

**STUDI ALTERNATIF PERENCANAAN ULANG BANGUNAN
GEDUNG 7 LANTAI MENGGUNAKAN STRUKTUR BALOK
KOMPOSIT PADA PROYEK PEMBANGUNAN GEDUNG KANTOR**

PEMERINTAH KABUPATEN LAMONGAN

SKRIPSI

TEKNIK SIPIL

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



BACHRUDIN MUHAMMAD ALIFIAN ARZAQ

NIM. 175060100111023

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2021

Halaman Sengaja dikosongkan



LEMBAR PENGESAHAN
STUDI ALTERNATIF PERENCANAAN ULANG BANGUNAN GEDUNG 7 LANTAI
MENGGUNAKAN STRUKTUR BALOK KOMPOSIT PADA PROYEK
PEMBANGUNAN GEDUNG KANTOR PEMERINTAH KABUPATEN LAMONGAN

SKRIPSI
TEKNIK SIPIL

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



BACHRUDIN MUHAMMAD ALIFIAN ARZAQ

NIM. 175060100111023

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing

Pada tanggal 29 Desember 2021

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Ir. Mohammad Taufik Hidayat.,MT.

Dr. Eng. Ming Narto W,ST.,MT.,M.Sc

NIP. 19611228 198802 1 001

NIK. 201102 840705 1 001

Mengetahui,

Ketua Program Studi S1



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

NIP. 19810220 200604 1 002



HALAMAN IDENTITAS TIM PENGUJI SKRIPSI

JUDUL SKIRPSI:

Studi Alternatif Perencanaan Ulang Bangunan Gedung 7 Lantai Menggunakan Struktur Balok Komposit Pada Proyek Pembangunan Kantor Pemerintah Kabupaten Lamongan.

Nama Mahasiswa : Bachrudin Muhammad Alifian Arzaq

NIM : 175060100111023

Program Studi : Teknik Sipil

Minat : Struktur

TIM DOSEN PENGUJI

Dosen Penguji I : Ir. Mohammad Taufik Hidayat, MT.

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

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

Tanggal Ujian : 28 Desember 2021

SK Penguji : 2973/UN10.F07/KP/2021



UNIVERSITAS BRAWIJAYA



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 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, 29 Desember 2021

Bachrudin Muhammad Alifian Arzaq

175060100111023







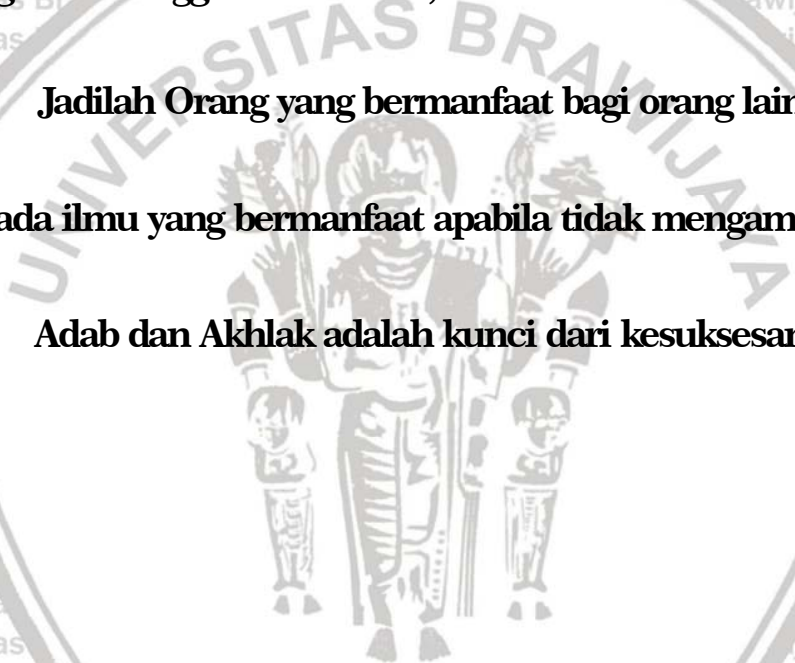
LEMBAR PERUNTUKAN

Jangan Meninggal kan ibadah, karena ibadah adalah kunci.

Jadilah Orang yang bermanfaat bagi orang lain.

Tidak ada ilmu yang bermanfaat apabila tidak mengamalkan nya.

Adab dan Akhlak adalah kunci dari kesuksesan.



KATA PENGANTAR

Alhamdulillah Puji syukur telah penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT atas pemberian Nikmat, Rahmat dan hidayah-Nya sehingga skripsi yang berjudul **“STUDI ALTERNATIF PERENCANAAN ULANG BANGUNAN GEDUNG 7 LANTAI MENGGUNAKAN STRUKTUR BALOK KOMPOSIT PADA PROYEK PEMBANGUNAN KANTOR PEMERINTAH KABUPATEN LAMONGAN”** dapat terselesaikan penuh dengan kemudahan, kelancaran dan tepat waktu. Penulisan skripsi ini diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar **Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya**.

Skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik berkat bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak, penulis menyampaikan ucapan terimakasih sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak **Dr. Eng. Alwafi Pujiraharjo., ST., MT.**, selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya
2. Bapak **Dr. Eng. Ir. Indradi W., ST, M.Eng (Prac)** selaku Ketua Program Studi S1 Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya.
3. Bapak **Ir. Mohammad Taufik Hidayat.,MT.** selaku Dosen Pembimbing I.
4. Bapak **Dr. Eng. Ming Narto W, ST., MT., M.Sc.**, selaku dosen pembimbing II
5. Ibu **Lilya Susanti, Dr. Eng., ST., MT.**, selaku Dosen Ketua majelis penguji,
6. Bapak **Dr. Ir. Wisnumurti, MT.**, selaku KKJF Struktur.
7. Bapak **Ir. Bhondana Bayu B.K .,ST.,MT.** selaku Dosen Penasehat Akademik.
8. Bapak **Prof. Dr. Ir. Agoes Soehardjono M.D., MT** dan Bapak **Ir. Bhondana Bayu B.K .,ST.,MT.** telah membimbing dan memberikan ilmunya kepada saya dalam menyelesaikan Studio Perancangan I dan II.
9. **Keluarga Saya** di Lamongan yang selalu mendoakan dan memberikan semangat, dukungan, dan kasih sayangnya yang sangat besar dalam menyelesaikan skripsi ini.
10. **Muhammad Rizqi Farhani** yaitu partner berproses saya dari Tugas Besar Statika sampai skripsi, selalu mengajari saya dengan sabar, membantu akademik saya sejak saya mahasiswa baru, menemani, mensupport, menguatkan, dan menyayangi serta selalu menjadi penyemangat saya semenjak saya masuk di jurusan Teknik Sipil FT-UB tercinta.

11. Keluarga Besar Saya dari Mulai mahasiswa baru hingga saat ini yaitu, **TEKNIK SIPIL UB 2017** yang banyak membantu saya saat susah ataupun senang, berproses bersama saling membantu dalam setiap program kerja dan kepanitiaan, dan banyak hal lainnya yang telah kita lalui yang tidak bisa disebut satu persatu disini.
12. **HIMPUNAN MAHASISWA SIPIL DAN FORUM STUDI ISLAM SIPIL**, yang membantu dan memberikan wadah sehingga saya dapat mengenal organisasi sejak saya kuliah di Teknik Sipil UB.
13. **TIM BSI (Bismillah Semangat Isok)** yaitu Rizqi, Sjahiza, Raihan, Rezi, Dimas, Irfan, Faisal.
14. **Keluarga Besar Mahasiswa Teknik sipil, Mas Mas saya, Adik Adik saya** yang mengajarkan saya bagaimana kehidupan di Teknik Sipil UB.
15. **Teman-Teman** semua, dan saya mohon maaf saya tidak bisa menyebutkan satu persatu nama-namanya, saya ucapkan terima kasih telah memberikan semangat dan dukungan kepada saya selama pengerjaan skripsi ini.

Saya sangat menyadari bahwa skripsi ini jauh dari kata sempurna yang saya kerjakan, untuk itu segala kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan demi kesempurnaan skripsi ini. Akhir kata, saya berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat kedepannya. Aamiin.

Malang, 21 Oktober 2021

Bachrudin Muhammad Alifian Arzaq



DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	x
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR GAMBAR	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Identifikasi Masalah.....	2
1.3 Rumusan Masalah.....	3
1.4 Maksud dan Tujuan	3
1.5 Batasan Masalah	3
1.6 Manfaat.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Struktur Baja	5
2.1.1 Jenis Profil Baja.....	5
2.1.2 Sifat Material yang dimiliki baja	6
2.2 Struktur Beton Bertulang.....	6
2.2.1 Sifat Mekanis Beton Bertulang.....	7
2.2.1.1 Sifat Jangka Pendek Beton Bertulang.....	7
2.2.1.2 Sifat Jangka Panjang Beton Bertulang.....	7
2.3 Struktur Komposit.....	8
2.3.1 Pengertian Komposit	8
2.3.2 Metode Pelaksanaan Struktur Komposit	10
2.4 Syarat Perencanaan Pembebanan.....	10
2.4.1 Faktor Beban dan Kombinasi Beban.....	10
2.4.2 Beban Mati.....	11
2.4.3 Beban Hidup	11
2.4.4 Beban Gempa.....	11
2.4.4.1 Wilayah Zona Gempa	11
2.4.4.2 Kategori Pembebanan Gempa Pada Gedung.....	12
2.4.4.3 Konfigurasi Struktur Gedung.....	14
2.4.4.4 Respon Spektrum Percepatan Gempa.....	14
2.4.4.5 Parameter Desain Spektrum.....	16



2.4.4.6 Respon Desain Spektrum.....	16
2.4.4.7 Geser Dasar Seismik.....	17
2.4.4.8 Distribusi Gaya Gempa	19
2.5 Analisis Struktur	19
2.5.1 Analisis Balok Komposit dan Kolom Komposit.....	20
2.5.1.1 Perencanaan Balok Komposit.....	20
2.5.1.2 Perhitungan Kolom.....	29
2.5.2 Kategori Risiko Gedung	29
2.5.3 Sistem Struktur	29
2.6 Sambungan.....	30
2.6.1 Sambungan Baut.....	30
2.6.2 Sambungan Las	31
2.7 Penghubung Geser	32
2.7.1 Macam Macam Penghubung Geser.....	32
2.7.2 Jumlah Angkur Baja Yang Dibutuhkan	35
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	37
3.1 Pengumpulan Data	37
3.2 Data Perencanaan.....	37
3.2.1 Data Umum Gedung.....	37
3.2.2 Data Teknis Gedung Awal	37
3.3 Prosedur Perencanaan	38
3.3.1 Analisis Pembebanan.....	38
3.3.2 Analisis Struktur.....	39
3.3.3 Perencanaan Penampang	39
3.3.4 Gambar Struktur	39
3.4 Flowchart.....	40
3.5 Hipotesis.....	40
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	43
4.1 Analisis Pembebanan	43
4.1.1 Beban Mati	43
4.1.2 Beban Hidup.....	43
4.1.3 Pembebanan Balok dan Pelat	44
4.2.1.2 Pelat Atap (Top Floor).....	44
4.2.2 Pembebanan Gempa	45

4.2.3 Kombinasi Pembebanan	49
4.3 Pemodelan Struktur Menggunakan SAP2000 v20.....	50
4.4 Perencanaan Struktur Dengan Material Baja	55
4.4.1 Perencanaan Balok Induk	55
4.4.1.1. Rekapitulasi Output Gaya Dalam	55
4.5 Penampang Profil Balok Induk	56
4.5.1 Penampang Profil Balok Induk Melintang(Cross Section)	56
4.5.2 Penampang Profil Balok Induk Memanjang (Long Section).....	57
4.6 Kontrol Profil Balok Induk	58
4.6.1 Kontrol Profil Balok Induk Melintang (Cross Section).....	58
4.6.2 Kontrol Profil Balok Induk Memanjang (Long Section).....	58
4.6.3 Cek Kapasitas Nominal Sebelum Komposit.....	59
4.6.3.1 Pengecekan Kapasitas Nominal Balok Induk Melintang (Cross Section)	59
4.6.3.2 Cek Kapasitas Nominal Balok Induk Memanjang (Long Section)	61
4.6.4 Cek Kapasitas Nominal Setelah Komposit.....	62
4.6.4.1 Cek Kapasitas Nominal Setelah Komposit Balok Induk Memanjang (Long Section)	62
4.6.4.2 Pengecekan Kapasitas Nominal Komposit Balok Induk Melintang (Cross Section)	66
4.5 Perhitungan Penghubung Geser (<i>Shear Connector</i>)	70
4.5.1 Penghubung Geser Pada Balok Induk Memanjang (Long Section).....	70
4.5.2 Penghubung Geser Pada Balok Induk Melintang (Cross Section)	72
4.6 Perencanaan Kolom	74
4.6.1 Rekapitulasi Output Gaya Dalam	74
4.6.2 Kontrol Kolom Akibat Beban Aksial	77
4.6.3 Kontrol Kolom Akibat Momen	78
4.6.4 Kontrol Interaksi Aksial – Lentur.....	80
4.6.3 Kontrol Kolom Akibat Momen	82
4.6.4 Kontrol Interaksi Aksial – Lentur.....	84
4.7 Perencanaan Sambungan.....	84
4.7.1 Sambungan Balok Induk – Kolom	84
4.7.1.1 Desain Sambungan Baut.....	86

4.7.1.2 Desain Sambungan Las	87
4.8.2 Sambungan Kolom-Kolom	91
4.8.2.1. Rekapitulasi Gaya Dalam Pada Kolom	91
4.8.2.2. Konfогurasi Alat Penyambung	92
4.8.2.3. Desain Sambungan Kolom – Kolom	92
4.8.2.4. Pendetailan Sambungan	94
BAB V PENUTUP	97
5.1. Kesimpulan	97
5.2. Saran	98
DAFTAR PUSTAKA	99



DAFTAR TABEL

No	Judul	Halaman
Tabel 2. 1	Kategori risiko bangunan gedung untuk beban gempa.....	13
Tabel 2. 2	Faktor keutamaan gempa.....	14
Tabel 2. 3	Klasifikasi Situs.....	14
Tabel 2. 4	Koefisien Situs, F_a	15
Tabel 2. 5	Koefisien Situs, F_v	15
Tabel 2. 6	Koefisien modifikasi respon.....	18
Tabel 2. 7	Kekuatan nominal pengencang dan bagian yang berulir (MPa).....	31
Tabel 2. 8	Jarak Tepi Minimum Baut.....	31
Tabel 2. 9	Ukuran minimum las sudut.....	32
Tabel 2. 10	Nilai R_g dan R_p	34
Tabel 4. 1	Rekapitulasi gaya dalam balok melintang.....	56
Tabel 4. 2	Rekapitulasi gaya dalam balok memanjang.....	56
Tabel 4. 3	Rekapitulasi gaya dalam kolom 1.....	74
Tabel 4. 4	Rekapitulasi Gaya Dalam Kolom 2.....	76
Tabel 4. 5	gaya dalam balok melintang.....	84
Tabel 4. 6	gaya dalam balok memanjang.....	85
Tabel 4. 7	Rekap Gaya Dalam Pada Kolom.....	91
Tabel 5. 1	Perbandingan Kekuatan Momen Nominal Sebelum dan Sesudah Analisis Komposit dan kuat geser sesudah komposit.....	97

Halaman ini sengaja dikosongkan



DAFTAR GAMBAR

No	Judul	Halaman
Gambar2. 1	Jenis Profil Baja	6
Gambar2. 2	Jenis Struktur Komposit.....	9
Gambar2. 3	Komponen Balok Komposit	9
Gambar2. 4	Peta Percepatan spektrum respons MCE_R periode 0,2 detik.....	12
Gambar2. 5	S_1 , Peta percepatan spektrum respons MCE_R periode 1 detik.....	12
Gambar2. 6	Desain Respon Spektrum.....	17
Gambar2. 7	Portal Statis Tak Tentu.....	20
Gambar2. 8	Lebar efektif balok komposit	22
Gambar2. 9	Distribusi tegangan plastis momen positif kasus 1	23
Gambar2. 10	Distribusi tegangan plastis momen positif kasus 2	24
Gambar2. 11	Distribusi tegangan plastis momen positif kasus 3	24
Gambar2. 12	Distribusi tegangan plastis momen negatif kasus 1	26
Gambar2. 13	Distribusi tegangan plastis momen negatif kasus 2	27
Gambar2. 14	Distribusi tegangan plastis momen negatif kasus 3	27
Gambar2. 15	Jenis-jenis Penghubung Geser.	33
Gambar 3. 1	Tampak depan Gedung	37
Gambar 3. 2	Flowchart tahapan perencanaan.....	40
Gambar 4. 1	Beban Hidup Tambahan yang terjadi pada pelat lantai Sumber : Analisis Software SAP 2000.....	44
Gambar 4. 2	Beban Mati Tambahan yang terjadi pada pelat lantai Sumber : Analisis Software SAP 2000.....	44
Gambar 4. 3	Tabel 3 dan tabel 4 SNI 1726-2019	45
Gambar 4. 4	S_s Gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko tertarget (MCE_R) ..	46
Gambar 4. 5	S_1 Gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko tertarget (MCE_R) ..	46
Gambar 4. 6	Tabel 6 SNI 1726-2019.....	47
Gambar 4. 7	Tabel 7 SNI 1726-2019.....	47
Gambar 4. 8	Spektrum respons desain	48
Gambar 4. 9	Peta transisi periode panjang (T_L)	48

Gambar 4. 10 Grid System	50
Gambar 4. 11 Definisi Material	51
Gambar 4. 12 Elemen Struktur Balok WF	51
Gambar 4. 13 Elemen Struktur Kolom.....	52
Gambar 4. 14 Elemen Struktur Pelat.....	52
Gambar 4. 15 Assign Jepit sebagai Tumpuan	52
Gambar 4. 16 Definisi Pembebanan Struktur	53
Gambar 4. 17 Frameload Assign.....	53
Gambar 4. 18 Shell load Assign.....	54
Gambar 4. 19 Input Respon gempa Spektrum SAP 2000	54
Gambar 4. 20 Input Kombinasi pembebanan.....	55
Gambar 4. 21 Penampang Profil Balok Induk Melintang	56
Gambar 4. 22 Penampang Profil Balok Induk Memanjang	57
Gambar 4. 23 Balok Induk Komposit	63
Gambar 4. 24 Lebar Efektif Balok Induk Memanjang Setelah Komposit	64
Gambar 4. 25 Distribusi Tegangan Balok Komposit Kasus 3	65
Gambar 4. 26 Lebar Efektif Balok Induk Melintang Setelah Komposit.....	67
Gambar 4. 27 Distribusi Tegangan Balok Komposit Kasus 3	69
Gambar 4. 28 Pemasangan Shear Stud Balok Induk Memanjang Arah Transversal	71
Gambar 4. 29 Pemasangan Shear Stud Balok Induk Memanjang Arah Longitudinal.....	72
Gambar 4. 30 Pemasangan Shear Stud Balok Induk Melintang Arah Transversal.....	73
Gambar 4. 31 Pemasangan Shear Stud Balok Induk Melintang Arah Longitudinal.....	74
Gambar 4. 32 Penampang Profil Kolom	75
Gambar 4. 33 Tampak Atas Sambungan Balok Induk Melintang – Kolom	89
Gambar 4. 34 Tampak Depan Sambungan Balok Induk Melintang – Kolom.....	89
Gambar 4. 35 Tampak Samping Sambungan Balok Induk Melintang – Kolom	90
Gambar 4. 36 Tampak Atas Sambungan Balok Induk Memanjang – Kolom.....	90
Gambar 4. 37 Tampak Depan Sambungan Balok Induk Memanjang – Kolom.....	91
Gambar 4. 38 Tampak Samping Sambungan Balok Induk Memanjang – Kolom.....	91
Gambar 4. 39 Tampak Depan Sambungan Kolom – kolom	94
Gambar 4. 40 Tampak Samping Sambungan Kolom – kolom.....	95



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Gambar Struktur Gedung Eksisting	100
--	-----



RINGKASAN

Bachrudin Muhammad, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, November 2021, *Studi Alternatif Perencanaan Ulang Bangunan Gedung 7 Lantai Menggunakan Struktur Balok Komposit Pada Proyek Pembangunan Kantor Pemerintah Kabupaten Lamongan*. Dosen pembimbing: Ir. M. Taufik Hidayat, MT., dan Dr. Eng. Ming Narto Wijaya, ST., M.Sc.

Kebutuhan Sarana dalam pemerintahan sangatlah di utamakan karena tujuan nya yaitu meningkatkan kenyamanan dalam bekerja, maka dari itu perencanaan pembangunan sarana gedung pemerintah ini harus memiliki tingkat kekuatan yang maksimal, pembangunan gedung bertingkat pada umumnya banyak menggunakan struktur beton bertulang. Akan tetapi beton bertulang mempunyai beberapa kekurangan, seperti menghasilkan beban mati yang besar dan membutuhkan ukuran dimensi elemen struktur yang besar untuk bentang balok yang panjang sehingga dapat disimpulkan kurang efisien. Maka dari itu terdapat ide untuk alternatif pilihan agar lebih efisien dan efektif, ialah dengan menggunakan alternatif struktur balok komposit untuk perencanaannya.

Struktur balok komposit merupakan sebuah elemen balok yang terdiri dari 2 material yang berbeda, material utama yaitu menggunakan Baja Profil dan material kedua untuk struktur pelat lantai menggunakan beton bertulang, yang digabungkan menjadi satu kesatuan struktur komposit menggunakan shear connector bertujuan agar bersama-sama dapat memikul beban yang terjadi. Beberapa kelebihan dari struktur balok komposit ini yaitu beban mati atau berat sendirinya cenderung lebih kecil daripada penggunaan struktur beton bertulang, dan dapat menambah panjang bentang layan dari struktur.

Studi alternatif yang penulis buat bertujuan untuk memberikan informasi dan ilmu pengetahuan kepada pembaca, untuk perhitungan perencanaan alternatif ini dibantu dengan software SAP 2000 mulai dari pemodelan struktur berdasarkan denah objek hingga mendapatkan gaya-gaya dalam yang terjadi. Setelah mendapatkan gaya-gaya dalam yang terjadi dilakukan analisis perhitungan yang harus memenuhi syarat yaitu, untuk perhitungan nilai momen ($\phi M_n \geq M_u$), dan untuk perhitungan nilai geser ($\phi V_n \geq V_u$). Struktur balok komposit diperlukan jika struktur balok baja tidak memenuhi syarat perhitungan momen tersebut.

Hasil yang didapatkan pada analisis skripsi ini didapatkan bahwa penggunaan profil baja tanpa dikomposit tidak memenuhi syarat perhitungan nilai momen yaitu ($\phi M_n \geq M_u$). Sehingga dilakukan alternatif analisis balok komposit menggunakan shear connector sebagai penghubung agar terjadi aksi komposit dengan pelat lantai beton, dan didapatkan hasil bahwa nilai kapasitas momen (ϕM_n) pada balok-balok komposit penyusun struktur bertambah besar daripada balok baja biasa.

Kata Kunci: *Struktur Komposit, Balok Komposit, Struktur Balok Komposit.*



Halaman ini sengaja dikosongkan



SUMMARY

Bachrudin Muhammad, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Brawijaya, November 2021, *Alternative Study of Re-planning a 7-Story Building Using a Composite Beam Structure in the Lamongan Regency Government Office Construction Project*. Supervisor: Ir. M. Taufik Hidayat, MT., and Dr. eng. Ming Narto Wijaya, ST., M.Sc.

The need for facilities in government is prioritized because the goal is to increase comfort at work, therefore the planning for the construction of government building facilities must have a maximum level of strength, the construction of high-rise buildings generally uses reinforced concrete structures. However, reinforced concrete has several disadvantages, such as producing a large dead load and requiring large dimensions of structural elements for long beam spans so that it can be concluded that it is less efficient. Therefore, there is an idea for alternative options to be more efficient and effective, namely to use an alternative composite beam structure for planning. The composite beam structure is a beam element consisting of 2 different materials, the main material is using Profile Steel and the second material for the floor slab structure using reinforced concrete, which is combined into a single composite structure using shear connectors in order to jointly carry the load. that happened. Some of the advantages of this composite beam structure are that the dead load or its own weight tends to be smaller than the use of reinforced concrete structures, and can increase the length of the service span of the structure.

The alternative study that the author made aims to provide information and knowledge to readers, for this alternative planning calculation assisted by SAP 2000 software ranging from structural modeling based on object plans to getting the internal forces that occur. After getting the internal forces that occur, a calculation analysis must be carried out that must meet the requirements, namely, for the calculation of the moment value (ϕM_n), and for the calculation of the shear value (ϕV_n V_u). Composite beam structure is required if the steel beam structure does not meet the requirements for calculating the moment. The results obtained in the analysis of this thesis show that the use of steel profiles without composite does not meet the requirements for calculating the moment value, namely (ϕM_n). So that an alternative analysis of composite beams is carried out using a shear connector as a connector so that composite action occurs with the concrete floor slab, and the results show that the value of the moment capacity (ϕM_n) in the composite beams that make up the structure is greater than that of ordinary steel beams.

Keywords: Composite Structure, Composite Beam, Composite Beam Structure.



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Hal utama yang harus diperhatikan dan dipastikan pada proses desain perencanaan struktur gedung yang akan dibuat sangat kokoh dan tahan lama, serta harus dapat diketahui kebutuhan biaya yang akan dikeluarkan. Biaya dalam perencanaan pembangunan bisa terlampaui akibat kurangnya pengetahuan material yang digunakan, hal yang harus dipertimbangkan salah satunya adalah material yang akan digunakan untuk perencanaan struktur tersebut, karena jenis material yang akan digunakan untuk desain dan perencanaan struktur nantinya dipengaruhi oleh biaya yang dikeluarkan dalam terlaksananya suatu pekerjaan. Jenis struktur yang dipakai bisa dari baja maupun beton. Baja dan beton adalah dua dari jenis material berbeda yang sering dipakai di dalam suatu konstruksi bangunan. Dari struktur baja dan beton ini diharapkan bisa untuk saling bekerja sama dalam memikul beban dan menghasilkan satu kesatuan struktur (Komposit), tetapi dapat juga untuk berdiri sendiri-sendiri. Sehingga dengan begitu banyaknya struktur dengan bentuk dan fungsi yang hampir sama bisa dibangun dengan baja maupun beton.

Kabupaten Lamongan memiliki salah satu sarana dan prasarana penting yaitu sebuah Gedung Kantor Pemerintahan yang digunakan untuk tempat dinas oleh seorang Bupati, Wakil Bupati dan jajaran birokrasi Pemerintahan, pembangunan Gedung Kantor pemerintah Kabupaten Lamongan 7 lantai ini merupakan salah satu pembuktian bahwa kabupaten lamongan juga memiliki daya persaingan yang maksimal dalam pembangunan infrastruktur untuk sarana prasarana penting dalam sebuah daerah. Selain itu juga fungsi pembangunan gedung pemerintahan kabupaten Lamongan ini digunakan untuk pelayanan kepada publik dan khususnya masyarakat Kabupaten Lamongan, Gedung Kantor Pemerintah Kabupaten Lamongan ini terletak di tengah area Kabupaten Lamongan. Pemerintah Kabupaten Lamongan ingin mewujudkan suatu sarana dan prasarana berupa Gedung Pemerintahan yang berkualitas dan sanggup menciptakan atmosfer gedung Pemerintah Kabupaten Lamongan yang aman, nyaman dan memadai. Oleh karena itu dalam merencanakan konstruksi gedung pemerintah kabupaten Lamongan diperlukan persiapan dan perencanaan yang maksimal.

Bangunan Gedung Kantor Pemerintah Kabupaten Lamongan menggunakan struktur beton bertulang, karena beton bertulang dipilih karena proses pelaksanaan yang mudah dan umum digunakan, karena proses pengerjaannya yang mudah maka mudah pula untuk melakukan pelaksanaannya selain itu kekurangan dari struktur beton bertulang memiliki beban mati yang relatif besar, sehingga bangunan menjadi kurang efektif karena harus memikul beban yang lebih besar. dengan berat sendiri yang besar maka beban gempa yang harus ditahan bangunan tersebut semakin besar pula.

Maka dari itu dengan permasalahan ini sehingga solusinya sangat perlu adanya perencanaan lain pada Gedung Pemerintah Kabupaten Lamongan. Alternatif untuk perencanaan struktur yang akan digunakan untuk Gedung Pemerintah Kabupaten Lamongan adalah struktur komposit. sistem dari struktur komposit terbentuk dengan adanya interaksi antar komponen komponen dari material baja dan beton yang masing-masing karakteristik dasar materialnya dimanfaatkan struktur menerus. Dapat di artikan, beban yang bekerja pada sebuah kolom akan mempengaruhi balok, pelat dan kolom lain atau sebaliknya. Perencanaan komposit mengasumsi bahwa baja dan beton bekerja sama dalam memikul beban yang bekerja sehingga akan menghasilkan desain profil yang lebih ekonomis. Sistem struktur komposit juga dapat menambah panjang bentang layan dari struktur.

