

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gambaran Umum

Beton terdiri dari campuran agregat, semen, dan air yang digabungkan dalam keadaan plastis, sehingga mudah untuk diproses. Sifat ini memungkinkan beton dibentuk sesuai dengan kebutuhan pengguna. Setelah pencampuran, terjadi reaksi kimia yang umumnya berupa hidrasi, yang menghasilkan pengerasan dan peningkatan kekuatan beton (Ahmad dkk., 2009). Beton adalah bahan konstruksi bangunan yang sering digunakan dalam berbagai jenis bangunan struktur. Hampir semua bangunan struktur seperti gedung, bangunan air, dan bangunan transportasi, dirancang dengan beton sebagai bahan utama. salah satu keunggulan beton adalah kemampuannya untuk menahan beban tekan, tahan terhadap cuaca dan suhu tinggi, mudah dibentuk, serta mudah dalam perawatannya (Hamdi Fauzan dkk., 2022).

Struktur bangunan gedung yang menggunakan beton sebagai bahan harus dirancang berdasarkan kekuatan tekan beton yang telah ditentukan dan sesuai dengan standar yang berlaku. Beton yang digunakan dalam bangunan struktural harus direncanakan dengan baik agar mampu menahan beban yang diterima oleh struktur tersebut. Variasi mutu beton digunakan sebagai acuan untuk menentukan kekuatan, kualitas, dan karakteristik beton tersebut. Mutu beton biasanya dinyatakan dengan angka dan huruf, di Indonesia menggunakan huruf K, yang menunjukkan kuat tekan per cm^2 . Kualitas beton terbagi dalam beberapa kategori mulai dari K-100 hingga K-500. Sebagai contoh, K-100 menunjukkan bahwa kekuatan minimum beton adalah 100 kg/cm^2 .

Beton mutu tinggi merupakan komponen utama dalam setiap elemen beton prategang. Oleh karena itu, kekuatan dan daya tahan jangka panjang beton prategang harus dicapai melalui jaminan kualitas dan pengendalian mutu yang tepat selama tahap produksi. Menurut ACI 318, beton yang dikategorikan sebagai beton mutu tinggi memiliki kuat tekan silinder yang melebihi 6000 hingga 12000 psi (42-84 MPa) (Nawy, 2001).

Mutu beton yang dibedakan berdasarkan kuat tekan dan penggunaannya, Berdasarkan kekuatan tekannya beton dapat diklasifikasikan menjadi beton mutu rendah, sedang (normal) dan tinggi PU (Puslitbang Prasarana Transportasi, Divisi 7 – 2011, Tabel 2.1 Kekuatan tekan ini didasarkan atas hasil uji menggunakan benda uji silinder berdiameter 150mm, tinggi 300mm) atau kubus 150 mm x 150 mm x 150 mm.

Tabel 2. 1 Mutu Beton dan Penggunaannya

Jenis Beton f_c' (MPa)	σ_{bk}' (Kg/cm ²)	Uraian
Mutu tinggi $f_c' > 45$	K400 – K800	Umumnya digunakan untuk beton prategang seperti tiang pancang beton prategang, gelagar beton prategang, pelat beton prategang dan sejenisnya
Mutu sedang $20 < f_c' < 45$	K250 – < K400	Umumnya digunakan untuk beton bertulang seperti pelat lantai jembatan, gelagar beton bertulang, diafragma, kerb beton pracetak, gorong-gorong beton bertulang, bangunan bawah jembatan.
Mutu rendah $15 < f_c' < 20$	K175 – < K250	Umumnya digunakan untuk bangunan beton tanpa tulangan seperti beton siklop, trotoar dan pasangan batu kosong yang diisi adukan, pasangan batu.
$10 < f_c'$	K125 – < K175	digunakan sebagai lantai kerja, penimbunan kembali dengan beton

Sumber : Tabel 1 Pedoman Konstruksi dan Bangunan

1. Kuat Tekan Beton Mutu Rendah (*Low Strength Concrete*)

Beton dikategorikan sebagai beton mutu rendah jika kuat tekannya kurang dari 17,5 MPa, atau jika hasil evaluasi kekuatan tekannya tidak memenuhi standar kriteria penerimaan. Secara struktural, beton yang digunakan pada bangunan yang direncanakan sesuai dengan peraturan SNI tidak boleh memiliki kuat tekan kurang dari 17 MPa (SNI 2847:2013, 2013) pasal 5.1.1, dan harus didasarkan pada uji silinder yang dibuat dan diuji sesuai dengan ketentuan yang berlaku dalam uji kuat tekan.

2. Kuat Tekan Beton Mutu Normal (*Normal Strength Concrete*)

Proporsi bahan untuk beton yang menghasilkan beton dengan mutu normal harus disusun sedemikian rupa agar memberikan kelecakan dan konsistensi yang memungkinkan beton mudah dicor ke dalam cetakan dan ke celah di sekitar tulangan, dengan berbagai kondisi pengecoran yang harus dilakukan, tanpa menyebabkan segregasi atau bleeding yang

berlebihan. Beton juga harus memenuhi persyaratan kategori paparan yang sesuai dan memenuhi standar uji kekuatan berdasarkan evaluasi dan penerimaan beton (SNI 2847:2013, 2013).

Kuat tekan beton normal berkisar antara 17 MPa hingga 41 MPa. Untuk mencapai kuat tekan beton normal dengan kinerja tertentu, biasanya ditambahkan bahan tambah, baik mineral maupun kimia.

3. Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi (*High Strength Concrete*)

Beton mutu tinggi (*high strength concrete*) adalah beton yang memiliki kekuatan tekan 6000 psi (40 MPa) atau lebih berdasarkan uji silinder. Produksi beton dengan kekuatan tekan tinggi memerlukan penelitian dan perhatian lebih terhadap kontrol kualitas dibandingkan dengan beton konvensional atau beton normal. Ketersediaan beton mutu tinggi secara komersial memberikan alternatif ekonomis untuk pembangunan struktur beton. Beberapa alasan penggunaan beton mutu tinggi antara lain:

- a. Untuk mencapai masa layanan beton pada umur yang lebih awal, misalnya pada perkerasan yang dapat mencapai kekuatan pada umur 3 hari.
- b. Untuk membangun gedung-gedung tinggi dengan mengurangi ukuran struktur dan meningkatkan luasan ruang yang tersedia.
- c. Untuk membangun struktur atas jembatan-jembatan dengan bentang panjang serta meningkatkan durabilitas lantai-lantai jembatan.
- d. Untuk memenuhi kebutuhan khusus pada aplikasi-aplikasi tertentu, seperti durabilitas, modulus elastisitas, dan kekuatan lentur.

Beberapa dari aplikasi ini termasuk dam, atap-atap tribun, pondasi-pondasi pelabuhan, garasi-garasi parkir, dan lantailantai heavy duty pada area industri.

2.2 Pembebanan

Dalam perencanaan struktur bangunan di Indonesia, harus mengikuti peraturan pembebanan yang berlaku untuk menciptakan spesifikasi struktur yang aman. Beban diartikan sebagai gaya atau aksi yang diakibatkan oleh berat keseluruhan bahan yang terdapat dalam suatu bangunan termasuk penghuni, barang-

barang perabotan didalam nya, efek lingkungan seperti angin dan gempa, perbedaan pergerakan, dan gaya kekangan akibat adanya perubahan pada dimensi bangunan (SNI 1727:2020). Dalam perencanaan struktur bangunan di Indonesia, pembebanan dapat menggunakan acuan standar yaitu:

1. Untuk acuan desain minimum pembebanan menggunakan SNI 1727:2020.
2. Untuk persyaratan dalam desain beton struktural menggunakan acuan SNI 2847:2019.
3. Untuk perhitungan beban gempa acuan yang dipakai adalah SNI 1726:2019.

2.2.1 Beban Mati (Dead Load)

Menurut SNI, beban mati adalah berat dari seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, finishing, klading gedung, serta komponen arsitektural dan struktural lainnya. Selain itu, beban mati juga mencakup peralatan layanan terpasang lainnya, seperti berat derek dan sistem pengangkut material. Tabel 2.2 di bawah ini menunjukkan berbagai jenis berat bahan bangunan dan komponen gedung menurut Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung 1983.

Tabel 2. 2 Berat Sendiri Bahan Bangunan & Komponen Gedung

Bahan Bangunan	
Baja	7.850 kg/m ³
Batu Alam	2.600 kg/m ³
Batu Belah, Batu Bulat, Batu Gunung (Berat Tumpuk)	1.500 kg/m ³
Batu Karang (Berat Tumpuk)	700 kg/m ³
Batu Pecah	1.450 kg/m ³
Besi Tuang	7.250 kg/m ³
Beton ⁽¹⁾	2.200 kg/m ³
Beton Bertulang ⁽²⁾	2.400 kg/m ³
Kayu (Kelas I) ⁽³⁾	1.000 kg/m ³
Kerikil, Koral (Kering Udara Sampai Lembab, Tanpa Diayak)	1.650 kg/m ³
	1.700 kg/m ³
	2.200 kg/m ³

Pasangan Bata Merah	2.200 kg/m ³
Pasangan Batu Belah, Batu Bulat, Batu Gunung	1.450 kg/m ³
Pasangan Batu Cetak	1.600 kg/m ³
Pasangan Batu Karang	1.800 kg/m ³
Pasir (Kering Udara Sampai Lembab)	1.850 kg/m ³
Pasir (Jenuh Air)	1.700 kg/m ³
Pasir Kerikil, Korol (Kering Udara Sampai Lembab)	2.000 kg/m ³
Tanah, Lempung Dan Lanau (Kering Udara Sampai Lembab)	11.400 kg/m ³
Tanah, Lempung Dan Lanau (Basah)	
Timah Hitam (Timbel)	
KOMPONEN GEDUNG	
Adukan, per cm tebal:	
- Dari semen	21 kg/m ²
- Dari kapur, semen merah atau tras	17 kg/m ²
Aspal, termasuk bahan – bahan mineral penambah, per cm tebal	14 kg/m ²
Dinding pasangan bata Merah:	450 kg/m ²
- Satu Batu	250 kg/m ²
- Setengah Batu	
Dinding pasangan batako:	
Berlubang:	200 kg/m ²
- Tebal dinding 20 cm (HB 20)	120 kg/m ²
- Tebal dinding 10 cm (HB 10)	
Tanpa lubang	300 kg/m ²
- Tebal dinding 15 cm	200 kg/m ²
- Tebal dinding 10 cm	
Langit-langit dan dinding (termasuk rusuk-rusuknya, tanpa penggantung langit-langit atau pengaku), terdiri dari :	11 kg/m ²
- semen ashes (etemit dan bahan lain sejenis), dengan tebal maksimum 4 mm	10 kg/m ²
- kaca, dengan tebal 3 - 4 mm	
Langit kayu sederhana dengan balok kayu, tanpa langit - langit dengan bentang maksimum 5 m dan untuk beban hidup maksimum 200 kg/m ²	40 kg/m ²
	7 kg/m ²

Penggantung langit-langit (dari kayu), dengan bentang maksimum 5 m dan jarak s.k.s. minimum 0,80 m	50 kg/m ² 40 kg/m ² 10 kg/m ²
Penutup atap genting dengan reng dan usuk/kaso per m ² bidang atap	24 kg/m ²
Penutup atap sirap dengan reng dan usuk/kaso, per m ² bidang atap	11 kg/m ²
Penutup atap seng gelombang (BWG 24) tanpa gordeng	
Penutup lantai dari ubin semen portland, teraso dan beton, tanpa adukan, per cm tebal Semen asbes gelombang (tebal 5 mm)	

Sumber : Peraturan Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983

2.2.2 Beban Hidup (Live Load)

Beban hidup merujuk pada beban yang ditimbulkan oleh pengguna dan penghuni bangunan atau struktur lainnya yang tidak termasuk dalam kategori beban konstruksi dan beban lingkungan, seperti beban angin, hujan, gempa, banjir, atau beban mati. Besar beban hidup pada setiap lantai gedung ditentukan berdasarkan fungsi bangunan yang telah disediakan, yang dapat dilihat pada tabel 2.3 di bawah ini.

