

BAB II

LANDASAN TEORI

1.1 Konsep Pembebanan

Suatu bangunan harus mampu memikul berbagai macam beban, yang berasal dari factor dalam dan factor luar, seperti beban mati, hidup, angin, hujan, hingga gempa. Oleh sebab itu, perencanaan gedung wajib berpedoman pada SNI 1727:2020 yang menetapkan ketentuan beban minimal untuk bangunan gedung dan struktur sejenis.

1.1.1 Beban Mati

Menurut SNI, beban mati didefinisikan sebagai berat dari seluruh material konstruksi yang menjadi bagian permanen bangunan, yang terdiri dari dinding, lantai, atap, plafon, tangga, partisi tetap, finishing, lapisan pelindung, serta elemen arsitektural maupun struktural lainnya. Beban ini juga mencakup peralatan permanen yang terpasang pada bangunan, seperti katrol dan sistem pengangkut material. Untuk keperluan perhitungan, acuan yang digunakan adalah data berat satuan berbagai material konstruksi sebagaimana telah ditetapkan dalam standar:

Tabel 2. 1 Beban Mati

MATERIAL BANGUNAN		
Material: Baja	7.850	kg/m ³
Material: Batu alam utuh	2.600	kg/m ³
Material: Batu belah, batu bulat, atau batu gunung (berat tumpuk)	1.500	kg/m ³
Material: Batu karang	700	kg/m ³
Material: Batu pecah	1.450	kg/m ³
Material: Besi tuang	7.250	kg/m ³
Material: Beton biasa	2.200	kg/m ³
Material: Beton bertulang	2.400	kg/m ³
Material: Kayu kelas I	1.000	kg/m ³
Material: Kerikil atau koral (kering hingga lembab, tidak diayak)	1.650	kg/m ³
Material: Bata merah	1.700	kg/m ³
Material: Batu belah, batu bulat, atau batu gunung untuk pasangan	2.200	kg/m ³
Material: Batu cetak untuk pasangan	2.200	kg/m ³
Material: Batu karang untuk pasangan	1.450	kg/m ³
Material: Pasir (kering hingga lembab)	1.600	kg/m ³
Material: Pasir jenuh air	1.800	kg/m ³
Material: Pasir kerikil atau koral (kurang kering hingga lembab)	1.850	kg/m ³
Material: Tanah liat, lempung, dan lanau (kering hingga lembab)	1.700	kg/m ³
Material: Jenis tanah, lempung dan lanau (basah)	2.000	kg/m ³

Material: Jenis Timah hitam (timbel)

11.400 kg/m³

Tabel 2. 2 Beban Mati (lanjutan)

KOMPONEN STRUKTUR GEDUNG		
Adukan (per cm ketebalan):		
1. Campuran semen murni	21	kg/m ²
2. Campuran kapur dan semen merah	17	kg/m ²
3. Campuran aspal,	14	kg/m ²
Pasangan Dinding Bata Merah:		
1. Tebal satu bata	450	kg/m ²
2. Tebal setengah bata	250	kg/m ²
Pasangan Dinding Batako:		
1. Batako berlubang:		
- Ketebalan 20 cm (HB 20)	200	kg/m ²
-Ketebalan 10 cm (HB 10)	120	kg/m ²
2. Batako tanpa lubang:		
-Tebal dinding 15 cm	300	kg/m ²
-Tebal dinding 10cm	200	kg/m ²
Plafond dan dinding, terdiri dari :		
1. Campuran semen-asbes (eternit dan bahan tambahan lain),	11	kg/m ²
2. Material Kaca, dengan tebal 3-4 mm		
Lantai Vinyl Kayu	10	kg/m ²
Penggantung langit-langit (dari kayu), dengan bentang maksimum 5 m dan jarak s.k.s minimum 0,8 m		
Struktur penutup atap genting dengan reng dan usuk/kaso per m ² bidang atap	7	kg/m ²
Struktur penutup atap sirap dengan reng dan usuk/kaso, per m ² bidang atap	50	kg/m ²
Struktur penutup atap seng (BWG 24) tanpa gorden		kg/m ²
Ubin semen Portland, teraso, atau beton tanpa adukan, per cm ketebalan	40	kg/m ²
Semen-asbes gelombang, ketebalan 5 mm	10	kg/m ²

(Sumber : Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983)

1.1.2 Beban Hidup

Beban hidup merupakan gaya yang muncul karena aktivitas penghuni atau pemanfaatan bangunan, bukan berasal dari elemen konstruksi tetap maupun faktor lingkungan. Beban ini meliputi perabot atau peralatan yang bisa dipindahkan serta kegiatan yang sifatnya sementara dan dapat berubah dari waktu ke waktu, yang memengaruhi distribusi gaya pada struktur. Pada atap, beban hidup juga dapat

disebabkan oleh air hujan dan tekanan energi kinetik, seperti hujan deras atau angin kencang. Oleh karena itu, perencanaan beban hidup harus dilakukan dengan cermat sesuai ketentuan SNI 1727:2020 agar bangunan tetap aman dan nyaman digunakan dalam jangka panjang.

Tabel 2. 3 Beban Hidup(*Live Load*)

Hunian atau penggunaan	Merata, L_o psf (kN/m ²)	Reduksi beban hidup diizinkan? (No. Pasal)	Reduksi beban hidup berlantai banyak diizinkan? (No. Pasal)	Terpusat lb (kN)	Juga Lihat Pasal
Apartemen (lihat rumah tinggal)					
Sistem lantai akses					
Ruang kantor	50 (2,4)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	2.000 (8,9)	
Ruang komputer	100 (4,79)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	2.000 (8,9)	
Gudang persenjataan dan ruang latihan	150 (7,18)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
Ruang pertemuan					
Kursi tetap (terikat di lantai)	60 (2,87)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
Lobi	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
Kursi dapat dipindahkan	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
Panggung pertemuan	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
Lantai podium	150 (7,18)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		4.14
Tribun penonton Stadion dan arena dengan kursi tetap (terikat di lantai)	60 (2,87)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		4.14
Ruang pertemuan lainnya	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
Balkon dan dek	1,5 kali beban hidup untuk daerah yang dilayani. Tidak perlu melebihi 100 psf (4,79 kN/m ²)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Jalur untuk akses pemeliharaan	40 (1,92)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	300 (1,33)	
Koridor					
Lantai pertama	100 (4,79)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Lantai lain	Sama seperti pelayanan hunian kecuali disebutkan lain				
Ruang makan dan restoran	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
Hunian (lihat rumah tinggal)					
Dudukan mesin elevator (pada area 2 in.x 2 in. [50 mm x 50 mm])		-	-	300 (1,33)	
Konstruksi pelat lantai <i>finishing</i> ringan (pada area 1 in.x 1 in. [25 mm x 25 mm])		-	-	200 (0,89)	

Tabel 2. 4 Pembebanan Hidup tambahan (lanjutan)

Hunian atau penggunaan	Merata, L_o psf (kN/m ²)	Reduksi beban hidup diizinkan? (No. Pasal)	Reduksi beban hidup berlantai banyak diizinkan? (No. Pasal)	Terpusat lb (kN)	Juga Lihat Pasal
Jalur penyelamatan saat kebakaran	100 (4,79)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Hunian satu keluarga saja	40 (1,92)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Tangga permanen		-	-	Lihat Pasal 4.5.4	
Garasi/Parkir (Lihat Pasal 4.10)					
Mobil penumpang saja	40 (1,92)	Tidak (4.7.4)	Ya (4.7.4)	Lihat Pasal 4.10.1	
Truk dan bus	Lihat Pasal 4.10.2	-	-	Lihat Pasal 4.10.2	
Pegangan tangga dan pagar pengaman	Lihat 4.5.1	-	-	Lihat 4.5.1 Lihat 4.5.2	
Helipad (Lihat Pasal 4.11)					
Helikopter dengan berat lepas landas sebesar 3.000 lb (13,35 kN) atau kurang	40 (1,92)	Tidak (4.11.1)	-	Lihat Pasal 4.11.2	
Helikopter dengan berat lepas landas Lebih dari 3.000 lb (13,35 kN)	60 (2,87)	Tidak (4.11.1)	-	Lihat Pasal 4.11.2	
Rumah sakit					
Ruang operasi, laboratorium	60 (2,87)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1.000 (4,45)	
Ruang pasien	40 (1,92)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1.000 (4,45)	
Koridor diatas lantai pertama	80 (3,83)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1.000 (4,45)	
Hotel (lihat rumah tinggal)					
Perpustakaan					
Ruang baca	60 (2,87)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1.000 (4,45)	
Ruang penyimpanan	150 (7,18)	Tidak (4.7.3)	Ya (4.7.3)	1.000 (4,45)	4.13
Koridor di atas lantai pertama	80 (3,83)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1.000 (4,45)	
Pabrik					
Ringan	125 (6,00)	Tidak (4.7.3)	Ya (4.7.3)	2.000 (8,90)	
Berat	250 (11,97)	Tidak (4.7.3)	Ya (4.7.3)	3.000 (13,35)	
Gedung perkantoran					
Ruang arsip dan komputer harus dirancang untuk beban yang lebih berat berdasarkan pada perkiraan hunian					
Lobi dan koridor lantai pertama	100 (4,79)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	2.000 (8,90)	
Kantor	50 (2,40)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	2.000 (8,90)	
Koridor di atas lantai pertama	80 (3,83)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	2.000 (8,90)	
Lembaga hukum					
Blok sel	40 (1,92)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Koridor	100 (4,79)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Tempat rekreasi					
Tempat bowling, billiard, dan penggunaan sejenis	75 (3,59)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
Ruang dansa dan ballroom	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
Gimnasium	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		

Tabel 2. 5 Pembebanan Hidup tambahan (lanjutan)

Hunian atau penggunaan	Merata, L_p psf (kN/m ²)	Reduksi beban hidup diizinkan? (No. Pasal)	Reduksi beban hidup berlantai banyak diizinkan? (No. Pasal)	Terpusat Ib (kN)	Juga Lihat Pasal
Rumah tinggal					
Hunian satu dan dua keluarga					
Loteng yang tidak dapat dihuni tanpa gudang	10 (0,48)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		4.12.1
Loteng yang tidak dapat dihuni dengan gudang	20 (0,96)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		4.12.2
Loteng yang dapat dihuni dan ruang tidur	30 (1,44)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Semua ruang kecuali tangga	40 (1,92)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Semua hunian rumah tinggal lainnya					
Ruang pribadi dan koridornya	40 (1,92)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Ruang publik	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
Koridor ruang publik	100 (4,79)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Atap					
Atap datar, berbubung, dan lengkung	20 (0,96)	Ya (4.8.2)	-		4.8.1
Atap yang digunakan penghuni	Sama dengan penggunaan yang dilayani	Ya (4.8.3)	-		
Atap untuk tempat berkumpul	100 (4,70)	Ya (4.8.3)	-		
Atap vegetatif dan atap lansekap					
Atap bukan untuk hunian	20 (0,96)	Ya (4.8.2)	-		
Atap untuk tempat berkumpul	100 (4,79)	Ya (4.8.3)	-		
Atap untuk penggunaan lainnya	Sama dengan penggunaan yang dilayani	Ya (4.8.3)	-		
<i>Awning</i> dan kanopi					
Atap konstruksi <i>fabric</i> yang didukung oleh struktur rangka kaku ringan	5 (0,24)	Tidak (4.8.2)	-		
Rangka penumpu layar penutup	5 (0,24) berdasarkan area tributari dari atap yang didukung oleh komponen struktur rangka	Tidak (4.8.2)	-	200 (0,89)	
Semua konstruksi lainnya	20 (0,96)	Ya (4.8.2)			4.8.1
Komponen struktur atap utama, yang terhubung langsung dengan pekerjaan lantai tempat bekerja					
Titik panel tunggal dari kord bawah rangka batang atap atau suatu titik sepanjang komponen struktur utama pendukung atap diatas pabrik, gudang penyimpanan dan pekerjanya, dan garasi bengkel		-	-	2000 (8,90)	
				300 (1,33)	
Semua komponen struktur atap utama lainnya		-	-	300 (1,33)	
Semua permukaan atap dengan beban pekerja pemeliharaan					

Tabel 2. 6 Beban Hidup (lanjutan)

Hunian atau penggunaan	Merata, L_0 psf (kN/m ²)	Reduksi beban hidup diizinkan? (No. Pasal)	Reduksi beban hidup berlantai banyak diizinkan? (No. Pasal)	Terpusat lb (kN)	Juga Lihat Pasal
Sekolah	40 (1,92)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1.000 (4,45)	
Ruang kelas	80 (3,83)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1.000 (4,45)	
Koridor di atas lantai pertama	100 (4,79)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1.000 (4,45)	
Koridor lantai pertama					
Scuttles, rusuk untuk atap kaca dan langit-langit yang dapat diakses				200 (0,89)	
Jalan di pinggir untuk pejalan kaki, jalan lintas kendaraan, dan lahan/jalan untuk truk-truk	250 (11,97)	Tidak (4.7.3)	Ya (4.7.3)	8.000 (35,80)	4.15
Tangga dan jalan keluar	100 (4,79)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	300 (1,33)	4.16
Rumah tinggal untuk satu dan dua keluarga saja	40 (1,92)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	300 (1,33)	4.16
Gudang diatas langit-langit	20 (0,96)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Gudang penyimpanan dan pekerja (harus dirancang untuk beban lebih berat jika diperlukan)					
Ringan	125 (6,00)	Tidak (4.7.3)	Ya (4.7.3)		
Berat	250 (11,97)	Tidak (4.7.3)	Ya (4.7.3)		
Toko					
Eceran	100 (4,79)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1.000 (4,45)	
Lantai pertama	75 (3,59)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1.000 (4,45)	
Lantai diatasnya	125 (6,00)	Tidak (4.7.3)	Ya (4.7.3)	1.000 (4,45)	
Grosir, di semua lantai					
Penghalang kendaraan				Lihat Pasal 4.5.3	
Susunan jalan dan panggung yang ditinggikan (selain jalan keluar)	60 (2,87)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Pekarangan dan teras, jalur pejalan kaki	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		

(Sumber : SNI 1727 : 2019)

1.1.3 Beban Gempa (*Earthquake Load*)

Menurut Pawirodikromo (2012), gempa bumi adalah kejadian bergetarnya permukaan tanah karena pelepasan energi secara tiba-tiba akibat pecah atau slip lempengan *tektonik* di lapisan kerak bumi. Beban gempa adalah beban yang di terima struktur bangunan dari permukaan tanah hingga disalurkan ke seluruh struktur utama. Dalam suatu perencanaan struktur, perlu dipertimbangkan daerah dimana bangunan tersebut akan dibangun, karena di Indonesia sendiri merupakan kawasan dengan daerah gempa tinggi.