Dapat disimpulkan dari beberapa permasalahan diatas terkait struktur beton bertulang sangat mendorong penulis untuk melakukan studi alternatif perencanaan Gedung Pemerintah Kabupaten Lamongan 7 lantai ini menggunakan Struktur Baja Komposit. Karena pada saat ini banyak sekali kategori bahan bangunan dan teknik konstruksi yang dapat digunakan di lapangan, penggunaan Struktur Baja Komposit adalah salah satunya. Karena Struktur Baja Komposit yang dipakai oleh penulis memiliki keunggulan yaitu sifat material berfungsi sesuai keperluan struktur seperti baja yang memiliki kekuatan Tarik (*Tension*) dan beton bertulang yang memiliki kekuatan Tekan (*Compression*). Untuk semua parameter perencanaan menggunakan SNI 1729:2020 dan LRFD, sebagai sumber yang sangat penting untuk menyusun dan menyelesaikan perencanaan struktur balok komposit.

1.2 Identifikasi Masalah

Didapatkan permasalahan dan kendala yang terjadi untuk sebuah gedung bertingkat (High Rise Building) yang ditinjau ialah gedung tinggi yang memiliki risiko besar karena adanya beban aksial yang ditumpu dan beban gempa seismik yang dipengaruhi oleh

beberapa wilayah dimana bangunan tersebut berada, serta bagaimana akibat beban gempa yang terjadi pada struktur komposit yang telah didesain.

1.3 Rumusan Masalah

1. Bagaimana Penggunaan Struktur Balok Komposit menggunakan acuan SNI 1729:2020 dan Metode Desain Faktor Beban dan Ketahanan (LRFD) pada Gedung Kantor Pemerintah Kabupaten Lamongan 7 Lantai?
2. Bagaimana Kekuatan Balok Komposit pada Gedung Kantor Pemerintah Kabupaten Lamongan 7 Lantai?

1.4 Maksud dan Tujuan

Adapun maksud dan tujuan dari studi alternatif perencanaan struktur Gedung Kantor Pemerintah Kabupaten Lamongan 7 Lantai antara lain sebagai berikut:

1. Mengetahui Penggunaan Struktur Balok Komposit sesuai dengan acuan SNI 1729:2020 dan Metode Desain Faktor Beban dan Ketahanan (LRFD) pada Gedung Kantor Pemerintah Kabupaten Lamongan 7 Lantai ?
2. Mengetahui Kekuatan Balok Komposit pada Gedung Kantor Pemerintah Kabupaten Lamongan 7 Lantai?

1.5 Batasan Masalah

Batasan-batasan yang harus diperhatikan dalam penyusunan skripsi studi alternatif ini agar lebih jelas dan mudah untuk di fahami, batasan masalah sebagai berikut :

1. Objek bangunan struktur gedung yang ditinjau perencanaan nya adalah gedung kantor Pemerintah Kabupaten Lamongan 7 lantai.
2. Perencanaan struktur balok pada gedung kantor Pemerintah Kabupaten Lamongan 7 lantai menggunakan stuktur balok komposit
3. Di fokuskan perencanaan dan perhitungan pada stuktur atas (*up structure*) yaitu: pada bagian balok dan kolom yang direncanakan.
4. Perencanaan struktur bawah tidak diperhitungkan, seperti : Pondasi, tiang pancang, dinding geser, dan balok sloop
5. Struktur Pondasi diasumsikan terjepit dan tidak diperhitungkan
6. Perencanaan Struktur kolom dan balok menggunakan profil baja WF (*Wide Flange*)
7. Perencanaan Pelat menggunakan Struktur beton bertulang
8. Mutu baja yang dipakai adalah baja dengan mutu BJ-37
9. Mutu beton yang dipakai adalah beton dengan mutu $f'_c = 30$ MPa,

- 4.
10. Perhitungan struktur baja atau balok komposit menggunakan SNI 1729:2020
11. Perhitungan seismik (*gempa*) menggunakan SNI 1726:2019
12. Sistem Pemikul gaya seismik gempa : Kategori Rangka Baja dan Beton Komposit pemikul momen menengah.
13. Perhitungan analisis stuktur gaya dalam yang terjadi akibat beban menggunakan software SAP2000 v20
14. Pelat diasumsikan sebagai beban pada Struktur
15. Beban yang bekerja pada struktur diasumsikan beban sentris
16. Anggaran biaya tidak diperhitungkan
17. Perencanaan atap tidak diperhitungkan
18. Perencanaan dinding menggunakan dinding biasa.
19. Perencanaan tangga dan lift tidak diperhitungkan

1.6 Manfaat

Banyak sekali ilmu dan manfaat yang didapat dari penulisan tugas akhir ini yaitu analisis sebuah struktur komposit pada gedung dimana banyak sekali hal hal yang diketahui sebagaimana untuk menambah ilmu dan referensi tentang pengetahuan dibidang teknik sipil dan penelitian ini sangat di fokuskan difokuskan pada struktur. Pesan penulis untuk pembaca semoga bermanfaat dan penulis berharap semoga Ilmu pengetahuannya bertambah dan mengetahui bahwa tentang struktur komposit yang sangat resisten terhadap bean seismik, selain itu struktur komposit juga sangan disarankan untuk diterapkan dilapangan yang berguna sebagai bahan penguatan struktur.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Stuktur Baja

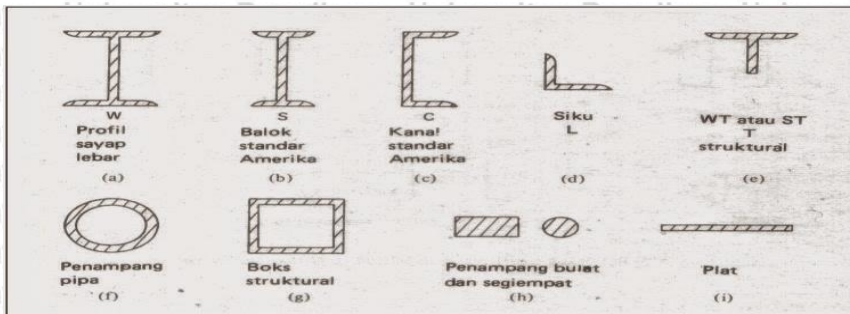
Baja merupakan besi cetak (cast iron, ditemukan di Cina pada abad ke IV sebelum masehi) dan besi tempa (wrought iron) telah banyak digunakan pada gedung dan bangunan kontruksi lain nya. baja merupakan material yang mempunyai nilai kuat tarik yang tinggi namun nilai kuat tekan nya rendah dengan kata lain baja mampu menahan besarnya tegangan tarik yang terjadi tetapi baja hanya mampu sedikit menahan tegangan tekan yang terjadi, Struktur baja merupakan satu kesatuan konstruksi rangka baja berupa batang baja yang disambung, tiap titik jumpa yang disebut titik buhul akan di sambung menggunakan metode las dan baut.

2.1.1 Jenis Profil Baja

Material baja banyak sekali keuntungan untuk perencanaan kontruksi salah satunya, keunggulan nya dibandingkan dengan material yang lain sangatlah jauh berbeda, karena menggunakan material baja dalam kontruksi sangatlah kokoh, hemat waktu perencanaan, efektif dan sangat efisien. Selain itu juga lebih mudah untuk sebuah perencana dan pekerjaan di lapangan. Dibawah ini berikut macam macam profil baja yang sering di gunakan untuk perencanaan bangunan struktur:

Berikut jenis profi baja:

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



Gambar 2. 1 Jenis Profil Baja
Sumber : Macdonald 2002

2.1.2 Sifat Material yang dimiliki baja

Berikut sifat material baja:

- Kuat, keras dan awet
- Mampu menahan tegangan tarik yang tinggi
- Sifat magnetik nya kuat
- Koefisien pemuaian rendah
- Rendah terhadap korosi

Material baja memiliki perbedaan sifat, tergantung pada proses pembuatan baja tersebut. dalam penggunaannya, apabila baja telah mencapai 90%:

- Kekuatan tariknya akan bertambah
- Berkurang nya sifat meregang
- Kekerasannya bertambah dan dapat dikeraskan lagi (disepuh) dengan karbon.

2.2 Struktur Beton Bertulang

Beton ialah sebuah bahan bangunan komposit yang terbuat dari kombinasi agregat dan pengikat semen. Pada umumnya bahan beton yang terdiri dari agregat mineral (pada umumnya kerikil dan pasir), semen dan air.

Beton bertulang yang diberi perkuatan (*reinforcement*) tulangan baja dengan besaran dan luasan tertentu agar mendapatkan suatu penampang yang dapat menerima beban sehingga gabungan material dapat bekerja simultan dalam menerima gaya yang bekerja. Beton normal biasanya memiliki berat isi yang berkisar antara 2200 - 2500 kg/m³.

Pada beton bertulang, beton didesain untuk mampu menerima gaya tekan yang besar, tetapi tidak didesain untuk menerima gaya tarik, sehingga tulangan baja yang dicor monolit di dalam beton menjadi material yang didesain menerima gaya tarik.

2.2.1 Sifat Mekanis Beton Bertulang

2.2.1.1 Sifat Jangka Pendek Beton Bertulang

- Kuat Tekan.

Kekuatan tekan pada beton didapat dengan melakukan pengujian memakai mesin uji yang dilakukan dengan memberikan pembebanan tekan bertahap dengan benda uji silinder (15 x 30 cm), dan kubus (15 x 15 x 15 cm). yang divariasikan hingga beton mengalami keruntuhan. kemampuan beton untuk menerima gaya tekan per satuan luas dan dinyatakan dengan Mpa. Kuat tekan beton (f'_c) dilakukan dengan melakukan pengujian mengacu pada standar ASTM (*American Society for Testing materials*). Kekuatan tekan pada beton yang berumur 28 hari berada pada angka 10 – 65 Mpa dengan tingkat pembebanan tertentu. Selama periode 28 hari silinder beton ini biasanya ditempatkan dalam sebuah ruangan dengan temperatur tetap dan kelembapan 100%.

- Kekuatan Tarik.

Kemampuan balok beton yang diletakkan pada dua perletakan untuk menahan gaya dengan arah tegak lurus sumbu benda uji, yang diberikan padanya, sampai benda uji patah yang dinyatakan dalam Mega Pascal (MPa) gaya tiap satuan luas.

Kekuatan tarik pada beton sulit untuk diukur secara pasti. Kekuatan tarik pada beton diuji dengan modulus kehancuran (*modulus of rupture*). dewasa ini, besaran percobaan split silinder beton, biasanya memberikan hasil yang mendekati dan mendeskripsikan kekuatan tarik beton yang sebenarnya.

- Kuat Geser.

Kekuatan geser pada beton lebih sulit lagi untuk didapat karena sukarnya isolasi geser dari tegangan lainnya yang bekerja. Inilah hal yang menyebabkan banyaknya variasi kekuatan geser yang diperoleh dari literatur-literatur yang beredar, berkisar antara 20% dari *nominal strength* tekan pada pembebanan normal hingga di angka 80% dari *nominal strength* tekan, alas an inilah yang mengakibatkan adanya kombinasi geser dan tekan.

- Modulus Elastisitas.

Modulus elastisitas merupakan gradien dari grafik lurus pada diagram yang menyatakan hubungan regangan dan tegangan, kemudian akan linier dan membesar sejalan dengan pertambahan kekuatan beton.

2.2.1.2 Sifat Jangka Panjang Beton Bertulang

- Rangkak.

Rangkak (*creep*) adalah penambahan regangan terhadap waktu akibat adanya beban yang bekerja. rangkak yang terjadi biasanya secara intensitas akan menurun untuk periode

waktu tertentu dan akan berakhir setelah beberapa tahun. Perubahan bentuk (*deformasi*) yang diakibatkan oleh rangkai senilai besarnya dengan beban yang diterima pada periode waktu pembebanan. biasanya rangkai tidak memberikan efek secara langsung terhadap kekuatan struktural, tetapi dapat menimbulkan penyebaran (redistribusi) gaya akibat beban yang diterima dan dapat meningkatkan terjadinya lendutan pada struktur. Penyebab rangkai kurang lebih karena susut kering, susut plastis dan susut settlement.

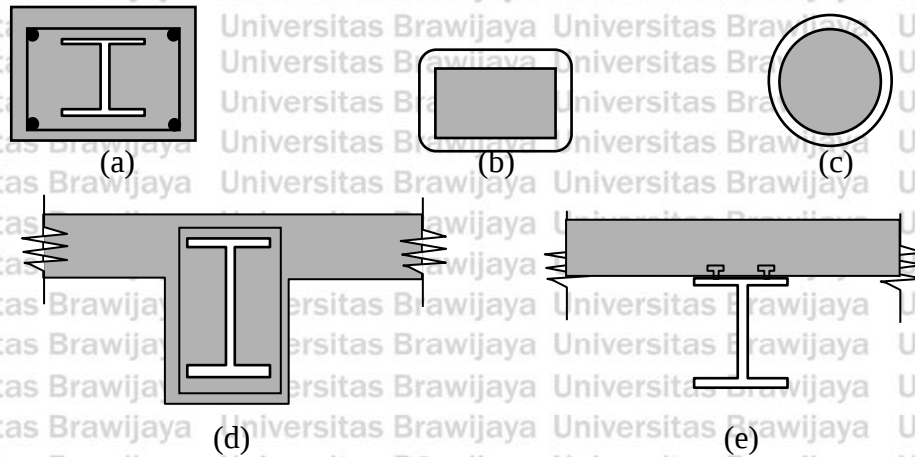
- Susut.
Susut ialah perubahan volume yang tidak berhubungan dengan beban atau berkurangnya volume elemen beton jika terjadi kehilangan uap air karena penguapan. Proses susut pada beton akan menimbulkan perubahan bentuk (*deformasi*) yang umumnya akan bersifat menambah deformasi rangkai. penyusutan pada beton mengakibatkan terjadinya retakan pada beton yang masih plastis, dan terjadinya retak ini tentu akan mengakibatkan berkurangnya mutu beton yang dihasilkan. Susut merupakan proses yang tidak reversible. Jika beton yang sudah benar-benar susut kemudian dijenuhkan dengan air, maka tidak akan tercapai volume asalnya, Penyusutan pada beton akan menurun seiring waktu karena semakin bertambah umur beton maka tegangan akan membesar dan penyusutan akan menurun.

2.3 Struktur Komposit

2.3.1 Pengertian Komposit

Struktur komposit ialah struktur yang terdiri dari dua material atau lebih dengan sifat bahan yang berbeda dan membentuk satu kesatuan sehingga menghasilkan sifat gabungan yang lebih baik dari sebelumnya . Struktur komposit yang umum antara baja dan beton berupa :

- 1) Balok baja diselubungi beton / kolom baja diselubungi beton (Gambar a dan d)
- 2) Kolom baja terisi beton / tiang pancang (pile) (Gambar b dan c)
- 3) Balok baja ditambah pelat beton (Gambar e)

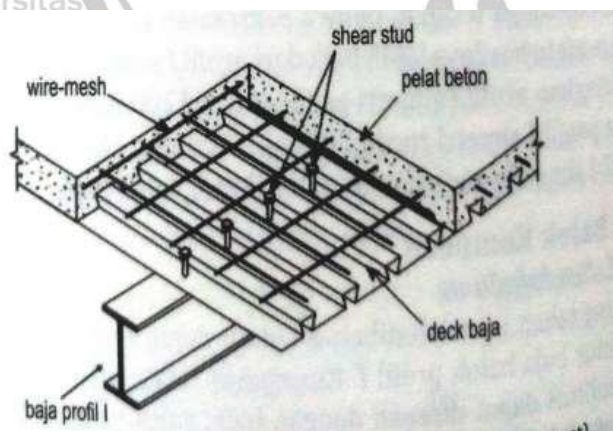


Gambar 2. 1 Jenis Struktur Komposit
Sumber gambar : (Pujianto:2011)

Struktur komposit merupakan material yang terbentuk dari kombinasi antara dua atau lebih material pembentuknya, melalui pencampuran yang tidak homogen, dimana sifat mekanik dari masing-masing material pembentuknya berbeda (Sirait, 2010).

Material komposit memiliki sifat mekanik yang lebih bagus daripada logam, kekuatan lelah (fatigue) yang baik, kekuatan jenis (strength/weight) dan kekakuan jenis (modulus young/density) yang lebih tinggi daripada logam, tahan korosi, memiliki sifat isolator panas dan suara, sebagai penghambat listrik yang baik, dan dapat juga digunakan untuk menambal kerusakan akibat pembebanan dan korosi (Sirait, 2010).

Secara umum balok komposit tersusun dua struktur yaitu profil baja pada bagian bawah, pelat beton bertulang di bagian atasnya, dan shear connector yang mempunyai fungsi menyatukan profil baja dan pelat beton bertulang menjadi satu-kesatuan, seperti pada gambar berikut.



Gambar 2. 2 Komponen Balok Komposit

Dalam analisa perencanaan komposit mengasumsi bahwa baja dan beton bekerja sama dalam memikul beban yang bekerja, sehingga akan menghasilkan desain profil/elemen yang lebih ekonomis. Dimping 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

Metode yang digunakan untuk perencanaan komposit di lapangan ada dua, yaitu metode dengan tumpuan sementara (*scaffolding*) atau tanpa pendukung. Penjelasan nya Jika tanpa pendukung, balok baja akan mendukung beban mati primer selama beton belum mengeras. Beban mati sekunder serta beban-beban lain akan didukung oleh balok komposit yang akan berfungsi jika beton telah mengeras dan menyatu dengan baja. Dan jika menggunakan cara tumpuan sementara atau pendukung (*scaffolding*) penjelasan nya apabila beton belum mencapai pengerasan, berat sendiri beton akan diterima oleh *scaffolding* dan ketika beton mengeras, *scaffolding* dilepas agar semua beban akan diterima oleh struktur komposit.

Apabila tanpa tumpuan sementara berarti struktur baja akan menerima berat sendiri selama beton belum mencapai pengerasan. Beban mati tambahan (SDL) dan beban lainnya kemudian diterima seluruhnya oleh struktur komposit yang berfungsi secara optimal ketika beton mencapai pengerasan dan monolit dengan baja.

2.4 Syarat Perencanaan Pembebanan

Syarat dalam sebuah perencanaan dan desain sebuah struktur diperlukan syarat yang harus dipenuhi seperti beban-beban yang bekerja, kombinasi pembebanan nya, analisis beban yang bekerja, sistem struktur yang digunakan, fungsi bangunan, dll sesuai perencanaan struktur yang berlaku sehingga struktur dapat berdiri dengan kuat dan aman, berikut adalah syarat syarat yang digunakan:

2.4.1 Faktor Beban dan Kombinasi Beban

Kombinasi beban stuktur menggunakan SNI 1729:2020 (pasal B2). Standar pembebanan yang berlaku yaitu SNI-1727:2020 dengan kombinasi pembebanan sebagai berikut:

$$1. \quad U = 1,4 D \quad (2.1.a)$$

$$2. \quad U = 1,2 D + 1,6 L + 0,5 (Lr \text{ atau } R) \quad (2.1.b)$$

$$3. \quad U = 1,2 D + 1,6 (Lr \text{ atau } R) + (1,0 L \text{ atau } 0,5 W) \quad (2.1.c)$$

$$4. \quad U = 1,2 D + 1,0 W + 1,0 L + 0,5 (Lr \text{ atau } R) \quad (2.1.d)$$

$$5. U = 1,2 D + 1,0E + 1,0L \quad (2.1.e)$$

$$6. U = 0,9 D + 1,0W \quad (2.1.f)$$

$$7. U = 0,9 D + 1,0E \quad (2.1.g)$$

Keterangan :

D = beban mati yang diakibatkan oleh berat konstruksi permanen.

L = beban hidup yang ditimbulkan oleh penggunaan gedung

L_r = beban hidup yang diakibatkan oleh pembebanan atap

R = beban hujan

W = beban angin

E = beban gempa

2.4.2 Beban Mati

Beban mati merupakan berat bahan konstruksi bangunan yang digunakan dalam perencanaan. Beban mati juga termasuk beban mati tambahan, yaitu berat dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, finishing pekerjaan, klading gedung, komponen arsitektural, struktural, dan peralatan lain yang terpasang lainnya. Beban mati dilambangkan dengan DL (*deadload*).

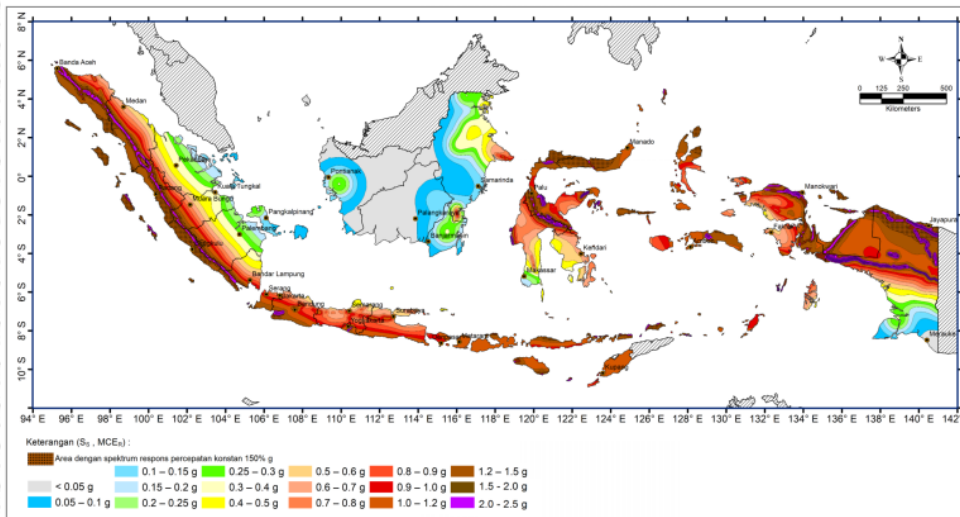
2.4.3 Beban Hidup

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

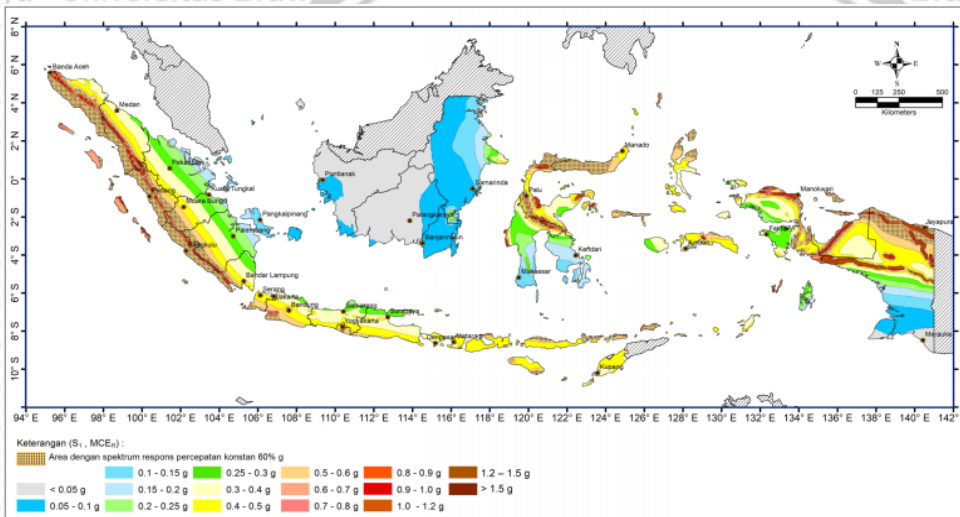
2.4.4 Beban Gempa

2.4.4.1 Wilayah Zona Gempa

Perhitungan beban gempa yang bekerja pada struktur menggunakan syarat yang ditentukan peraturan SNI 1726:2019 tentang tata cara ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung. Parameter percepatan gempa ditentukan oleh 2 hal yaitu, parameter percepatan terpetakan dan kelasisitus. Parameter S_s (percepatan batuan dasar pada periode pendek) dan S_1 (percepatan batuan dasar pada periode, 1 detik) harus ditetapkan masing-masing dari respons spektral 4 percepatan 0,2 detik dan 1 detik dalam peta gerak tanah seismik dengan kemungkinan 2 persen terlampaui dalam 50 tahun (MCER, 2 persen dalam 50 tahun), dan dinyatakan dalam bilangan desimal terhadap percepatan gravitasi. Bila $S_{11} \leq 0,04 g$ dan $S_s \leq 0,15 g$, maka struktur bangunan boleh dimasukkan ke dalam kategori desain seismik A (SNI 1762-2019)).



Gambar2. 3 Peta Percepatan spektrum respons MCE_R periode 0,2 detik
Sumber : SNI 1726:2019 (2019)



Gambar2. 4 S_1 , Peta percepatan spektrum respons MCE_R periode 1 detik
Sumber : SNI 1726:2019 (2019)

2.4.4.2 Kategori Pembebanan Gempa Pada Gedung

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 4.1.2, menurut fungsi layannya gedung akan di kategorikan dengan kategori risiko sebagai berikut:

Tabel 2. 1

Kategori risiko bangunan gedung untuk beban gempa.

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
Gedung dan nongedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain: - Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya	I
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/ rumah susun - Pusat perbelanjaan/ mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik	II
Gedung dan nongedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo Gedung dan nongedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi Gedung dan nongedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.	III

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

Sumber : SNI 1726:2019 (2019)

Tabel 2. 2

Faktor keutamaan gempa

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

Sumber : SNI 1726:2019 (2019)

2.4.4.3 Konfigurasi Struktur Gedung

Struktur bangunan gedung dibedakan menjadi 2 jenis, yaitu beraturan dan tidak beraturan. Pada SNI 1726:2019 terdapat syarat-syarat yang kemudian dapat menentukan suatu gedung beraturan atau tidak.

