



**STUDI ALTERNATIF PERENCANAAN BANGUNAN GEDUNG
LABORATORIUM VOKASI DAN INDUSTRI KREATIF VOKASI
UNIVERSITAS BRAWIJAYA KAMPUS DIENG MENGGUNAKAN
STRUKTUR BALOK KOMPOSIT (PROFIL BAJA DAN BETON
BERTULANG)**

SKRIPSI

TEKNIK SIPIL

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan

Memperoleh gelar Sarjana Teknik



SONY PRATAMA

NIM. 165060101111004

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2020



LEMBAR PENGESAHAN

STUDI ALTERNATIF PERENCANAAN BANGUNAN GEDUNG
LABORATORIUM VOKASI DAN INDUSTRI KREATIF VOKASI
UNIVERSITAS BRAWIJAYA KAMPUS DIENG MENGGUNAKAN
STRUKTUR BALOK KOMPOSIT (PROFIL BAJA DAN BETON
BERTULANG)

SKRIPSI

TEKNIK SIPIL

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



SONY PRATAMA

NIM. 165060101111004

Skrripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing

Pada tanggal 17 Juni 2020

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Ir. M. Taufik Hidayat, MT
NIP. 19611228 1998802 1 001

Dr. Eng. Ming Narto W. ST, MT, M. Sc
NIK. 201102 840705 2 001



Mengetahui,
Program Studi S1

Dr. Eng. Indrati W. Santiko, ST, M. Eng (Prac.)
NIP. 196220 200604 1 002

[illegible]



HALAMAN IDENTITAS TIM PENGUJI SKRIPSI

JUDUL SKRIPSI :

Studi Alternatif Perencanaan Bangunan Gedung Laboratorium Vokasi Dan Industri Kreatif Vokasi Universitas Brawijaya Kampus Dieng Menggunakan Struktur Balok Komposit (Profil Baja Dan Beton Bertulang).

Nama Mahasiswa : Sony Pratama

NIM : 165060101111004

Program Studi : Teknik Sipil

Minat : Struktur

Tim Dosen Penguji :

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

Dosen Penguji 2 : Dr. Eng Ming Narto W, ST, MT, M.Sc

Dosen Penguji 3 : Dr. Eng Lilya Susanti, ST, MT

Tanggal Ujian : 19 Mei 2020

SK Penguji : 842/UN 10.F07/KP/2020

[illegible]



PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

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

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

Malang, 30 Mei 2020

Mahasiswa,

Sony Pratama

NIM. 165060101111004

50% Technique & 50% Feeling
Badak





KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT yang telah mencurahkan rahmat dan hidayah-Nya dengan menuntun saya sebagai penulis sehingga dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “STUDI ALTERNATIF PERENCANAAN BANGUNAN GEDUNG LABORATORIUM VOKASI DAN INDUSTRI KREATIF VOKASI UNIVERSITAS BRAWIJAYA KAMPUS DIENG MENGGUNAKAN STRUKTUR BALOK KOMPOSIT (PROFIL BAJA DAN BETON BERTULANG).”

Penulis menyadari bahwa skripsi ini bisa dirampungkan atas dukungan dan bimbingan beberapa pihak terkait. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. **Keluarga saya** yang telah ada sebagai tempat senang dan berkeluh kesah,
2. Bapak **Dr.Eng. Alwafi Pujiraharjo, ST, MT.**, selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya,
3. Bapak **Dr. Eng. Indradi Wijatmiko, ST., M.Eng.**, selaku Ketua Program Studi Sarjana (S1) Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya,
4. Bapak **Ir. M. Taufik Hidayat, MT.**, selaku dosen pembimbing I dan guru bagi saya
5. Bapak **Dr. Eng Ming Narto W, ST., MT., M.Sc.**, selaku dosen pembimbing II
6. Ibu **Dr. Eng. Lilya Susanti, ST., MT.**, selaku dosen penguji tugas akhir,
7. Bapak **Ananda Insan Firdausy, Ir., ST., MT.**, selaku dosen penasehat akademik.
8. **Tim The Fighter** Yuli, Aldy, Firman Andi, dan Mas Rofif
9. Keluarga **Teknik Sipil Angkatan 2016** atas bantuan, dukungan dan kebersamaan selama 4 tahun saya kuliah.
10. Keluarga Besar **Civil Corner**
11. **Keluarga Besar Kopi Lima**
12. **Keluarga Besar Mahasiswa Sipil**

Penulis menyadari bahwa skripsi ini jauh dari kata sempurna dan masih terdapat kekurangan. Oleh karena itu, saran dan kritik sangat saya apresiasi demi kebaikan di masa depan. Semoga skripsi ini bermanfaat bagi semua pihak yang membacanya.

Malang, 30 Mei 2020

Penulis

[illegible]



DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	.....	i
DAFTAR ISI	.....	iii
DAFTAR TABEL	.....	vii
DAFTAR GAMBAR	.....	ix
DAFTAR LAMPIRAN	.....	xi
RINGKASAN	.....	xiii
SUMMARY	.....	xv
BAB I PENDAHULUAN	.....	1
1.1 Latar Belakang	.....	1
1.2 Identifikasi Masalah	.....	2
1.3 Rumusan Masalah	.....	2
1.4 Pembatasan Masalah	.....	2
1.5 Tujuan	.....	3
1.6 Manfaat	.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	.....	5
2.1 Struktur Baja	.....	5
2.1.1 Sifat Material Baja	.....	5
2.1.2 Macam- Macam Profil Baja	.....	5
2.2 Struktur Beton Bertulang	.....	6
2.2.1 Sifat Mekanis Beton Bertulang	.....	7
2.3 Struktur Komposit	.....	9
2.3.1 Pengertian Struktur Komposit	.....	9
2.3.2 Metode Pelaksanaan Struktur Komposit	.....	10
2.4 Pembebanan	.....	11
2.4.1 Beban Mati	.....	11
2.4.2 Beban Hidup	.....	11
2.4.3 Beban Gempa	.....	11
2.4.4 Kombinasi Pembebanan	.....	19
2.5 Analisis Struktur	.....	20
2.5.1 Analisis Balok dan Kolom	.....	22
2.5.2 Kategori Gedung	.....	34
2.5.3 Sistem Stuktur	.....	34
2.6 Sambungan	.....	35
2.6.1 Sambungan baut	.....	35



2.6.2	Sambungan las	36
2.7	Penghubung geser	37
2.7.1	Macam Macam Penghubung Geser	37
2.7.2	Jumlah Angkur Baja	40
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		41
3.1	Pengumpulan Data	41
3.2	Data – Data Desain	41
3.2.1	Data – Data Umum	41
3.2.2	Data Teknis Gedung Awal	42
3.3	Prosedur Perencanaan	42
3.3.1	Analisis Pembebanan	42
3.3.2	Analisis Statika	43
3.3.3	Desain Penampang	44
3.3.4	Gambar Struktur	44
3.4	Diagram Alir Perencanaan	45
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		47
4.1	Pembebanan Pada Struktur	47
4.1.1	Beban Mati (SNI 1727 2013)	47
4.1.2	Beban Hidup (SNI 1727 2013)	48
4.1.3	Pembebanan Balok dan Pelat	48
4.2	Analisis Pembebanan	48
4.2.1	Pembebanan Pada Pelat	48
4.2.2	Pembebanan Balok	50
4.2.3	Pembebanan Gempa	51
4.3	Kombinasi Pembebanan	60
4.4	Pemodelan Pada SAP 2000	61
4.5	Perencanaan Material Struktur Baja	67
4.6	Perencanaan Struktur Balok Induk	67
4.6.1	Hasil Rekap Gaya	67
4.6.2	Desain Penampang Profil	67
4.6.3	Kontrol Profil	69
4.6.4	Cek Kontrol Sebelum Komposit	69
4.6.5	Cek Kontrol Setelah Komposit	70
4.6.6	Penghubung Geser	78
4.7	Perencanaan Struktur Balok Anak	80



4.7.1	Hasil Rekap Gaya	80
4.7.2	Desain Penampang Profil.....	80
4.7.3	Kontrol Profil.....	82
4.7.4	Cek Kontrol Sebelum Komposit.....	82
4.7.5	Cek Kontrol Setelah Komposit.....	83
4.7.6	Penghubung Geser.....	90
4.8	Perencanaan Struktur Kolom	93
4.8.1	Hasil Rekap Momen dan Gaya Aksial.....	93
4.8.2	Desain Penampang Profil.....	93
4.8.3	Kontrol Aksial Pada Kolom.....	94
4.8.4	Kontrol Momen Pada Kolom.....	96
4.9	Perencanaan Sambungan Profil.....	98
4.9.1	Sambungan Balok Anak – Balok Induk.....	98
4.9.2	Sambungan Balok Induk – Kolom.....	100
4.9.3	Sambungan Antar Kolom.....	106
BAB V	PENUTUP	111
5.1	Kesimpulan.....	111
5.2	Saran.....	112
DAFTAR PUSTAKA.....		xvi
LAMPIRAN 1 GAMBAR STRUKTUR GEDUNG EKSISTING.....		a
LAMPIRAN 2 PEMODELAN STRUKTUR PADA SAP 2000.....		f

[illegible]



DAFTAR TABEL

No	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Kategori Resiko Bangunan Tahan Gempa.....	13
Tabel 2.2	Faktor keutamaan gempa.....	15
Tabel 2.3	Klasifikasi Situs.....	17
Tabel 2.4	Koefisien Situs, F_a	17
Tabel 2.5	KoefisieniSitus, F_v	18
Tabel 2.6	Kekuatan nominal pengencan dan bagian yang berulir (MPa).....	35
Tabel 2.7	Jarak Tepi Minimum Baut.....	36
Tabel 2.8	Ukuran minimum las sudut.....	36
Tabel 2.9	Nilai R_g dan R_p	39
Tabel 4.1	Klasifikasi Situs berdasarkan tanah.....	53
Tabel 4.2	Analisis Koefisien Situs F_a	54
Tabel 4.3	Analisis Koefisien Situs F_v	54
Tabel 4.4	Analisis Respon Spektrum.....	56
Tabel 4.5	Analisis kategori Resiko Bangunan Gedung.....	58
Tabel 4.6	Analisis Kategori Resiko.....	58
Tabel 4.7	Analisis Koefisien Modifikasi Respons (R).....	59
Tabel 4.8	Rekap Gaya pada Balok Induk.....	67
Tabel 4.9	Rekap Gaya Pada Balok Anak.....	80
Tabel 4.10	Rekap Gaya pada Kolom.....	93
Tabel 4.11	Rekap Gaya Sambungan untuk Balok Anak.....	98
Tabel 4.12	Rekap Gaya Sambungan Balok Induk.....	101
Tabel 4.13	Rekap Gaya Sambungan Kolom.....	106
Tabel 5.1	Rekap Momen Sebelum dan Sesudah Komposit.....	111



DAFTAR GAMBAR

No	Judul	Halaman
	Gambar 2.1 Macam-macam Struktur Komposit Sumber :	9
	Gambar 2.2 CRS, koefisien resiko terpetakan, periode respons spektrum 0,2 detik	11
	Gambar 2.3 CR1, koefisien resiko terpetakan, periode respons spektrum 1 detik	12
	Gambar 2.4 Desain Respon Spektrum	19
	Gambar 2.5 Portal Statis Tak Tentu	21
	Gambar 2.6 Lebar efektif balok komposit	23
	Gambar 2.7 Distribusi tegangan plastis lapangan case 1 Sumber : Dewobroto (2016)	25
	Gambar 2.8 Distribusi tegangan plastis lapangan case 2 Sumber : Dewobroto (2016)	26
	Gambar 2.9 Distribusi tegangan plastis lapangan case 3 Sumber : Dewobroto (2016)	27
	Gambar 2.10 Distribusi tegangan plastis tumpuan case 1	28
	Gambar 2.11 Distribusi tegangan plastis tumpuan case 2 Sumber : Dewobroto (2016)	30
	Gambar 2.12 Distribusi tegangan plastis tumpuan case 3 Sumber : Dewobroto (2016)	31
	Gambar 2.13 Jenis-jenis Penghubung Geser.	37
	Gambar 3.1 Tampak depan gedung	41
	Gambar 3.2 Diagram alir tahanan desain	45
	Gambar 4.1 Beban Pada Pelat Atap Sumber : Hasil Analisis pada SAP 2000	49
	Gambar 4.2 Beban pada Pelat Lantai	50
	Gambar 4.3 Beban Mati pada Balok	51
	Gambar 4.4 Peta SS pada Kota Malang	51
	Gambar 4.5 Peta S1 pada Kota Malang	52
	Gambar 4.6 Respon Spektrum Desain	56
	Gambar 4.7 Analisis Respon Spektrum	57
	Gambar 4.8 Grid System	61
	Gambar 4.9 Material pada SAP 2000	62
	Gambar 4.10 Frame Section pada SAP2000	62
	Gambar 4.11 Area Section Pada SAP 2000	63
	Gambar 4.12 Frame Load pada SAP 2000	64
	Gambar 4.13 Area Load pada SAP 2000	64
	Gambar 4.14 Respon Spektrum pada SAP 2000	65
	Gambar 4.15 Load Pattern pada SAP 2000	66
	Gambar 4.16 Load Combination pada SAP 2000	66



Gambar 4.17 Dimensi Profil Balok Induk.....	68
Gambar 4.18 Balok Komposit (balok induk).....	70
Gambar 4.19 Lebar Efektif Balok Komposit (Balok Induk)	72
Gambar 4.20 Analisis Distribusi Tegangan	74
Gambar 4.21 Pemasangan Shear Connector arah Transversal	79
Gambar 4.22 Pemasangan Shear Connector arah Longitudinal	80
Gambar 4.23 Dimensi Profil Balok Anak.....	81
Gambar 4.24 Balok Komposit (Balok Anak)	83
Gambar 4.25 Lebar Efektif Balok Anak.....	85
Gambar 4.26 Distribusi Tegangan Balok Anak.....	87
Gambar 4.27 Pemasangan Shear Connector arah Transversal (Balok Anak)	92
Gambar 4.28 Pemasangan Shear Connector arah Longitudinal (Balok Anak)	92
Gambar 4.29 Dimensi Profil Kolom.....	93
Gambar 4.30 Tampak Atas Sambungan Balok Anak – Balok Induk	99
Gambar 4.31 Tampak Depan Sambungan Balok Anak – Balok Induk.....	100
Gambar 4.32 Tampak Samping Sambungan Balok Anak – Balok Induk	100
Gambar 4.33 Tampak Atas Sambungan Balok Induk – Kolom	104
Gambar 4.34 Tampak Depan Sambungan Balok Induk – Kolom	105
Gambar 4.35 Tampak Samping Sambungan Balok Induk – Kolom	105
Gambar 4.36 Tampak Depan Sambungan Antar Kolom.....	109
Gambar 4.37 Tampak Samping Sambungan Antar Kolom	110



DAFTAR LAMPIRAN

No	Judul	Halaman
Lampiran 1	Gambar Struktur Gedung Eksisting	a
Lampiran 2	Pemodelan Struktur pada SAP2000	f

[illegible]

RINGKASAN

Sony Pratama, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Mei 2020, *Studi Alternatif Perencanaan Bangunan Gedung Laboratorium Vokasi dan Industri Kreatif Vokasi Universitas Brawijaya Kampus Dieng Menggunakan Struktur Balok Komposit (Profil Baja dan Beton Bertulang)*, Dosen Pembimbing: Ir. M. Taufik Hidayat, MT., dan Dr. Eng. Ming Narto W., ST, MT, M.Sc.

Pembangunan Gedung dengan cara konvensional yakni dengan beton bertulang memiliki kekurangan, yaitu pada pelaksanaannya cenderung memikul beban mati yang relatif lebih besar, hal ini mempengaruhi beban gempa yang juga bertambah besar apabila beban mati juga relatif besar. Struktur Baja Komposit dipilih karena memiliki beberapa kelebihan yaitu dapat memposisikan sifat material pada fungsinya sesuai kebutuhan struktur seperti Baja kuat terhadap tarik dan Beton kuat terhadap tekan.

Diharapkan dengan hasil analisis dan evaluasi ini nantinya akan dapat membuka pengetahuan pembaca mengenai analisis serta menjadikan pembandingan alternatif yang ingin digunakan dalam melakukan perancangan begitu juga dengan pelaksanaan menggunakan struktur komposit. Dalam pembahasan ini digunakan Gedung Laboratorium Vokasi dan Industri Kreatif Vokasi Universitas Brawijaya Kampus Dieng sebagai objek gedung yang akan dianalisa menggunakan balok komposit. Apabila dibandingkan dengan balok menggunakan profil baja biasa asalnya, balok komposit mampu memikul momen lebih besar karena ada penambahan pelat beton.

Sebelum memulai analisis, maka dilakukan pemodelan struktur dan pembebanan pada SAP 2000 hingga didapat hasil berupa gaya yang akan dianalisis. Melakukan pengecekan dimana harus memenuhi syarat perhitungan momen $\Phi M_n \geq M_u$ dan harus memenuhi syarat perhitungan geser $\Phi V_n \geq V_u$ pada profil baja WF. Apabila tidak memenuhi maka dilakukan modifikasi dan diubah kedalam bentuk balok komposit. Agar terjadi aksi komposit antara baja dengan beton, maka digunakan penghubung geser.

Hasil analisis didapatkan bahwa pengaruh beban gempa sangat signifikan pada daerah tumpuan sehingga M_u yang dipakai adalah pada daerah tumpuan, setelah dilakukan analisis perhitungan komposit didapatkan terjadi perbesaran Momen yaitu, jika pada sebelum komposit didapat balok induk dengan $\Phi M_n = 219,24$ kNm dan pada balok anak dengan $\Phi M_n = 32,49$ kNm. Pada saat setelah komposit dida balok induk dengan $\Phi M_n = 361,57$ kNm dan pada balok anak dengan $\Phi M_n = 72,32$ kNm dengan begitu didapat perbesaran momen pada balok induk sebesar 65% dan balok anak sebesar 123%.

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

SUMMARY

Sony Pratama, Department of Civil Engineering, Faculty Of Engineering Brawijaya University, May 2020, The Alternatif Study of Vocational Laboratory and Vocational Creative Industry of Dieng Campus of Brawijaya University Buildings Plan Using Composite Beam Structure (Steel Profile and Reinforced Concrete), Supervising Lecture: Ir. M. Taufik Hidayat, MT., and Dr. Eng. Ming Narto W., ST, MT, M.Sc.

Building Construction using conventional procedure with reinforced concrete has deficiency in its implementation due to its tendency in carrying a relatively larger dead load. This condition affects the seismic load which applies when the dead load is relatively large. Composite Beam Structure was chosen due to its strength of being able put the material properties of its function in accordance with the structural requirements, such as Steel withstands Pull and Concrete withstands Push.

It is expected that the results of this analysis and evaluation would strengthen the readers understanding about analysis and serve as a desirable alternatif comparison in planning and implementing the usage of composite structure. In this discussion, The Buildings of Vocational Laboratory and Vocational Creative Industry of Dieng Campus of Brawijaya University serve as the objects that would be analyzed using composite beam. If compared with the beam that uses its original steel profile, composite beam is able to carry a bigger moment because of the addition of concrete plate.

Before starting the analysis, we conducted a structural modeling and loading to SAP 2000 to achieve the force that would be analyzed. We checked the moment to fulfill the $\Phi Mn \geq Mu$ moment calculation and $\Phi Vn \geq Vu$ sliding calculation requirements in WF steel profile. If the result did not fulfill the requirements, the steel profile would be modified into composite beam form. In order for the composite action between steel and concrete to happen, sliding connector was used.

The result that we acquired was that the seismic load was significant to the focus area which determined that Mu used in the study was Mu in the focus area. After the calculation using moment was conducted, we learned that a Moment magnification occurred. Before the composite, we knew that moments from the main beam and the joist were $\Phi Mn = 219,24 \text{ kNm}$ and $\Phi Mn = 32,49 \text{ kNm}$. However, after the composite, the moments that we acquired were $\Phi Mn = 361,57 \text{ kNm}$ and $\Phi Mn = 72,32 \text{ kNm}$. In conclusion, the main beam and the joist experienced a moment magnification by 65% and 123%

Key words: Beam Structure, Composite Steel, Composite Structure, Composite Beam, LRFD

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan zaman mengakibatkan masalah pembangunan semakin kompleks, maka dari itu harus diiringi dengan kemajuan pendidikan dan teknologi yang diharapkan dapat mempermudah manusia dalam mengatasi masalah. Kota Malang adalah salah satu kota yang sedang meningkatkan pembangunan fasilitas struktur dan infrastruktur untuk menunjang kemajuan pendidikan. Pembangunan akan terus dilakukan untuk menunjang kehidupan pendidikan dimasa mendatang

Salah satu contoh dalam rangka memberi kontribusi untuk menunjang kemjuan pendidikan di Kota Malang adalah Pembangunan Gedung Laboratorium Vokasi dan Industri Kreatif Vokasi Universitas Brawijaya Kampus Dieng, pembangunan gedung ini dimaksudkan untuk menambah fasilitas gedung tempat kegiatan perkuliahan yang nyaman dan aman

Gedung Laboratorium Vokasi dan Industri Kreatif Vokasi Universitas Brawijaya Kampus Dieng ini dibangun menggunakan struktur beton bertulang. Hal itu digunakan karena dianggap proses pengerjaannya yang mudah dan banyak digunakan, karena banyak digunakan maka mudah untuk mencari referensi pelaksanaannya. Meskipun begitu, beton bertulang juga memiliki kekurangan, yaitu pada pelaksanaannya cenderung memikul beban mati yang relatif lebih besar, hal ini mempengaruhi beban gempa yang juga bertambah besar apabila beban mati juga relatif besar.

Permasalahan diatas mendorong untuk melakukan alternatif perencanaan Gedung Laboratorium Vokasi dan Industri Kreatif Vokasi Universitas Brawijaya Kampus Dieng menggunakan Analisis Struktur Baja Komposit. Kini banyak alternatif pilihan material dan metode pelaksanaan yang dapat digunakan, penggunaan Struktur Baja Komposit ini adalah salah satunya. Struktur Baja Komposit dipilih karena memiliki beberapa kelebihan yaitu dapat memposisikan sifat material pada fungsinya sesuai kebutuhan struktur seperti baja kuat terhadap tarik dan beton kuat terhadap tekan



1.2 Identifikasi Masalah

Permasalahan yang dialami pada perencanaan struktur bangunan beresiko tinggi (*High Risk*) yaitu, bangunan tinggi memiliki resiko lebih besar akibat beban vertikal yang dipikul, beban gempa yang dipengaruhi oleh wilayah gempa dan menghasilkan dampak gempa kepada struktur komposit rencana

1.3 Rumusan Masalah

1. Bagaimana perencanaan alternatif dengan Stuktur Komposit menurut desain perhitungan struktur mengacu pada SNI 1729 2015 dan Metode LRFD pada Gedung Laboratorium Vokasi dan Industri Kreatif Vokasi Universitas Brawijaya Kampus Dieng ?
2. Bagaimana perbedaan struktur balok sebelum dan sesudah analisis komposit ?

1.4 Pembatasan Masalah

Agar permasalahan yang diteliti menjadi lebih jelas, diperlukan batasan masalah yaitu,

1. Objek evaluasi struktur yang ditinjau adalah Gedung Laboratorium Vokasi dan Industri Kreatif Vokasi Universitas Brawijaya Kampus Dieng di Kota Malang.
2. Analisis balok pada gedung Gedung Laboratorium Vokasi dan Industri Kreatif Vokasi Universitas Brawijaya Kampus Dieng di Kota Malang menggunakan struktur komposit
3. Sedangkan perhitungan kolom menggunakan struktur profil baja *Wide Flange Shape*.
4. Perhitungan dilakukan hanya sampai pada perhitungan kolom.
5. Mutu baja yang digunakan BJ-37
6. Mutu beton yang digunakan $f'c = 25$ MPa
7. Sistem rangka yang digunakan adalah Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB)
8. Tidak dilakukan perhitungan pada struktur bawah.
9. Tidak dilakukan perhitungan pada struktur atap
10. Beban diasumsikan sentris.
11. Tidak dilakukan analisis ekonomi.
12. Perhitungan respon spektrum menggunakan SNI – 1726 - 2012

1.5 Tujuan

Maksud dan tujuan dari perhitungan struktur Gedung Laboratorium Vokasi dan Industri Kreatif Vokasi Universitas Brawijaya Kampus Dieng di Kota Malang.

1. Untuk mengetahui cara perencanaan alternatif dengan Struktur Balok Komposit menurut desain perhitungan struktur mengacu pada SNI 1729 2015 dan Metode LRFD pada Gedung Laboratorium Vokasi dan Industri Kreatif Vokasi Universitas Brawijaya Kampus Dieng
2. Untuk mengetahui perbedaan struktur balok sebelum dan sesudah analisis komposit

1.6 Manfaat

Manfaat dari penyusunan skripsi ini adalah sebagai sarana meningkatkan pengetahuan dibidang Teknik Sipil khususnya pada keahlian Struktur. Penyusunan ini juga meningkatkan pemahaman dalam bidang konstruksi komposit yang dapat menahan beban gempa, bagi diri sendiri dan orang lain. Serta 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

Ada beberapa standar konstruksi Indonesia menggunakan 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 macam macam profil baja yang digunakan di indonesia :



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

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/m³.

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.