Menurut (Agus Setiawan, 2008) beban gempa adalah semua beban statis ekuivalen yang bekerja di struktur akibat pergerakan tanah oleh kejadian gempa bumi. Pada umumnya percepatan tanah arah horizontal lebih cepat ketimbang arah vertikal, sehingga pengaruh gaya horizontal lebih besar ketimbang arah vertikal.

1.2 Kategori Risiko

Kategori risiko bangunan dapat ditentukan melalui jenis pemanfaatan dan fungsi gedung. (*Standar Nasional Indonesia 1726-2019*) sesuai aturan desain struktur gempa untuk struktur gedung dan non gedung, seperti pada tabel sebagai berikut:

Tabel 2. 7 Kategori Risiko Sesuai Jenis Bangunan

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

Tabel 2. 8 Kategori Risiko (lanjutan)

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
<p>Gedung dan nongedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 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 <p>Gedung dan nongedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.</p>	IV

(Sumber : SNI 1726 : 2019)

1.2.1 Klasifikasi Situs

Klasifikasi situs gempa adalah pengelompokan kondisi tanah pada suatu lokasi untuk menentukan respons bangunan terhadap gempa. Sistem ini penting karena sifat tanah memengaruhi percepatan dan amplifikasi gerakan gempa yang diterima struktur. Menurut SNI 1726:2019, klasifikasi didasarkan pada karakteristik geoteknik, terutama kecepatan gelombang geser rata-rata (V_{s30}) di 30 meter lapisan permukaan tanah.

Secara umum, klasifikasi situs terbagi menjadi beberapa kategori:

- Kelas A (Batuan Keras): Tanah atau batuan padat, amplifikasi gempa rendah.
- Kelas B (Tanah Keras): Tanah cukup padat, percepatan gempa sedikit lebih tinggi.
- Kelas C (Tanah Sedang): Tanah sedang hingga padat, seperti pasir atau lempung padat, amplifikasi gempa moderat.

- Kelas D (Tanah Lunak): Tanah lunak, seperti lempung atau pasir longgar, memperkuat gerakan gempa, memerlukan perhitungan desain lebih hati-hati.
- Kelas E (Tanah Sangat Lunak): Tanah sangat lunak atau berair, risiko likuifaksi tinggi, membutuhkan perlakuan khusus pada fondasi.
- Kelas SE (Situs Tidak Tentu): Digunakan jika data geoteknik tidak tersedia; asumsi konservatif diterapkan hingga investigasi lengkap dilakukan.

Pemilihan kelas situs yang tepat menjadi dasar penentuan faktor amplifikasi seismik dalam desain struktur. Semakin lunak tanah, semakin besar amplifikasi yang harus diperhitungkan. Dengan klasifikasi ini, perancang dapat memastikan bangunan tahan gempa sesuai standar SNI, mengurangi risiko kerusakan, dan menjaga keselamatan penghuni.

Tabel 2. 9 Klasifikasi Situs

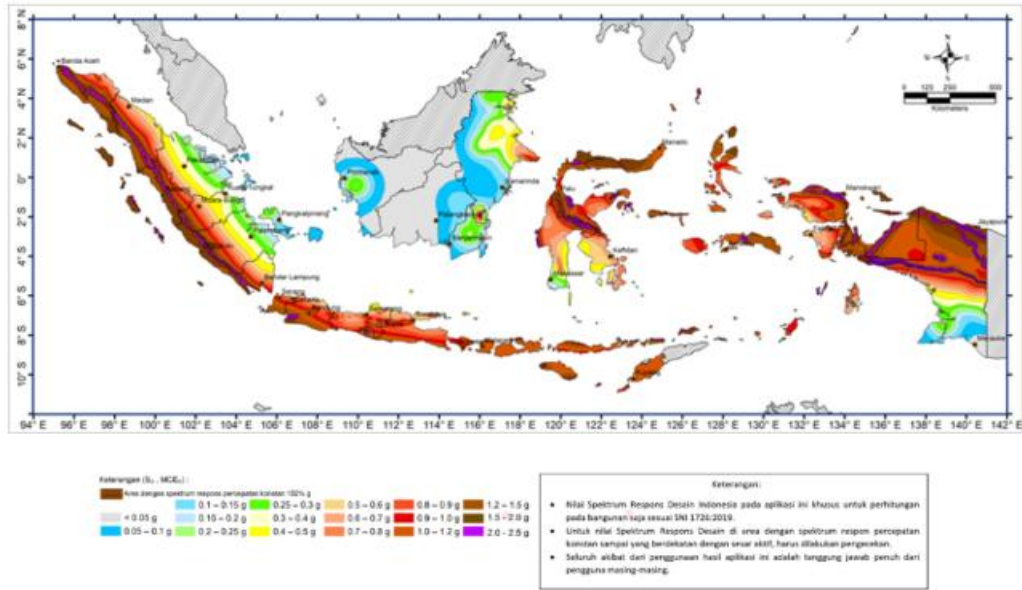
Kelas situs	\bar{v}_s (m/detik)	\bar{N} atau \bar{N}_{ch}	\bar{s}_u (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	< 175	<15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

(Sumber : SNI 1726-2019)

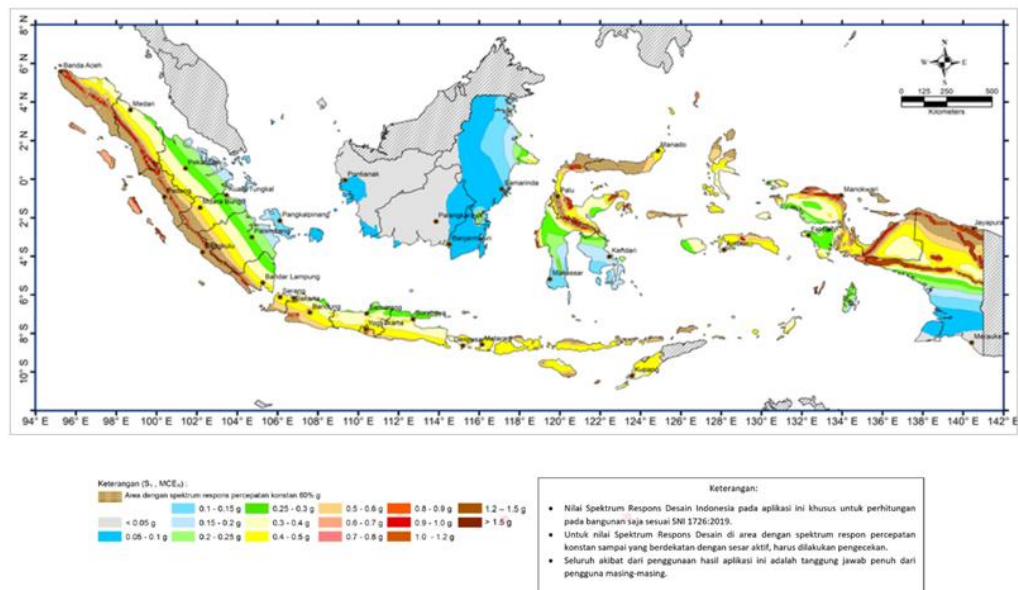
1.3 Parameter Respon Spektra

Parameter respons spektra ditetapkan berdasarkan lokasi tempat bangunan akan didirikan. Acuanannya dapat dilihat pada peta gempa yang tersedia, yaitu peta percepatan untuk periode pendek (S_s) serta peta percepatan untuk periode 1 detik

(S1).



Gambar 2. 1 Peta Daerah Periode Pendek (S_s)



Gambar 2. 2 Peta Daerah Periodik (S_t)

1.3.1 Spektrum Respon Desain

Menurut (SNI 1726-2019) pasal 6.4, Jika spektrum respons desain dan prosedur gerakan tanah spesifik lokasi tidak tersedia, kurva spektrum respons desain harus disesuaikan menggunakan Gambar 2.4 dan spesifikasi yang diberikan.

1. Untuk periode getar $T \leq T_0$, percepatan respons desain dihitung dengan rumus,

$$S_a = S_{DS} \left(0.4 + 0.6 \frac{T}{T_0}\right) \dots \dots \dots (2.1)$$

2. Untuk periode $T_0 < T \leq T_S$, nilai percepatan respons desain, S_a , sama dengan SDS.

3. Sedangkan untuk periode $T > T_S$, percepatan respons desain, S_a , dihitung dengan persamaan :

$$S_a = \frac{S_{D1} T_L}{T^2} \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana :

S_{DS} = parameter respons spektra percepatan desain pada periode pendek,

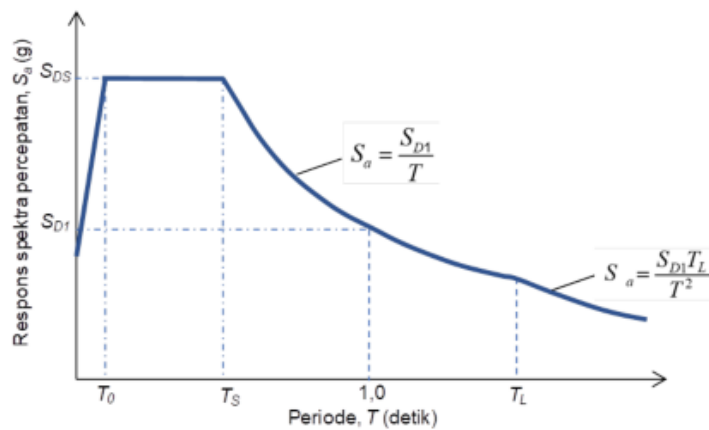
S_{D1} = parameter respons spektra percepatan desain pada periode 1 detik,

T = periode getar fundamental struktur,

T_0 = $0.2 S_{D1} / S_{DS}$.

T_S = $\frac{S_{D1}}{S_{D2}}$

T_L = Peta transisi periode panjang yang ditunjuk pada gambar



Gambar 2. 3 Grafik Respon Spektrum

Tabel 2. 10 Nilai S_{DS}

Nilai S_{DS}	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0.167$	A	A
$0.167 \leq S_{DS} \leq 0.33$	B	C
$0.33 \leq S_{DS} \leq 0.50$	C	D
$0.50 \leq S_{DS}$	D	D

(Sumber : SNI 1726-2019)

Tabel 2. 11 Nilai S_{D1}

Nilai S_{D1}	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0.067$	A	A
$0.067 \leq S_{D1} \leq 0.133$	B	C
$0.133 \leq S_{D1} \leq 0.20$	C	D
$0.20 \leq S_{D1}$	D	D

(Sumber : SNI 1726-2019)

1.3.2 Kombinasi Pembebanan

Dalam perencanaan struktur, perhitungan pembebanan tidak hanya dilakukan secara terpisah, melainkan juga melalui kombinasi beban. Kombinasi ini bertujuan untuk mendapatkan kondisi pembebanan yang paling kritis sehingga dapat dijadikan dasar dalam mendesain elemen-elemen utama bangunan. Struktur utama wajib memiliki kapasitas yang sama atau melebihi efek yang ditimbulkan dari kombinasi tersebut. Mengacu pada SNI 1727:2020, kombinasi beban yang digunakan adalah sebagai berikut :

1. 1,4 D
2. 1,2 D + 1,6 L + 0,5 (L_r atau R)
3. 1,2 D + 1,0 W + LL + 0,5 (L_r atau R)
4. 1,2 D + 1,6 (L_r atau R) + (L atau 0,5 W)
5. 1,2 D + 1,0 E + LL + 0,2 S

6. $.0,9 D + 1,0 E$

7. $.0,9 D + 1,0 W$

1.4 Struktur Baja Komposit

Baja struktural adalah material Struktur yang dibangun dari baja yang dimodifikasi melalui penambahan unsur kimia tertentu untuk meningkatkan sifat mekanis maupun ketahanannya serta melalui proses produksi khusus hingga membentuk sifat yang sesuai untuk kebutuhan struktur. Material ini banyak dimanfaatkan sebagai elemen utama bangunan, seperti pelat, balok, kolom, maupun komponen struktural lainnya. Penerapannya dapat dijumpai pada berbagai jenis konstruksi, antara lain gedung perkantoran, gudang, hotel, stadion, serta bangunan sejenis.

Struktur komposit merupakan sistem konstruksi yang memadukan dua atau lebih material dengan sifat berbeda untuk memaksimalkan keunggulan masing-masing. Salah satu contohnya adalah perpaduan beton dan baja: beton memiliki kekuatan tekan tinggi namun lemah terhadap tarik, sedangkan baja unggul dalam menahan gaya tekan maupun tarik serta memiliki modulus elastisitas dan daktilitas yang tinggi. Kombinasi keduanya menghasilkan struktur yang lebih kuat, efisien, dan tahan lama.

Menurut Widiarsa dan Deskata (2007), struktur komposit baja–beton bekerja sebagai satu kesatuan yang saling melengkapi, sehingga mampu meningkatkan performa dibandingkan penggunaan material tunggal. Penerapannya dapat dijumpai pada balok, kolom, maupun pelat komposit, baik berupa pipa baja berisi beton maupun profil baja yang diselimuti beton dengan tambahan tulangan longitudinal dan lateral sebagai pengikat.