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

2.4.4.4 Respon Spektrum Percepatan Gempa

Ketentuan respon spektrum percepatan gempa MCER di permukaan tanah, diperlukan faktor amplifikasi meliputi beberapa faktor amplifikasi getaran akibat percepatan periode pendek (F_a) dan akibat dari faktor amplifikasi percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik (F_v). Parameter seismik pada periode pendek (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{M1}) yang disesuaikan dengan situs tanah yang diperoleh dari rumusan berikut:

$$S_{MS} = F_a \times S_s \quad (2.2.a)$$

$$S_{M1} = F_v \times S_1 \quad (2.2.b)$$

Keterangan

S_s = Parameter respons spektrum percepatan gempa MCER periode pendek (0,2 detik)

S_1 = Parameter respons spektrum percepatan gempa MCER 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 1726:2019 (2019)

Tabel 2. 4
Koefisien Situs, F_a

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

CATATAN:

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

Sumber : SNI 1726:2019 (2019)

Tabel 2. 5
Koefisien Situs, F_v

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

CATATAN :

(a) Untuk nilai-nilai antara S_1 dapat dilakukan interpolasi linier

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

Sumber : SNI 1726:2019 (2019)

2.4.4.5 Parameter Desain Spektrum

Parameter percepatan seismik periode pendek yaitu S_{DS} dan untuk periode 1 detik yaitu S_{D1} , didapatkan melalui perhitungan berikut:

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (2.3.a)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (2.3.b)$$

2.4.4.6 Respon Desain Spektrum

Ketentuan untuk respons spektrum menurut SNI 1726:2019 (2019) untuk masing-masing wilayah gempa dan klasifikasi situs tanah adalah:

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

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

- 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:

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (2.4.a)$$

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.4.b)$$

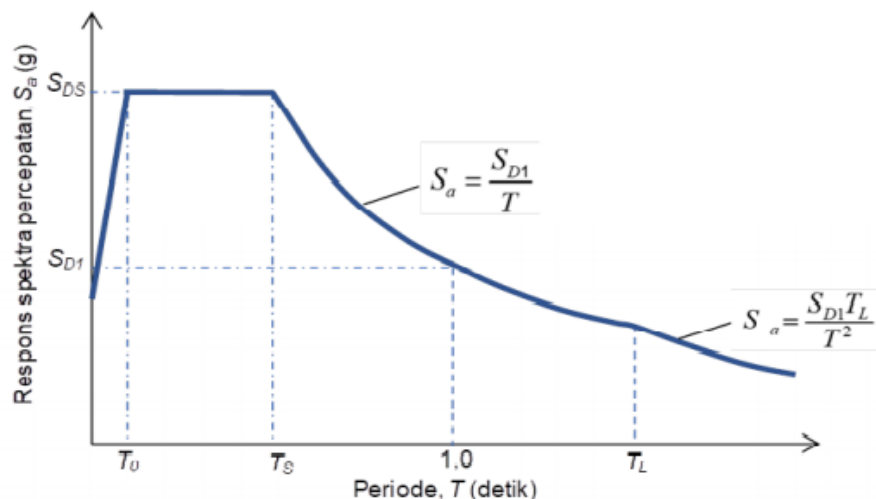
$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

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



Gambar2. 5 Desain Respon Spektrum
Sumber : SNI 1726:2019 (2019)

2.4.4.7 Geser Dasar Seismik

Gaya geser dasar gempa (V) berdasarkan arah yang ditinjau lalu diperhitungkan menggunakan rumusan berikut:

$$V = C_s \cdot W \quad (2.4.a)$$

Keterangan:

C_s = koefisien respons seismik

W = berat seismik efektif

Nilai koefisien respons seismik, C_s , dihitung dengan rumusan berikut: (SNI 1726-2019 Pasal 7.8.1.1)

$$C_s = \frac{S_{DS}}{R \left(\frac{I_e}{I_e} \right)} \quad (2.4.b)$$

Keterangan:

S_{DS} = parameter seismik periode pendek

R = koefisien modifikasi respon

I_e = faktor keutamaan gempa

Ketentuan:

a. Nilai C_s , yang didapat tidak melebihi hasil rumusan berikut:

Untuk $T \leq T_L$

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e} \right)} \quad (2.4.c)$$

Untuk $T \geq T_L$

$$(2.4.d)$$

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

b. Dan besaran C_s yang diperoleh kurang dari rumusan berikut: tidak

$$C_{s(\min)} = 0,44 S_{DS} I_e \geq 0,01$$

c. Untuk struktur yang berada di wilayah dimana nilai S_1 sama dengan atau lebih besar dari 0,6g, maka nilai C_s harus melebihi:

$$C_s = \frac{0,5 S_1}{\left(\frac{R}{I_e} \right)} \quad (2.4.e)$$

d. periode fundamental (T) untuk struktur dengan ketinggian kurang dari 12 lantai dengan sistem pemikul gaya seismik berupa rangka pemikul momen yang merupakan beton atau baja dengan tinggi tingkat paling rendah 3 m yaitu:

$$T = 0,1 N \quad (N = \text{jumlah tingkat}) \quad (2.4.f)$$

Keterangan:

S_{D1} = parameter seismik pada periode 1,0 detik

T = periode fundamental struktur (detik)

S_1 = parameter percepatan seismik maksimum yang dipetakan

Tabel 2. 6
Koefisien modifikasi respon

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

Sumber: SNI 1726:2019 (2019)

2.4.4.8 Distribusi Gaya Gempa

Gaya gempa yang akan direncanakan pada elemen struktur dibagi menjadi:

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

$$F_i = i C_{vx} V \quad (2.4.g)$$

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \quad (2.4.h)$$

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

$$V_x = \sum_{i=1}^n F_i$$

Keterangan:

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

C_{vx} = faktor distribusi vertikal

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

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

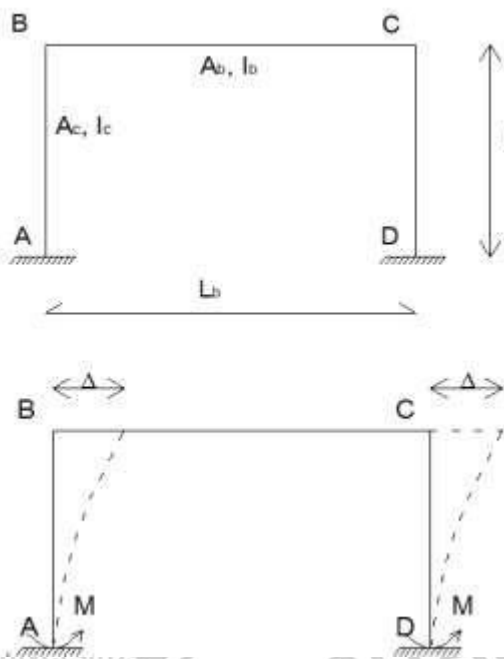
h_i dan h_x = tinggi dari dasar sampai tingkat i atau x (m)

k = eksponen yang terkait dengan periode struktur sebagai berikut:

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

2.5 Analisis Struktur

Analisis struktur ialah proses untuk mengetahui respons atau perilaku struktur seperti: reaksi perletakan, gaya dalam dan deformasi) akibat beban-beban tertentu atau kombinasi beban yang bekerja pada struktur tersebut, untuk perhitungan analisis struktur bisa dilakukan menggunakan bantuan beberapa software yang berada di perangkat lunak.



Gambar 2.6 Portal Statis Tak Tentu

Sumber: Analisis Terdahulu

Struktur 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 rangkak. Apabila kolom mengalami perpindahan aksial pada baloknya, maka analisis tambahan wajib untuk dilakukan. Perpindahan aksial atau penyebab-penyebab lain yang mempengaruhi portal, seperti susut, rangkak, pengaruh $P-\delta$ dan lain-lain, dapat diperhitungkan sebagai pengaruh dari tersier. Pengaruh tersier dapat ditambahkan pada pengaruh sekunder dan primer untuk memperoleh pengaruh total struktur portal. (Budiadi, 2008)

2.5.1 Analisis Balok Komposit dan Kolom Komposit

2.5.1.1 Perencanaan Balok Komposit

1. Syarat Perencanaan Penampang Balok (SNI 1729:2020 tabel B4.1b)

Syarat Pelat sayap:

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

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

Syarat Pelat badan:

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

$$\lambda_p = 3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

(2.5.a)

(2.5.b)

$$\lambda_r = 1.0 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \lambda_r = 5.70 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (2.5.c)$$

Penjelasan Syarat Untuk Penampang profil I-Wide Flange kompak, tak kompak, dan langsing pada komponen struktur yang menahan lentur dipengaruhi oleh rasio kelangsingan dari elemen tekannya yang terteta pada SNI 1729:2020 Pasal F2 dan F3

a. Syarat Perhitungan Penampang kompak

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

$$M_n = M_p = f_y \cdot Z_x \quad (2.5.d)$$

b. Syarat Perhitungan Penampang tak kompak

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

$$M_n = \left[M_p - (M_p - 0,7 f_y S_x) \frac{(\lambda - \lambda_{pf})}{(\lambda_{rf} - \lambda_{pf})} \right] \quad (2.5.e)$$

c. Syarat Perhitungan Penampang langsing

Pada flens baja dengan $\lambda \geq \lambda_r$ maka kekuatan lentur nominal pada penampang adalah:

$$M_n = \frac{0,9 E k_c S_x}{\lambda^2} \quad (2.5.f)$$

Dimana:

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

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

$$K_c = \frac{4}{\sqrt{\frac{h}{tw}}} \text{ dengan } 0,35 \leq K_c \leq 0,76 \quad (2.5.g)$$

2. Lebar Efektif Pelat

Perencanaan Balok komposit hal yang perlu dilakukan menentukan lebar efektif pada pelat beton yang ditinjau, untuk sebuah desain balok komposit ialah lebar pelat lantai yang berkombinasi dengan profil baja maka itu disebut sebagai lebar efektif. Perhitungan analisis komposit, konsep lebar efektif pada balok T dapat digunakan sehingga memudahkan perencanaan. SNI 1729:2020 merumuskan besaran lebar efektif untuk pelat beton yang bekerja simultan komposit dengan gelagar baja, yang merupakan nilai terkecil dari:

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

a. $b_e = \frac{L}{8}$ dihitung dari jarak as ke as tumpuan balok

b. $b_e = 0,5 b_o$ dihitung jarak as ke as balok terdekat

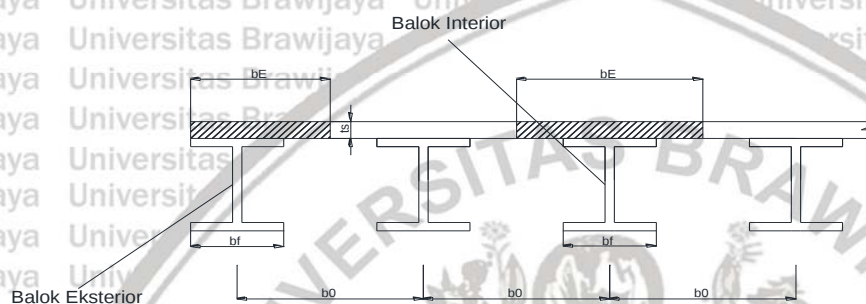
c. Jarak as balok ke tepi luar pelat

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

a. $b_e = \frac{L}{4}$ dihitung dari jarak as ke as tumpuan balok

b. $b_e = b_o$ jarak as ke as tumpuan balok

c. $0,5 b_o +$ jarak dari as balok ke tepi luar pelat beton



Gambar2. 7 Lebar efektif balok komposit

Sumber: Setiawan (2008)

Keterangan:

L merupakan panjang bentang

b_o merupakan (interval gelagar interior)

3. Kuat Lentur Balok Komposit

Kekuatan lentur nominal pada elemen komposit berdasarkan SNI 1729:2020 tertera sebagai berikut:

a) Untuk $\frac{h}{t_w} \leq 3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ (2.6.a)

M_n adalah kekuatan lentur nominal berdasarkan distribusi tegangan plastis dengan analisis komposit.

$$\Phi = 0,9$$

b) Untuk $\frac{h}{t_w} > 3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ (2.6.b)

M_n adalah kuat lentur nominal dari superposisi pada tegangan elastis yang memperhitungkan pengaruh akibat *scaffolding*.

$$\Phi = 0,9$$

a) Kuat Lentur Positif

Menentukan kuat lentur positif (momen plastis) balok komposit perlu diketahui posisi sumbu netral plastis terlebih dahulu berdasarkan resultan gaya tekan maksimum (C) dan resultan gaya tarik maksimum (T):

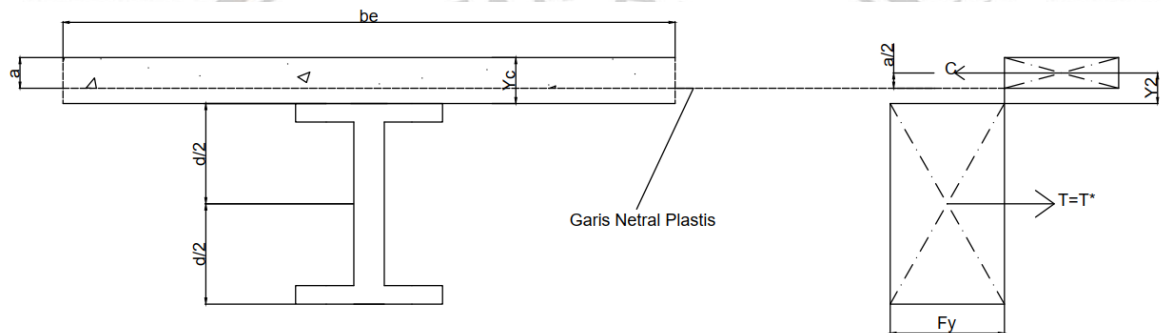
$$C = 0,85 \times f'_c \cdot A_c \quad (2.7.a)$$

$$T = A_s \times F_y \quad (2.7.b)$$

Setelah diketahui besarnya nilai C dan T, kemudian menentukan letak sumbu plastis dan kondisi distribusi tegangan plastis yang terjadi berdasarkan 3 Kasus sebagai berikut :

1. Kasus-1 : Jika $T \leq C$, sumbu netral plastis pada pelat beton
2. Kasus -2 : Jika $T > C$, sumbu netral plastis pada pelat sayap baja (flens)
3. Kasus -3 : jika $T > C$, Sumbu netral plastis pada pelat badan baja (web)

1. Garis netral plastis (PNA) terdapat pada bagian pelat beton



Gambar2. 8 Distribusi tegangan plastis momen positif kasus 1
Sumber : Dewobroto (2016)

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

$$C = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b_e \quad (2.7.c)$$

Gaya tarik (T) di baja berdasarkan :

$$T = A_s \cdot f_y \quad (2.8.d)$$

Untuk mendapatkan momen nominal, digunakan prinsip kesetimbangan gaya, yaitu distribusi tegangan plastis ekivalen $C = T$, didapat :

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b_e} \quad (2.8.e)$$

$$Y_c = t \quad (\text{pelat beton}) \quad (2.8.f)$$

$$Y_2 = Y_c - \frac{1}{2} a \quad (2.8.g)$$

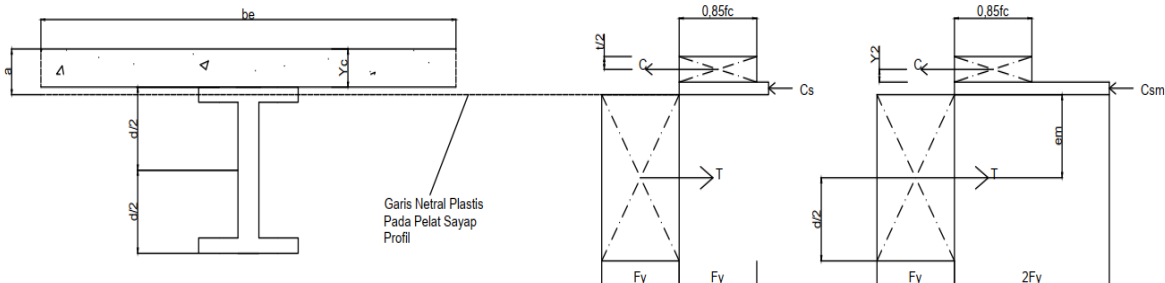
Kuat lentur nominal didapat mengacu pada Gambar 2.7:

$$M_n = C \left(Y_2 + \frac{1}{2} d \right) = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b_e \left(Y_2 + \frac{1}{2} d \right) \quad (2.8.h)$$

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

Apabila didapatkan hasil dari perhitungan tersebut ternyata nilai $a > t_p$ maka asumsi awal harus diganti. Hasil ini menyatakan bahwa pelat beton tidak cukup kuat untuk menerima gaya tarik yang ada akibat profil baja yang digunakan.

2. Garis netral plastis (PNA) terdapat pada bagian Pelat sayap (*flens*) profil baja



Gambar2. 9 Distribusi tegangan plastis momen positif kasus 2

Sumber : Dewobroto (2016)

Apabila tegangan di beton, a ternyata lebih besar dari pelat beton, maka nilai tegangan bisa didapat dengan mengacu pada Gambar 2.8 dimana kekuatan tekan C di pelat beton sebesar :

Berdasarkan Gambar 2.8, maka nilai gaya tekan C pada beton adalah:

$$C = 0,85 . f'c' . t . b_e \quad (2.8.i)$$

Gaya tarik, T pada baja sebesar:

$$T = A_s . f_y \quad (2.8.j)$$

Apabila terjadi momen positif, maka profil baja juga mengalami tekan. Hal itu terjadi apabila $t_f > y > 0$ yang dihitung dengan rumusan sebagai berikut :

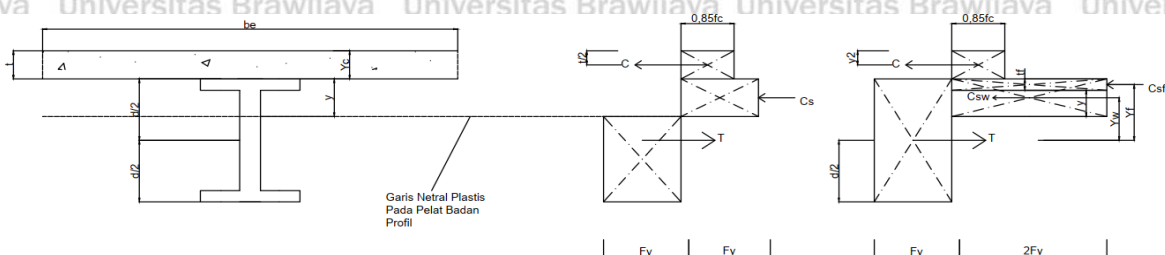
$$y = \frac{T-C}{b_f . f_y} \leq t_f \quad (2.8.k)$$

Sehingga kekuatan lentur nominal penampang komposit didapat dari rumusan sebagai berikut :

$$C_{sm} = 2f_y . y \quad (2.8.l)$$

$$M_n = C \left(Y_2 + \frac{1}{2} d \right) + C_{sm} (d - y) . \frac{1}{2} \quad (2.8.m)$$

3. Garis netral plastis (PNA) terdapat pada bagian pelat badan (*web*) profil baja



Gambar2. 10 Distribusi tegangan plastis momen positif kasus 3

Sumber : Dewobroto (2016)

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

Berdasarkan Gambar 2.9, maka besar kekuatan tekan C adalah:

$$C = 0,85 \cdot f_c' \cdot t \cdot b_e \quad (2.8.n)$$

Kekuatan tarik, Profil T baja sebesar:

$$T = A_s \cdot f_y \quad (2.8.o)$$

Nilai – nilainya didapat dari rumusan berikut:

$$C_{sf} = b_f \cdot t_f \cdot 2f_y \quad (2.8.p)$$

$$y = \frac{T - C - C_{sf}}{t_w \cdot f_y} \quad (2.8.q)$$

$$C_{sw} = t_w \cdot y \cdot 2f_y \quad (2.8.r)$$

$$y_f = 1/2 (d - t_f) \quad (2.8.s)$$

$$y_w = 1/2 (d + y) - t_f \quad (2.8.t)$$

Sehingga kapasitas momen plastis didapat dengan rumusan sebagai berikut :

$$M_n = C \left(Y_2 + \frac{1}{2} d \right) + C_{sf} \cdot y_f + C_{sw} \cdot y_w \quad (2.8.u)$$

Keterangan :

C = gaya tekan total

T = gaya tarik total

A_s = luasan profil baja

f_c' = mutu beton

f_y = tegangan leleh baja

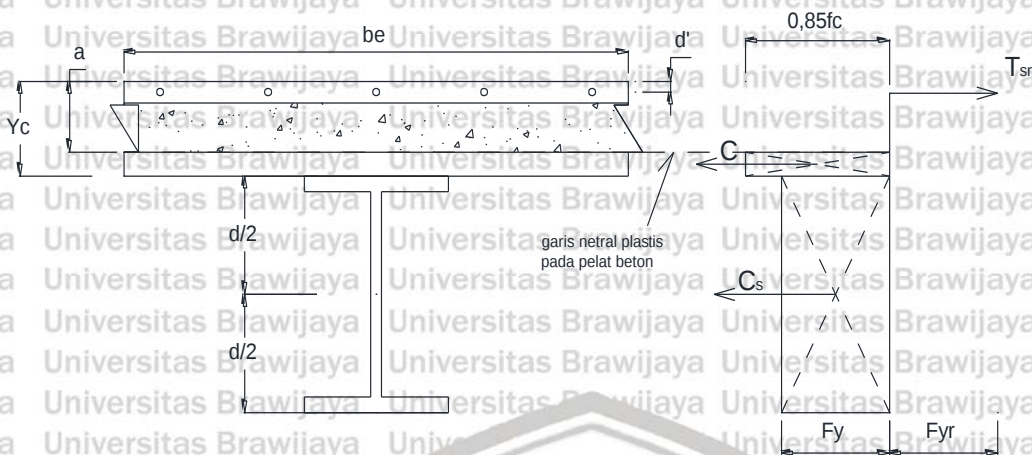
b) Kuat Lentur Negatif

Perencanaan pada 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 Kekuatan lentur nominal negatif yang didapat dari distribusi tegangan plastis, terdiri dari 3 kasus sebagai berikut:

1. Garis netral plastis (PNA) terdapat pada bagian pelat beton



Gambar 2.11 Distribusi tegangan plastis momen negatif kasus 1

Sumber : Dewobroto (2016)

Berdasarkan Gambar 2.12, maka besar gaya :

Kekuatan Tarik T_{sr} pada tulangan disepanjang Lebar efektif adalah :

$$T_{sr} = A_{sr} \cdot F_{yr} \quad (2.9.a)$$

Kekuatan tekan C di beton sebesar

$$C = 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b_e \quad (2.9.b)$$

Kekuatan tekan pada profil baja yaitu sebesar :

$$C_s = A_s \cdot f_y \quad (2.9.c)$$

Untuk mendapatkan Kekuatan lentur nominal didapat dengan distribusi tegangan plastis

prinsip $C = T$, sehingga didapat:

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b_e} \quad (2.9.d)$$

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

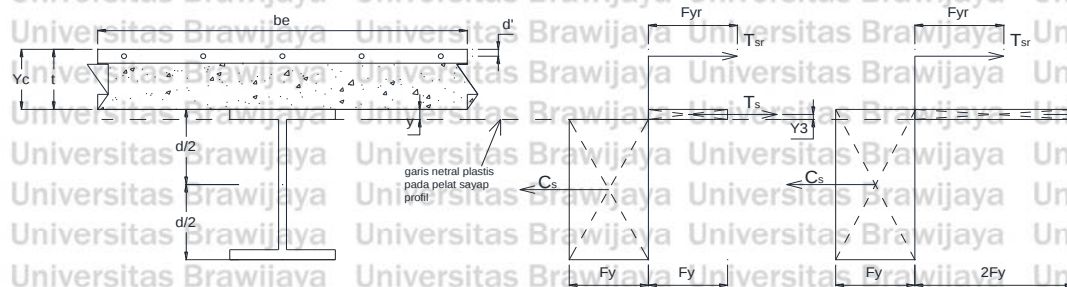
Kekuatan lentur nominal didapat berdasarkan Gambar 2.8:

$$\begin{aligned} M_n &= T_{sr} \left(\frac{d}{2} + Y_c - d' \right) - C \left(\frac{d}{2} + Y_c - a \right) \cdot \frac{1}{2} \\ &= A_s \cdot F_y \left(\frac{d}{2} + Y_c - d' \right) - 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b_e \left(\frac{d}{2} + Y_c - a \right) \cdot \frac{1}{2} \end{aligned} \quad (2.9.e)$$

Didapatkan hasil dari perhitungan ternyata nilai $a > t_p$ maka asumsi awal harus diubah.

Nilai ini menunjukkan pelat beton tidak memiliki kekuatan yang cukup untuk memikul gaya tarik pada profil baja.

2. Garis netral plastis (PNA) terdapat pada bagian Sayap (flens) profil baja



Gambar2. 12 Distribusi tegangan plastis momen negatif kasus 2

Sumber : Dewobroto (2016)

Kekuatan Gaya Tarik T_{sr} pada tulangan disepanjang lebar efektif adalah :

$$T_{sr} = A_s \cdot F_{yr} \quad (2.9.f)$$

Kekuatan Gaya Tarik T_s pada pelat flens adalah

$$T_s = y \cdot 2F_y \quad (2.9.g)$$

Kekuatan Gaya tekan nominal pada balok komposit baja

$$C_s = A_s \cdot f_y \quad (2.9.h)$$

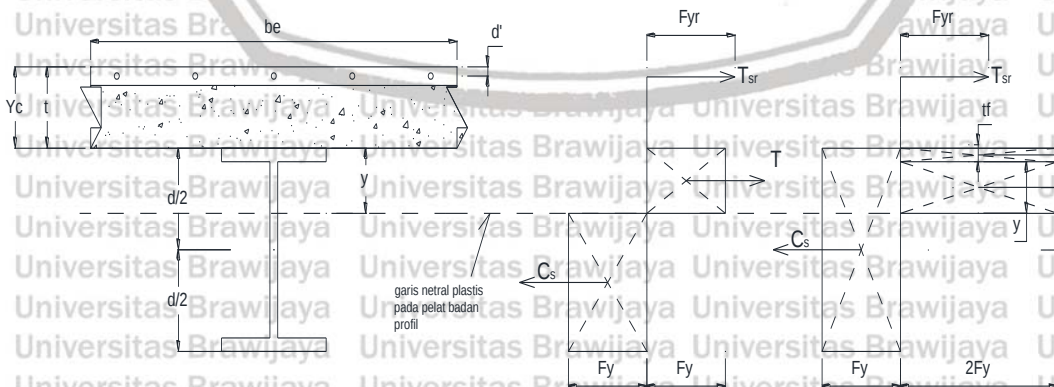
Pada saat terjadi momen negatif maka profil dibagian pelat sayap baja juga masih mengalami tarik. Itu terjadi jika $t_f > y > 0$ yang dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$y = \frac{C_s - T_{sr}}{b_f \cdot f_y} \quad (2.9.i)$$

Kekuatan lentur nominal negatif dapat dihitung dengan menggunakan rumusan berikut:

$$M_n = T_{sr} \left(\frac{d}{2} + Y_c - d' \right) + T_s \left(\frac{d}{2} - \frac{1}{2} y \right) \quad (2.9.j)$$

3. Garis netral plastis (PNA) terdapat pada bagian pelat badan (web) profil baja



Gambar2. 13 Distribusi tegangan plastis momen negatif kasus 3

Sumber : Dewobroto (2016)

Kasus ini dapat terjadi apabila nilai $C_s - T_{sr} - T_{sf} > 0$.

Berdasarkan Gambar 2.12 maka besaran gaya tekan C adalah:

$$C_s = A_s \cdot f_y \quad (2.9.k)$$

Gaya tarik, T untuk tulangan disepanjang lebar efektif sebesar

$$T_{sr} = A_s \cdot f_{yr} \quad (2.9.l)$$

Dan nilai- nilainya didapat dengan rumusan berikut:

$$T_{sf} = b_f \cdot t_f \cdot 2 \cdot f_y \quad (2.9.m)$$

$$y = \frac{C_s - T_{sr} - T_{sf}}{t_w \cdot f_y} \quad (2.9.n)$$

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

$$y_f = \frac{1}{2} (d - t_f) \quad (2.9.o)$$

$$y_w = \frac{1}{2} (d + y) - t_f \quad (2.9.p)$$

Sehingga kapasitas momen plastis dapat dicari dengan rumusan berikut:

$$M_n = T_{sr} \left(\frac{d}{2} + Y_c - d' \right) + T_{sf} \cdot y_f + T_{sw} \cdot y_w \quad (2.9.q)$$

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. Kekuatan Geser Nominal Balok Komposit

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

$$\Phi V_n \geq V_u \quad (2.10.a)$$

$$\Phi 0,6 \cdot f_y \cdot A_w \cdot C_v1 \geq V_u \quad (2.10.b)$$

Dengan:

A_w = luas bruto pelat badan (web)

$$\Phi V = 1,0$$

$$C_v1 = 1,0$$

2.5.1.2 Perhitungan Kolom

1. Syarat Perencanaan Penampang Kolom

Profil baja tidak diperbolehkan masuk dalam kategori penampang langsing:

flens:

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

web:

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

(2.11.a)

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

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

(2.11.b)

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

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

(2.11.c)

2. Syarat Tekuk Lentur untuk Komponen Tekan (SNI 1729:2020 pasal E3)

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

(2.12.a)

dimana:

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

(2.12.b)

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

(2.12.c)

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

(2.12.d)

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

(2.12.e)

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

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

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

(2.13.a)

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

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

(2.13.b)

2.5.2 Kategori Risiko Gedung

Pada SNI 1726:2019, berdasarkan fungsionalnya, gedung akan dikategorikan sebagai kategori risiko untuk bangunan gedung dan non-gedung untuk beban seismik yang tercantum dalam Tabel 2.1

2.5.3 Sistem Struktur

Struktur gedung merupakan gabungan dari struktur ruang. Sedangkan fungsi primer dari sistem struktur adalah menerima pembebanan pada bangunan agar menjadi aman dan efisien. Adapun fungsi lainnya yaitu sebagai pendistribusi beban pada tanah dengan pondasi. Sistem struktur yang tersedia untuk menjadi pemikul beban dan momen melalui

mekanisme lentur terdiri dari tiga sistem, 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 adalah sistem yang mempunyai deformasi inelastic dengan level daktilitas terendah tetapi mempunyai kuat nominal yang cukup mumpuni. Sistem rangka ini biasanya digunakan di area dengan risiko kegempaan rendah.

b. Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)

Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah merupakan sistem rangka dimana perencanaan menekankan pada kewaspadaan pada kegagalan struktur yang diakibatkan kegagalan geser. SRPMM digunakan untuk pemodelan bangunan gedung di area dengan tingkat kegempaan sedang.

Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus ialah sistem rangka portal yang mampu bersifat daktil permanen dengan pendetailan spesifik. Portal yang didesain SRPMK harus dapat mempertahankan kondisi kekuatan kolom yang lebih besar dari balok (*strong column – weak beam*) dan mengalami deformasi yang lebih besar apabila terbebani oleh beban seismik yang direncanakan.