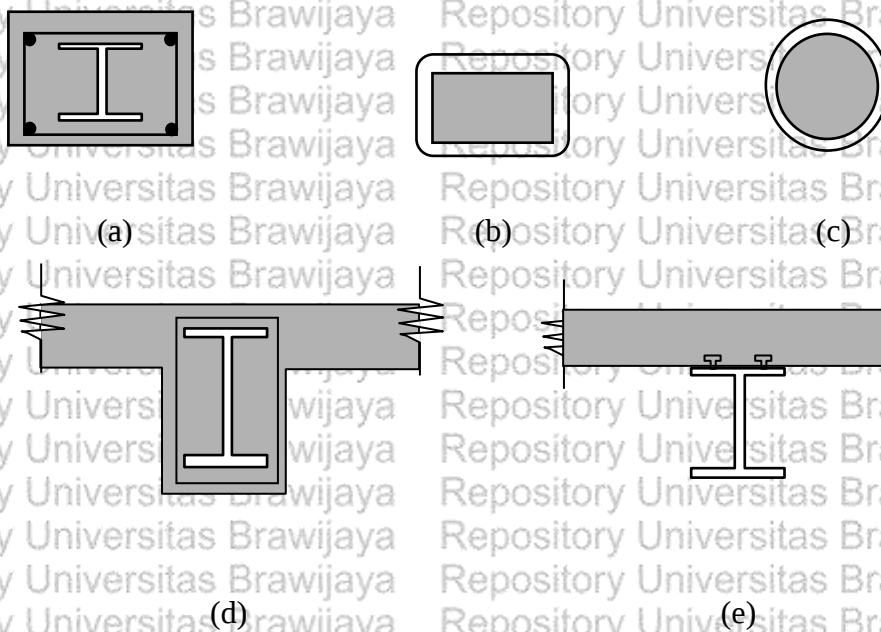
Susut secara umum didefinisikan sebagai perubahan volume beton yang tidak berhubungan langsung dengan beban. Pada dasarnya terdapat dua jenis susut, yaitu susut plastis dan susut pengeringan. Susut plastis terjadi beberapa jam setelah beton segar dicor ke dalam cetakan bekisting. Sedangkan susut pengeringan 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/d).
2. Kolom baja berisi beton/tiang pancang (Gambar b/c).
3. Balok baja yang menahan slab beton (Gambar e).



Gambar 2.1 Macam-macam Struktur Komposit
Sumber : Pujiyanto (diakses 2019)

Perencanaan komposit mengasumsikan bahwa baja dan beton bekerja bersama dalam menahan beban yang bekerja, sehingga dapat menghasilkan desain profil/elemen 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.



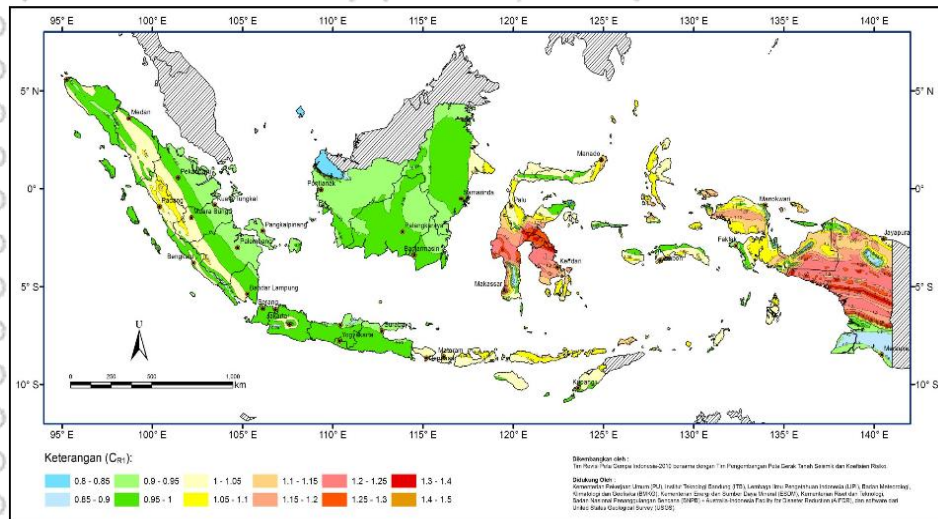
2.3.2 Metode Pelaksanaan Struktur Komposit

Perancangan balok komposit bergantung dengan metode yang digunakan di lapangan. Ada dua metode yang biasanya dipakai dalam pelaksanaan di lapangan yaitu dengan pendukung (perancah) dan atau tanpa pendukung.

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

Tanpa pendukung berarti balok baja akan mendukung beban mati primer selama beton belum mengeras. Beban mati sekunder serta beban-beban lain akan ditahan oleh balok komposit yang akan berfungsi apabila beton telah mengeras dan menyatu dengan baja.

Sumber : SNI 1726-2012 (2012)



Gambar 2.3 CR1, koefisien resiko terpetakan, periode respons spektrum 1 detik
Sumber : SNI 1726-2012 (2012)

2.4.3.2 Kategori Gedung

Pada SNI 1726-2012 Pasal 4.1.2, berdasarkan fungsinya gedung akan di klasifikasikan sebagai berikut:

Tabel 2.1
Kategori Resiko Bangunan Tahan Gempa

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

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 1726-2012 (2012)

2.4.3.3 Konfigurasi Gedung

Struktur Gedung dibedakan menjadi 2 golongan, yaitu beraturan dan tidak beraturan.

Pada SNI 1726-2012 Pasal 7.3.2 syarat-syarat yang kemudian dapat menentukan suatu gedung beraturan atau tidak.

Analisis gedung beraturan dapat dilakukan berdasarkan analisis statik ekuivalen.

Sedangkan gedung tidak beraturan memiliki pengaruh gempa rencana harus ditinjau sebagai pengaruh pembebanan dinamik yang analisisnya harus dilakukan berdasarkan analisis respon dinamis.



2.4.3.4 Respon Spektrum

Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek (F_a) dan factor 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, ditentukan dari perumusan berikut:

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

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

Keterangan

S_s = parameter respons spektrum percepatan gempa MCER terpetakan periode pendek.

S_1 = parameter respons spektrum percepatan gempa MCER terpetakan periode 1,0 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	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100

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

CATATAN: N/A = tidak dapat dipakai

Sumber : SNI 1726-2012 (2012)

Tabel 2.4
Koefisien Situs, F_a)

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

CATATAN:

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

Sumber : SNI 1726-2012 (2012)

Tabel 2.5
Koefisien Situs, F_v

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan pada perioda pendek, $T=1,0$ detik, S_1				
	$S_1 \leq 0.1$	$S_1 = 0.2$	$S_1 = 0.3$	$S_1 = 0.4$	$S_1 \geq 0.5$
SA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
SB	1	1	1	1	1
SC	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
SD	2.4	2	1.8	1.6	1.5
SE	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4
SF	SS ^b				

CATATAN :

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

Sumber : SNI 1726-2012 (2012)

2.4.3.5 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:

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

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

2.4.3.6 Respon 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:

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

- 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:

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



19

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

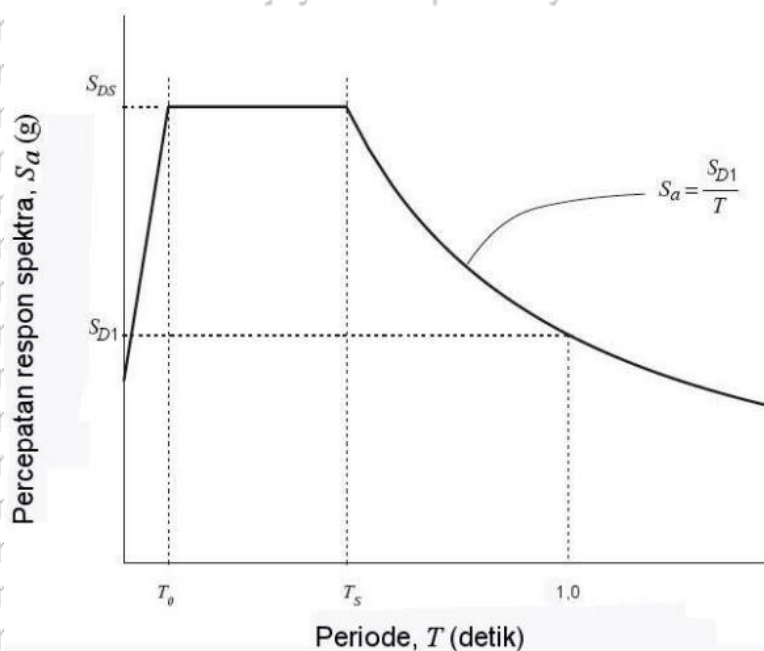
$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad \dots(2-8)$$

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 2.4 Desain Respon Spektrum

Sumber : SNI 1726-2012 (2012)

2.4.4 Kombinasi Pembebanan

Berdasarkan SNI 1729-2015 (pasal B2), beban dan kombinasi beban harus seperti yang ditetapkan oleh peraturan bangunan yang berlaku. Kombinasi beban yang berlaku yaitu SNI-1726-2012 berikut adalah kombinasi pembebanan:

1. $1,4 D$
2. $1,2 D + 1,6 L + 0,5 (Lr \text{ atau } R)$
3. $1,2 D \pm 1,6 L (Lr \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5W)$
4. $1,2 D \pm 1,0 W + L + 0,5 (Lr \text{ atau } R)$
5. $1,2 D \pm 1,0 E + L$
6. $0,9 D \pm 1,0 W$
7. $0,9 D \pm 1,0 E$



Keterangan:

D

= Beban mati yang diakibatkan oleh berat konstruksi permanen, termasuk dinding, atap, lantai, plafon, partisi tetap, tangga, dan peralatan tetap.

L = Beban hidup yang ditimbulkan oleh penggunaan gedung, termasukkejut, tetapi tidak termasuk beban lingkungan seperti angin, hujan dan lain - lain.

L_r = Beban hidup di atap yang ditimbulkan selama perawatan oleh pekerja, peralatan, dan material, atau selama penggunaan biasa oleh orang dan benda bergerak.

W = Beban angin.

E

= Beban gempa, yang ditentukan menurut SNI - 1726 - 2012 atau penggantinya.

R = Beban hujan, tidak termasuk diakibatkan oleh genangan air.

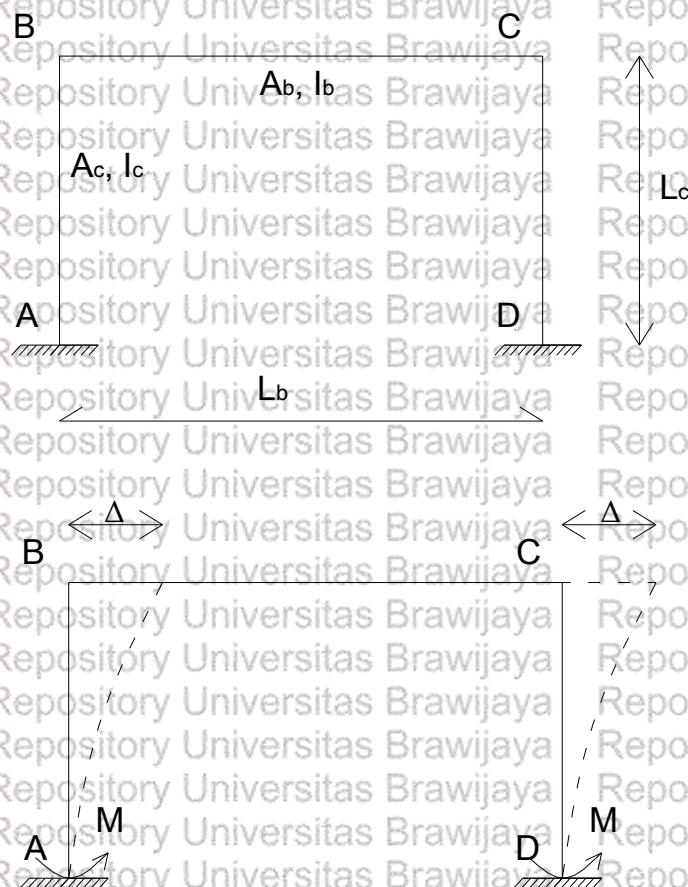
2.5 Analisis Struktur

Analisis struktur menurut cara - cara mekanika teknik yang baku merupakan praperencanaan bagi desain struktur. Dengan menggunakan bantuan aplikasi komputer akan mempermudah perhitungan analisis struktur, khususnya struktur statis tak tentu.

Portal Statis Tak Tentu, pada rangka statis tak tentu terjadi hal yang sama dengan balok statis tak tentu. Untuk mendapatkan pengaruh sekunder dari prategang dapat digunakan metode beban ekuivalen.



21



Gambar 2.5 Portal Statis Tak Tentu

Sumber : Analisis Terdahulu

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

Pada portal yang berada pada suatu sistem struktur yang terdiri dari portal berbagai arah, pengaruh prategang pada umumnya amat kecil sehingga bisa tidak dihiraukan. Tetapi untuk portal dua dimensi, momen primer maupun momen sekunder sangat dipengaruhi oleh



perpendekan aksial sehingga pengaruh perpendekan tersebut diakomodasi dalam desain.

Dalam perencanaan portal beton prategang, pengaruh utama serupa beban hidup, beban mati, dan beban lateral (angin dan gempa) ditentukan terlebih dahulu, kemudian pengaruh sekunder dan tersier dapat ditentukan. Penjumlahan dari berbagai pengaruh tersebut digunakan untuk pendimensian ulang komponen portal. Prosedur perencanaan portal beton prategang melibatkan perhitungan momen primer, sekunder dan tersier; serta melakukan analisis lentur, geser, puntir, dan lain-lain.

2.5.1 Analisis Balok dan Kolom

2.5.1.1 Perhitungan Balok

1. Desain Penampang Balok (SNI 1729 – 2015 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:

$$\lambda = \frac{h}{t_w} \dots (2-9)$$

$$\lambda_p = 3,76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \dots (2-10)$$

$$\lambda_r = 5,70 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \dots (2-11)$$

Untuk pengertian penampang kompak, tak kompak, dan langsing suatu komponen struktur yang memikul lentur, ditentukan oleh kelangsingan elemen tekannya yang ditentukan pada SNI 1729 – 2015 Pasal F2 dan Pasal F3.

a. Penampang kompak

Untuk penampang yang memenuhi

$\lambda \leq \lambda_p$ maka kuat lentur nominal penampang adalah:

$$M_n = M_p = f_y \cdot Z_x \dots (2-12)$$

b. Penampang tak kompak

Untuk penampang yang memenuhi

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

$$M_n = \left[M_p - (M_p - 0,7 f_y S_x) \frac{(\lambda - \lambda_{pf})}{(\lambda_{rf} - \lambda_{pf})} \right] \dots (2-13)$$

c. Penampang langsing

Untuk pelat sayap yang memenuhi

$\lambda_r \leq \lambda$ maka lentur nominal penampang adalah :

$$M_n = \frac{0,9 E k_c S_x}{\lambda^2} \dots (2-14)$$

2. Lebar Efektif

Lebar pada beton yang dihitung dalam perencanaan balok komposit adalah lebar lantai beton yang dapat bekerja sama dengan baja atau disebut juga lebar efektif. Dalam struktur komposit konsep lebar efektif pelat dapat dipakai sehingga akan memudahkan perencanaan.

Spesifikasi LRFD - 13.1 telah mematok lebar efektif untuk pelat beton yang bekerja secara komposit dengan balok baja, sebagai berikut:

(Setiawan, 2008)

Untuk gelagar dalam (interior)

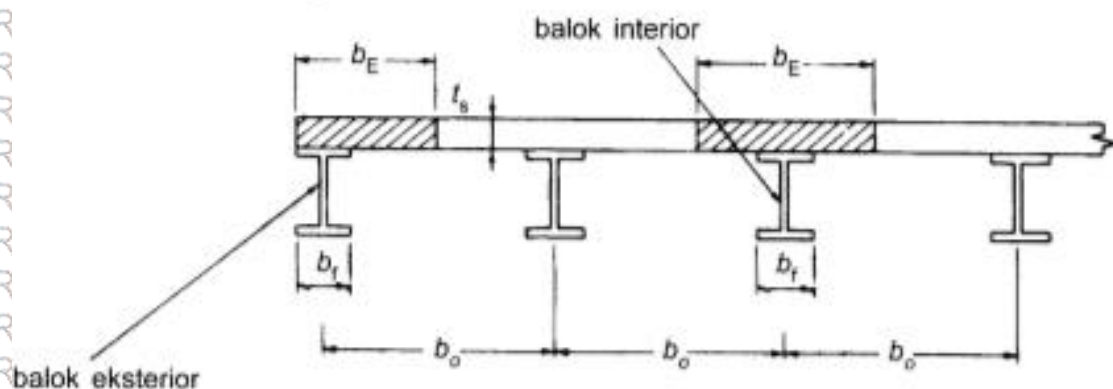
$$a. \quad b_e = \frac{L}{4} \dots (2-15)$$

$$b. \quad b_e = b_o \dots (2-16)$$

Untuk gelagar luar (eksterior)

$$a. \quad b_e = \frac{L}{8} + (\text{jarak pusat balok ke tepi pelat}) \dots (2-17)$$

$$b. \quad b_e = 0,5 b_o + (\text{jarak pusat balok ke tepi pelat}) \dots (2-18)$$



Gambar 2.6 Lebar efektif balok komposit

Sumber: Setiawan (2008)



Lebar efektif yang digunakan dipilih yang paling terkecil.

Keterangan:

L ialah panjang bentang

b_0 ialah (jarak antar gelagar dalam)

3. Kuat Lentur Balok Komposit

Kuat lentur nominal dari suatu komponen struktur komposit menurut SNI 03 – 1729 - 2015 disebutkan sebagai berikut:

a) Untuk $\frac{h}{t_w} \leq 3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$... (2-19)

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

$$\Phi = 0,85$$

b) Untuk $\frac{h}{t_w} > 3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$... (2-20)

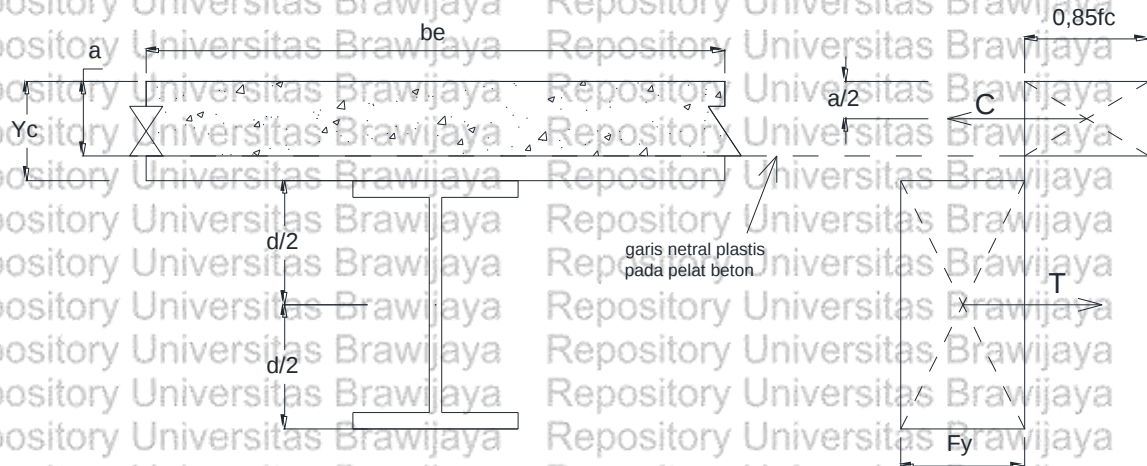
M_n adalah kuat lentur nominal yang dihitung dari superposisi tegangan elastis yang mempertimbangkan pengaruh akibat tumpuan sementara (perancah)

$$\Phi = 0,9$$

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 2.7 Distribusi tegangan plastis lapangan case 1
Sumber : Dewobroto (2016)

Dengan berpatok dengan Gambar 2.7, maka besar gaya tekan C adalah:

$$C = 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b_e \quad \dots (2-21)$$

Gaya tarik (T) pada profil baja yaitu berdasarkan :

$$T = A_s \cdot f_y \quad \dots (2-22)$$

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

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b_e} \quad \dots (2-23)$$

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

$$Y_2 = Y_c - \frac{1}{2} a \quad \dots (2-24)$$

Kuat lentur nominal dapat diperoleh berpatok dari Gambar 2.7:

$$M_n = C \left(Y_2 + \frac{1}{2} d \right) = 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b_e \left(Y_2 + \frac{1}{2} d \right) \quad \dots (2-25)$$



$$= T \left(Y_2 + \frac{1}{2} d \right) = A_s \cdot f_y \left(Y_2 + \frac{1}{2} d \right) \quad \dots (2-26)$$

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 2.8 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 berpatok dengan Gambar 2.8, maka besargaya tekan C adalah:

$$C = 0,85 \cdot f_c' \cdot t \cdot b_e \quad \dots (2-27)$$

Gayatarik T pada profil bajayaitu sebesar:

$$T = A_s \cdot f_y \quad \dots (2-28)$$

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 :

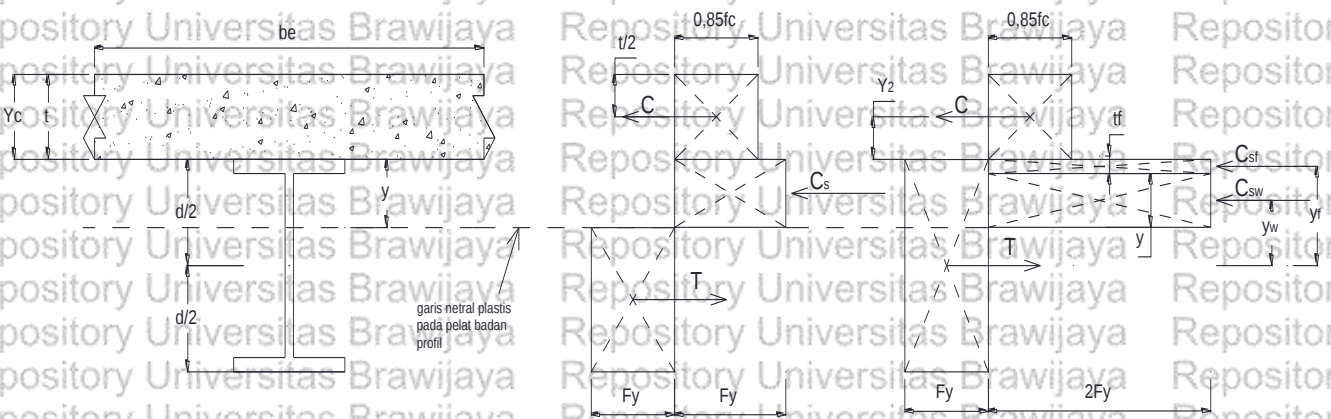
$$y = \frac{T - C}{b_f \cdot f_y} \leq t_f \quad \dots (2-29)$$

Maka kuat lentur penampang komposit dapat dihitung sebagai berikut :

$$C_{sm} = 2f_y \cdot y \quad \dots (2-30)$$

$$Mn = C \left(Y_2 + \frac{1}{2}d \right) + C_{sm} (d - y) \cdot \frac{1}{2} \quad \dots (2-31)$$

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



Gambar 2.9 Distribusi tegangan plastis lapangan case 3
Sumber : Dewobroto (2016)

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

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

$$C = 0,85 \cdot f_c' \cdot t \cdot b_e \quad \dots (2-32)$$

Gaya tarik T pada profil baja yaitu sejumlah

$$T = A_s \cdot f_y \quad \dots (2-33)$$

Adapun nilai- nilainya dihitung sebagai berikut :

$$C_{sf} = b_f \cdot t_f \cdot 2f_y \quad \dots (2-34)$$

$$y = \frac{T - C - C_{sf}}{tw \cdot f_y} \quad \dots (2-35)$$

$$C_{sw} = tw \cdot y \cdot 2f_y \quad \dots (2-36)$$

$$y_f = 1/2 (d - t_f) \quad \dots (2-37)$$

$$y_w = 1/2 (d + y) - t_f \quad \dots (2-38)$$

Selanjutnya dapat dicari kapasitas momen plastis sebagai berikut :

$$Mn = C \left(Y_2 + \frac{1}{2}d \right) + C_{sf} \cdot y_f + C_{sw} \cdot y_w \quad \dots (2-39)$$



Keterangan :

C = gaya tekan total

T = gaya Tarik total

A_s = luas penampang profil baja

f_c' = mutu beton

f_y = tegangan leleh baja

b. Kuat Lentur Negatif

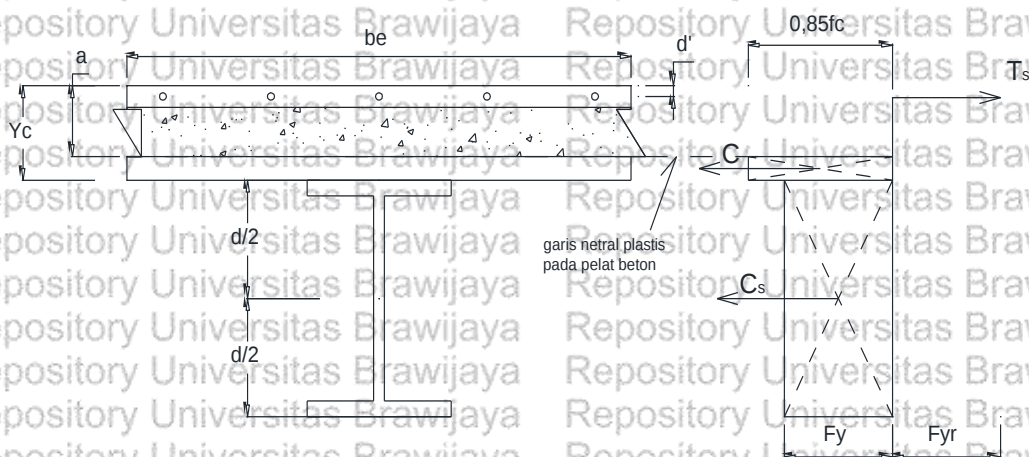
Desain kuat lentur negatif bekerja jika baja atau penampang komposit yang digunakan sederhana. Untuk penampang komposit, beton yang mempunyai gaya tarik tidak dihiraukan, tetapi diperhitungkan gaya tarik akibat baja tulangan pada pelat beton. Persamaan kesetimbangan berfungsi dengan ketentuan sebagai 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 2.10 Distribusi tegangan plastis tumpuan case 1

Sumber : Dewobroto (2016)

Dengan berpatok dengan Gambar 2.10, maka besar gaya :