Sementara itu, Kim (2005) dalam Sasongko (2011) menegaskan bahwa interaksi beton dan baja pada struktur komposit muncul karena perbedaan karakteristik fisik keduanya. Beton mudah dibentuk, ekonomis, dan relatif tahan api, sedangkan baja memberikan kekuatan serta elastisitas tinggi. Agar interaksi komposit berjalan optimal, perlu dicegah terjadinya selip antara beton dan baja dengan menggunakan konektor geser, seperti stud, tulangan spiral, atau potongan

profil kanal. Dari berbagai jenis konektor, stud shear connector paling banyak digunakan karena dianggap paling praktis sekaligus efektif.

- Keunggulan struktur komposit dibandingkan struktur konvensional antara lain:
- Mengurangi berat profil baja yang digunakan hingga 20%-30%.
- Menurunkan tinggi profil baja sehingga dapat menghemat tinggi lantai.
- Meningkatkan kekakuan lantai.
- Memperpanjang rentang bentang servis struktur.

Dengan mengurangi berat profil baja, penggunaan material dapat lebih efisien sekaligus menurunkan tinggi lantai, sehingga memberikan keuntungan dari segi biaya maupun pemanfaatan ruang. Selain itu, struktur komposit mampu menghasilkan defleksi yang lebih kecil dibandingkan struktur non-komposit karena beton yang telah mengeras dan menyatu dengan baja meningkatkan momen inersia. Kondisi ini membuat struktur menjadi lebih kaku dan stabil.

Beberapa bentuk struktur komposit yang sering digunakan dalam konstruksi antara lain: kolom baja yang dibungkus beton bertulang, balok baja yang diselubungi beton, balok baja yang menopang pelat beton, serta tiang pancang yang dilapisi baja.

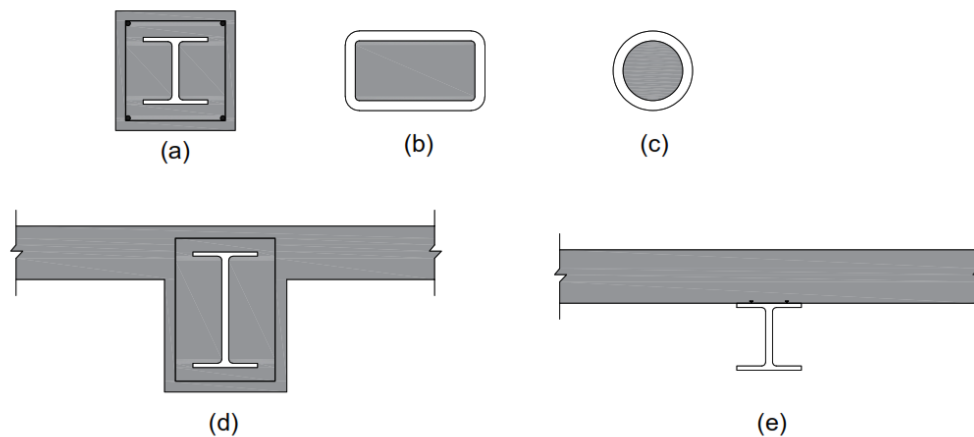
Standar yang mengatur tentang struktur baja dan struktur komposit beton-baja adalah:

- SNI 03-1729-2002 tentang Tata Cara Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung.
- SNI 03-2847-2002 tentang Tata Cara Perencanaan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung.
- SNI 03-2847-2002 dan revisinya (misalnya SNI 03-2847-2013) juga mencakup pedoman perencanaan struktur komposit beton-baja, terutama dalam aspek penggabungan beton dan baja.

Untuk detail konektor geser stud pada struktur komposit, dapat merujuk pada SNI 03-1726-2012 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk

Struktur Bangunan Gedung, yang juga mencakup ketentuan mengenai sambungan dan interaksi material.

- Kolom atau balok baja yang terbungkus selimut beton seperti gambar 2.4 (a) dan 2.4 (d)
- Tiang pancang yang diisi dengan beton 2.4 (b) dan 2.4 (c)
- Balok yang menahan pelat beton 2.4 (e)



Gambar 2. 4 Macam-macam Struktur Komposit

1.4.1 Metode Perhitungan Struktur Baja Komposit

Seiring berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi di bidang konstruksi, dikenal dua metode utama dalam perhitungan struktur baja, yaitu Allowable Stress Design (ASD) dan Load and Resistance Factor Design (LRFD).

Metode ASD, atau sering disebut metode elastis, merupakan pendekatan di mana tegangan akibat beban layan tidak boleh melampaui batas tegangan ijin yang telah ditentukan. Nilai tegangan ijin ini biasanya ditetapkan berdasarkan standar seperti AISC (American Institute of Steel Construction) dengan tujuan memberikan faktor keamanan agar tegangan tidak mencapai batas leleh material ataupun kondisi tekuk (buckling). Pada metode ini, struktur diasumsikan bekerja dalam kondisi elastis, sehingga tegangan yang timbul masih dalam batas kemampuan material tanpa menimbulkan deformasi permanen. Menurut Heppy Nur Cahya (2015), dalam metode ASD perhitungan tegangan dilakukan dengan menganggap struktur bersifat elastis dan harus memenuhi syarat keamanan tertentu. Tegangan ijin dalam spesifikasi AISC ditetapkan berdasarkan kapasitas struktur yang sebenarnya lebih

besar dari beban nominal karena adanya faktor keamanan. Dengan demikian, jika penampang mampu menahan beban layan, maka penampang tersebut masih memiliki cadangan kekuatan hingga melewati regangan leleh sebelum gagal.

Sementara itu, metode LRFD menggunakan pendekatan kondisi batas (limit state design) yang menilai kekuatan dan kekakuan struktur pada kondisi ultimate, yaitu saat struktur mencapai kapasitas maksimumnya sebelum mengalami kegagalan. Berbeda dengan ASD, metode ini memanfaatkan beban terfaktor berdasarkan pendekatan probabilistik, sehingga menghasilkan desain yang lebih realistis, aman, dan efisien karena memperhitungkan variasi beban maupun kekuatan material. Standar perencanaan LRFD sendiri mengacu pada AISC 1993 atau edisi terbaru. Dalam metode ini, perhitungan dilakukan dengan memasukkan faktor beban dan faktor resistensi, sehingga hubungan antara beban kerja (Q) dan kapasitas struktur (R_n) dapat ditulis dengan persamaan tertentu yang menjamin keandalan desain. Pendekatan probabilistik ini memberikan margin keamanan yang konsisten dan sesuai dengan tingkat risiko yang dapat diterima.

Sementara itu, metode LRFD adalah metode perencanaan yang didasarkan pada pendekatan kondisi batas (limit state design). Pendekatan ini menilai kekuatan dan kekakuan struktur pada kondisi ultimate, yaitu kekuatan maksimum yang dapat ditanggung oleh struktur sebelum terjadi kegagalan. Berbeda dengan metode ASD, LRFD menggunakan beban terfaktor yang dihitung berdasarkan probabilitas, sehingga menghasilkan desain yang lebih akurat dan aman dengan mempertimbangkan variabilitas beban dan kekuatan material. Standar perencanaan LRFD mengacu pada AISC 1993 atau versi yang lebih mutakhir.

Dibandingkan ASD, penggunaan LRFD memiliki beberapa keunggulan, seperti mampu mempertimbangkan kombinasi beban secara lebih detail, memberikan tingkat keamanan yang seragam pada berbagai kondisi, serta memungkinkan optimalisasi material. Oleh karena itu, metode ini semakin banyak digunakan dalam perencanaan struktur baja modern, terutama pada proyek-proyek dengan analisis risiko yang kompleks.

Untuk lebih memahami dan mengaplikasikan kedua metode ini, standar perencanaan yang mengatur secara khusus antara lain adalah:

- SNI 03-1729-2002 tentang Tata Cara Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung yang mengakomodasi metode ASD dan LRFD.
- AISC Steel Construction Manual, sebagai referensi utama standar perencanaan struktur baja dengan metode ASD dan LRFD.

Dengan adanya perkembangan metode perhitungan, para insinyur struktur kini mampu merancang bangunan yang tidak hanya aman dan hemat biaya, tetapi juga adaptif terhadap berbagai kondisi beban aktual di lapangan.

Menurut Agus Setiawan (2008), meskipun metode LRFD berlandaskan pada konsep probabilistik, penerapan analisis probabilitas secara penuh umumnya hanya dilakukan pada kasus-kasus khusus yang belum tercakup detail dalam standar. Hal ini karena analisis probabilitas lengkap tergolong kompleks, mengingat memerlukan data statistik mengenai distribusi variabel acak seperti beban (Q) dan kapasitas tahanan (R).

Sebagai pendekatan yang lebih sederhana, digunakanlah metode First Order Second Moment (FOSM), di mana variabel beban (Q) dan tahanan (R) dianggap saling independen secara statistik. Pada metode LRFD, perbandingan antara beban dan kapasitas struktur dituliskan lebih spesifik dalam bentuk hubungan antara Q dan Rn, sebagaimana pada persamaan berikut:

$$\phi R_n \geq \sum \gamma_i Q_i \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana :

\sum = Penjumlahan

i = menunjukkan berbagai kondisi

Q_i = pengaruh beban nominal

γ_i = factor beban terkait beban Q_i yang ditinjau

$\gamma_i Q_i$ = kuat perlu, dari kondisi batas paling ekstrim

R_n = Kuat nominal, kekuatan elemen yang dihasilkan

ϕ = factor tahanan sesuai jenis struktur yang ditinjau

ϕR_n = kuat rencana, kekuatan struktur yang direncanakan

Dalam persamaan **LRFD**, sisi kiri menggambarkan kapasitas atau kekuatan yang dimiliki suatu elemen struktur, sedangkan sisi kanan merepresentasikan beban terfaktor yang diperkirakan bekerja pada struktur. Pada komponen kekuatan, digunakan faktor reduksi (ϕ) yang dikalikan dengan resistensi nominal (R_n) untuk mendapatkan nilai kekuatan desain. Pendekatan ini bertujuan memberikan hasil yang lebih aman dan realistis dengan tetap mempertimbangkan ketidakpastian yang mungkin timbul dari sifat material maupun proses konstruksi.

Sementara itu, pada sisi beban, digunakan faktor beban (γ_i) yang dikalikan dengan masing-masing jenis beban nominal (Q_i) seperti beban mati, beban hidup, atau beban lingkungan (misalnya salju, angin, dan gempa). Hasil penjumlahan dari seluruh beban terfaktor ($\sum \gamma_i Q_i$) akan dibandingkan dengan kapasitas desain (ϕR_n).

Metode LRFD dapat dianggap sesuai apabila nilai kebutuhan kekuatan (R_u) lebih kecil dari atau sama dengan kekuatan rencana (ϕR_n), di mana ϕ merupakan koefisien reduksi yang nilainya bervariasi sesuai dengan jenis elemen serta kondisi perencanaan yang dihadapi. Dengan demikian, konsep dasar LRFD adalah memastikan bahwa kapasitas struktur yang telah direduksi oleh faktor keandalan tetap lebih besar dibandingkan beban terfaktor yang bekerja, sehingga struktur aman dan andal untuk digunakan:

$$R_u \leq \phi R_n \dots\dots\dots (2.4)$$

Kekuatan Perlu (R_u) merupakan satuan maksimal dari kombinasi beban yang didapat melalui hasil analisa struktur. Untuk menentukan besarnya R_u , diperlukan analisis menyeluruh (global analysis) agar dapat diketahui kebutuhan kekuatan pada setiap komponen struktur. Nilai R_u yang dihasilkan kemudian digunakan sebagai dasar evaluasi elemen-elemen utama bangunan. Selanjutnya, nilai tersebut dibandingkan dan dikontrol terhadap kekuatan rencana (ϕR_n), dengan memperhitungkan gaya-gaya dalam yang bekerja pada masing-masing elemen struktur.

Tabel 2. 12 Faktor Tahanan

Tahanan Rencana Untuk	Faktor Tahanan
Komponen struktur yang memikul lentur :	
• Balok	0.90
• Pelat badan yang memikul geser	0.90
• Balok pelat berdingding penuh	0.90
• Pelat badan pada tumpuan	0.90
• Pengaku	0.90
Komponen struktur yang memikul gaya tekan aksial :	
• Ketahanan komponen struktur	0.90
• Ketahanan penampang	0.90
Komponen struktur yang memikul gaya tarik aksial :	
• Terhadap tahanan tarik fraktur	0.75
• Terhadap tahanan tarik leleh	0.90
Komponen struktur yang memikul aksi-aksi kombinasi :	
• Tahanan geser atau lentur	0.90
• Tahanan tekan	0.90
• Tahanan tarik	0.90
Sambungan baut :	
• Baut yang memikul yang tarik	0.75
• Baut yang memikul geser	0.75
• Baut yang memikul tumpu	0.75
• Lapis yang memikul kombinasi geser dan tarik	0.75
Sambungan :	
• Las sudut dan las tumpul penetrasi sebagian	0.75
• Las tumpul penetrasi penuh	0.90
• Las pengisi	0.75

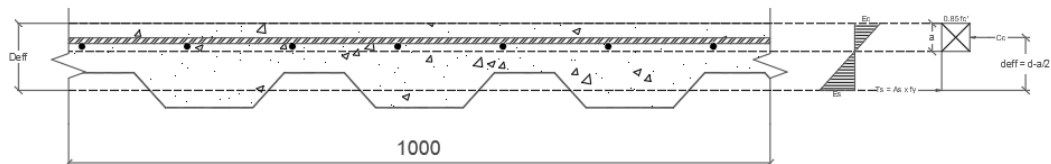
(Sumber : SNI 2847-2019)

1.4.2 Pelat Komposit

Perkembangan teknologi struktur komposit berawal dari penggunaan dek baja bergelombang, yang pada mulanya hanya difungsikan sebagai bekisting saat pengecoran pelat beton. Namun, seiring perkembangannya, dek baja juga berperan sebagai elemen perkuatan pelat sekaligus penopang lateral balok sebelum beton mengeras.

