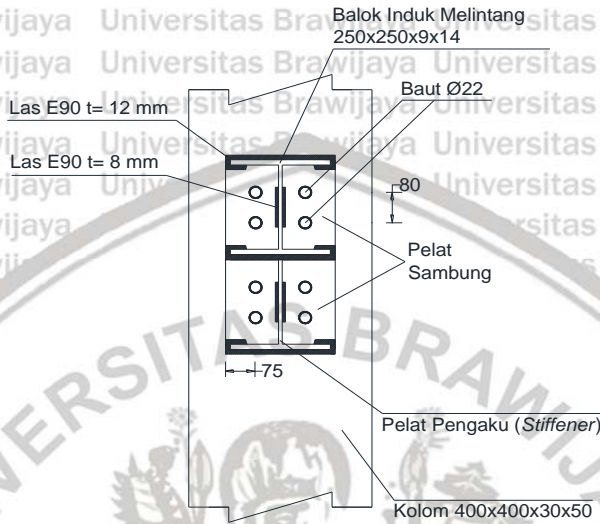


Gambar 4. 42 Tampak Atas Sambungan Balok Induk Melintang ó Kolom  
 Sumber: Analisis Penulis



Gambar 4. 43 Tampak Depan Sambungan Balok Induk Melintang  $\delta$  Kolom

Sumber: Analisis Penulis



Gambar 4. 44 Tampak Samping Sambungan Balok Induk Melintang  $\delta$  Kolom

Sumber: Analisis Penulis





### 4.10.1 Sambungan Kolom – Kolom

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

Sambungan yang dipakai pada sambungan kolom ókolom adalah sambungan baut. Kolom merupakan profil WF 400x400x30x50

#### 4.10.1.1 Rekapitulasi Gaya Dalam Pada Kolom

Tabel 4. 16  
Rekap Gaya Dalam Pada Kolom

Momen (Mu)	Gaya Aksial (Pu)	Gaya Geser (Vu)
150,345 kNm	2629,542kN	87,414kN

#### 4.10.1.2 Konfigurasi Alat Penyambung

##### 1. Konfigurasi baut

Digunakan baut A325 dengan diameter 22 mm

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

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

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

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

##### 2. Konfigurasi pelat sambung

Pelat penyambung untuk flens, h = 370 mutu BJ 637

$$h = 370 \text{ mm}$$

$$t_p = 8 \text{ mm}$$

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

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

##### 3. Pelat penyambung untuk web, h = 250 mutu BJ 637

$$h = 250 \text{ mm}$$

$$t_p = 18 \text{ mm}$$

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

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





### 4.10.1.3 Desain Sambungan Kolom – Kolom

#### 1. Sambungan baut pada flens

- $$M_{web} = \frac{I_{web}}{I_x} \cdot M_u$$

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

$$= \frac{\frac{1}{12} \cdot 14 \cdot 250^3}{4,76 \cdot 10^8} \cdot 150,345 \cdot 10^6$$

$$= 5757697,61 \text{ Nmm}$$

$$= 5,75 \text{ kNm}$$

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

$$= 150,345 \pm 5,75$$

$$= 144,595 \text{ kNm}$$

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

$$= \frac{144,595 \cdot 10^6}{356}$$

$$= 406165,73 \text{ N}$$

$$= 406,165 \text{ kN}$$

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

- $$T_u = A_g \cdot F_y$$

$$406165,73 = A_g \cdot 240$$

$$A_g = 1692,357 \text{ mm}^2$$

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

- $$t_p = \frac{1692,357}{420}$$

$$= 4,0 \text{ mm, dipakai } t_p \cong 8 \text{ mm}$$

- 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

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

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

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

$$= 1,5 \cdot 24 \cdot 12 \cdot 370 \leq 3,0 \cdot 22 \cdot 8 \cdot 370$$

$$= 106560 \text{ N} \leq 195360 \text{ N}$$

$$= 106,56 \text{ kN}$$

Kuat geser baut menentukan sehingga nilai  $\emptyset R_n = 106,056 \text{ kN}$

Maka, jumlah baut yang dibutuhkan:

$$n = \frac{T_u}{\emptyset R_n} = \frac{406,165}{106,056} = 3,829 \cong 4 \text{ buah}$$