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

$$T_{sr} = A_{sr} \cdot F_{yr} \quad \dots (2-40)$$

Gaya tekan C pada beton adalah

$$C = 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b_e \quad \dots (2-41)$$

Gaya tekan pada profil baja yaitu sebesar :

$$C_s = A_s \cdot f_y \quad \dots (2-42)$$

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

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b_e} \quad \dots (2-43)$$

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

Kuat lentur nominal dapat dihitung berpatok dari Gambar 2.8:

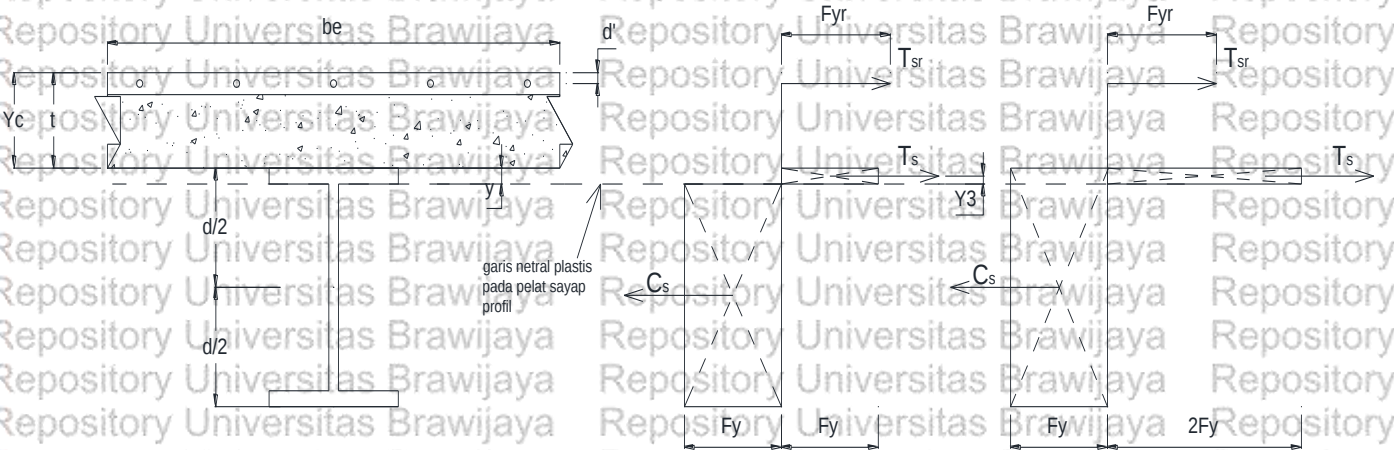
$$M_n = T_{sr} \left(\frac{d}{2} + Y_c - d' \right) - C \left(\frac{d}{2} + Y_c - a \right) \cdot \frac{1}{2} \quad \dots (2-44)$$

$$= A_s \cdot F_y \left(\frac{d}{2} + Y_c - d' \right) - 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b_e \left(\frac{d}{2} + Y_c - a \right) \cdot \frac{1}{2} \quad \dots (2-45)$$

Jika dari hasil diperoleh ternyata $a > t$, 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 2.11 Distribusi tegangan plastis tumpuan case 2

Sumber : Dewobroto (2016)

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

$$T_{sr} = A_s \cdot F_{yr} \quad \dots (2-46)$$

Gaya Tarik T_s pada pelat sayap adalah

$$T_s = y \cdot 2F_y \quad \dots (2-47)$$

Gaya tekan nominal dalam penampang balok komposit baja

$$C_s = A_s \cdot f_y \quad \dots (2-48)$$

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 :

$$y = \frac{C_s - T_{sr}}{bf \cdot f_y} \quad \dots (2-49)$$

Kuat lentur nominal negatif dapat ditentukan dengan perhitungan sebagai berikut:

$$M_n = T_{sr} \left(\frac{d}{2} + Y_c - d' \right) + T_s \left(\frac{d}{2} - \frac{1}{2} y \right) \quad \dots (2-50)$$

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



Gambar 2.12 Distribusi tegangan plastis tumpuan case 3
Sumber : Dewobroto (2016)

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

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

$$C_s = A_s \cdot f_y \quad \dots (2-51)$$

Gaya tarik T pada tualangan yaitu sebesar

$$T_{sr} = A_s \cdot f_{yr} \quad \dots (2-52)$$

Adapun nilai- nilainya dihitung sebagai berikut :

$$T_{sf} = bf \cdot tf \cdot 2 \cdot f_y \quad \dots (2-53)$$

$$y = \frac{C_s - T_{sr} - T_{sf}}{tw \cdot f_y} \quad \dots (2-54)$$

$$T_{sw} = tw \cdot y \cdot 2f_y \quad \dots (2-55)$$

$$y_f = \frac{1}{2} (d - tf) \quad \dots (2-56)$$

$$y_w = \frac{1}{2} (d + y) - tf \quad \dots (2-57)$$

Selanjutnya dapat dicari kapasitas momen plastis sebagai berikut :

$$Mn = T_{sr} \left(\frac{d}{2} + Y_c - d' \right) + T_{sf} \cdot y_f + T_{sw} \cdot y_w \quad \dots (2-58)$$



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 pada balok komposit, diperoleh dari kuat geser pelat badan profil baja.

Gaya geser yang terjadi pada balok komposit harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

$$\Phi V_n \geq V_u \quad \dots (2-59)$$

$$\Phi 0,6 \cdot f_y \cdot A_w \cdot C_v \geq V_u \quad \dots (2-60)$$

Dimana, A_w = luasan kotor pelat badan

2.5.1.2 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:

$$\lambda = \frac{h}{t_w} \dots (2-61)$$

$$\lambda_p = 3,76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \dots (2-62)$$

$$\lambda_r = 5,70 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \dots (2-63)$$

2. Tekuk Lentur dari Komponen Struktur Tekan (SNI 1729 – 2015 pasal E3)

$$P_n = F_{cr} \cdot A_g \dots (2-64)$$

dimana:

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

$$F_{cr} = \left[0,658 \frac{F_y}{F_e} \right] F_y \dots (2-65)$$

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

$$F_{cr} = 0,877 F_e \dots (2-66)$$

3. Persamaan Interaksi Aksial - Momen (SNI 1729 – 2015 pasal H1)

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

$$\frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1,0 \dots (2-67)$$

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

$$\frac{P_r}{2P_c} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1,0 \dots (2-68)$$



2.5.2 Kategori Gedung

Pada SNI – 1726 – 2012, menurut fungsinya, gedung akan diklasifikasikan sebagai kategori risiko bangunan gedung dan non-gedung untuk beban gempa yang tercantum dalam Tabel 2.

2.5.3 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 diakibatkan 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 gempa 1 dan 2.

b. Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)

Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah adalah suatu metode perencanaan struktur system rangka pemikul momen dimana menitik beratkan kewaspadaannya terhadap kegagalan struktur akibat keruntuhan geser. Sistem rangka ini digunakan sebagai perhitungan struktur gedung pada wilayah gempa 3 dan 4.

c. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus adalah komponen struktur yang mampu memikul gaya akibat beban gempa dan direncanakan untuk memikul lentur. SRPMK pada struktur bangunan diharapkan mampu mengalami deformasi yang relative besar apabila terbebani oleh gaya – gaya yang berasal dari beban gempa rencana.

2.6 Sambungan

2.6.1 Sambungan baut

$$\text{Tahanan geser } (\phi R_n) = 0,75 \cdot F_{nv} \cdot A_b \quad \dots (2-69)$$

$$\text{Tahanan tarik } (\phi R_n) = 0,75 \cdot F_{nt} \cdot A_b \quad \dots (2-70)$$

$$\text{Tahanan tumpu } (\phi R_n) = 0,75 \cdot F_m \cdot A_b \quad \dots (2-71)$$

Tahanan nominal yang diambil adalah nilai yang terkecil.

$$\text{Jumlah baut, } n = \frac{V_u}{\phi R_n} \quad \dots (2-72)$$

Keterangan

A_b = luas tubuh baut tidak berulir nominal atau bagian berulir (mm²)

F_{nv} = tegangan tarik nominal (MPa)

F_{nt} = tegangan geser (MPa)

Tabel 2.6

Kekuatan nominal pengencan dan bagian yang berulir (MPa)

Deskripsi Pengencang	Kekuatan Tarik Nominal, F_{nt} , ksi (MPa) ^[a]	Kekuatan Geser Nominal dalam Sambungan Tipe-Tumpu, F_{nv} , ksi (MPa) ^[b]
Baut A307	45 (310)	27 (188) ^{[c][d]}
Baut group A (misal, A325), bila ulir tidak dikecualikan dari bidang geser	90 (620)	54 (372)
Baut group A (misal, A325), bila ulir tidak termasuk dari bidang geser	90 (620)	68 (457)
Baut A490 atau A490M, bila ulir tidak dikecualikan dari bidang geser	113 (780)	68 (457)
Baut A490 atau A490M, bila ulir tidak termasuk dari bidang geser	113 (780)	84 (579)
Bagian berulir yang memenuhi persyaratan Pasal A3.4, bila ulir tidak dikecualikan dari bidang geser	$0,75 F_u$	$0,450 F_u$
Bagian berulir yang memenuhi persyaratan Pasal A3.4, bila ulir tidak termasuk dari bidang geser	$0,75 F_u$	$0,563 F_u$

^[a] Untuk baut kekuatan tinggi yang menahan beban fatik tarik, lihat Lampiran 3
^[b] Untuk ujung sambungan yang dibebani dengan panjang pola pengencang lebih besar dari 38 in. (965 mm), F_{nv} harus direduksi sampai 83,3 % dari nilai tabulasi. Panjang pola pengencang merupakan jarak maksimum sejajar dengan garis gaya antara sumbu baut-baut yang menyambungkan dua bagian dengan satu permukaan lekatan.
^[c] Untuk baut A307 nilai yang ditabulasikan harus direduksi sebesar 1 persen untuk setiap 1/16 in. (2 mm) di atas diameter 5 dari panjang pada pegangan/grip tersebut.
^[d] Ulir diizinkan pada bidang geser.

Sumber : SNI 1729-2015 (2015)



Tabel 2.7

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

^[a] Jika diperlukan, jarak tepi terkecil diizinkan asalkan ketentuan yang sesuai Pasal J3.10 dan J4 dipenuhi, tetapi jarak tepi yang kurang dari satu diameter baut tidak diizinkan tanpa persetujuan dari Insinyur yang memiliki izin bekerja sebagai perencana.
^[b] Untuk ukuran-berlebih atau lubang-lubang slot, lihat Tabel J3.5M.

Sumber : SNI 1729-2015 (2015)

2.6.2 Sambungan las

Pada desain sambungan las sudut, untuk menghitung kekuatan desain (ϕR_n) adalah:

$$R_n = F_{nw} \cdot A_{we} \quad \dots (2-73)$$

$$\phi = 0.75 \quad \dots (2-74)$$

Keterangan:

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

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

(SNI 1729-2015)

Panjang efektif las sudut

$$L_w = \frac{R_u}{\phi R_{nw}} \quad \dots (2-75)$$

Tabel 2.8

Ukuran minimum las sudut

Tebal bagian paling tebal, t (mm)	Tebal minimum las sudut, a (mm)
$t \leq 7$	3
$7 < t \leq 10$	4
$10 < t \leq 15$	5
$t > 15$	6

Sumber : SNI 1729-2015 (2015)

Sedangkan pembatasan ukuran maksimum las sudut:

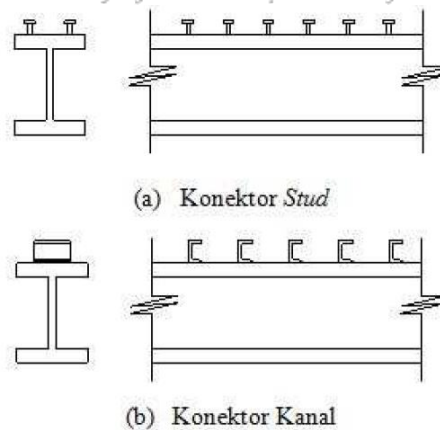
- a) Untuk komponen dengan tebal kurang dari 6,4 mm, diambil setebal komponen
- b) Untuk komponen dengan tebal 6,4 mm atau lebih diambil 1,6 mm kurang dari tebal komponen.

(SNI 03-1726-2012)

2.7 Penghubung geser

Desain komposit baja-beton balok sangat tergantung pada mekanisme transfer geser yang disediakan oleh penghubung geser (*shear connector*). Penghubung geser berfungsi untuk menahan geser horizontal yang terjadi selama proses pembebanan. Untuk mendapatkan penampang yang sepenuhnya komposit, penghubung geser harus cukup kaku sehingga dapat menahan geseran (*slip*) yang terjadi pada bidang pertemuan antara beton dan balok baja (Salmon, dkk, 1991).

2.7.1 Macam Macam Penghubung Geser



Gambar 2.13 Jenis-jenis Penghubung Geser.

Sumber : Analisis Sebelumnya



Untuk komposit yang bekerja menahan momen lentur positif gaya geser horisontal total antara titik momen nol harus diambil nilai terkecil dari: (Setiawan, 2008)

$$1. 0,85 \cdot f_c' \cdot A_c \quad \dots (2-76)$$

$$2. A_s \cdot f_y \quad \dots (2-77)$$

$$3. \sum Q_n \quad \dots (2-78)$$

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 dek harus ditentukan sebagai berikut:

$$Q_n = 0,5 A_{sa} \cdot \sqrt{f_c' E_c} \leq R_g \cdot R_p \cdot A_{sa} \cdot F_u \quad \dots (2-79)$$

Keterangan :

A_{sa} adalah luas penampang dari angkur *steel headed stud* (mm²)

F_u adalah kekuatan tarik minimum yang disyaratkan dari suatu angkur *steel headed stud* (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:

a) Satu angkur *steel headed stud* yang di las pada suatu rusuk dek baja dengan dek yang diorientasikan tegak lurus terhadap profil baja;

b) Sejumlah dari angkur *steel headed stud* di suatu lajur atau baris secara langsung terhadap profil baja;

c) Sejumlah dari angkur *steel headed stud* 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:

a) Dua angkur *steel headed stud* yang di las pada suatu rusuk dek baja dengan dek yang diorientasikan tegak lurus terhadap profil baja;

b) 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 $< 1,5$

$R_p = 0,7$ 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 pengisis gelagar, dan ditanamkan pada suatu plat komposit dengan dek diorientasikan paralel terhadap balok tersebut.

= 0,6 untuk ankur steel headed stud yang di las pada suatu plat komposit dengan dek yang diorientasikan tegak lurus terhadap balok dan $e_{mid-ht} < 50$ mm.

e_{mid-ht} = jarak dari tepi kaki ankur steel headed stud terhadap badan dek baja, diukur ditengah – tinggi dari rusuk dek, dan pada arah tumpuan beban dari ankur 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	1,0
Dek diorientasi 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**	0,75
Dek diorientasikan tegak lurus terhadap profil baja Jumlah dari ankur steel headed stud yang memiliki rusuk dek yang sama		
1	1,0	0,6 ⁺
2	0,85	0,6 ⁺
3 atau lebih	0,7	0,6 ⁺

Sumber :

h_r = tinggi rusuk nominal (mm)

w_r = lebar rata-rata dari rusuk atau voute beton (mm)

** untuk suatu ankur steel headed stud tunggal

* nilai ini dapat ditingkatkan sampai 0,75 bila $e_{mid-ht} < 51$ mm



b. Kuat geser kanal

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

$$Q_n = 0,3 \cdot (tf + 0,5 tw) \cdot \ell a \cdot \sqrt{f'_c} \cdot E_c \quad \dots (2-80)$$

Keterangan:

tf adalah ketebalan sayap angkur kanal (mm)

tw adalah ketebalan badan angkur kanal (mm)

ℓa 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.

2.7.2 Jumlah Angkur Baja

Jumlah dari angkur baja yang diperlukan antara setiap beban terpusat dan titik terdekat dari momen nol harus cukup untuk mengembangkan momen maksimum yang diperlukan di titik beban terpusat.

$$N = \frac{V_h}{Q_n} \quad \dots (2-81)$$

(Setiawan, 2008)

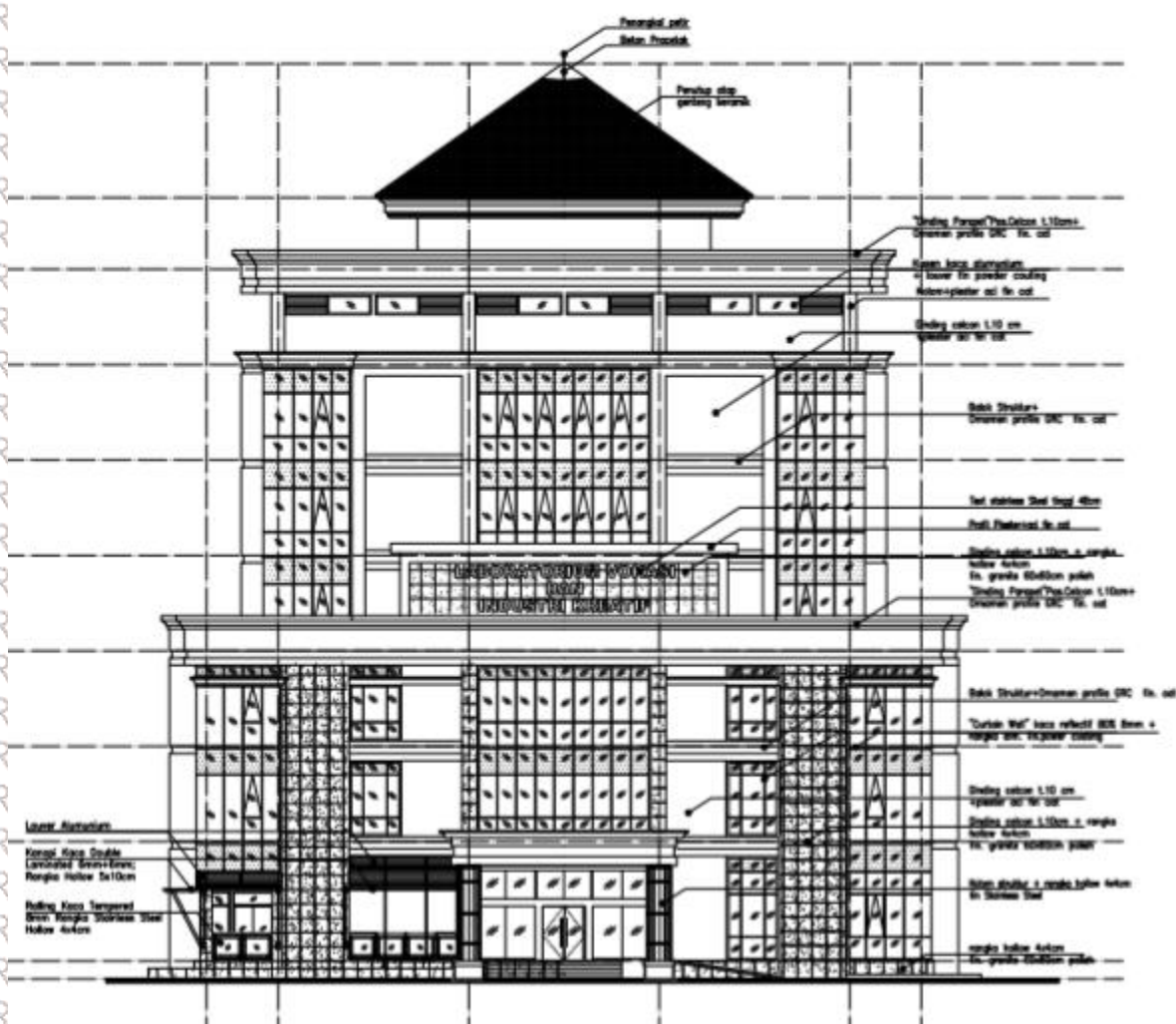
BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Pengumpulan Data

Data didapatkan dengan cara mengumpulkan gambar denah bangunan dari tim teknis Konsultan Perencana PT. Kosa Matra Graha yang berfungsi sebagai acuan untuk perencanaan dan menganalisis 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 : Gedung Laboratorium Vokasi dan Industri Kreatif Vokasi

Alamat Proyek : Kampus II Universitas Brawijaya, Kecamatan Dau,
Kabupaten Malang

Fungsi : Lantai 1 sampai 7 untuk Laboratorium.

Waktu Pelaksanaan : 180 hari (Juni 2018- Oktober 2018) untuk Tahap I

Biaya : Rp 7.269.260.280,00 untuk Tahap I

3.2.2 Data Teknis Gedung Awal

Struktur Gedung : Gedung menggunakan struktur beton

Jumlah lantai : 7 lantai

Tinggi Bangunan : ± 29 m

Tinggi Tiap Lantai

Lantai 1 : 5 m

Lantai 2-6 : 4 m

Lantai Atap : 4 m

Zona Gempa : 4

3.3 Prosedur Perencanaan

3.3.1 Analisis Pembebanan

Analisis pembebanan pada perencanaan Gedung Laboratorium Vokasi dan Industri Kreatif Vokasi Universitas Brawijaya di Kota Malang secara keseluruhan sebagai berikut:

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

Dari pembebanan diatas, maka beton bertulang Gedung Laboraturium Vokasi dan Industri Kreatif Vokasi Universitas Brawijaya harus mampu memikul seluruh kombinasi pembebanan berikut ini:

$$U = 1,4 D$$

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

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

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

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

$$U = 1,2 D \pm 1,0 L \pm 0,3 EQ$$

$$U = 1,2 D \pm 1,0 L \pm 0,3 EQ$$

$$0,9 D \pm 1,0 L \pm 1,0 EQ$$

Keterangan:

D : beban yang diakibatkan oleh berat konstruksi permanen

L : beban yang ditimbulkan oleh penggunaan gedung

A : beban atap

R : beban hidup

W : beban angin

E : beban gempa

3.3.2 Analisis Statika

Dalam studi alternatif ini digunakan aplikasi analisis struktur SAP 2000 V15 untuk membantu dalam menghitung besarnya momen, gaya aksial, serta gaya geser yang terjadi setelah diberikan beban pada Gedung Laboraturium Vokasi dan Industri Kreatif Vokasi Universitas Brawijaya. Perhitungan analisis gempa dalam skripsi ini menggunakan analisis respon spektrum dimana dengan digunakannya aplikasi ini akan membantu untuk menghitung gaya yang bekerja pada struktur akibat gaya gempa tersebut.

3.3.3 Desain Penampang

Prinsip dasar yang digunakan dalam pendesainan penampang pada Gedung Laboratorium Vokasi dan Industri Kreatif Vokasi Universitas Brawijaya yakni dengan menggunakan konsep LRED yang mengacu pada SNI 1729 2015.

Detail dari penampang balok yang digunakan pada skripsi ini adalah 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.

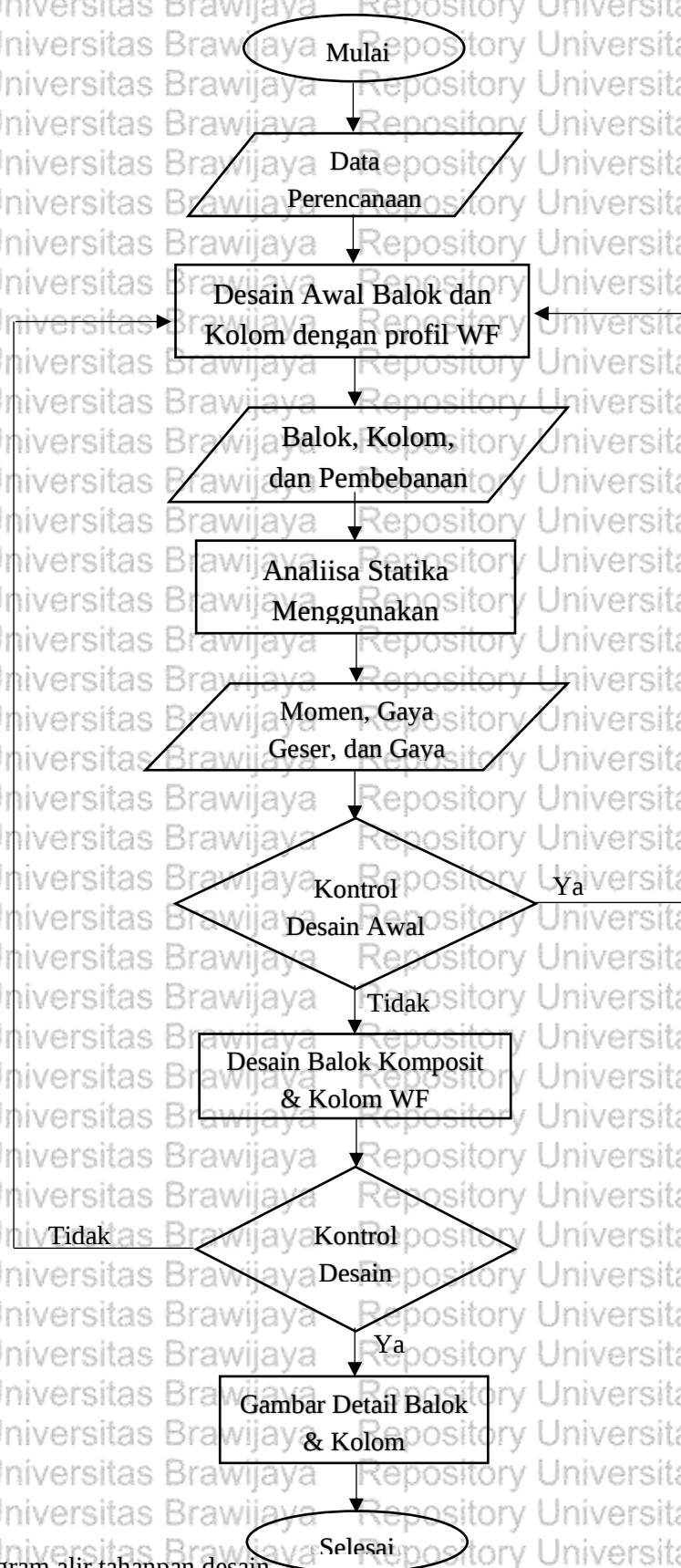
Setelah melakukan perencanaan awal dimensi, dilakukan kontrol penampang pada balok dan kolom yang telah direncanakan. Untuk kondisi dengan menggunakan profil WF, pembebanan yang dihitung berupa berat sendiri pelat, beban guna (hidup), spesi, dinding, plafond, dan keramik.