Dalam SNI 1729:2020, diatur persyaratan terkait penggunaan dek baja bergelombang serta sambungan gesernya pada bagian struktur komposit, di antaranya:

1. Ketinggian rusuk dek baja dibatasi maksimal 7.5 cm atau 75mm.
2. Bentang Lebar umumnya atau haunch beton (w_r) harus ≥ 50 mm, tetapi dalam perhitungan tidak boleh dianggap lebih besar dari lebar minimum di bagian atas dek.
3. Pelat dak beton dan balok baja komposit dihubungkan melalui stud yang kepalanya dilas, baik menembus dek maupun langsung ke balok baja.
4. Stud berkepala setelah dipasang harus menonjol setidaknya 38 mm di atas permukaan dek baja.
5. Stud tersebut juga harus tertutup selimut beton dengan tebal minimum 13 mm.
6. Ketebalan beton di atas dek komposit baja harus melebihi dari 50 mm.
7. Pemasangan dek baja ke elemen struktur pendukung harus dilakukan dengan jarak antar angkur tidak melebihi 460 mm.



Gambar 2. 5 Pelat *Floor Deck*

Nilai dari penampang floor deck diperoleh melalui perhitungan dengan rumus berikut ini:

$$.M_n = A_s \times f_y \cdot x \left(d_{\text{eff}} - \frac{a}{2} \right) \dots \dots \dots (2.5)$$

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'c \cdot b} \dots \dots \dots (2.6)$$

Rasio tulangan pada elemen struktur beton bertulang harus ditetapkan mengacu pada ketentuan SNI 2847:2019. Menurut standar tersebut, nilai rasio tulangan ditentukan sebagai nilai terbesar dari dua persamaan yang telah ditetapkan dalam peraturan:

$$\rho_{min 1} = \frac{0,25 \sqrt{f_c'}}{f_y} \dots \dots \dots (2.7)$$

Atau

$$\rho_{min 2} = \frac{1,4}{f_y} \dots \dots \dots (2.8)$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2} \dots \dots \dots (2.9)$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right) \dots \dots \dots (2.10)$$

$$A_s = \rho \times b \times d \dots \dots \dots (2.11)$$

Pengendalian lendutan dalam struktur dilakukan dengan mempertimbangkan pelat yang mempunyai bentang dan momen paling besar. Sebelum perhitungan defleksi, terlebih dahulu perlu dipastikan tinggi minimum balok agar lendutan yang terjadi tidak melebihi batas yang diperkenankan. Mengacu pada SNI 2847:2019 pasal 9.3.1, tinggi minimum balok didapat dari hasil perkalian antara bentangan balok dengan faktor yang tercantum pada Tabel 2.8 dalam standar tersebut :

$$H_{min} = (0,4 + \frac{F_y}{700}) \times h \dots \dots \dots (2.12)$$

Tabel 2. 13 Tinggi Minimum Balok Non-Prategang

<i>Kondisi Perlekatan</i>	<i>Tinggi Minimum</i>
<i>Perlekatan sederhana</i>	<i>L / 16</i>
<i>Menerus satu sisi</i>	<i>L / 18,5</i>
<i>Menerus dua sisi</i>	<i>L / 21</i>
<i>Kantilever</i>	<i>L / 8</i>

(Sumber : SNI 2847:2019)

Kontrol lendutan yang dihitung berdasarkan tabel yang tertera harus dipastikan tidak melampaui batas yang telah ditentukan, sebagaimana dijelaskan pada uraian berikut :

Tabel 2. 14 Perhitungan Lendutan Izin

Jenis Komponen Struktur	Kondisi	Lendutan yang diperhitungkan	Batas lendutan
Atap datar	Tidak menumpu atau tidak dijadikan satu dengan komponen nonstruktural yang memiliki kemungkinan akan rusak jika terjadi lendutan yang besar	Lendutan seketika karena L_r dan R maksimum	L/180
Lantai		Lendutan seketika karena L (beban hidup).	L/360
Atap atau Lantai	Menumpu atau dijadikan satu dengan komponen nonstruktural	Memiliki kemungkinan akan rusak jika terjadi lendutan yang besar	L/480
		Tidak akan rusak jika terjadi lendutan yang besar	
		Bagian dari lendutan total yang terjadi setelah pemasangan komponen nonstruktural yaitu jumlah dari lendutan jangka panjang akibat semua beban tetap dan lendutan seketika akibat penambahan beban hidup	L/240

(Sumber: SNI 2847:2019)

Ketika dek komposit baja bergelombang diterapkan tegak lurus pada balok penopang (through-deck), kapasitas paku stud harus disesuaikan dengan faktor reduksi tertentu. Secara umum, hubungan tersebut dapat dinyatakan dengan rumus berikut:

$$r_s = \frac{0.85}{\sqrt{N_r}} \left(\frac{w_r}{h_r} \right) \left(\left(\frac{H_s}{h_r} - 1,0 \right) \right) \leq 1,0 \dots\dots\dots (2.13)$$

Keterangan :

- r_s = Faktor Reduksi
- N_r = Jumlah dari penghubung geser pada setiap gelombang
- H_s = Tinggi daripada penghubung geser jenis paku
- H_r = Nilai tinggi gelombang dek baja
- w_r = Lebar efektif dari gelombang dek baja

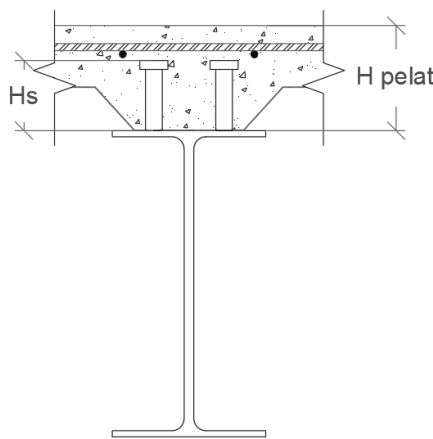
Adapun keuntungan yang didapat dari penggunaan dek komposit baja gelombang adalah :

1. Pemanfaatan dek baja pada dasarnya dapat menggantikan fungsi pelat tebal, sehingga efektif dalam mengurangi ketebalan keseluruhan pelat lantai.
2. Dek baja juga dapat digunakan sebagai tulangan untuk menahan tegangan lentur positif pada sistem pelat komposit, sebab memiliki kapasitas lentur yang tinggi.
3. Selain itu, dek baja berperan sebagai bekisting bagi pelat beton konvensional.

1.4.3 Penghubung Geser

Gaya horizontal yang muncul antara pelat beton dan balok baja saat menerima beban harus dikendalikan sehingga penampang komposit dapat bekerja sebagai satu kesatuan yang saling mendukung. Hal ini berarti interaksi antara beton dan baja harus terjamin. Untuk itu, konektor geser dipasang di atas balok sebagai penghubung dengan pelat beton. Konektor tersebut tidak hanya memastikan adanya transfer gaya, tetapi juga mencegah pelat beton terangkat ketika menerima beban.

Sesuai SNI 1729:2020, perhitungan gaya geser horizontal total (V_h) untuk aksi komposit, saat beton berada dalam kondisi tekan karena lentur, dilakukan pada daerah antara titik momen positif maksimum dan titik momen nol di sekitarnya. V_h diambil sebagai nilai terkecil dari beberapa ketentuan yang berlaku:



Gambar 2. 6 Perhitungan Lendutan Izin Maksimum

$$A_s \cdot f_y \dots\dots\dots (2.14)$$

$$0.85 \times f_c' \times A_c \text{ atau } \sum Q_n \dots\dots\dots (2.15)$$

Apabila nilai ditentukan menggunakan rumus di atas, maka aksi komposit dianggap penuh, dan jumlah penghubung geser yang dibutuhkan antara titik momen nol dan momen maksimum adalah sebagai berikut :

$$N = \frac{C_{max}}{Q_n} = \frac{T_{max}}{Q_n} \dots\dots\dots (2.16)$$

Kuat geser nominal dari satu penghubung geser dinyatakan dengan Q_n . Berdasarkan SNI 1729:2020, jenis penghubung geser yang dipersyaratkan dapat berupa paku geser berkepala (*stud shear connector*) maupun profil baja kanal hasil gilas panas. Shear stud dengan kepala wajib dipasang dengan panjang minimal empat kali diameternya, sedangkan profil baja kanal bisa digunakan sebagai alternatif sesuai peraturan.

a) Kuat nominal jenis Stud

$$Q_n = 0.5 A_{sc} \sqrt{f_c' \cdot E_c} \leq A_{sc} f_u \dots\dots\dots (2.17)$$

Dengan :

- A_{sc} = Luas penampang stud
- E_c = Modulus elastisitas beton
- f_u = Tegangan putus penghubung geser jenis stud
- f_c' = Kuat tekan beton

b) Kuat nominal jenis kanal

$$Q_n = 0.3 (t_f + 0.5 t_w) L_a \sqrt{f_c' E_c} \dots\dots\dots (2.18)$$

Dengan:

- L_a = Panjang dari angkur kanal
- t_f = tebal sayap angkur baja
- t_w = tebal badan angkur baja

Persamaan (2.14) dipakai untuk menentukan banyaknya shear connector antara titik momen nol dan momen maksimum. Pada balok sederhana, jumlah yang dipasang adalah $2 \cdot N$, dengan jarak antar connector sama rata \.

Ketika jumlah *shear connector* tidak memadai, kemungkinan *slip* antara pelat beton dan balok baja muncul, sehingga perhitungan merujuk pada aksi

komposit parsial (*partial composite action*). Momen inersia efektif I_{eff} untuk balok komposit dihitung dengan persamaan berikut:

$$I_{eff} = I_s + (I_{tr} + I_s) \sqrt{\frac{\sum Qn}{c_f}} \dots\dots\dots (2.19)$$

Keterangan :

C_f = gaya tekan pada pelat beton untuk kondisi komposit penuh

I_s = momen inersia penampang baja

I_{tr} = momen inersia penampang balok komposit penuh yang belum retak

$\sum Qn$ = jumlah kekuatan penghubung geser di sepanjang daerah yang dibatasi momen positif dan momen nol

1.4.4 Balok Komposit

Balok merupakan elemen struktur yang berfungsi menahan beban tegak lurus terhadap sumbunya, sehingga akan mengalami lentur atau lendutan. Pada balok komposit, pelat dan balok baja bekerja bersama tanpa terjadi pergeseran relatif di antara keduanya. Gaya geser yang timbul pada permukaan bawah pelat menyebabkan beton mengalami tekan dan memendek, sementara gaya yang sama pada permukaan atas balok baja menimbulkan tarik dan memanjang (Salmon, 1995:348).

Kuat rencana balok komposit umumnya didasarkan pada kondisi ultimit atau saat struktur mengalami keruntuhan. Namun demikian, perilaku balok komposit pada kondisi beban layan juga sangat penting diperhatikan. Lendutan harus selalu dikendalikan selama beban layan, bahkan dalam beberapa kasus, persyaratan kemampuan layan dapat menjadi penentu utama kuat rencana. Untuk menghitung tegangan yang timbul pada penampang komposit, digunakan asumsi bahwa beton ditransformasikan menjadi baja dengan efek setara terhadap perilaku struktur. Hubungan antara tegangan dan regangan pada baja maupun beton dapat dirumuskan sebagai berikut :

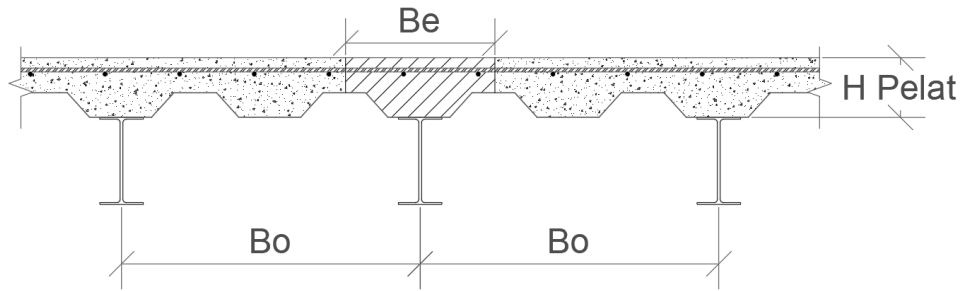
$$\epsilon_c = \epsilon_s \text{ atau } \frac{f_c}{E_c} = \frac{f_s}{E_s} \dots\dots\dots (2.20)$$

$$f_s = \frac{E_s}{E_c} f_c = n \times f_c \dots \dots \dots (2.21)$$

dengan :

E_c = Modulus elastisitas beton

N = $\frac{E_s}{E_c}$ = rasio modulus



Gambar 2. 7 Lebar Efektif Balok Komposit

- Untuk balok-balok interior
 - $b_e \leq \frac{L}{4}$ (2.22)
 - $b_e \leq b_o$ (2.23)
- Untuk balok- balok eksterior
 - $b_e \leq \frac{L}{8} + (\text{jarak pusat balok ke tepi pelat})$ (2.24)
 - $b_e \leq \frac{L}{2} b_o$ (jarak pusat balok ke tepi pelat) (2.25)

Dimana :

L = bentang balok komposit

b_o = jarak as ke as antara balok komposit

1.4.5 Balok Pra Komposit

Struktur baja pada sistem komposit harus cukup kuat untuk menahan berat sendiri serta beban hidup konstruksi sebelum beton mengeras. Momen nominalnya ditentukan oleh karakteristik kekompakan penampang baja yang dipakai.

