

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Terminologi Umum

Terminologi umum atau peristilahan mencakup pendefinisian istilah-istilah yang digunakan dalam Tugas Akhir yang berjudul Studi Perbandingan Struktur Gedung *Open Frame* Dengan Dinding Pengisi Pada Laboratorium Terpadu Institut Teknologi Kalimantan. Laboratorium merupakan bangunan berupa unit penunjang akademik yang dilengkapi dengan berbagai peralatan untuk melakukan penelitian, percobaan ilmiah, eksperimen ataupun praktek pembelajaran. Model struktur gedung *open frame* merujuk pada pemodelan pada program bantu SAP2000 berupa elemen-elemen *frame* utama seperti balok dan juga kolom serta elemen pelat dengan dinding pengisi dimodelkan sebagai beban merata pada balok. Model struktur gedung diagonal tekan merujuk pada pemodelan pada program bantu SAP2000 berupa elemen-elemen *frame* utama seperti balok dan juga kolom serta elemen pelat dengan dinding pengisi dimodelkan sebagai ekuivalen diagonal *bracing* tekan. Model struktur gedung *continuum shell* merujuk pada pemodelan pada program bantu SAP2000 berupa elemen-elemen *frame* utama seperti balok dan juga kolom serta elemen pelat dengan dinding pengisi dimodelkan sebagai elemen *shell thin* dengan *link/gap* untuk menghubungkan dinding dengan balok dan kolom.

2.2. Dinding Bata Pengisi (*Masonry Infill Wall*)

Dinding bata pengisi atau yang dikenal sebagai *masonry infill walls* adalah salah satu elemen penyusun bangunan yang umum ditemukan di seluruh penjuru dunia. Dinding pengisi yang dibuat dari berbagai jenis material bangunan sering kali digunakan pada konstruksi beton maupun baja untuk mengisi rangka atau *frame*. Jenis konstruksi ini sangat umum ditemukan terutama pada negara-negara berkembang dimana material seperti bata tanah liat, beton ringan satuan dan bata *hollow* mudah dijumpai. Pada berbagai kasus, dinding pengisi diperlakukan sebagai elemen arsitektural serta pengaruh terhadap perilaku struktur tidak ikut

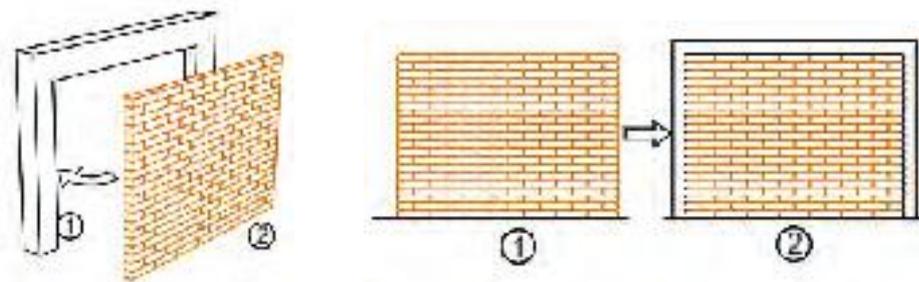
dipertimbangkan. Desain perencanaan ini dapat mengarah pada desain yang tidak ekonomis dan juga perilaku struktur tidak diharapkan yang dapat mengarah pada keruntuhan (Kauffman, 2014).

Frick dalam Prayuda (2015) mengungkapkan bahwa dinding adalah salah satu bagian struktur bangunan yang berbentuk bidang vertikal dan berguna untuk melingkupi, membagi atau melindungi isi bangunan. Fungsi dinding pada daerah tropis, khususnya di Indonesia adalah sebagai berikut:

1. Membagi bangunan menjadi ruangan yang ukurannya sesuai perencanaan dan juga nyaman.
2. Mencegah debu atau air hujan masuk ke dalam bangunan dan sebagai sistem tata udara dalam ruangan dalam
3. Sebagai tempat teduh serta nyaman dan memberi perlindungan kepada penghuni bangunan.

Fungsi dinding selain pemenuhan kebutuhan di atas juga dapat berfungsi menerima beban dari konstruksi lantai atas atau atap dan menyalurkan beban tersebut ke struktur di bawahnya yaitu pondasi. Dinding bagian luar ruangan juga selain dipengaruhi beban di atas juga akan terkena pengaruh lingkungan dari luar,. Dinding bata pengisi yang berperan sebagai bagian dari konstruksi harus dibangun dengan material dengan mutu dan spesifikasi yang memadai seperti metode, bahan adukan pasangan, ketebalan adukan serta plesteran yang berpengaruh terhadap kekuatan struktur.

Konstruksi dinding bata yang secara umum dikenal terdapat dua jenis yaitu dinding bata terkekang (*confined masonry construction*) dan konstruksi rangka beton bertulang dengan pengisi dinding bata (*reinforced concrete frame infilled with masonry wall panels*). Perbedaan dua jenis konstruksi ini terdapat pada metode pelaksanaannya yaitu, pada *confined masonry*, dinding bata dibangun terlebih dahulu yang kemudian diikuti oleh kolom dan balok bersamaan dengan pelat lantai. Pada konstruksi *reinforced concrete frame infilled with masonry wall panels*, rangka beton bertulang dibangun terlebih dahulu yang kemudian diikuti oleh dinding bata pengisi (Meli, 2011). Ilustrasi perbedaan kedua jenis dinding ini digambarkan pada Gambar 2.1.



(a) *Infilled Masonry Wall*

(b) *Confined Masonry*

www.itk.ac.id

Gambar 2.1. Perbedaan Antara Dinding *Infilled Masonry* dan *Confined Masonry* (Meli, 2011)

Beberapa perbedaan lain pada kedua jenis dinding ini adalah pada dimensi penampang balok serta kolom beton bertulang. Pada *confined masonry*, dimensi penampang lebih kecil dan langsing sehingga tidak menyediakan aksi *frame* efektif, sedangkan pada *infilled masonry*, dimensi balok dan kolom lebih besar sehingga kekakuan lebih besar dari dinding pengisi. Perilaku lain yang menjadi perbedaan adalah saat kedua jenis struktur ini menahan beban gravitasi, pada *confined masonry*, sebagian besar beban yang diterima dari lantai ditahan oleh dinding pengisi, sedangkan pada *infilled masonry*, beban sebagian besar ditahan oleh rangka beton bertulang dan hanya sedikit yang diterima oleh dinding pengisi karena kekakuan dari rangka beton bertulang yang cukup besar. Pada dinding jenis *infilled masonry* juga sering ditemukan celah antara bata penyusun dengan balok beton karena bata tidak terpasang dengan rapat sehingga rangka beton tidak mentransfer beban ke dinding pengisi (Meli, 2011).

2.3. Bata Beton Ringan Aerasi (*Hebel Concrete*)

Bata beton ringan merupakan inovasi material yang dibuat dengan karakteristik seperti beton dan memiliki sifat dapat menahan beban (kuat), tahan air serta tahan api dan juga tahan lama (*durable*). Bata beton ringan berbeda dari bata konvensional yang berbahan dasar tanah liat atau lempung yang sering digunakan di Indonesia. Bata ringan diciptakan untuk memperingan beban yang ditahan oleh struktur dari bangunan konstruksi, mempercepat pelaksanaan pekerjaan dan mengurangi sisa material pada saat pemasangan dinding. Bata ini cukup ringan, halus dan memiliki tingkat kerataan yang baik. Pembuatan beton

ringan dilakukan dengan menyertakan udara dalam komposisinya yaitu *no-fines concrete*, *lightweight aggregate concrete* dan *aerated concrete*. Teknologi bata ringan telah banyak diaplikasikan pada bangunan gedung karena bata konvensional yang memiliki kelemahan yaitu relatif berat sehingga meningkatkan risiko pada saat terjadi gempa (Goritman, 2011).

Hebel concrete block adalah salah satu jenis material bata beton ringan yaitu *autoclaved aerated concrete* (AAC). Bata ringan jenis ini terbuat dari semen, pasir kaya akan silika dan kapur. Bata ringan AAC adalah beton selular dimana gelembung udara yang ada disebabkan oleh reaksi kimia, yaitu ketika bubuk alumunium mengembang seperti pada proses penambahan ragi saat membuat adonan roti. Berbeda dengan bata AAC, bata ringan *cellular lightweight concrete* (CLC) adalah beton selular yang mengalami proses *curing* secara alami, dimana agregat kasar digantikan oleh udara, dalam prosesnya menggunakan busa organik yang sangat stabil dan tidak ada reaksi kimia terjadi ketika proses pencampuran. Busa berfungsi sebagai media untuk membungkus udara pada saat proses pembuatan bata CLC (Prasetya, 2016).

Hendra (2014) menyatakan bahwa bata beton ringan AAC memiliki berat jenis lebih ringan dari beton pada umumnya yaitu $2.200 \text{ kg/m}^3 - 2400 \text{ kg/m}^3$. Beton ringan aerasi ini memiliki berat berkisar antara 600 kg/m^3 hingga 1.600 kg/m^3 . Beton dapat dikatakan beton ringan jika berat jenis kurang dari 1.800 kg/m^3 . Bentuk bata ringan yang umum dipakai ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2. Material Bata Ringan *Hebel* (Situs Resmi Hebel)

Penelitian mengenai sifat mekanik bata ringan AAC telah banyak dilakukan. Ukuran, bentuk, metode pembentukan pori, umur, kadar air, material yang

digunakan, metode *curing* dan arah pembebanan adalah faktor-faktor yang mempengaruhi kekuatan *aerated concrete*. Kuat tekan dari bata ringan secara umum meningkat secara linear dengan kerapatan material. Tekanan dan suhu yang tinggi juga berpengaruh terhadap peningkatan kuat tekan yang signifikan (Narayanan, 2000). Variasi kuat tekan bata ringan AAC terhadap berat jenis kering ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Spesifikasi Kuat Tekan AAC terhadap Berat Jenis^{*)}

Berat Kering (kg/m ³)	Kuat Tekan (MPa)	Modulus Elastis (kN/mm ²)	Konduktivitas (W/m°C)
400	1.3-2.8	0.18-1.17	0.07-0.11
500	2.0-4.4	1.24-1.84	0.08-0.13
600	2.8-6.3	1.76-2.64	0.11-0.17
700	3.9-8.5	2.42-3.58	0.13-0.21