3.3.4 Gambar Struktur

Penggambaran dalam perencanaan dan perhitungan gambar Teknik ini dibantu dengan menggunakan software AutoCAD 2016. Gambar denah Gedung Laboratorium Vokasi dan Industri Kreatif Vokasi Universitas Brawijaya diletakkan pada lampiran 1.



3.4 Diagram Alir Perencanaan



Gambar 3.2 Diagram alir tahanan desain

Sumber : SNI 1729-2015 (2015)



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pembebanan Pada Struktur

4.1.1 Beban Mati (SNI 1727 2013)

Menurut Peraturan Pembebanan Beton Bertulang Indonesia untuk Gedung Tahun 2013 (SNI 1727 2013), pembebanan beban mati adalah seluruh bahan konstruksi dan komponen arsitektural, yaitu :

➤ Berat Sendiri / Bahan Bangunan

Profil baja *Wide Flange Shape (WF)*

➤ Beban Mati pada pelat lantai

Berat pasir setebal 1 cm = 0,16 kN/m²

Berat spesi setebal 3 cm = 0,66 kN/m²

Berat lantai keramik setebal 1 cm = 0,22 kN/m²

Berat Plafond dan Penggantung (etemit) = 0,2 kN/m²

Berat Instalasi ME = 0,25 kN/m² +

Total Beban Mati pada pelat lantai = 1,49 kN/m²

➤ Beban Mati pada pelat atap

Berat Waterproofing setebal 2 cm = 0,28 kN/m²

Berat Plafond dan Penggantung (etemit) = 0,2 kN/m²

Berat Instalasi ME = 0,25 kN/m² +

Total Beban Mati pada pelat lantai = 0,73 kN/m²

➤ Beban Mati pada balok

Beban dinding pasangan ½ batu

Lantai 1 (5m x 2,5 kN/m²) = 12,5 kN/m

Lantai 2- atap (4m x 2,5 kN/m²) = 10 kN/m



4.1.2 Beban Hidup (SNI 1727 2013)

Menurut Peraturan Pembebanan Beton Bertulang Indonesia untuk Gedung Tahun 2013 (SNI 1727 2013).

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 lantai

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

- Beban Hidup pada pelat atap

Beban air = 1 kN/m^2

4.1.3 Pembebanan Balok dan Pelat

Pembebanan pada pelat lantai dan pelat atap diinputkan ke SAP2000, 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 Pelat

4.2.1.1 Pelat atap (Lantai -7)

1. Beban Mati (berat sendiri)

Berat Sendiri = 1 selfweight pelat atap

2. Beban Mati pada pelat atap

Berat Waterproofing setebal 2 cm = $0,28 \text{ kN/m}^2$

Berat Plafond dan Penggantung (etemit) = $0,2 \text{ kN/m}^2$

Berat Instalasi ME = $0,25 \text{ kN/m}^2$

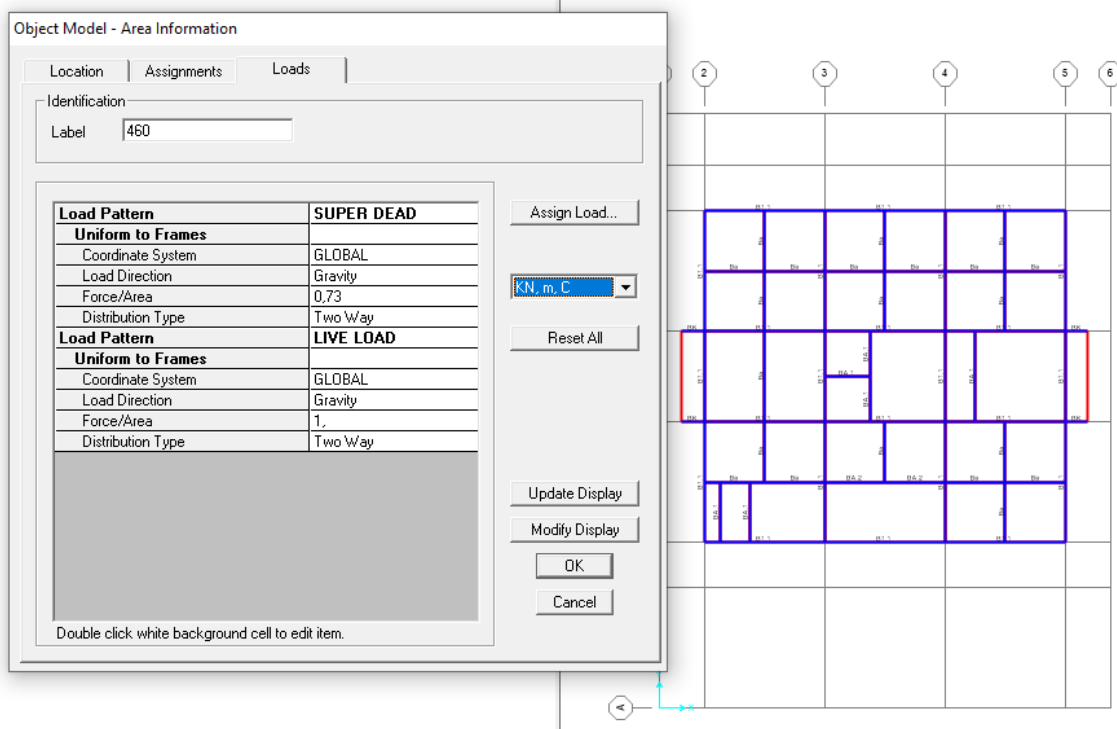
Total Beban Mati pada pelat lantai = $0,73 \text{ kN/m}^2$

49

3. Beban Hidup pada pelat atap

Beban air

$$= 1 \text{ kN/m}^2$$



Gambar 4.1 Beban Pada Pelat Atap

Sumber : Hasil Analisis pada SAP 2000

4.2.1.2 Pelat Lantai (Tipikal Lantai 2-6)

1. Beban Mati (berat sendiri)

Berat Sendiri

$$= 1 \text{ selfweight pelat lantai}$$

2. Beban Mati pada pelat lantai

Berat pasir setebal 1 cm

$$= 0,16 \text{ kN/ m}^2$$

Berat spesi setebal 3 cm

$$= 0,66 \text{ kN/ m}^2$$

Berat lantai keramik setebal 1 cm

$$= 0,22 \text{ kN/ m}^2$$

Berat Plafond dan Penggantung (etemit)

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

Berat Instalasi ME

$$= 0,25 \text{ kN/ m}^2$$

Total Beban Mati pada pelat lantai

$$= 1,49 \text{ kN/ m}^2$$

3. Beban Hidup pada pelat atap

49

Lobi dan Koridor lantai pertama = 4,79 kN/m²

Object Model - Area Information

Location | Assignments | Loads

Identification

Label: 316

Load Pattern	SUPER DEAD
Uniform to Frames	
Coordinate System	GLOBAL
Load Direction	Gravity
Force/Area	1,49
Distribution Type	Two Way

Assign Load...

KN, m, C

Reset All

Load Pattern	LIVE LOAD
Uniform to Frames	
Coordinate System	GLOBAL
Load Direction	Gravity
Force/Area	4,79
Distribution Type	Two Way

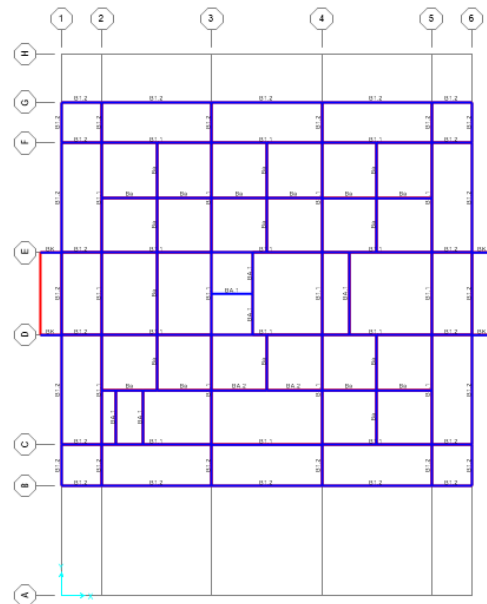
Update Display

Modify Display

OK

Cancel

Double click white background cell to edit item.



Gambar 4.2 Beban pada Pelat Lantai
Sumber : Hasil Analisis pada SAP 2000

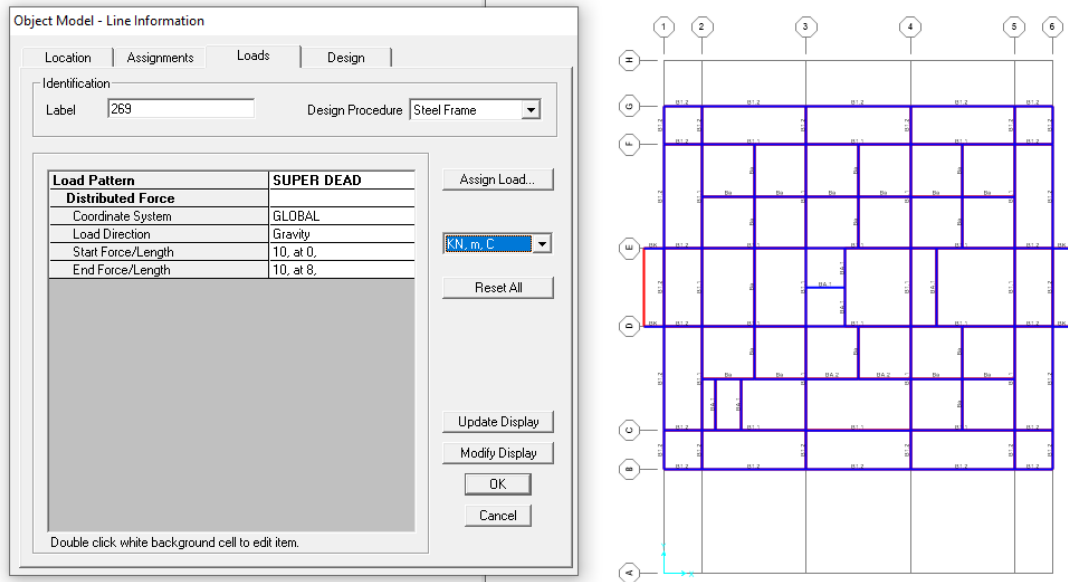
4.2.2 Pembebanan Balok

1. Beban Mati (berat sendiri)

Berat Sendiri (Profil WF) = 1 selfweight Profil WF

2. Beban Mati pada balok

Beban dinding pasangan ½ batu
Lantai 2- atap (4m x 2,5 kN/m²) = 10 kN/m



Gambar 4.3 Beban Mati pada Balok
Sumber : Hasil Analisis pada SAP 2000

4.2.3 Pembebanan Gempa

4.2.3.1 Menghitung Respon Spektrum Gempa

1. Menentukan Parameter Percepatan Tanah S_s (Percepatan Batuan Dasar Periode Pendek 0,2 Detik) Dan S_1 (Percepatan Batuan Dasar Periode 1,0 Detik)

Dari peta Kota Malang, maka $S_s = 0,7 - 0,8$ g dipilih 0,8 g dan $S_1 = 0,3 - 0,4$ g dipilih 0,4 g.



Gambar 4.4 Peta SS pada Kota Malang
Sumber : SNI 1726-2012



Gambar 4.5 Peta S1 pada Kota Malang
Sumber : SNI 1726-2012

2. Menentukan Kelas Situs Lokasi Berdasarkan Profil Tanah

Tabel 4.1

Klasifikasi Situs berdasarkan tanah

Kelas situs	$\bar{v}_s$ (m/detik)	$\bar{N}$ atau $\bar{N}_{ch}$	$\bar{s}_u$ (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100

Tabel 3 Klasifikasi situs (lanjutan)

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 1726-2012 (2012)

Untuk kota Malang memiliki jenis tanah keras, sangat padat dan batuan lunak sedang sehingga masuk kelas situs SC

3. Menentukan Parameter F_a (Faktor Amplifikasi Terkait Percepatan Yang Mewakili Getaran Periode Pendek 0,2 Detik) Dan F_v (Faktor Amplifikasi Terkait Percepatan Yang Mewakili Getaran Periode Panjang 1 Detik).

Tabel 4.2
Analisis Koefisien Situs F_a

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

CATATAN:

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

Sumber : SNI 1726-2012 (2012)

Untuk SC (tanah keras) dan $S_s = 0,8$ didapat $F_a = 1,08$ dari interpolasi $S_s = 0,5$ dan $S_s = 0,75$

Tabel 4.3
Analisis Koefisien Situs F_v

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

CATATAN :

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

Sumber : SNI 1726-2012 (2012)

Untuk SC (tanah keras) dan $S_1 = 0,4$ didapat $F_v = 1,4$ dari interpolasi $S_1 = 0,3$ dan $S_1 = 0,4$

4. Menentukan Parameter S_{MS} (Parameter Spektrum Respons Percepatan Pada Periode Pendek 0,2 Detik) Dan S_{M1} (Parameter Spektrum Respons Percepatan Pada Periode Panjang 1 Detik)

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

$$S_{MS} = 1,08 \times 0,8 = 0,864$$

Sehingga didapat nilai $S_{MS} = 0,864$ g dan $S_{M1} = 0,56$ g

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

$$S_{M1} = 1,4 \times 0,4 = 0,56$$

5. Menentukan Parameter S_{DS} (Parameter Percepatan Spektral Desain Untuk Periode Pendek 0,2 Detik) Dan S_{D1} (Parameter Percepatan Spektral Desain Untuk Periode Panjang 1 Detik)

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

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \cdot 0,864 = 0,576$$

Sehingga didapat nilai $S_{DS} = 0,576$ g dan $S_{D1} = 0,373$ g

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

$$S_{D1} = \frac{2}{3} \times 0,56 = 0,373$$

6. Menentukan T_0 (Periode Getar Fundamental Struktur Periode Pendek 0,2 Detik) Dan T_s (Periode Getar Fundamental Struktur Periode Panjang 1 Detik)

$$T_0 = 0,2 \cdot \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

$$T_0 = 0,2 \cdot \frac{0,373}{0,576} = 0,129$$

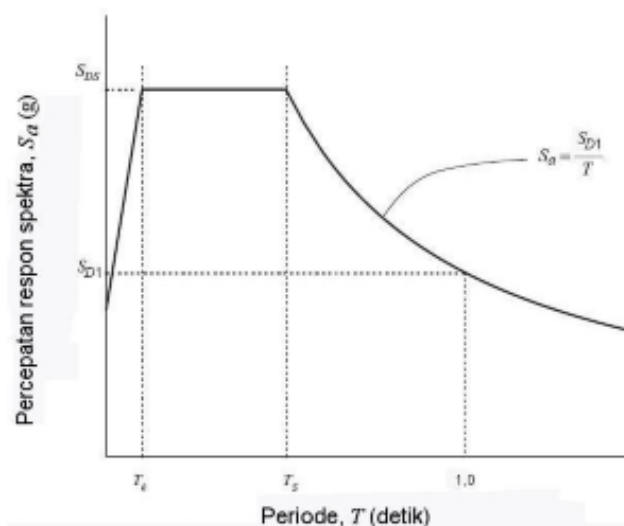
Sehingga didapat nilai $T_0 = 0,129$ g dan $T_s = 0,648$ g

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

$$T_s = \frac{0,373}{0,576} = 0,648$$

7. Grafik Respon Spektrum Desain

Bila spektrum respon desain diperlukan oleh tata cara ini dan prosedur gerak tanah dari pesifik-situs tidak digunakan, maka kurva spectrum respons desain harus dikembangkan dengan mengacu gambar 1 dan mengikuti ketentuan di bawah ini :





Gambar 4.6 Respon Spektrum Desain
Sumber : SNI 1726-2012 (2012)

1. Untuk perioda yang lebih kecil dari T_0 , spectrum respons percepatan desain, S_a , harus di ambil dari persamaa :

$$S_a = S_{Ds} (0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0})$$

2. Untuk perioda lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s , spectrum repons percepatan desain, s_a , ma dengan SDS

3. Untuk perioda lebih besar dari T_s , spectrum respons percepatan desai S_a diambil berdasarkan persamaan ;

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T}$$

Tabel 4.4
Analisis Respon Spektrum

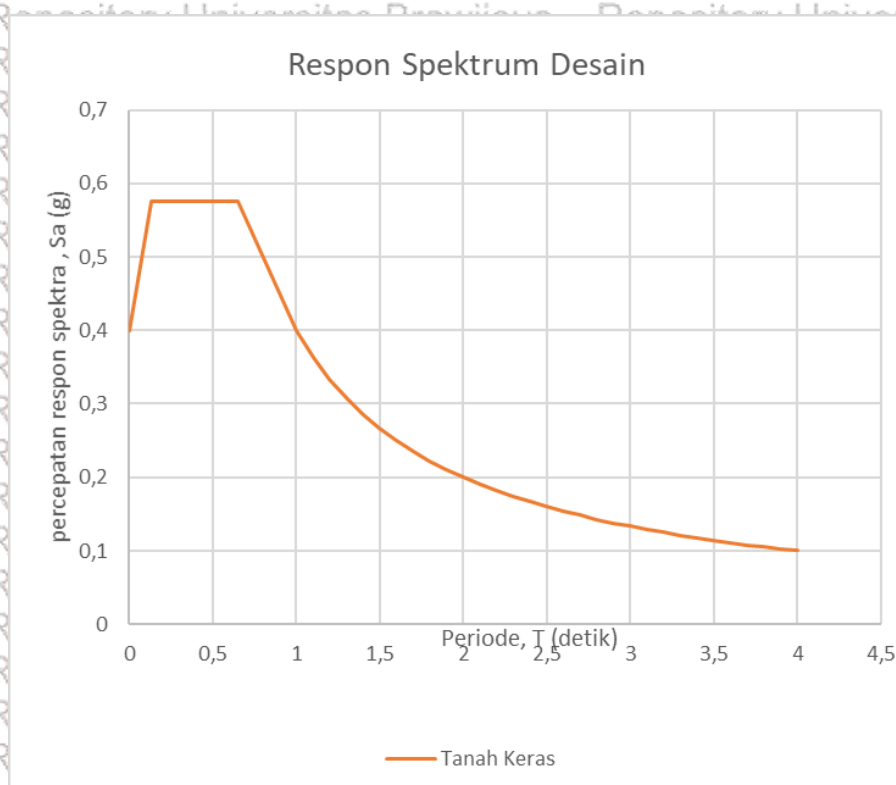
SC (Tanah Keras)	
Periode, T (detik)	Percepatan respon Spektra, $S_a(g)$
0	0,4
0,129	0,576
0,648	0,576
1	0,400
1,1	0,364
1,2	0,333
1,3	0,308
1,4	0,286
1,5	0,267
1,6	0,250
1,7	0,235
1,8	0,222
1,9	0,211
2	0,200
2,1	0,190
2,2	0,182
2,3	0,174
2,4	0,167

Data	
S_1	0,4
S_s	0,8
F_A	1,08
F_v	1,4
S_{MS}	0,864
S_{M1}	0,56
S_{DS}	0,576
S_{D1}	0,373
T_0	0,129
T_s	0,648

57

2,5	0,160
2,6	0,154
2,7	0,148
2,8	0,143
2,9	0,138
3	0,133
3,1	0,129
3,2	0,125
3,3	0,121
3,4	0,118
3,5	0,114
3,6	0,111
3,7	0,108
3,8	0,105
3,9	0,103
4	0,100

Sumber : Hasil Analisis



Gambar 4.7 Analisis Respon Spektrum
Sumber : Hasil Analisis

4.2.3.2 Menghitung Faktor Pengali

1. Faktor keutamaan dan kategori risiko struktur bangunan

Tabel 4.5

Analisis kategori Risiko Bangunan Gedung

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
Gedung dan non gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain: - Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya	I
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/ rumah susun - Pusat perbelanjaan/ mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik	II

Sumber : SNI 1726-2012 (2012)

Tabel 4.6

Analisis Kategori Risiko

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

Sumber : SNI 1726-2012 (2012)

Dengan fungsi gedung sebagai gedung pemerintahan, maka bangunan termasuk dalam kategori I dengan nilai sebesar $I_e = 1$ (berdasarkan tabel 2, SNI 1726 : 2012, hal 15)

2. Koefisien Modifikasi Respons (R)

Tabel 4.7

Analisis Koefisien Modifikasi Respons (R)

Sistem penahan-gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R^a	Faktor kuat-lebih sistem, Ω_0^g	Faktor pembesaran defleksi, C_d^b	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m) ^c				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D ^d	E ^d	F ^e
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
C. Sistem rangka pemikul momen								
1. Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka batang baja pemikul momen khusus	7	3	5½	TB	TB	48	30	TI
3. Rangka baja pemikul momen menengah	4½	3	4	TB	TB	10 ^{h,j}	TI ^h	TI ⁱ
4. Rangka baja pemikul momen biasa	3½	3	3	TB	TB	TI ^h	TI ^h	TI ⁱ
5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
7. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2½	TB	TI	TI	TI	TI
8. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
9. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen menengah	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
10. Rangka baja dan beton komposit terkekang parsial pemikul momen	6	3	5½	48	48	30	TI	TI
11. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen biasa	3	3	2½	TB	TI	TI	TI	TI
12. Rangka baja canal dingin pemikul momen khusus dengan pembautan	3½	3 ^o	3½	10	10	10	10	10

Sumber : SNI 1726-2012 (2012)

Didapat $R = 3,5$ (berdasarkan tabel 9, SNI 1726 : 2012, hal 35-36)

Sesuai SNI 03-1726-2012 maka input respon spektrum

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

g = gravitasi bumi (10 m/s²)

I_e = factor keutamaan Gedung = 1 (kategori resiko 1)

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

$$\frac{g \cdot I_e}{R} = \frac{10 \cdot 1}{3,5} = 2,86$$



4.3 Kombinasi Pembebanan

Struktur dan komponen struktur harus direncanakan sehingga semua penampang mendapatkan kekuatan rencana minimum yang sama dengan kuat perlu, yang dihitung berdasarkan kombinasi pembebanan dan gaya yang sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Perhitungan kombinasi pembebanan pokok yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- a. Bila kuat perlu U untuk menahan beban mati D , dan beban hidup L , dan juga beban atap L_r atau beban hujan R , paling tidak harus sama dengan:

$$U = 1,4 D$$

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

- b. Bila ketahanan struktur terhadap beban angin W , maka harus dipertimbangkan dalam perencanaan. Pengaruh kombinasi D , L , dan W yang akan dihitung menentukan nilai U yang terbesar, yaitu:

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

$$U = 1,2 D + 1,0 W + L + 0,5 (L_r \text{ atau } W)$$

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

- c. Bila ketahanan struktur terhadap beban gempa E , maka harus dipertimbangkan dalam perencanaan. Pengaruh dari kombinasi D , L , dan E yang akan dihitung menentukan nilai U yang paling besar yaitu:

$$U = 1,2 D + 1,0 L + 0,3 EQ$$

$$\circ (1,2 + 0,2 Sds) D + 1,0 L + 1,0 RSX + 0,3 RSY$$

$$\circ (1,2 + 0,2 Sds) D + 1,0 L - 1,0 RSX - 0,3 RSY$$

$$U = 1,2 D + 1,0 L + 0,3 EQ$$

$$\circ (1,2 + 0,2 Sds) D + 1,0 L + 0,3 RSX + 1,0 RSY$$

$$\circ (1,2 + 0,2 Sds) D + 1,0 L - 0,3 RSX - 1,0 RSY$$

$$U = 0,9 D + 1,0 L + 1,0 EQ$$

$$\circ (0,9 - 0,2 Sds) D + 1,0 L + 1,0 RSX + 0,3 RSY$$

$$\circ (0,9 - 0,2 Sds) D + 1,0 L - 1,0 RSX - 0,3 RSY$$

$$U = 0,9 D + 1,0 L + 1,0 EQ$$

$$\circ (0,9 - 0,2 Sds) D + 1,0 L + 0,3 RSX + 1,0 RSY$$

$$\circ (0,9 - 0,2 Sds) D + 1,0 L - 0,3 RSX - 1,0 RSY$$

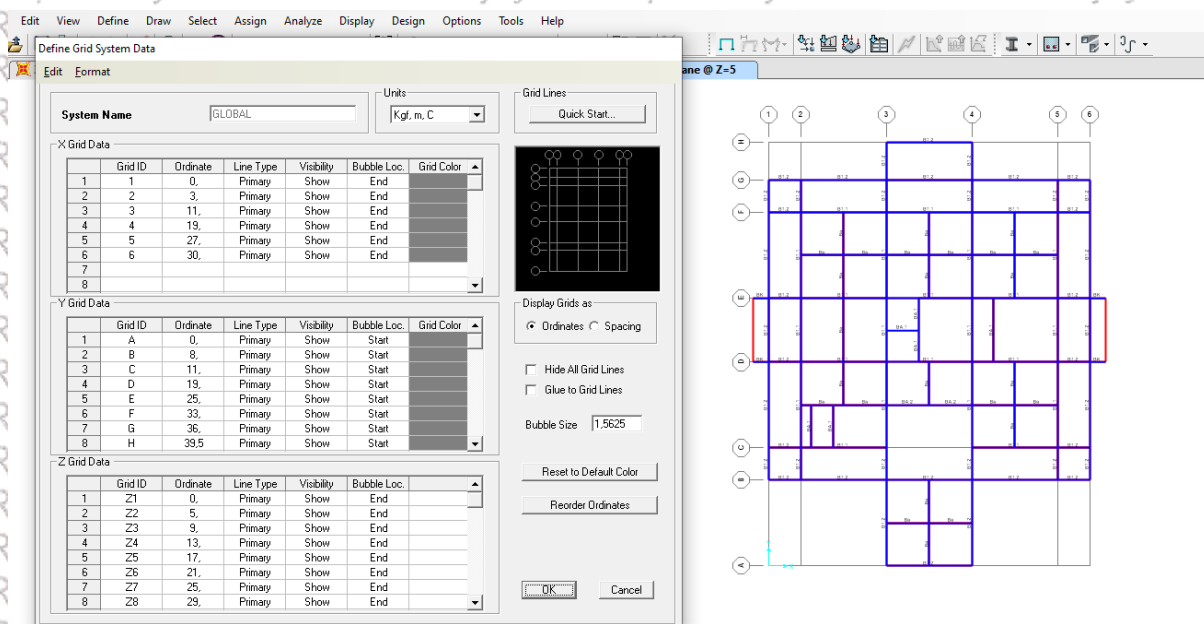
Faktor beban untuk beban hidup boleh direduksi menjadi 0,5 L kecuali untuk ruangan pertemuan, ruangan garasi, dan semua ruangan dengan beban hidup lebih besar dari 500 kg/m.