Tabel 2. 3 Koefisien tekanan internal

Hunian Atau Penggunaan	Merata	
	Psf (kN/m ²)	Terpusat Lb (kN)
Apartemen (Lihat Rumah Tinggal)		
Sistem Lantai Akses		
- Ruang Kantor	50 (2,4)	2000 (8,9)
- Ruang Komputer	100 (4,79)	2000 (8,9)
Gudang Persenjataan Dan Ruang Latihan		
	150 (7,18)	
Ruang Pertemuan		
- Kursi Tetap (Terikat Di Lantai)	60 (2,87)	
- Lobi	100 (4,79)	
- Kursi Dapat Dipindahkan	100 (4,79)	
- Panggung Pertemuan	100 (4,79)	
- Lantai Podium	100 (4,79)	
- Tribun Penonton Stadion Dan Arena	100 (4,79)	
- Dengan Kursi Tetap (Terikat Di Lantai)	150 (7,18)	

- Ruang Pertemuan Lainnya	100 (4,79)	
Balkon Dan Dek	60 (2.87)	
	100 (4.79)	
	1,5 kali beban hidup untuk daerah yang dilayani. Tidak perlu melebihi 100 psf (4,79 kN/m ²)	
	40 (1,92)	
Jalur Untuk Akses Pemeliharaan		
Koridor	100 (4,79)	
- Lantai Pertama	Sama seperti	
- Lantai Lain	pelayanan hunian kecuali disebutkan lain	300 (1,33)
Ruang makan dan restoran Hunian (lihat rumah tinggal)	100 (4,79)	
Dudukan mesin elevator (pada area 2 in.x 2 in. [50 mm x 50 mm])		
Konstruksi pelat lantai finishing ringan (pada area 1 in.x 1 in. [25 mm x 25 mm])		300 (1,33)
Jalur penyelamatan saat kebakaran	100 (4,79)	
- Hunian satu keluarga saja	40 (1,92)	
Tangga Permanen		200 (0,89)
Garasi/Parkir (Lihat Pasal 4.11)		
- Mobil penumpang saja	40 (1,92)	Lihat Pasal
- Truk dan bus	Lihat Pasal	4.5.4
Pegangan tangga dan pagar pengaman	4.10.2	
- Batang pegangan	Lihat 4.5.1	Lihat Pasal
Helipad (Lihat Pasal 4.11)		4.10.1

- Helikopter dengan berat lepas landas sebesar 3.000 lb (13,35 kN) atau kurang		Lihat Pasal
- Helikopter dengan berat lepas landas Lebih dari 3.000 lb (13,35 kN)	40 (1,92)	4.10.2 Lihat 4.5.1
Rumah sakit	60 (2,87)	Lihat 4.5.2
- Ruang operasi, laboratorium		
- Ruang pasien		Lihat Pasal
- Koridor diatas lantai pertama		4.11.2
Hotel (lihat rumah tinggal)	60 (2,87)	Lihat Pasal
Perpustakaan	40 (1,92)	4.11.2
- Ruang baca	80 (3,83)	
- Ruang penyimpanan		1000 (4,45)
- Koridor di atas lantai pertama		
Pabrik		1000 (4,45)
- Ringan	60 (2,87)	
- Berat	150 (7,18)	1000 (4,45)
Gedung perkantoran	80 (3,83)	
Ruang arsip dan komputer harus dirancang untuk beban yang lebih berat berdasarkan pada perkiraan hunian	125 (6,00)	1000 (4,45)
- Lobi dan koridor lantai pertama	250 (11,97)	1000 (4,45)
- Kantor		1000 (4,45)
- Koridor di atas lantai pertama		
Lembaga hukum		2000 (8,90)
- Blok sel		
- Koridor		3000 (13,35)
Tempat rekreasi	100 (4,79)	
- Tempat bowling, billiard, dan penggunaan sejenis	50 (2,40)	
- Ruang dansa dan ballroom	80 (3,83)	
- Gimnasium		
Rumah tinggal		2000 (8,90)
Hunian satu dan dua keluarga	40 (1,92)	
	100 (4,79)	2000 (8,90)
- Loteng yang tidak dapat dihuni tanpa gudang		2000 (8,90)
- Loteng yang tidak dapat dihuni dengan gudang		
- Loteng yang dapat dihuni dan ruang tidur	75 (3,59)	
- Semua ruang kecuali tangga	100 (4,79)	
Semua hunian rumah tinggal lainnya	100 (4,79)	
- Ruang pribadi dan koridornya		
- Ruang publik		

- Koridor ruang public		
Atap		
Atap datar, berbubung, dan lengkung	10 (0,48)	
Atap yang digunakan penghuni	20 (0,96)	
	30 (1,44)	
	40 (1,92)	
Atap untuk tempat berkumpul		
Atap vegetatif dan atap lansekap	40 (1,92)	
- Atap bukan untuk hunian	100 (4,79)	
- Atap untuk tempat berkumpul	100 (4,79)	
- Atap untuk penggunaan lainnya	20 (0,96)	
Awning dan kanopi	Sama dengan penggunaan yang dilayani	
- Atap konstruksi fabric yang didukung oleh struktur rangka kaku ringan	100 (4,70)	
Rangka penumpu layar penutup	20 (0,96)	
	100 (4,79)	
	Sama dengan penggunaan yang dilayani	
Semua konstruksi lainnya	5 (0,24)	
- Komponen struktur atap utama, yang terhubung langsung dengan pekerjaan lantai tempat bekerja	5 (0,24)	
- Titik panel tunggal dari kord bawah rangka batang atap atau suatu titik sepanjang komponen struktur utama pendukung atap diatas pabrik, gudang penyimpanan dan pekerjaanya, dan garasi bengkel	berdasarkan area tributari	
- Semua komponen struktur atap utama lainnya	dari atap yang didukung oleh	200 (0,89)
Semua permukaan atap dengan beban pekerja pemeliharaan	komponen struktur rangka	
Sekolah		
	20 (0,96)	
- Ruang kelas		
- Koridor di atas lantai pertama		

-
- Koridor lantai pertama

Scuttles, rusuk untuk atap kaca dan langit-langit yang dapat diakses

Jalan di pinggir untuk pejalan kaki, jalan lintas kendaraan, dan lahan/jalan untuk truk – truk

Tangga dan jalan keluar

- Rumah tinggal untuk satu dan dua keluarga saja

Gudang diatas langit-langit 2000 (8,90)

Gudang penyimpanan dan pekerja

(harus dirancang untuk beban lebih berat jika diperlukan)

- Ringan
 - Berat
- 300 (1,33)

Toko 40 (1,92)

Eceran 80 (3,83)

- Lantai pertama 100 (4,79) 300 (1,33)

- Lantai diatasnya

Grosir, di semua lantai 1000 (4,45)

Penghalang kendaraan 250 (11,97) 1000 (4,45)

Susunan jalan dan panggung yang

ditinggikan (selain jalan keluar) 100 (4,79) 1000 (4,45)

40 (1,92) 200 (0,89)

Pekarangan dan teras, jalur pejalan

kaki 20 (0,96) 8000 (35,60)

300 (1,33)

125 (6,00) 300 (1,33)

250 (11,97)

100 (4,79)

75 (3,59)

125 (6,00)

	60 (2,87)	1000 (4,45)
		1000 (4,45)
		1000 (4,45)
	100 (4,79)	Lihat Pasal
		4.5.3

Sumber : SNI 1727:2020

2.2.3 Beban Gempa

Beban (E) merupakan cakupan beban yang diakibatkan oleh lingkungan dalam hal ini adalah bencana gempa bumi yang bekerja pada suatu bangunan. Beban gempa mencontoh pengaruh dari pergerakan tanah akibat gempa. Pada SNI 1726:2019 telah diatur tentang perencanaan beban gempa di Indonesia yang menetapkan ketentuan koefisien yang di gunakan meliputi beberapa faktor. Beban lateral yang dapat dihitung untuk analisa kerja beban gempa antara lain:

a. Geografis

Lokasi perencanaan suatu gedung memiliki pengaruh besar terhadap perencanaan beban gempa pada struktur. Hal ini disebabkan oleh perbedaan percepatan batuan dasar di setiap wilayah.

b. Faktor Keutamaan Gempa (I_e)

Faktor ini ditentukan berdasarkan jenis pemanfaatan gedung. Nilai I_e diperoleh berdasarkan kategori risiko bangunan yang tercantum pada Tabel 2.4.

Tabel 2. 4 Faktor Keutamaan Gempa

Kategori Risiko	Faktor Keutamaan Gempa, I_e
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

Sumber : SNI 1726:2019 (Tabel 4)

c. Kategori Desain Seismik

Struktur harus memiliki kategori desain seismik yang ditentukan berdasarkan tabel-tabel di bawah ini. Kategori desain seismik yang dipilih adalah yang memiliki tingkat beban paling tinggi dari kedua tabel tersebut. Berikut adalah Tabel 2.5 yang menunjukkan kategori risiko desain seismik untuk periode pendek.

Tabel 2. 5 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek

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

Sumber : SNI 1726:2019 Pasal 6.5 (Tabel 8)

Berikut adalah tabel 2.6 untuk kategori risiko desain seismik periode 1 detik:

Tabel 2. 6 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek 1 detik

Nilai S_{DS}	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0,067$	A	A
$0,067 \leq S_{DS} < 0,133$	B	B
$0,133 \leq S_{DS} < 0,20$	C	C
$0,20 \leq S_{DS}$	D	D

Sumber : SNI 1726:2019 Pasal 6.5 (Tabel 9)

d. Sistem Pemikul Gaya Seismik

Nilai koefisien modifikasi respon (R), faktor pembesaran defleksi (C_d), dan faktor kuat lebih sistem (Ω_0) harus diterapkan pada setiap sistem, sesuai dengan batasan sistem struktur yang tercantum dalam Tabel 2.7. Berikut ini adalah nilai R , C_d , dan Ω_0 untuk sistem penahan gaya seismik, yaitu sistem dinding penumpu dan sistem rangka pemikul momen.