^{*)} Narayanan, 2000

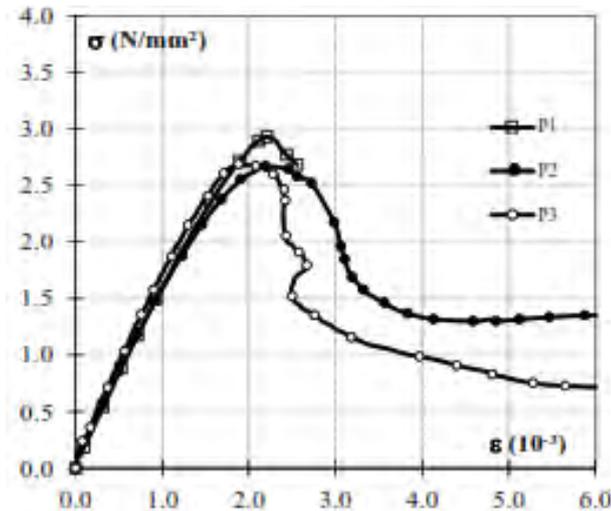
Penelitian oleh Feretti (2018) untuk mengetahui sifat mekanik bata ringan dengan eksperimen pada benda uji dengan rata-rata berat jenis 550 kg/m³ yang diproduksi oleh produsen Italia. Benda uji yang digunakan 80 mm x 40 mm yang merupakan hasil pemotongan dari balok bata AAC. Hasil pengujian kuat tekan serta elastisitas yang didapatkan dari penelitian tersebut ditunjukkan pada Tabel 2.2 sebagai berikut.

Tabel 2.2. Kuat Tekan Blok AAC dan Elastisitas^{*)}

Benda Uji	f'_c (MPa)	E_c (MPa)	k	G_{fc} (N/m)
P1	2.93	1581	1.30	4.67
P2	2.67	1549	1.17	7.10
P3	2.69	1700	1.19	4.97
Rata-rata	2.80	1610	1.22	5.58

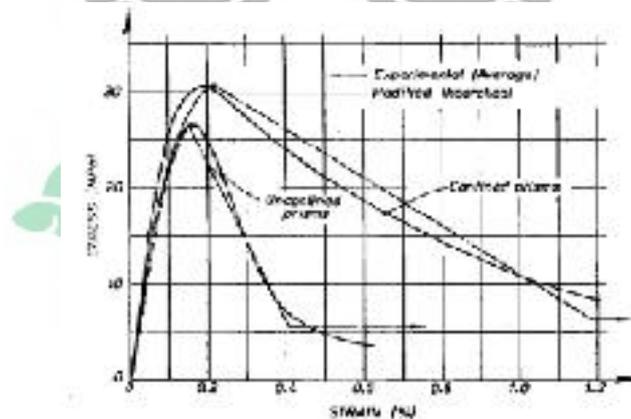
^{*)} Feretti, 2018

Notasi pada tabel tersebut menyatakan f'_c sebagai kuat tekan benda uji, E_c merupakan elastisitas benda uji, k merupakan angka plastis yang didefinisikan sebagai rasio modulus elastisitas E_c dengan E_{c1} serta G_{fc} adalah energi retak akibat tekan. Diagram tegangan-regangan pada bata ringan AAC hasil eksperimen ditunjukkan pada gambar 2.3 sebagai berikut.



Gambar 2.3. Kurva Tegangan-Regangan Bata Ringan AAC (Feretti, 2018)

Nilai kuat tarik pada bata tidak didapatkan secara pasti, oleh karena itu untuk mengetahui nilai kuat tarik dapat menggunakan pendekatan persamaan seperti pada beton, dimana nilai kuat tarik berkisar 8-15% dari kuat tekan beton. Hasil tersebut didasarkan oleh hubungan tegangan-regangan yang memiliki perilaku sama namun dengan kuat tekan yang lebih rendah (Pamungkas, 2011). Perilaku kurva tegangan-regangan tekan pada *concrete masonry* ditunjukkan pada Gambar 2.4 sebagai berikut.



Gambar 2.4. Kurva Tegangan-Regangan *Concrete Masonry* (Paulay, 1992)

Karakteristik lain dari bata AAC ini adalah besarnya nilai *poisson ratio*. Nilai *poisson ratio* merupakan konstanta elastis dari sebuah material. Nilai ini merupakan perbandingan antara perubahan arah aksial dengan arah transversal.

Patre (2016) menyatakan bahwa nilai dari *poisson ratio* pada bata AAC adalah sebesar 0,25.

Paulay (1992) menjelaskan bahwa masih banyak kekurangan ketentuan mengenai hubungan yang pasti antara kuat tekan material penyusun dinding bata dan modulus elastisitas yang dimiliki dan menjelaskan bahwa hubungan tersebut bergantung pada keberagaman jenis materia panyusun dinding bata. Paulay menyarankan nilai di bawah ini dengan catatan dapat disesuaikan dengan desain seismik yang digunakan. Untuk dinding pengisi dengan material batu bata dari tanah liat dapat menggunakan persamaan:

$$E_m = 750f'_m \quad (2.1)$$

Serta untuk dinding pengisi dengan material penyusun beton dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$E_m = 1000f'_m \quad (2.2)$$

Dimana nilai E_m merupakan modulus elastisitas dinding pengisi dan f'_m merupakan kuat tekan dari material penyusun.

2.4. Mortar Beton

Tjokrodimuljo dalam Hendra (2014) menyatakan bahwa mortar merupakan salah satu komponen bangunan yang berfungsi sebagai perekat dan pengikat antara pasangan bata dengan mortar itu sendiri dan rangka beton bertulang. Mortar sendiri merupakan material yang tersusun atas air, bahan perekat (lumpur, kapur dan semen *portland*) serta agregat halus seperti pasir. Mortar yang terbuat dari semen pada umumnya memiliki kuat tekan berkisar antara 3 hingga 17 MPa dan mempunyai berat jenis berkisar 1,8 – 2,20 seperti pada Tabel 2.3 sebagai berikut.

Tabel 2.3. Karakteristik Mortar Semen dan Pasir^{*)}

Perbandingan Volume (Semen:Pasir)	FAS	Nilai Sebar (%)	Berat Jenis	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tarik (MPa)	Serapan Air (%)
1:3	0,60	85	2,22	28	2,60	7,47
1:4	0,72	82	2,19	18	1,80	7,71
1:5	0,90	86	2,14	10	1,70	8,58
1:6	1,10	85	2,10	8	1,30	9,03
1:7	1,48	88	2,04	5	0,96	9,94

*)Tjokrodimuljo dalam Hendra, 2014

Dewi (2012) mengungkapkan hasil pengujian eksperimen kuat tekan mortar dengan benda uji berbentuk silinder diameter 15 cm dan tinggi 30 cm serta terbuat dari bahan yang sama dengan perbandingan 1:5 memiliki hasil yang ditunjukkan pada Tabel 2.4 setelah dilakukan proses *curing* hingga 28 hari.

Tabel 2.4. Sifat Mortar Semen dan Pasir Perbandingan 1:5^{*)}

Karakteristik	Nilai
Kuat Tekan	10 MPa
Modulus Elastisitas	5504 MPa
<i>Poisson's Ratio</i>	0.15

*)Dewi, 2014

2.5. Sistem Rangka Pemikul Momen

Sistem rangka pemikul momen atau yang dikenal juga sebagai SRPM atau *Moment Resisting Frame* (MRF) menurut SNI 1726:2012 merupakan suatu sistem struktur yang dasarnya memiliki rangka portal ruang untuk memikul beban gravitasi yang bekerja secara lengkap, sedangkan beban lateral yang salah satunya diakibatkan oleh gempa dipikul oleh rangka pemikul momen melalui mekanisme lentur. Putra (2017) menyatakan bahwa sistem ini adalah salah satu “pilihan” yang dapat digunakan saat merencanakan struktur yang tahan terhadap gempa. Sistem ini dicirikan oleh beban lateral khususnya gaya gempa didistribusikan melalui mekanisme lentur antara balok dan kolom, sehingga peran balok, kolom dan hubungan balok-kolom sangat penting. Ciri lain yang menandai sistem ini adalah tidak menggunakan dinding struktural seperti dinding geser dan dinding yang digunakan tidak didesain untuk menahan beban lateral serta tidak menggunakan pengaku portal atau *bracing*. Sistem rangka pemikul momen dibagi menjadi tiga jenis yaitu SRPMB (Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa atau *Ordinary Moment Resisting Frame*), SRPMM (Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah atau *Intermediate Moment Resisting Frame*) dan SRPMK (Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus atau *Special Moment Resisting Frame*). Penjelasan ketiga jenis rangka pemikul momen tersebut adalah:

- a. Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa atau SRPMB merupakan sistem rangka pemikul yang digunakan untuk daerah yang berada di wilayah gempa dengan kategori desain seismik A dan B.

- b. Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah atau SRPMM. Sistem rangka pemikul ini digunakan untuk daerah dengan kategori desain sesmik A, B dan C.
- c. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus atau SRPMK. Sistem rangka pemikul ini digunakan untuk daerah dengan kategori desain seismik A, D,C, D, E dan F.

2.6. Struktur Beton Bertulang

Beton merupakan suatu campuraran material yang terdiri dari pasir, kerikil, baru pecah atau agregat lain yang dicampur menjadi satu dengan bahan perekat berupa semen dan air. Beberapa bahan aditif terkadang ditambahkan ke dalam campuran untuk menambah karakteristik tertentu seperti kekuatan, waktu pengerjaan dan kemudahan pelaksanaan. Material beton dicirikan dengan memiliki kekuatan tekan tinggi dan kuat tarik rendah sehingga material ini dikombinasikan dengan tulangan baja untuk menyediakan kuat tarik yang memadai, sehingga tercipta material beton bertulang (Cormac, 2004).