4.4 Pemodelan Pada SAP 2000

Ada beberapa tahapan yang dilakukan untuk membuat pemodelan struktur pada software SAP2000. Berikut adalah beberapa tahapan dan input yang dimasukkan pada software SAP2000 :

a. *Grid System*

Grid system adalah pembuatan tanda untuk memuat informasi tentang letak koordinat titik-titik pada struktur dalam sumbu x, y dan z.



Gambar 4.8 Grid System

Sumber : Hasil Analisis

b. *Define → Materials*

Memuat informasi data material atau mutu bahan yang akan digunakan dalam pemodelan struktur bangunan.

Material Property Data

General Data
Material Name and Display Color: Baja BJ-37
Material Type: Steel
Material Notes: Modify/Show Notes...

Weight and Mass
Weight per Unit Volume: 7.697E-05
Mass per Unit Volume: 7.849E-09
Units: N, mm, C

Isotropic Property Data
Modulus of Elasticity, E: 199947.98
Poisson's Ratio, U: 0.3
Coefficient of Thermal Expansion, A: 1.170E-05
Shear Modulus, G: 76903.07

Other Properties for Steel Materials
Minimum Yield Stress, Fy: 240
Minimum Tensile Stress, Fu: 370
Effective Yield Stress, Fye: 240
Effective Tensile Stress, Fue: 370

☐ Switch To Advanced Property Display

OK Cancel

Material Property Data

General Data
Material Name and Display Color: Beton f'c 25 mpa
Material Type: Concrete
Material Notes: Modify/Show Notes...

Weight and Mass
Weight per Unit Volume: 23.538
Mass per Unit Volume: 2.400E-03
Units: N, mm, C

Isotropic Property Data
Modulus of Elasticity, E: 199947.98
Poisson's Ratio, U: 0.3
Coefficient of Thermal Expansion, A: 1.170E-05
Shear Modulus, G: 76903.07

Other Properties for Concrete Materials
Specified Concrete Compressive Strength, f'c: 25
☐ Lightweight Concrete
Shear Strength Reduction Factor:
☐ Switch To Advanced Property Display

OK Cancel

Gambar 4.9 Material pada SAP 2000

Sumber : Hasil Analisis

c. Define → Section Properties

Memuat informasi tentang data dimensi balok, kolom dan pelat. Juga semua data elemen dari struktur batang tiga dimensi pada struktur dan dapat dikoneksikan dengan mutu material pada menu *define*.

• Frame Section

I/Wide Flange Section

Section Name: B1.1
Section Notes: Modify/Show Notes...

Properties: Section Properties...
Property Modifiers: Set Modifiers...
Material: + Baja BJ-37

Dimensions
Outside height (t3): 0.2
Top flange width (t2): 0.15
Top flange thickness (tf): 9.000E-03
Web thickness (tw): 6.000E-03
Bottom flange width (t2b): 0.15
Bottom flange thickness (tfb): 9.000E-03

Display Color: ■

OK Cancel

I/Wide Flange Section

Section Name: K1
Section Notes: Modify/Show Notes...

Properties: Section Properties...
Property Modifiers: Set Modifiers...
Material: + Baja BJ-37

Dimensions
Outside height (t3): 0.498
Top flange width (t2): 0.432
Top flange thickness (tf): 0.07
Web thickness (tw): 0.045
Bottom flange width (t2b): 0.432
Bottom flange thickness (tfb): 0.07

Display Color: ■

OK Cancel

Gambar 4.10 Frame Section pada SAP2000

Sumber : Hasil Analisis

- **Area Section**

Shell Section Data

The image displays two side-by-side screenshots of the 'Shell Section Data' dialog box in SAP 2000. Both windows have a title bar that reads 'Shell Section Data'.

Left Window (Pelat Lantai):

- Section Name:** Pelat Lantai
- Section Notes:** Modify/Show...
- Display Color:** Green
- Type:** Shell - Thin (selected)
- Material:** Material Name: + Beton f'c 25 mpa, Material Angle: 0.
- Thickness:** Membrane: 0.12, Bending: 0.12
- Concrete Shell Section Design Parameters:** Modify/Show Shell Design Parameters...
- Stiffness Modifiers:** Set Modifiers...
- Temp Dependent Properties:** Thermal Properties...
- Buttons:** OK, Cancel

Right Window (Pelat Atap):

- Section Name:** Pelat Atap
- Section Notes:** Modify/Show...
- Display Color:** Green
- Type:** Shell - Thin (selected)
- Material:** Material Name: + Beton f'c 25 mpa, Material Angle: 0.
- Thickness:** Membrane: 0.1, Bending: 0.1
- Concrete Shell Section Design Parameters:** Modify/Show Shell Design Parameters...
- Stiffness Modifiers:** Set Modifiers...
- Temp Dependent Properties:** Thermal Properties...
- Buttons:** OK, Cancel

Gambar 4.11 Area Section Pada SAP 2000

Sumber : Hasil Analisis

d. **Assign → Load**

Digunakan untuk menginput beban pada *frame section* dan *area section* dari analisis pembebanan yang telah dihitung pada pemodelan struktur.

- **Assign → Frame Load → Distributed**

Frame Distributed Loads

Gambar 4.12 Frame Load pada SAP 2000

Sumber : Hasil Analisis

- Assign → Area Load → Uniform to frame (shell)

Area Uniform Loads to Frames

Gambar 4.13 Area Load pada SAP 2000

Sumber : Hasil Analisis

e. *Function → Respons Spektrum*

Memuat tentang data percepatan respons spektrum akibat analisis beban gempa yang akan bekerja sebagai beban gempa pada pemodelan struktur.

Function Name Respon Spektrum SC **Function Damping Ratio** 0.05

Parameters

☐ Ss and S1 from USGS - by Lat./Long.
☐ Ss and S1 from USGS - by Zip Code
☒ Ss and S1 User Specified

Site Latitude (degrees) ?
 Site Longitude (degrees) ?
 Site Zip Code (5-Digits) ?

0.2 Sec Spectral Accel, Ss 0.8
 1 Sec Spectral Accel, S1 0.4
 Long-Period Transition Period 4.

Site Class D

Site Coefficient, Fa 1.18
 Site Coefficient, Fv 1.6

Calculated Values for Response Spectrum Curve

SDS = $(2/3) * Fa * Ss$ 0.9283
 SD1 = $(2/3) * Fv * S1$ 1.7067

Define Function

Period	Acceleration
0.	0.2517
0.1356	0.6293
0.678	0.6293
0.8	0.5333
1.	0.4267
1.2	0.3556
1.4	0.3048
1.6	0.2667
1.8	0.237

Function Graph

Display Graph (1.9119 , 0.2238)

Buttons: Convert to User Defined, Display Graph, OK, Cancel

Gambar 4.14 Respon Spektrum pada SAP 2000

Sumber : Hasil Analisis

f. *Assign → joint → constraint → diafragma*

Memberi kekakuan pada struktur, Analisa struktur harus mempertimbangkan kekakuan relative diafragma dan element vertikal system penahan gempa. Dalam hal ini, pelat lantai dan atap beton dapat berfungsi sebagai diafragma yang dapat menyumbangkan kekakuan Gedung ketika beban lateral bekerja

g. *Define → Load Patterns*

Memuat informasi tentang data dari elemen batang tidak dimensi pada struktur yang dianalisis berupa beban yang bekerja pada elemen. Beban yang bekerja dari analisis struktur yang dilakukan antara lain sebagai berikut:

- Dead load
- Live load
- Quake
- Other

Define Load Patterns

Load Pattern Name	Type	Self Weight Multiplier	Auto Lateral Load Pattern
LIVE LOAD	QUAKE	0	None
DEAD	DEAD	1	None
LIVE LOAD	LIVE	0	None

Gambar 4.15 Load Pattern pada SAP 2000
 Sumber : Hasil Analisis

h. Define → Load Combination

Memuat informasi tentang kombinasi dari pembebanan yang digunakan untuk analisis pada struktur utama.

Load Combination Data

Load Case Name	Load Case Type	Scale Factor
DEAD	Linear Static	1.4
DEAD	Linear Static	1.4

Gambar 4.16 Load Combination pada SAP 2000
 Sumber : Hasil Analisis

i. Analyze → Run Analyze

Memuat informasi untuk mendapatkan hasil dari data input yang telah dimasukkan.

4.5 Perencanaan Material Struktur Baja

Pada perencanaan struktur alternatif dari gedung Gedung Laboraturium Vokasi dan Industri Kreatif Vokasi Universitas Brawijaya di Kota Malang menggunakan material Struktur Baja Profil WF dengan mutu baja BJ-37:

1. Profil WF 250x250x14x14 digunakan pada Balok Induk.
2. Profil WF 150x100x6x9 digunakan pada Balok Anak.
3. Profil WF 400x400x20x35 digunakan pada Kolom

4.6 Perencanaan Struktur Balok Induk

Gaya-gaya dalam akan diperoleh setelah dilakukan pemodelan menggunakan program aplikasi analisis struktur SAP 2000. Pada perencanaan balok digunakan untuk memperoleh besar momen dan gaya lintang. Setelah itu melakukan analisis pada balok berdasarkan SNI 1729:2015. Contoh perhitungan dilakukan menggunakan profil WF 250x250x14x14.

4.6.1 Hasil Rekap Gaya

Hasil output SAP 2000 akibat beban kombinasi, didapat:

Tabel 4.8

Rekap Gaya pada Balok Induk

Momen (Mu)		Geser (Vu)
Lapangan	Tumpuan	202,86 kN
164,49 kNm	251,5 kNm	

Sumber : Hasil Analisis

$$M_{lap} = 164,49 \text{ kNm}$$

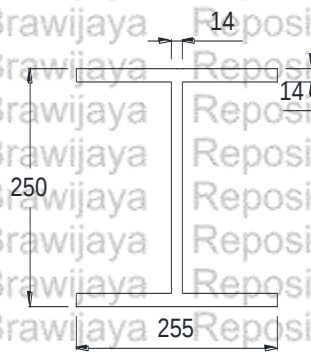
$$M_{tump} = 251,5 \text{ kNm}$$

$$V_u = 202,86 \text{ kN}$$

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

4.6.2 Desain Penampang Profil

Profil WF 250 x 250 x 14 x 14



Gambar 4.17 Dimensi Profil Balok Induk
Sumber : Hasil Analisis

$$W = 82,2 \text{ kg/m}$$

$$d = 250 \text{ mm}$$

$$bf = 255 \text{ mm}$$

$$tw = 14 \text{ mm}$$

$$tf = 14 \text{ mm}$$

$$h = d - 2 \text{ tf} = 222 \text{ mm}$$

$$A = 104,7 \text{ cm}^2$$

$$I_x = 11500 \text{ cm}^4$$

$$I_y = 3880 \text{ cm}^4$$

$$rx = 105 \text{ mm}$$

$$ry = 60,9 \text{ mm}$$

$$Z_x = b \cdot tf \cdot (d - tf) + \frac{1}{4} tw \cdot h^2 = 1015,014 \text{ cm}^3$$

$$Z_y = 1,5 \cdot S_y = 456 \text{ cm}^3$$

$$S_x = 919 \text{ cm}^3$$

$$S_y = 304 \text{ cm}^3$$



69

$$G = 77000 \text{ MPa}$$

Mutu baja BJ 37,

$$f_y = 240 \text{ Mpa} = 2400 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_u = 370 \text{ Mpa} = 3700 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_r = 70 \text{ Mpa} = 700 \text{ kg/cm}^2$$

4.6.3 Kontrol Profil

Cek kelangsingan profil WF

- Pelat Sayap

$$\lambda = \frac{bf}{2tf} = \frac{255}{28} = 9,11 \quad \dots(4-1)$$

$$\lambda_p = 0,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 0,38 \sqrt{\frac{200000}{240}} = 10,97 \quad \dots(4-2)$$

$$\lambda < \lambda_p \rightarrow \text{Penampang pelat sayap Kompak}$$

- Pelat Badan

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{222}{14} = 15,86 \quad \dots(4-3)$$

$$\lambda_p = 3,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 3,76 \sqrt{\frac{200000}{240}} = 108,54 \quad \dots(4-4)$$

$$\lambda < \lambda_p \rightarrow \text{Penampang pelat badan Kompak}$$

4.6.4 Cek Kontrol Sebelum Komposit

4.6.4.1 Kuat Lentur Penampang

Untuk penampang kompak maka :

$$M_n = M_p$$

$$M_p = f_y \cdot Z_x \quad \dots(4-5)$$

$$= 240 \cdot 1015,014$$

$$= 243603,36 \text{ Nmm}$$

$$= 243,6 \text{ kNm}$$



$$\begin{aligned}\phi Mn &= 0,9 \cdot 243,6 \\ &= 219,24 \text{ kNm}\end{aligned}$$

$$\phi Mn = 219,24 \text{ kNm} > Mu_{lapangan} = 164,49 \text{ kNm}$$

$$\phi Mn = 219,24 \text{ kNm} \leq Mu_{tumpuan} = 251,50 \text{ kNm}$$

Karena pada $Mu_{lapangan}$ terpenuhi dan $Mu_{tumpuan}$ belum terpenuhi, oleh karena itu hanya dilakukan kontrol komposit pada $Mu_{tumpuan}$

4.6.5 Cek Kontrol Setelah Komposit

4.6.5.1 Kuat Lentur Nominal Penampang

1. Lebar efektif

Karena gelagar adalah gelagar dalam

Dipilih terkecil dari :

$$\begin{aligned}\text{a. } b_e &= \frac{l}{8} \dots (4-6) \\ &= \frac{16}{8} \\ &= 2 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{b. } b_e &= b_0 \text{ (jarak antar gelagar) } \dots (4-7) \\ &= 8 \text{ m}\end{aligned}$$

Maka dipilih b_e terkecil = 2m



Gambar 4.18 Balok Komposit (balok induk)
Sumber : Hasil Analisis



71

2. Kontrol Kelangsingan pelat badan Profil

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{222}{14} = 25,86 \quad \dots (4-8)$$

$$\lambda_p = 3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 3.76 \sqrt{\frac{200000}{240}} = 108,54 \quad \dots (4-9)$$

$\lambda < \lambda_p \rightarrow$ Penampang pelat badan Kompak

3. Perencanaan Jumlah Tulangan Pada Pelat Beton

$$d' = 40 \text{ mm}$$

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

$$A_{s_{min}} = \frac{1,4}{f_y} b \cdot d \quad \dots (4-10)$$

$$= \frac{1,4}{240} 1000 \cdot (120 - 40)$$

$$= 466,67 \text{ mm}^2$$

Jarak tulangan dengan dicoba tulangan $\varnothing 10$

$$s = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot b}{A_{s_{min}}} \quad \dots (4-11)$$

$$= \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 10^2 \cdot 1000}{466,67}$$

$$= 168,298 \cong 150 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan $\varnothing 10 - 150$

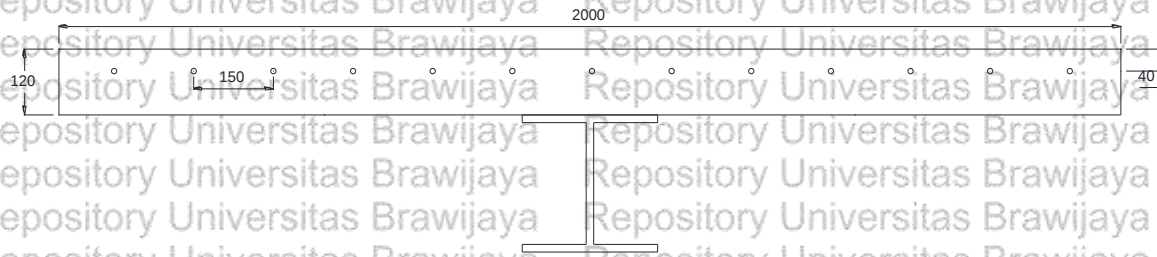
$$A_{s_c} = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot b}{s} \quad \dots (4-12)$$

$$= \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 10^2 \cdot 1000}{150}$$

$$= 523 \text{ mm}^2 \text{ (polos)}$$

Jumlah tulangan sepanjang b_e (n)

$$n = \frac{b_e}{s} = \frac{2000}{150} = 13,3 \cong 13 \quad \dots (4-13)$$



Gambar 4.19 Lebar Efektif Balok Komposit (Balok Induk)

Sumber : Hasil Analisis

4. Mencari Sumbu Netral Plastis Balok

$$T_{sr} = n \cdot A_{sr} \cdot f_y \quad \dots (4-14)$$

$$= 13 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 10^2 \cdot 240$$

$$= 245044,23 \text{ N}$$

$$= 245 \text{ kN}$$

$$C_s = A_s \cdot f_y \quad \dots (4-14)$$

$$= 10470 \cdot 240$$

$$= 2512800 \text{ N}$$

$$= 2512,8 \text{ kN}$$

$C_s > T_{sr}$ Sumbu Netral Plastis jatuh pada pelat baja

5. Mencari sumbu garis netral plastis (y)

$$y = \frac{C_s - T_{sr}}{b_f \cdot f_y} \quad \dots (4-15)$$

$$= \frac{2512800 - 245044,23}{255 \cdot 240}$$

$$= 37,05 \text{ mm}$$

$$\approx 38 \text{ mm} < t_f = 14 \text{ mm}$$

maka garis netral jatuh pada pelat badan profil
oleh karena itu dicari tarik pada pelat sayap (T_{sf})

$$T_{sf} = b_f \cdot t_f \cdot 2 \cdot f_y \quad \dots (4-16)$$

$$= 255 \cdot 14 \cdot 2 \cdot 240$$

$$= 1713600 \text{ N}$$

$$= 1713,6 \text{ kN}$$

$$y = \frac{C_s - T_{sr} - T_{sf}}{t_w \cdot f_y} \quad \dots (4-17)$$



73

$$= \frac{2512800 + 245044,23}{14 \cdot 240} = 1713600$$

$$= 164,93 \text{ mm}$$

$$\cong 165 \text{ mm}$$

mencari tarik pada pelat badan (T_{sw})

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

$$= 14 \cdot 165 \cdot 2 \cdot 240$$

$$= 554400 \text{ N}$$

$$= 554,4 \text{ kN}$$

mencari jarak ke titik berat pelat sayap (T_{sf})

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

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

$$= 118 \text{ mm}$$

mencari jarak ke titik berat pelat badan (T_{sw})

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

$$= \frac{1}{2} (250 + 165) - 14$$

$$= 193,5 \text{ mm}$$



Gambar 4.20 Analisis Distribusi Tegangan
Sumber : Hasil Analisis

6. Hitung momen lentur balok komposit (M_n)

$$\begin{aligned} M_n &= T_{sr} \left(\frac{d}{2} + Y_c - d' \right) + T_{sf} \cdot y_f + T_{sw} \cdot y_w \quad \dots (4-21) \\ &= 245044,23 \left(\frac{250}{2} + 120 - 40 \right) + 1713600 \cdot 118 + 554400 \cdot 193,5 \\ &= 3646161152 \text{ Nmm} \\ &= 364,62 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\phi M_n = 0,9 \times 364,62$$

$$\phi M_n = 328,13 \text{ kNm} > M_{utumpuan} = 251,50 \text{ kNm}$$



75

4.6.5.2 Kontrol Tekuk Lateral

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

$$L_p = 1,76 \cdot r_y \sqrt{\frac{E}{f_y}} \dots (4-22)$$

$$= 1,76 \cdot 60,9 \sqrt{\frac{200000}{240}}$$

$$= 3,09 \text{ m}$$

$$h_0 = d - t_f \dots (4-23)$$

$$= 250 - 14$$

$$= 236 \text{ mm}$$

$$r_{ts}^2 = \frac{I_y \times h_0}{2S_x} \dots (4-24)$$

$$= \frac{38800000 \cdot 236}{2 \cdot 919000}$$

$$= 4981,94 \text{ mm}$$

$$r_{ts} = \sqrt{4981,94}$$

$$= 70,58 \text{ mm}$$

$$J = \frac{1}{3} (2 \cdot t_f^3 \cdot d + t_w^3 \cdot h_0) \dots (4-25)$$

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

$$= 673195 \text{ mm}^4$$

$c = 1$ (karena profil simetris ganda)

$$L_r = 1,95 \cdot r_{ts} \cdot \frac{E}{0,7 \cdot f_y} \times \sqrt{\frac{J \cdot c}{S_x \cdot h_0} + \sqrt{\left(\frac{J \cdot c}{S_x \cdot h_0}\right)^2 + 6,76 \cdot \left(\frac{0,7 \cdot f_y}{E}\right)^2}} \dots (4-26)$$

$$= 1,95 \cdot 70,58 \cdot \frac{200000}{0,7 \cdot 240} \sqrt{\frac{673195 \cdot 1}{919000 \cdot 236} + \sqrt{\left(\frac{673195 \cdot 1}{919000 \cdot 236}\right)^2 + 6,76 \cdot \left(\frac{0,7 \cdot 240}{200000}\right)^2}}$$

$$= 163846,43 \cdot 0,083$$

$$= 13599 \text{ mm}$$

$$= 13,6 \text{ m}$$

75



$L_p < L_b < L_r$ maka Momen Nominal :

$$M_n = C_b \left[M_p - (M_p - 0,7 \cdot f_y \cdot S_x) \cdot \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \geq M_p \quad \dots (4-27)$$

$$M_a \left(\frac{1}{4} L \right) = 34,96 \text{ kNm}$$

$$M_b \left(\frac{1}{2} L \right) = 70,47 \text{ kNm}$$

$$M_c \left(\frac{3}{4} L \right) = 30,62 \text{ kNm}$$

$$M_{maks} = 251,5 \text{ kNm}$$

$$C_b = \frac{12,5 M_{maks}}{2,5 M_{max} + 3 M_a + 4 M_b + 3 M_c} \quad \dots (4-28)$$

$$\begin{aligned} &= \frac{12,5 \cdot 251,5}{2,5 \cdot 251,5 + 3 \cdot 34,96 + 4 \cdot 70,47 + 3 \cdot 30,62} \\ &= \frac{12,5 \cdot 251,5}{2,5 \cdot 251,5 + 3 \cdot 34,96 + 4 \cdot 70,47 + 3 \cdot 30,62} \\ &= 2,84 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 0,7 \cdot f_y \cdot S_x &= 0,7 \cdot 240 \cdot 919000 \\ &= 154392000 \text{ Nmm} \\ &= 154,39 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= C_b \left[M_p - (M_p - 0,7 \cdot f_y \cdot S_x) \cdot \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \quad \dots (4-29) \\ &= 2,84 \left[401,73 - (401,73 - 154,39) \cdot \left(\frac{8 - 3,64}{13,76 - 3,64} \right) \right] \geq M_p = 401,73 \text{ kNm} \\ &= 838,28 \text{ kNm} \geq M_p = 401,73 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Dipakai M_n terkecil

$$\phi M_n = 0,9 \times 401,74$$

$$\phi M_n = 361,57 \text{ kNm} > M_u = 251,50 \text{ kNm}$$

4.6.5.3 Kontrol Kuat Geser Nomimal Balok Komposit (V_n)

Pelat badan

$$\frac{h}{t_w} = \frac{222}{14} = 15,86 \quad \dots (4-30)$$

$$2,24 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 2,24 \sqrt{\frac{200000}{240}} = 64,663$$



77

$$\frac{h}{t_w} \leq 2,24 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \dots (4-31)$$