2.6 Sambungan

2.6.1 Sambungan Baut

Perhitungan sambungan baut berdasarkan tahanan nominal terkecil dari rumusan berikut:

$$\text{Tahanan geser} \quad (\Phi R_n) = 0,75 \cdot F_{nv} \cdot A_b$$

$$\text{Tahanan Tarik} \quad (\Phi R_n) = 0,75 \cdot F_{nt} \cdot A_b$$

$$\text{Tahanan tumpu} \quad (\Phi R_n) = 0,75 \cdot F'_{nt} \cdot A_b$$

$$\text{Jumlah baut, } n = \frac{V_u}{\Phi R_n}$$

$$1,3 F_{nt} - \frac{F_{nt}}{\phi F_{nv}} f_r v \leq F_{nt} \quad (2.14.a)$$

Keterangan:

F_{nv} = tegangan geser nominal (MPa)

F_{nt} = tegangan tarik nominal (MPa)

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

f_{rv} = tegangan geser yang diperlukan menggunakan kombinasi beban (MPa)

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

Tabel 2. 7

Kekuatan nominal pengencang dan bagian yang berulir (MPa)

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

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

Sumber : SNI 1729:2020 (2020)

Tabel 2. 8

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

Sumber : SNI 1729:2020 (2020)

2.6.2 Sambungan Las

Syarat Perhitungan Sambungan las harus memperhatikan kekuatan tahanan (ϕR_n) pada perencanaan sambungan las, berpacu pada SNI 1729:2020 merumuskan syarat untuk perhitungan sebagai berikut:

$$R_n = F_{nw} \cdot A_{we} \quad (2.15.a)$$

$$\phi = 0.75$$

Dimana:

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

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

θ = sudut yang terbentuk dari aksi gaya dan sumbu utama las (derajat)

Panjang efektif las sudut

$$L_w = \frac{R_u}{\Phi R_{nw}} \quad (2.15.b)$$

Tabel 2.9

Ukuran minimum las sudut

Ukuran minimum las sudut

Tebal bagian paling tebal, t (mm)	Tebal minimum las sudut, a (mm)
$t \leq 6$	3
$6 < t \leq 13$	5
$13 < t \leq 19$	6
$t > 19$	8

Sumber: SNI 1729:2020 (2020)

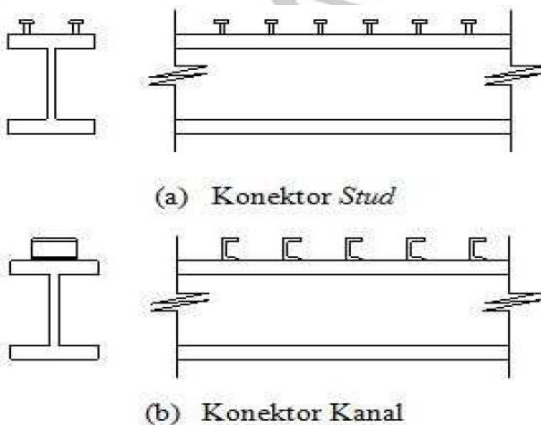
Sedangkan pembatasan ukuran maksimum las sudut:

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

2.7 Penghubung Geser

Shear connector merupakan bagian untuk transfer atau hubungan interaksi gaya pada pelat beton menuju ke balok baja serta mencegah gaya angkat vertikal pada permukaan hubungan baja beton. *Shear connector* berguna untuk menerima slip (geser) horizontal selama proses pembebanan. Agar struktur berperilaku full komposit penghubung geser sebisa mungkin dalam kondisi *rigid* sehingga dapat menerima geseran (*slip*) pada bidang kritis (pertemuan) antara balok profil baja dan pelat beton. (Salmon, dkk, 1991).

2.7.1 Macam Macam Penghubung Geser



Gambar2. 14 Jenis-jenis Penghubung Geser.

Sumber : Analisis Sebelumnya

Khusus elemen komposit yang menerima momen positif, gaya geser horizontal antara momen positif maksimum pada momen nol harus dipilih nilai terendah dari:

$$1. V' = 0,85 \cdot f_c' \cdot A_c$$

$$2. V' = A_s \cdot f_y$$

$$3. V' = \sum Q_n$$

Dengan:

A_c = luasan pelat beton disepanjang lebar efektif (mm^2)

A_s = luasan profil baja (mm^2)

$\sum Q_n$ = kuat geser nominal angkur baja keseluruhan (N)

Sedangkan untuk elemen komposit menerus dengan baja tulangan longitudinal, gaya geser horizontal pada momen negatif maksimum dan momen titik nol harus dipilih nilai terendah dari:

$$1. V' = A_{sr} \cdot f_{ysr}$$

$$2. V' = \sum Q_n$$

Dengan:

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

F_{ysr} = tegangan leleh baja tulangan (MPa)

$\sum Q_n$ = kuat geser nominal angkur baja keseluruhan (N)

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

a. Kekuatan geser angkur *steel headed stud*

Kuat geser nominal per angkur *steel headed stud* yang dipasang di pelat beton ataupun di pelat komposit dengan *steel deck* yang harus dihitung dengan rumusan berikut:

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

Keterangan :

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

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

E_c = adalah modulus elastisitas beton

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

(2.16.a)

(2.16.b)

Tabel 2. 10
Nilai R_g dan R_p

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

Sumber : SNI 1729:2020 (2020)

Keterangan :

$R_g = 1,0$ untuk:

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

$R_g = 0,85$ untuk:

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

$R_g = 0,7$ 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;

- b) Angkur steel headed stud yang di las pada suatu plat komposit dengan dek yang diorientasikan tegak lurus terhadap balok dan c;
- 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.

Rp = 0,6 untuk

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

- b. Kuat geser kanal

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

$$Q_n = 0,3 \cdot (tf + 0,5 tw) \cdot \ell a \cdot \sqrt{f'_c \cdot E_c} \quad (2.17.a)$$

Keterangan:

tf = Tebal flens ankur kanal (mm)

tw = Tebal web ankur kanal (mm)

ℓa = Panjang ankur kanal (mm)

2.7.2 Jumlah Angkur Baja Yang Dibutuhkan

Jumlah ankur baja yang dibutuhkan dan akan digunakan dalam pemasangan diantaranya untuk penampang yang memiliki momen lentur maksimum positif atau negatif, dan penampang dengan momen nol terdekat harus sama dengan geser horizontal (V) dibagi dengan geser nominal per ankur baja (Q_n). Sehingga jumlah ankur baja (n) dapat dirumuskan sebagai berikut: Sehingga jumlah ankur baja yang dibutuhkan (n) dapat diperhitungkan sebagai berikut:

$$n = \frac{V}{Q_n}$$

Halaman ini sengaja dikosongkan



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

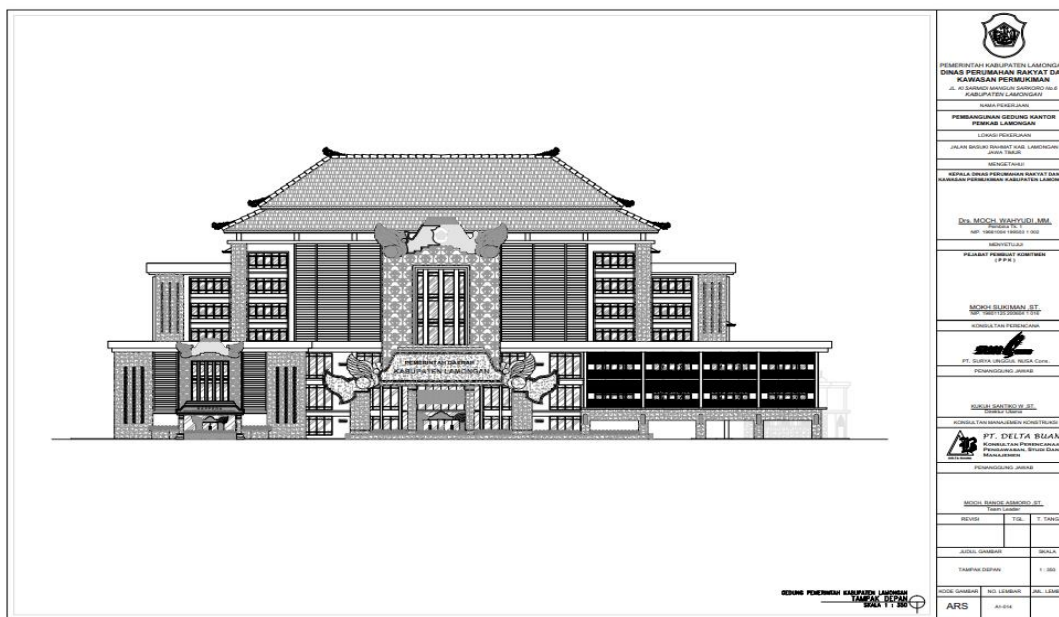
3.1 Pengumpulan Data

Data-data utama gedung berupa gambar denah yang didapatkan digunakan sebagai acuan untuk analisis alternatif perencanaan Gedung Pemerintah Kabupaten Lamongan 7 Lantai menggunakan Struktur balok komposit untuk pembahasan tugas akhir ini.

3.2 Data Perencanaan

3.2.1 Data Umum Gedung

Nama Proyek : Gedung Kantor Pemerintah Kabupaten Lamongan
 Alamat Proyek : Jl. Sunan Drajat No. 24, Kauman, Sidoharjo, Kec Lamongan, Kab Lamongan, Jawa Timur
 Waktu Pelaksanaan : 660 hari (Januari 2017 - Maret 2019)



Gambar 3. 1 Tampak depan Gedung

Sumber : Data Shape Drawing Gedung

3.2.2 Data Teknis Gedung Awal

Bangunan Struktur Gedung : Struktur Beton Bertulang

Total Lantai : 7 lantai (untuk ruangan kerja/kantor), 1 lantai paling atas (untuk MEP)

Ketinggian Gedung : $\pm 38,5$ m

Ketinggian Per Lantai

Lantai 1-7 : 4 m

Lantai Atap : 6,5 m

3.3 Prosedur Perencanaan

Perencanaan Gedung Kantor Pemerintah Kabupaten Lamongan 7 Lantai menggunakan Struktur Balok Komposit, Berikut adalah langkah-langkah desain yang akan digunakan dalam sebuah perencanaan.

3.3.1 Analisis Pembebanan

Berikut masing-masing beban yang digunakan dalam perhitungan perencanaan Gedung Kantor Pemerintah Kabupaten Lamongan 7 Lantai :

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

Berdasarkan masing-masing beban diatas, maka alternatif perencanaan Gedung kantor Pemerintah Kabupaten Lamongan 7 Lantai harus mampu memikul seluruh kombinasi pembebanan berikut ini:

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

Keterangan:

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

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

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

W = Beban angin

E = Beban gempa berdasarkan standar SNI 1726:2019

R = Beban hujan

3.3.2 Analisis Struktur

Perhitungan struktur Gedung Kantor Pemerintah Kabupaten Lamongan menggunakan software SAP 2000 V20 untuk menghitung masing-masing gaya dalam yang terjadi pada saat bangunan memikul beban, seperti : Momen, gaya geser, dan gaya aksial. Analisis perhitungan akibat beban gempa menggunakan analisis respons spektrum.

3.3.3 Perencanaan Penampang

Perencanaan untuk desain Gedung Kantor Pemerintah Kabupaten Lamongan menggunakan Struktur balok komposit mengikuti konsep aturan LRFD dan SNI 1729:2020 pada saat proses pemilihan penampang baja.

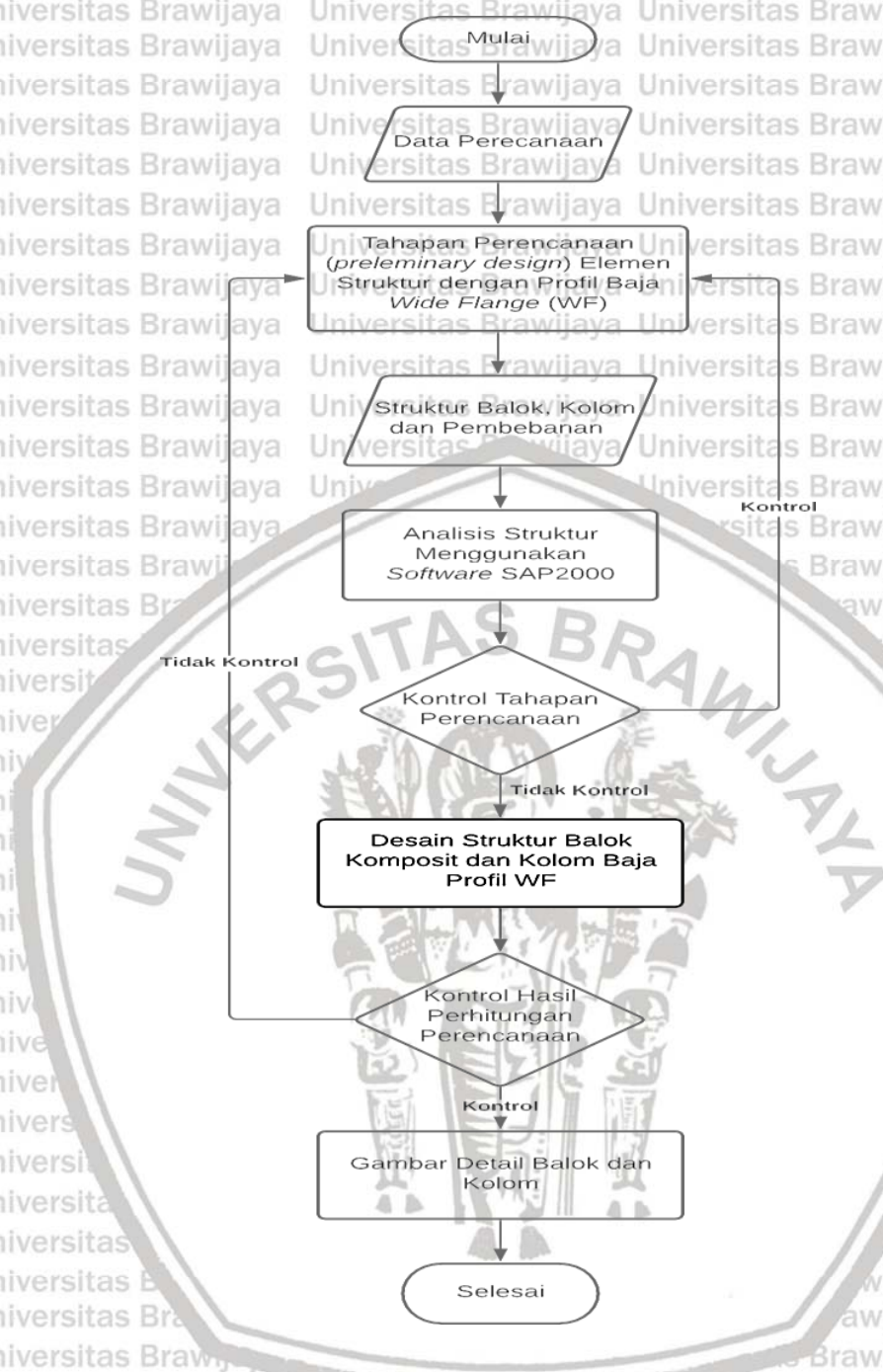
Perencanaan penampang balok yang digunakan untuk penulisan skripsi ini ialah menggunakan elemen Balok Komposit. Dengan detail pelat beton bertulang yang diasumsikan hanya menaruh beban pada gelagar balok. Sedangkan penampang yang digunakan untuk kolom adalah profil *Wide Flange Shape* yang di selubungi oleh beton.

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

3.3.4 Gambar Struktur

Detail gambar perencanaan Gedung Kantor Pemerintah Kabupaten Lamongan menggunakan software AutoCAD 2020. Denah eksisting gedung yang dicantumkan pada lampiran 1.

3.4 Flowchart



Gambar 3. 2 Flowchart tahapan perencanaan

3.5 Hipotesis

Berdasarkan hasil pembelajaran penulis untuk membuat hipotesis yang mengacu pada Latar belakang, rumusan, batasan dan tinjauan pustaka :

- Alternatif penggunaan struktur komposit karena lebih kuat dan lebih efektif untuk digunakan bentang yang panjang. Lebih kuat dan efektif yang dimaksud ialah komponen komponen komposit mampu menahan beban seismik , beban aksial dan

menahan gaya tarik. Selain itu struktur komposit didesain karena lebih efisien soal biaya karena struktur komposit dapat mereduksi berat profil baja yang digunakan dalam arti jika berkurangnya tinggi profi maka berkurang nya juga tinggi bangunan dan bisa lebih ekonomis.

- Struktur komposit lebih mampu memikul beban yang bekerja bersamaan (aksi komposit) degan dimensi yang lebih tinggi.



Halaman ini sengaja dikosongkan



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Pembebanan

Analisa beban yang diperhitungkan untuk perencanaan struktur Gedung Kantor Pemerintah Kabupaten Lamongan sebagai berikut:

4.1.1 Beban Mati

Beban mati yang digunakan perencanaan mengacu pada SNI 1727:2020, pembebanan beban mati adalah keseluruhan material konstruksi dan elemen arsitektural, berupa:

- Berat Sendiri / Material Bangunan
Profil baja *Wide Flange Shape (WF)*
- Beban Mati tambahan (*Super Dead Load*)

Beban Mati Pada Pelat Lantai

Pasir setebal 1 cm (0,01 x 1600)	=	16	kg/m ²
Spesi setebal 3 cm (0,03 x 21)	=	0.63	kg/m ²
Keramik setebal 1 cm (0,01 x 24)	=	0.24	kg/m ²
Langit-langit + penggantung	=	18	kg/m ²
Instalasi ME	=	30	kg/m ²
Total beban mati pada pelat lantai	=	64.87	kg/m ²

Beban Mati Pada Pelat Atap

Waterproofing tebal 2 cm = 0,02 x 14	=	0.28	kg/m ²
Langit-langit + penggantung	=	18	kg/m ²
Instalasi ME	=	30	kg/m ²
Total beban mati pada pelat atap	=	48.28	kg/m ²

Beban Mati Pada Balok

Beban dinding pasangan ½ batu (250 kg/m ²)			
Lantai 1 - 7 (4-0.8) x 250	=	800	kg/m ²

4.1.2 Beban Hidup

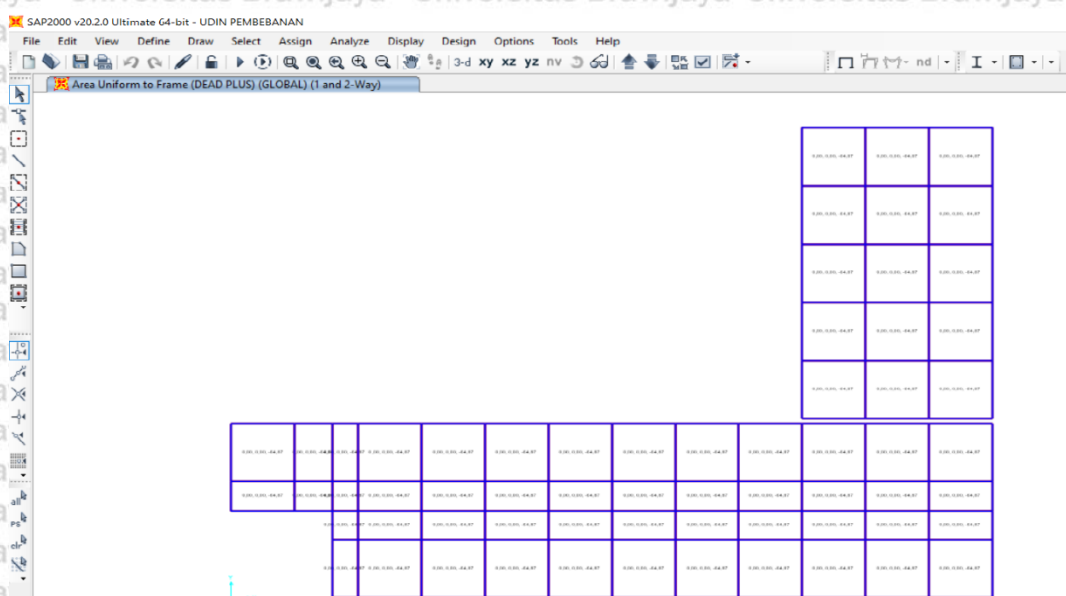
Beban Hidup yang digunakan untuk perencanaan Gedung Beton Bertulang Indonesia berdasarkan SNI pembebanan Tahun 2020 (SNI 1727:2020).

Pembebanan untuk beban hidup yang mengacu pada SNI adalah sebagai berikut:

Lobi dan Koridor Lantai Pertama	=	4.79 kN/m ²
Kantor	=	2.4 kN/m ²
Koridor di atas Lantai Pertama	=	3.83 kN/m ²

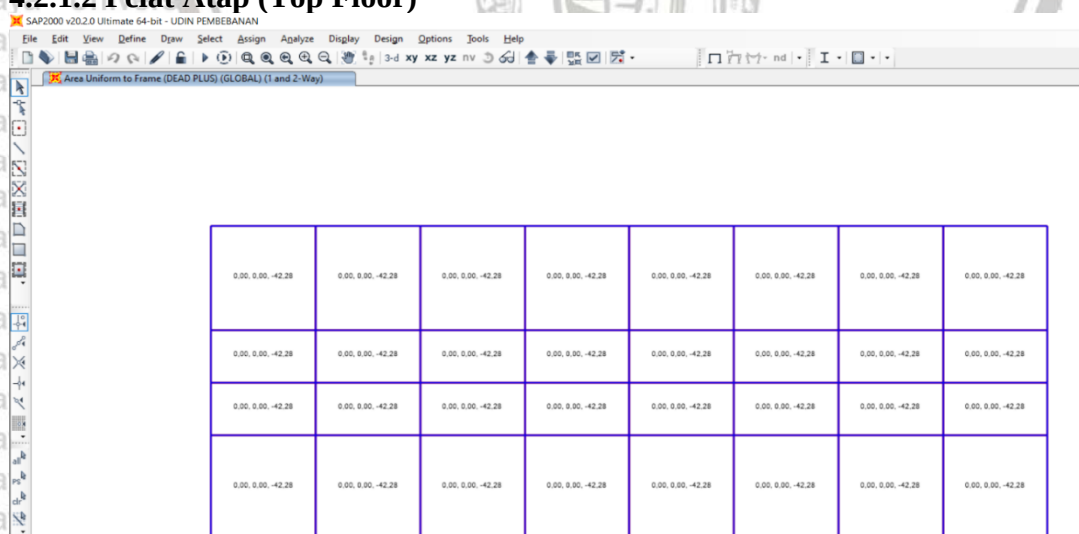
4.1.3 Pembebanan Balok dan Pelat

Pembebanan pelat lantai dan pelat atap dimasukkan ke SAP 2000, pembebanan pada balok induk dan balok anak diberikan berat dinding (bata ringan) sebagai beban yang terdistribusi merata sepanjang gelagar balok dikalikan dengan tinggi tiap lantai yang ditinjau.



Gambar 4. 1 Beban Hidup Tambahan yang terjadi pada pelat lantai
Sumber : Analisis Software SAP 2000

4.2.1.2 Pelat Atap (Top Floor)



Gambar 4. 2 Beban Mati Tambahan yang terjadi pada pelat lantai
Sumber : Analisis Software SAP 2000

4.2.2 Pembebanan Gempa

Beban Gempa yang digunakan untuk perhitungan mengacu pada Standar yang ada pada SNI 1726:2019 yaitu analisis respons spektrum.

Beban Gempa

Langkah – langkah analisis beban gempa dengan metode respon spektrum adalah sebagai berikut:

- Mencari Kategori Resiko bangunan gedung untuk beban gempa dan Faktor Keutamaan Gempa

Tabel 4 – Faktor keutamaan gempa

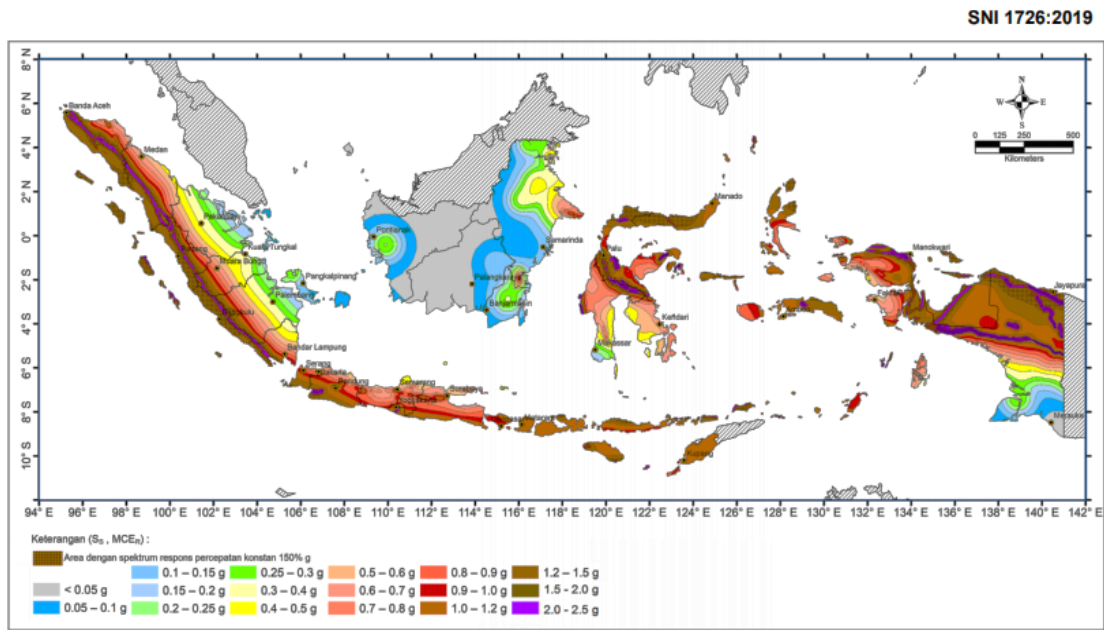
Kategori risiko	Faktor keutamaan gempa, I_e
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

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

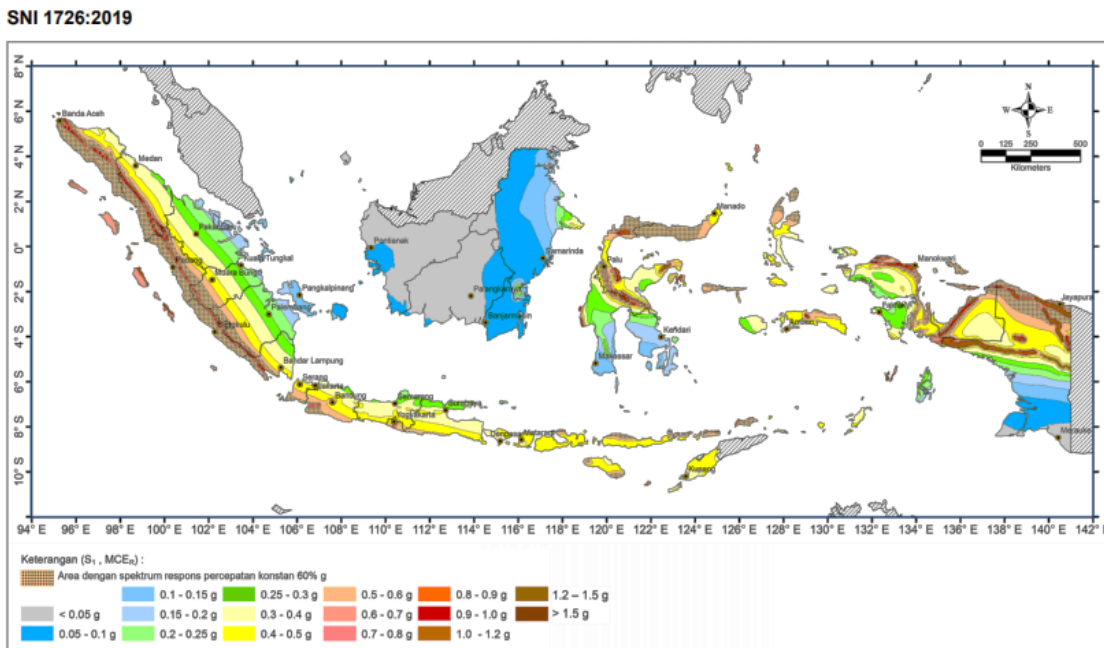
Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
Gedung dan nongedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain: - Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga 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

Gambar 4. 3 Tabel 3 dan tabel 4 SNI 1726-2019

b. Parameter Respon Spektral MCE_R (S_s dan S_1)



Gambar 4. 4 S_s Gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko tertarget (MCE_R)



Gambar 4. 5 S_1 Gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko tertarget (MCE_R)