Beton bertulang merupakan material konstruksi yang dapat digunakan dalam berbagai macam konstruksi dengan bentuk berbagai rupa, besar maupun kecil seperti bangunan gedung, jembatan, jalan, bendungan dan lain-lain. Kelebihan yang dimiliki beton bertulang sebagai material konstruksi adalah sebagai berikut:

- a. Material beton relatif memiliki kekuatan yang lebih tinggi dari material lain.
- b. Beton bertulang memiliki ketahanan terhadap air dan suhu sehingga sangat baik untuk struktur yang sering terkena air atau rawan terjadi kebakaran.
- c. Struktur beton bertulang sangat kokoh dan kuat dibandingkan dengan material lain.
- d. Beton bertulang memiliki usia layan yang sangat panjang dibanding dengan material lain dan juga tidak memerlukan biaya pemeliharaan yang tinggi.
- e. Beton bertulang merupakan material ekonomis yang dapat digunakan untuk pondasi tapak, tiang pilar jembatan dan bangunan bawah lainnya.

2.7. Perencanaan Struktur Rangka Beton Bertulang

Perencanaan komponen struktur rangka beton harus memenuhi persyaratan serta memiliki kekakuan dan kekuatan yang cukup untuk menahan serta beban-beban yang bekerja. Perencanaan struktur beton dapat disesuaikan dengan SNI 2847:2013. Komponen struktur rangka beton yang direncanakan adalah sebagai berikut.

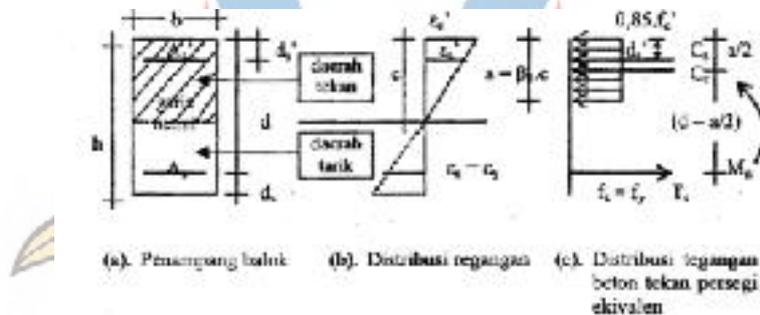
2.6.1. Perencanaan Elemen Balok

Balok merupakan elemen struktur yang menanggung beban lateral dalam arah transversal yang menyebabkan terjadinya momen lentur, gaya geser, dan torsi di sepanjang bentangnya. Balok merupakan elemen struktur lentur yang mengkombinasikan batang tarik serta batang tekan dengan suatu jarak tertentu. Tegangan dalam yang terjadi pada balok pada saat terkena beban diwakili dengan adanya gaya dalam. Dipohusodo (1996) dalam Praditya (2019) menyatakan bahwa suatu bentang balok sederhana menahan beban yang mengakibatkan momen lentur sehingga terjadi deformasi lentur di dalam penampang balok tersebut. Deformasi yang terjadi pada balok tersebut menimbulkan tegangan tekan di serat atas dan tegangan tarik di serat bawah, sehingga agar stabilitas terjaga maka dipasang tulangan di serat yang terjadi tegangan tersebut. Beberapa jenis balok yang dikenal sebagai komponen struktur adalah:

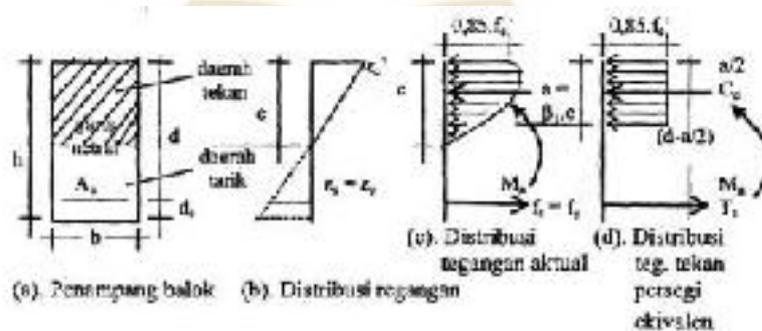
- a. Balok sederhana dengan tumpuan pada kolom di bagian ujungnya, dengan satu ujung bebas berotasi serta tidak memiliki momen tahanan. Struktur ini ditemukan pada struktur statis serta nilai reaksi yang terjadi, gaya geser, momen dari balok sederhana tidak bergantung pada penampang dan material yang digunakan.
- b. Balok kantilever merupakan balok yang hanya didukung hanya pada satu ujungnya yang tetap dan diproyeksikan pada struktur kaku.
- c. Balok teritisan yang merupakan balok sederhana memanjang melewati salah satu kolom tumpuannya.
- d. Balok yang dikaitkan pada ujung-ujung tetap dan dapat menahan translasi serta rotasi.
- e. Balok dengan bentang tersuspensi. Balok ini merupakan balok sederhana yang ditopang teritisan dua bentang dengan sambungan pin.

- f. Balok kontinu memanjang yang menerus melewati lebih dari dua kolom tumpuan untuk menghasilkan kekakuan lebih besar dan momen lebih kecil dibanding balok tidak menerus dengan panjang dan beban yang sama.

Elemen balok direncanakan harus mampu menahan gaya geser, momen serta defleksi maupun deformasi yang terjadi. Tegangan yang terjadi akibat gaya-gaya yang bekerja pada elemen balok ditunjukkan pada Gambar 2.5 dan Gambar 2.6 sebagai berikut. Balok tulangan tunggal merupakan elemen balok yang hanya memiliki tulangan pada daerah serat tariknya saja untuk memenuhi keperluan balok dalam menahan gaya tarik, sedangkan balok tulangan rangkap merupakan balok yang memiliki komponen tulangan pada bagian serat tekan dan juga serat tariknya.



Gambar 2.5. Tegangan dan Regangan Beton Tulangan Rangkap (Nge, 2016)



Gambar 2.6. Tegangan dan Regangan Beton Tulangan Tunggal (Nge, 2016)

Standar Nasional Indonesia 2847:2013 mensyaratkan bahwa kapasitas nominal yang dimiliki oleh elemen balok harus minimal sama dengan gaya *ultimate* yang bekerja pada balok atau lebih besar daripada gaya *ultimate* yang bekerja seperti yang ditunjukkan pada persamaan berikut. R_n merupakan kapasitas

gaya nominal balok, merupakan faktor reduksi kekuatan dan R_u merupakan gaya *ultimate* yang bekerja pada balok. Balok dapat digunakan sebagai komponen struktur apabila persyaratan tersebut terpenuhi.

$$R_n \leq R_u \quad (2.3)$$

Perencanaan awal untuk penampang dimensi balok dapat menggunakan SNI 2847:2013 Tabel 9.5 (a) yang ditunjukkan pada Tabel 2.5 sebagai berikut. Nilai yang dihasilkan kemudian disesuaikan dan dicek dengan kapasitas gaya dalam yang terjadi pada balok tersebut dan tulangan yang digunakan.

Tabel 2.5. Tebal Minimum Balok Non-Prategang *)

Komponen Struktur	Tebal minimum, h			
	Tertumpu Sederhana	Satu Ujung Menerus	Kedua Ujung Menerus	Kantilever
Balok atau pelat rusuk satu arah	$\frac{L}{16}$	$\frac{L}{18.5}$	$\frac{L}{21}$	$\frac{L}{8}$

*) Standar Nasional Indonesia 2847, 2013

Penggunaan persamaan tersebut dapat digunakan dengan beberapa persyaratan pendukung, antara lain sebagai berikut:

- Panjang bentang dalam satuan millimeter dan nilai yang diberikan harus digunakan langsung untuk komponen struktur dengan beton normal dan tulangan-tulangan mutu 420 MPa.
- Untuk struktur beton ringan dengan berat jenis (*equilibrium density*) dengan berat beton 1440 kg/m³ sampai 1840 kg/m³, nilai tersebut harus dikalikan dengan persamaan sebagai berikut tetapi tidak boleh kurang dari 1.09 sehingga:

$$h_{\min} = h_{\min} (1,65 - 0,003w_c) \quad (2.4)$$

dimana;

h_{\min} adalah tinggi penampang minimum;

w_c adalah berat jenis dari beton;

- Untuk nilai f_y selain 420 MPa, nilai tersebut harus dikalikan dengan persamaan berikut, sehingga menjadi:

$$h_{\min} = h_{\min} \left(0,4 + \frac{f_y}{700}\right) \quad (2.5)$$

f_y adalah mutu dari tulangan longitudinal;

- d. Untuk perhitungan lebar bentang minimum dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$b_{\min} = \frac{2}{3} h_{\min} \quad (2.6)$$

b_{\min} adalah lebar minimum penampang;

Syarat pelindung beton atau yang biasa disebut sebagai selimut beton untuk tulangan sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 7.7.1 pada Tabel 2.6 sebagai berikut:

Tabel 2.6. Syarat Tebal Minimum Pelindung Beton^{*)}

Keterangan	Tebal Selimut Minimum (mm)
Beton yang dicor di atas dan selalu berhubungan dengan tanah	75
Beton yang berhubungan dengan tanah atau cuaca	
Batang D-19 hingga D-57	50
Batang D-16, kawat M-16 ulir atau polos dan yang lebih kecil	40
Beton yang tidak berhubungan dengan cuaca atau berhubungan dengan tanah	
Slab, dinding, balok usuk:	
Batang tulangan D-44 dan D-57	40
Batang tulangan D-36 dan yang lebih kecil	20
Balok, kolom:	40
Tulangan utama, pengikat, sengkang, spiral	
Komponen Struktur cangkang, pelat lipat:	20
Batang tulangan D-19 dan yang lebih besar	13
Batang tulangan D-16, kawat M-16 ulir atau polos, dan yang lebih kecil	

^{*)} Standar Nasional Indonesia 2847, 2013

2.6.2. Perencanaan Elemen Pelat

Pelat beton merupakan komponen struktur yang terpasang secara horizontal dengan ketebalan yang relatif tipis. Elemen ini berfungsi menerima beban hidup dan beban mati dari lantai yang kemudian diteruskan ke balok dan juga kolom. Pelat beton dapat direncanakan sebagai pelat satu arah (*one way slab*) ataupun pelat dua arah (*two ways slab*). Pelat direncanakan bekerja satu arah apabila perbandingan panjang (L_y) dan lebar (L_x) lebih kecil daripada 2 atau $L_y/L_x < 2$ dan dapat direncanakan bekerja satu arah apabila $L_y/L_x > 2$. Perbedaan lain yang

mendasar antara pelat satu arah dan pelat dua arah adalah sebagaimana dijelaskan Praditya (2019) adalah sebagai berikut:

- a. Pelat satu arah atau *one way slab* adalah pelat dengan deformasi secara dominan pada satu arah. Pelat ini memiliki tulangan utama pada satu arah untuk menahan momen lentur yang diakibatkan oleh beban pada bentang satu arah. Salah satu contoh dari pelat ini adalah pelat kantilever serta pelat yang ditumpu oleh dua tumpuan karena pada pelat jenis ini, momen lentur hanya bekerja satu arah saja yaitu pada bentang yang lebih panjang. Konstruksi pelat satu arah juga terkadang diberikan tulangan tambahan yang disebut sebagai tulangan bagi.
- b. Pelat dua arah atau *two ways slab* merupakan pelat dengan deformasi dominan yang terjadi pada kedua arah horizontal. Pelat ini memiliki tulangan utama pada kedua bentang (bentang panjang dan bentang pendek) karena momen lentur akibat beban yang ditumpu bekerja pada kedua arah. Tulangan utama yang dipasang pada dua arah secara tegak lurus sehingga tidak memerlukan tulangan bagi, akan tetapi pada daerah tumpuan tetap diperlukan untuk dipasang tulangan bagi.