Tabel 2. 7 Faktor R , C_d , dan Ω_0 untuk sistem pemikul gaya seismik

Sistem Pemikul Gaya Seismik	Koefisien modifikasi respons, R^a	Faktor kuat lebih sistem, Ω_{ob}	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
A. Sistem dinding penumpu								
1. Dinding geser beton bertulang khusus ^{g,h}	5	2½	5	TB	TB	48	48	30
2. Dinding geser beton bertulang biasa ^g	4	2½	4	TB	TB	TI	TI	TI

3. Dinding geser beton polos didetail ^g	2	2½	2	TB	TI	TI	TI	TI
4. Dinding geser beton polos biasa ^g	1½	2½	1½	TB	TI	TI	TI	TI
5. Dinding geser pracetak menengah ^g	4	2½	4	TB	TB	12 ⁱ	12 ⁱ	12 ⁱ
6. Dinding geser pracetak biasa ^g	3	2½	3	TB	TI	TI	TI	TI
7. Dinding geser batu bata bertulang khusus	5	2½	3½	TB	TB	48	48	30
8. Dinding geser batu bata bertulang menengah	3½	2½	2¼	TB	TB	TI	TI	TI
9. Dinding geser batu bata bertulang biasa	2	2½	1¾	TB	48	TI	TI	TI
10. Dinding geser batu bata polos didetail	2	2½	1¾	TB	TI	TI	TI	TI
11. Dinding geser batu bata polos biasa	1½	2½	1¼	TB	TI	TI	TI	TI
12. Dinding geser batu bata prategang	1½	2½	1¾	TB	TI	TI	TI	TI
13. Dinding geser batu bata ringan (AAC) bertulang biasa	2	2½	2	TB	10	TI	TI	TI
14. Dinding geser batu bata ringan (AAC) polos biasa	1½	2½	1½	TB	TI	TI	TI	TI
15. Dinding rangka ringan (kayu) dilapisi dengan panel struktur kayu yang ditujukan untuk tahanan geser, atau dengan lembaran baja	6½	3	4	TB	TB	20	20	20
16. Dinding rangka ringan (baja canai dingin) yang dilapisi dengan panel struktur kayu yang ditujukan untuk tahanan geser, atau dengan lembaran baja	6½	3	4	TB	TB	20	20	20
17. Dinding rangka ringan dengan panel geser dari semua material lainnya	2	2½	2	TB	TB	10	TI	TI
18. Sistem dinding rangka ringan (baja canai dingin) menggunakan bresing strip datar	4	2	3½	TB	TB	20	20	20
B. Sistem rangka bangunan								
1. Rangka baja dengan bresing eksentris	8	2	4	TB	TB	48	48	30
2. Rangka baja dengan bresing konsentris khusus	6	2	5	TB	TB	48	48	30
3. Rangka baja dengan bresing konsentris biasa	3¼	2	3¼	TB	TB	10 ^j	10 ^j	TI ^j

4. Dinding geser beton bertulang khusus ^{g,h}	6	2½	5	TB	TB	48	48	30
5. Dinding geser beton bertulang biasa ^g	5	2½	4½	TB	TB	TI	TI	TI
6. Dinding geser beton polos detail ^g	2	2½	2	TB	TI	TI	TI	TI
7. Dinding geser beton polos biasa ^g	1½	2½	1½	TB	TI	TI	TI	TI
8. Dinding geser pracetak menengah ^g	5	2½	4½	TB	TB	12 ⁱ	12 ⁱ	12 ⁱ
9. Dinding geser pracetak biasa ^g	4	2½	4	TB	TI	TI	TI	TI
10. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing eksentris	8	2	4	TB	TB	48	48	30
11. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	5	2	4½	TB	TB	48	48	30
12. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing biasa	3	2	3	TB	TB	TI	TI	TI
13. Dinding geser pelat baja dan beton komposit	6½	2½	5½	TB	TB	48	48	30
14. Dinding geser baja dan beton komposit khusus	6	2½	5	TB	TB	48	48	30
15. Dinding geser baja dan beton komposit biasa	5	2½	4½	TB	TB	TI	TI	TI
16. Dinding geser batu bata bertulang khusus	5½	2½	4	TB	TB	48	48	30
17. Dinding geser batu bata bertulang menengah	4	2½	4	TB	TB	TI	TI	TI
18. Dinding geser batu bata bertulang biasa	2	2½	2	TB	48	TI	TI	TI
19. Dinding geser batu bata polos didetail	2	2½	2	TB	TI	TI	TI	TI
20. Dinding geser batu bata polos biasa	1½	2½	1¼	TB	TI	TI	TI	TI
21. Dinding geser batu bata prategang	1½	2½	1¾	TB	TI	TI	TI	TI
22. Dinding rangka ringan (kayu) yang dilapisi dengan panel struktur kayu yang dimaksudkan untuk tahanan geser	7	2½	4½	TB	TB	22	22	22
23. Dinding rangka ringan (baja canai dingin) yang dilapisi dengan panel struktur kayu yang dimaksudkan untuk tahanan geser, atau dengan lembaran baja	7	2½	4½	TB	TB	22	22	22
24. Dinding rangka ringan dengan panel geser dari semua material lainnya	2½	2½	2½	TB	TB	10	TB	TB
25. Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	8	2½	5	TB	TB	48	48	30

26. Dinding geser pelat baja khusus	7	2	6	TB	TB	48	48	30
-------------------------------------	---	---	---	----	----	----	----	----

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	30	3½	10	10	10	10	10

D. Sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus yang mampu menahan paling sedikit 25 % gaya seismik yang ditetapkan

1. Rangka baja dengan bresing eksentris	8	2½	4	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka baja dengan bresing konsentris khusus	7	2½	5½	TB	TB	TB	TB	TB
3. Dinding geser beton bertulang khusus ^{g,h}	7	2½	5½	TB	TB	TB	TB	TB
4. Dinding geser beton bertulang biasa ^g	6	2½	5	TB	TB	TI	TI	TI
5. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing eksentris	8	2½	4	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	6	2½	5	TB	TB	TB	TB	TB
7. Dinding geser pelat baja dan beton komposit	7½	2½	6	TB	TB	TB	TB	TB

8. Dinding geser baja dan beton komposit khusus	7	2½	6	TB	TB	TB	TB	TB
9. Dinding geser baja dan beton komposit biasa	6	2½	5	TB	TB	TI	TI	TI
10. Dinding geser batu bata bertulang khusus	5½	3	5	TB	TB	TB	TB	TB
11. Dinding geser batu bata bertulang menengah	4	3	3½	TB	TB	TI	TI	TI
12. Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	8	2½	5	TB	TB	TB	TB	TB
13. Dinding geser pelat baja khusus	8	2½	6½	TB	TB	TB	TB	TB
E. Sistem ganda dengan rangka pemikul momen menengah mampu menahan paling sedikit 25 % gaya seismik yang ditetapkan								
1. Rangka baja dengan bresing konsentris khusus ^f	6	2½	5	TB	TB	10	TI	TI
2. Dinding geser beton bertulang khusus ^{g,h}	6½	2½	5	TB	TB	48	30	30
3. Dinding geser batu bata bertulang biasa	3	3	2½	TB	48	TI	TI	TI
4. Dinding geser batu bata bertulang menengah	3½	3	3	TB	TB	TI	TI	TI
5. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	5½	2½	4½	TB	TB	48	30	TI
6. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing biasa	3½	2½	3	TB	TB	TI	TI	TI
7. Dinding geser baja dan beton komposit biasa	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
8. Dinding geser beton bertulang biasa ^g	5½	2½	4½	TB	TB	TI	TI	TI
F. Sistem interaktif dinding geser-rangka dengan rangka pemikul momen beton bertulang biasa dan dinding geser beton bertulang biasa^g								
	4½	2½	4	TB	TI	TI	TI	TI
G. Sistem kolom kantilever didetail untuk memenuhi persyaratan untuk :								
1. Sistem kolom baja dengan kantilever khusus	2½	1¼	2½	10	10	10	10	10
2. Sistem kolom baja dengan kantilever biasa	1¼	1¼	1¼	10	10	TI'	TI'	TI'
3. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus ^m	2½	1¼	2½	10	10	10	10	10
4. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	1½	1¼	1½	10	10	TI	TI	TI
5. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	1	1¼	1	10	TI	TI	TI	TI
6. Rangka kayu	1½	1½	1½	10	10	10	TI	TI

H. Sistem baja tidak didetail secara khusus untuk ketahanan seismik, tidak termasuk sistem kolom kantilever	3	3	3	TB	TB	TI	TI	TI
--	---	---	---	----	----	----	----	----

Sumber : SNI 1726:2019 Pasal 7.2.2 (Tabel 12)

2.2.4 Beban Kombinasi

Kombinasi pembebanan dasar untuk metode kekuatan batas (ultimit) menurut SNI 1726:2019 dapat diuraikan sebagai berikut.

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

Sedangkan untuk kombinasi pembebanan akibat beban seismik, kombinasi pembebanan dasar harus diperhitungkan kembali.

2.3 Analisa Beban Gempa

Dalam SNI 1726:2019 telah dijelaskan tahapan analisa gempa untuk bangunan gedung, tahapan analisa inilah yang akan menentukan aman atau tidaknya sebuah struktur yang ketika menerima beban gempa ditinjau dari simpangan horizontal yang dihasilkan lalu dibandingkan dengan simpangan horizontal yang diizinkan. Untuk mengetahui keamanan dari sistem struktur yang digunakan pada suatu gedung terhadap kemampuan menahan gaya lateral akibat gempa perlu dilakukan analisa gempa. Berdasarkan SNI 1726:2019, dalam desain struktur tahan gempa terdapat analisa beban gempa berupa analisa dinamis, dilakukan apabila diperlukan evaluasi dengan akurasi yang lebih dari beberapa gaya gempa yang bekerja pada struktur.

Dalam struktur bangunan bertingkat dan bentuk struktur dengan bentuk konfigurasi tidak menentu, arah gaya gempa yang terjadi tidak dapat diprediksi. Dengan analisis dinamis, kita dapat memperkirakan arah gaya gempa sesuai elastisitasnya. Untuk menentukan elastisitas, terdapat beberapa cara yaitu Analisis Ragam Riwayat Waktu (*Time History Modal Analysis*), dimana memerlukan

rekaman percepatan gempa dan Analisis Ragam Spektrum Respons (*Response Spectrum Modal Analysis*), dimana memerlukan respons tertinggi dari setiap ragam getar yang didapat dari Spektrum Respons Rencana (*Design Spectra*).

2.3.1 Linear Time History Analysis

Metode Linear Time History Analysis adalah metode analisa beban gempa yang memakai rekaman gempa asli (ground motion) yang didapatkan secara langsung dari alat pendeteksi gempa (seismograph). Metode tersebut diatur pada SNI 1726-2019 pasal 7.9.2 halaman 78. Prosedur yang paling utama dari metode ini adalah proses penyetaraan intensitas gempa yang diketahui sebagai spectra matching method. Apabila melakukan analisa metode linear time history, kriteria desain struktur yang digunakan sama dengan metode response spectrum analysis. Hanya saja berbeda di pembebanan gempa, yang diatur secara lengkap dalam SNI 1726-2019 pasal 7.9.2 halaman 78. Untuk analisa dengan time history, perlu memperhitungkan pengaruh torsi tak terduga pada simpangan antar tingkat.

2.3.2 Response Spectrum Analysis

Response spectrum adalah metode gempa yang didapatkan dari rekaman riwayat percepatan dari model sistem derajat kebebasan tunggal (*single degree of freedom*) yang dibebani beban gempa berupa rekaman gempa asli (*ground motion*). Rekaman riwayat yang digunakan merupakan plot dari nilai maksimum (kecepatan, percepatan, dan perpindahan) dari periode yang berbeda. Dengan begitu terbentuk sebuah kurva yang dikenal sebagai response spectrum. Metode ini dijelaskan secara lengkap dalam SNI 1726-2019 pasal 7.9.1 halaman 77. Untuk analisa dengan response spectrum, tidak perlu memperhitungkan pengaruh torsi tak terduga pada simpangan antar tingkat.

2.3.3 Faktor Keutamaan dan Kategori Risiko Struktur Bangunan

Menurut SNI 1726-2019 pasalk 4.1.2, berbagai kategori resiko struktur bangunan gedung dan non gedung harus mempertimbangkan pengaruh gempa rencana yang dikalikan dengan faktor keutamaan gempa (I_e). Kategori resiko gempa ini dikelompokkan ke dalam empat kategori, berdasarkan fungsi atau penggunaan gedung, sebagaimana tercantum dalam tabel 2.8.

Tabel 2. 8 Kategori Risiko Bangunan untuk Beban Gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
<p>Gedung dan nongedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan, 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 	III
<p>Gedung dan nongedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 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.

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.