Maka $\Phi_v = 1$ dan $C_v = 1$

$$A_w = d \cdot t_w = 250 \cdot 14 = 3500 \text{ mm}^2 \dots (4-32)$$

$$\Phi V_n = \Phi_v \cdot 0,6 \cdot f_y \cdot A_w \cdot C_v \dots (4-33)$$

$$= 1,0 \cdot 0,6 \cdot 240 \cdot 3500 \cdot 1$$

$$= 504000 \text{ N}$$

$$\Phi V_n = 504 \text{ kN} \geq V_u = 202,86 \text{ kN}$$

4.6.5.4 Kontrol Lendutan

Panjang bentang (L) = 8m

Lendutan Maksimum yang terjadi (Δ_{maks}) = 0,0361 m

Lendutan Ijin

$$(\Delta_{ijin}) = \frac{L}{180} = \frac{4000}{180} = 44,44 \text{ mm} = 0,044 \text{ m} \dots (4-34)$$

$$(\Delta_{maks}) = 0,0361 \text{ m} < (\Delta_{ijin}) = 0,044 \text{ m (OK)}$$



4.6.6 Penghubung Geser

Penghubung geser diperlukan agar terjadinya aksi komposit, penghubung geser yang dipakai adalah *shear stud anchors* (angkur)

$$\phi_{stud} \leq 2,5 \text{ } t_f \quad \dots (4-35)$$

$$\leq 2,5 \cdot 14$$

$$\leq 35 \text{ mm}$$

$$\text{digunakan } \phi_{stud} = 22 \text{ mm dengan } L = 100, F_u = 450 \text{ MPa}$$

$$L \geq 4 \cdot \phi_{stud} \quad \dots (4-36)$$

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

Kuat geser nominal *shear stud* (Q_n)

$$Q_n = 0,5 A_{sa} \sqrt{f'_c \cdot E_c} \leq R_g \cdot R_p \cdot A_{sa} \cdot F_u \quad \dots (4-37)$$

$$A_{sa} = \frac{1}{4} \pi \cdot 22^2 \quad \dots (4-38)$$

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

$$E_c = 4700 \sqrt{f'_c} \quad \dots (4-39)$$

$$= 4700 \sqrt{25}$$

$$= 23500 \text{ MPa}$$

$$0,5 A_{sa} \sqrt{f'_c \cdot E_c} = 0,5 \cdot 380 \sqrt{25 \cdot 23500} \quad \dots (4-40)$$

$$= 145632,24 \text{ N}$$

$$= 145,63 \text{ kN}$$

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

$R_p = 0,75$, untuk pelat beton dan *shear stud* dilas pada pelat sayap profil

$$R_g \cdot R_p \cdot A_{sa} \cdot F_u = 1,0 \cdot 0,75 \cdot 380 \cdot 450 \quad \dots (4-41)$$

$$= 128250 \text{ N}$$

$$= 128,25 \text{ kN}$$

jadi dipilih nilai terkecil

$$Q_n = 128,25 \text{ kN}$$

$$V' = T = A_s \cdot f_y \quad \dots (4-42)$$

$$= 2512800 \text{ N}$$

$$= 2512,8 \text{ kN}$$

Jumlah shear stud perlu (N)

$$N = \frac{v'}{Q_n} = \frac{2512,8}{128,25} = 19,59 \cong 20 \text{ buah} \quad \dots (4-43)$$

Syarat jarak antar penghubung geser:

1. Selimut lateral minimum = 25 mm, kecuali ada dek baja
2. Jarak longitudinal minimum = 6 x diameter stud

$$S_{\min \text{ long.}} = 6 \cdot 22 = 132 \text{ mm}$$

3. Jarak longitudinal maksimum = 8 x tebal pelat beton

$$S_{\max \text{ long.}} = 8 \cdot 120 = 960 \text{ mm}$$

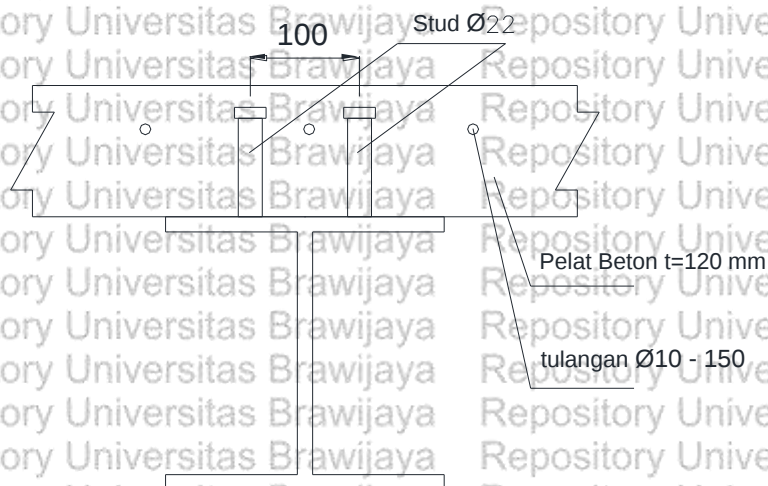
4. Jarak transversal minimum arah tegak lurus sembu longitudinal = 4 x diameter stud

$$S_{\min \text{ trans.}} = 4 \cdot 22 = 88 \text{ mm}$$

Dipilih jarak 100 mm

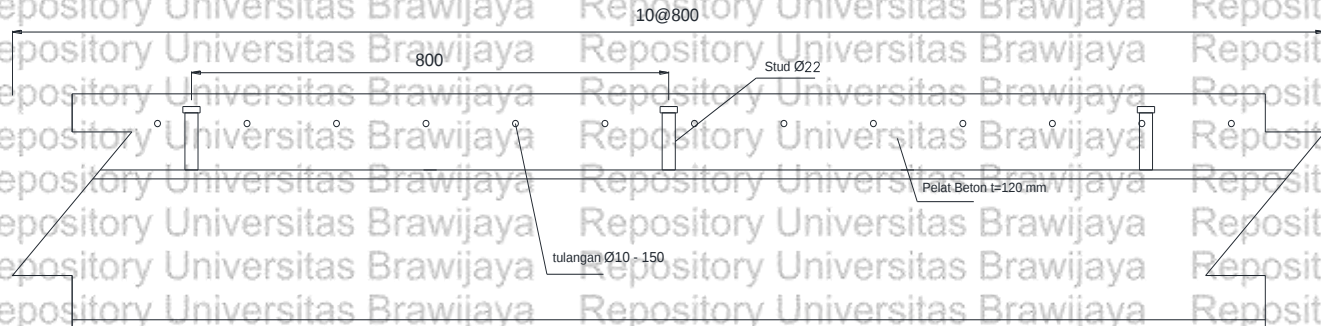
5. Jarak Longitudinal antar stud apabila dipasang 2 buah per – baris

$$S_{\text{long.}} = \frac{L \cdot 2}{N} = \frac{8000 \cdot 2}{20} = 800 \text{ mm}$$



Gambar 4.21 Pemasangan Shear Connector arah Transversal

Sumber : Hasil Analisis



Gambar 4.22 Pemasangan Shear Connector arah Longitudinal

Sumber : Hasil Analisis

4.7 Perencanaan Struktur Balok Anak

Gaya-gaya dalam akan diperoleh setelah melakukan pemodelan menggunakan program aplikasi analisis struktur SAP 2000. Pada perencanaan balok anak digunakan untuk memperoleh besar momen dan gaya lintang. Selanjutnya dilakukan analisis pada balok anak berdasarkan SNI 1729:2015. Contoh perhitungan dilakukan menggunakan profil WF 150x100x9x6.

4.7.1 Hasil Rekap Gaya

Hasil output SAP 2000 akibat beban kombinasi, didapat:

Tabel 4.9

Rekap Gaya Pada Balok Anak

Momen (M_u)		Geser (V_u)
Lapangan	Tumpuan	33,84 kN
19,4 kNm	-44,48 kNm	

Sumber : Hasil Analisis

$$M_{lap} = 19,4 \text{ kNm}$$

$$M_{tump} = -44,48 \text{ kNm}$$

$$V_u = 33,84 \text{ kN}$$

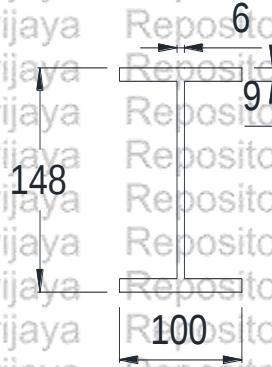
$$L = 4 \text{ m}$$

4.7.2 Desain Penampang Profil

Profil WF 150 x 100 x 6 x 9



81



Gambar 4.23 Dimensi Profil Balok Anak
Sumber : Hasil Analisis

$$W = 21,1 \text{ kg/m}$$

$$d = 148 \text{ mm}$$

$$bf = 100 \text{ mm}$$

$$tw = 6 \text{ mm}$$

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

$$h = d - 2 \text{ tf} = 130 \text{ mm}$$

$$A = 26,84 \text{ cm}^2$$

$$I_x = 1020 \text{ cm}^4$$

$$I_y = 151 \text{ cm}^4$$

$$r_x = 61,7 \text{ mm}$$

$$r_y = 48,8 \text{ mm}$$

$$Z_x = b \cdot tf \cdot (d - tf) + \frac{1}{4} tw \cdot h^2 = 150,45 \text{ cm}^3$$

$$Z_y = 1,5 \cdot S_y = 45,15 \text{ cm}^3$$

$$S_x = 138 \text{ cm}^3$$

$$S_y = 30,1 \text{ cm}^3$$

$$G = 77000 \text{ MPa}$$

Mutu baja BJ 37,

81



$$f_y = 240 \text{ Mpa} = 2400 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_u = 370 \text{ Mpa} = 3700 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_r = 70 \text{ Mpa} = 700 \text{ kg/cm}^2$$

4.7.3 Kontrol Profil

Cek kelangsingan profil WF

- Pelat Sayap

$$\lambda = \frac{b_f}{2t_f} = \frac{100}{18} = 5,55$$

$$\lambda_p = 0,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 0,38 \sqrt{\frac{200000}{240}} = 10,97$$

$$\lambda < \lambda_p \rightarrow \text{Penampang pelat sayap Kompak}$$

- Pelat Badan

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{130}{6} = 21,67$$

$$\lambda_p = 3,76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 3,76 \sqrt{\frac{200000}{240}} = 108,54$$

$$\lambda < \lambda_p \rightarrow \text{Penampang pelat badan Kompak}$$

4.7.4 Cek Kontrol Sebelum Komposit

4.7.4.1 Kuat Lentur Penampang

Untuk penampang kompak maka :

$$M_n = M_p$$

$$M_p = f_y \cdot Z_x$$

$$= 240 \cdot 150451$$

$$= 36108240 \text{ Nmm}$$

$$= 36,1 \text{ kNm}$$



83

$$\phi Mn = 0,9 \cdot 36,1 \\ = 32,49 \text{ kNm}$$

$$\phi Mn = 32,49 \text{ kNm} \leq Mu_{tumpuan} = 44,48 \text{ kNm}$$

Karena pada $Mu_{lapangan}$ terpenuhi dan $Mu_{tumpuan}$ belum terpenuhi, oleh karena itu hanya dilakukan kontrol komposit pada $Mu_{tumpuan}$

4.7.5 Cek Kontrol Setelah Komposit

4.7.5.1 Kuat Lentur Nominal Penampang

1. Lebar efektif

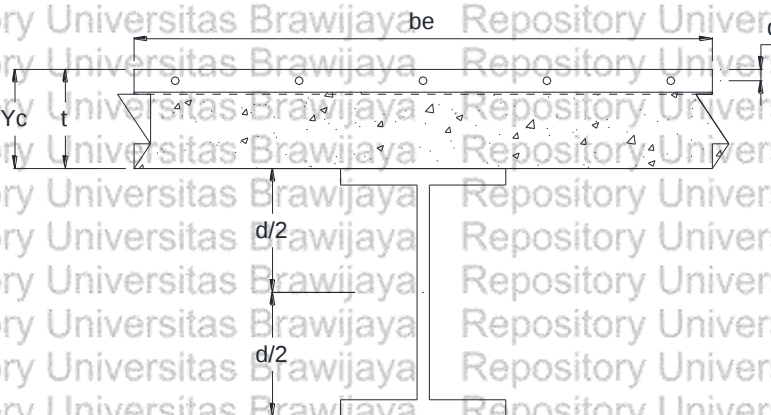
Karena gelagar adalah gelagar dalam

Dipilih terkecil dari :

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

$$\begin{aligned} \text{b. } b_e &= b_0 \text{ (jarak antar gelagar) } \\ &= 4 \text{ m} \end{aligned}$$

Maka dipilih b_e terkecil = 1 m



Gambar 4.24 Balok Komposit (Balok Anak)

Sumber : Hasil Analisis



2. Kontrol Kelangsingan pelat badan Profil

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{130}{6} = 21,67$$

$$\lambda_p = 3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 3.76 \sqrt{\frac{200000}{240}} = 108,54$$

$$\lambda < \lambda_p \rightarrow \text{Penampang pelat badan Kompak}$$

3. Perencanaan Jumlah Tulangan Pada Pelat Beton

$$d' = 40 \text{ mm}$$

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

$$A_{s_{min}} = \frac{1,4}{f_y} b \cdot d$$

$$= \frac{1,4}{240} 1000 \cdot (120 - 40)$$

$$= 466,67 \text{ mm}^2$$

Jarak tulangan dengan dicoba tulangan $\varnothing 10$

$$s = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot b}{A_{s_{min}}}$$

$$= \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 10^2 \cdot 1000}{466,67}$$

$$= 168,298 \approx 150 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan $\varnothing 10 - 150$

$$A_{s_c} = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot b}{s}$$

$$= \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 10^2 \cdot 1000}{150}$$

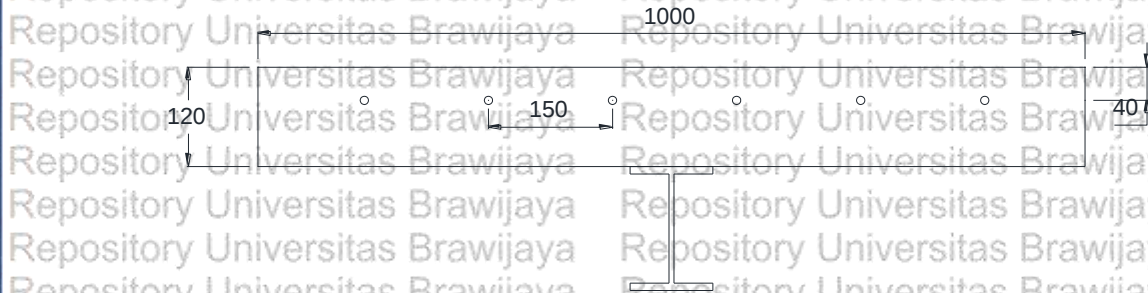
$$= 523 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan sepanjang b_e (n)

$$n = \frac{b_e}{s} = \frac{1000}{150} = 6,67 \approx 6$$



85



Gambar 4.25 Lebar Efektif Balok Anak

Sumber : Hasil Analisis

4. Mencari Sumbu Netral Plastis Balok

$$\begin{aligned} T_{sr} &= n \cdot A_{sr} \cdot f_y \\ &= 6 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 10^2 \cdot 240 \\ &= 113097,34 \text{ N} \\ &= 113,1 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_s &= A_s \times f_y \\ &= 2684 \times 240 \\ &= 644160 \text{ N} \\ &= 644,16 \text{ kN} \end{aligned}$$

$C_s > T_{sr}$ Sumbu Netral Plastis jatuh pada pelat baja

5. Mencari sumbu garis netral plastis (y)

$$\begin{aligned} y &= \frac{C_s - T_{sr}}{b_f \cdot f_y} \\ &= \frac{644160 - 113097,34}{100 \cdot 240} \\ &= 22,13 \text{ mm} \\ &\approx 23 \text{ mm} < t_f = 9 \text{ mm} \end{aligned}$$

maka garis netral jatuh pada pelat badan profil
oleh karena itu dicari tarik pada pelat sayap (T_{sf})

$$\begin{aligned} T_{sf} &= b_f \cdot t_f \cdot 2 \cdot f_y \\ &= 100 \cdot 9 \cdot 2 \cdot 240 \\ &= 432000 \text{ N} \\ &= 432 \text{ kN} \end{aligned}$$

85



$$y = \frac{C_s - T_{sr} - T_{sf}}{tw \cdot fy}$$

$$= \frac{644160 - 113097,34 - 432000}{6 \cdot 240}$$

$$= 68,79 \text{ mm}$$

$$\cong 69 \text{ mm}$$

mencari tarik pada pelat badan (T_{sw})

$$T_{sw} = tw \cdot y \cdot 2fy$$

$$= 6 \cdot 69 \cdot 2 \cdot 240$$

$$= 198720 \text{ N}$$

$$= 198,72 \text{ kN}$$

mencari jarak ke titik berat pelat sayap (T_{sf})

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

$$= \frac{1}{2} (148 - 9)$$

$$= 69,5 \text{ mm}$$

mencari jarak ke titik berat pelat badan (T_{sw})

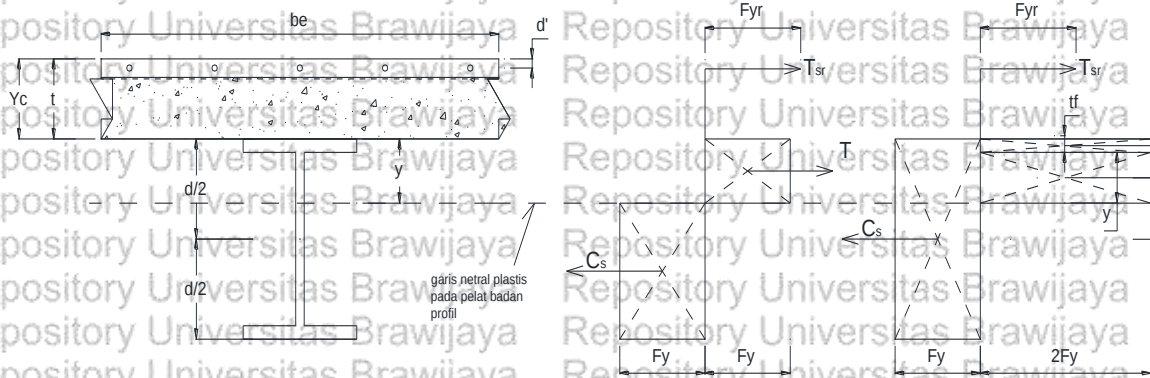
$$y_w = \frac{1}{2} (d + y) - tf$$

$$= \frac{1}{2} (148 + 69) - 9$$

$$= 99,5 \text{ mm}$$



87



Gambar 4.26 Distribusi Tegangan Balok Anak

Sumber : Hasil Analisis

6. Hitung momen lentur balok komposit (M_n)

$$\begin{aligned} M_n &= T_{sr} \left(\frac{d}{2} + Y_c - d' \right) + T_{sf} \cdot y_f + T_{sw} \cdot y_w \\ &= 113097,34 \left(\frac{148}{2} + 120 - 40 \right) + 432000 \cdot 69,5 + 198720 \cdot 99,5 \\ &= 67213630 \text{ Nmm} \\ &= 67,21 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\phi M_n = 0,9 \times 67,21$$

$$\phi M_n = 60,49 \text{ kNm} > Mu_{\text{lapangan}} = 19,4 \text{ kNm}$$

$$\phi M_n = 60,49 \text{ kNm} > Mu_{\text{tumpuan}} = 44,48 \text{ kNm}$$

4.7.5.2 Kontrol Tekuk Lateral

$$L_b = 4 \text{ m}$$

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

$$= 1,76 \cdot 48,8 \sqrt{\frac{200000}{240}}$$

$$= 2,48 \text{ m}$$



$$h_0 = d - t_f$$

$$= 148 - 14$$

$$= 124 \text{ mm}$$

$$r_{ts}^2 = \frac{I_y \times h_0}{2Sx}$$

$$= \frac{1510000 \cdot 124}{2 \cdot 138000}$$

$$= 678,41 \text{ mm}$$

$$r_{ts} = \sqrt{678,41}$$

$$= 26,05 \text{ mm}$$

$$I = \frac{1}{3} (2 \cdot t f^3 \cdot d + t w^3 \cdot h_0)$$

$$= \frac{1}{3} (2 \cdot 9^3 \cdot 148 + 6^3 \cdot 124)$$

$$= 80856 \text{ mm}^4$$

$$c = 1 \text{ (karena profil simetris ganda)}$$

$$L_r = 1,95 \cdot r_{ts} \cdot \frac{E}{0,7 x f_y} x \sqrt{\frac{I \cdot c}{Sx \cdot h_0} + \sqrt{\left(\frac{I \cdot c}{Sx \cdot h_0}\right)^2 + 6,76 \cdot \left(\frac{0,7 \cdot f_y}{E}\right)^2}}$$

$$= 1,95 \cdot 26,05 \cdot \frac{200000}{0,7 \cdot 240} \sqrt{\frac{80856 \cdot 1}{138000 \cdot 124} + \sqrt{\left(\frac{80856 \cdot 1}{138000 \cdot 124}\right)^2 + 6,76 \cdot \left(\frac{0,7 \cdot 240}{200000}\right)^2}}$$

$$= 60473,21 \cdot 0,1$$

$$= 6047 \text{ mm}$$

$$= 6,05 \text{ m}$$

$L_p < L_b < L_r$ maka Momen Nominal :

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

$$Ma \left(\frac{1}{4} L \right) = 13,48 \text{ kNm}$$



89

$$M_b \left(\frac{1}{2} L \right) = 3,7 \text{ kNm}$$

$$M_c \left(\frac{3}{4} L \right) = 10,07 \text{ kNm}$$

$$M_{maks} = 44,48 \text{ kNm}$$

$$C_b = \frac{12,5 M_{maks}}{2,5 M_{max} + 3 M_a + 4 M_b + 3 M_c}$$

$$= \frac{12,5 \cdot 44,48}{2,5 \cdot 44,48 + 3 \cdot 13,48 + 4 \cdot 3,7 + 3 \cdot 10,07}$$

$$= \frac{12,5 \cdot 44,48}{2,5 \cdot 44,48 + 3 \cdot 13,48 + 4 \cdot 3,7 + 3 \cdot 10,07}$$

$$= 2,8$$

$$0,7 \cdot f_y \cdot S_x = 0,7 \cdot 240 \cdot 138000$$

$$= 23184000 \text{ Nmm}$$

$$= 23,18 \text{ kNm}$$

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

$$= 2,8 \left[80,35 - (80,35 - 23,18) \cdot \left(\frac{4 - 2,48}{6,05 - 2,48} \right) \right] \geq M_p = 80,35 \text{ kNm}$$

$$= 156,82 \text{ kNm} \geq M_p = 80,35 \text{ kNm}$$

Dipakai M_n terkecil

$$\phi M_n = 0,9 \times 80,35$$

$$\phi M_n = 72,32 \text{ kNm} > M_u = 44,89 \text{ kNm}$$

4.7.5.3 Kontrol Kuat Geser Nominal Balok Komposit (V_n)

Pelat badan

$$\frac{h}{t_w} = \frac{130}{6} = 21,67$$

$$2,24 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 2,24 \sqrt{\frac{200000}{240}} = 64,663$$

$$\frac{h}{t_w} \leq 2,24 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

Maka $\phi_v = 1$ dan $C_v = 1$

$$A_w = d \cdot t_w = 148 \cdot 6 = 888 \text{ mm}^2$$



$$\begin{aligned}\Phi V_n &= \Phi_v \cdot 0,6 \cdot f_y \cdot A_w \cdot C_v \\ &= 1,0 \cdot 0,6 \cdot 240 \cdot 888 \cdot 1 \\ &= 127872 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\Phi V_n = 127 \text{ kN} \geq V_u = 33,84 \text{ kN}$$

4.7.5.4 Kontrol Lendutan

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

$$\text{Lendutan Maksimum yang terjadi } (\Delta_{maks}) = 0,0361 \text{ m}$$

$$\text{Lendutan Ijin}$$

$$(\Delta_{ijin}) = \frac{L}{180} = \frac{4000}{180} = 22,22 \text{ mm} = 0,022 \text{ m}$$

$$(\Delta_{maks}) = 0,0145 \text{ m} < (\Delta_{ijin}) = 0,022 \text{ m (OK)}$$

4.7.6 Penghubung Geser

Penghubung geser diperlukan agar terjadinya aksi komposit, penghubung geser yang dipakai adalah *shear stud anchors* (angkur)

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

$$\leq 2,5 \cdot 9$$

$$\leq 22,5 \text{ mm}$$

$$\text{digunakan } \phi_{stud} = 16 \text{ mm dengan } L = 100, F_u = 450 \text{ MPa}$$

$$L \geq 4 \cdot \phi_{stud}$$

$$\geq 64 \text{ mm}$$

$$\text{Kuat geser nominal shear stud (Qn)}$$

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

$$\begin{aligned}A_{sa} &= \frac{1}{4} \pi \cdot 16^2 \\ &= 201 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}E_c &= 4700 \sqrt{f'_c} \\ &= 4700 \sqrt{25} \\ &= 23500 \text{ MPa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}0,5 A_{sa} \sqrt{f'_c \cdot E_c} &= 0,5 \cdot 201 \sqrt{25 \cdot 23500} \\ &= 77031,79 \text{ N}\end{aligned}$$



91

$$= 77,03 \text{ kN}$$

$R_g = 1$, untuk pelat beton tanpa dek baja dan shear stud dilas pada profil

$R_p = 0,75$, untuk pelat beton dan shear stud dilas pada pelat sayap profil

$$R_g \cdot R_p \cdot A_{sa} \cdot F_u = 1,0 \cdot 0,75 \cdot 201 \cdot 450$$

$$= 67837,5 \text{ N}$$

$$= 67,84 \text{ kN}$$

jadi dipilih nilai terkecil

$$Q_n = 67,84 \text{ kN}$$

$$V' = T = A_s \cdot f_y$$

$$= 644160 \text{ N}$$

$$= 644,16 \text{ kN}$$

Jumlah shear stud perlu (N)

$$N = \frac{V'}{Q_n} = \frac{644,16}{67,84} = 9,5 \approx 10 \text{ buah}$$

Syarat jarak antar penghubung geser:

1. Selimut lateral minimum = 25 mm, kecuali ada dek baja

2. Jarak longitudinal minimum = 6 x diameter stud

$$S_{\min \text{ long.}} = 6 \cdot 16 = 96 \text{ mm}$$

3. Jarak longitudinal maksimum = 8 x tebal pelat beton

$$S_{\max \text{ long.}} = 8 \cdot 120 = 960 \text{ mm}$$

4. Jarak transversal minimum arah tegak lurus sembu longitudinal =

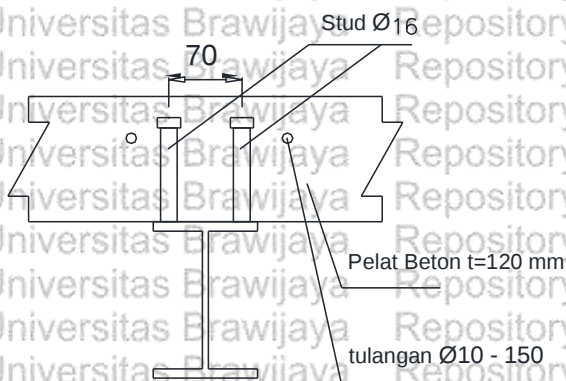
4 x diameter stud

$$S_{\min \text{ trans.}} = 4 \cdot 16 = 64 \text{ mm}$$

Dipilih jarak 70 mm

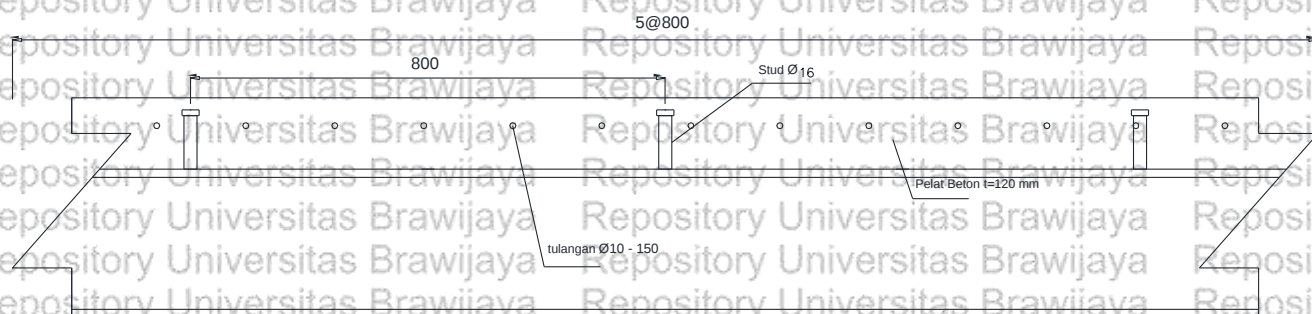
5. Jarak Longitudinal antar stud apabila dipasang 2 buah per – baris

$$S_{\text{long.}} = \frac{L \cdot 2}{N} = \frac{4000 \cdot 2}{10} = 800 \text{ mm}$$



Gambar 4.27 Pemasangan Shear Connector arah Transversal (Balok Anak)

Sumber : Hasil Analisis



Gambar 4.28 Pemasangan Shear Connector arah Longitudinal (Balok Anak)

Sumber : Hasil Analisis

4.8 Perencanaan Struktur Kolom

Setelah melakukan perhitungan menggunakan program aplikasi analisis struktur SAP 2000, maka didapatkan berupa gaya dalam. Pada perencanaan kolom digunakan momen dan gaya normal (aksial). Selanjutnya dilakukan analisis pada kolom berdasarkan SNI 1729-2015.