Tebal minimum pelat satu arah dapat direncanakan sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 9.5.2.1 yang ditunjukkan pada Tabel 2.7 sebagai berikut.

Tabel 2.7. Syarat Tebal Minimum Pelat Beton Satu Arah^{*)}

Komponen Struktur	Tebal Minimum, <i>h</i>			
	Tertumpu Sederhana	Satu Ujung Menerus	Kedua Ujung Menerus	Kantilever
Komponen struktur tidak menumpu atau tidak di hubungkan dengan partisi atau konstruksi lainnya yang mungkin oleh lendutan besar				
Pelat Masif Satu Arah	$L/20$	$L/24$	$L/28$	$L/10$
Balok Atau Pelat Rusuk Satu Arah	$L/16$	$L/18,5$	$L/21$	$L/8$

^{*)} Standar Nasional Indonesia 2847, 2013

Perencanaan pelat dua arah dapat mengikuti persyaratan SNI 2847:2013 pasal 9.5.3.3 yang ditunjukkan pada Tabel 2.8 sebagai berikut.

Tabel 2.8. Syarat Tebal Minimum Pelat Beton Dua Arah^{*)}

Tegangan Leleh, f_y MPa	Tanpa Penebalan			Dengan Penebalan		
	Panel Eksterior		Panel Interior	Panel Eksterior		Panel Interior
	Tanpa balok pinggir	Dengan balok pinggir		Tanpa balok pinggir	Dengan balok pinggir	
280	$L/33$	$L/36$	$L/36$	$L/36$	$L/40$	$L/40$
420	$L/30$	$L/33$	$L/33$	$L/33$	$L/36$	$L/36$
520	$L/28$	$L/31$	$L/31$	$L/31$	$L/34$	$L/4$

^{*)} Standar Nasional Indonesia 2847, 2013

Lendutan atau defleksi yang terjadi pada elemen pelat juga perlu diperhitungkan sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 9.5.3.1 yang ditunjukkan pada Tabel 2.9. sebagai berikut.

Tabel 2.9. Lendutan Izin Maksimum Yang Dihitung^{*)}

Jenis Komponen Struktur	Lendutan Yang Diperhitungkan	Batas Lendutan
Atap datar yang tidak menumpu atau tidak disatukan dengan komponen nonstruktural yang mungkin akan rusak oleh lendutan yang besar	Lendutan seketika akibat beban hidup L	$l/180$
Lantai yang tidak menumpu atau tidak disatukan dengan komponen nonstruktural yang mungkin akan rusak oleh lendutan yang besar	Lendutan seketika akibat beban hidup L	$l/360$
Konstruksi atap atau lantai yang menumpu atau disatukan dengan komponen nonstruktural yang mungkin akan rusak oleh lendutan yang besar	Bagian dari lendutan total yang terjadi setelah pemasangan komponen nonstruktural (jumlah dari lendutan jangka panjang, akibat semua beban tetap yang bekerja, dan lendutan seketika akibat penambahan beban hidup)	$l/480$
Konstruksi atap atau lantai yang menumpu atau disatukan dengan komponen nonstruktural yang mungkin tidak akan rusak oleh lendutan yang besar.		$l/240$

^{*)} Standar Nasional Indonesia 2847, 2013

Besarnya nilai lendutan seketika pada pelat yang memperhitungkan nilai kekakuan dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$= \frac{5M_u L_d}{384E_c I_g} \quad (2.7)$$

SNI 2847:2013 pasal 9.5.2.3 menyatakan bahwa apabila nilai kekakuan tidak dihitung dengan cara analisis yang mendetail dan teliti, maka besar lendutan seketika akibat pembebanan harus dihitung menggunakan modulus elastisitas beton E_c dengan momen inersia efektif I_e tapi tidak lebih besar dari I_g .

$$I_e = \frac{M_{cr}}{M_a}^3 I_g + 1 - \frac{M_{cr}}{M_a}^3 I_{cr} \quad (2.8)$$

dimana,

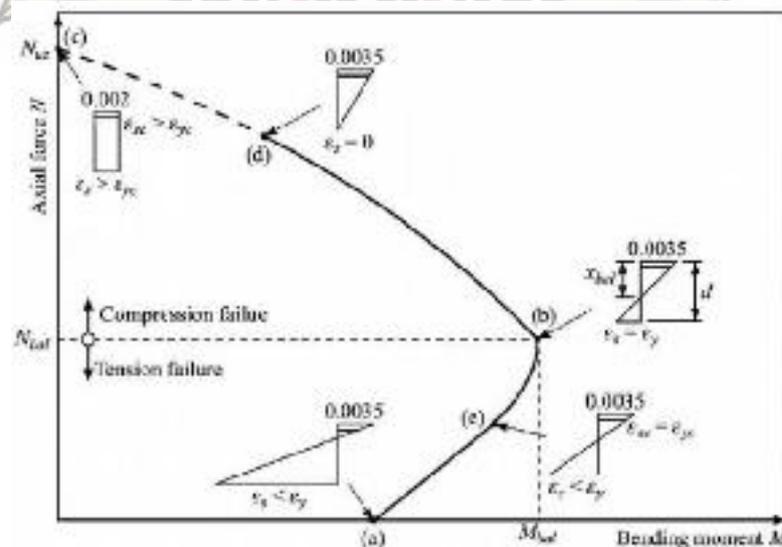
$$M_{cr} = \frac{f_r I_g}{y_t} \quad (2.9)$$

$$f_r = 0,62 \sqrt{f_c'} \quad (2.10)$$

2.6.3. Perencanaan Dimensi Kolom

Kolom adalah komponen struktural yang berbentuk batang vertikal tekan yang berfungsi untuk menerima beban yang diteruskan dari balok dan pelat ke struktur di bawahnya seperti pondasi atau lantai di bawahnya. Bayzoni (2017) menyatakan bahwa kolom meneruskan beban dari elevasi atas ke elevasi bawahnya, sehingga keruntuhan pada suatu kolom merupakan lokasi yang kritis yang dapat menyebabkan runtuh secara keseluruhan. Kolom juga termasuk struktur utama untuk meneruskan beban dari atap hingga ke pondasi. Kolom dalam sebuah konstruksi harus dibuat menerus dari lantai atas hingga lantai bawahnya serta tidak boleh digeser karena akan mempengaruhi sifat kekakuan dari struktur bangunan tersebut. Badan Standar Nasional (1991) dalam Praditya (2019) juga menyatakan bahwa kolom merupakan komponen struktur untuk menyangga beban aksial tekan dengan syarat pada bagian tinggi tidak ditopang minimal merupakan tiga kali dimensi lateral terkecil.

SNI 2847:2013 menyatakan bahwa dalam perancangan kolom untuk menahan gaya aksial yang terjadi akibat beban terfaktor pada semua lantai atau atap serta momen maksimum dari beban terfaktor pada satu bentang lantai atau atap bersebelahan yang ditinjau. Kondisi pembebanan yang memberikan rasio momen maksimum terhadap beban aksial juga harus ditinjau. Pertimbangan pengaruh beban lantai atau atap tak seimbang baik kolom eksterior dan interior serta pembebanan eksentris pada rangka konstruksi menerus harus diperhatikan. Dalam perencanaan untuk menghitung momen akibat beban gravitasi pada kolom, diizinkan untuk mengasumsikan ujung jauh kolom yang dibangun menyatu dengan struktur sebagai terjepit serta tahanan terhadap momen pada setiap lantai atau atap harus disediakan dengan mendistribusikan momen di antara kolom langsung atas dan bawah lantai dengan pertimbangan proporsi terhadap kekakuan kolom relatif dan kondisi kekangan. Perencanaan tulangan pada kolom meliputi tulangan longitudinal dan tulangan transversal. Kekuatan yang disediakan kolom dengan tulangan dapat dilihat dari interaksi yang terjadi antara aksial dan momen dalam diagram interaksi P-M seperti Gambar 2.7.