- c. Menentukan nilai dari koefisien F_a dan F_v

Tabel 6 – Koefisien situs, F_a

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

CATATAN:

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

Gambar 4. 6 Tabel 6 SNI 1726-2019

Tabel 7 – Koefisien situs, F_v

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

CATATAN:

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

Gambar 4. 7 Tabel 7 SNI 1726-2019

- d. Menentukan nilai S_{MS} dan S_{M1}

$$S_{MS} = F_a \times S_s = 1,2 \times 0,7g = \mathbf{0,84}$$

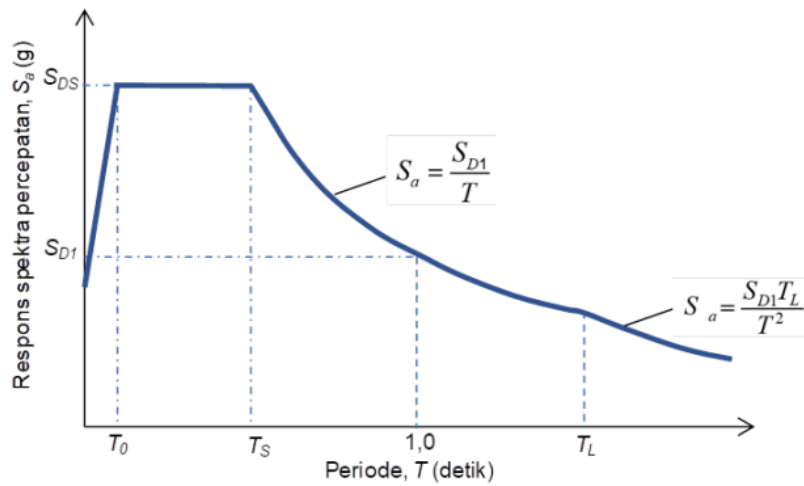
$$S_{M1} = F_v \times S_1 = 2 \times 0,3g = \mathbf{0,6}$$

- e. Menentukan nilai S_{DS} dan S_{D1}

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \times S_{MS} = \frac{2}{3} \times 0,84 = \mathbf{0,56}$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} \times S_{M1} = \frac{2}{3} \times 0,6 = \mathbf{0,4}$$

f. Menentukan Nilai T_0 dan T_s

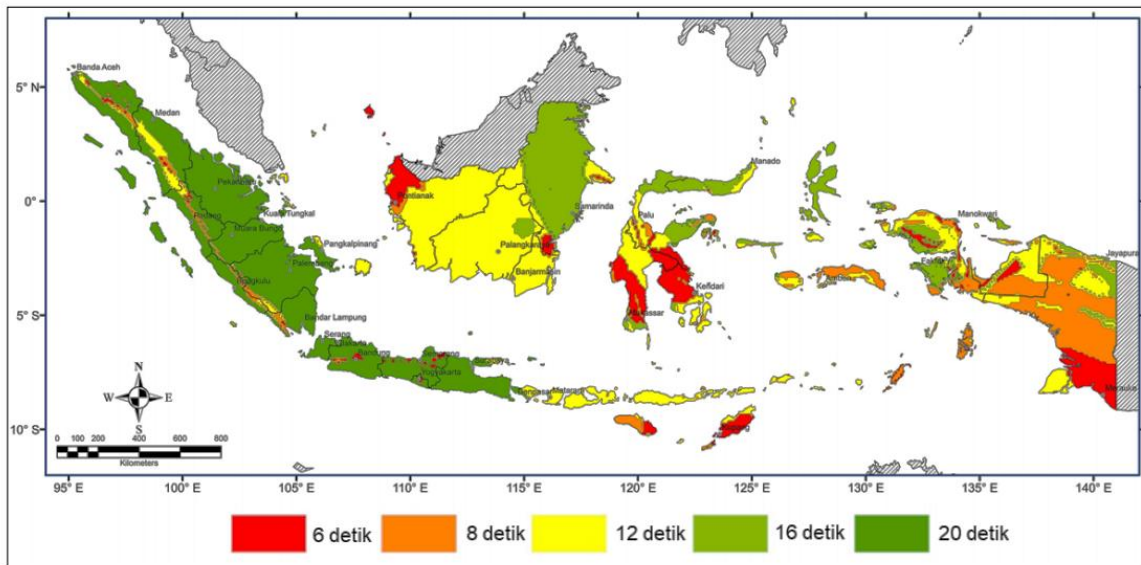


Gambar 4. 8 Spektrum respons desain

$$T_0 = 0,2 \frac{SD_1}{SDS} = 0,2 \frac{0,4}{0,56} = \mathbf{0,143}$$

$$T_s = \frac{SD_1}{SDS} = \frac{0,4}{0,56} = \mathbf{0,714}$$

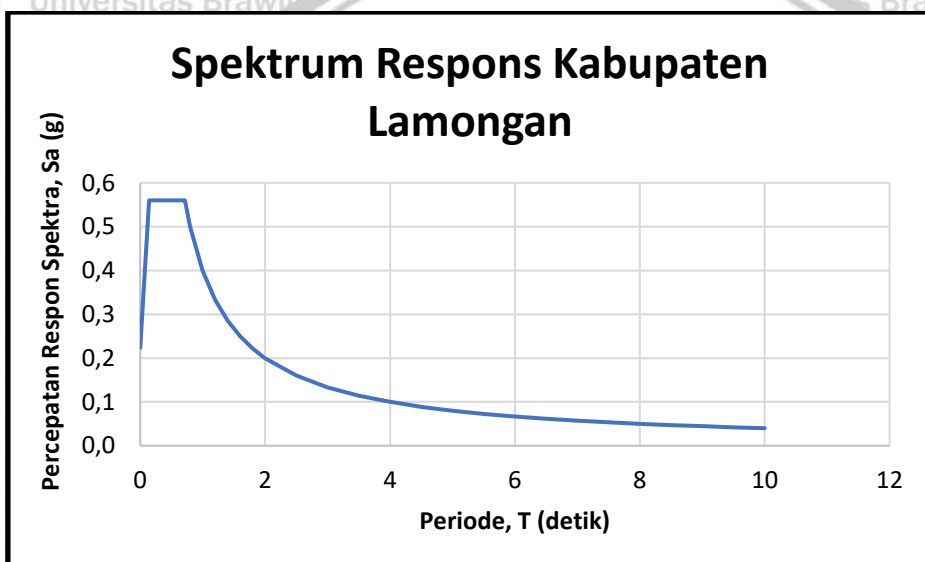
SNI 1726:2019



Gambar 4. 9 Peta transisi periode panjang (T_L)

T (detik)	Sa (g)
0	0.224
0.14	0.560
0.71	0.560
0.8	0.500
1	0.400
1.2	0.333
1.4	0.286
1.6	0.250
1.8	0.222
2	0.200
2.5	0.160
3	0.133
3.5	0.114

T (detik)	Sa (g)
4	0.100
4.5	0.089
5	0.080
5.5	0.073
6	0.067
6.5	0.062
7	0.057
7.5	0.053
8	0.050
8.5	0.047
9	0.044
9.5	0.042
10	0.040



4.2.3 Kombinasi Pembebanan

Beban yang bekerja untuk analisis Gedung Kantor Pemerintah kabupaten Lamongan

Sebagai berikut:

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

Berdasarkan beban – beban diatas, maka Gedung Kantor Pemerintah kabupaten Lamongan harus mampu menahan kombinasi pembebanan dasar menurut SNI 1727:2020 yang terdiri dari:

- 1,4D
- $1,2D + 1,6L + 0,5 (Lr \text{ atau } R)$
- $1,2D + 1,6(Lr \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5W)$
- $1,2D + 1,0W + L + 0,5(Lr \text{ atau } R)$
- $0,9D + 1,0W$
- $1,2D + Ev + Eh + L$
- $0,9D + Ev + Eh$

Dimana:

$$Ev = 0,2SD_s$$

$$Ehx = \rho (Ex + 0,3Ey)$$

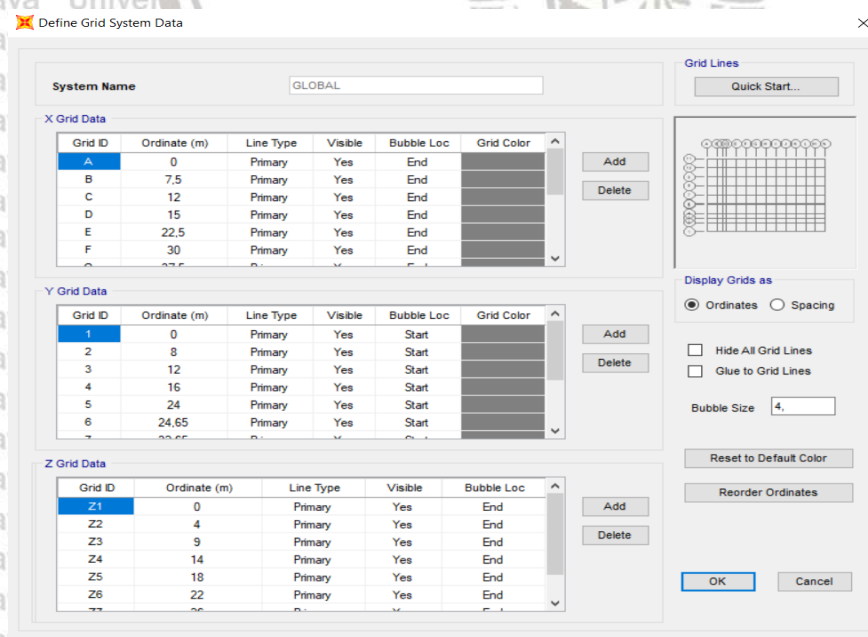
$$Ehy = \rho (Ey + 0,3Ex)$$

4.3 Pemodelan Struktur Menggunakan SAP2000 v20

Ada beberapa tahapan yang dilakukan untuk membuat pemodelan struktur pada perencanaan struktur Gedung Pemerintah Kabupaten Lamongan melalui *software* SAP2000 v20. Berikut adalah beberapa tahapan dan input yang dimasukkan pada *software* SAP2000 v20:

1. Grid System

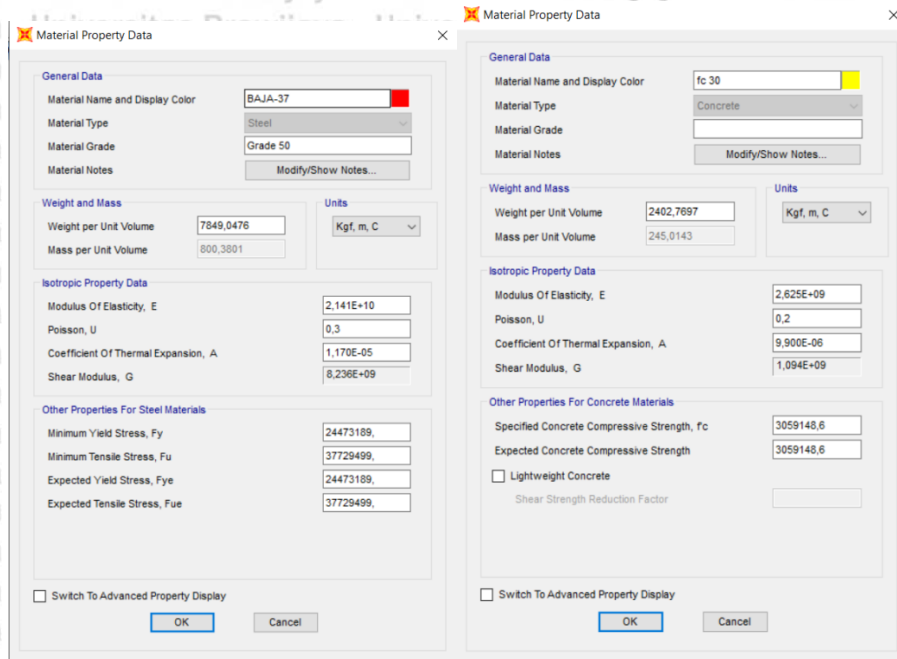
Grid System adalah suatu sistem sebagai acuan yang dimana letak koordinat titik-titik pada struktur (sumbu x, y, dan z) dibuat. Pada *Grid System* juga memuat informasi mengenai pendefinisian elevasi atau tingkatan lantai pada pemodelan struktur.



Gambar 4. 10 Grid System

2. Pendefinisian material

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

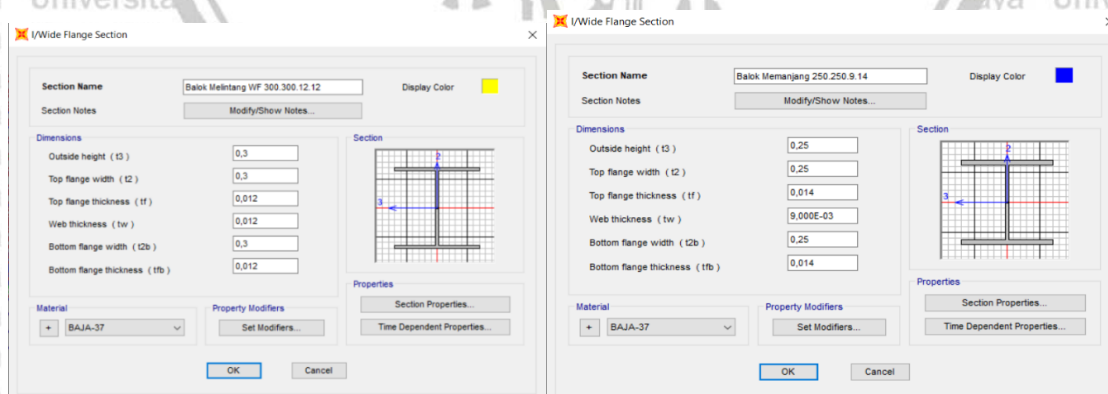


Gambar 4. 11 Definisi Material

3. Dimensioneering elemen struktur

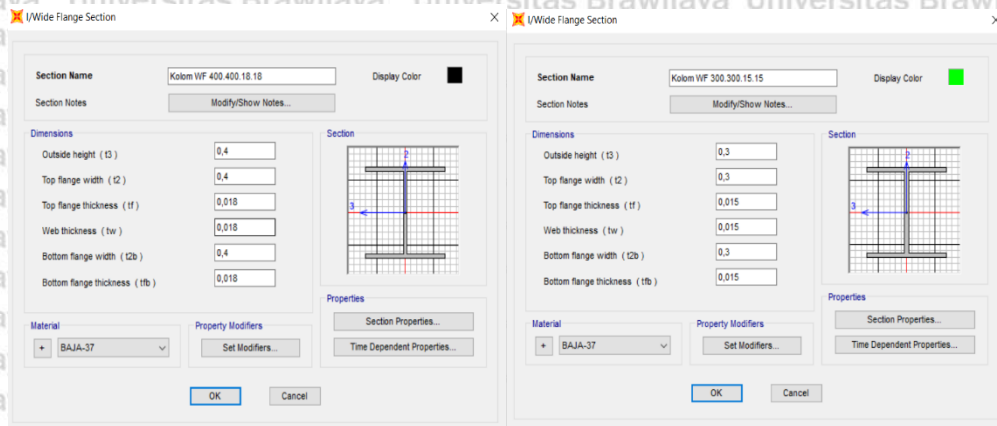
Langkah ketiga cara menentukan dan mengubah elemen struktur seperti balok, kolom, dan pelat, maka dapat memilih *Define* → *Section Properties*. Pada menu ini material yang didefinisikan sebelumnya bisa dihubungkan langsung pada saat penentuan dimensi elemen struktur.

Elemen Struktur Balok

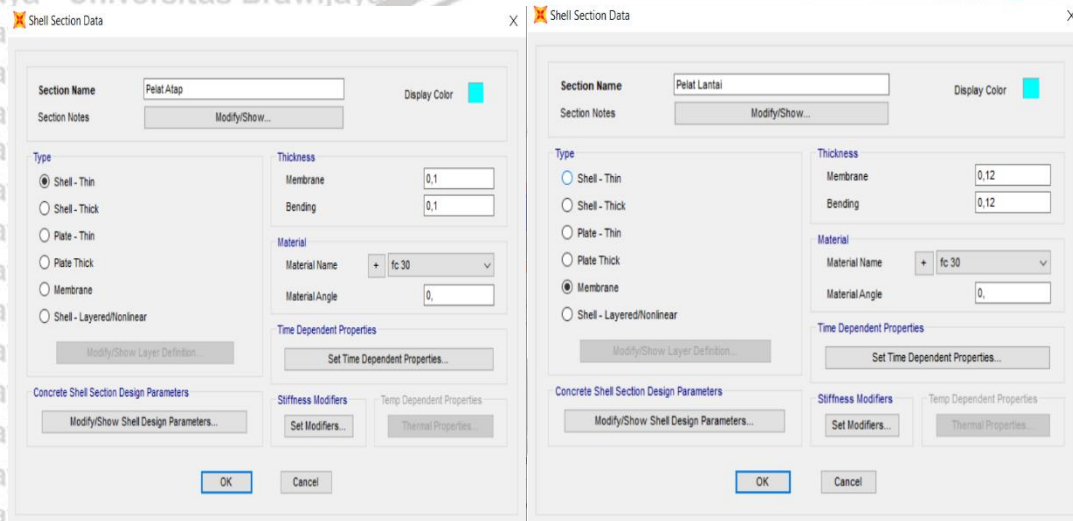


Gambar 4. 12 Elemen Struktur Balok WF

Elemen Struktur Kolom



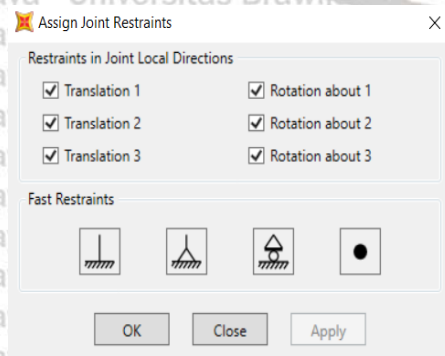
Gambar 4. 13 Elemen Struktur Kolom



Gambar 4. 14 Elemen Struktur Pelat

4. Assign Tumpuan

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

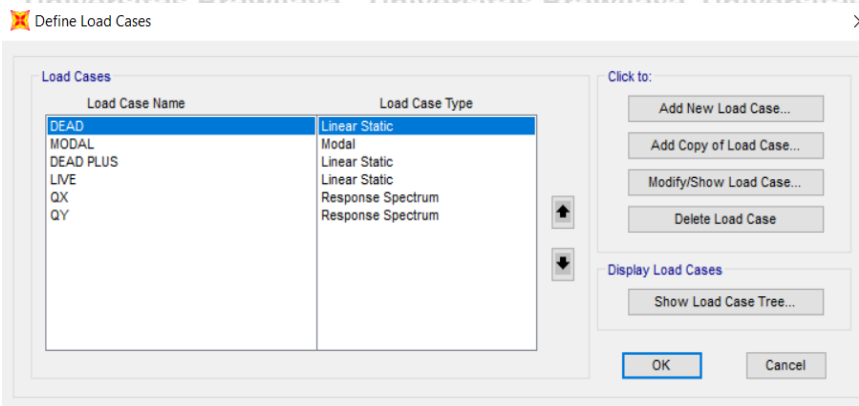


Gambar 4. 15 Assign Jepit sebagai Tumpuan

Pendefinisian Beban

Semua jenis beban yang akan bekerja nantinya didefinisikan terlebih dahulu dengan

memilih menu *Define* → *Load Cases*

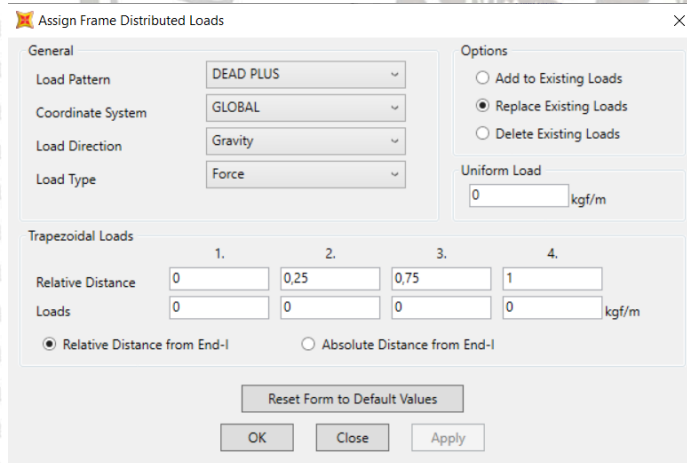


Gambar 4. 16 Definisi Pembebanan Struktur

5. Assign Pembebanan

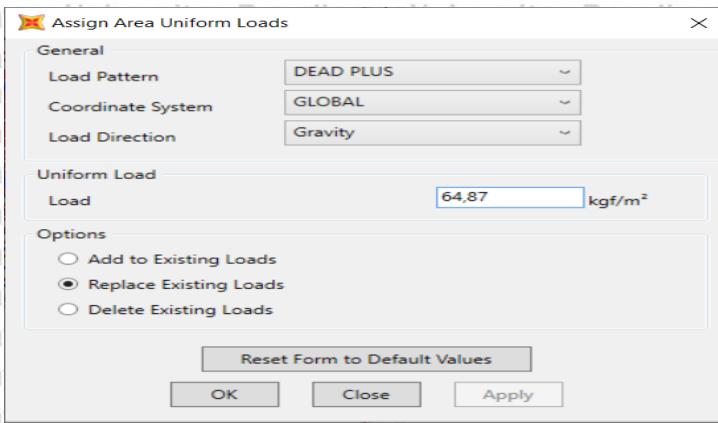
Langkah assign pembebanan untuk menambahkan beban yang telah dihitung pada sebelumnya untuk pemodelan struktur (*Frame dan Slab Section*), maka dipilih menu *Assign* → *Load*.

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



Gambar 4. 17 Frameload Assign

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

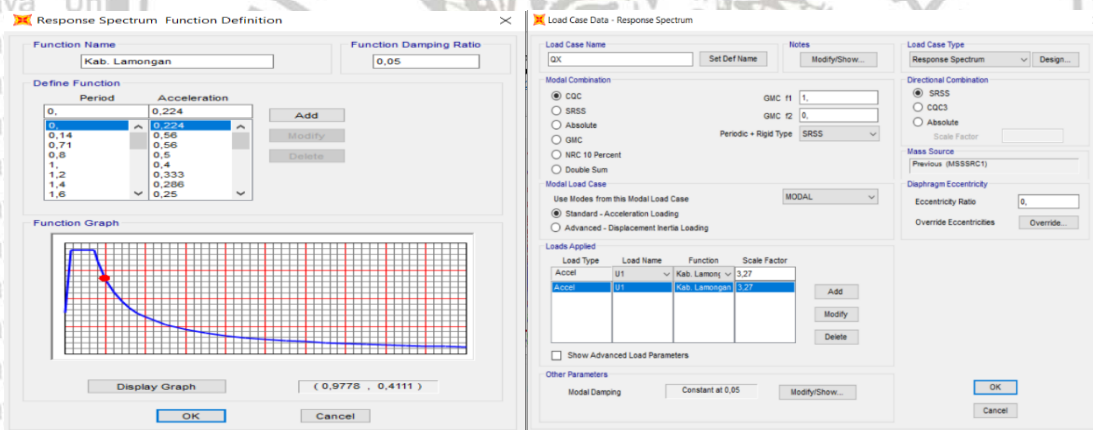


Gambar 4. 18 Shell load Assign

6. Input Respons Spektrum

Parameter seismik yang telah diuraikan sebelumnya diinput kedalam software SAP2000 dan didapatkan output berupa plot grafik respons spektrum sebagai beban gempa pada struktur. Pada bagian tahap kelas situs menggunakan SAP2000 digunakan kelas situs F agar dapat memasukkan parameter seismik F_a dan F_v secara manual dan plot grafik respons spektrum mendekati nilai yang tertera pada laman

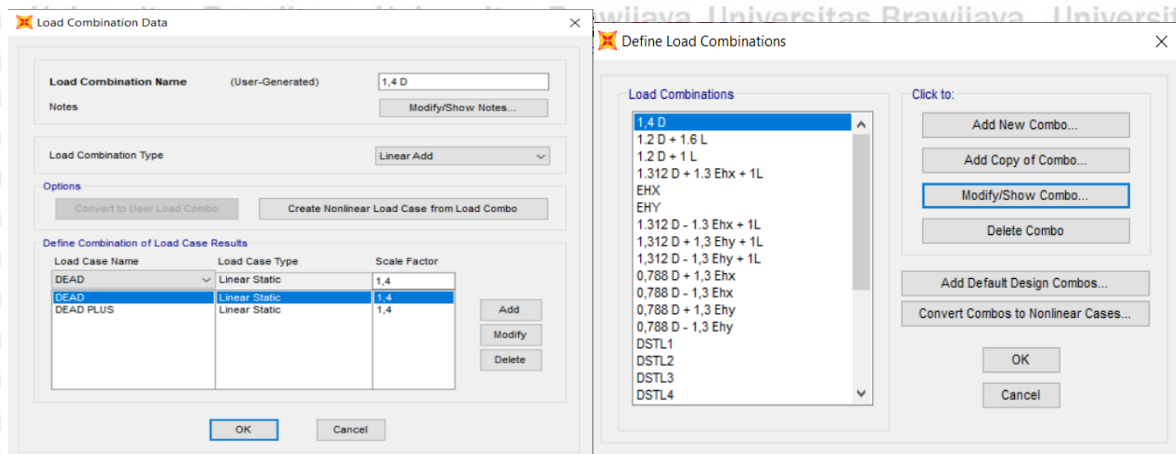
<http://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/>



Gambar 4. 19 Input Respon gempa Spektrum SAP 2000

7. Input Kombinasi Beban

Setelah pendefinisian dan modifikasi parameter seismik untuk beban gempa telah selesai, maka penginputan kombinasi beban perlu dilakukan sebelum *running analysis* menggunakan SAP2000. Input kombinasi beban dapat dilakukan dengan memilih menu *Define* → *Load Combination* dan memasukkan jenis beban dan faktor beban ultimit yang telah dihitung pada subbab analisis pembebanan



Gambar 4. 20 Input Kombinasi pembebanan

8. Running Analysis

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

4.4 Perencanaan Struktur Dengan Material Baja

Struktur gedung yang digunakan untuk alternatif perencanaan yaitu Gedung Kantor Pemerintah Kabupaten Lamongan, material utama yang digunakan untuk perencanaan menggunakan Baja profil WF mutu BJ-37 dengan ukuran sebagai berikut:

- Profil WF 300x300x12x12 untuk Balok Induk dengan posisi Melintang (*Cross Section*)
- Profil WF 250x250x14x14 untuk Balok Induk dengan posisi Memanjang (*Long Section*)
- Profil WF 400x400x18x18 untuk Kolom
- Profil WF 300x300x15x15 untuk Kolom

4.4.1 Perencanaan Balok Induk

Hasil yang didapatkan respon spektrum gempa, respon struktur dan gaya dalam dari perangkat lunak SAP2000 dengan memasukkan profil hasil *preliminary design* kemudian dilakukan analisis kekuatan nominalnya menggunakan SNI 1729:2020.