Contoh perhitungan dilakukan menggunakan profil WF 400x400x20x35.

4.8.1 Hasil Rekap Momen dan Gaya Aksial

Hasil keluaran SAP2000 akibat beban kombinasi, didapat:

Tabel 4.10

Rekap Gaya pada Kolom

Momen (Mu)		Gaya Aksial (Pu)
Lapangan	Tumpuan	5783,6 kN
432,48 kNm	-427,88 kNm	

Sumber : Hasil Analisis

$$M_{lap} = 432,48 \text{ kNm}$$

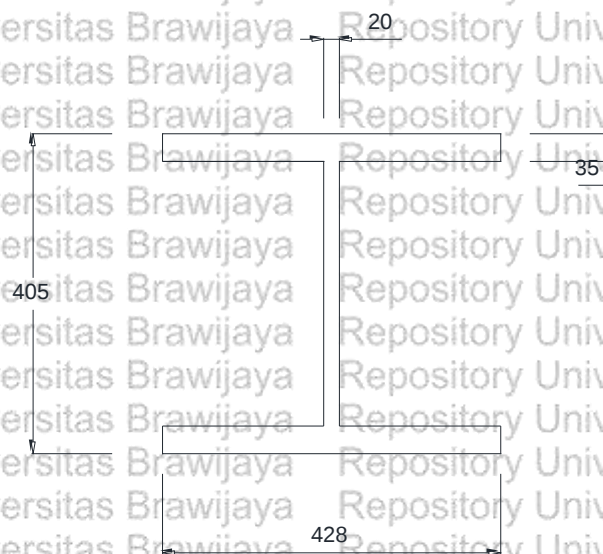
$$M_{tump} = -427,88 \text{ kNm}$$

$$V_u = 5783,6 \text{ kN}$$

$$L = 5 \text{ m}$$

4.8.2 Desain Penampang Profil

Profil WF 400 x 400 x 20 x 35



Gambar 4.29 Dimensi Profil Kolom

Sumber : Hasil Analisis



$$W = 232 \text{ kg/m}$$

$$d = 428 \text{ mm}$$

$$bf = 405 \text{ mm}$$

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

$$tf = 35 \text{ mm}$$

$$h = d - 2 \text{ tf} = 358 \text{ mm}$$

$$A = 254,9 \text{ cm}^2$$

$$I_x = 119000 \text{ cm}^4$$

$$I_y = 39400 \text{ cm}^4$$

$$rx = 182 \text{ mm}$$

$$ry = 104 \text{ mm}$$

$$Z_x = b \cdot tf \cdot (d - tf) + \frac{1}{4} tw \cdot h^2 = 6239,105 \text{ cm}^3$$

$$Z_y = 1,5 \cdot S_y = 2895 \text{ cm}^3$$

$$S_x = 5570 \text{ cm}^3$$

$$S_y = 1930 \text{ cm}^3$$

$$L = 550 \text{ cm} = 5,5 \text{ m}$$

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

Mutu baja BJ 37,

$$fy = 240 \text{ Mpa} = 2400 \text{ kg/cm}^2$$

$$fu = 370 \text{ Mpa} = 3700 \text{ kg/cm}^2$$

$$fr = 70 \text{ Mpa} = 700 \text{ kg/cm}^2$$

4.8.3 Kontrol Aksial Pada Kolom

1. Klasifikasi Penampang
sayap :



95

$$\frac{b}{tf} = \frac{428}{35} = 12,23 < 0,56 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0,56 \sqrt{\frac{200000}{240}} = 16,17 \text{ (tidak langsing) } \dots (4-44)$$

badan :

$$\frac{h}{tw} = \frac{358}{20} = 17,9 < 1,49 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1,49 \sqrt{\frac{200000}{240}} = 43,01 \text{ (tidak langsing) } \dots (4-44)$$

2. Tegangan Kritis Tekuk - Lentur

K = 1 asumsi tumpuan sendi

$$\frac{LK}{r} = \frac{5000 \cdot 1}{104} = 52,88 < 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 4,71 \sqrt{\frac{200000}{240}} = 135,97 \text{ (tekuk inelastis) } \dots (4-45)$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 200000}{\left(\frac{1 \cdot 5000}{104}\right)^2} = 854 \text{ MPa} \dots (4-46)$$

$$F_{cr} = \left(0,658^{\frac{240}{854}}\right) \cdot f_y = 0,889 \cdot 240 = 213,36 \text{ MPa} \dots (4-47)$$

3. Tegangan Krisis Tekuk – Puntir

$$h_0 = d - t_f \dots (4-48)$$

$$= 428 - 35 \\ = 393 \text{ mm}$$

$$J = \frac{1}{3} (2 \cdot t_f^3 \cdot d + t_w^3 \cdot h_0) \dots (4-49)$$

$$= \frac{1}{3} (2 \cdot 35^3 \cdot 428 + 20^3 \cdot 393)$$

$$= 13281667 \text{ mm}^4$$

$$C_w = \frac{I_y \cdot h_0}{4} = \frac{39400 \cdot 393}{4} = 3871050 \text{ mm}^6 \dots (4-50)$$

$$I_x + I_y = 1190000000 + 394000000 = 1584000000 \text{ mm}^4 \dots (4-51)$$



$$F_e = \left(\frac{\pi^2 E \cdot C_w}{(KL)^2} + G \cdot J \right) \frac{1}{I_x + I_y} \dots (4-52)$$

$$= \left(\frac{\pi^2 \cdot 200000 \cdot 3871050}{(5000)^2} + 77200 \cdot 13281667 \right) \frac{1}{1584000000}$$

$$= 647,31 \text{ MPa}$$

$$\frac{F_y}{F_e} = \frac{240}{647,31} = 0,37 \dots (4-53)$$

$$F_{cr} = \left(0,658^{\frac{240}{647,31}} \right) \cdot f_y = 0,856 \cdot 240 = 205,4 \text{ MPa} \dots (4-54)$$

4. Kuat Tekan Nominal

$F_{cr} \text{ tekuk} - \text{puntir} > F_{cr} \text{ tekuk} - \text{lentur}$ (sumbu $y - y$)
maka tekuk yang digunakan adalah terjadi lentur

$$P_n = F_{cr} \cdot A \dots (4-55)$$

$$= 205,4 \cdot 39400$$

$$= 8092760 \text{ N}$$

$$= 8092,76 \text{ kN}$$

$$\phi P_n = 0,9 \cdot 8092,76 \text{ kN} > P_u = 5783,6 \text{ kN}$$

$$= 7283,48 \text{ kN} > P_u = 5783,6 \text{ kN}$$

4.8.4 Kontrol Momen Pada Kolom

4.8.4.1 Kuat Lentur Penampang

Cek kelangsingan profil WF

- Pelat Sayap

$$\lambda = \frac{b_f}{2t_f} = \frac{428}{2 \cdot 35} = 6,11 \dots (4-56)$$

$$\lambda_p = 0,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 0,38 \sqrt{\frac{200000}{240}} = 10,97 \dots (4-57)$$

$\lambda < \lambda_p \rightarrow$ Penampang pelat sayap Kompak

- Pelat Badan

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{358}{20} = 17,9 \dots (4-58)$$

$$\lambda_p = 3,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 3,76 \sqrt{\frac{200000}{240}} = 108,54 \dots (4-59)$$



$\lambda < \lambda_p \rightarrow$ Penampang pelat badan Kompak

Kuat lentur penampang pada kondisi plastis adalah :

$$M_n = M_p \quad \dots (4-60)$$

$$M_p = f_y \cdot Z_x \quad \dots (4-61)$$

$$= 240 \cdot 6239105$$

$$= 1497385200 \text{ Nmm}$$

$$= 1497,38 \text{ kNm}$$

$$\phi M_n = 0,9 \cdot 1497,38$$

$$= 1347,64 \text{ kNm}$$

$$\phi M_n = 1347,64 \text{ kNm} > M_u = 432,48 \text{ kNm}$$

4.8.4.2 Kontrol Tekuk Lateral

$$L_b = 5 \text{ m}$$

$$L_p = 1,76 \cdot r_y \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad \dots (4-62)$$

$$= 1,76 \cdot 104 \sqrt{\frac{200000}{240}}$$

$$= 5,28 \text{ m}$$

$L_b < L_p$ maka tidak terjadi tekuk lateral

4.8.4.3 Kontrol Interaksi Gaya Aksial dan Momen Lentur

$$\frac{N_u}{\phi_c N_n} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} \right) \leq 1 \quad \dots (4-63)$$

$$\frac{5783,6}{7283,48} + \frac{8}{9} \left(\frac{432,48}{1347,64} + 0 \right) \leq 1$$

$$0,7 + 0,2 \leq 1$$

$$0,9 \leq 1$$



4.9 Perencanaan Sambungan Profil

4.9.1 Sambungan Balok Anak – Balok Induk

Balok Anak dan Balok Induk harus disambungkan dengan alat sambung agar menjadi satu kesatuan, Pada sambungan Balok baja ini digunakan sambungan Baut dan juga dengan Pelat sambung agar struktur menjadi *monolite*. Sebagai contoh dilakukan penyambungan Balok Anak dengan Profil WF 150x100x6x9 dengan Balok Induk dengan Profil WF 250x250x14x14.

4.9.1.1 Rekap Gaya Pada Balok Anak

Hasil output SAP 2000 pada Balok Anak akibat beban kombinasi, didapat:

Tabel 4.11

Rekap Gaya Sambungan untuk Balok Anak

Momen (Mu)		Geser (Vu)
Lapangan	Tumpuan	33,84 kN
19,4 kNm	-44,48 kNm	

Sumber : Hasil Analisis

4.9.1.2 Data Alat Sambung

1. Digunakan Baut A325 tipe M13 x 50

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

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

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

$$F_{nv} = 327 \text{ MPa}$$

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

2. Digunakan Pelat sambung L 75.75.9 dengan mutu BJ- 37

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

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

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

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

4.9.1.3 Desain Sambungan

Sambungan Baut

Kuat geser baut :

$$\begin{aligned} \phi R_n &= 0,75 \cdot F_{nv} \cdot A_b \cdot (4-64) \\ &= 0,75 \cdot 327 \cdot \left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 13^2 \right) \\ &= 32550,59 \text{ N} \\ &= 32,55 \text{ kN} \end{aligned}$$

Kuat Tumpu baut

Apabila lubang baut pada beban layan adalah perhitungan desain :

$$\begin{aligned} R_n &= 1,5 \cdot l_c \cdot t_p \cdot F_u \leq 3,0 \cdot d \cdot t_p \cdot F_u \\ \phi R_n &= 0,75 \cdot 3,0 \cdot d \cdot t_p \cdot F_u \quad \dots (4-65) \\ &= 0,75 \cdot 3,0 \cdot 16 \cdot 6 \cdot 825 \\ &= 178200 \text{ N} \\ &= 178,2 \text{ N} \end{aligned}$$

Dipilih tahanan terkecil $\phi R_n = 32,55$

Untuk menahan gaya geser maka $R_u = V_u$

Jumlah Baut yang dibutuhkan

$$n = \frac{R_u}{\phi R_n} = \frac{33,84}{32,55} = 1,1 \cong 2 \text{ buah} \quad \dots (4-66)$$

Syarat jarak baut (SNI 1729 – 2015)

1. Jarak minimum (antar baut) = $3d = 3 \cdot 13 = 39 \text{ mm}$
2. Jarak maksimum (antar baut) = $24t = 24 \times 6 = 144 \text{ mm}$

Atau 305 mm (pilih terkecil)

3. Jarak tepi minimum = $1 \frac{1}{8}'' = 26 \text{ mm}$
4. Jarak tepi maksimum = $12 tw = 12 \times 6 = 72 \text{ mm}$

Atau 150 mm (pilih terkecil)

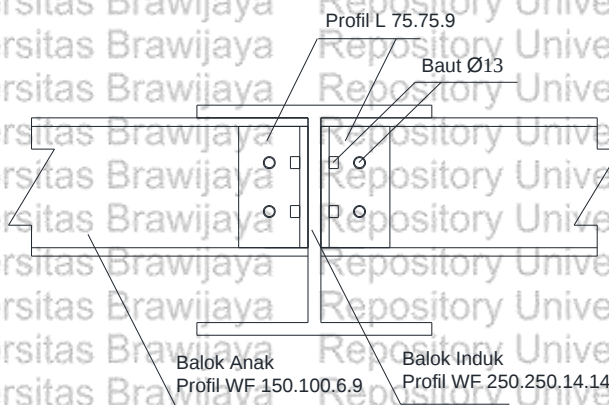
Jarak antar baut = $39 < 40 < 144 \text{ mm}$

Jarak tepi baut = $26 < 27 < 72 \text{ mm}$

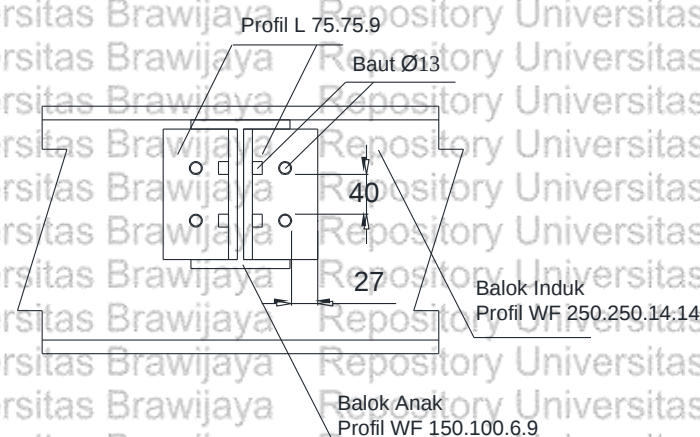
4.9.1.4 Gambar Detail Sambungan



Gambar 4.30 Tampak Atas Sambungan Balok Anak – Balok Induk
Sumber : Hasil Analisis



Gambar 4.31 Tampak Depan Sambungan Balok Anak – Balok Induk
Sumber : Hasil Analisis



Gambar 4.32 Tampak Samping Sambungan Balok Anak – Balok Induk
Sumber : Hasil Analisis

4.9.2 Sambungan Balok Induk – Kolom

Balok dan Kolom harus disambungkan dengan alat sambung agar menjadi satu kesatuan. Pada sambungan Balok baja dan Kolom baja ini digunakan sambungan Las agar struktur menjadi *monolite*. Sebagai contoh dilakukan penyambungan Balok Induk dengan Profil WF 250x250x14x14 dengan Kolom dengan Profil WF 400x400x20x35.

4.9.2.1 Rekap Gaya Pada Balok

Hasil output SAP 2000 pada Balok Induk akibat beban kombinasi, didapat:



101

Tabel 4.12

Rekap Gaya Sambungan Balok Induk

Momen (Mu)		Geser (Vu)
Lapangan	Tumpuan	202,86 kN
164,49 kNm	-251,5 kNm	

Sumber : Hasil Analisis

4.9.2.2 Data Sambungan

1. Data Sambungan Las yang digunakan :
Digunakan Las Elektroda 90 (E90)

$$F_u = 620 \text{ MPa}$$

2. Digunakan Baut A325 tipe M20 x 100

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

$$L_b = 100 \text{ mm}$$

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

$$F_{nv} = 327 \text{ MPa}$$

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

3. Digunakan Pelat sambung $h = 500 \text{ mm}$ dengan mutu BJ- 37

$$h = 500 \text{ mm}$$

$$t_p = 14 \text{ mm}$$

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

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

4. Digunakan Pengaku $h = 250$ dan $b = 255 \text{ mm}$ dengan mutu BJ- 37

$$h = 250 \text{ mm}$$

$$b = 255 \text{ mm}$$

$$t_w = 14 \text{ mm}$$

$$t_f = 14 \text{ mm}$$

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

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

4.9.2.3 Desain Sambungan Las

1. Perencanaan sambungan Las sudut pada pelat badan (Web)

Ukuran Las :

$$t_w = 14 \text{ mm}$$

Menurut tabel pada SNI 1729-2015 pasal J2.3, jika $13 \text{ mm} < t_w < 19 \text{ mm}$, maka:

$$w_{min} = 6 \text{ mm}$$

$$w_{maks} = 14 \text{ mm (tidak lebih dari ketebalan material)}$$



Diambil $w = 6 \text{ mm}$

Tebal Efektif Las

Menggunakan metode las sama kaki

$$\begin{aligned} A_{we} &= \sin 45^\circ \cdot w \\ &= 0,707 \cdot 6 \\ &= 4,24 \text{ mm}^2 \end{aligned} \quad \dots (4-67)$$

$$\begin{aligned} F_{nw} &= 0,60 F_{E90} (1,0 + 0,50 \sin^{1,5} \theta) \\ &= 0,60 \cdot 620 (1,0 + 0,50 \sin^{1,5} 45^\circ) \\ &= 482,6 \text{ Nmm} \end{aligned} \quad \dots (4-68)$$

Kuat rencana Las (per — mm Panjang) :

$$\begin{aligned} \phi R_n &= 0,75 \cdot F_{nw} \cdot A_{we} \\ &= 0,75 \cdot 482,6 \cdot 4,24 \\ &= 1534,67 \text{ N} \end{aligned} \quad \dots (4-69)$$

Pada pelat badan, gaya yang ditahan adalah gaya geser (V_u), Maka $R_u = V_u$

Panjang Las yang dibutuhkan :

$$\begin{aligned} L_w &= \frac{R_u}{\phi R_n} > L_{min} = 4 \cdot a \\ &= \frac{202860}{1534,67} > 24 \text{ mm} \\ &= 132,18 \text{ mm} \cong 140 \text{ mm} > 24 \text{ mm} \text{ (OK)} \end{aligned} \quad \dots (4-70)$$

2. Perencanaan sambungan Las sudut pada pelat sayap (*Flens*)

Ukuran Las :

$$t_f = 14 \text{ mm}$$

Menurut tabel pada SNI 1729-2015 pasal J2.3, jika $13 \text{ mm} < t_f < 19 \text{ mm}$, maka:

$$w_{min} = 6 \text{ mm}$$

$$w_{maks} = 14 \text{ mm} \text{ (tidak lebih dari ketebalan material)}$$

Diambil $w = 10 \text{ mm}$

Tebal Efektif Las

Menggunakan metode las sama kaki

$$\begin{aligned} A_{we} &= \sin 45^\circ \cdot w \\ &= 0,707 \cdot 10 \\ &= 7,07 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$



103

$$\begin{aligned} F_{nw} &= 0,60 F_{E90} (1,0 + 0,50 \sin^{1,5} \theta) \\ &= 0,60 \cdot 620 \cdot (1,0 + 0,50 \sin^{1,5} 45^\circ) \\ &= 482,6 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Kuat rencana Las (per-mm Panjang) :

$$\begin{aligned} \phi R_n &= 0,75 \cdot F_{nw} \cdot A_{we} \\ &= 0,75 \cdot 482,6 \cdot 7,07 \\ &= 2559 \text{ N} \end{aligned}$$

Pada pelat sayap, gaya yang ditahan adalah Momen (Mu), maka :

$$R_u = \frac{M_u}{d_{profil}} = \frac{251500000}{250} = 1006000 \text{ Nmm}$$

Panjang Las yang dibutuhkan :

$$\begin{aligned} L_w &= \frac{R_u}{\phi R_n} > L_{min} = 4 \cdot a \\ &= \frac{1006000}{2559} > 24 \text{ mm} \\ &= 393,12 \text{ mm} \approx 400 \text{ mm} > 24 \text{ mm (OK)} \end{aligned}$$

3. Jadi digunakan sambungan Las pada :

- Pelat sayap dengan $w = 10 \text{ mm}$ dengan panjang $L_w = 400 \text{ mm}$
- Pelat badan dengan $w = 6 \text{ mm}$ dengan panjang $L_w = 140 \text{ mm}$
- Pelat pengaku dengan w (tebal las) sesuai dengan pelat badan dan pelat sayap

4.9.2.4 Desain Sambungan Baut

Kuat geser baut :

$$\begin{aligned} \phi R_n &= 0,75 \cdot F_{nv} \cdot A_b \\ &= 0,75 \cdot 327 \cdot \left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 20^2 \right) \\ &= 77047,56 \text{ N} \\ &= 77,05 \text{ kN} \end{aligned}$$

Kuat Tumpu baut

Apabila lubang baut pada beban layan adalah perhitungan desain :

$$\begin{aligned} \phi R_n &= 1,5 \cdot l_c \cdot t_p \cdot F_u \leq 3,0 \cdot d \cdot t_p \cdot F_u \\ &= 3,0 \cdot d \cdot t_p \cdot F_u \\ &= 3,0 \cdot 20 \cdot 14 \cdot 825 \\ &= 693000 \text{ N} \end{aligned}$$

dipilih tahanan terkecil

$$\phi R_n = 77,05 \text{ kN}$$



Untuk menahan gaya geser maka $R_u = V_u$

Jumlah Baut yang dibutuhkan

$$n = \frac{R_u}{\phi R_n} = \frac{202,86}{77,05} = 2,63 \cong 4 \text{ buah}$$

Syarat jarak baut (SNI 1729 – 2015)

1. Jarak minimum (antar baut) = $3d = 3 \cdot 20 = 60 \text{ mm}$
2. Jarak maksimum (antar baut) = $24t = 24 \times 14 = 336 \text{ mm}$

Atau 305 mm (pilih terkecil)

3. Jarak tepi minimum = $1 \frac{1}{8}'' = 28,575 \text{ mm}$
4. Jarak tepi maksimum = $12t = 12 \cdot 14 = 168 \text{ mm}$