Gambar 2.7. Diagram Interaksi P-M Kolom (Madutujuh, 2018)

Perencanaan dimensi kolom dapat dilakukan dengan mengasumsikan kolom merupakan kolom simetris ($b=h$) dan menerima beban aksial. Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut.

$$P = 0,1A_g f_c' \quad (2.11)$$

$$P = 1,2DL + 1,6LL \quad (2.12)$$

$$h = \sqrt{\frac{P}{0,1f_c'}} \quad (2.13)$$

dimana:

P merupakan beban aksial yang bekerja (kN)

A_g merupakan luas penampang kolom (m^2)

h merupakan lebar atau tinggi penampang kolom (m)

f_c' merupakan kuat tekan beton dalam (MPa)

Perencanaan kolom juga dapat menggunakan prinsip sifat struktur yaitu *strong coloumn weak beam* dengan persamaan sebagai berikut:

$$\frac{L_{kolom}}{I_{kolom}} \leq \frac{L_{balok}}{I_{balok}} \quad (2.14)$$

dimana:

L_{kolom} merupakan panjang kolom yang direncanakan (m)

L_{balok} merupakan panjang balok yang direncanakan (m)

I_{kolom} merupakan inersia kolom yang direncanakan (m^4)

I_{balok} merupakan inersia balok yang direncanakan (m^4)

2.6.4. Perencanaan Tangga

Tangga merupakan komponen dari struktur gedung yang berfungsi untuk menghubungkan dua lantai secara vertikal yang terpisah oleh tinggi lantai. Supribadi (1986) dalam Praditya (2019) menyatakan bahwa tangga merupakan konstruksi untuk menghubungkan satu tempat dan tempat lainnya yang memiliki ketinggian berbeda. Tangga dapat dibuat dari material pasangan batu, baja, beton, kayu dan material material lainnya. Pada dasarnya, tangga memiliki tiga bagian yaitu *antrede*, *optrede* dan *bordes*. *Antrede* merupakan bagian anak tangga yang berfungsi sebagai pijakan. *Optrede* merupakan bagian anak tangga yang menghubungkan antara dua *antrade* berurutan yang memiliki selisih ketinggian. *Bordes* merupakan bagian dari tangga berbentuk pelat yang berfungsi sebagai tempat tumpuan dari anak tangga.

$$60cm \quad (2t + i) \quad 65cm \quad (2.15)$$

dimana:

t merupakan tinggi tanjakan tangga < 25 cm

i merupakan lebar injakan tangga, dengan $25 \text{ cm} < i < 40 \text{ cm}$

Perencanaan tangga menurut Praditya (2019) harus memenuhi persyaratan agar struktur tersebut aman dan nyaman selama masa pemakaian. Persyaratan-persyaratan tersebut adalah sebagai berikut:

1. Tangga yang direncanakan harus memiliki lokasi strategis dan mudah untuk dijangkau.
2. Tangga yang direncanakan harus dapat dengan mudah dinaiki agar pengguna merasa nyaman.
3. Struktur tangga harus memiliki kekuatan dan kekakuan yang cukup untuk menahan beban yang bekerja,
4. Ukuran tangga dan bagian-bagiannya harus sesuai dengan fungsi bangunan yang direncanakan.
5. Material penyusun struktur tangga harus tahan terhadap api kebakaran sehingga dapat berfungsi sebagai tangga darurat.
6. Kemiringan tangga harus direncanakan tidak melebihi 45 derajat agar tidak terlalu curam dan mengurangi kenyamanan pengguna.

2.8. Penyaluran dan Sambungan Tulangan

SNI 2847:2013 menyatakan Penyaluran tulangan tarik dan tekan yang dihitung pada tulangan di setiap penampang komponen struktur beton harus disalurkan pada masing-masing sisi penampang tersebut melalui panjang penanaman, kait, batang ulir berkepala (*headed deformed bar*) atau alat mekanis atau kombinasi lainnya. Penyaluran batang tulangan ulir dan kawat ulir dalam kondisi tarik harus sesuai persamaan berikut akan tetapi tidak boleh kurang dari 300 mm.

(2.16)

$$l_d = \frac{f_y}{1,1 \sqrt{f_c'}} \frac{t e s}{c_b + K_{tr}} d_b$$

Dimana ruas pengekanan $(c_b+K_{tr})/d_b$ tidak boleh diambil lebih besar dari 2,5 dan:

$$K_{tr} = \frac{40A_{tr}}{s_n} \quad (2.17)$$

Nilai n merupakan jumlah batang tulangan atau kawat yang disambung atau disalurkan sepanjang bidang pembelahan. Diizinkan untuk menggunakan $K_{tr}=0$ sebagai penyederhanaan desain meskipun terdapat tulangan transversal. Nilai tersebut juga dapat dihitung dengan Tabel 2.10.

Tabel 2.10. Lentutan Izin Maksimum Yang Dihitung^{*)}

	Batang tulangan atau kawat ulir D-19 dan yang lebih kecil	Batang tulangan D-22 dan yang lebih besar
Spasi bersih batang tulangan atau kawat yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari d_b , selimut bersih tidak kurang dari d_b dan sengkang atau pengikat sepanjang l_d tidak kurang dari minimum.	$\frac{f_y t e}{2,1 \sqrt{f_c'}} d_b$	$\frac{f_y t e}{1,7 \sqrt{f_c'}} d_b$
Spasi bersih batang tulangan atau kawat yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari $2d_b$ dan selimut bersih tidak kurang dari d_b .		
Kasus-kasus lain	$\frac{f_y t e}{1,4 \sqrt{f_c'}} d_b$	$\frac{f_y t e}{1,1 \sqrt{f_c'}} d_b$

^{*)} Standar Nasional Indonesia 2847, 2013

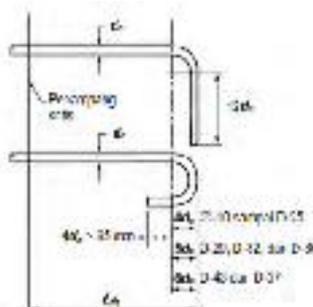
Panjang penyaluran untuk batang tulangan ulir dan awat ulir dalam kondisi tekan menurut pasal 12.3.1 harus diambil nilai terbesar antara persamaan berikut akan tetapi tidak boleh kurang dari 200 mm.

$$\frac{0,24f_y}{\sqrt{f_c'}} d_b \text{ atau } (0,043f_y)d_b \quad (2.18)$$

Penyaluran kait standar dalam kondisi tarik harus sesuai dengan pasal 12.5.1 SNI 2847:2013 seperti pada Gambar 2.8 harus sesuai dengan persamaan berikut, tetapi tidak boleh kurang dari $8d_b$ dan 150 mm.

$$l_{dh} = \frac{0,24 e f_y}{\sqrt{f_c'}} d_b \quad (2.19)$$

Nilai ρ diambil sebesar 1,2 untuk tulangan epoksi, dan nilai ρ diambil sebesar 0,75 untuk beton ringan. Untuk kasus lain, nilai-nilai tersebut harus diambil sebesar 0,1.



Gambar 2.8. Detail batang tulangan berkait untuk kait standar (SNI 2847, 2013)

2.9. Pembebanan

Pembebanan adalah salah satu komponen utama yang diperlukan dalam analisis sebuah struktur. Pembebanan desain yang digunakan dalam analisis harus mendekati dengan kondisi nyata yang akan dialami oleh struktur selama masa layan bangunan gedung tersebut.

2.8.1. Klasifikasi Pembebanan Struktur

Klasifikasi beban-beban yang bekerja pada sebuah struktur bangunan gedung adalah beban mati (*dead load*), beban hidup (*live load*), beban hujan (*rain load*), beban angin (*wind load*) dan juga beban gempa (*seismic load*). Gambaran mengenai masing-masing beban adalah sebagai berikut.

A. Beban Mati (*Dead Load*)

Beban mati menurut definisi SNI 1727:2013 mengenai Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain pasal 3.1 adalah berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, *finishing*, klading gedung dan komponen arsitektural dan struktural lainnya serta peralatan layan terpasang lain termasuk berat keran. Dalam menentukan beban mati untuk perancangan, harus digunakan berat bahan dan konstruksi yang sebenarnya, dengan ketentuan bahwa jika tidak ada informasi yang jelas, nilai yang harus digunakan adalah nilai yang

disetujui oleh pihak yang berwenang. Selain itu, dalam menentukan beban mati rencana juga harus memperhitungkan berat peralatan layan yang digunakan dalam bangunan gedung seperti plambing, mekanikal elektrikal, dan alat pemanas, ventilasi, dan sistem pengondisian udara. Berat sendiri bahan bangunan dan komponen gedung ditunjukkan pada Tabel 2.11 sebagai berikut.

Tabel 2.11. Berat Sendiri dan Komponen Gedung^{*)}

Bahan dan Komponen	Berat Jenis
Baja	7850 kg/m ³
Beton Bertulang	2400 kg/m ³
Adukan Semen, per cm tebal	21 kg/m ²
Dinding pemasangan bata merah ½ batu	250 kg/m ²
Dinding pemasangan batako	200 kg/m ²
Langit-langit dan dinding	11 kg/m ²
Pipa-pipa dan <i>ducting</i> mekanikal elektrikal	40 kg/m ²
Penggantung langit-langit	7 kg/m ²
Penutup lantai dari ubin	24 kg/m ²

^{*)} Standar Nasional Indonesia 1727, 1989

B. Beban Hidup (*Live Load*)

Beban hidup adalah beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung atau struktur lain yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan seperti beban angin, beban hujan, beban gempa, beban banjir atau beban mati. Beban hidup juga terdiri atas beban hidup atap yaitu beban yang diakibatkan pelaksanaan pemeliharaan oleh pekerja, peralatan, material dan selama masa layan struktur yang diakibatkan oleh benda bergerak seperti tanaman atau benda dekorasi kecil yang tidak berhubungan dengan penghunian. Beban hidup yang tidak tercantum pada peraturan harus ditentukan dengan metode-metode yang disetujui oleh pihak berwenang.

Beban hidup yang digunakan dalam perancangan bangunan gedung dan struktur lain harus merupakan beban maksimum yang diharapkan terjadi akibat penghunian dan penggunaan bangunan gedung, akan tetapi tidak boleh kurang dari beban merata minimum yang ditetapkan pada Tabel 2.12. Beban hidup tinggi yang melebihi 100 lb/ft² (4.79 kN/m²) tidak boleh direduksi serta beban hidup yang direncanakan pada tempat pertemuan tidak boleh direduksi. Pengecualian untuk beban hidup komponen struktur yang mendukung dua lantai atau lebih dari dua lantai boleh direduksi sebesar 20 persen.