Sumber : SNI 1726:2019 Pasal 4.1.2 (Tabel 3)

2.3.4 Menentukan Faktor Keutamaan Gempa (I_e)

Setelah menentukan kategori risiko gempa, langkah selanjutnya adalah menetapkan faktor keutamaan gempa berdasarkan tabel 2.9. Faktor ini digunakan untuk menyesuaikan pengaruh gempa rencana sesuai dengan tingkat pentingnya struktur bangunan.

Tabel 2. 9 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 Pasal 4.1.2 (Tabel 4)

2.3.5 Menentukan Klasifikasi Situs

Berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 5.3, kelas situs dengan kondisi yang lebih buruk harus diberlakukan apabila tidak tersedia data tanah yang spesifik pada situs sampai kedalaman 30 m. Dengan begitu, sifat-sifat tanah harus diidentifikasi oleh seorang ahli geoteknik. Apabila sifat tanah yang memadai tidak tersedia untuk penentuan kelas situs, maka kelas situs SE harus digunakan sesuai dengan persyaratan 0, kecuali otoritas yang berwenang atau data geoteknik menunjukkan situs termasuk dalam kelas situs lainnya. Untuk kelas situs SA dan kelas situs SB tidak diperkenankan bila terdapat lapisan tanah antara dasar telapak atau rakit pondasi dan permukaan batuan dasar lebih dari 3 m.

Tabel 2. 10 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, $w > 40\%$,
3. Kuat geser niralir $\bar{s}_u < 25$ kPa

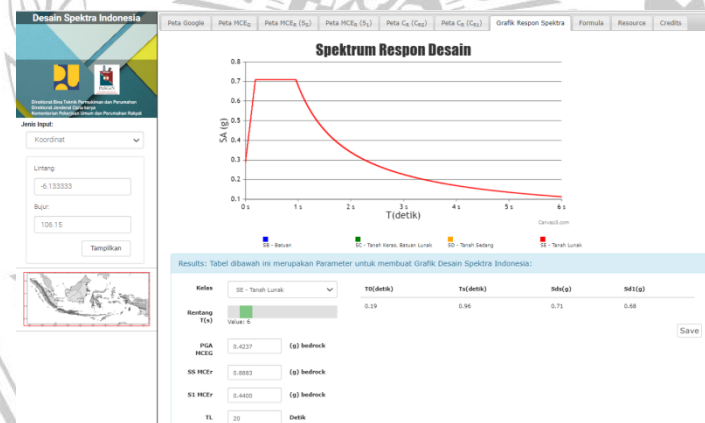
SF(tanah khusus, investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah
--	--

-
- spesifik-situs yang mengikuti 0)
- 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 Pasal 5.3 (Tabel 5)

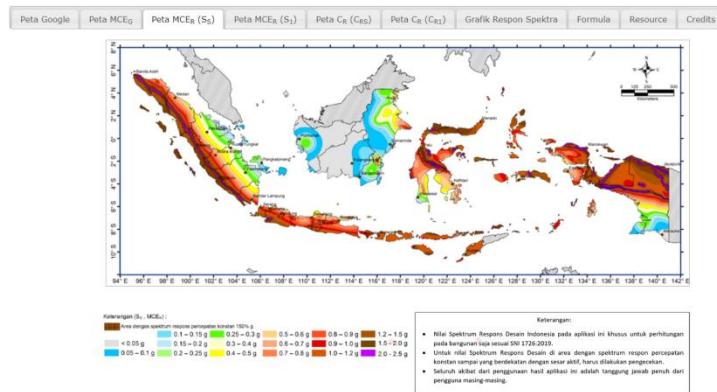
2.3.6 Parameter Respon Spektral Desain

Setelah menentukan kelas situs, maka dilakukan penentuan nilai parameter percepatan spectral desain. Berdasarkan SNI 1726-2019, Target respons spektra MCER dengan redaman 5 %, harus dikembangkan dengan menggunakan prosedur pada 0 atau 0. S1 untuk parameter respons percepatan spektral dari peta periode 1 detik dan Ss untuk parameter respons percepatan spektral dari peta periode pendek 35 0,2 detik. Nilai S1 dan Ss dapat dicari menggunakan aplikasi yang dikeluarkan oleh Pusat Litbang Perumahan dan Permukiman (Puskim). Berikut gambar 2.1 untuk desain spektra percepatan gempa.

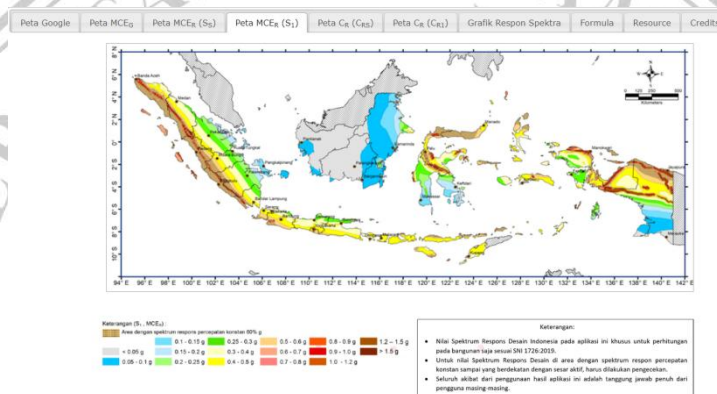


Gambar 2. 1 Desain Spektral Percepatan Gempa
 Sumber : <https://rsa.ciptakarya.pu.go.id>

Berikut adalah gambar 2.2 untuk peta MCER Ss seperti dibawah ini:



Gambar 2. 2 Peta MCER S_2
 Sumber : <https://rsa.ciptakarya.pu.go.id>
 Berikut adalah gambar 2.3 untuk peta MCER S_1 seperti dibawah ini:



Gambar 2. 3 Peta MCER S_1
 Sumber : <https://rsa.ciptakarya.pu.go.id>

2.3.7 Koefisien Situs dan Parameter Respons Spektra Percepatan Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko-Tertarget (MCER)

Pada SNI 1726-2019 Pasal 6.2 tentang penentuan respons spectral percepatan gempa MCER di permukaan tanah, dibutuhkan suatu faktor amplifikasi seismik pada periode 0,2 detik dan periode 1 detik. Parameter respons spectral percepatan pada periode pendek (SMS) dan periode 1 detik (SM1) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, ditentukan dengan rumus dibawah ini:

$$S_{MS} = F_a \times S_s \dots\dots\dots(2.1)$$

$$S_{MI} = F_v \times S_I \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan :

F_a = getaran periode pendek

F_v = getaran periode 1 detik

S_s = parameter respons spectral percepatan gempa MCER terpetakan untuk periode pendek

S_l = parameter respons spectral percepatan gempa MCER terpetakan untuk periode 1 detik

Untuk koefisien situs F_a dan F_v mengikuti pada tabel 2.11 dan tabel 2.12 dibawah ini:

Tabel 2. 11 Koefisien Situs, F_a

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

CATATAN :

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

Sumber : SNI 1726:2019 Pasal 6.2 (Tabel 6)

Tabel 2. 12 Koefisien Situs, F_v

Kelas Situs	Parameter respons spectral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode 1 detik, S_l					
	$S_l \leq 0,1$	$S_l = 0,2$	$S_l = 0,3$	$S_l = 0,4$	$S_l = 0,5$	$S_l \geq 0,6$
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

Sumber : SNI 1726:2019 Pasal 6.2 (Tabel 7)

2.3.8 Perhitungan Parameter Percepatan Gempa Desain

Berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 6.4, apabila spektrum respons desain diperlukan dan prosedur gerak tanah dari spesifik-situs tidak digunakan, maka langkah-langkah yang harus dilakukan ada sebagai berikut:

1. Untuk periode yang lebih kecil dari T_0 , maka spektrum respons percepatan desain (S_a) harus diambil dari persamaan

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \dots \dots \dots (2.3)$$

2. Untuk periode lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s , spektrum respons percepatan desain (S_a) sama dengan S_{DS}

3. Untuk periode lebih besar dari T_s , spektrum respons percepatan desain (S_a) diambil berdasarkan persamaan

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \dots \dots \dots (2.4)$$

4. Untuk periode lebih besar dari T_L , respons spektral percepatan desain (S_a) diambil berdasarkan persamaan:

$$S_a = \frac{S_{D1} T_L}{T^2} \dots \dots \dots (2.5)$$

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

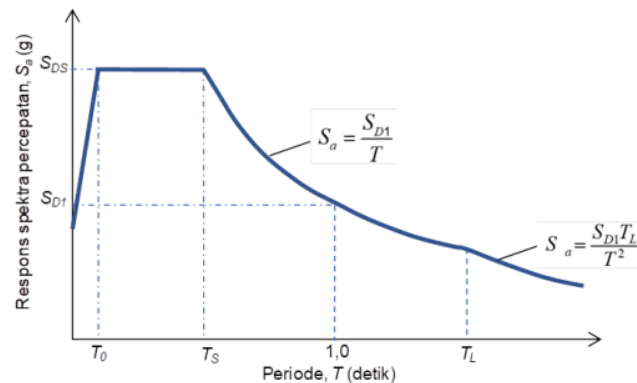
S_{D1} = parameter respons spektral percepatan desain pada periode 1,0 detik

T = periode getar fundamental struktur

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \dots \dots \dots (2.6)$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \dots \dots \dots (2.7)$$

T_L = peta transisi periode panjang



Gambar 2. 4 Spektrum Respons Desain
Sumber : SNI 1726:2019 Pasal 6.2

Berdasarkan nilai SDS yang didapatkan dari perhitungan sebelumnya, maka perlu ditentukan kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek menurut tabel 2.13 di bawah ini:

Tabel 2. 13 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek

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

Sumber : SNI 1726:2019 Pasal 6.5 (Tabel 8)

Berikut adalah tabel 2.14 untuk kategori risiko desain seismik periode 1 detik:

Tabel 2. 14 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek 1 detik

Nilai S_{DS}	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0,067$	A	A
$0,067 \leq S_{DS} < 0,133$	B	B
$0,133 \leq S_{DS} < 0,20$	C	C
$0,20 \leq S_{DS}$	D	D

Sumber : SNI 1726:2019 Pasal 6.5 (Tabel 9)

2.4 Beton Pracetak

Menurut SNI 7833:2012, beton pracetak mengacu pada elemen atau komponen beton yang sudah dicetak terlebih dahulu, baik dengan atau tanpa tulangan sebelum dirakit menjadi bagian dari sebuah bangunan. Hal ini mencakup

elemen struktur beton yang dibuat dengan metode pracetak maupun dicor di tempat, dimana setiap komponennya dilaksanakan terpisah namun dihubungkan secara khusus sehingga membentuk suatu kesatuan yang mampu menahan beban kerja.

Beton pracetak memiliki sejumlah kelebihan dan kekurangan jika dibandingkan dengan beton konvensional. Berikut adalah beberapa kelebihan beton pracetak :

1. Penggunaan bekisting dan perancah berkurang karena komponen struktur telah diproduksi di pabrik.
2. Waktu pengerjaan konstruksi lebih singkat, sehingga dapat mengurangi biaya konstruksi.
3. Meminimalkan pekerjaan konstruksi di lokasi proyek.
4. Pengecekan mutu dan kualitas lebih efisien karena dilakukan selama proses pembuatan di pabrik, bukan di lokasi konstruksi.
5. Lebih sedikit limbah yang dihasilkan
6. Meminimalisir pengaruh cuaca selama proses konstruksi.