4.4.1.1.Rekapitulasi Output Gaya Dalam

Rekapitulasi output yang didapat dari SAP2000 akibat kombinasi beban ultimit pada balok induk memanjang dan melintang adalah sebagai berikut:

Tabel 4. 1

Rekapitulasi gaya dalam balok melintang

Rekapitulasi Gaya Dalam Balok Melintang 300.300.12.12		
Momen (Mu)		Geser (Vu)
Lapangan (+)	Tumpuan (-)	192,543 kN
205,961 kNm	263,390 kNm	

Sumber : Analisis Penulis

Tabel 4. 2 Rekapitulasi gaya dalam balok memanjang

Rekapitulasi Gaya Dalam Balok Memanjang 250.250.14.14		
Momen (Mu)		Geser (Vu)
Lapangan (+)	Tumpuan (-)	159,620 kN
201,472 kNm	225,988 kNm	

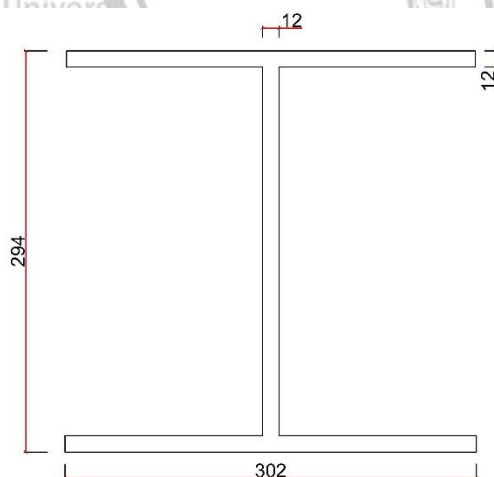
Sumber : Analisis Penulis

Dengan bentang terbesar posisi melintang sebesar 8 m dan bentang posisi memanjang sebesar 7,5 m

4.5 Penampang Profil Balok Induk

4.5.1 Penampang Profil Balok Induk Melintang (Cross Section)

WF.300.300.12.12



Gambar 4. 21 Penampang Profil Balok Induk Melintang

Sumber: Analisis Penulis

$$\begin{aligned} W &= 84,5 \text{ kg/m} \\ d &= 294 \text{ mm} \\ bf &= 302 \text{ mm} \\ tw &= 12 \text{ mm} \\ tf &= 12 \text{ mm} \\ r_o &= 18 \text{ mm} \\ h &= d - 2 (tf + r_o) = 234 \text{ mm} \end{aligned}$$

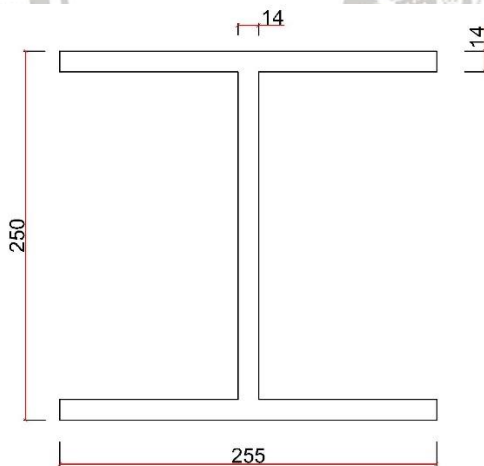
$$\begin{aligned} A &= 107,7 \text{ cm}^2 \\ I_x &= 16,900 \text{ cm}^4 \\ I_y &= 5520 \text{ cm}^4 \\ r_x &= 125 \text{ mm} \\ r_y &= 71,6 \text{ mm} \\ S_x &= 1150 \text{ cm}^3 \\ S_y &= 365 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$Z_x = b \cdot tf \cdot (d - tf) + \frac{1}{4} tw \cdot h^2 = 1186,236 \text{ cm}^3$$

$$Z_y = 1,5 \cdot S_y = 547,5 \text{ cm}^3$$

4.5.2 Penampang Profil Balok Induk Memanjang (Long Section)

WF.250.250.14.14



Gambar 4. 22 Penampang Profil Balok Induk Memanjang
Sumber: Analisis Penulis

$$\begin{aligned} W &= 82,2 \text{ kg/m} \\ d &= 250 \text{ mm} \\ bf &= 255 \text{ mm} \\ tw &= 14 \text{ mm} \\ tf &= 14 \text{ mm} \end{aligned}$$

58

$$r_o = 16 \text{ mm}$$

$$h = d - 2(t_f + r_o) = 19 \text{ mm}$$

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

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

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

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

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

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

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

$$Z_x = b \cdot t_f \cdot (d - t_f) + \frac{1}{4} t_w \cdot h^2 = 968,87 \text{ cm}^3$$

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

4.6 Kontrol Profil Balok Induk

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

4.6.1 Kontrol Profil Balok Induk Melintang (Cross Section)

➤ Pelat Sayap

$$\lambda = \frac{b_f}{2t_f} = \frac{302}{24} = 11,18$$

$$\lambda_p = 0,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 0,38 \sqrt{\frac{210000}{240}} = 11,24$$

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

➤ Pelat Badan

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{234}{12} = 19,5$$

$$\lambda_p = 3,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 3,76 \sqrt{\frac{210000}{240}} = 111,22$$

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

4.6.2 Kontrol Profil Balok Induk Memanjang (Long Section)

➤ Pelat Sayap

$$\lambda = \frac{b_f}{2t_f} = \frac{255}{28} = 9,10$$

$$\lambda_p = 0,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 0,38 \sqrt{\frac{210000}{240}} = 11,24$$

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

➤ Pelat Badan

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{190}{14} = 13,57$$

$$\lambda_p = 3,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 3,76 \sqrt{\frac{210000}{240}} = 111,22$$

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

4.6.3 Cek Kapasitas Nominal Sebelum Komposit

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

4.6.3.1 Pengecekan Kapasitas Nominal Balok Induk Melintang (Cross Section)

➤ Berdasarkan batas plastis

Karena penampang kompak, maka:

$$\begin{aligned} M_n &= M_p = F_y \cdot Z_x \\ &= 240 \cdot 1186,236 \cdot 10^3 \\ &= 284696640 \text{ Nmm} \\ &= 284,696 \text{ kNm} \\ \phi M_n &= 0,9 \cdot 284,696 \\ &= 256,226 \text{ kNm} \end{aligned}$$

➤ Berdasarkan Tekuk-Torsi Lateral (LTB)

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

$$\begin{aligned} L_p &= 1,76 \cdot r_y \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1,76 \cdot 71,7 \sqrt{\frac{210000}{240}} \\ &= 3,73 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h_0 &= d - t_f \\ &= 294 - 12 = 282 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} r_{ts}^2 &= \frac{I_y h_0}{2S_x} \\ &= \frac{5520 \cdot 10^4 \cdot 282}{2 \cdot 1150 \cdot 10^3} \\ &= 6768 \end{aligned}$$

$$r_{ts} = 82,26$$

$$\begin{aligned} J &= 2 \left(\frac{1}{3} b_f \cdot t_f^3 \right) + \left(\frac{1}{3} h_0 \cdot t_w^3 \right) \\ &= 2 \left(\frac{1}{3} 302 \cdot 12^3 \right) + \left(\frac{1}{3} 282 \cdot 12^3 \right) \end{aligned}$$

$$= 510336 \text{ mm}^4$$

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

$$\begin{aligned} L_r &= 1,95 \cdot r_{ts} \cdot \frac{E}{0,7 \cdot f_y} \cdot \sqrt{\frac{J \cdot c}{S_x \cdot h_0} + \sqrt{\left(\frac{J \cdot c}{S_x \cdot h_0}\right)^2 + 6,76 \cdot \left(\frac{0,7 \cdot f_y}{E}\right)^2}} \\ &= 1,95 \cdot 82,26 \cdot \frac{210000}{0,7 \cdot 240} \sqrt{\frac{510336 \cdot 1}{1150000 \cdot 282} + \sqrt{\left(\frac{510336 \cdot 1}{1150000 \cdot 282}\right)^2 + 6,76 \cdot \left(\frac{0,7 \cdot 240}{210000}\right)^2}} \\ &= 200527,89 \cdot 0,064 \\ &= 12967,61 \text{ mm} \\ &\cong 13 \text{ m} \end{aligned}$$

Nilai $L_p < L_b \leq L_r$ maka:

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

$$M_{\text{MAKS}} = 263,390 \text{ kNm}$$

$$M_A \left(\frac{1}{4}L \right) = 65,847 \text{ kNm}$$

$$M_B \left(\frac{1}{2}L \right) = 263,390 \text{ kNm}$$

$$M_C \left(\frac{3}{4}L \right) = 197,542 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} C_b &= \frac{12,5 M_{\text{maks}}}{2,5 M_{\text{maks}} + 3 M_A + 4 M_B + 3 M_C} \\ &= \frac{12,5 \cdot 263,390}{2,5 \cdot 263,390 + 3 \cdot 65,847 + 4 \cdot 263,390 + 3 \cdot 197,542} \\ &= 1,315 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 0,7 \cdot F_y \cdot S_x &= 0,7 \cdot 240 \cdot 1150000 \\ &= 193200000 \text{ Nmm} \\ &= 193,2 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= C_b \left[M_p - (M_p - 0,7 \cdot f_y \cdot S_x) \cdot \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \\ &= 1,31 \left[284,696 - (284,696 - 193,2) \cdot \left(\frac{8-3,73}{13-3,73} \right) \right] \geq M_p = 284,696 \text{ kNm} \\ &= 318,934 \text{ kNm} \geq M_p = 284,696 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Maka dipakai nilai M_n terkecil berdasarkan batas plastis sebesar $\phi M_n = 256,226 \text{ kNm}$

$$\phi M_n = 256,226 \text{ kNm} > M_u \text{ Lapangan} = 205,965 \text{ kNm}$$

$$\phi M_n = 256,226 \text{ kNm} \leq M_u \text{ Tumpuan} = 263,390 \text{ kNm}$$

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

4.6.3.2 Cek Kapasitas Nominal Balok Induk Memanjang (Long Section)

- Berdasarkan batas plastis

Karena penampang kompak, maka:

$$\begin{aligned} M_n &= M_p = F_y \cdot Z_x \\ &= 240 \cdot 968,87 \cdot 10^3 \\ &= 232528800 \text{ Nmm} \\ &= 232,528 \text{ kNm} \\ \phi M_n &= 0,9 \cdot 232,528 \\ &= 209,275 \text{ kNm} \end{aligned}$$

- Berdasarkan Tekuk-Torsi Lateral (LTB)

$$L_b = 7,5 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} L_p &= 1,76 \cdot r_y \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1,76 \cdot 60,9 \sqrt{\frac{210000}{240}} \\ &= 3,17 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h_0 &= d - t_f \\ &= 250 - 14 = 236 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} r_{ts}^2 &= \frac{I_y h_0}{2S_x} = \frac{3880 \cdot 10^4 \cdot 236}{2 \cdot 919 \cdot 10^3} \\ &= 4981,93 \end{aligned}$$

$$r_{ts} = 70,58$$

$$\begin{aligned} J &= 2 \left(\frac{1}{3} b_f \cdot t_f^3 \right) + \left(\frac{1}{3} h_0 \cdot t_w^3 \right) \\ &= 2 \left(\frac{1}{3} 255 \cdot 14^3 \right) + \left(\frac{1}{3} 236 \cdot 14^3 \right) \\ &= 682341,333 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} L_r &= 1,95 \cdot r_{ts} \cdot \frac{E}{0,7 \cdot f_y} \cdot \sqrt{\frac{J \cdot c}{S_x \cdot h_0} + \left(\frac{J \cdot c}{S_x \cdot h_0} \right)^2 + 6,76 \cdot \left(\frac{0,7 \cdot f_y}{E} \right)^2} \\ &= 1,95 \cdot 70,58 \cdot \frac{210000}{0,7 \cdot 240} \cdot \sqrt{\frac{682341,33}{919000 \cdot 236} + \left(\frac{682341,33}{919000 \cdot 236} \right)^2 + 6,76 \cdot \left(\frac{0,7 \cdot 240}{210000} \right)^2} \\ &= 172045,66 \cdot 0,083 \end{aligned}$$

$$= 14309,441 \text{ mm}$$

$$\approx 15 \text{ m}$$

Nilai $L_p < L_b \leq L_r$ maka:

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

$$M_{MAKS} = 225,988 \text{ kNm}$$

$$M_A \left(\frac{1}{4}L \right) = 40,849 \text{ kNm}$$

$$M_B \left(\frac{1}{2}L \right) = 129,720 \text{ kNm}$$

$$M_C \left(\frac{3}{4}L \right) = 67,471 \text{ kNm}$$

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

$$= \frac{12,5 \cdot 225,988}{2,5 \cdot 229,803 + 3 \cdot 40,849 + 4 \cdot 129,720 + 3 \cdot 67,471}$$

$$= 2,005$$

$$0,7 \cdot F_y \cdot S_x = 0,7 \cdot 240 \cdot 919000$$

$$= 154392000 \text{ Nmm}$$

$$= 154,392 \text{ kNm}$$

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

$$= 2,02 \left[232,528 - (232,528 - 154,392) \cdot \left(\frac{7,5 - 3,17}{14 - 3,17} \right) \right] \geq M_p = 232,528 \text{ kNm}$$

$$= 285,028 \text{ kNm} \geq M_p = 232,528 \text{ kNm}$$

Maka dipakai nilai M_n terkecil berdasarkan batas plastis sebesar $\phi M_n = 209,275 \text{ kNm}$

$$\phi M_n = 209,275 \text{ kNm} > M_u \text{ Lapangan} = 201,472 \text{ kNm}$$

$$\phi M_n = 209,275 \text{ kNm} \leq M_u \text{ Tumpuan} = 225,988 \text{ kNm}$$

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

4.6.4 Cek Kapasitas Nominal Setelah Komposit

4.6.4.1 Cek Kapasitas Nominal Setelah Komposit Balok Induk Memanjang (Long Section)

1. Lebar efektif (b_e)

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

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

$$= \frac{7,5}{4}$$

$$= 1,875 \text{ m}$$

b. $b_e = b_0$ (jarak antar gelagar)

$$= 8 \text{ m}$$

Maka dipilih nilai b_e terkecil sebesar 1,875 m



Gambar 4. 23 Balok Induk Komposit

Sumber: Analisis Penulis

2. Pengecekan penampang kompak pada pelat badan profil

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{d + Y_c}{t_w} = \frac{250 + 120}{14} = \frac{424}{14} = 26,42$$

$$\lambda_p = 3,76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 3,76 \sqrt{\frac{210000}{240}} = 111,22$$

$\lambda < \lambda_p$ maka penampang pelat badan kompak atau nonlangsing

3. Perencanaan jumlah tulangan pada pelat beton

$$d' = 30 \text{ mm}$$

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

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

$$= \frac{1,4}{240} 1000 \cdot (120 - 30) \\ = 525 \text{ mm}^2$$

Dicoba menggunakan tulangan Ø10

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

$$= \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 10^2 \cdot 1000}{525}$$

$$= 149,599 \text{ mm} \approx 140 \text{ mm}$$

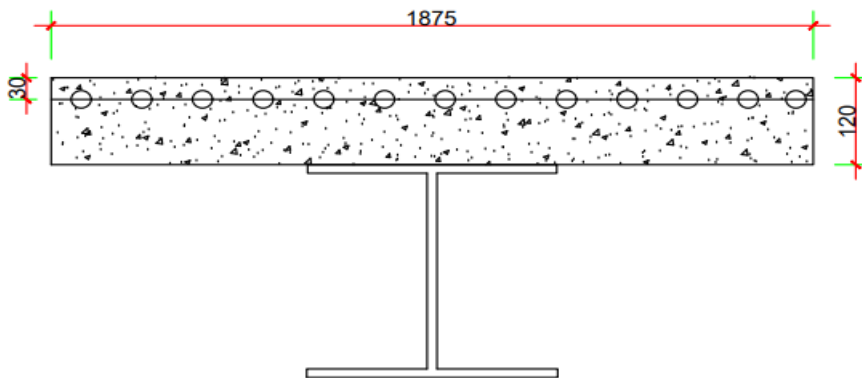
Dipakai tulangan S10 – 140 sehingga,

$$A_{s_c} = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot b}{s} = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 10^2 \cdot 1000}{140} = 560,98 \text{ mm}^2 > A_{s_{min}}, \text{ pelat beton menggunakan}$$

tulangan polos.

Jumlah tulangan sepanjang b_e (n)

$$n = \frac{b_e}{s} = \frac{1875}{140} = 12,5 \cong 13 \text{ buah}$$



Gambar 4. 24 Lebar Efektif Balok Induk Memanjang Setelah Komposit
Sumber: Analisis Penulis

4. Mencari sumbu netral plastis pada balok (PNA)

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

- $T_{sr} = n \cdot A_{sr} \cdot F_y$
 $= 13 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 10^2 \cdot 240$
 $= 245044,22 \text{ N}$
 $= 245,04 \text{ kN}$
- $C_s = A_s \cdot F_y$
 $= 10470 \cdot 240$
 $= 2512800 \text{ N}$
 $= 2512 \text{ kN}$

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

5. Mencari sumbu garis netral (y)

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

$$= \frac{2512800 - 245044,22}{255 \cdot 240}$$

$$= 37,05 \text{ mm} > t_f = 14 \text{ mm}$$

Maka garis netral jatuh di pelat badan. Lalu dicari gaya tarik pada pelat sayap.

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

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

$$= 1713600 \text{ N}$$

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

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

$$= \frac{2512800 - 245044,22 - 1713600}{14 \cdot 240}$$

$$= 164,92 \text{ mm}$$

$$\cong 164 \text{ mm}$$

Mencari tarik pada pelat badan (T_{sw})

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

$$= 14 \cdot 164 \cdot 2 \cdot 240$$

$$= 110831,15 \text{ N}$$

$$= 110,83 \text{ kN}$$

Mencari jarak ke titik berat pelat sayap (y_f)

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

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

$$= 118 \text{ mm}$$

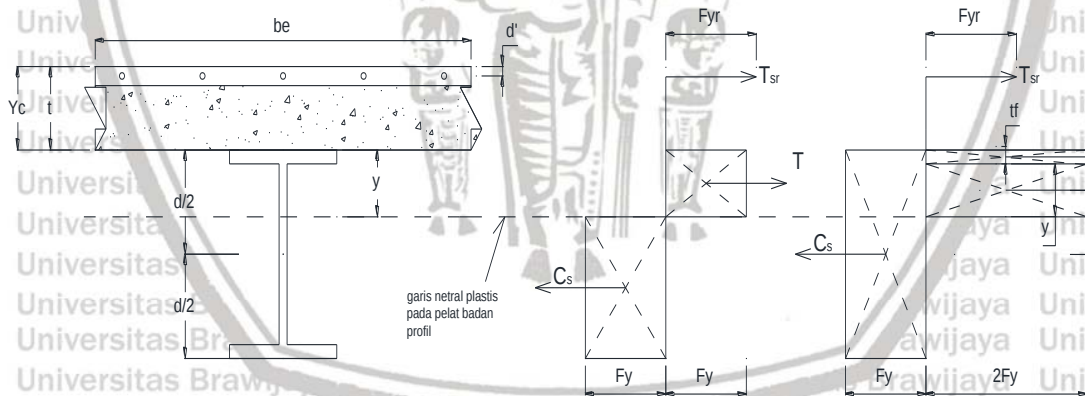
Mencari jarak ke titik berat pelat sayap (y_w)

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

$$= \frac{1}{2} (250 + 164) - 14$$

$$= 193,46 \text{ mm}$$

6. Menghitung kapasitas momen lentur balok komposit (M_n)



Gambar 4. 25 Distribusi Tegangan Balok Komposit Kasus 3

Sumber: Analisis Penulis

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

$$= 245044,22 \left(\frac{250}{2} + 120 - 30 \right) + 1713600 \cdot 118 + 1108311,54 \cdot 193,46$$

$$= 469307313,3 \text{ Nmm}$$

$$= 469,307 \text{ kNm}$$

$$\phi M_n = 0,9 \cdot 469,307$$

$$= 422,376 \text{ kNm} > M_u = 225,98 \text{ kNm}$$

7. Menghitung kapasitas geser nominal balok komposit (V_n)

Pengecekan persyaratan $\frac{h}{t_w} \leq 2,24 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ pada penampang pelat badan

$$\frac{h}{t_w} = \frac{d+Y_c}{t_w} = \frac{250+120}{14} = \frac{370}{14} = 36,42$$

$$2,24 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 2,24 \sqrt{\frac{210000}{240}} = 66,26$$

Nilai $\frac{h}{t_w} \leq 2,24 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ maka $\phi_v = 1,0$ dan $C_v = 1,0$

$$A_w = d \cdot t_w = 250 \cdot 14 = 3500 \text{ mm}^2$$

Sehingga $V_n = 0,6 F_y \cdot A_w \cdot C_v$

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

$$= 504000 \text{ N}$$

$$\phi V_n = 1,0 \cdot 504000 \text{ N} = 504 \text{ kN} \geq V_u = 159,620 \text{ kN}$$

8. Kontrol lendutan (Δ)

Panjang bentang (L) = 7,5 m = 7500 mm

Lendutan maksimum yang terjadi (Δ_{maks}) = 1,619 mm

$$\text{Lendutan ijin } (\Delta_{ijin}) = \frac{L}{180} = \frac{7500}{180} = 41,6 \text{ mm}$$

$$\Delta_{maks} = 1,619 \text{ mm} < \Delta_{ijin} = 41,6 \text{ mm (OK)}$$

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

1. Lebar efektif (b_e)

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

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

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

$$= 2 \text{ m}$$

b. $b_e = b_0$ (jarak antar gelagar)

$$= 8 \text{ m}$$

Maka dipilih nilai b_e terkecil sebesar 2 m

2. Pengecekan penampang kompak pada pelat badan profil

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{d+Y_c}{t_w} = \frac{294+120}{12} = \frac{414}{12} = 34,5$$

$$\lambda_p = 3,76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 3,76 \sqrt{\frac{210000}{240}} = 111,22$$

$\lambda < \lambda_p$ maka penampang pelat badan kompak atau nonlangsing

3. Perencanaan jumlah tulangan pada pelat beton

$$d' = 30 \text{ mm}$$

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

$$\begin{aligned} A_{s_{\min}} &= \frac{1,4}{F_y} b \cdot d \\ &= \frac{1,4}{250} 1000 \cdot (120 - 30) \\ &= 525 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dicoba menggunakan tulangan $\emptyset 10$

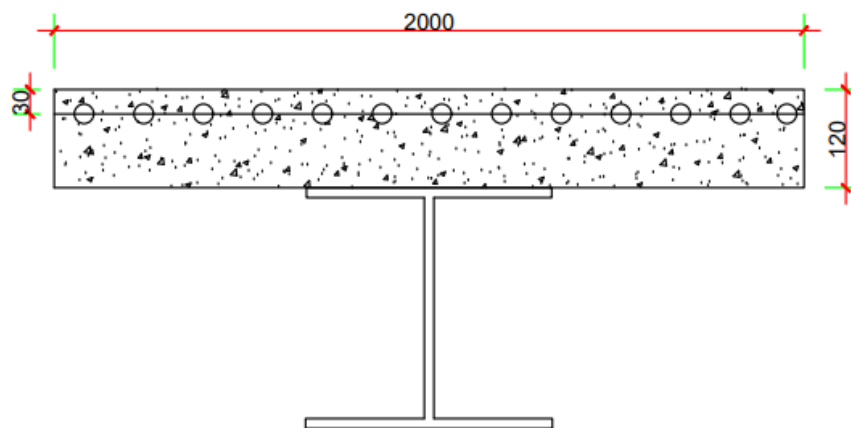
$$\begin{aligned} \text{Jarak tulangan pelat beton, } s &= \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot b}{A_{s_{\min}}} \\ &= \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 10^2 \cdot 1000}{525} \\ &= 149,59 \text{ mm} \approx 140 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dipakai tulangan S10 – 140 sehingga,

$$A_{s_c} = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot b}{s} = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 10^2 \cdot 1000}{150} = 560,98 \text{ mm}^2 > A_{s_{\min}}, \text{ pelat beton menggunakan tulangan polos}$$

Jumlah tulangan sepanjang b_e (n)

$$n = \frac{b_e}{s} = \frac{2000}{140} = 13,33 \approx 13 \text{ buah}$$



Gambar 4. 26 Lebar Efektif Balok Induk Melintang Setelah Komposit

Sumber: Analisis Penulis

4. Mencari sumbu netral plastis pada balok (PNA)

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

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

68

$$\begin{aligned}
 T_{sr} &= n \cdot A_{sr} \cdot F_y \\
 &= 13 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 10^2 \cdot 240 \\
 &= 245044,22 \text{ N} \\
 &= 245,04 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_s &= A_s \cdot F_y \\
 &= 10770 \cdot 240 \\
 &= 2584800 \text{ N} \\
 &= 2584,80 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

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

5. Mencari sumbu garis netral (y)

$$\begin{aligned}
 y &= \frac{C_s - T_{sr}}{b_f \cdot f_y} \\
 &= \frac{2584800 - 245044,22}{302 \cdot 240} \\
 &= 32,28 \text{ mm} > t_f = 14 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka garis netral jatuh di pelat badan. Lalu dicari gaya tarik pada pelat sayap.

$$\begin{aligned}
 T_{sf} &= b_f \cdot t_f \cdot 2F_y \\
 &= 302 \cdot 12 \cdot 2 \cdot 240 \\
 &= 1812000 \text{ N} \\
 &= 1812 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 y &= \frac{C_s - T_{sr} - T_{sf}}{t_w \cdot f_y} \\
 &= \frac{2584800 - 245044,22 - 1812000}{12 \cdot 240} \\
 &= 183,24 \text{ mm} \\
 &\cong 183 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Mencari tarik pada pelat badan (T_{sw})

$$\begin{aligned}
 T_{sw} &= t_w \cdot y \cdot 2F_y \\
 &= 12 \cdot 183 \cdot 2 \cdot 240 \\
 &= 1099491,19 \text{ N} \\
 &= 1099,49 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Mencari jarak ke titik berat pelat sayap (y_f)

$$\begin{aligned}
 Y_f &= \frac{1}{2} (d - t_f) \\
 &= \frac{1}{2} (294 - 12) \\
 &= 141 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Mencari jarak ke titik berat pelat sayap (y_w)



$$\begin{aligned} Y_w &= \frac{1}{2} (d + y) - t_f \\ &= \frac{1}{2} (294 + 183) - 12 \\ &= 226,62 \text{ mm} \end{aligned}$$

6. Menghitung kapasitas momen lentur balok komposit (Mn)



Gambar 4. 27 Distribusi Tegangan Balok Komposit Kasus 3
Sumber: Analisis Penulis

$$\begin{aligned} M_n &= T_{sr} \left(\frac{d}{2} + Y_c - d' \right) + T_{sf} \cdot y_f + T_{sw} \cdot y_w \\ &= 245044,22 \left(\frac{294}{2} + 120 - 30 \right) + 1812000 \cdot 141 + 109949 \cdot 226,62 \\ &= 562738866,7 \text{ Nmm} \\ &= 562,73 \text{ kNm} \\ \phi M_n &= 0,9 \cdot 562,73 \\ &= 506,457 \text{ kNm} > M_u = 263,389 \text{ kNm} \end{aligned}$$

7. Menghitung kapasitas geser nominal balok komposit (Vn)

Pengecekan persyaratan $\frac{h}{t_w} \leq 2,24 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ pada penampang pelat badan

$$\frac{h}{t_w} = \frac{d + Y_c}{t_w} = \frac{294 + 120}{12} = \frac{414}{12} = 34,5$$

$$2,24 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 2,24 \sqrt{\frac{210000}{240}} = 66,26$$

Nilai $\frac{h}{t_w} \leq 2,24 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ maka $\phi_v = 1,0$ dan $C_v = 1,0$

$$A_w = d \cdot t_w = 294 \cdot 12 = 3528 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Sehingga } V_n &= 0,6 F_y \cdot A_w \cdot C_v \\ &= 0,6 \cdot 240 \cdot 3528 \cdot 1,0 \\ &= 508032 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\phi V_n = 1,0 \cdot 508032 \text{ N} = 508,03 \text{ kN} \geq V_u = 192,543 \text{ kN}$$

8. Kontrol lendutan (Δ)

Panjang bentang (L) = 8 m = 8000 mm

Lendutan maksimum yang terjadi (Δ_{maks}) = 18,816 mm

$$\text{Lendutan ijin } (\Delta_{ijin}) = \frac{L}{180} = \frac{8000}{180} = 44,444 \text{ mm}$$

$$\Delta_{maks} = 18,816 \text{ mm} < \Delta_{ijin} = 44,444 \text{ mm (OK)}$$

4.5 Perhitungan Penghubung Geser (*Shear Connector*)

Agar dapat terjadi aksi komposit penuh sesuai pada analisis perencanaan yaitu struktur komposit, maka antara pelat beton dan balok baja perlu diberikan penghubung geser (*shear connector*) yang juga berfungsi sebagai penahan slab antara material beton dan baja. Disamping itu fungsi dari pada *shear Connector* ialah untuk menahan/menghindari terangkatnya 'slab' beton sewaktu dibebani. Jenis *shear connector* yang digunakan adalah *headed stud anchor*.

4.5.1 Penghubung Geser Pada Balok Induk Memanjang (Long Section)

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

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

$$\varnothing_{stud} \leq 2,5 \cdot 14$$

$$\varnothing_{stud} \leq 35$$

Dicoba menggunakan $\varnothing_{stud} = 20 \text{ mm}$ dengan $L = 100 \text{ mm}$ dan F_u sebesar 370 MPa.