Tabel 2.12. Beban Hidup Minimum Struktur Gedung^{*)}

Hunian atau Penggunaan	Merata psf (kN/m²)	Terpusat lb (kN)
Apartemen (lihat rumah tinggal)		
Sistem lantai akses		
Ruang kantor	50 (2,4)	2 000 (8,9)
Ruang komputer	100 (4,79)	2 000 (8,9)
Gedung senjata dan ruang latihan	150 (7,18)	
Ruang pertemuan	100 (4,79)	
Kursi tetap (terikat pada lantai)	100 (4,79)	
Lobi	100 (4,79)	
Kursi dapat dipindahkan	100 (4,79)	
Panggung pertemuan	100 (4,79)	
Lantai podium	100 (4,79)	
Balkon dan dek	1,5 kali beban hidup untuk daerah yang dilayani. Tidak lebih 100 psf (4,79 kN/m ²)	
Jalur untuk akses pemeliharaan	40 (1,92)	300 (1,33)
Koridor		
Lantai pertama	100 (4,79)	
Lantai lain	Sama seperti hunian	
Ruang makan dan restoran	100 (4,79)	
Ruang mesin elevator (pada daerah 2 in. x 2 in.)		300 (1,33)
Konstruksi pelat lantai <i>finishing</i> ringan (pada area 1in.x1in.[25mmx25mm])		200 (0,89)
Jalur penyelamatan kebakaran	100 (4,79)	
Hunian satu keluarga saja	40 (1,92)	
Tangga permanen	50 lb/ft (0,73 kN/m)	
Garasi/parkir	40 (1,92)	
Helipad	60 (2,87) tidak boleh direduksi	
Rumah sakit		
Ruang operasi,lab	60 (2,87)	1 000 (4,45)
Ruang pasien	40 (1,92)	1 000 (4,45)
Koridor di atas lantai pertama	80 (3,83)	1 000 (4,45)
Hotel (lihat rumah tinggal)		
Perpustakaan		
Ruang baca	60 (2,87)	1 000 (4,45)
Ruang Penyimpanan	150 (7,18)	1 000 (4,45)
Koridor di atas lantai pertama	80 (3,83)	1 000 (4,45)
Pabrik		
Ringan	125 (6,00)	2 000 (8,90)
Berat	250 (11,97)	3000 (13,40)

^{*)} Standar Nasional Indonesia 1727, 2013

Tabel 2.12. Beban Hidup Minimum Struktur Gedung (lanjutan)^{*)}

Hunian atau Penggunaan	Merata psf (kN/m ²)	Terpusat lb (kN)
Gedung perkantoran		
Ruang arsip dan komputer	100 (4,79)	2 000 (8,9)
Lobi dan koridor pertama	100 (4,79)	2 000 (8,9)
Kantor	50 (2,40)	2 000 (8,9)
Koridor di atas lantai pertama	80 (3,83)	2 000 (8,9)
Lembaga hukum		
Blok sel	40 (1,92)	
Koridor	100 (4,79)	
Tempat rekreasi		
Tempat bowling, kolam	75 (3,59)	
Bangsas dansa dan ruang	100 (4,79)	
Gimnasium	100 (4,79)	
Tempat menonton	100 (4,79)	
Stadium dan tribun	60 (2,87)	
Rumah Tinggal		
Ruang pribadi dan koridor	40 (1,92)	
Ruang publik dan koridor	100 (4,79)	
Atap		
Datar, berbubung dan lengkung	20 (0,96)	
Digunakan untuk taman	100 (4,79)	
Digunakan tujuan lain	Sama seperti hunian yang dilayani	
Sekolah		
Ruang kelas	40 (1,92)	1 000 (4,45)
Koridor di atas lantai pertama	80 (3,83)	1 000 (4,45)
Koridor lantai pertama	100 (4,79)	1 000 (4,45)
Tangga dan jalan keluar	100 (4,79)	300
Rumah tinggal satu atau dua keluarga	40 (1,92)	300
Gudang di atas langit-langit		
Ringan	20 (0,96)	
Berat	125 (6,00)	
Toko		
Lantai Pertama	100 (4,79)	1 000 (4,45)
Lantai di atasnya	75 (3,59)	1 000 (4,45)
Grosir	125 (6,00)	1 000 (4,45)

^{*)} Standar Nasional Indonesia 1727, 2013

C. Beban Hujan (*Rain Load*)

Beban hujan adalah salah satu jenis dari beban lingkungan. SNI 1727:2013 pasal 8.3 mensyaratkan bahwa setiap bagian dari suatu atap harus dirancang mampu menahan beban dari semua air hujan yang terkumpul apabila sistem

drainase primer untuk bagian tersebut tertutup ditambah beban merata yang disebabkan oleh kenaikan air di atas lubang masuk sistem drainase sekunder pada aliran rencananya. Persamaan beban hujan sesuai dengan persamaan 2.20 sebagai berikut.

$$R = 0,0098(d_s + d_h)kN / m^2 \quad (2.20)$$

Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung tahun 1989 pasal 2.1.2 ayat b menjelaskan bahwa beban hujan adalah beban terbagi rata per m^2 yang dapat dihitung dengan persamaan 2.20. Beban hujan tidak perlu diambil lebih besar dari 20 kg/m^2 dan tidak perlu ditinjau apabila kemiringan atapnya lebih besar dari 50° .

$$R = (40 - 0,8 \)kg / m^2 \quad (2.21)$$

D. Beban Angin (*Wind Load*)

SNI 1727:2013 pasal 26.1.1 menyatakan bahwa bangunan gedung dan struktur lain, termasuk Sistem Penahan Beban Angin Utama (SPBAU) dan seluruh komponen dan klading gedung harus dirancang dan dilaksanakan untuk menahan beban angin seperti yang ditetapkan. Parameter-parameter dasar yang digunakan untuk menentukan beban angin pada SPBAU adalah sebagai berikut:

1. Kecepatan angin dasar (*V*)

SNI 1727:2013 pasal 26.5.1 menyatakan parameter kecepatan angin dasar yang digunakan pada analisis untuk menentukan beban angin rencana pada bangunan struktur gedung atau bangunan lain harus ditentukan oleh pihak-pihak maupun instansi berwenang dan disesuaikan kategori risiko bangunan. Arah angin pada angin dasar harus diasumsikan datang dari segala arah horizontal.

2. Faktor arah angin (*K_d*)

Faktor arah angin dalam perencanaan beban angin yang digunakan dalam desain maupun analisis struktur bangunan dan apabila menggunakan kombinasi

beban yang disyaratkan. Faktor arah angin yang ditentukan sesuai SNI 1727:2013 pasal 26.6 ditunjukkan pada Tabel 2.13 sebagai berikut.

Tabel 2.13. Faktor Arah Angin, $K_d^{*)}$

Tipe Struktur	Faktor Arah Angin
Bangunan Gedung	
Sistem Penahan Beban Angin Utama	0,85
Komponen dan Klading Bangunan	0,85
Atap Lengkung	0,85
Cerobong asap, tangki dan struktur yang sama	
Segi empat	0,90
Segi enam	0,95
bundar	0,95
Dinding pejal berdiri bebas dan papan reklame pejal berdiri bebas dan papan reklame terikat	0,85
Papan reklame terbuka dan kerangka kisi	0,85
Rangka batang menara	
Segi tiga, segi empat, persegi panjang	0,85
Penampang lainnya	0,85

*) Standar Nasional Indonesia 1727, 2013

3. Kategori Kekasaran Permukaan

Kategori kekasaran permukaan tanah pada setiap sektor 45° harus ditentukan untuk jarak dari lawan arah angin dari situs yang ditinjau pada kategori eksposur. Kekasaran permukaan dapat dikategorikan sebagai berikut:

- a. **Kekasaran Permukaan B** : daerah perkotaan dan pinggiran kota, daerah berhutan atau daerah lain dengan penghalang berjarak dekat yang banyak memiliki unjukan dari tempat tinggal keluarga tunggal atau lebih besar.
- b. **Kekasaran Permukaan C** : dataran terbuka dengan penghalang tersebar yang memiliki tinggi umumnya kurang dari 30 ft (9,1 m). Kategori ini mencakup daerah terbuka datar dan padang rumput.
- c. **Kekasaran Permukaan D** : area datar, area tidak terhalang dan permukaan air berisi lumpur halus, padang garam dan es tak terputus.

4. Kategori Eksposur

Parameter angin yang diperhitungkan untuk setiap arah harus mempertimbangkan eksposur lawan angin yang didasarkan pada kekasaran permukaan tanah yang ditentukan dari topografi alam, vegetasi dan fasilitas yang dibangun. Kategori eksposur sesuai dengan SNI 1727:2013 adalah sebagai berikut:

- a. **Eksposur B** : untuk bangunan dengan tinggi atap rata-rata kurang dari atau sama dengan 30 ft (9,1 m). eksposur B berlaku bilamana kekasaran permukaan tanah sebagaimana ditentukan oleh kekasaran permukaan B, berlaku di arah lawan angin untuk jarak yang lebih besar dari 1.500 ft (457 m). Bangunan dengan tinggi atap rata-rata lebih besar dari 30 ft (9,1 m), Eksposur B berlaku bilamana kekasaran permukaan B berada dalam arah lawan angin untuk jarak lebih besar dari 2.600 ft (792 m) atau 20 kali tinggi bangunan serta dipilih nilai yang terbesar.
- b. **Eksposur C** : eksposur C berlaku untuk semua kasus dimana eksposur B atau D tidak berlaku.
- c. **Eksposur D** : eksposur D berlaku bilamana kekasaran permukaan tanah, sebagaimana ditentukan oleh kekasaran permukaan D, berlaku di arah lawan angin untuk jarak yang lebih besar dari 5.000ft (1.524 m) atau 20 kali tinggi bangunan, pilih yang terbesar. Eksposur D juga berlaku bilamana kekasaran permukaan tanah lawan angin dari situs B atau C, dan situs yang berada dalam jarak 600 ft (183 m) atau 20 kali tinggi bangunan, dipilih nilai yang terbesar.

5. Kategori Risiko Bangunan

Kategori risiko bangunan menurut SNI 1727:2013 pasal 1.2.1 adalah sebuah katgori yang digunakan untuk penentuan beban banjir, angin, es gempa dan salju yang berdasarkan risiko terkait kinerja yang tidak dapat diterima. Kategori risiko bangunan ditunjukkan pada Tabel 2.14 sebagai berikut.