Sedangkan beberapa kekurangan beton pracetak antara lain :

1. Diperlukan penanganan khusus terhadap komponen yang telah terfabrikasi.
2. Membutuhkan perhatian khusus pada kekuatan sambungan dan ketahanan korosi dari sambungan untuk menghindari terjadinya kegagalan pada sambungan.
3. Membutuhkan biaya transportasi yang lebih untuk pengangkutan elemen pracetak.
4. Membutuhkan tenaga kerja yang terampil untuk mengawasi instalasi beton pracetak. (Yadav & Shah, 2013)

2.4.1 Jenis Komponen Struktur Beton Pracetak

Ada beberapa jenis komponen beton pracetak untuk struktur bangunan gedung konstruksi lainnya yang biasa dipergunakan yaitu :

1. Tiang Pancang

2. *Sheet pile* dan dinding diaphragma.
3. *Half solid slab (precast plank), hollow core slab, single-T, double-T, triple-T, channel slabs* dan lain-lain.
4. Balok beton pracetak dan balok pratekan (*PC I Grinder*)
5. Kolom beton pracetak satu lantai atau multi lantai
6. Panel-panel dinding yang terdiri dari komponen yang solid, bagian dari *single-T* atau *double-T*. Pada dinding tersebut dapat berfungsi sebagai pendukung beban (*sheer wall*) atau tidak mendukung beban.
7. Jenis komponen pracetak lainnya, seperti : tangga, balok parapet, panel-panel penutup dan unit-unit beton pracetak lainnya sesuai keinginan.

Secara umum, sistem struktur komponen beton pracetak dapat dikelompokkan sebagai berikut :

1. Sistem struktur komponen pracetak sebagian, dimana kekakuan sistem tidak terlalu terpengaruh oleh pemutusan komponen, contohnya pelat pracetak dan dinding, dimana pemutusan dilakukan tidak pada balok dan kolom atau bukan pada titik kumpul.
2. Sistem pracetak penuh, dimana dalam sistem ini kolom, balok, dan pelat dipracetak dan disambungkan, sehingga membentuk suatu bangunan yang monolit.

Pada dasarnya, penerapan sistem pracetak penuh akan lebih mengoptimalkan manfaat dari aspek fabrikasi pracetak, dengan catatan bahwa segala aspek kekuatan (*strength*), kekakuan, layanan (*serviceability*) dan ekonomi harus dipertimbangkan dalam proses perencanaan.

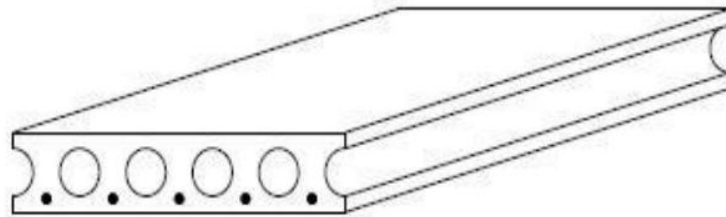
2.4.2 Jenis – Jenis Pelat Pracetak (Precast Slab)

Pelat pracetak (*Precast slab*), memiliki beberapa jenis yang sering digunakan, yaitu:

1. Pelat pracetak berlubang (*Hollow Core Slab*)

Pelat pracetak *hollow core slab* adalah pelat pracetak berlubang seperti yang terlihat pada gambar 2.5, memiliki tebal lebih besar

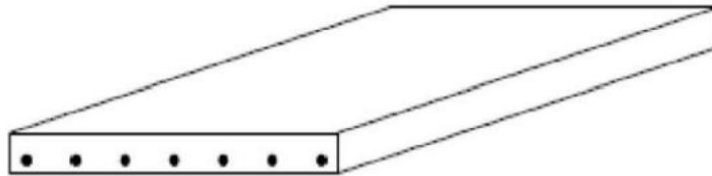
dibandingkan dengan pelat pracetak tanpa lubang, biasanya pelat ini menggunakan kabel pratekan. Keuntungan dari pelat jenis ini adalah lebih ringan, tingkat durabilitasnya yang tinggi dan ketahanan terhadap apinya sangat tinggi.



Gambar 2. 5 Pelat Pracetak Berlubang (*Hollow Core Slab*)

2. Pelat pracetak tanpa lubang (*Solid slab*)

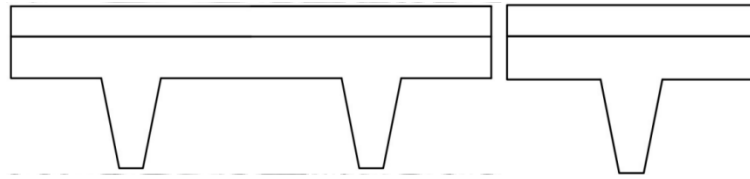
Pelat pracetak tanpa lubang memiliki ketebalan lebih tipis daripada pelat dengan lubang, dimana memiliki keuntungan mudah dalam penumpukan karena tidak memakan banyak tempat. Pelat ini biasanya merupakan pelat pratekan atau beton bertulang biasa dengan ketebalan dan lebar bervariasi seperti pada gambar 2.6 berikut.



Gambar 2. 6 Pelat Pracetak Tanpa Lubang

3. Pelat pracetak *Double Tees* dan *Single Tee*

Pada pelat ini ada bagian yang berupa dua buah kaki sehingga tampak seperti dua T yang terhubung seperti gambar 2.7.



Gambar 2. 7 Pelat Prategang Pracetak (*Double Tee*) dan (*Single Tee*)

2.4.3 Sambungan Komponen Beton Pracetak

Dalam perncanaan struktur beton pracetak, hal yang menjadi perhatian utama adalah sambungan. Sambungan merupakan struktur terpenting dalam menstransfer gaya dan berperilaku sebagai penghubung disipasi energi antara komponen-komponen yang di sambung. Penempatan dan kekuatan sambungan perlu direncanakan dengan baik sehingga tidak menyebabkan keruntuhan prematur pada struktur (Nurjaman,2000)

2.4.3.1 Jenis Sambungan Komponen Beton Pracetak

Pada sistem pracetak ada dua jenis cara penyambungan yang bisa dilakukan yaitu sambungan basah dan sambungan kering. Setiap jenis penyambungan memiliki kelebihan dan kekurangan yang perlu dipertimbangkan tergantung pada berbagai faktor.

1. Sambungan Kering (*Dry Connection*)

Sambungan kering menggunakan bantuan pelat besi sebagai penghubung antar komponen beton pracetak dan hubungan anantara pelat besi dilakukan dengan batu atau dilas. Penggunaan metode sambungan ini perlu perhatian khusus dalam Analisa dan permodelan computer karena anatr elemen struktur bangunan dapat berperilaku tidak monolit.

Sambungan kering dapat dibedakan lagi menjadi dua macam, yakni:

a) Sambungan las

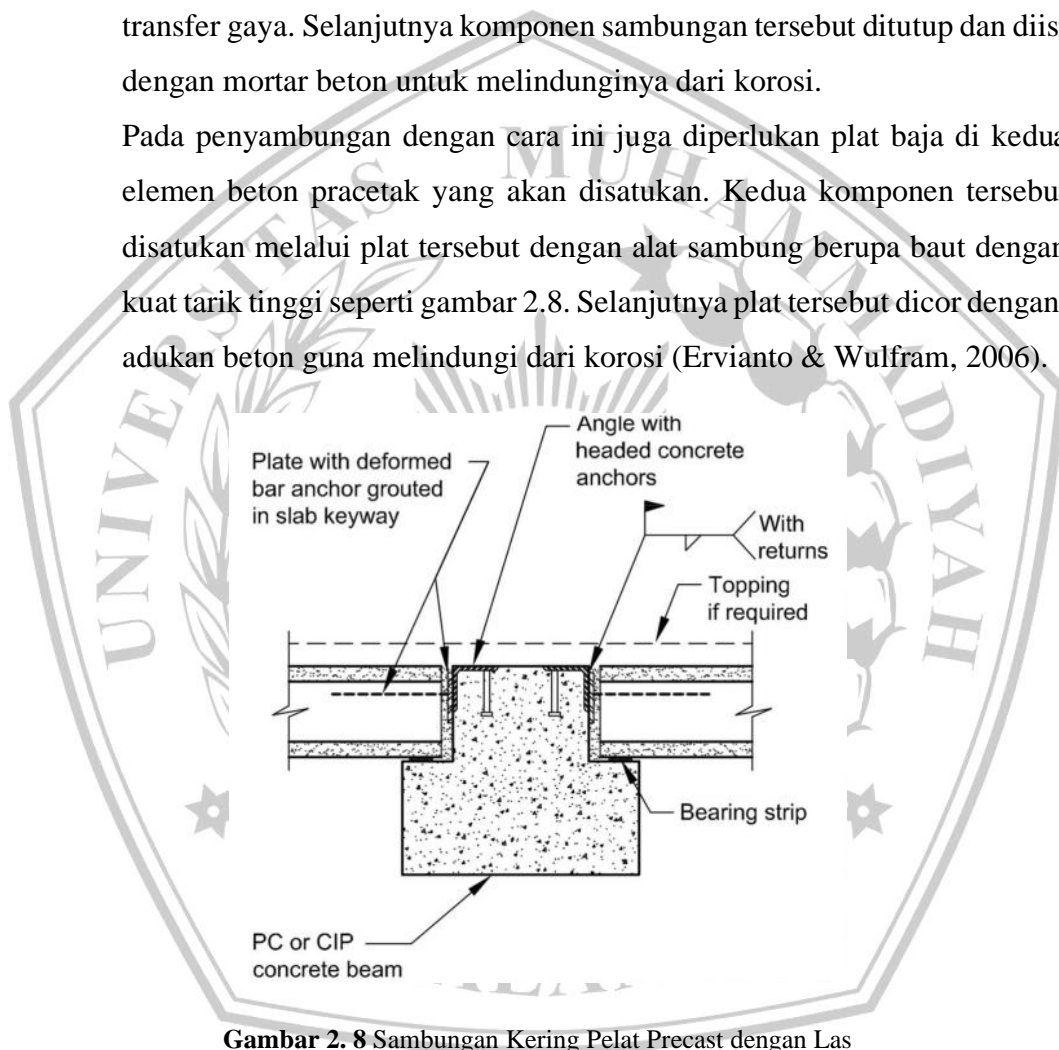
Jenis ini mengandalkan plat baja yang dimasukkan ke dalam beton pracetak sebagai komponen sambungan. Kedua plat tersebut kemudian dihubungkan dengan menggunakan proses pengelasan. Gaya dapat disalurkan dari pelat yang telah dilakukan las ini. Setelah proses

pengelasan selesai, plat sambungan tersebut ditutup dengan adukan beton. (Ervianto & Wulfram, 2006)

b) Sambungan Baut

Dengan memasng pelat baja ditanam pada ujung masing-masing elemen pracetak sebagai komponen sambungan. Antar komponen tersebut dikaitkan dengan baut yang memiliki kuat tarik tinggi sebagai media transfer gaya. Selanjutnya komponen sambungan tersebut ditutup dan diisi dengan mortar beton untuk melindunginya dari korosi.

Pada penyambungan dengan cara ini juga diperlukan plat baja di kedua elemen beton pracetak yang akan disatukan. Kedua komponen tersebut disatukan melalui plat tersebut dengan alat sambung berupa baut dengan kuat tarik tinggi seperti gambar 2.8. Selanjutnya plat tersebut dicor dengan adukan beton guna melindungi dari korosi (Ervianto & Wulfram, 2006).



Gambar 2. 8 Sambungan Kering Pelat Precast dengan Las

2. Sambungan Basah (*Wet Connection*)

Sambungan basah terdiri dari keluarnya besi tulangan dari bagian ujung komponen beton pracetak yang dimana antar tulang tersebut dihubungkan dengan dilakukan pengecoran beton atau grouting.

Sambungan basah dapat berfungsi untuk mengurangi penambahan tegangan yang terjadi akibat rangkai, susut dan perubahan temperatur. Sambungan basah dianjurkan untuk bangunan di daerah rawan gempa karena dapat menjadikan masing-masing komponen beton pracetak menjadi monolit.