Tabel 2. 15 Klasifikasi Penampang

Elemen	λ	λ_p	λ_r
Flens	$\frac{b}{t}$	$0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0.95 \sqrt{\frac{K_c E}{F_t}}$
Web	$\frac{h}{t_w}$	$3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5.7 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$

(Sumber : SNI 1729-2019)

1. Penampang kompak

Penampang disebut kompak ketika semua bagian sayap dan badan elemen tekan berada dalam batasan yang ditetapkan jika $\lambda \leq \lambda_p$

$$M_n = M_p \dots\dots\dots (2.26)$$

$$M_p = Z \times f_y \dots\dots\dots (2.27)$$

Dimana :

M_p = Momen plastis (N.mm)

F_y = Tegangan leleh baja (mpa)

Z_x = $b \times t_f (d-t_f) + \frac{1}{4} t_w (d-t_f)^2$ (untuk profil WF, mm³)

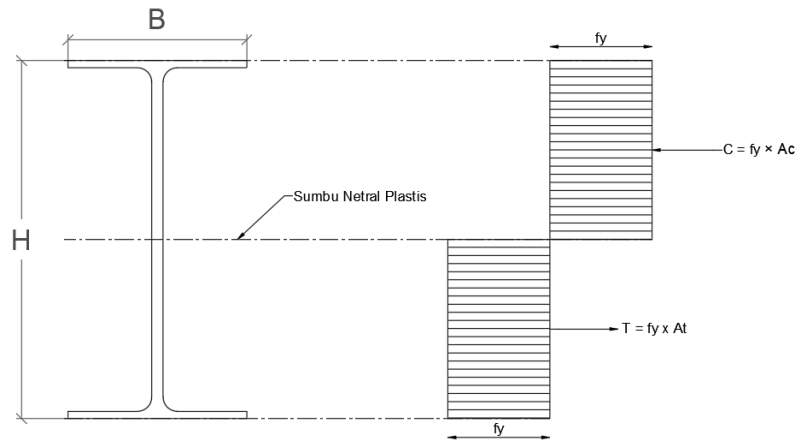
Z_y = $\frac{1}{2} b^2 t_f + \frac{1}{4} t_w^2 (d-2t_f)$ (untuk profil WF, mm³)

B = Lebar sayap (mm)

d = Tinggi penampang (mm)

t_f = Tebal sayap (mm)

t_w = Tebal badan (mm)



Gambar 2. 8 Diagram Balok Metode Plastis

2. Penampang tidak kompak

Penampang disebut tidak kompak ketika semua bagian sayap dan badan elemen tekan berada dalam batasan yang ditetapkan jika $\lambda_p \leq \lambda \leq \lambda_r$

$$M_n = M_p - (M_p - M_r) \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \dots \dots \dots (2.28)$$

$$M_r = (f_y - f_r) \times s \dots \dots \dots (2.29)$$

Dengan :

M_r = Momen batas tekuk (N.mm)

f_r = Tegangan sisa (Mpa)

f_r = 70 Mpa untuk penampang dilas panas

f_r = 115 Mpa untuk penampang yang dilas

1.4.6 Balok Post Komposit

1.4.6.1 Kuat Lentur Positif

Sesuai SNI 1729:2020 pasal I3.2a, elemen struktur komposit pada momen positif memiliki kuat lentur nominal rencana ϕM_n , dan kuat lentur ijin positif (M_n) untuk mencapai batas leleh ditentukan berdasarkan ketentuan standar, harus ditetapkan sesuai ketentuan dalam standar tersebut. Dengan kata lain, nilai momen yang dapat dipikul oleh komponen struktur komposit ditentukan melalui perhitungan kuat lentur nominal, kemudian disesuaikan dengan faktor reduksi kekuatan (ϕ) atau dibatasi pada kondisi batas leleh sesuai persyaratan yang berlaku:

1. Untuk $\leq 3.76 \sqrt{\frac{EI}{F_y}}$

Untuk keadaan batas leleh, momen nominal M_n harus dihitung dari distribusi tegangan plastis pada penampang komposit dengan faktor reduksi $\phi_b = 0,9$.

2. Untuk $\geq 3.76 \sqrt{\frac{EI}{F_y}}$

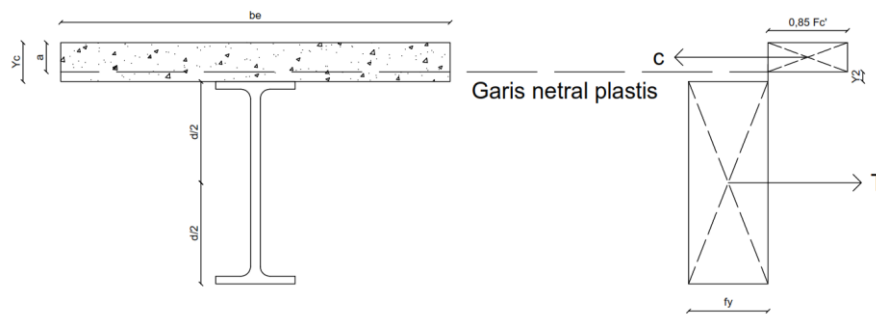
Momen nominal M_n pada kondisi batas leleh diperoleh melalui superposisi tegangan elastis sambil mempertimbangkan pengaruh penopangan. Penentuan momen plastis balok komposit memerlukan penentuan letak sumbu netral plastis yang bergantung pada perbandingan C dan T, termasuk perhitungan gaya tekan dan Tarik.

$$C = 0.85 f_c \times A_c \dots\dots\dots (2.30)$$

$$T = f_y \times A_s \dots\dots\dots (2.31)$$

Ada tiga kondisi distribusi tegangan plastis yang mungkin terjadi, yaitu :

- a) Jika $T \leq C$ sumbu netral plastis di dalam pelat beton



Gambar 2. 9 Diagram Regangan $T \leq C$

Karena pelat beton memiliki volume yang relatif besar, pada momen lentur positif profil baja mencapai kondisi leleh lebih awal. Nilai tinggi blok tegangan tekan pada pelat beton (aaa) dapat ditentukan menggunakan persamaan berikut :

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0.85 \cdot f_c' \cdot b_e} \dots\dots\dots (2.31)$$

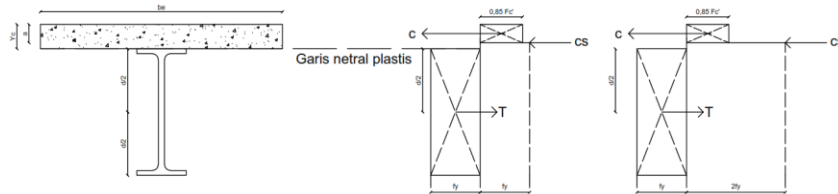
Asumsi dianggap valid ketika $a < t_c$ untuk dek baja, atau $a < t_a$ pada pelat beton solid.

$$Y_c = h_r + t_c \dots\dots\dots (2.32)$$

$$Y_2 = Y_c - \frac{1}{2} a \dots\dots\dots (2.33)$$

$$M_n = M_p = f_y \cdot A_s \left(Y_2 + \frac{1}{2} d \right) \dots\dots\dots (2.34)$$

b) Jika $T > C$ sumbu netral plastis di baja (pelat sayap)



Gambar 2. 10 Diagram Regangan $T > C$

Kondisi ini timbul bila luas pelat beton relatif lebih kecil dibandingkan profil baja tarik. Akibatnya ketika terjadi momen positif, profil baja tetap mengalami tekanan. Hal ini terjadi jika t_f lebih besar dari 0 , dan y lebih besar dari 0 , sebagaimana ditentukan oleh rumus berikut :

$$T = F_y \times A_s \dots\dots\dots (2.35)$$

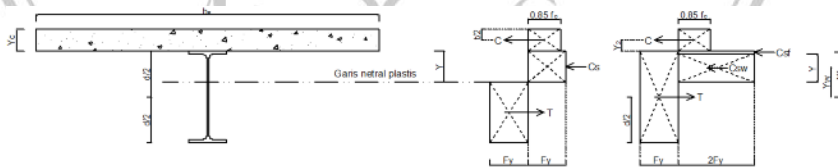
$$C = 0.85 f_c' \times b E \times t_c \dots\dots\dots (2.36)$$

$$Y = \frac{T-C}{b f \cdot F_y} \leq t_f \dots\dots\dots (2.37)$$

$$C_{sm} = 2 F_y \times y \dots\dots\dots (2.38)$$

$$M_n = M_p = C \left(Y_2 + \frac{1}{2} d \right) + C_{sm} (d-y) \frac{1}{2} \dots\dots\dots (2.39)$$

c) Jika $T > C$ sumbu netral plastis di baja (pelat badan)



Gambar 2. 11 Diagram Regangan $T > C$

Kondisi ini mungkin terjadi jika y_{yy} lebih besar dari t_{ft_ff} . Karena ukuran pelat beton lebih kecil daripada profil baja, pelat badan baja tetap menerima tekanan agar keseimbangan gaya terjaga. Hal ini terjadi apabila $T-C-C_{sf} > 0$, dengan perhitungan sebagai berikut.

$$T = F_y \times A_s \dots\dots\dots (2.40)$$

$$C = 0.85 \cdot f_c' \cdot bE \times t_c \dots\dots\dots (2.41)$$

$$C_{sf} = b_f \times t_f \times 2f_y \dots\dots\dots (2.42)$$

$$Y = \frac{T-C-C_{sf}}{t_w \cdot F_y} \leq t_f \dots\dots\dots (2.43)$$

$$C_{sw} = 2f_y \times y \times t_w \dots\dots\dots (2.44)$$

$$y_f = \frac{1}{2} (d-t_f) \dots\dots\dots (2.45)$$

$$y_w = \frac{1}{2} (d+y) - t_f \dots\dots\dots (2.46)$$

$$M_n = M_p = C \left(Y^2 + \frac{1}{2} d \right) + C_{sf} \cdot y_f + C_{sw} \times y_w \dots\dots\dots (2.47)$$

Jarak sumbu netral dari tepi bawah sayap :

$$a_w = \frac{T_w}{F_y T_w} \dots\dots\dots (2.48)$$

Menentukan jarak gaya dari *center* :

$$d_1 = Y_c - \frac{T_c}{2} \dots\dots\dots (2.49)$$

$$d_2 = \frac{a_w}{2} \dots\dots\dots (2.50)$$

$$d_3 = \frac{1}{2} d \dots\dots\dots (2.51)$$

$$M_n = T_{sr} (d_1 + d_2) + C_{maks} (d_3 - d_2) \dots\dots\dots (2.52)$$

1.4.6.2 Kuat Lentur Negatif

Secara umum, suatu komponen struktur komposit yang bisa didesain terdapat pada daerah momen positif. Kemudian, untuk daerah momen negatif menggunakan komponen struktur non komposit. Namun pada peraturan (SNI 1729-2020) pasal I3.2b sudah diizinkan menggunakan struktur komposit pada daerah momen negatif. Dengan syarat sebuah struktur harus memenuhi kriteria berikut ini:

- Balok baja tergolong penampang kompak dengan pengaku untuk meningkatkan kekakuannya.
- Sambungan pelat terhadap balok baja dilakukan melalui angkur kanal baja khusus pada daerah momen negatif.

- Tulangan pelat yang sejajar dengan balok baja diperhitungkan pada lebar efektif pelat untuk mendistribusikan gaya secara merata

Tulangan yang sejajar dengan sumbu balok baja dan berada di dalam pelat beton dengan lebar efektif (bE) dapat dimanfaatkan sebagai bagian dari penampang komposit efektif, berlaku untuk daerah momen positif dan negatif. Pada momen positif, kontribusi tulangan kecil dibandingkan pelat beton, sedangkan pada momen negatif tulangan menerima gaya tarik karena kemampuan beton menahan tarik terbatas. Oleh karena itu, pelat beton dapat diabaikan pada daerah momen negatif. Gaya tulangan yang berkontribusi pada penampang komposit harus diteruskan melalui penghubung geser, dan kuat nominalnya dihitung sesuai persamaan berikut:

$$T_{sr} = A_{sr} \times F_{ysr} \dots\dots\dots (2.53)$$

Gaya tekan maksimum pada profil baja adalah :

$$C_{maks} = A_s \times F_y \dots\dots\dots (2.54)$$

Akibat $C_{maks} > T_{sr}$, maka sumbu netral plastis jatuh pada profil baja dan kesetimbangan gaya didapat sebagai berikut :

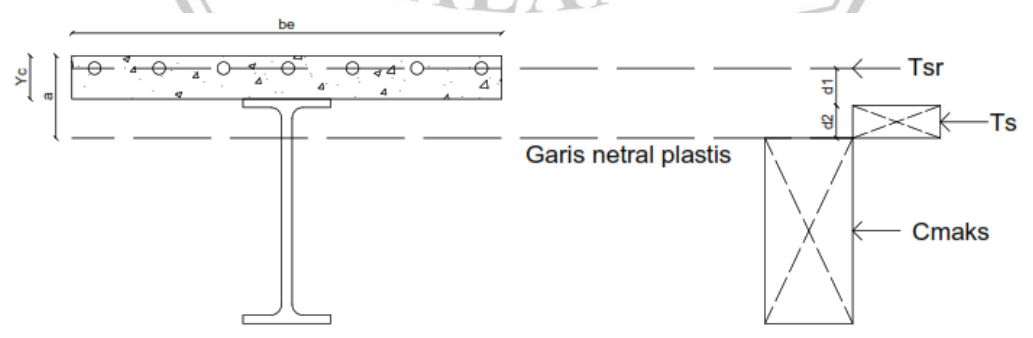
$$T_{sr} + T_s = C_{maks} - T_s \dots\dots\dots (2.55)$$

$$2T_s = C_{maks} - T_{sr} \dots\dots\dots (2.56)$$

$$T_s = \frac{C_{maks} - T_{sr}}{2} \dots\dots\dots (2.57)$$

$$\text{Gaya pada sayap, } T_f = b_f \times t_f \times F_y \dots\dots\dots (2.58)$$

$$\text{Gaya pada badan, } T_w = T_s - T_f \dots\dots\dots (2.59)$$



Gambar 2. 12 Distribusi Tegangan Akibat Momen Negatif

1.4.6.3 Kuat Geser

Berdasarkan SNI 1729-2020, diperhitungkan kuat geser nominal dengan rumus berikut ini :

$$\frac{h}{tw} \leq 2.24 \sqrt{\frac{E}{Fy}} \dots\dots\dots (2.60)$$

$$Vn = 0,65 Fy \times Aw \times Cv1 \dots\dots\dots (2.61)$$

Keterangan :

- Vn = Kuat geser nominal
- ϕ_v = faktor tahanan geser (0,9)
- Aw = Luas badan (mm²)
- Cv1 = 1.0