Tabel 2.14. Kategori Risiko Bangunan^{*)}

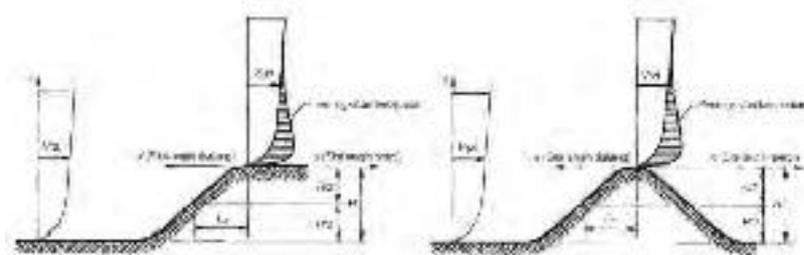
Penggunaan dan Pemanfaatan Fungsi Bangunan Struktur	Kategori Risiko
Bangunan gedung dan struktur lain yang merupakan risiko rendah untuk kehidupan manusia dalam kejadian kegagalan	I
Semua bangunan gedung dan struktur lain kecuali mereka terdaftar dalam kategori risiko I, III, dan IV	II
Bangunan gedung dan struktur lain, kegagalan yang dapat menimbulkan risiko besar bagi kehidupan manusia.	
Bangunan gedung dan struktur lain, tidak termasuk dalam kategori risiko IV, dengan potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi substansi dan gangguan massa dari hari ke hari kehidupan sipil pada saat terjadi kegagalan.	
Bangunan gedung dan struktur lain tidak termasuk risiko kategori IV (termasuk, namun tidak terbatas pada, fasilitas yang manufaktur, proses, menangani, menyimpan, menggunakan, atau membuang zat-zat seperti bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan peledak) yang mengandung zat beracun atau mudah meledak dimana kuantitas material melebihi jumlah ambang batas yang ditetapkan oleh pihak yang berwenang dan cukup untuk menimbulkan suatu ancaman kepada publik	III
Bangunan gedung dan struktur yang dianggap sebagai fasilitas penting.	
Bangunan gedung dengan struktur lain, kegagalan yang dapat menimbulkan bahaya besar bagi masyarakat.	
Bangunan gedung dan struktur lain (termasuk, namun tidak terbatas pada, fasilitas yang memproduksi, memproses, menangani, menyimpan, menggunakan, atau membuang zat – zat berbahaya seperti bahan bakar, bahan kimia berbahaya, atau limbah berbahaya) yang berisi jumlah yang cukup dari zat yang sangat beracun dimana kuantitas melebihi jumlah abang batas yang ditetapkan oleh pihak yang berwenang dan cukup menimbulkan ancaman bagi masyarakat jika dirilis.	
Bangunan gedung dan struktur lain yang diperlukan untuk mempertahankan fungsi dan Kategori Risiko IV struktur lainnya.	IV

^{*)} Standar Nasional Indonesia 1727, 2013

6. Faktor Topografi (K_{zt})

Efek topografi perlu diperhitungkan sebagai parameter dasar penentuan beban angin rencana pada SPBAU. Pengaruh topografi mempengaruhi peningkatan kecepatan angin di atas bukit, bukit memanjang dan terbing curam berdasarkan SNI 1727:2013 pasal 26.8.1 yaitu terisolasi akan menimbulkan perubahan mendadak dalam topografi umum, terletak dalam setiap kategori eksposur, harus dimasukkan dalam perhitungan beban angin bila kondisi bangunan gedung dan kondisi lokasi struktur memenuhi kondisi sebagai berikut:

- Bukit, bukit memanjang atau pun tebing curam terisolasi serta tidak terhalang angin arah vertikal ke atas oleh pengaruh topografi serupa dari ketinggian yang setara 100 kali tinggi topografi ($100H$) atau 2 mil (3,22 km), dipilih nilai yang paling kecil. Jarak harus diukur horizontal dari titik tinggi H pada bukit ataupun tebing yang ditinjau.
- Bukit, bukit memanjang atau tebing curam yang menonjol di atas ketinggian dataran arah vertikal ke atas antara 2 mil (3,22 km) untuk setiap kuadran dengan faktor dua atau lebih.
- Struktur yang berlokasi seperti pada Gambar 2.9 pada setengah bagian ke atas dari bukit atau punggung bukit atau dekat puncak tebing.



(a) Tebing

(b) Bukit Memanjang 2D/Simetris 3D

Gambar 2.9. Kondisi Faktor Efek Topografi (SNI 1727, 2013)

Nilai efek peningkatan kecepatan angin harus dimasukkan dalam perhitungan beban angin desain menggunakan Persamaan 2.22.

$$K_{zt} = (1 + K_1 K_2 K_3)^2 \quad (2.22)$$

Besarnya nilai K_1 , K_2 dan K_3 dapat ditentukan berdasarkan Tabel 2.15 sebagai berikut:

Tabel 2.15. Parameter Peningkatan Kecepatan Di Atas Bukit dan Tebing^{*)}

Bentuk Bukit	$K_1/(H/L_h)$ Eksposur				μ	
	B	C	D		Sisi angin datang puncak	Sisi angin pergi dari puncak
Bukit memanjang 2-dimensi atau lembah dengan negatif H dalam $K_1/(H/L_h)$	1,30	1,5	1,55	3	1,5	1,5
Tebing 2-dimensi	0,75	0,85	0,95	2,5	1,5	4
Bukit Simetris 3-dimensi	0,95	1,05	1,15	4	1,5	1,5

^{*)} Standar Nasional Indonesia 1727, 2013

Jika kondisi situs dan lokasi gedung tidak memenuhi kondisi yang telah disyaratkan, maka nilai K_z dapat diambil 1,0.

$$K_2 = 1 - \frac{|x|}{L_h} \quad (2.23)$$

$$K_3 = e^{-z/L_h} \quad (2.24)$$

7. Koefisien Eksposur Tekanan Velositas (K_z)

Koefisien eksposur tekanan velositas K_z atau K_h dapat ditentukan berdasarkan kategori eksposur yang ditentukan. Situs yang terletak pada zona transisi antara kategori eksposur yang dekat terhadap perubahan kekasaran permukaan tanah, diizinkan menggunakan nilai menengah K_z atau K_h yang tercantum pada Tabel 2.16 dengan syarat nilai ditentukan dengan metode rasional.

Tabel 2.16. Koefisien Eksposur Tekanan Velositas^{*)}

Tinggi di atas level tanah, z		Eksposur		
(ft)	(m)	B	C	D
0-15	(0-4,6)	0,57	0,85	1,03
20	(6,1)	0,62	0,90	1,08
25	(7,6)	0,66	0,94	1,12
30	(9,1)	0,70	0,98	1,16
40	(12,2)	0,6	1,04	1,22
50	(15,2)	0,81	1,09	1,27
60	(18)	0,85	1,13	1,31
70	(21,3)	0,89	1,17	1,34
80	(24,4)	0,93	1,21	1,38
90	(27,4)	0,96	1,24	1,40
100	(30,5)	0,99	1,26	1,43
120	(36,6)	1,04	1,31	1,48
140	(42,7)	1,09	1,36	1,52
160	(48,8)	1,13	1,39	1,55
180	(54,9)	1,17	1,43	1,58
200	(61,0)	1,20	1,46	1,61
250	(76,2)	1,28	1,53	1,68
300	(91,4)	1,35	1,59	1,73
350	(106,7)	1,41	1,64	1,78
400	(121,9)	1,47	1,69	1,82
450	(137,2)	1,52	1,73	1,86
500	(152,4)	1,56	1,77	1,89

^{*)} Standar Nasional Indonesia 1727, 2013

8. Faktor Pengaruh Tiupan Angin

Faktor pengaruh tiupan angin berdasarkan SNI 1727:2013 untuk suatu bangunan gedung dan struktur lain yang kaku dapat diambil sebesar 0,85.

9. Koefisien Tekanan Internal (GC_{pi})

Koefisien tekanan internal ditentukan melalui klasifikasi bangunan gedung yaitu bangunan tertutup, tertutup sebagian atau terbuka. Jika sebuah bangunan memenuhi definisi sebagai bangunan “terbuka” dan “tertutup sebagian”, harus diklasifikasikan menjadi bangunan “terbuka”. Suatu bangunan yang tidak memenuhi definisi bangunan “terbuka” atau “tertutup sebagian” harus diklasifikasikan sebagai bangunan “tertutup”. Penentuan koefisien tekanan internal pada struktur bangunan gedung untuk beban angin rencana ditunjukkan pada Tabel 2.17 sebagai berikut:

Tabel 2.17. Klasifikasi Ketertutupan Bangunan *)

Klasifikasi Ketertutupan	GC_{pi}
Bangunan gedung terbuka	0,00
Bangunan gedung tertutup sebagian	+ 0,55 -0,55
Bangunan gedung tertutup	+0,18 -0,18

*) Standar Nasional Indonesia 1727, 2013

Nilai positif pada koefisien tekanan internal menunjukkan tekanan bekerja menuju permukaan, sedangkan nilai negatif menunjukkan menjauhi permukaan internal. Kondisi nilai tersebut diterapkan pada semua permukaan internal.

10. Tekanan Velositas (q^z)

SNI 1727:2013 menyatakan nilai tekanan velositas yang dievaluasi berdasarkan faktor topografi, eksposur dan kecepatan angin pada ketinggian tertentu dihitung dengan persamaan 2.25 sebagai berikut:

$$q_z = 0,613K_zK_{zt}K_dV^2(N/m^2); (V = m/s)^2 \quad (2.25)$$

11. Koefisien Eksposur Tekanan Velositas (K_z)

Koefisien eksposur tekanan velositas K_z atau K_h dapat ditentukan berdasarkan kategori eksposur yang ditentukan. Situs yang terletak pada zona

transisi antara kategori eksposur yang dekat terhadap perubahan kekasaran permukaan tanah, diizinkan menggunakan nilai menengah K_z atau K_h yang tercantum pada Tabel 2.16 dengan syarat nilai ditentukan dengan metode rasional.

12. Koefisien Tekanan Eksternal (C_p)

Koefisien tekanan eksternal harus diterapkan secara bersamaan pada dinding di sisi angin datang dan juga angin pergi seperti yang ditetapkan pada Tabel 2.18 sebagai berikut:

Tabel 2.18. Koefisien Tekanan Eksternal *)

Koefisien tekanan dinding, C_p			
Permukaan	L/B	C_p	Digunakan dengan
Dinding disisi angin datang	Seluruh nilai	0,8	q_z
	0-1	-0,5	
Dinding disisi angin pergi	2	-0,3	q_h
	4	-0,2	
Dinding tepi	Seluruh nilai	-0,7	q_h

*) Standar Nasional Indonesia 1727, 2013

13. Tekanan Angin (P)

Tekanan angin desain yang bekerja pada SPBAU bangunan fleksibel harus ditentukan menurut persamaan 2.26 sesuai SNI 1727:2013 pasal 27.4.2 menggunakan parameter-parameter dasar yang telah ditentukan sebelumnya sebagai berikut:

$$p = qG_f C_p - q_i (GC_{pi}) (lb / ft^2) (N / m^2) \quad (2.26)$$

14. Beban Angin Desain Minimum

SNI 1727:2013 mensyaratkan bahwa beban angin yang digunakan pada beban angin rencana SPBAU untuk bangunan gedung tertutup atau tertutup sebagian tidak boleh lebih kecil dari 16 lb/ft^2 ($0,77 \text{ kN/m}^2$) dikalikan dengan luas dinding bangunan gedung dan 8 lb/ft^2 ($0,38 \text{ kN/m}^2$) dikalikan dengan luas atap bangunan gedung terproyeksi ke bidang vertikal tegak lurus terhadap arah angin asumsi.