Sambungan basah dapat dibedakan lagi menjadi dua, yaitu:

a) In-Situ Concrete Joints

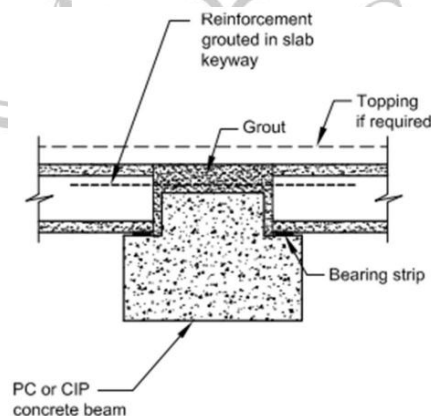
Sambungan jenis ini dapat diaplikasikan pada komponen-komponen beton pracetak:

- Kolom dengan Kolom
- Kolom dengan Balok
- Plat dengan Balok

Metode pelaksanaannya adalah dengan melakukan pengecoran pada pertemuan dari komponen-komponen tersebut. Diharapkan hasil pertemuan dari tiap komponen tersebut dapat menyatu. Sedangkan untuk cara penyambungan tulangan dapat digunakan *coilpler* ataupun secara *overlapping* (Ervianto & Wulfram, 2006).

b) Pre-packed Aggregate

Cara penyambungan jenis ini adalah dengan menempatkan agregate pada bagian yang akan disambung dan kemudian dilakukan injeksi air semen pada bagian tersebut dengan menggunakan pompa hidrolis sehingga air semen tersebut akan mengisi rongga dari agregat tersebut seperti gambar 2.9 (Ervianto & Wulfram, 2006).



Gambar 2. 9 Sambungan Basah Pelat Precast dengan Grouting

Berikut perbedaan metode sambungan pracetak di sajikan pada tabel 2.13 dibawah :

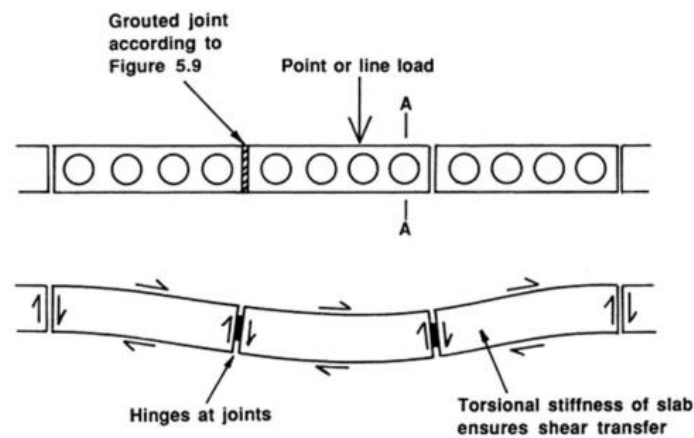
Tabel 2. 15 Perbedaan Metode Sambungan Pracetak

Deskripsi	In-Situ Concrete Joints	Sambungan Prestressed	Sambungan Baut dan Las
Keutuhan Struktur	Monolit	Monolit	Tidak Monolit
Waktu yang dibutuhkan agar sambungan berfungsi secara efektif.	Perlu <i>setting time</i>	Perlu <i>setting time</i>	Segera dapat berfungsi
Metode <i>erection</i> yang sesuai	<i>Horizontal Method</i>	<i>Horizontal Method</i>	<i>Vertical Method</i>
Jenis Sambungan	Basah	Basah	Kering
Ketinggian Bangunan	-	-	Max. 25 meter
Waktu Pelaksanaan	Lebih lama karena membutuhkan waktu untuk <i>setting time</i>	Lebih lama karena membutuhkan waktu untuk <i>setting time</i>	Lebih cepat 25%-40% bila dibandingkan dengan <i>in-situ concrete</i> .
Toleransi Dimensi	Lebih tinggi dibandingkan dengan sambungan baut dan las.	Lebih tinggi dibandingkan dengan sambungan baut dan las.	Rendah, sehingga dibutuhkan akurasi yang tinggi selama proses produksi dan erection.
Bentang dari struktur yang mampu didukung	Terbatas	Bentang Lebar	Terbatas

Sumber : Eksplorasi Teknologi dalam Proyek Konstruksi; Beton pracetak & Bekisting (Ervianto & Wulfram, 2006)

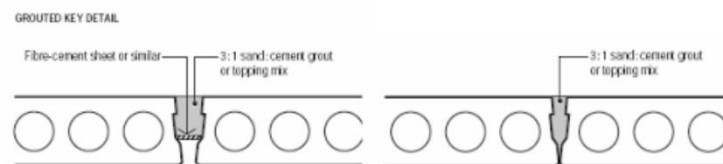
2.4.3.2 Sambungan Pelat dengan Pelat

Beban akan membuat lentur pada garis sejajar dengan arah bentang. Menimbulkan momen lentur dalam arah tegak lurus terhadap arah bentang, dan gaya geser vertical pada sambungan longitudinal antara unit-unit yang berdekatan seperti gambar 2.10. Situasi serupa terjadi dimana sudut pemangkas baja digunakan untuk membingkai rongga lantai yang besar.



Gambar 2. 10 Distribusi Gaya pada Sambungan Antar *Hollow Core Slab*

Meskipun perilaku pelat lantai tipis dipahami dengan baik, perilaku pelat berongga-inti diperumit oleh interaksi momen parsial antara unit-unit yang berdekatan. Sambungan antara unit yang berdekatan berperilaku sebagai engsel, mampu menahan momen hingga dan transfer geser penuh. Contoh sambungan antar Hollow Core Slab adalah dengan mengisi grouting pada celah antar pelat yang bisa juga diberikan besi longitudinal didalamnya seperti gambar 2.11.



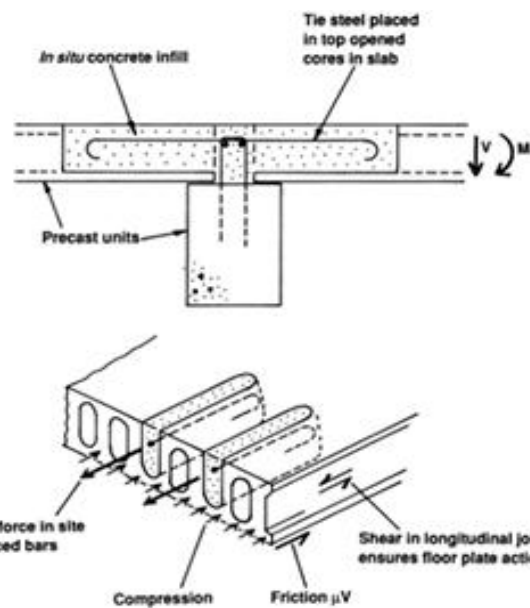
Gambar 2. 11 Sambungan Antar Pelat *Hollow Core Slab*

2.4.3.3 Sambungan Pelat dengan Balok

Sambungan pada pelat dibagi menjadi dua, yakni: Sambungan pada tumpuan pelat (ujung HCS) dan Sambungan pada longitudinal pelat (tepi HCS). Pelat HCS yang membentang sejajar dengan struktur sangat penting dalam integritas rangka pracetak. Oleh karena itu sambungan pada tumpuan pelat menjadi sambungan pendukung utama. Sambungan ini dirancang sebagai penopang sederhana.

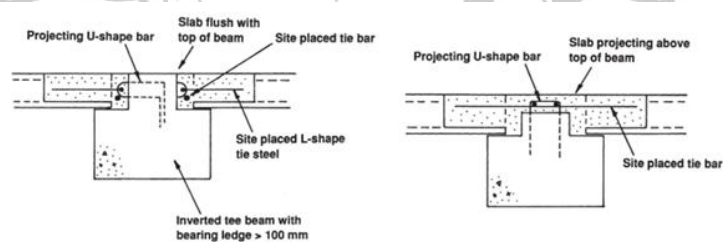
1. Sambungan pada tumpuan pelat (ujung HCS)

Tujuan dari sambungan ini adalah memastikan transfer beban vertikal dari pelat ke balok dalam kondisi pembebanan normal maupun ultimit. Oleh karena itu sambungan harus memenuhi persyaratan transfer beban, integritas struktural dan daktilitas. Beberapa model sambungan yang dapat digunakan pada balok tepi pada gambar 2.12



Gambar 2. 12 Sambungan Pelat ke balok dengan tulangan tarik

Beberapa model sambungan yang dapat digunakan pada sambungan pelat dengan balok internal pada gambar 2.13



Gambar 2. 13 sambungan pelat dengan balok internal

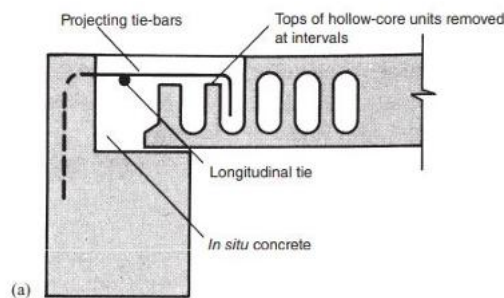
Dalam sambungan pelat HCS, celah antara pelat dan balok pada sayap atas untuk memungkinkan grouting atau pengisian beton struktural di lokasi (cast in situ). Kontinuitas tulangan dapat dicapai dengan pengankuran langsung antara balok pracetak dan strip in -situ, atau dengan aksi dowel antara

loop, atau antara loop dan tulangan lainnya. Batang-batang dapat ditempatkan pada celah memanjang di antara pelat dengan ketentuan bahwa geometri celah sesuai dengan detail pada Gambar 2.13. Dengan hal tersebut diharapkan kontinuitas struktural, tetapi bukan transfer momen, melalui internal balok dapat dicapai.

2. Sambungan pada longitudinal pelat (tepi HCS)

Pada PCI Manual for design Hollow core Slab dan PCI Handbook 7th Ed. Terdapat model sambungan yang dapat digunakan anatar Pelat HCS dengan balok Tepi ditampilkan pada gambar 2.14

Untuk mengikat pelat HCS dengan balok dibuat coakan pada hcs yang kemudian dipasang oleh tulangan dan ikut dicor dengan topping dan sebagian balok yang belum dicor. Fungsi tulangan ini sebagai penyalur gaya geser pelat. Tujuan dari sambungan ini tidak turut menyalurkan gaya dalam namun lebih kepada mengikat susunan HCS apabila telah dibuat chamber dan mempertahankan susunannya.



Gambar 2. 14 sambungan pelat dengan balok tepi

Panjang penanaman angkur dapat diambil lebih besar dari satu panjang ikatan pengankuran atau ekuivalen dengan panjang transfer gaya prategang pada unit pracetak. Hook atau kaitan ujung dapat ikut dihitung untuk mencapai panjang perlu penangkuran.

Adapun dimensi minimum pada sambungan tumpuan diisyaratkan dalam Adapun untuk komponen pelat pracetak berupa pelat, balok, atau elemen pracetak lain harus berjarak minimum dari muka tumpuan dengan ujung

komponen pracetak Syarat untuk masing-masing jenis komponen pracetak dapat dihitung seperti pada Tabel 2.16

Solid atau pelat berongga	Terbesar dari	$I_n/180$ 50
Balok atau steamed member	Terbesar dari	$I_n/180$ 75

Bantalan tumpuan harus diberi jarak terhadap muka tepian tak berpelindung (minimum 13 mm), hal ini juga berlaku pada bagian dalam maupun luar dari bantalan. Untuk memberi toleransi dari fabrikasi dan interaksi tidak diinginkan antar komponen.