1.4.6.4 Angkur Baja Stud Berkepala

Menurut pasal I8 (SNI 1729-2020), diameter angkur tiang berkepala baja harus lebih kecil dari 19 mm dan tidak boleh melebihi 2,5 kali tebal logam dasar. Selain itu, panjang angkur tiang berkepala baja harus empat kali lebih besar dari diameter batang yang dihitung dari pangkal jangkar tiang berkepala baja hingga bagian atas kepala batang setelah dipasang. Persamaan di bawah ini dapat digunakan untuk menentukan kuat geser nominal suatu jangkar yang tertanam pada pelat beton atau pelat komposit dengan dek baja.

$$Qn = A_{sa} \sqrt{Fc1 \times Ec} \leq Rg \times Rp \times A_{sa} \times Fu \dots\dots\dots (2.62)$$

Keterangan

- A_{sa} = Luas penampang dari angkur baja
- E_c = Modulus elastisitas beton
- F_u = Kuat tarik minimum

Tabel 2. 16 Nilai Rg dan Rp

Kondisi	Rg	Rp
Dek diorientasikan sejajar dengan profil baja		

$\frac{W_r}{hr} \geq 1,5$	1.00	0.75
$\frac{W_r}{hr} < 1,5$	0.85	0.75
Dek diorientasikan tegak lurus dengan profil baja		
Jumlah angkur <i>Steel headed stud</i> yang mempunyai rusuk dek sama		
1	1.00	0.60
2	0.85	0.60
3	0.70	0.60
Keterangan :		
W_r	= Tinggi rusuk nominal	
hr	= Lebar rata-rata rusuk	

(Sumber SNI 1729:2020)

Kekuatan geser nominal satu angkur kanal canai panas yang ditanamkan pada pelat beton dapat menggunakan persamaan berikut ini :

$$Q_n = 0,3 (t_w + 0,5 t_w) \times l_a \times \sqrt{f'} \times E_c \dots \dots \dots (2.63)$$

Keterangan :

- l_a = Panjang angkur
- t_f = Ketebalan dari sayap angkur
- t_w = Ketebalan dari badan angkur

Untuk meningkatkan kekuatan angkur kanal, kanal harus dilas ke sayap balok dengan tetap mempertimbangkan eksentrisitas konektor. Rumus di bawah ini dapat digunakan untuk menentukan jumlah jangkar baja yang dibutuhkan.

$$V' = F_y \times A_s \dots \dots \dots (2.64)$$

$$N = \frac{V'}{Q_n} \dots \dots \dots (2.65)$$

Keterangan :

- N = Jumlah angkur yang dibutuhkan
- V' = Gaya geser horizontal
- Q_n = Kuat geser nominal satu buah angkur konektor

1.5 Kolom

Menurut (YUDHA LESMANA, 2021) kolom merupakan suatu struktur utama yang bertugas untuk memikul beban arah vertikal (aksial dan lentur). Karena kapasitasnya menampung momen dari balok maka kolom juga sering disebut sebagai *Beam-Column*

1.5.1 Persyaratan Kolom Komposit

Dalam merencanakan kolom komposit ada beberapa syarat yang harus dipenuhi seperti yang tertulis dalam (SNI 1729-2020) pasal I2.1 sebagai berikut ini :

1. Luas penampang melintang inti baja harus terdiri dari setidaknya 1% dari penampang melintang komposit total
2. Beton pembungkus inti baja harus ditulangi dengan batang tulangan longitudinal menerus dan sengkang pengikat lateral atau spiral. Apabila sengkang pengikat lateral digunakan, minimum dari batang tulangan No. 3 (10 mm) berspasi maksimum 12 in. (300 mm) as ke as, atau batang tulangan No. 4 (13 mm) atau lebih besar dengan spasi maksimum 16 in. (400 mm) as ke as harus digunakan. Tulangan kawat ulir atau tulangan kawat yang dilas dengan luas ekuivalen diizinkan. Spasi maksimum sengkang pengikat lateral tidak boleh melebihi 0,5 kali dimensi kolom terkecil.
3. Rasio tulangan minimum ρ_{sr} sebesar 0,004 digunakan untuk penulangan longitudinal menerus. Rasio ρ_{sr} adalah:

$$\rho_{sr} = \frac{A_{sr}}{A_g} \dots\dots\dots (2.66)$$

Keterangan :

A_{sr} = luas batang tulangan menerus (mm^2)

A_g = luas komponen struktur komposit (mm^2)

1.5.2 Kolom Tak Bergoyang

Kolom tidak bergoyang adalah kolom yang ujung-ujungnya tidak terjadi gerakan lateral (YUDHA LESMANA, 2021). Kolom yang tidak bergoyang mempunyai ujung yang tetap atau tidak bergerak, seperti terlihat pada gambar 2.14 a. Keadaan ini terjadi pada struktur kolom yang menerima beban gravitasi tanpa terpengaruh oleh beban lateral berupa gempa bumi atau angin. Kolom tidak bergoyang terjadi karena adanya sistem penahan khusus seperti *bracing (truss)* atau dinding geser. Untuk struktur rangka tidak bergoyang dapat diambil nilai $K \leq 1,0$. Walaupun nilai $K = 1$ hasilnya cukup konservatif (aman). Rumus yang digunakan

untuk kolom tidak bergoyang berdasarkan (SNI 1729-2020) Lampiran 8.2.1. sebagai berikut :

$$M_r = B_1 \times M_{nt} \dots\dots\dots (2.67)$$

$$P_r = P_{nt} \dots\dots\dots (2.68)$$

Adapun parameter faktor pembesaran (B_1) yaitu :

$$B_1 = \frac{C_m}{1 - \alpha \frac{P_r}{P_{e1}}} \geq 1 \dots\dots\dots (2.69)$$

$$P_{e1} = \frac{\pi^2 EI}{(L_c1)^2} \dots\dots\dots (2.70)$$

Keterangan :

M_r = Momen lentur perlu orde kedua

M_{nt} = Momen perlu dari hasil analisis struktur elastis linier

P_r = Gaya aksial perlu orde kedua

P_{nt} = Gaya aksial dari hasil Analisa struktur elastis linier

C_m = Koefisien untuk kolom tak bergoyang

- Balok kolom yang tidak memikul beban transversal

$$C_m = 0.6 - 0.4 \frac{M_1}{M_2}$$

- $C_m = 1,0$

P_{e1} = Kekuatan tekuk kritis

L_{c1} = Panjang efektif dibidang lentur

1.5.3 Kolom Bergoyang

Kolom bergoyang merupakan kolom yang mengalami perpindahan lateral pada daerah ujungnya (YUDHA LESMANA, 2021). Kolom bergoyang mengalami perpindahan pada bagian ujungnya seperti pada gambar. Kondisi ini terjadi pada struktur kolom yang menerima beban gravitasi dan beban lateral (gempa atau angin). Berikut persamaan yang digunakan untuk kolom bergoyang berdasarkan (SNI 1729-2020):

$$M_r = (B_1 \times M_{nt}) + (B_2 \times M_{lt}) \dots\dots\dots (2.71)$$

$$P_r = P_{nt} + (B_2 \times P_{lt}) \dots\dots\dots (2.72)$$

Parameter faktor pembesaran momen (B_1) adalah :

$$B_1 = \frac{1}{1 - a \frac{P_{story}}{P_{e story}}} \geq 1 \dots\dots\dots (2.73)$$

$$P_{e story} = R_m \frac{HL}{\Delta H} \dots\dots\dots (2.74)$$

$$R_m = 1 - 0.15 \frac{p mf}{P_{e Story}} \dots\dots\dots (2.75)$$

Keterangan :

R_m = Faktor yang memperhitungkan Efek P- Δ

P_{story} = Total beban vertikal dari semua kolom pada Tingkat yang ditinjau

$P_{e Story}$ = Kekuatan tekuk kritis elastis pada Tingkat yang ditinjau sesuai arah perpindahan.

H = Gaya geser pada ujung kolom

L = Tinggi tingkat

ΔH = Drift antar tingkat

P_{mf} = Total beban vertikal pada kolom yang ditinjau

A = 1,0

1.5.4 Kuat Tekan Nominal Kolom

Mengacu pada (AISC LRFD, 2003) kuat tekan kolom yang menggunakan profil baja WF yang terbungkus oleh beton nilai kuat tekan nominalnya dapat dicari dengan rumus berikut ini :

$$P_n = A_s \times f_{cr} \dots\dots\dots (2.76)$$

Nilai f_{cr} diperoleh dari dua rumus, bergantung pada nilai λ yang dapat dicari dengan rumus :

$$\lambda_c = \frac{KL}{r_m \pi} \left(\frac{F_{my}}{E_m} \right)^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (2.77)$$

Untuk nilai $\lambda_c \leq 1.5 \dots\dots\dots (2.78)$

$$F_{cr} = (0.658 \times \lambda^2) F_{my} \dots \dots \dots (2.79)$$

Untuk nilai $\lambda_c \geq 1.5 \dots \dots \dots (2.80)$

$$F_{cr} = \left(\frac{0.877}{\lambda_c}\right) F_{my} \dots \dots \dots (2.81)$$

Dengan :

K = faktor panjang efektif kolom

L = panjang aktual kolom (mm)

r_m = radius girasi kolom komposit (mm)

F_{my} = tegangan leleh yang dimodifikasi untuk kolom komposit

$$= f_y + C1.f_{yr} \left(\frac{A_r}{A_s}\right) + C2.f_c' \left(\frac{A_c}{A_s}\right), \text{ (mpa)}$$

E_m = modulus elastisitas pada kolom komposit yang dimodifikasi

$$= E + C3.E_c \left(\frac{A_c}{A_s}\right), \text{ (mpa)}$$

f_y = tegangan leleh baja profil (mpa)

E = modulus elastisitas baja profil (mpa)

A_c = luas bersih penampang beton

$$= A_g - A_s - A_r \text{ (mm}^2\text{)}$$

A_g = luas kotor penampang kolom komposit (mm²)

A_r = luas tulangan longitudinal (mm²)

E_c = modulus elastisitas beton

$$= 4700\sqrt{f_c'}, \text{ (mpa)}$$

f_c' = kuat tekan beton (mpa)

f_{yr} = tegangan leleh tulangan longitudinal (mpa)

C1 = 0.7

C2 = 0.6

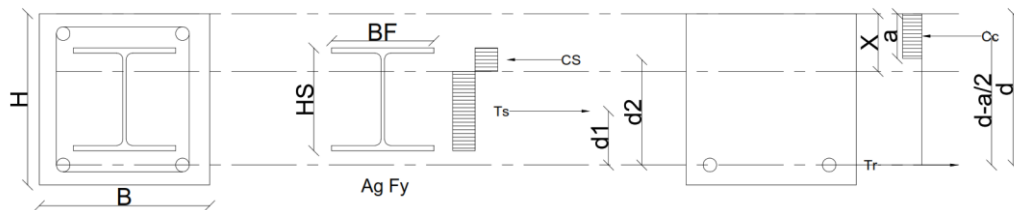
$$C3 = 0.2$$

1.5.5 Kuat Lentur Kolom

Dalam (SNI 1729-2020) diatur tentang kuat lentur kolom dengan 3 metode yaitu sebagai berikut :

1. Superposisi tegangan elastis pada penampang komposit, yang memperhitungkan efek penopangan untuk keadaan batas leleh (momen leleh).
2. Distribusi tegangan plastis pada penampang baja saja untuk keadaan batas leleh (momen plastis) pada penampang baja.

Distribusi tegangan plastis pada penampang baja komposit atau metode kompatibilitas regangan, untuk keadaan batas leleh (momen plastis) pada penampang komposit. Untuk komponen struktur terbungkus beton, angkur baja harus diberikan.



Gambar 2. 13 Distribusi Tegangan Plastis Penampang Komposit

1.5.5.1 Interaksi Kuat Lentur Kolom

Ketika merancang struktur dengan batang yang akan mengalami gaya aksial dan momen, penting untuk menggunakan perhitungan balok portal. Perhitungan ini membantu menentukan kuat lentur dan kuat tekan batang portal. Telah diketahui bahwa kuat tekan dipengaruhi oleh kuat lentur, sedangkan gaya aksial dipengaruhi oleh gaya lentur.

Oleh karena itu, persamaan yang menggambarkan hubungan antara kuat lentur dan kuat tekan akan dibahas kemudian. Menurut SNI 1729:2020 pasal H1, persamaan ini membatasi interaksi lentur dan gaya tekan pada struktur simetri ganda dan komponen struktur simetri tunggal yang membengkok pada sumbu geometri (x atau y).

$$\text{a) Jika } \frac{Pr}{Pc} \geq 0,2 \text{ maka : } \frac{Pr}{Pc} + \frac{8}{9} \left(\frac{Mrx+Mry}{Mcx+Mcy} \right) \leq 1,0 \dots\dots\dots (2.82)$$

$$\text{b) Jika } \frac{Pr}{Pc} \leq 0,2 \text{ maka : } \frac{Pr}{Pc} + \frac{8}{9} \left(\frac{Mrx+Mry}{Mcx+Mcy} \right) \leq 1,0 \dots\dots\dots (2.83)$$

Keterangan :

Pr = kekuatan aksial perlu (N)

Pc = Kekuatan aksial desain (N)

Mr = Kekuatan lentur perlu (Nmm)

Mc = Kekuatan lentur desain (Nmm)

1.6 Sistem Penahan Gaya Gempa

Sistem struktur penahan gempa berfungsi untuk pendetailan bagian struktur utama supaya kuat untuk menahan gaya gempa arah horizontal maupun arah vertikal. Sistem penahan gaya gempa sendiri ada beberapa macam, seperti untuk struktur baja terdapat penahan gempa *Bracing*. Beberapa jenis *Bracing* untuk bangunan gedung adalah *bracing EBF (Eccentrically Braced Frame)* dan *CBF (Concentrically Braced Frame)*.

Pembebanan gravitasi akibat beban sendiri, beban hidup, beban mati tambahan, beban angin dan beban gempa sedang, diharapkan struktur dapat berperilaku elastis. Yang dimaksud dengan elastis adalah ketika beban hilang maka deformasi juga hilang. Tetapi pada gempa besar jika struktur didesain secara elastis akan sangat tidak praktis dan mahal, maka diijinkan kondisi inelastis.