Atau 150 mm (pilih terkecil)

$$\text{Jarak antar baut} = 66 < 70 < 305 \text{ mm}$$

$$\text{Jarak tepi baut} = 28,575 < 58 < 150 \text{ mm}$$

4.9.2.5 Gambar Detail Sambungan

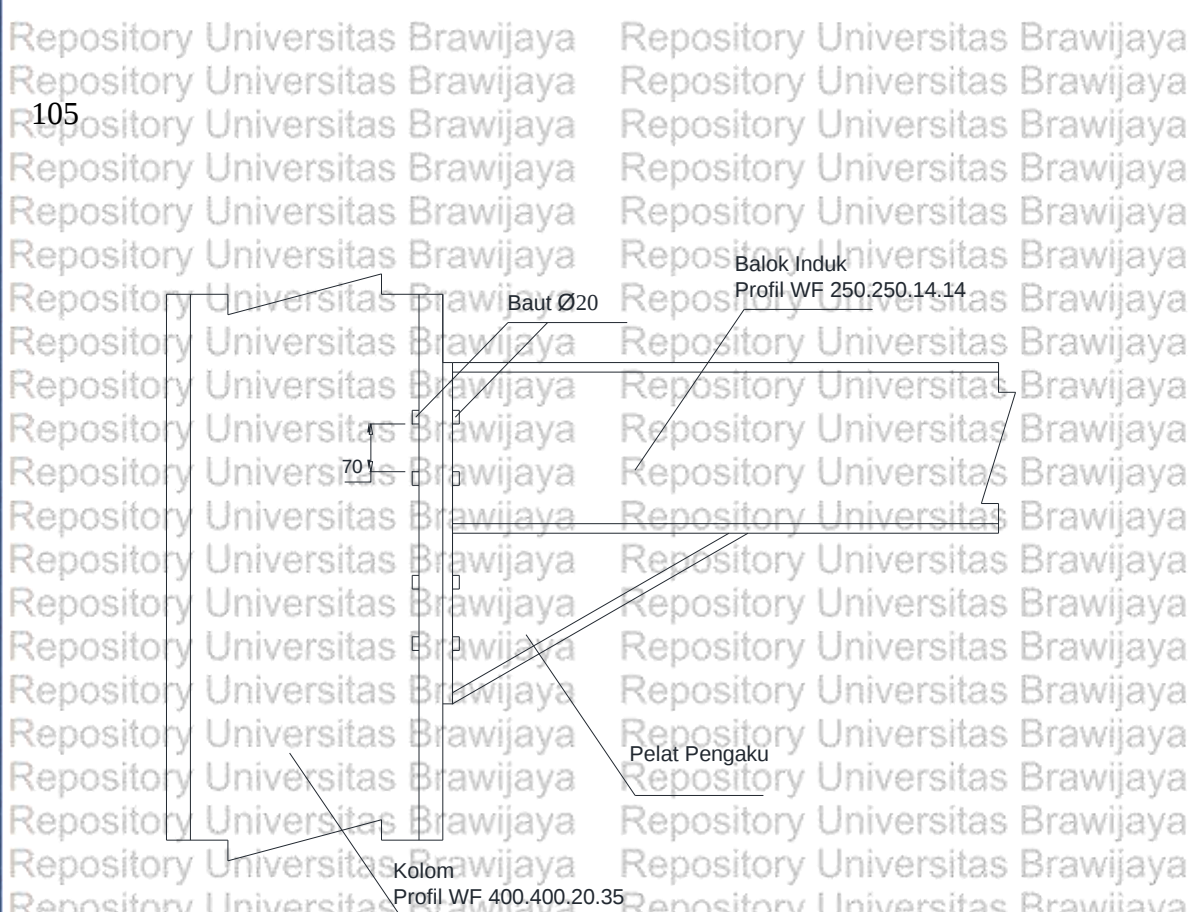


Gambar 4.33 Tampak Atas Sambungan Balok Induk – Kolom

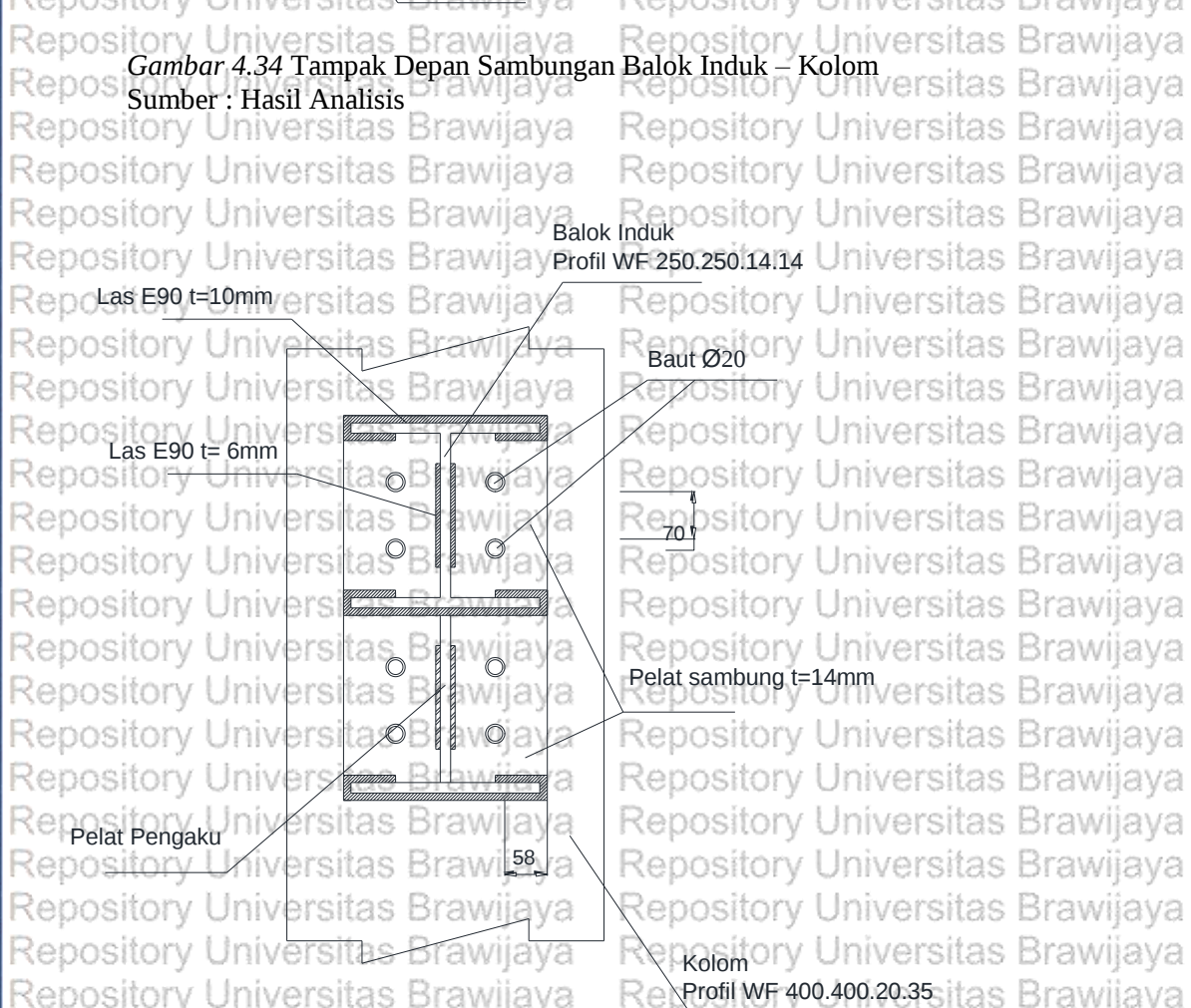
Sumber : Hasil Analisis



105



Gambar 4.34 Tampak Depan Sambungan Balok Induk – Kolom
Sumber : Hasil Analisis



Gambar 4.35 Tampak Samping Sambungan Balok Induk – Kolom
Sumber : Hasil Analisis

105



4.9.3 Sambungan Antar Kolom

Antar Kolom harus disambungkan dengan alat sambung agar menjadi satu kesatuan, Pada sambungan antar Kolom baja ini digunakan sambungan baut agar struktur menjadi *monolite*. Sebagai contoh dilakukan penyambungan antar Kolom dengan Profil WF 400x400x20x35.

4.9.3.1 Rekap Gaya Pada Balok

Hasil output SAP 2000 pada Kolom akibat beban kombinasi, didapat:

Tabel 4.13

Rekap Gaya Sambungan Kolom

Momen (Mu)		Gaya Geser (Vu)
Lapangan	Tumpuan	130 kN
432,48 kNm	-427,88 kNm	

Sumber : Hasil Analisis

4.9.3.2 Data Alat Sambung

1. Digunakan Baut A325 tipe M22 x 100

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

$$L_b = 100 \text{ mm}$$

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

$$F_{nv} = 327 \text{ MPa}$$

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

2. Digunakan Pelat sambung untuk pelat badan $h = 300 \text{ mm}$ dengan mutu BJ- 37

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

$$t_p = 18 \text{ mm}$$

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

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

3. Digunakan Pelat sambung untuk pelat sayap $h = 420 \text{ mm}$ dengan mutu BJ- 37

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

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

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

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



4.9.3.3 Data Sambungan

1. Sambungan Baut pada Pelat Badan (Web)

h pelat penyambung = 300 mm

I pelat penyambung > I pelat badan badan

$$2 \cdot \frac{1}{12} \cdot 18 \cdot hp^3 > \frac{1}{12} \cdot tw \cdot hw^3 \quad \dots (4-71)$$

$$2 \cdot \frac{1}{12} \cdot 18 \cdot 300^3 > \frac{1}{12} \cdot 20 \cdot 358^3$$

$$81000000 \text{ mm}^4 > 76471187 \text{ mm}^4$$

Kuat geser baut :

$$\begin{aligned} \phi R_n &= 0,75 \cdot F_{nv} \cdot A_b \\ &= 0,75 \cdot 327 \cdot \left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 22^2 \right) \\ &= 93227,55 \text{ N} \\ &= 93,23 \text{ kN} \end{aligned}$$

Kuat Tumpu baut :

Apabila lubang baut pada beban layan adalah perhitungan desain :

$$\begin{aligned} \phi R_n &= 1,5 \cdot l_c \cdot tp \cdot F_u \leq 3,0 \cdot d \cdot tp \cdot F_u \\ &= 3,0 \cdot d \cdot tp \cdot F_u \\ &= 3,0 \cdot 22 \cdot 18 \cdot 825 \\ &= 1960200 \text{ N} \end{aligned}$$

dipilih tahanan terkecil

$$\phi R_n = 93,23 \text{ kN}$$

Untuk menahan gaya geser maka $R_u = V_u$

Jumlah Baut yang dibutuhkan

$$n = \frac{R_u}{\phi R_n} = \frac{130}{92,23} = 1,41 \cong 4 \text{ buah}$$

Syarat jarak baut (SNI 1729 – 2015)

1. Jarak minimum (antar baut) = $3d = 3 \cdot 22 = 66 \text{ mm}$
2. Jarak maksimum (antar baut) = $24t = 24 \times 18 = 432 \text{ mm}$

Atau 305 mm (pilih terkecil)

3. Jarak tepi minimum = $1 \frac{1}{8}'' = 28,575 \text{ mm}$
4. Jarak tepi maksimum = $12 tw = 12 \cdot 20 = 240 \text{ mm}$

Atau 150 mm (pilih terkecil)

Jarak antar baut = $66 < 100 < 305 \text{ mm}$

Jarak tepi baut = $28,575 < 87 < 150 \text{ mm}$



2. Sambungan Baut pada Pelat Sayap (*flens*)

Momen yang diterima pelat sayap menjadi sepasang gaya kopel sehingga sambungan pada pelat sayap menerima beban geser sentris.

$$M_{web} = \frac{I_{web}}{I_x} \cdot Mu \quad \dots (4-72)$$

$$\begin{aligned} &= \frac{76471187}{1190000000} \cdot 432480000 \\ &= 27791814 \text{ Nmm} \\ &= 27,79 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$M_{flens} = Mu - M_{web} \quad \dots (4-73)$$

$$\begin{aligned} &= 432480000 - 27791814 \\ &= 404688186 \text{ Nmm} \\ &= 404,69 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$Ru = \frac{M_{flens}}{d} \quad \dots (4-74)$$

$$\begin{aligned} &= \frac{404688186}{422} \\ &= 958976,74 \text{ N} \\ &= 95,9 \text{ kN} \end{aligned}$$

Ru adalah gaya tarik yang dapat diterima profil, maka $Ru = Tu$

$$Tu = Ag \cdot fy \quad \dots (4-75)$$

$$958976,74 = Ag \cdot 240$$

$$Ag = 3954,07$$

Mencari tebal pelat yang dibutuhkan (tp)

$$hp = 420$$

$$tp = \frac{Ag}{hp} \quad \dots (4-76)$$

$$tp = \frac{3954,07}{420}$$

$$tp = 9,41 \text{ mm} \cong 12 \text{ mm}$$

Jumlah baut yang diperlukan n

$$n = \frac{Tu}{\phi R_n} \quad \dots (4-76)$$

$$\begin{aligned} &= \frac{958,98}{92,23} \\ &= 10,39 \cong 12 \text{ baut} \end{aligned}$$

Syarat jarak baut (SNI 1729 – 2015)



109

1. Jarak minimum (antar baut) = $3d = 3 \cdot 22 = 66 \text{ mm}$
2. Jarak maksimum (antar baut) = $24t = 24 \times 18 = 432 \text{ mm}$

Atau 305 mm (pilih terkecil)

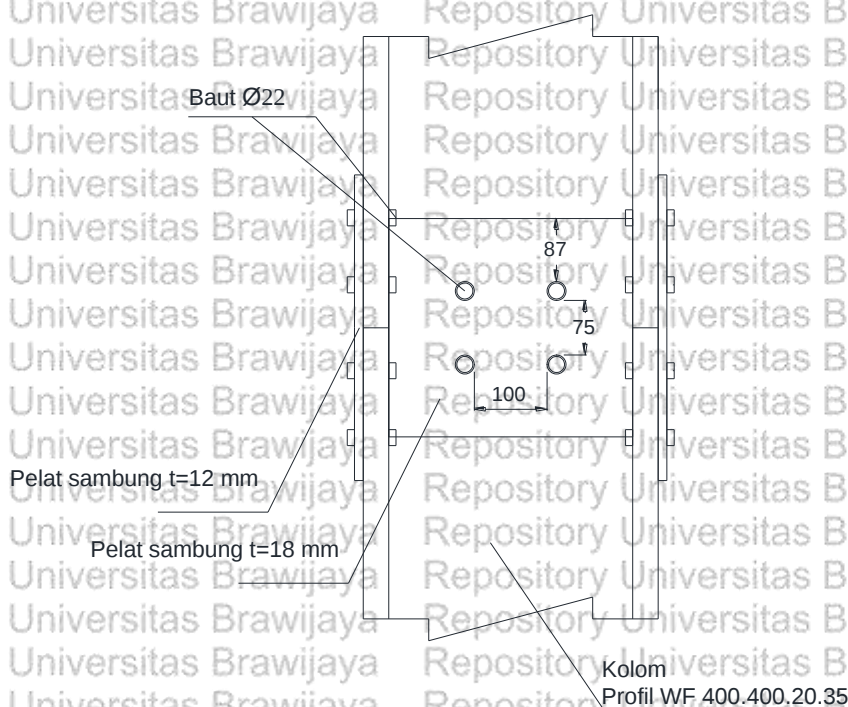
3. Jarak tepi minimum = $1 \frac{1}{8}'' = 28,575 \text{ mm}$
4. Jarak tepi maksimum = $12 \text{ tw} = 12 \cdot 20 = 240 \text{ mm}$

Atau 150 mm (pilih terkecil)

Jarak antar baut = $66 < 65 < 305 \text{ mm}$

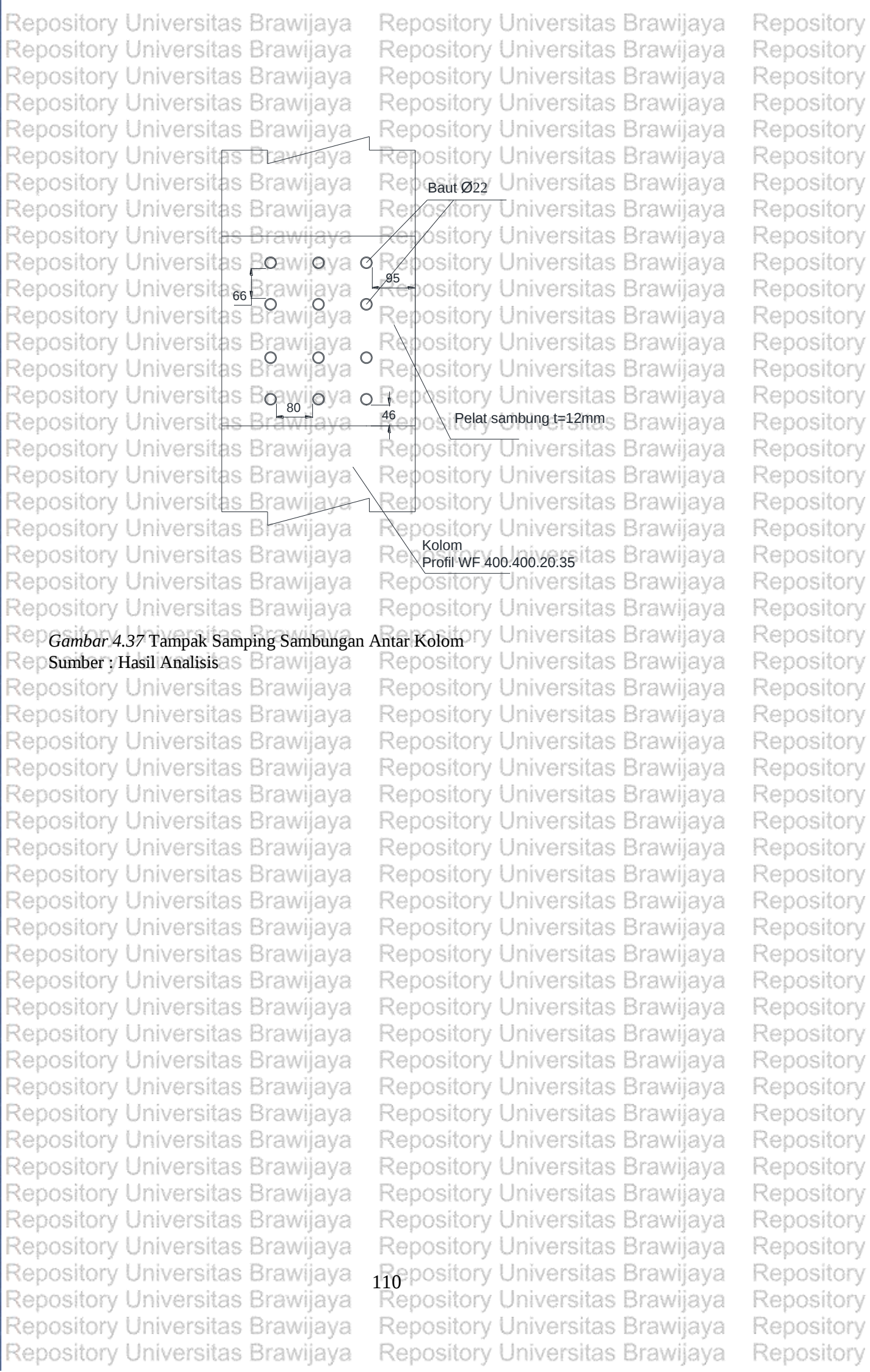
Jarak tepi baut = $28,575 < 80 < 150 \text{ mm}$

4.9.3.4 Gambar Detail Sambungan



Gambar 4.36 Tampak Depan Sambungan Antar Kolom

Sumber : Hasil Analisis



Gambar 4.37 Tampak Samping Sambungan Antar Kolom

Sumber : Hasil Analisis



BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Perencanaan Alternatif Gedung Laboratorium Vokasi dan Industri Kreatif Vokasi menggunakan Struktur Balok Komposit adalah :

Hal yang dilakukan untuk mengawali adalah pemodelan struktur SAP 2000, setelah keluar hasil output berupa gaya – gaya dalam seperti *Momen Ultimate* (M_u), Gaya Lintang (V_u), dan Gaya Aksial (P_u), kemudian dianalisis perencanaan struktur baja sesuai dengan SNI-1726-2015 menggunakan profil *Wide Flange* (WF) dengan syarat $\phi M_n \geq M_u$, apabila dalam perhitungan $\phi M_n \leq M_u$, hal tersebut menandakan tidak control dan harus dilakukan analisis menggunakan struktur komposit dengan menambahkan perhitungan *shear connector* sebagai penghubung antar material. Setelah melalui analisis komposit harus sudah kontrol terhadap perhitungan momen $\phi M_n \geq M_u$ dan perhitungan geser $\phi V_n \geq V_u$.

Untuk analisis Kolom juga menggunakan struktur baja sesuai dengan SNI-1726-2015 menggunakan profil *Wide Flange* (WF) harus memenuhi kontrol terhadap perhitungan momen $\phi M_n \geq M_u$ dan perhitungan aksial $\phi P_n \geq P_u$.

2. Dari hasil perhitungan ditemukan perbedaan saat dilakukan perubahan analisis dari perencanaan struktur balok baja menjadi struktur balok komposit, karena pada saat analisis momen lapangan sudah memenuhi persyaratan $\phi M_n \geq M_u$, maka hanya dilakukan analisis momen tumpuan saja yang belum memenuhi persyaratan. Berikut adalah sajian data sebelum dan sesudah komposit pada Perencanaan Struktur Balok :

Tabel 5.1
Rekap Momen Sebelum dan Sesudah Komposit

Balok	Profil	Momen Ultimate (kNm)	ϕ Momen Nominal (kNm)	
			Sebelum Komposit	Setelah Komposit
Induk	250.250.14.14	251,5	219,24	361,57
Anak	150.100.6.9	44,48	32,49	72,32

Sumber : Hasil Analisis

Untuk balok induk terjadi pembesaran momen 65 % dari keadaan sebelum komposit dan untuk balok anak terjadi pembesaran momen 123% dari keadaan sebelum



komposit, hal ini membuktikan bahwa pembesaran momen pada struktur komposit sangat bervariasi bergantung dengan variable analisis komposit.

Adapula perbedaan dengan penambahan perhitungan shear connector (penghubung geser) agar material - material terkomposit dengan sempurna.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil dari perencanaan yang telah dilakukan diharapkan:

1. Untuk kedepannya dapat membandingkan dari sisi ekonomis antara metode konvensional struktur beton bertulang dan struktur komposit, agar sebagai pertimbangan pilihan yang relevan dengan keadaan biaya.
2. Untuk kedepannya harus tetap memperhatikan peraturan Standart Nasional Indonesia (SNI) supaya hasil yang diperoleh dapat dipertanggung jawabkan serta didapatkan hasil yang lebih efektif dan efisien.
3. Untuk selanjutnya agar mempertimbangkan sisi waktu pengerjaan dan sumber daya manusia yang dibutuhkan.



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.

Standar Nasional Indonesia 1726. 2012. Tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.

Standar Nasional Indonesia 1727. 2013. Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur lain. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.

Standar Nasional Indonesia 1729. 2015. Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.

Setiawan, Agus., 2008. “*Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD (Sesuai dengan SNI 03 – 1729 – 2002)*”. Semarang: Erlangga.

American Institute of Steel Construction, 2010, “*Load and Resistance Factor Design Specification*”, Chicago, Illinois.

American Institute of Steel Construction Committee 360-10. 2010. Specification for Structural Steel Buildings. Chicago: American Institute of Steel Construction.

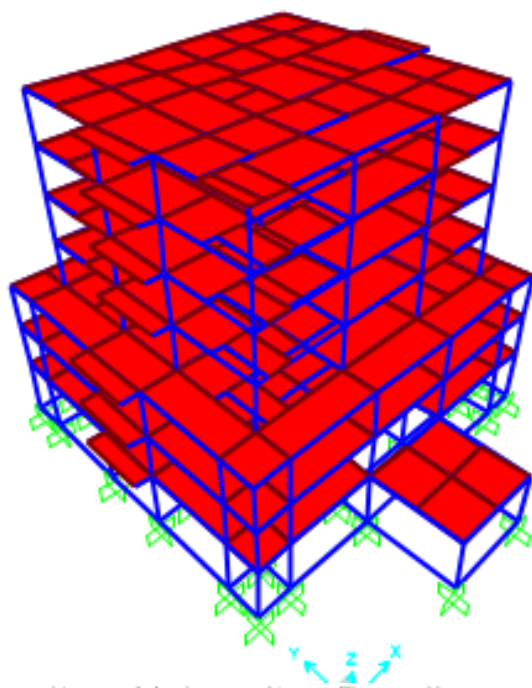
Dewobroto, Wiryanto., 2016. Struktur Baja. “*Perilaku, Analisis dan Desain – AISC 2010*”. Bandung : Jurusan Teknik Sipil UPH, Lumina Press

[illegible]

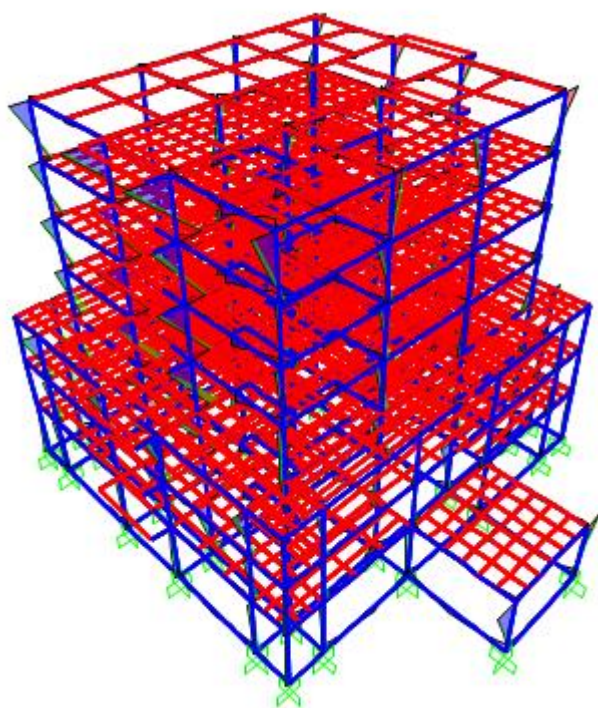
Repository
Repository
Repository
Repository
Repository
Repository
Repository



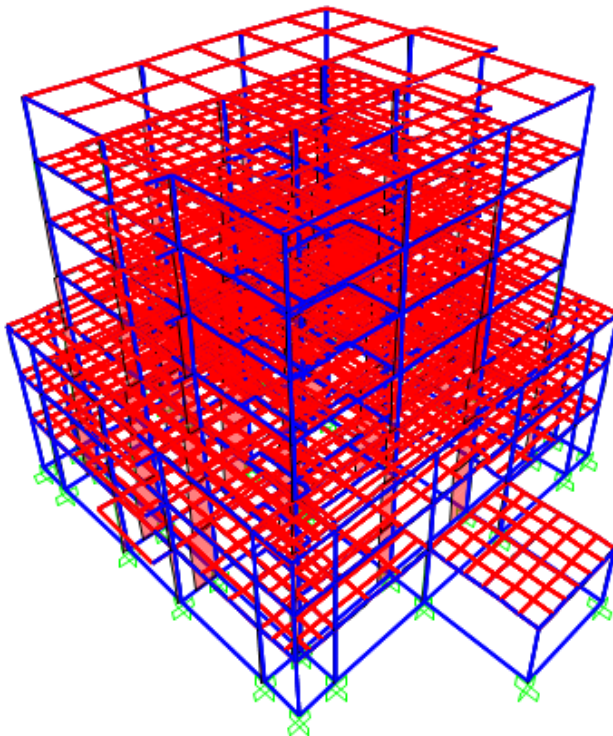
LAMPIRAN 2 PEMODELAN STRUKTUR PADA SAP 2000



Gambar Pemodelan Gedung



Gambar Bidang Momen



Gambar Bidang Normal