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

$$L_{stud} \geq 4 \cdot 20$$

$$L_{stud} = 100 \geq 80$$

Kuat geser nominal *stud* (Q_n)

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

$$A_{sa} = \frac{1}{4} \pi \cdot 20^2$$

$$= 314 \text{ mm}^2$$

$$E_c = 4700 \sqrt{f'_c}$$

$$= 4700 \sqrt{30}$$

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

$$0,5 A_{sa} \sqrt{f'_c \cdot E_c} = 0,5 \cdot 314 \sqrt{30 \cdot 25742,96}$$

$$= 138041,52 \text{ N}$$

$$= 138,04 \text{ kN}$$

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

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

$$R_g \cdot R_p \cdot A_{sa} \cdot F_u = 1 \cdot 0,75 \cdot 314 \cdot 370$$

$$= 87179,19 \text{ N}$$

$$= 87,179 \text{ kN}$$

Dipilih nilai terkecil untuk Q_n , sehingga $Q_n = 87,179 \text{ kN}$

Karena garis netral plastis jatuh pada pelat badan (kasus 3) maka nilai $V^* = T = A_s \cdot F_y$

$$V^* = 10470 \cdot 240$$

$$= 2512800 \text{ N}$$

$$= 2514,8 \text{ kN}$$

Jumlah *stud* yang diperlukan (n)

$$n = \frac{V^*}{Q_n} = \frac{2512,8}{87,179} = 28,82 \cong 28 \text{ buah dipasang 2 buah perbaris pada setengah bentangnya}$$

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

1. Selimut lateral minimum = 25 mm

Digunakan $d' = 30 \text{ mm}$

2. Jarak minimum ke tepi bebas = 200 mm

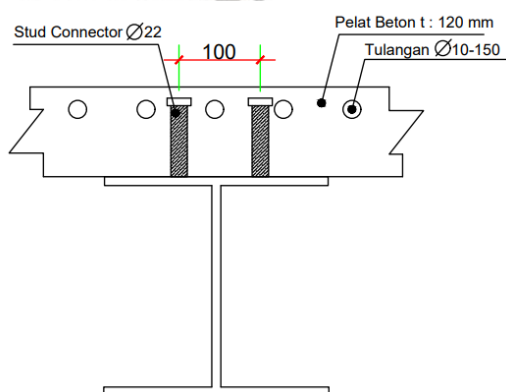
Digunakan $S_{tepi} = 350 \text{ mm}$

3. Spasi as ke as minimum *stud* arah manapun (transversal maupun longitudinal) sebesar 4

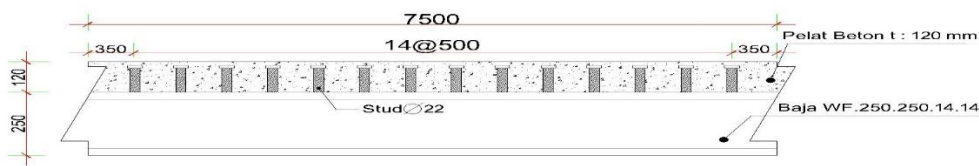
$$\emptyset_{stud} = 80 \text{ mm}$$

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

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



Gambar 4. 28 Pemasangan Shear Stud Balok Induk Memanjang Arah Transversal
Sumber: Analisis Penulis



Gambar 4. 29 Pemasangan Shear Stud Balok Induk Memanjang Arah Longitudinal
Sumber: Analisis Penulis

4.5.2 Penghubung Geser Pada Balok Induk Melintang (Cross Section)

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

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

$$\phi_{\text{stud}} \leq 2,5 \cdot 12$$

$$\phi_{\text{stud}} \leq 30$$

Dicoba menggunakan $\phi_{\text{stud}} = 20$ mm dengan $L = 100$ mm dan F_u sebesar 370 MPa.

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

$$L_{\text{stud}} \geq 4 \cdot 20$$

$$L_{\text{stud}} = 100 \geq 80$$

Kuat geser nominal *stud* (Q_n)

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

$$A_{sa} = \frac{1}{4} \pi \cdot 20^2$$

$$= 314 \text{ mm}^2$$

$$E_c = 4700 \sqrt{f'_c}$$

$$= 4700 \sqrt{30}$$

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

$$0,5 A_{sa} \sqrt{f'_c \cdot E_c} = 0,5 \cdot 314 \sqrt{30 \cdot 25742,96}$$

$$= 138041,52 \text{ N}$$

$$= 138,04 \text{ kN}$$

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

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

$$R_g \cdot R_p \cdot A_{sa} \cdot F_u = 1 \cdot 0,75 \cdot 314 \cdot 370$$

$$= 87179,196 \text{ N}$$

$$= 87,179 \text{ kN}$$

Dipilih nilai terkecil untuk Q_n , sehingga $Q_n = 87,1 \text{ kN}$

Karena garis netral plastis jatuh pada pelat badan (kasus 3) maka nilai $V^* = T = A_s \cdot F_y$

$$V^* = 10770 \cdot 240$$

$$= 2584800 \text{ N}$$

$$= 2584,8 \text{ kN}$$

Jumlah *stud* yang diperlukan (n)

$$n = \frac{V^*}{Q_n} = \frac{2584,8}{87,179} = 29,64 \approx 30 \text{ buah dipasang 2 buah perbaris pada setengah bentangnya}$$

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

1. Selimut lateral minimum = 25 mm

Digunakan $d' = 30 \text{ mm}$

2. Jarak minimum ke tepi bebas = 200 mm

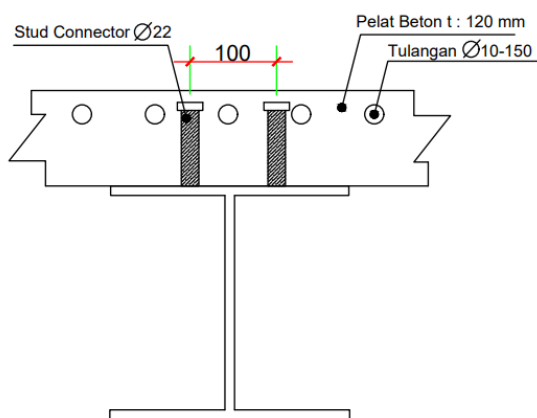
Digunakan $S_{tepi} = 350 \text{ mm}$

3. Spasi as ke as minimum *stud* arah manapun (transversal maupun longitudinal) sebesar 4

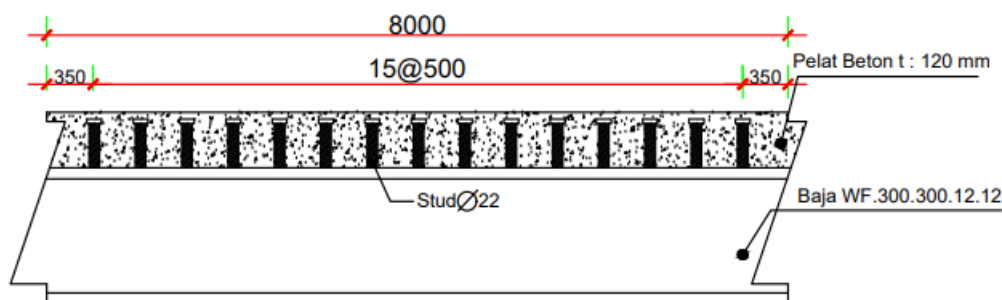
$$\varnothing_{stud} = 80 \text{ mm}$$

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

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



Gambar 4. 30 Pemasangan Shear Stud Balok Induk Melintang Arah Transversal
Sumber: Analisis Penulis



Gambar 4. 31 Pemasangan Shear Stud Balok Induk Melintang Arah Longitudinal
Sumber: Analisis Penulis

4.6 Perencanaan Kolom

Output berupa respon struktur dan gaya dalam dari perangkat lunak SAP2000 dengan memasukkan profil hasil *preliminary design* kemudian dilakukan analisis kekuatan nominalnya menggunakan SNI 1729:2020. Pada perencanaan kolom, nilai yang dijadikan pembanding dari analisis kekuatan nominal penampang adalah momen dan gaya aksial yang dipikul oleh kolom.

Perencanaan kolom menggunakan profil WF 400x400x18x18 dan Kolom WF 300x300x15x15.

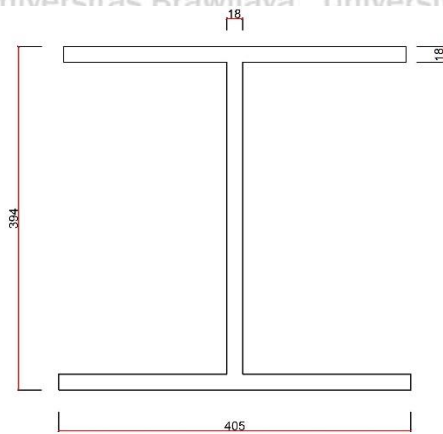
4.6.1 Rekapitulasi Output Gaya Dalam

Rekapitulasi output yang didapat dari SAP2000 akibat kombinasi beban ultimit pada kolom adalah sebagai berikut:

Tabel 4. 3
Rekapitulasi gaya dalam kolom 1

Rekapitulasi Gaya Dalam Kolom 400.400.18.18		
Momen (Mu)	Gaya Aksial (Pu)	Gaya Geser (Vu)
273,767 kNm	355,128 kN	88,105 kN

Penampang Profil Kolom



Gambar 4. 32 Penampang Profil Kolom

Sumber: Analisis Penulis

$$W = 168 \text{ kg/m}$$

$$d = 394 \text{ mm}$$

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

$$tw = 18 \text{ mm}$$

$$tf = 18 \text{ mm}$$

$$r_0 = 22 \text{ mm}$$

$$h = d - 2(tf + r_0) = 314 \text{ mm}$$

$$A = 214,4 \text{ cm}^2$$

$$I_x = 59700 \text{ cm}^4$$

$$I_y = 20000 \text{ cm}^4$$

$$r_x = 167 \text{ mm}$$

$$r_y = 96,5 \text{ mm}$$

$$S_x = 3030 \text{ cm}^3$$

$$S_y = 985 \text{ cm}^3$$

$$Z_x = b \cdot tf \cdot (d - tf) + \frac{1}{4} tw \cdot h^2 = 3184,722 \text{ cm}^3$$

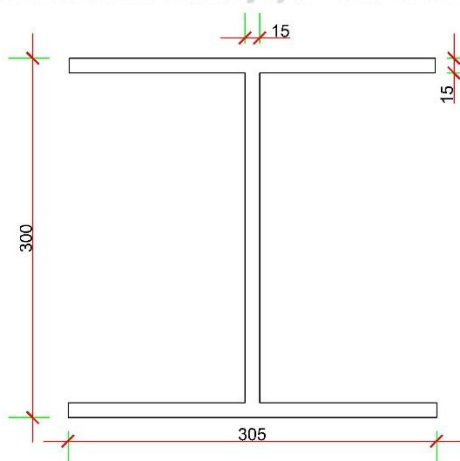
$$Z_y = 1,5 \cdot S_y = 1477,5 \text{ cm}^3$$



Tabel 4. 4 Rekapitulasi Gaya Dalam Kolom 2

Rekapitulasi Gaya Dalam Kolom 300.300.15.15		
Momen (Mu)	Gaya Aksial (Pu)	Gaya Geser (Vu)
173,118 kNm	144,090 kN	73,267 kN

Penampang Profil Kolom



Gambar 4. 33 Penampang Profil Kolom

Sumber: Analisis Penulis

$$W = 106 \text{ kg/m}$$

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

$$bf = 305 \text{ mm}$$

$$tw = 15 \text{ mm}$$

$$tf = 15 \text{ mm}$$

$$r_o = 18 \text{ mm}$$

$$h = d - 2(tf + r_o) = 234 \text{ mm}$$

$$A = 134,8 \text{ cm}^2$$

$$I_x = 21500 \text{ cm}^4$$

$$I_y = 7100 \text{ cm}^4$$

$$r_x = 126 \text{ mm}$$

$$r_y = 72,6 \text{ mm}$$

$$S_x = 1440 \text{ cm}^3$$

$$S_y = 466 \text{ cm}^3$$

$$Z_x = b \cdot tf \cdot (d - tf) + \frac{1}{4} tw \cdot h^2 = 1509,21 \text{ cm}^3$$

$$Z_y = 1,5 \cdot S_y = 699 \text{ cm}^3$$

4.6.2 Kontrol Kolom Akibat Beban Aksial

Perencanaan Kolom WF.400.400.18.18

➤ Klasifikasi Penampang (Langsing atau Nonlangsing)

1. Pelat Sayap

$$\lambda = \frac{bf}{2tf} = \frac{405}{2 \cdot 18} = 11,25$$

$$\lambda_r = 0,56 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 0,56 \sqrt{\frac{210000}{240}} = 16,56$$

Nilai $\lambda < \lambda_r$ maka pelat sayap nonlangsing

2. Pelat Badan

$$\lambda = \frac{h}{tw} = \frac{314}{18} = 17,44$$

$$\lambda_p = 1,49 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1,49 \sqrt{\frac{210000}{240}} = 44,07$$

Nilai $\lambda < \lambda_r$ maka pelat badan nonlangsing

➤ Penentuan Kuat Tekan Nominal Akibat Tekuk Global

Setelah klasifikasi penampang dan dapat disimpulkan bahwa profil WF 400x400x18x18 merupakan penampang nonlangsing, maka selanjutnya menentukan kuat tekan nominal seperti yang disyaratkan pada SNI 1729:2020 Pasal E3 (FB, tekuk lentur tanpa elemen langsing) dan E4 (TB, tekuk torsi tanpa elemen langsing) dengan memilih nilai kuat tekan nominal terkecil dari FB dan TB.

1. Kuat Tekan Nominal Terhadap Tekuk – Lentur (FB)

$K_{desain} = 0,65$ (tumpuan jepit – jepit)

$$L = 4 \text{ m} = 4000 \text{ mm}$$

$$L_c = \frac{L}{r} = \frac{0,65 \cdot 4000}{96,5} = 26,943$$

$$4,71 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 4,71 \sqrt{\frac{210000}{240}} = 139,32$$

$$\frac{K \cdot L}{r} \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{f_y}}, \text{ maka nilai } F_{cr} = (0,658^{F_y}) \cdot F_y$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210000}{(26,943)^2} = 2855,138 \text{ MPa}$$

$$F_{cr} = (0,658^{2855,138}) \cdot 240 = 231,702 \text{ MPa}$$

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

$$= 231,702 \cdot 214,4 \cdot 10^2$$

$$= 4967710,41 \text{ N}$$

$$= 49677,10 \text{ kN}$$

2. Kuat Tekan Nominal Terhadap Tekuk – Torsi (TB)

$$h_0 = d - t_f$$

$$= 394 - 18$$

$$= 376 \text{ mm}$$

$$C_w = \frac{I_y \cdot h_0^2}{4} = \frac{20000 \cdot 10^4 \cdot 376^2}{4} = 7068800000000 \text{ mm}^6$$

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

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

$$= 2 \left(\frac{1}{3} 405 \cdot 18^3 \right) + \left(\frac{1}{3} 374 \cdot 18^3 \right)$$

$$= 2305584 \text{ mm}^4$$

$$K_z = 1$$

$$F_e = \left(\frac{\pi^2 E \cdot C_w}{(K_z L)^2} + G \cdot J \right) \frac{1}{I_x + I_y}$$

$$= \left(\frac{\pi^2 210000 \cdot 7068800000000}{(1 \cdot 4000)^2} + 77200 \cdot 2305584 \right) \frac{1}{(59700 + 20000) \cdot 10^4}$$

$$= 4595867,77 \text{ MPa}$$

$$F_{cr} = \left(0,658^{\frac{240}{4595867,77}} \right) \cdot 240 = 239,994 \text{ MPa}$$

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

$$= 239,99 \cdot 214,4 \cdot 10^2$$

$$= 5145487,53 \text{ N}$$

$$= 51454,87 \text{ kN}$$

Nilai P_n akibat tekuk – lentur (FB) lebih kecil dari P_n akibat tekuk – torsi (TB) sehingga P_n akibat tekuk – lentur menentukan.

$$\phi P_n = 0,9 \cdot 51454,87$$

$$= 4630,938 \text{ kN}$$

$$\text{Sehingga, } \phi P_n = 4630,938 \text{ kN} \geq P_u = 355,128 \text{ kN}$$

4.6.3 Kontrol Kolom Akibat Momen

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

➤ Berdasarkan batas plastis

Karena penampang nonlangsing, maka:

$$\begin{aligned} M_n &= M_p = F_y \cdot Z_x \\ &= 240 \cdot 3184,722 \cdot 10^3 \\ &= 764333280 \text{ Nmm} \\ &= 764,33 \text{ kNm} \\ \phi M_n &= 0,9 \cdot 764,33 \\ &= 687,89 \text{ kNm} \end{aligned}$$

➤ Berdasarkan Tekuk-Torsi Lateral (LTB)

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

$$\begin{aligned} L_p &= 1,76 \cdot r_y \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1,76 \cdot 9,65 \sqrt{\frac{210000}{240}} \\ &= 5,02 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h_0 &= d - t_f \\ &= 394 - 18 = 376 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} r_{ts}^2 &= \frac{I_y h_0}{2 S_x} \\ &= \frac{20000 \cdot 10^4 \cdot 306}{2 \cdot 3030 \cdot 10^3} \\ &= 12409,24 \end{aligned}$$

$$r_{ts} = 111,396$$

$$\begin{aligned} J &= 2 \left(\frac{1}{3} b_f \cdot t_f^3 \right) + \left(\frac{1}{3} h_0 \cdot t_w^3 \right) \\ &= 2 \left(\frac{1}{3} 405 \cdot 18^3 \right) + \left(\frac{1}{3} 376 \cdot 18^3 \right) \\ &= 2305584 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} L_r &= 1,95 \cdot r_{ts} \cdot \frac{E}{0,7 \cdot f_y} \cdot \sqrt{\frac{J \cdot c}{S_x \cdot h_0} + \sqrt{\left(\frac{J \cdot c}{S_x \cdot h_0} \right)^2 + 6,76 \cdot \left(\frac{0,7 \cdot f_y}{E} \right)^2}} \\ &= 1,95 \cdot 111,396 \cdot \frac{210000}{0,7 \cdot 240} \cdot \sqrt{\frac{2305584 \cdot 1}{3030000 \cdot 376} + \sqrt{\left(\frac{2305584 \cdot 1}{8170000 \cdot 376} \right)^2 + 6,76 \cdot \left(\frac{0,7 \cdot 240}{210000} \right)^2}} \\ &= 271529,63 \cdot 0,07 \\ &= 19056,97 \text{ mm} \\ &\cong 19,05 \text{ m} \end{aligned}$$

Nilai $L_b < L_p \leq L_r$ maka:

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

$$M_{MAKS} = 273,768 \text{ kNm}$$

$$M_A \left(\frac{1}{4}L \right) = 68,442 \text{ kNm}$$

$$M_B \left(\frac{1}{2}L \right) = 273,768 \text{ kNm}$$

$$M_C \left(\frac{3}{4}L \right) = 205,326 \text{ kNm}$$

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

$$= \frac{12,5 \cdot 273,768}{2,5 \cdot 273,768 + 3 \cdot 68,442 + 4 \cdot 273,768 + 3 \cdot 205,326}$$

$$= 1,315$$

$$0,7 \cdot F_y \cdot S_x = 0,7 \cdot 240 \cdot 3030000$$

$$= 509040000 \text{ Nmm}$$

$$= 509,04 \text{ kNm}$$

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

$$= 1,315 \left[764,33 - (764,33 - 509,04) \cdot \left(\frac{4-5,02}{19,05-5,02} \right) \right] \geq M_p = 764,33$$

$$= 1079,08 \text{ kNm} \geq M_p = 764,33 \text{ kNm}$$

Maka dipakai nilai M_n terkecil berdasarkan batas plastis sebesar $\phi M_n = 687,899 \text{ kNm}$

$$\phi M_n = 687,899 \text{ kNm} > M_u = 273,76 \text{ kNm}$$

4.6.4 Kontrol Interaksi Aksial – Lentur

$$\frac{P_u}{\phi_c P_n} = \frac{3551,28}{4630,93} = 0,766 \geq 0,2$$

Maka persamaan interaksi aksial lentur:

$$\frac{P_u}{\phi_c P_n} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} \right) \leq 1$$

$$0,766 + \frac{8}{9} \left(\frac{273,76}{687,89} + 0 \right) \leq 1$$

$$0,801 \leq 1$$

Perencanaan Kolom 300.300.15.15

➤ Klasifikasi Penampang (Langsing atau Nonlangsing)

1. Pelat Sayap

$$\lambda = \frac{b_f}{2t_f} = \frac{305}{2 \cdot 15} = 10,16$$

$$\lambda_r = 0,56 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 0,56 \sqrt{\frac{210000}{240}} = 16,56$$

Nilai $\lambda < \lambda_r$ maka pelat sayap nonlangsing

2. Pelat Badan

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{234}{15} = 15,6$$

$$\lambda_p = 1,49 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1,49 \sqrt{\frac{210000}{240}} = 44,07$$

Nilai $\lambda < \lambda_r$ maka pelat badan nonlangsing

➤ Penentuan Kuat Tekan Nominal Akibat Tekuk Global

Setelah klasifikasi penampang dan dapat disimpulkan bahwa profil WF 400x400x18x18 merupakan penampang nonlangsing, maka selanjutnya menentukan kuat tekan nominal seperti yang disyaratkan pada SNI 1729:2020 Pasal E3 (FB, tekuk lentur tanpa elemen langsing) dan E4 (TB, tekuk torsi tanpa elemen langsing) dengan memilih nilai kuat tekan nominal terkecil dari FB dan TB.

3. Kuat Tekan Nominal Terhadap Tekuk – Lentur (FB)

$K_{desain} = 0,65$ (tumpuan jepit – jepit)

$$L = 4 \text{ m} = 4000 \text{ mm}$$

$$\frac{L_c}{r_y} = \frac{0,65 \cdot 4000}{72,6} = 35,81$$

$$4,71 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 4,71 \sqrt{\frac{210000}{240}} = 139,32$$

$$L_c = \frac{K \cdot L}{r} \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{f_y}}, \text{ maka nilai } F_{cr} = (0,658^{F_y}) \cdot F_y$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210000}{(35,81)^2} = 1616,015 \text{ MPa}$$

$$F_{cr} = (0,658^{\frac{240}{1616,015}}) \cdot 240 = 225,53 \text{ MPa}$$

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

$$= 225,53 \cdot 134,8 \cdot 10^2$$

$$= 3040221,61 \text{ N}$$

$$= 3040,22 \text{ kN}$$

4. Kuat Tekan Nominal Terhadap Tekuk – Torsi (TB)

$$h_0 = d - t_f$$

$$= 300 - 15$$

$$= 285 \text{ mm}$$

$$C_w = \frac{I_y \cdot h_o^2}{4} = \frac{7100 \cdot 10^4 \cdot 285^2}{4} = 1441743750000 \text{ mm}^6$$

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

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

$$= 2 \left(\frac{1}{3} 305 \cdot 15^3 \right) + \left(\frac{1}{3} 285 \cdot 15^3 \right)$$

$$= 1006875 \text{ mm}^4$$

$$K_z = 1$$

$$F_e = \left(\frac{\pi^2 E \cdot C_w}{(K_z L)^2} + G \cdot J \right) \frac{1}{I_x + I_y}$$

$$= \left(\frac{\pi^2 210000 \cdot 1441743750000}{(1 \cdot 4000)^2} + 77200 \cdot 1006875 \right) \frac{1}{(21500 + 7100) \cdot 10^4}$$

$$= 2612319,42 \text{ Mpa}$$

$$F_{cr} = (0,658^{\frac{240}{2612319,42}}) \cdot 240 = 239,99 \text{ MPa}$$

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

$$= 239,99 \cdot 134,8 \cdot 10^2$$

$$= 3235075,599 \text{ vN}$$

$$= 3235,07 \text{ kN}$$

Nilai P_n akibat tekuk – lentur (FB) lebih kecil dari P_n akibat tekuk – torsi (TB) sehingga P_n akibat tekuk – lentur menentukan.

$$\phi P_n = 0,9 \cdot 3235,07$$

$$= 2911,568 \text{ kN}$$

Sehingga, $\phi P_n = 2911,568 \text{ kN} \geq P_u = 1440,90 \text{ kN}$

4.6.3 Kontrol Kolom Akibat Momen

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

➤ Berdasarkan batas plastis

Karena penampang nonlangsing, maka:

$$M_n = M_p = F_y \cdot Z_x$$

$$= 240 \cdot 1509,21 \cdot 10^3$$

$$= 362210400 \text{ Nmm}$$

$$= 362,210 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned}\phi M_n &= 0,9 \cdot 362,210 \\ &= 325,98 \text{ kNm}\end{aligned}$$

➤ Berdasarkan Tekuk-Torsi Lateral (LTB)

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

$$\begin{aligned}L_p &= 1,76 \cdot r_y \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1,76 \cdot 7,26 \sqrt{\frac{210000}{240}} \\ &= 3,77 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}h_o &= d - t_f \\ &= 300 - 15 = 285 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}r_{ts}^2 &= \frac{I_y h_o}{2 S_x} \\ &= \frac{7100 \cdot 10^4 \cdot 285}{2 \cdot 1440 \cdot 10^3}\end{aligned}$$

$$= 7026,041$$

$$r_{ts} = 83,821$$

$$\begin{aligned}J &= 2 \left(\frac{1}{3} b_f \cdot t_f^3 \right) + \left(\frac{1}{3} h_o \cdot t_w^3 \right) \\ &= 2 \left(\frac{1}{3} 305 \cdot 15^3 \right) + \left(\frac{1}{3} 285 \cdot 15^3 \right) \\ &= 1006875 \text{ mm}^4\end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}L_r &= 1,95 \cdot r_{ts} \cdot \frac{E}{0,7 \cdot f_y} \cdot \sqrt{\frac{J \cdot c}{S_x \cdot h_o} + \left(\frac{J \cdot c}{S_x \cdot h_o} \right)^2 + 6,76 \cdot \left(\frac{0,7 \cdot f_y}{E} \right)^2} \\ &= 1,95 \cdot 111,396 \cdot \frac{210000}{0,7 \cdot 240} \sqrt{\frac{2305584 \cdot 1}{3030000 \cdot 376} + \left(\frac{2305584 \cdot 1}{8170000 \cdot 376} \right)^2 + 6,76 \cdot \left(\frac{0,7 \cdot 240}{210000} \right)^2} \\ &= 204314,87 \cdot 0,07 \\ &= 15384,58 \text{ mm} \\ &\approx 15,3 \text{ m}\end{aligned}$$

Nilai $L_p < L_b \leq L_r$ maka:

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

$$M_{\text{MAKS}} = 173,118 \text{ kNm}$$

$$M_A \left(\frac{1}{4} L \right) = 43,280 \text{ kNm}$$

$$M_B \left(\frac{1}{2} L \right) = 173,118 \text{ kNm}$$

$$M_c \left(\frac{3}{4}L \right) = 129,893 \text{ kNm}$$

$$C_b = \frac{12,5 M_{maks}}{2,5 M_{maks} + 3MA + 4MB + 3MC}$$

$$= \frac{12,5 \cdot 173,118}{2,5 \cdot 173,118 + 3 \cdot 43,280 + 4 \cdot 173,118 + 3 \cdot 129,893}$$

$$= 1,315$$

$$0,7 \cdot F_y \cdot S_x = 0,7 \cdot 240 \cdot 1440000$$

$$= 241920000 \text{ Nmm}$$

$$= 241,92 \text{ kNm}$$

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

$$= 1,315 \left[362,210 - (362,210 - 241,92) \cdot \left(\frac{4-3,77}{15,3-3,77} \right) \right] \geq M_p = 362,210$$

$$= 467,543 \text{ kNm} \geq M_p = 362,210 \text{ kNm}$$

Maka dipakai nilai M_n terkecil berdasarkan batas plastis sebesar $\phi M_n = 325,989 \text{ kNm}$

$$\phi M_n = 325,989 \text{ kNm} > M_u = 173,118 \text{ kNm.}$$

4.6.4 Kontrol Interaksi Aksial – Lentur

$$\frac{P_u}{\phi_c P_n} = \frac{1440,90}{2911,56} = 0,494 \geq 0,2$$

Maka persamaan interaksi aksial lentur:

$$\frac{P_u}{\phi_c P_n} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} \right) \leq 1$$

$$0,494 + \frac{8}{9} \left(\frac{173,118}{325,989} + 0 \right) \leq 1$$

$$0,966 \leq 1$$

4.7 Perencanaan Sambungan

Agar menjadi satu kesatuan, elemen struktur baja harus disambung dengan menggunakan alat penyambung. Baik sambungan balok – balok, balok – kolom, ataupun kolom – kolom. Adapun alat penyambung yang digunakan berupa sambungan baut beserta pelat sambung dan sambungan las.

4.7.1 Sambungan Balok Induk – Kolom

Balok Induk dan Kolom disambung menggunakan kombinasi sambungan las – baut beserta pelat sambung dan pelat pengaku (*stiffener*) untuk menambah kekakuan *joint*. Elemen yang disambung adalah balok induk melintang dengan profil WF 300x300x12x12, balok induk dan kolom 400x400x30x50.