Perencanaan struktur tahan gempa ini menggunakan metode *capacity code* karena tidak ada jaminan bahwa gempa yang akan terjadi dibawah gempa rencana. Dengan cara tersebut struktur direncanakan sedemikian rupa sehingga bila terjadi kondisi inelastis hanya terjadi pada tempat yang di rencanakan. Sedangkan bagian struktur yang lainnya di desain tetap elastis sehingga ketika terjadi kerusakan masih bisa diperbaiki.

Beberapa jenis sistem penahan gempa untuk bangunan dengan tipe beton struktural ada beberapa jenis tergantung dari letak dimana gedung akan dibangun. Sering dijumpai gedung dengan penahan gempa Sistem Rangka Pemikul Momen. SRPM dibagi menjadi tiga jenis yakni SRPMB (Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa), SRPMM (Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah), SRPMK (Sistem

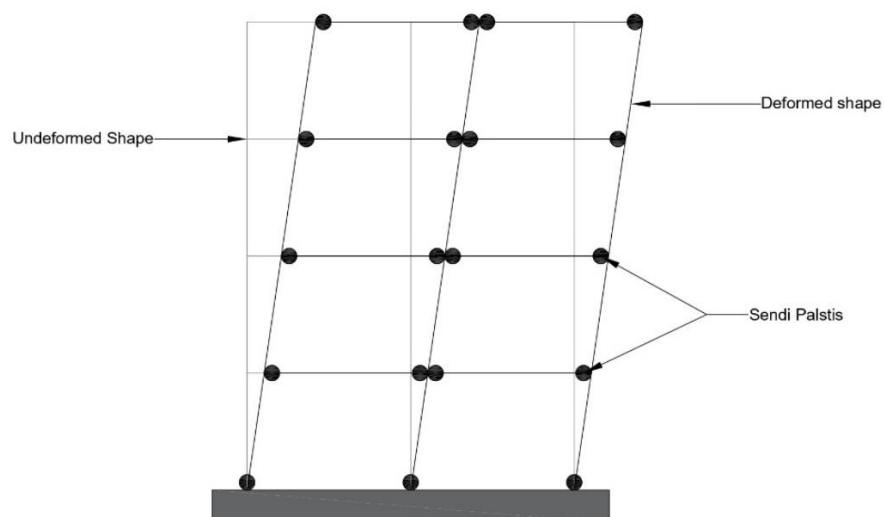
Rangka Pemikul Momen Khusus). Sistem penahan gaya gempa untuk struktur baja memiliki banyak variasi dari struktur beton, seperti sistem portal, *bracing*, eksentrik *bracing*, *plate shear wall* dan masih banyak lagi.

Dalam penelitian ini dipakai penahan gaya gempa Sistem Rangka Pemikul Momen. Karena letak daerah gedung yang memiliki kategori gempa tinggi maka diperbolehkan untuk menggunakan sistem tersebut.

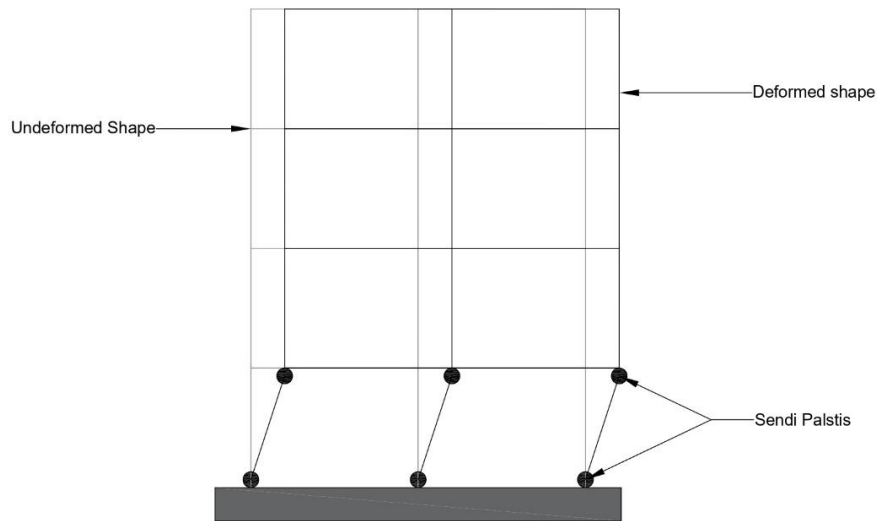
1.6.1 *Special Moment Frame (SMF)*

SMF (*Special Moment Frame*) adalah salah satu sistem rangka yang di desain untuk bekerja secara inelastic penuh. Pada bagian yang akan mengalami sendi plastis perlu disiapkan secara khusus. Sistem ini cocok dipakai untuk perencanaan gedung tinggi yang masih memungkinkan untuk memakai sistem portal. Pada umumnya persyaratan ketinggian diatur oleh persyaratan deformasi lateral.

Salah satu hal paling penting dalam perencaan *Special Moment Frame* adalah struktur rangka harus di desain *Strong Colum-Weak Beam* untuk memastikan tidak terjadinya sendi plastis di kolom, yang dapat menyebabkan *Story Mechanisms*.



Gambar 2. 14 Strong Column-Weak Beam



Gambar 2. 15 Story Mechanism

Jenis sambungan kolom-balok dapat dipakai di rangka SMF namun harus dengan perhitungan yang didukung data empiris dari laboratorium bahwa sambung tersebut memiliki daktilitas yang cukup untuk menahan sudut *interstory drift* minimum sebesar 0,04 radian (Wiryanto Dewobroto,2016). Beberapa jenis sambungan yang telah distandarisasi dan terbukti oleh hasil pengujian adalah *extended end plate*.

Variasi jenis sambungan tergantung pada metode pelaksanaannya, misalnya sambungan jenis *Reduce beam* perlu pekerjaan las di lapangan. Persyaratannya tentu terkait dengan sumber daya pekerja yang ada. Karena pengelasan memerlukan tenaga ahli dalam pengelasan. Berbeda dengan *Extended End Plate* yang menggunakan baut mutu tinggi, memerlukan tingkat presisi pekerjaan pabrikasi yang tinggi

1.6.2 *Intermediate Moment Frames (IMF)*

Intermediate Moment Frames (IMF) merupakan sistem dengan daktilitas sedang yang digunakan pada daerah dengan risiko gempa sedang. Hal ini dirancang untuk menahan gaya yang ada, khususnya kolom untuk menahan geser. Desainnya harus memenuhi persyaratan Badan Standardisasi Nasional (SNI) struktur tahan

gempa. Sistem ini menguntungkan karena arsitekturnya sederhana dan memerlukan penguatan minimal. Namun berisiko juga jika terjadi perubahan alam yang mempengaruhi kondisi tanah. Jenis rangka ini mirip dengan SMF yaitu mampu berperilaku inelastis tetapi terbatas. Sistem cocok digunakan untuk bangunan bertingkat rendah dengan kategori gempa sedang. Sistem sambungan kolom balok mirip dengan SMF namun hanya terbatas pada daktilitasnya yaitu perputaran sudut *interstory drift* minimum 0,02 radian.

Dalam (SNI 1726-2019) *Intermediate Moment Frames (IMF)* di syarkan dengan kategori berikut :

1. *IMF* didesain untuk kategori desain seismic B dan C.
2. Diizinkan memiliki ketinggian gedung sampai h_m 20 m apabila beban mati yang ditanggungnya tidak melebihi $0,96 \text{ kN/m}^2$.
3. Struktur rangka baja pemikul momen menengah yang didesain untuk kategori desain seismic B dan C diizinkan dalam konstruksi rangka ringan sampai ketinggian, h_n , 10 m, di mana beban mati atap atau beban mati di semua lantai di atas dasar yang didukung dan tributari pada rangka momen tidak melebihi $1,68 \text{ kN/m}^2$.

Struktur rangka baja pemikul momen menengah satu tingkat yang dikategorikan untuk desain seismic B diperkenankan memiliki tinggi h_{nh_nhn} sampai 20 m, dengan syarat beban mati dan beban atap tributarinya tidak melebihi $0,96 \text{ kN/m}^2$. Beban mati tributari dari dinding eksterior yang terletak lebih dari 10 m di atas fondasi juga dibatasi maksimal $0,96 \text{ kN/m}^2$.

1.6.3 *Ordinary Moment Frame (OMF)*

Ordinary Moment Frame (OMF) adalah sistem rangka yang hanya berfungsi dalam wilayah elastis dan diterapkan pada bangunan dengan beban gravitasi dominan, seperti struktur tidak bertingkat dengan bentang panjang. Sambungan balok-kolom pada OMF berbeda dengan SMF dan IMF, dapat berupa *fully restrained*, *semi-rigid*, atau *partially restrained*.

Karakteristik utama dalam perencanaan struktur baja adalah variasi jenis dan detail sambungan yang cukup banyak. Berbeda dengan struktur beton yang dicor secara monolit, elemen baja dibuat terpisah dan dirakit di lokasi menggunakan

sambungan. Pilihan sistem sambungan ini akan memengaruhi kekuatan struktur, biaya, metode konstruksi, serta waktu pelaksanaan.

Gaya internal pada sambungan baut terdiri dari tarik, geser, atau kombinasi keduanya, yang bergantung pada konfigurasi sambungan dan arah beban. Sambungan kemudian dapat digolongkan sebagai tipe geser, tarik, atau kombinasi. Berdasarkan Wiryanto Dewobotro (2016), sambungan dengan kekakuan maksimum adalah yang menahan momen dengan rotasi paling kecil. Salah satu karakteristik konstruksi baja adalah penyatuan modul-modul melalui sambungan, yang memungkinkan waktu pelaksanaan di lapangan menjadi relatif singkat.

1.7 Perencanaan Sambungan

1.7.1 Sambungan Baut

Penempatan *shear bolt* serta metode pengencangan *high-strength bolt* menentukan performa kekuatan dan kekakuan sambungan. Dua mekanisme transfer gaya dikenal, yaitu mekanisme slip kritis dan mekanisme titik tumpu, yang hanya dapat diamati saat sambungan dibebani. Apabila baut tetap tidak tergelincir, mekanisme slip kritis berlaku dengan kekuatan ditentukan oleh tahanan gesek. Sebaliknya, jika terjadi tergelincir, mekanisme titik tumpu digunakan. Sambungan slip-kritis secara khusus dirancang untuk mencegah tergelincir, penting pada struktur yang mengalami beban bolak-balik seperti tarikan-desak pada jembatan. Beban jangka panjang dapat menyebabkan kerusakan pada kondisi tegangan elastis. Tidak semua sambungan memerlukan resistensi tinggi; pada bangunan, sambungan hanya direncanakan untuk mendukung mekanisme tertentu sehingga jumlah baut lebih sedikit dan biaya lebih efisien.

Pemilihan *bolt connection* dilakukan agar kualitas pelaksanaan sesuai antara perencanaan dan realisasi di lapangan. Meskipun menggunakan high-strength bolt, sistem sambungan baut masih sulit menghasilkan sambungan yang benar-benar monolithic. Sambungan baut tersedia dalam berbagai jenis, dan pemilihan jenisnya disesuaikan dengan fungsi serta kebutuhan konstruksi di lapangan.

Baut Pass digunakan pada sambungan konstruksi berat dan terbuat dari baja mutu tinggi dengan $St < 420$. Pemasangannya memperhatikan kelonggaran pelat

sambungan dan diameter baut yang kecil (<0,1 mm). Jenis baut ini lazim dipakai pada jembatan yang berperan sebagai jalan raya sekaligus.

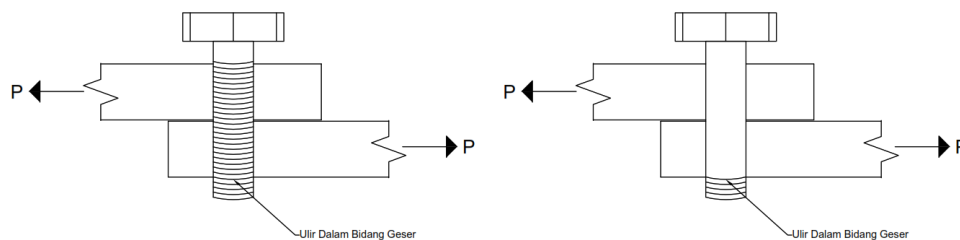
Menurut SNI 1729-2019 baut pas dibagi menjadi 3 golongan diantaranya:

- Golongan A meliputi ASTM F3125/ F3125M dengan grade A325, A325, F 1852.
- Golongan B meliputi ASTM F3125/F3125M dengan grade A490, A490M, F 2280.
- Golongan C yaitu meliputi ASTM F3043 dan F311.

Tabel 2. 17 Kuat Nominal Baut

Keterangan Pengencang Baut	Kekuatan Tarik Nominal, F_{nt} (Mpa)	Kekuatan Geser Nominal, F_{nv} (Mpa)
Baut grade A307	310	186
Baut grade A325 ulir terletak di bidang geser	620	372
Baut grade A325 ulir terletak di luar bidang geser	620	469
Baut grade A490 ulir terletak di bidang geser	780	469

(Sumber SNI 1729 : 2020)



Gambar 2. 16 Kondisi Bagian Ulir Baut Ddalam Sambungan

Proof load adalah gaya tarik awal yang dibutuhkan untuk pengencangan baut mutu tinggi, diperoleh dari pengencangan awal dan menghasilkan gesekan yang cukup menahan beban kerja. Besarnya pembuktian beban dihitung dengan menyesuaikan luas daerah tegangan tarik (AAA) dengan kekuatan luluh, melalui metode regangan 0,2 tangen atau persentase tertentu: 70% f_{uf} untuk A325 dan 80% f_{uf} untuk A490. Baut mutu normal dikencangkan secara manual, sedangkan baut mutu tinggi dikencangkan manual terlebih dahulu, kemudian ditambahkan setengah putaran menggunakan metode *Turn-of-the-Nut*.

$$A_s = \frac{\pi}{4} \left[db - \frac{0.8743}{n} \right]^2 \dots\dots\dots (2.84)$$

Keterangan :

d_b = diameter nominal baut

n = jumlah ulir per mm

1.7.1.1 Tahanan Nominal Baut

Untuk baut yang menahan beban terfaktor Ru_r , desain harus memenuhi kriteria yang ditentukan oleh LRFD:

$$Ru \leq \phi Rn \dots \dots \dots (2.85)$$

1.7.1.2 Esensi Penting Perencanaan Sambungan

Esensi perencanaan sambungan tarik adalah memastikan elemen yang terhubung memenuhi kriteria perancangan. Elemen paling menentukan adalah baut, yang memiliki kapasitas tarik terbatas. Walaupun distribusi gaya dalam sambungan dapat berbeda-beda berdasarkan konfigurasi, perencanaan mengasumsikan gaya terbagi merata ke setiap baut. Setiap baut yang menerima gaya tarik atau geser harus mempunyai tahanan nominal sesuai ketentuan di bawah ini :

$$Rn = F_n \times A_b \dots \dots \dots (2.86)$$

Keterangan :

A_b = Luas area shank dari bolt tanpa ulir (unthreaded) atau pada bagian berulir.