2.5 Beton Prategang

2.5.1 Konsep Dasar Prategang

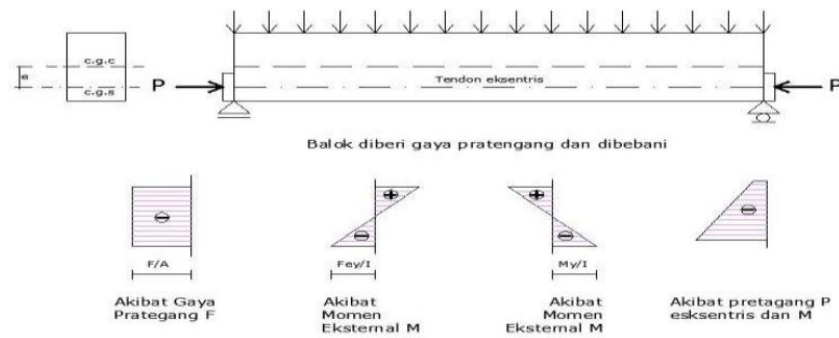
Untuk menganalisa dan menjelaskan perhitungan dalam beton prategang terdapat tiga jenis konsep dasar sebagai berikut:

1. Konsep Pertama

Sistem prategang bertujuan untuk mengubah sifat beton menjadi lebih elastis dengan memberikan gaya tekan awal pada beton. Gaya tekan ini menyebabkan beton mengalami transformasi dari bahan getas menjadi bahan yang lebih elastis, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.15 dan gambar 2.16.



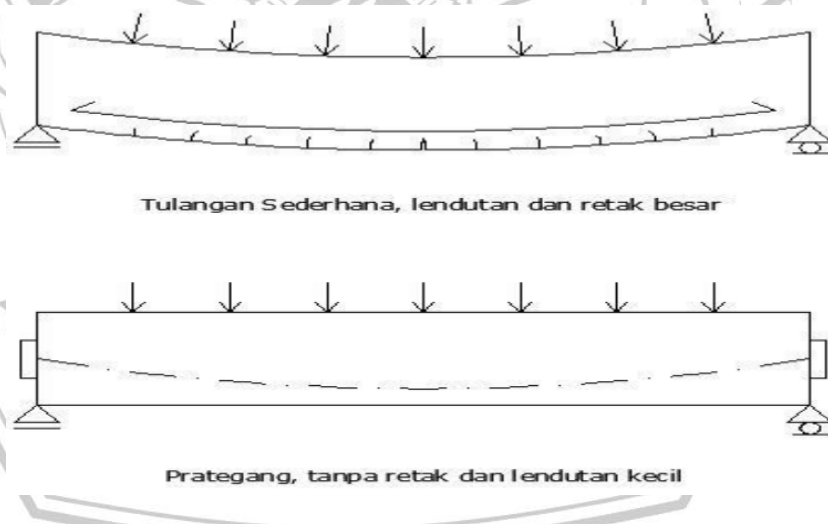
Gambar 2. 15 Distribusi Tegangan Sepanjang Penampang Beton Prategang Konsentris



Gambar 2. 16 Distribusi Tegangan Sepanjang Penampang Beton Prategang Eksentris

2. Konsep Kedua

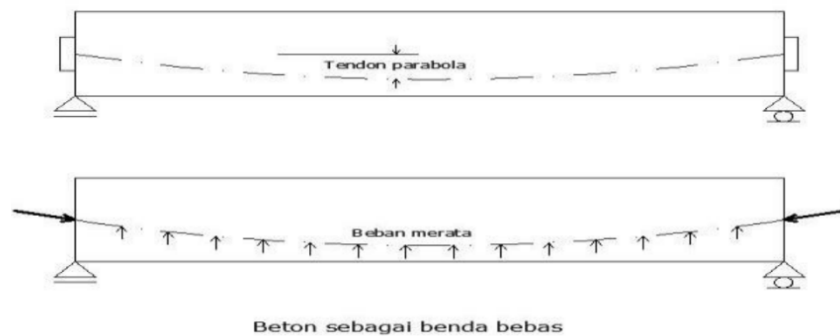
Sistem prategang dengan penggunaan baja bermutu tinggi dengan beton. Konsep yang sama dengan umumnya, material beton menahan tegangan sedangkan baja mutu tinggi menahan tegangan sedangkan baja mutu tinggi menahan regangan dengan ketahanan tarik tinggi karena penggunaan baja mutu tinggi tersebut seperti gambar 2.17.



Gambar 2. 17 Balok Beton dengan Baja Mutu Tinggi

3. Konsep Ketiga

Konsep ini menerapkan sistem penyeimbang beban, dimana gaya tekan tambahan diberikan setelah sebagian beban telah bekerja pada komponen terpasang. Gaya tekan dialirkan melalui selongsong parabola untuk menyebarkan tegangannya seperti gambar 2.18.



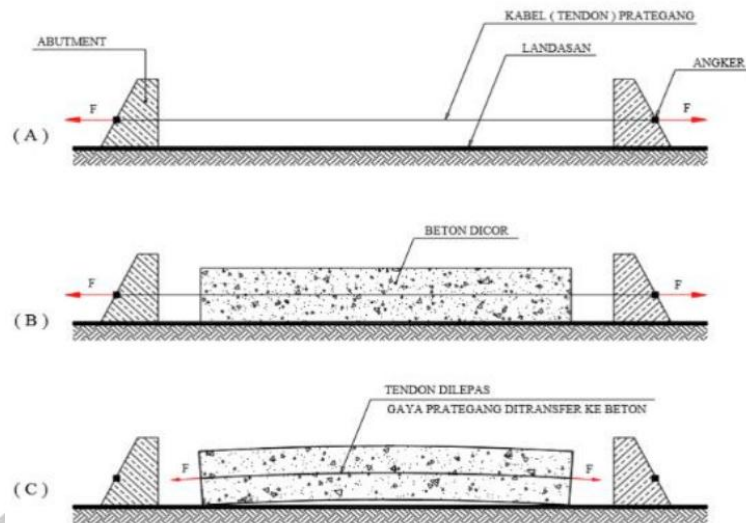
Gambar 2. 18 Balok Prategang dengan Tendon Parabola

2.5.2 Metode Prategang

Dalam pembuatan beton sistem prategang dapat dilakukan dengan dua metode penegangan kabel atau tendon, yaitu prategang pra-tarik (*pre-tensioned prestressed concrete*) dan prategang pasca tarik (*post-tensioned prestressed concrete*).

- Prategang pra-tarik (*pre-tensioned prestressed concrete*)

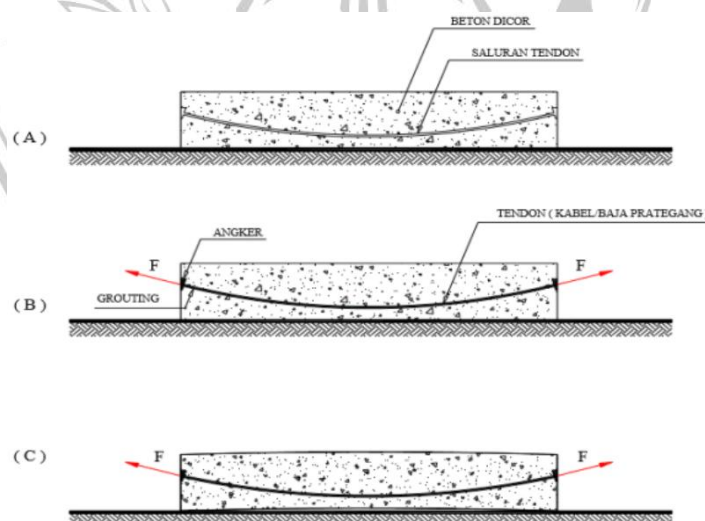
Pembuatan beton prategang pra-tarik dilakukan di pabrik (*prefabrikasi*). Kabel atau tendon di pasang pada proses pembuatan komponen, kemudian kabel atau tendon ditarik (penegangan) dengan gaya prategang rencana dibawah nilai mutu tendon/strand/kabel untuk menghindari kegagalan penegangan. Setelah tendon ditarik sesuai gaya prategang kemudian ditahan, beton dicor sesuai dengan cetakan (*framework*) atau menggunakan alat *extruder*. Beton dibiarkan mengeras hingga pada umur rencana beton, tendon diputus/dilepaskan dari penahannya. Pada kondisi tendon dilepas dari penahan, transfer gaya tambah akibat prategang disalurkan oleh pembukaan strand/tendon/kabel ke beton. Proses penegangan dengan metode pra-tarik dapat diamati pada gambar 2.19 dibawah.



Gambar 2. 19 Metode Prategang Pra-Tarik

- Prategang pasca tarik (*post-tensioned prestressed concrete*)

Pada metode *post-tension*, bekisting disiapkan dengan pemasangan selongsong pada saat pembuatan komponen namun selongsongh tidak perlu diisi cor. Setelah cor mengeras pada umur rencana beton, lalu kabel prategang dipasang di dalam selongsong dan tendon dilakukan penegangan bantuan alat prategang, kemudian tegangan tersebut ditahan pada ujung-ujung balok dengan anker dan selongsong diisi grouting. Proses ini digambarkan dalam ilustrasi pada gambar berikut.



Gambar 2. 20 Metode Prategang Pasca-Tarik

2.5.3 Gaya Prategang

Menurut ACI 318M-14 dan SNI 2847-2019, dalam komponen struktur prategang wajib dilakukan pengecekan pada tegangan dan lendutannya di kondisi transfer, layan, serta ketika semua beban bekerja.

- Kondisi Transfer
Aksi pentransferan sesaat setelah selesai pengecoran atau pelepasan *jack* pada strand pasca tarik.
- Kondisi Layan
Kondisi setekah komponen terpasang pada struktur dan semua beban rencana terakomodir sehingga menunjukkan perilaku dan fungsi yang diharapkan saat beban bekerja.

2.5.4 Kehilangan Gaya Prategang

Kehilangan gaya prategang terjadi pada beberapa kondisi dan dapat diketahui melalui perhitungan rumus berikut:

1. Perpendekan elastis beton

Saat prategang diterapkan, beton akan mengalami pemendekan, yang juga menyebabkan kawat prategang ikut memendek. Kondisi ini mengakibatkan sebagian gaya prategang yang diterima oleh kawat tersebut hilang.

$$ES = \frac{E_s}{E_c} \cdot \frac{p_i}{A_c + n \cdot A_s} \pi \dots \dots \dots (2.8)$$

Dimana :

ES = Kehilangan gaya prategang akibat elastisitas

Es = Modulus elastisitas baja prategang

Ec = Modulus elastisitas beton

Pi = Gaya prategang awal

Ac = Luas penampang

As = Luas penampang baja prategang

2. Rangkak pada beton

$$CR = K_{CR} \frac{E_s}{E_c} (f_{ci} - f_{cd}) \dots\dots\dots (2.9)$$

$$f_{ci} = K_{cir} \left(\frac{P_i}{A} + \frac{P_i \cdot e^2}{I} \right) \dots\dots\dots (2.10)$$

Dimana :

CR = Kehilangan gaya prategang akibat rangkak

K_{CR} = 2,0 berat normal untuk batang pra-tarik
1,6 berat yang ringan untuk batang pratarik

E_s = Modulus elastisitas baja prategang

E_c = Modulus elastisitas beton

F_{ci} = Tegangan beton pada posisi sesaat setelah transfer gaya prategang

F_{cd} = Tegangan beton pada posisi sesaat setelah transfer gaya Prategang

3. Susut pada beton

Pada dasarnya, terdapat dua jenis susut, yaitu susut plastis dan susut pengeringan. Susut plastis terjadi ketika permukaan beton mengering lebih cepat setelah pengecoran. Sementara itu, susut pengeringan merupakan pengurangan volume beton akibat kehilangan kandungan air yang menguap.