- Persyaratan jarak baut menurut SNI 1729:2020

- Jarak minimum (tiap baut) =  $3 d_b = 3 \cdot 22 = 66 \text{ mm}$

- Jarak maksimum (tiap baut) =  $24 t_p = 24 \cdot 8 = 192 \text{ mm}$

Atau  $\emptyset 300 \text{ mm}$

- Jarak tepi minimum =  $28 \text{ mm}$  (tabel J3.4M SNI 1729:2020)

- Jarak tepi maksimum =  $12 \cdot 8 = 96 \text{ mm}$

Atau  $\emptyset 150 \text{ mm}$

Maka, dipilih:

- Jarak antar baut =  $66 < 70 < 192 \text{ mm}$

- Jarak tepi baut =  $28 < 95 < 96 \text{ mm}$

## 2. Sambungan baut pada web

$$h \text{ pelat sambung} = 300$$

$$I_{\text{pelat sambung}} > I_{\text{web}}$$

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



$$2 \cdot \frac{1}{12} \cdot 18 \cdot 250^3 > \frac{1}{12} \cdot 14 \cdot 250^3$$

$$46875000 \text{ mm}^4 > 18229166 \text{ mm}^4$$

Maka, jumlah baut yang dibutuhkan:

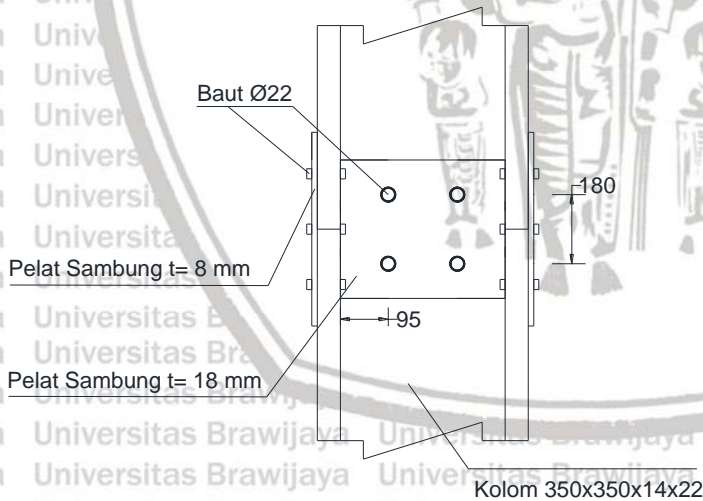
$$n = \frac{Ru}{\phi Rn} = \frac{Vu}{\phi Rn} = \frac{87,414}{106,056} = 0,824 \approx 3 \text{ buah}$$

- Persyaratan jarak pembautan menurut SNI 1729:2020
  - Jarak minimum (tiap baut) =  $3 d_b = 3 \cdot 22 = 66 \text{ mm}$
  - Jarak maksimum (tiap baut) =  $24 t_p = 24 \cdot 18 = 432 \text{ mm}$   
Atau  $\phi 300 \text{ mm}$
  - Jarak tepi minimum =  $28 \text{ mm}$  (tabel J3.4M SNI 1729:2020)
  - Jarak tepi maksimum =  $12 \cdot 18 = 216 \text{ mm}$   
Atau  $\phi 150 \text{ mm}$

Maka, dipilih:

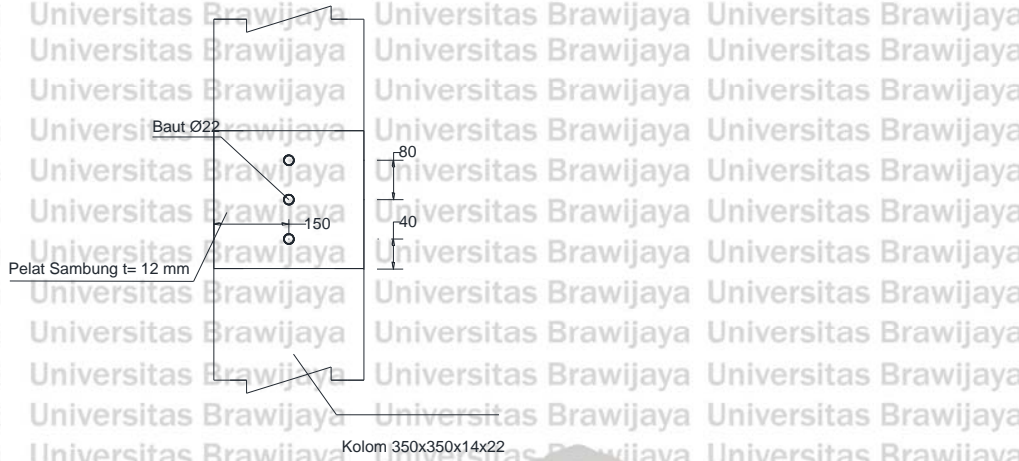
- Jarak antar baut =  $66 < 80 < 300 \text{ mm}$
- Jarak tepi baut =  $28 < 150 \phi 150 \text{ mm}$

#### 4.10.1.4 Pendetailan Sambungan



Gambar 4. 45 Tampak Depan Sambungan Kolom okolom  
Sumber: Analisis Penulis





Gambar 4. 46 Tampak Samping Sambungan Kolom 6kolom  
Sumber: Analisis Penulis





## BAB V PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

#### 1. Studi Alternatif Perencanaan Balok Komposit pada RSUD dr. Kanujoso Djatiwibowo

Balokpapan adalah :

Merencanakan balok komposit dengan melakukan *preliminary design* pemodelan struktur pada perangkat lunak ETABS yang memberikan hasil dalam bentuk gaya dalam pada struktur seperti Momen Ultimit ( $M_u$ ), Gaya Geser Ultimit ( $V_u$ ), dan Gaya Aksial Ultimit ( $P_u$ ). Kemudian nilai dari gaya ógaya dalam tersebut dikalikan dengan faktor pembesaran momen akibat interaksi elemen balok ókolom sebesar 1,051 untuk M dan P. Selanjutnya dilakukan analisis pra ókomposit pada balok baja (profil *Wide Flange*) yang dikontrol dengan parameter óparameter desain dari SNI 1729:2020 dengan syarat utama  $\phi M_n \geq M_u$  dan didapatkan hasil  $\phi M_n \leq M_u$  pada momen di tumpuan maka analisis pada balok dilanjutkan dengan analisis balok komposit dengan memperhitungkan penghubung geser (*shear connector*) sebagai penghubung baja dan pelat beton agar terjadi aksi komposit penuh. Setelah dilakukan analisis balok komposit maka nilai  $\phi M_n \geq M_u$  di tumpuan dan perhitungan geser  $\phi V_n \geq V_u$ .

Pada analisis elemen kolom hanya digunakan struktur baja yang dikontrol dengan parameter óparameter desain yang tercantum di SNI 1729:2020 dimana elemen kolom (profil *Wide Flange*) harus memenuhi nilai  $\phi P_n \geq P_u$  dan  $\phi M_n \geq M_u$ .