F_n = Kekuatan Tegangan tarik nominal, dengan F_{nt} atau Kekuatan tegangan geser

1.7.1.3 Kombinasi Gaya Tarik Dalam Sambungan Tipe Tumpuan

Untuk *bolt* yang bekerja pada kombinasi gaya tarik dan geser, kekuatan tariknya ditetapkan sesuai dengan batas keruntuhan geser berikut:

$$Rn = F'_{nt} \times A_b \dots \dots \dots (2.87)$$

Keterangan :

F'_{nt} = Kekuatan Tegangan tarik nominal yang sudah dimodifikasi serta mencakup efek daripada tegangan geser

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

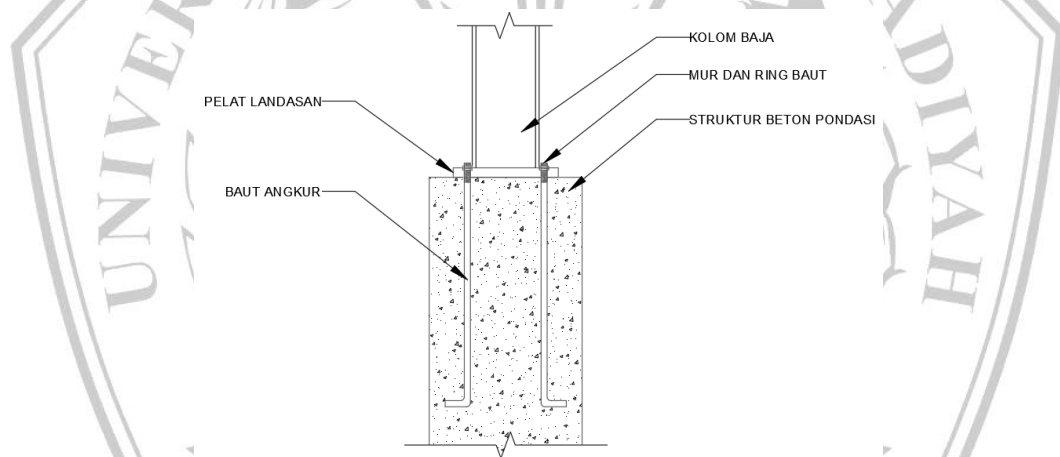
F_{nt} = Kekuatan Tegangan tarik nominal yang dibutuhkan

F_{nv} = Kekuatan Tegangan geser dari sambungan

f_{rv} = Kekuatan Tegangan geser yang diperlukan terhadap kombinasi beban.

1.7.2 Sambungan Base Plate

Bagian tumpuan kolom ke pondasi pada struktur baja disebut base plate, biasanya tersusun dari pelat dasar, anchor, dan stiffener. Elemen ini wajib menyalurkan gaya geser, aksial, dan momen lentur ke pondasi. Mengacu pada LRFD, base plate penahan momen harus memiliki kekuatan rencana minimal sama atau lebih besar daripada kekuatan yang diperlukan, termasuk momen lentur (M_u), gaya aksial (P_u), dan gaya geser (V_u) pada semua kombinasi pembebanan yang ditentukan.



Gambar 2. 17 Potongan Melintang Base Plate

Kategori A, Pada base plate tanpa momen lentur, elemen dapat dianggap sebagai tumpuan sendi yang memikul gaya aksial dan geser. Distribusi tegangan di bidang kontak menjadi merata karena momen lentur tidak ada. Anchor dipasang untuk menahan gaya geser, dan reaksi tumpuan beton (P_p) harus terletak pada garis aksi yang sama dengan beban aksial yang bekerja.

$$P_u \leq \phi_c P_p \dots\dots\dots (2.88)$$

$$P_p = 0.85f_c' A_1 \cdot \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \dots\dots\dots (2.89)$$

Dengan :

f_c' = Kuat tekan beton

A_1 = Luas Penampang Baja yang ekstremitas pada permukaan pelat beton

A_2 = Luas maksimum bagian permukaan beton yang

geometris sama dengan konsentris dengan daerah yang diberi beban

Terlebih base plate yang masuk dalam kategori 1 (tidak terdapat momen lentur), maka

$$A_1 = B \cdot N$$

Sehingga,

$$P_u \leq (0.6) (0.85) f_c' B \cdot N \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \dots\dots\dots (2.90)$$

$$P_u \leq (0.6) (0.85) f_c' B \cdot N \dots\dots\dots (2.91)$$

Kategori B, Pada base plate kategori B, elemen menahan gaya aksial, gaya geser, dan momen lentur dengan intensitas rendah. Tegangan tidak selalu merata, tetapi momen lentur tidak menyebabkan uplift. Anchor menjaga gaya geser dan stabilitas struktur selama konstruksi. Momen lentur dianggap sebagai beban terpusat P_u yang bekerja dengan eksentrisitas e terhadap sumbu kolom. Hubungan yang berlaku dijelaskan sebagai berikut :

$$A_1 = B \times Y \dots\dots\dots (2.92)$$

$$P_u \leq (0.6) (0.85) f_c' B \times Y \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \leq (0.6) (0.85) f_c' B \times Y \dots\dots\dots (2.93)$$

Kategori C, Ketika momen lentur bertambah, base plate berada di ambang elastisitasnya, sehingga sedikit penambahan momen lentur dapat memicu uplift pada plat beton penumpu. Berdasarkan kategori B, momen lentur dianggap sebagai gaya aksial dengan eksentrisitas e terhadap sumbu kolom. Eksentrisitas maksimum yang tidak menimbulkan uplift adalah $N/6$.

Untuk base plate dalam kategori C, berlaku hubungan :

$$A_1 = B \times YI \dots\dots\dots (2.94)$$

$$P_u \leq (0,6) (0,85) f_c' B.Y \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \leq (0,6) (0,85) f_c' B \times Y \dots\dots\dots (2.95)$$

$$P_u \leq (0,51) f_c' B \left(\frac{2}{3} N\right) \cdot \sqrt{\frac{A_2}{B\left(\frac{2N}{3}\right)}} \leq (1,02) f_c' B \times Y \left(\frac{2}{3} N\right) \dots\dots\dots (2.96)$$

1.7.3 Sambungan Las

Pengelasan adalah proses penyambungan bahan logam atau non logam dengan cara meleburkannya menjadi satu. Saat ini pengelasan telah mengalami kemajuan teknik modern. Namun, kemajuan penggunaan pengelasan relatif lambat dan terbatas pada struktur tertentu. Hal ini disebabkan oleh persepsi negatif yang muncul di bidang teknik yang mencakup dua faktor. Pertama, pengelasan dapat menurunkan kekuatan leleh material baja dibandingkan paku keling dan baut. Kedua, memastikan kualitas sambungan las tanpa pengawasan yang tepat dan inspeksi yang mahal merupakan suatu tantangan. Karena alasan ini, sebagian besar desainer lebih memilih metode penyambungan alternatif, kecuali pengelasan diperlukan untuk keadaan khusus.

Penggunaan sambungan las di atur dalam SNI 1729-2020, AISC dan *American Welding Society (AWS)*. Jenis las yang ada hingga saat ini antara lain :

1. *Arc Welding* adalah jenis las yang sering digunakan di dalam dunia konstruksi/industry. Nama lain jenis ini adalah las tipe Listrik.
2. *Gas Shielded stud welding*
3. *Sub merged arc welding*
4. *Gas tungsten arc welding*
5. *Gas metal arc welding*
6. *Shielded metal are welding (SMAW)*
7. *Atomic hydrogen*
8. *Arc Spot welding*

Klasifikasi las berdasarkan penggunaan sambungan las pada struktur dibagi menjadi tiga jenis, antara lain :

- a) Las sudut (*fillet welds*) dipakai untuk menyambungkan elemen yang saling *overlap*. Las ini paling sering digunakan karena ekonomis, pengerjaannya mudah, dan dapat dikerjakan oleh operator dengan kemampuan menengah.
- b) *Groove welds* atau las tumpul dipakai untuk menghubungkan elemen-elemen dalam satu level bidang tanpa adanya *overlap*. Biayanya lebih tinggi dibanding *fillet welds* akibat pengeluaran tambahan untuk persiapan las (*cost preparation*).

Jenis *las plug dan slot weld* tidak umum dipakai di bidang konstruksi karena tidak mampu menahan beban tegak lurus arah las. Kurangnya penetrasi (*penetration*) ke dalam profil baja membuat las ini kurang efektif untuk memikul gaya tarik.

1.7.3.1 Tebal Efektif Las Sudut

Dalam Proses Analisa dan desain dari las sudut, ada beberapa parameter yang perlu diperhatikan, salah satunya ketebalan efektif las (t_e). Nilai ketebalan efektif las sudut dapat diperoleh dari rumus berikut :

- Las sudut-sudut sama kaki
 $t_e = 0,707 \times w \dots\dots\dots (2.97)$

- Las sudut=sudut tidak sama
 $t_e = \frac{w \times b}{\sqrt{w^2 + b^2}} \dots\dots\dots (2.98)$

Ketebalan efektif digunakan sebagai batasan untuk menghitung luasan lasan, yaitu:

$$A_{we} = t_e \times l_e \dots\dots\dots (2.100)$$

Keterangan Dari Rumus:

- t_e = Tebal efektif lasan
- w = Ukuran Kaki-Kaki Las
- A_{we} = Luasan Efektif dari Las
- l_e = Panjang efektif las profil

1.7.3.2 Tebal Minimum Las Sudut

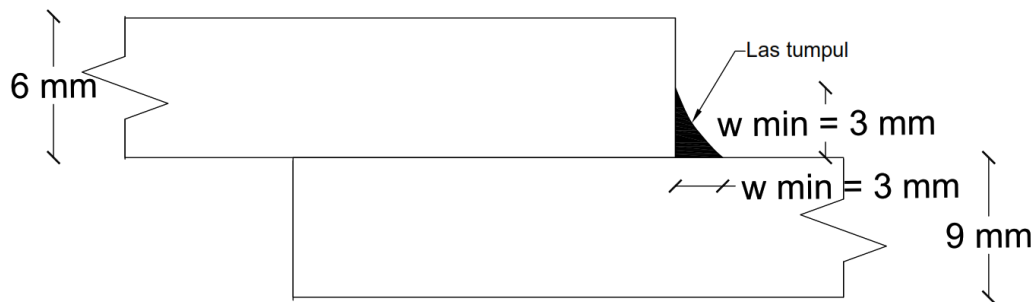
Dalam SNI 1729-2020 ketebalan minimum las sudut diatur guna memastikan kekuatan sambungan yang direncanakan.

Tabel 2. 18 Ketebalan Minimum Las Sudut

No	Ketebalan profil dari bagian yang tersambung. (mm)	Ukuran (w) minimum las sudut (mm)
1.	Rentang Sampai dengan 6	3
2.	Lebih dari 6-13	5
3.	Lebih dari 13-19	6
4.	Lebih dari 19	8

(Sumber : SNI 1729 : 2020)

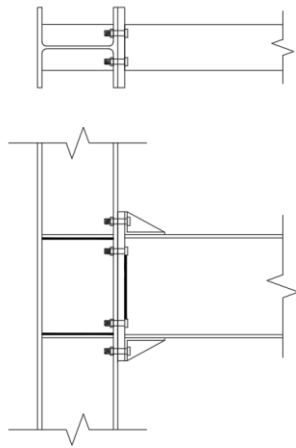
Ilustrasi dari tabel diatas dapat dilihat pada gambar 2.17, ukuran minimum dari dua pelat yang disambung 6 mm, sehingga berdasarkan tabel maka ukuran kaki minimum yang dipakai adalah 3 mm.



Gambar 2. 18 Ketebalan Las Berdasarkan Tebal Profil Yang Disambung

1.7.3.3 Sambungan Momen *End Plate*

Untuk tipe sambungan *end plate* diatur dalam (SNI 7972-2020) yang berisikan tata cara perencanaan sambungan momen *end plate*. Terkhusus untuk perencanaan gedung menggunakan sistem penahan gempa *MRF (Moment Resisting Frame)*. Dalam bukunya (Wiryanto Dewobroto, 2016) menjelaskan bahwa implementasi sambungan *end plate* pada bangunan portal baja relatif sederhana baik untuk kolom sisi kuat maupun sisi lemah.



Gambar 2. 19 Aplikasi Sambungan End Plate Pada Portal Baja

Pada sambungan end plate berkoneksi baut, balok pertama-tama dilas ke end plate, lalu end plate dipasang ke sayap kolom melalui baut. Untuk struktur yang terletak daerah rawan gempa, sistem kolom didesain memenuhi kriteria *strong column weak beam*, memastikan kondisi inelastis terjadi pada balok. Sehingga sistem sambungan *end plate* yang diperlukan sekuat profil, namun untuk sistem struktur daktail gempa, kapasitas momen rencana harus diperbesar untuk memastikan bahwa kondisi inelastis hanya terjadi pada balok.