$$SH = 8,2 \times 10^{-6} K_{sh} E_s \left(1 - 0,06 \frac{V}{S} \right) \cdot (100 - RH) \dots\dots\dots (2.11)$$

Dimana :

SH = Kehilangan gaya prategang akibat susut

K_{SH} = 1,0 untuk komponen pra-tarik

V = Volume

A = Luas permukaan

RH = Kelembaman (%)

Berikut jenis wire prategang pada tabel 2.17:

Tabel 2. 17 Jenis Wire Prategang

Tipe Tendon	Kre (Mpa)	J
Tegangan Kabel mutu 270 (1860 MPa)	138	0,15
Tegangan Kabel mutu 250 (1860 MPa)	128	0,14

Tegangan Kabel mutu 240 (1655 MPa) atau Tegangan Kabel mutu 235 (1620 MPa)	121	0,13
Tegangan Kabel relaksasi rendah mutu 270 (1860 MPa)	35	0,04
Tegangan Kabel relaksasi rendah mutu 250 (1720 MPa)	32	0,037
Tegangan Kabel relaksasi rendah mutu 235 (1620 MPa) atau mutu 240 (1655MPa)	30	0,035
Tegangan batang mutu 145 (1000 MPa) atau mutu 160 (1200MPa)	41	0,05

Sumber : ASTM A416-74, ASTM A421-76

4. Relaksasi baja

$$RE = [Kre - J (ES + CR + SH)] C \dots\dots\dots (2.12)$$

Dimana :

RE = Kehilangan gaya prategang akibat relaksasi

C = Faktor relaksasi yang besarnya bergantung pada jenis kawat/baja prategang

Kre = koefisien relaksasi (41-138 N/mm²)

J = faktor waktu, (0,05-0,15)

ES = Kehilangan gaya prategang akibat elastisitas

CR = Kehilangan gaya prategang akibat rangkai

SH = Kehilangan gaya prategang akibat susut

5. Kehilangan Total

$$Kehilangan Total = ES + CR + SH + RE \dots\dots\dots (2.13)$$

Dimana :

ES = Kehilangan gaya prategang akibat elastisitas

CR = Kehilangan gaya prategang akibat rangkai

SH = Kehilangan gaya prategang akibat susut

RE = Kehilangan gaya prategang akibat relaksasi

2.6 Hollow Core Slab

Hollow core slab, atau pelat berongga, adalah elemen struktur yang digunakan dalam konstruksi bangunan untuk membentuk lantai atau atap. Pelat precast hollow dirancang untuk menahan beban aksial dan geser secara maksimal, dengan harapan lendutan yang terjadi memenuhi persyaratan yang telah ditentukan. Dalam hal ini, penyatuan pelat *hollow core slab* prategang dengan struktur balok

utama gedung membentuk satu kesatuan yang disebut struktur komposit, sehingga gaya-gaya yang bekerja pada pelat diteruskan dan diterima oleh balok induk.

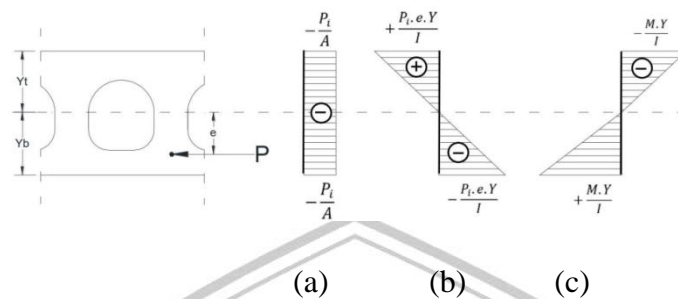
2.6.1 Konsep Prategang pada Pelat *Hollow Core Slab*

Beton adalah material yang memiliki kekuatan tinggi dalam kondisi tekan, namun lemah dalam kondisi tarik. Kekuatan tarik beton berkisar antara 8 hingga 14 persen dari kekuatan tekannya. Karena kapasitas tarik yang rendah ini, retakan lentur dapat terjadi pada tingkat beban yang relatif rendah. Untuk mengurangi atau mencegah perkembangan retakan tersebut, gaya konsentris atau eksentris diberikan dalam arah longitudinal elemen struktural. Gaya ini berfungsi untuk mencegah perkembangan retakan dengan cara menghilangkan atau mengurangi tegangan tarik pada bagian tumpuan dan daerah kritis saat beban kerja diterapkan, sehingga meningkatkan kapasitas lentur, geser, dan torsi penampang tersebut. Penampang beton dapat berperilaku elastis, dan hampir seluruh kapasitas beton dalam menahan tekan dapat dimanfaatkan secara efektif di seluruh tinggi penampang beton saat struktur bekerja dengan beban tersebut.

Gaya longitudinal yang diterapkan seperti dijelaskan di atas disebut gaya prategang, yaitu gaya tekan yang diberikan pada penampang sepanjang bentang elemen struktural sebelum beban mati dan beban hidup transversal bekerja. Jenis pemberian gaya prategang ditentukan terutama berdasarkan jenis sistem yang diterapkan, panjang bentang, serta kelangsingan yang diinginkan.

Sistem pracetak pelat *Hollow Core Slab* menggunakan sistem prategang, di mana kabel prategang ditarik terlebih dahulu pada dudukan khusus yang telah disiapkan, kemudian dilakukan pengecoran. Oleh karena itu, pembuatan produk pracetak ini harus dilakukan di tempat fabrikasi khusus yang menyediakan dudukan tersebut. Adanya lubang di bagian tengah pelat secara efektif mengurangi beratnya tanpa mengurangi kapasitas lenturnya. Dengan demikian, pelat pracetak ini relatif lebih ringan dibandingkan dengan solid slab, bahkan karena menggunakan prategang, kapasitas dukungannya menjadi lebih besar. Keberadaan lubang pada slab ini sangat berguna untuk aplikasi pada bangunan tinggi, karena dapat

mengurangi beban lantai. Diagram tegangan pelat *Hollow Core Slab* dapat dilihat pada gambar 2.21.



Gambar 2. 21 Diagram tegangan Pelat *Hollow Core Slab*

Diagram tegangan pada pelat *Hollow Core Slab* yang ditunjukkan di gambar di atas setelah pelat diberikan gaya tekan P , terdiri dari tiga jenis tegangan, (a) Tegangan akibat gaya prategang, (b) Tegangan akibat eksentrisitas prategang, (c) Tegangan akibat beban yang bekerja. Persamaan saat kondisi awal, sebelum terjadinya kehilangan tegangan, adalah sebagai berikut:

$$F_t = -\frac{P_i}{A} \left(1 \pm \frac{ect}{r^2} \right) \pm \frac{MD}{S_t} \quad (2.14)$$

$$F_b = -\frac{P_i}{A} \left(1 \pm \frac{ecb}{r^2} \right) \pm \frac{MD}{S_b} \quad (2.15)$$

Rumus tegangan pada kondisi akhir dengan momen yang digunakan adalah MT sebagai berikut :

$$F_t = -\frac{P_i}{A} \left(1 \pm \frac{ect}{r^2} \right) \pm \frac{MT}{S_t} \quad (2.16)$$

$$F_b = -\frac{P_i}{A} \left(1 \pm \frac{ecb}{r^2} \right) \pm \frac{MT}{S_b} \quad (2.17)$$

Dimana :

$$MT = MD + MSD + ML$$

MT = Momen total akibat gravitasi

MD = Momen akibat berat sendiri

MSD = Momen akibat beban mati tambahan, seperti lantai

ML = Momen akibat beban hidup, termasuk beban gempa

P_i = Gaya prategang awal sebelum terjadinya kehilangan (kg)

- P_e = Gaya pretegang awal setelah terjadinya kehilangan (kg)
 A = Luas [enampang pracetak (cm²)]
 S = Inersia penampang untuk sera atas atau bawah (cm³)
 e = jarak eksentrisitas gaya (cm)

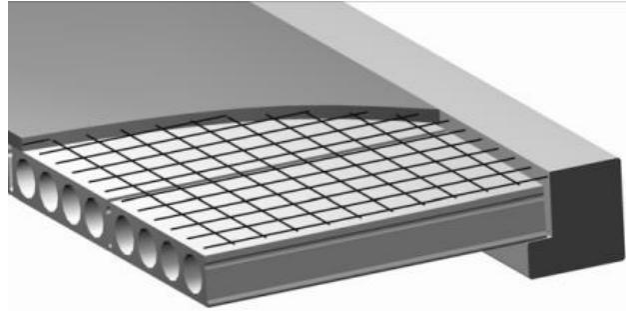
2.6.2 Keuntungan Pelat Hollow Core Slab

1. Diproduksi di pabrik menggunakan mesin, dengan potongan memanjang yang disesuaikan dengan kebutuhan konstruksi yang akan dibuat, dan disimpan sesuai dengan jadwal konstruksi agar siap untuk dikirim ke lokasi proyek.
2. Kecepatan pemasangan yang tinggi, karena pelat sudah diproduksi dan siap dipasang, sehingga mengurangi waktu konstruksi.
3. Mengurangi penggunaan perancah atau penyangga, karena sistem pelat HCS memerlukan sedikit penyangga selama proses konstruksi berlangsung.
4. Efisien dan penampang ringan, lubang pada pelat *hollow core slab* yang terbentuk karena prategang mengurangi beban mati dan berat sendiri tanpa mengurangi kekuatannya. Ketebalan pelat dan pola kabel wire dapat diubah untuk menyesuaikan dengan bentang dan beban yang dibutuhkan, dengan biaya yang lebih rendah.
5. Bentang panjang, pelat HCS dapat diproduksi dengan bentang yang lebih panjang.

2.6.3 Perencanaan Topping

Pada sistem pelat *Hollow Core Slab*, *topping* atau *overtopping* direncanakan seperti pelat konvensional dengan adanya tulangan namun didesain dapat monolit dengan pelat pracetak sehingga mempunyai ketebalan minimum sebagai struktur komposit atau sebagai non struktural. Pelat pracetak didesain pelat satu arah. Topping akan membantu pada tengah bentang (lapangan) yang mendapatkan momen positif mengakibatkan inersia dan kekuatannya meningkat. Pada tumpuan juga menambah kapasitas untuk mengantisipasi momen negatif akibat tumpuan jepit tak terduga akibat pelat menerus pada lantai.

HCS dapat diberi topping selain untuk memperkuat dan menjadi pengikat juga memudahkan pekerjaan pada lantai atasnya. Dalam Topping juga diberi perkuatan berupa wiremesh. Berikut gambar 2.22 ilustrasi topping pada HCS.



Gambar 2. 22 Topping pada HCS

Dengan adanya topping pada atas pelat, fungsi diafragma dapat tercapai karena menghubungkan antar komponen pelat pracetak di dekatnya untuk memikul beban secara merata. Topping dapat meningkatkan kapasitas pelat lantai terhadap pembebanan yang lebih besar apabila dihitung sebagai komposit, serta meningkatkan ketahanan terhadap air, suara, dan efek getaran. Lantai menjadi lebih nyaman dan solid karena topping turut mengisi celah dan gap pada arah horizontal.

Tanpa adanya tambahan topping pembebanan cenderung hanya terjadi setempat sehingga tidak tersebar merata dan dapat menyebabkan hanya salah satu komponen yang menerima beban besar daripada komponen lantai di sekitarnya. Oleh karena itu, pergerakan horizontal dapat menyatukan setiap titik pada pelat dan topping menjadi efek diafragma, yang bermanfaat dalam situasi gempa. Tanpa topping, tidak ada jaminan bahwa komponen lantai pracerak tersebut akan menyatu dalam arah lateral.