Rekapitulasi Gaya Dalam Pada Balok Induk

Tabel 4. 5 gaya dalam balok melintang

Rekapitulasi Gaya Dalam Balok Melintang		
Momen (Mu)		Geser (Vu)
Lapangan (+)	Tumpuan (-)	192,543 kN
263,390 kNm	205,961 kNm	

Sumber : Perhitungan dari penulis

Tabel 4. 6 gaya dalam balok memanjang

Rekapitulasi Gaya Dalam Balok Memanjang		
Momen (Mu)		Geser (Vu)
Lapangan (+)	Tumpuan (-)	159,620 kN
225,988 kNm	201,472 kNm	

Sumber : Perhitungan dari penulis

Konfigurasi Alat Penyambung

1. Konfigurasi baut

Digunakan baut A325 tipe M22

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

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

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

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

2. Konfigurasi las

Dicoba menggunakan las elektroda 90 (E90XX)

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

3. Konfigurasi pelat sambung

Digunakan pelat sambung profil sebesar dua kali tinggi profil balok (balok + pengaku)

mutu BJ - 37

$$h = 588 \text{ mm (Melintang) dan } 500 \text{ mm (Memanjang)}$$

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

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

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

4. Konfigurasi pengaku (*stiffener*)

Digunakan *stiffener* untuk balok sebesar profil balok (memanjang dan melintang)

mutu BJ - 37

$b_f = 302 \text{ mm}$ (Melintang) dan 255 mm (Memanjang)

$d = 295 \text{ mm}$ (Melintang) dan 250 mm (Memanjang)

$t_w = 12 \text{ mm}$ (Melintang) dan 14 mm (Memanjang)

$t_f = 12 \text{ mm}$ (Melintang) dan 14 mm (Memanjang)

$F_y = 240 \text{ MPa}$

$F_u = 370 \text{ Mpa}$

4.7.1.1 Desain Sambungan Baut

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

1. Kuat geser baut

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

2. Kuat tumpu dan sobek lubang baut

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

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

Maka, jumlah baut yang dibutuhkan:

$$n = \frac{R_u}{\phi R_n} = \frac{V_u}{\phi R_n} = \frac{192,54}{106,06} = 1,815 \cong 4 \text{ buah}$$

3. Persyaratan jarak pembautan menurut SNI 1729:2020

- Jarak minimum (tiap baut) $= 3 d_b = 3 \cdot 22 = 66 \text{ mm}$
- Jarak maksimum (tiap baut) $= 24 t_p = 24 \cdot 14 = 336 \text{ mm}$ Atau $\leq 300 \text{ mm}$
- Jarak tepi minimum $= 28 \text{ mm}$ (tabel J3.4M SNI 1729:2020)
- Jarak tepi maksimum $= 12 \cdot t_w = 12 \cdot 12 = 144 \text{ mm}$
Atau $\leq 150 \text{ mm}$

Maka, dipilih:

- Jarak antar baut $= 66 < 80 < 300 \text{ mm}$
- Jarak tepi baut $= 28 < 75 < 144 \text{ mm}$

4.7.1.2 Desain Sambungan Las

Dicoba menggunakan las sudut

1. Sambungan las sudut di flens

- Tebal las:

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

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

tabel J2.4 SNI 1729:2020 mensyaratkan ukuran minimum las sudut untuk tebal flens $13 \leq$

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

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

$$w_{\max} \text{ melintang} = 12 \text{ mm}$$

$$w_{\max} \text{ memanjang} = 14 \text{ mm}$$

$$\text{digunakan } w = 10 \text{ mm}$$

- Panjang las yang dibutuhkan:

Digunakan las sudut sama kaki sehingga luas efektif sebesar:

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

$$= 0,707 \cdot 10$$

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

$$F_{nw} = 0,60 F_{E90} (1,0 + 0,50 \sin^{1,5} \theta)$$

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

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

Kekuatan nominal las:

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

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

$$= 2558,98 \text{ N}$$

Pada flens, gaya yang dipikul adalah momen, maka:

$$R_u \text{ balok melintang} = \frac{M_u}{d} = \frac{263389000}{294} = 895880,95 \text{ Nmm}$$

$$R_u \text{ balok memanjang} = \frac{M_u}{d} = \frac{225987000}{294} = 768663,26 \text{ Nmm}$$

Kebutuhan panjang las:

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

$$= \frac{895880,95}{2558,98} > 4 \cdot 6$$

$$= 350,092 \text{ mm} > 24 \text{ mm}$$

$$\cong 400 \text{ mm}$$

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

$$= \frac{768663,26}{2558,98} > 4 \cdot 6$$

$$= 300,378 \text{ mm} > 24 \text{ mm}$$

$$\cong 350 \text{ mm}$$

2. Sambungan las sudut di web

- Tebal las:

$$t_w \text{ melintang} = 12 \text{ mm}$$

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

tabel J2.4 SNI 1729:2020 mensyaratkan ukuran minimum las sudut untuk tebal flens $6 \leq t_f \leq 13$ sebesar 5 mm dan maksimum sebesar tebal web yang dilas.

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

$$w_{\max} \text{ melintang} = 12 \text{ mm}$$

$$w_{\max} \text{ memanjang} = 14 \text{ mm}$$

$$\text{digunakan } w = 8 \text{ mm}$$

- Panjang las yang dibutuhkan:

Digunakan las sudut sama kaki sehingga luas efektif sebesar:

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

$$= 0,707 \cdot 10$$

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

$$F_{nw} = 0,60 F_{E90} (1,0 + 0,50 \sin^{1,5} \theta)$$

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

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

Kekuatan nominal las:

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

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

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

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

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

$$= \frac{192543}{2558,99} > 4 \cdot 5$$

$$= 75,241 \text{ mm} > 20 \text{ mm}$$

$$\cong 80 \text{ mm}$$

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

$$= \frac{159620}{2558,99} > 4.5$$

$$= 65,37 \text{ mm} > 20 \text{ mm}$$

$$\cong 70 \text{ mm}$$

3. Sehingga, didapatkan panjang pengelasan pada:

- Flens (pelat sayap)

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

$$Lw \text{ balok melintang} = 400 \text{ mm}$$

$$Lw \text{ balok memanjang} = 350 \text{ mm}$$

- Web (pelat badan)

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

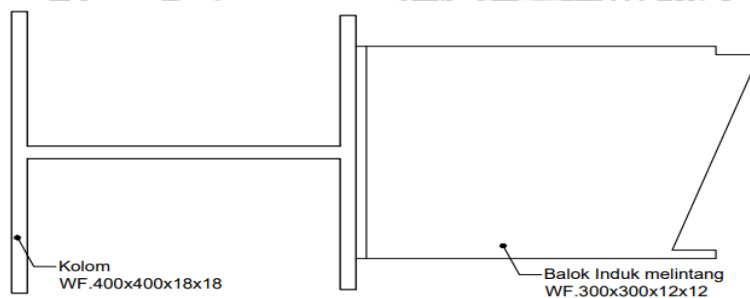
$$Lw \text{ balok melintang} = 80 \text{ mm}$$

$$Lw \text{ balok memanjang} = 70 \text{ mm}$$

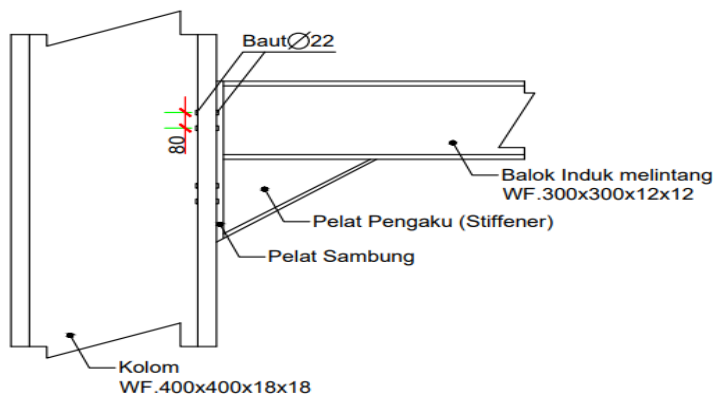
- Pelat pengaku (*stiffener*)

Nilai w dan Lw pada pengaku mengikuti dengan flens dan web yang diperkaku (diletakan di balok memanjang atau melintang).

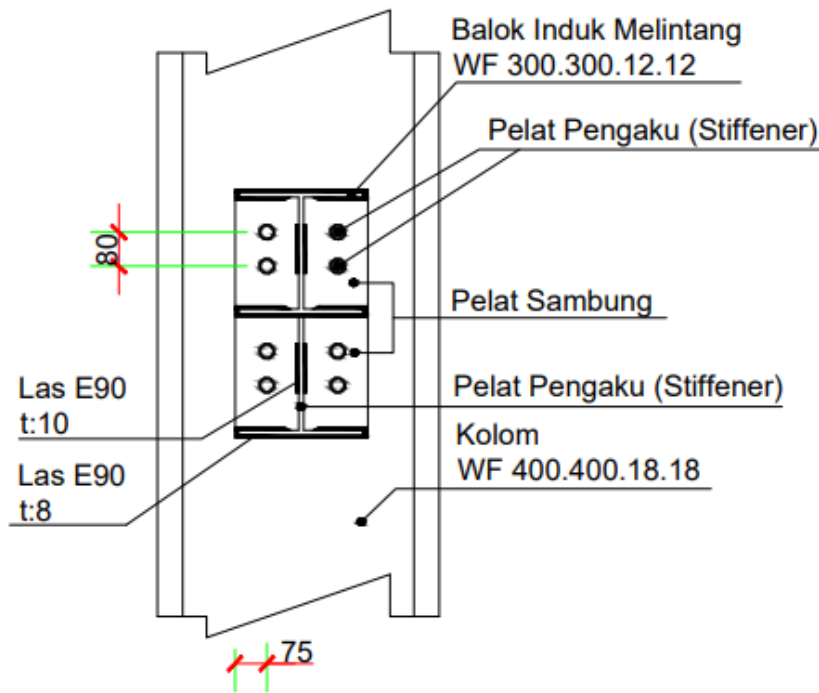
Detail Sambungan



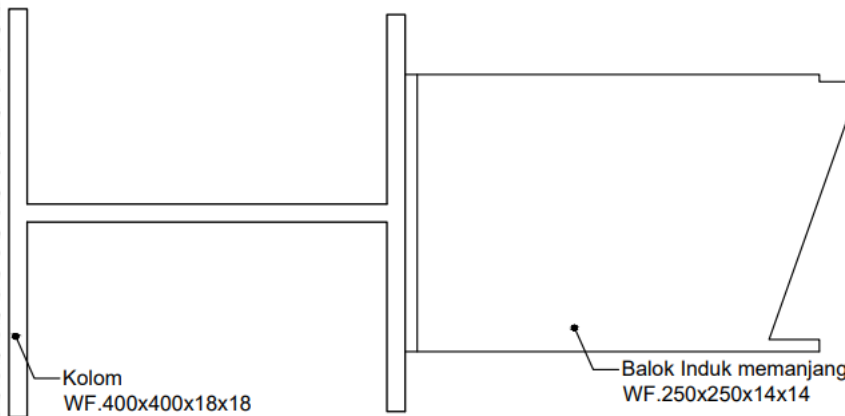
Gambar 4. 34 Tampak Atas Sambungan Balok Induk Melintang – Kolom
Sumber: Analisis Penulis



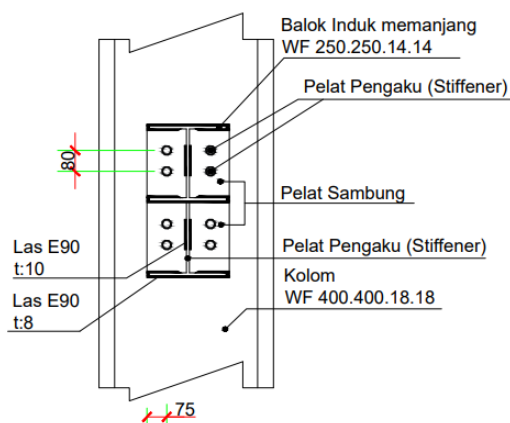
Gambar 4. 35 Tampak Depan Sambungan Balok Induk Melintang – Kolom
Sumber: Analisis Penulis



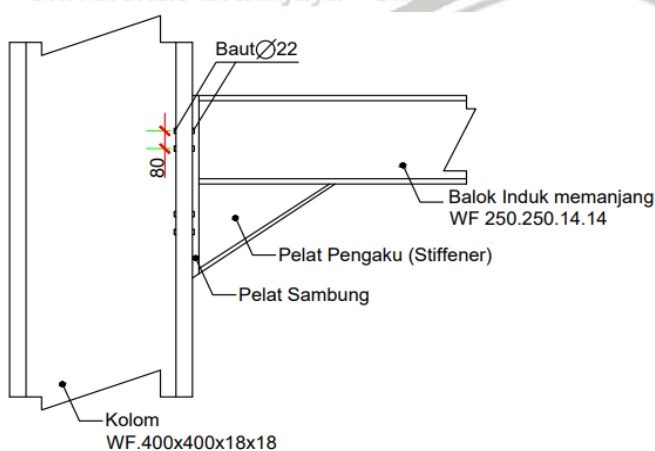
Gambar 4. 36 Tampak Samping Sambungan Balok Induk Melintang – Kolom
Sumber: Analisis Penulis



Gambar 4. 37 Tampak Atas Sambungan Balok Induk Memanjang – Kolom
Sumber: Analisis Penulis



Gambar 4. 38 Tampak Depan Sambungan Balok Induk Memanjang – Kolom
Sumber: Analisis Penulis



Gambar 4. 39 Tampak Samping Sambungan Balok Induk Memanjang – Kolom
Sumber: Analisis Penulis

4.8.2 Sambungan Kolom-Kolom

Antara kolom satu dengan yang lainnya harus disambung agar menjadi monolit. Sambungan yang dipakai pada sambungan kolom – kolom adalah sambungan baut. Kolom merupakan profil WF 400x400x18x18

4.8.2.1. Rekapitulasi Gaya Dalam Pada Kolom

Tabel 4. 7

Rekap Gaya Dalam Pada Kolom

Rekapitulasi Gaya Dalam Kolom		
Momen (Mu)	Gaya Aksial (Pu)	Gaya Geser (Vu)
273,767 kNm	355,128 kN	88,105 kN

Sumber: Perhitungan dari penulis

4.8.2.2. Konfогurasi Alat Penyambung

1. Konfigurasi baut

Digunakan baut A325 dengan diameter 22 mm

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

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

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

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

2. Konfigurasi pelat sambung

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

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

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

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

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

3. Pelat penyambung untuk web, $h = 300$ mutu BJ – 37

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

$$t_p = 18 \text{ mm}$$

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

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

4.8.2.3. Desain Sambungan Kolom – Kolom

1. Sambungan baut pada flens

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

$$= \frac{\frac{1}{12} \cdot t_w \cdot h w^3}{I_x} \cdot Mu$$

$$= \frac{\frac{1}{12} \cdot 18 \cdot 314^3}{5,97 \cdot 10^8} \cdot 273,767$$

$$= 2129545,72 \text{ Nmm}$$

$$= 21,295 \text{ kNm}$$

$$\bullet M_{flens} = Mu - M_{web}$$

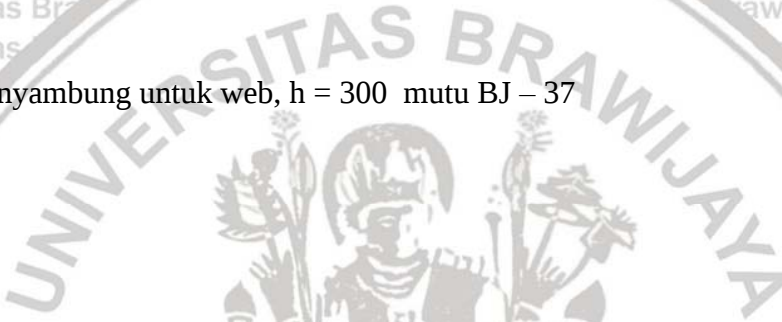
$$= 273,767 - 21,295$$

$$= 252,474 \text{ kNm}$$

$$\bullet Ru = \frac{M_{flens}}{d}$$

$$= \frac{252,474 \cdot 10^6}{394}$$

$$= 262470,43 \text{ N}$$



$$= 262,470 \text{ kN}$$

Ru merupakan gaya tarik ultimit yang dapat diterima profil sehingga $Ru = Tu$

- $Tu = Ag \cdot F_y$

$$262470,43 = Ag \cdot 240$$

$$Ag = 1093,62 \text{ mm}^2$$

Tebal pelat sambung yang dibutuhkan, $tp = \frac{Ag}{hp}$

- $tp = \frac{1093,62}{420}$

$$= 2,6 \text{ mm, dipakai } tp \cong 12 \text{ mm}$$

- Kuat geser baut

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

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

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

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

- Kuat tumpu dan sobek lubang baut

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

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

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

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

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

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

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

Maka, jumlah baut yang dibutuhkan:

$$n = \frac{Tu}{\phi R_n} = \frac{262,470}{106,057} = 2,474 \cong 4 \text{ buah}$$

- Persyaratan jarak baut menurut SNI 1729:2020

- Jarak minimum (tiap baut) = $3 d_b = 3 \cdot 22 = 66 \text{ mm}$

- Jarak maksimum (tiap baut) = $24 tp = 24 \cdot 12 = 288 \text{ mm}$

$$\text{Atau } \leq 300 \text{ mm}$$

- Jarak tepi minimum = 28 mm (tabel J3.4M SNI 1729:2020)

- Jarak tepi maksimum = $12 \cdot 12 = 144 \text{ mm}$

$$\text{Atau } \leq 150 \text{ mm}$$

Maka, dipilih:

- Jarak antar baut = $66 < 100 < 288 \text{ mm}$

➤ Jarak tepi baut = $28 < 80 < 144 \text{ mm}$

2. Sambungan baut pada web

h pelat sambung = 300

$I_{\text{pelat sambung}} > I_{\text{web}}$

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

$$2 \cdot \frac{1}{12} \cdot 18 \cdot 300^3 > \frac{1}{12} \cdot 18 \cdot 314^3$$

$$81000000 \text{ mm}^4 > 46438716 \text{ mm}^4$$

Maka, jumlah baut yang dibutuhkan:

$$n = \frac{Ru}{\phi R_n} = \frac{Vu}{\phi R_n} = \frac{88,105}{106,057} = 0,830 \cong 2 \text{ buah}$$

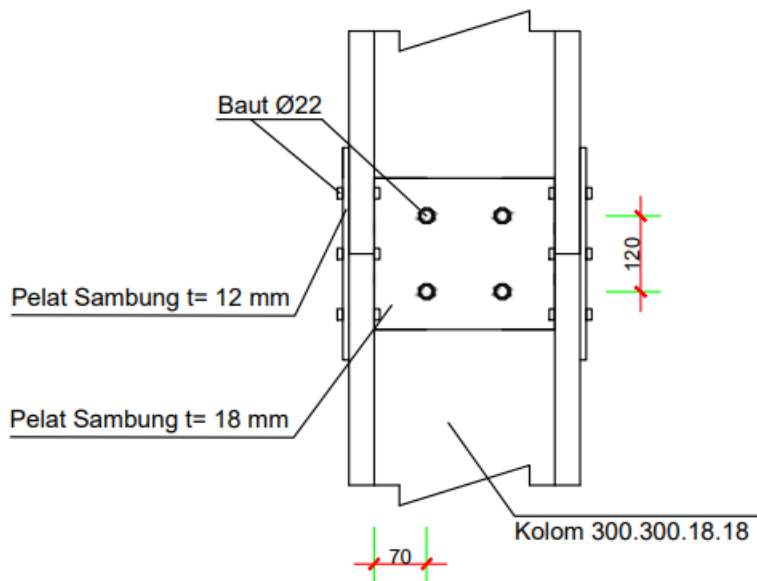
• Persyaratan jarak pembautan menurut SNI 1729:2020

- Jarak minimum (tiap baut) = $3 d_b = 3 \cdot 22 = 66 \text{ mm}$
- Jarak maksimum (tiap baut) = $24 t_p = 24 \cdot 18 = 432 \text{ mm}$ Atau $\leq 300 \text{ mm}$
- Jarak tepi minimum = 28 mm (tabel J3.4M SNI 1729:2020)
- Jarak tepi maksimum = $12 \cdot 18 = 216 \text{ mm}$ Atau $\leq 150 \text{ mm}$

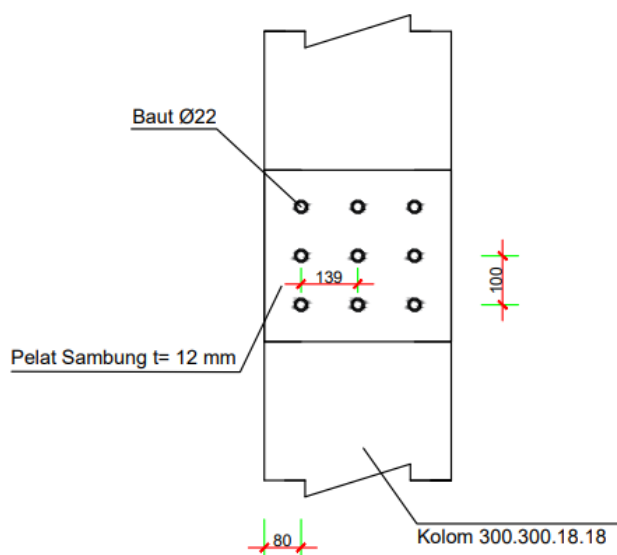
Maka, dipilih:

- Jarak antar baut = $66 < 120 < 300 \text{ mm}$
- Jarak tepi baut = $28 < 70 < 150 \text{ mm}$

4.8.2.4. Pendetailan Sambungan



Gambar 4. 40 Tampak Depan Sambungan Kolom – kolom
Sumber: Analisis Penulis



Gambar 4. 41 Tampak Samping Sambungan Kolom – kolom
Sumber: Analisis Penulis



Halaman ini sengaja dikosongkan



BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Terdapat kesimpulan dari pembahasan skripsi yang saya lakukan :

1. Langkah awal yang saya lakukan untuk analisis struktur pada Gedung Kantor Pemerintah Kabupaten Lamongan, pada perencanaan awal yaitu melakukan pemodelan struktur (*preliminary design*), memasukkan beban yang terjadi dan setelah itu melakukan kombinasi pembebanan menggunakan software SAP 2000 v20 berfungsi untuk menghasilkan output gaya dalam pada struktur seperti Momen Ultimit (M_u). Didapat hasil $\phi M_n \leq M_u$ pada momen di tumpuan, langkah selanjutnya analisis pada balok dilanjutkan dengan analisis balok komposit dengan memperhitungkan penghubung geser (*shear connector*) sebagai penghubung baja dan pelat beton agar terjadi aksi komposit penuh. Setelah dilakukan analisis balok komposit maka nilai $\phi M_n \geq M_u$ di tumpuan dan perhitungan geser $\phi V_n \geq V_u$. Untuk analisis elemen kolom hanya digunakan struktur baja yang dikontrol dengan parameter - parameter desain yang tercantum di SNI 1729:2020 untuk elemen kolom (profil *Wide Flange*) harus memenuhi nilai $\phi P_n \geq P_u$ dan $\phi M_n \geq M_u$.
2. Hasil yang didapatkan setelah analisa struktur komposit, terdapat kenaikan kekuatan nominal (signifikansi) dan nilai kekuatan nominal tersebut telah memenuhi parameter $\phi M_n \geq M_u$ khususnya pada momen di tumpuan. Berikut adalah perbandingan dan signifikansi momen nominal dari analisis sebelum komposit dan sesudah komposit pada balok:

Tabel 5. 1 Perbandingan Kekuatan Momen Nominal Sebelum dan Sesudah Analisis Komposit dan kuat geser sesudah komposit.

Balok	Profil Baja	Momen Ultimit Tumpuan (kNm)	Momen Nominal (kNm)		Kuat Geser		Signifikansi
			Sebelum Komposit	Sesudah Komposit	(V_u)	ϕ (V_n)	
Induk Melintang	300x300x12x12	263,390 kNm	256,226	506,457	192,543	508,034	198%
Induk Memanjang	250x250x14x14	225,988 kNm	209,275	422,376	159,620	504,000	202%

Hasil yang didapat pada balok induk melintang signifikansi sebesar 198%, sedangkan pada balok memanjang terjadi signifikansi sebesar 202 %. Hasil tersebut menyatakan bahwa penambahan kekuatan nominal yang digunakan untuk perencanaan balok komposit sangat beragam dan sesuai dengan variabel analisis perencanaan komposit.

5.2. Saran

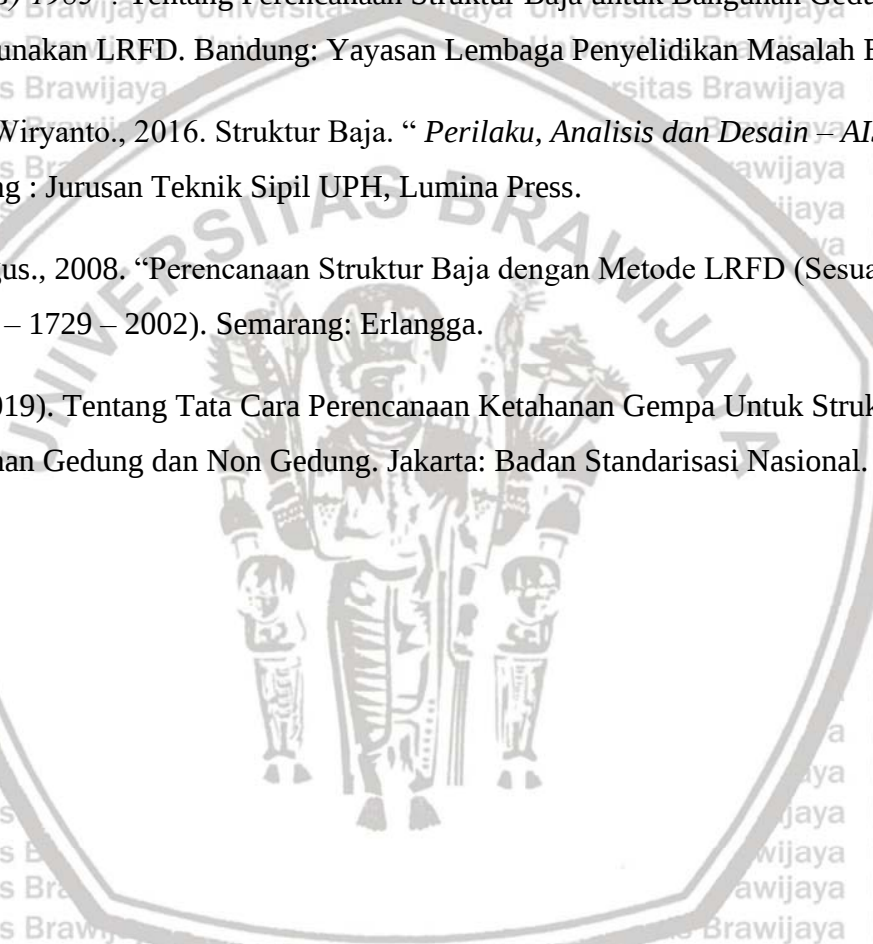
Berdasarkan analisis ini, kedepannya diharapkan:

1. Untuk selanjutnya dapat membandingkan analisis struktur baja atau struktur beton bertulang dengan analisis balok komposit bukan hanya dari kekuatan materialnya saja, tetapi juga dalam sisi ekonomi (biaya) dan rencana pelaksanaan (*scheduling*) sehingga bisa terlihat apakah alternatif perencanaan dengan balok komposit ini mencapai tepat mutu, waktu, dan biaya.
2. Input data pengerjaan analisis struktur balok komposit harus dilakukan secara cermat dan teliti sehingga *preliminary design* yang didapatkan mampu menahan gaya – gaya dalam yang bekerja. Selain itu pemahaman terhadap standar (*code*) baru yang berlaku juga tidak kalah penting agar hasil yang diperoleh tidak menyimpang dari standar yang berlaku sehingga dapat dipertanggungjawabkan.



DAFTAR PUSTAKA

- SNI 1729 (2020) untuk spesifikasi Bangunan Gedung jenis Baja Struktural. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 1727 (2020) Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur lain. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Departemen Pekerjaan Umum, 1983. “*Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPUIG) 1983*”. Tentang Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung Menggunakan LRFD. Bandung: Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan.
- Dewobroto, Wiryanto., 2016. Struktur Baja. “*Perilaku, Analisis dan Desain – AISC 2010*”. Bandung : Jurusan Teknik Sipil UPH, Lumina Press.
- Setiawan, Agus., 2008. “Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD (Sesuai dengan SNI 03 – 1729 – 2002). Semarang: Erlangga.
- SNI 1726 (2019). Tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.



Lampiran

Lampiran 1. Gambar Struktur Gedung Eksisting