#### 2. Setelah dilakukan analisis pada balok komposit, khususnya pada momen di tumpuan terdapat kenaikan kekuatan nominal (signifikansi) dan nilai kekuatan nominal tersebut telah memenuhi parameter $\phi M_n \geq M_u$ . Berikut adalah perbandingan dan signifikansi momen nominal dari analisis pra ókomposit dan pasca ókomposit di balok:



Tabel 5.1

Perbandingan Kekuatan Momen Nominal Pra dan Pasca Analisis Komposit

Balok	Dimensi Penampang	Momen Ultimit Tumpuan (kNm)	Momen Nominal (kNm)		Signifikansi
			Sebelum Komposit	Sesudah Komposit	
Induk Memanjang	250x250x9x14	332,609	204,125	342,99	168%
Induk Melintang	200x200x8x12	165,847	111,645	187,038	167%
Anak	100x100x6x9	25,0309	32,084	34,182	93%

Pada balok induk memanjang dan melintang terjadi signifikansi sebesar 168% dan 167%, sedangkan pada balok anak terjadi signifikansi sebesar 93%. Hal ini menunjukkan bahwa variabel analisis komposit mempengaruhi penambahan kekuatan nominal pada perencanaan balok komposit, yang mengakibatkan perencanaan balok komposit tersebut beragam.

Selain itu, hal yang membedakan dengan analisis biasa adalah adanya penghubung geser (*shear connector*) sebagai penghubung baja dan pelat beton agar terjadi aksi komposit penuh.

### Saran

Berdasarkan analisis ini, kedepannya diharapkan:

1. Untuk selanjutnya dapat membandingkan analisis struktur baja atau struktur beton bertulang dengan analisis balok komposit bukan hanya dari kekuatan materialnya saja, tetapi juga dalam sisi ekonomi (biaya) dan rencana pelaksanaan (*scheduling*) sehingga bisa terlihat apakah alternatif perencanaan dengan balok komposit ini mencapai tepat mutu, waktu, dan biaya.
2. Input data pengerjaan analisis struktur balok komposit harus dilakukan secara cermat dan teliti sehingga *preliminary design* yang didapatkan mampu menahan gaya ógaya dalam yang bekerja. Selain itu pemahaman terhadap standar (*code*) terbaru yang berlaku juga tidak kalah penting agar hasil yang diperoleh tidak menyimpang dari standar yang berlaku sehingga dapat dipertanggungjawabkan.







DAFTAR PUSTAKA

F g r i c t v g o g p l " R g m g t ' P e r a c u n ' P e n b e b a n ' I n d o n e s i a 5 0 u n t u k G e d u n g ( P P U I G ) 1 9 8 3 " . T e n t a n g P e r e n c a n a n S t r u k t u r B a j a u n t u k B a n g u n a n G e d u n g M e n g g u n a n L R F D . B a n d u n g : Y a y a s a n L e m b a g a P e n y e l i d i k a n M a s a l a h B a n g u n a n .

F g y q d t q v q . " Y k t { c p v q P 0 r i l a k u , 4 A n a B a s i s d a n D e s a i n - A I S C 2 0 1 0 ö D ö l c 0 " ö B a n d u n g : J u r a s a n T e k n i k S i p i l U P H , L u m i n a P r e s s

U g v k c y c p . " C i w u 0 . " 4 2 2 : 0 " ö R g t g p e c p c c p " U v t w m v w t 0 3 ö 6 1 7 2 9 ö 6 2 0 0 2 . S e m a r a n g : E r l a n g g a .

Standar Nasional Indonesia 1726. 2019. Tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.

Standar Nasional Indonesia 1727. 2020. Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur lain. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.

Standar Nasional Indonesia 1729. 2020. Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.



UNIVERSITAS BRAWIJAYA





UNIVERSITAS BRAWIJAYA





## DAFTAR PUSTAKA

- Departemen Pekerjaan Umum, 1983. “*Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPUIG) 1983*”. Tentang Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung Menggunakan LRFD. Bandung: Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan.
- Dewobroto, Wiryanto., 2016. Struktur Baja. “*Perilaku, Analisis dan Desain – AISC 2010*”. Bandung : Jurusan Teknik Sipil UPH, Lumina Press
- Setiawan, Agus., 2008. “Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD (Sesuai dengan SNI 03 – 1729 – 2002). Semarang: Erlangga.
- Standar Nasional Indonesia 1726. 2019. Tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Standar Nasional Indonesia 1727. 2020. Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur lain. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Standar Nasional Indonesia 1729. 2020. Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.