E. Beban Gempa (*Seismic Load*)

Komponen pada sistem struktur gedung harus dirancang untuk menahan beban bekerja, gaya akibat beban angin dan gaya akibat beban gempa. Standar desain perancangan gedung untuk menahan beban gempa diatur dalam SNI 1726:2012. Prosedur analisis serta desain seismik untuk perancangan gedung beserta komponen harus sesuai dengan SNI 1726:2012 serta gaya gempa desain dan distribusinya di sepanjang ketinggian bangunan harus ditetapkan berdasarkan prosedur yang sesuai.

1. Klasifikasi Kelas Situs

Penetapan kelas situs harus melalui penyelidikan tanah di lapangan dan di laboratorium, yang dilakukan oleh otoritas berwenang atau ahli geoteknik. Apabila tidak tersedia data tanah spesifik pada situs sampai kedalaman 30 m, maka sifat-sifat tanah dapat diestimasi oleh ahli geoteknik. Definisi kelas situs oleh SNI 1726:2012 ditunjukkan pada Tabel 2.19 sebagai berikut.

Tabel 2.19. Kelas Situs Lokasi ^{*)}

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 - 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras)	350 - 750	>50	>100
SD (tanah sedang)	175 - 350	15 - 50	50 - 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 $s_u < 25\text{kPa}$		
SF (tanah khusus)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut:		
	1. Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat gempa seperti likuifaksi, lempung sensitif dan tersementasi lemah.		
	2. Lempung organik atau gambut, $H > 3$ m		
	3. Lempung plastisitas tinggi, $H > 7,5$ m dan $PI > 75$		
	4. Lapisan lempung lunak $H > 35$ meter dan $s_u < 50$ kPa		

^{*)} Standar Nasional Indonesia 1726, 2012

2. Kategori Risiko Bangunan dan Faktor Keutamaan Gempa

Gempa rencana yang ditetapkan dalam perencanaan sesuai SNI 1726:2012 ialah selama umur struktur bangunan 50 tahun dan kemungkinan terlewati sebesar 2 persen. Berbagai jenis kategori risiko struktur bangunan pada Tabel

2.20 harus dikalikan terhadap faktor keutamaan yang sesuai pada Tabel 2.21 sebagai berikut.

Tabel 2.20. Kategori Risiko Bangunan ^{*)}

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki resiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk antara lain :</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan, dan perikanan b. Fasilitas sementara c. Gedung penyimpanan d. Rumah jaga dan struktur kecil lainnya 	I
<p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori resiko I, II, III, IV termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Perumahan b. Rumah toko dan rumah kantor c. Pasar d. Gedung perkantoran e. Gedung apartemen/ rumah susun f. Bangunan industri g. Fasilitas manufaktur h. Pabrik 	II
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki resiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Bioskop b. Gedung pertemuan c. Stadion d. Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat e. Fasilitas penitipan anak f. Penjara g. Bangunan untuk orang jompo <p>Gedung dan non gedung, tidak termasuk dalam kategori 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).</p>	III
<p>Gedung dan non gedung yang ditujukan sebagai fasilitas yang penting termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk :</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Bangunan – bangunan monumental b. Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan c. Rumah sakit dan fasilitas lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat d. Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya. e. Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasional dan fasilitas lainnya untuk gawat darurat f. Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat. g. Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau mineral atau peralatan pemadam kebakaran) yang diisyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat 	IV

^{*)} Standar Nasional Indonesia 1726, 2012

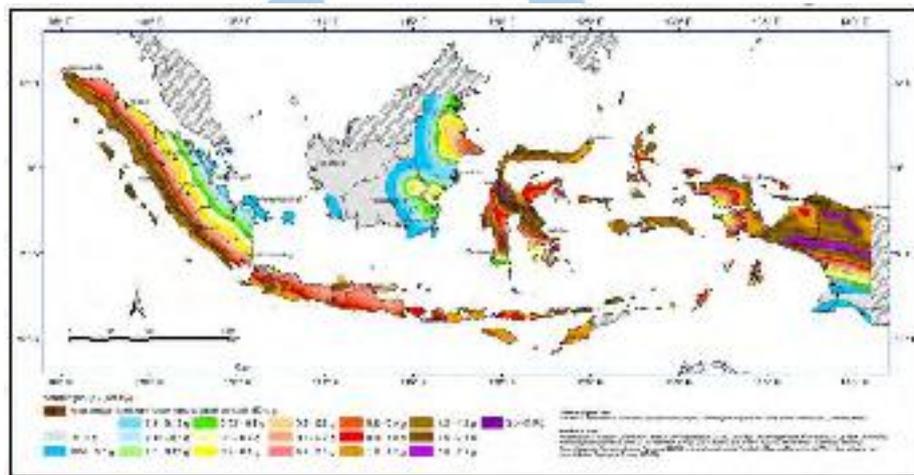
Tabel 2.21. Faktor Keutamaan Gempa ^{*)}

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

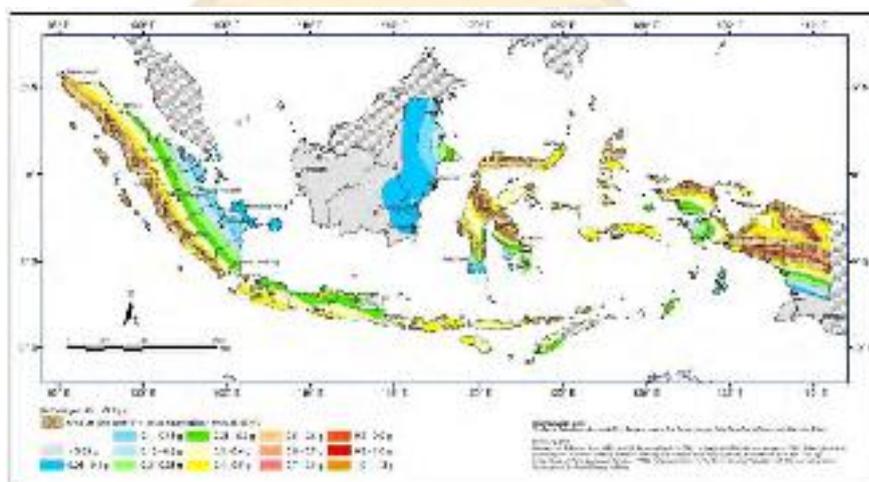
^{*)} Standar Nasional Indonesia 1726, 2012

3. Penentuan Spektral Percepatan

Penentuan Spektral Percepatan S_s gempa maksimum yang diperhitungkan risiko tertarget atau MCE_P dengan menggunakan Gambar 2.10 sedangkan Spektral Percepatan S_1 Gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko tertarget atau MCE_R menggunakan Gambar 2.11 sebagai berikut.



Gambar 2.10. S_s Gempa Maksimum Dipertimbangkan Risiko -tertarget (MCE_P) Kelas situs SB (SNI 1726, 2012)



Gambar 2.11. S_1 Gempa Maksimum Dipertimbangkan Risiko -tertarget (MCE_R) Kelas situs SB (SNI 1726, 2012)

4. Penentuan Faktor Koefisien F_a dan F_v

Nilai F_a adalah faktor amplifikasi pada getaran periode pendek dan F_v adalah amplitudasi terkait percepatan mewakili getaran perioda 1 detik. Nilai F_a dapat dilihat pada Tabel 2.22 dan nilai F_v dapat dilihat pada Tabel 2.23.

Tabel 2.22. Faktor Koefisien Situs F_a *)

Kelas Situs	Parameter <i>respons spectral</i> percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada perioda pendek, $T = 0,2$ detik, S_S				
	$S_S = 0,25$	$S_S = 0,5$	$S_S = 0,75$	$S_S = 1,0$	$S_S = 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF			SS ^b		

*) Standar Nasional Indonesia 1726, 2012

Tabel 2.23. Faktor Koefisien Situs F_v *)

Kelas Situs	Parameter <i>respons spectral</i> percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada perioda 1 detik, S_I				
	$S_I = 0,1$	$S_I = 0,2$	$S_I = 0,3$	$S_I = 0,4$	$S_I = 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF			SS ^b		

*) Standar Nasional Indonesia 1726, 2012

5. Penentuan Parameter Respons Percepatan Spektra Desain

Nilai S_{Ds} adalah parameter percepatan respons spektral pada periode pendek dan S_{DI} adalah parameter percepatan respons spektral pada periode 1 detik. Parameter dapat dihitung dengan pasal 6.2 SNI 1726:2012 sebagai berikut:

$$S_{MS} = F_a S_s \quad (2.27)$$

$$S_{M1} = F_v S_1 \quad (2.28)$$

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (2.29)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (2.30)$$

Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek (S_{DS}) dapat ditentukan berdasarkan Tabel 2.24 dan kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik (S_{D1}) dapat ditentukan berdasarkan Tabel 2.25.

Tabel 2.24. Kategori Desain Respons Percepatan Perioda Pendek S_{DS} *)

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

*) Standar Nasional Indonesia 1726, 2012

Tabel 2.25. Kategori Desain Parameter Percepatan pada Perioda Pendek S_{D1} *)

Nilai S_{D1}	Kategori Risiko		
	I atau II atau III	IV	
$S_{D1} < 0,167$	A	A	
0,067 $S_{D1} < 0,133$	B	C	
0,133 $S_{D1} < 0,20$	C	D	
0,20 S_{D1}	D	D	

*) Standar Nasional Indonesia 1726, 2012

6. Penentuan Spektrum Respons Desain

Spektrum respons desain dari gempa ditentukan oleh parameter T_o dan T_s dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$T_o = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.31)$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.32)$$

Spektrum respons desain dikembangkan berdasarkan pasal 6.4 SNI 1726:2012 dengan ketentuan sebagai berikut:

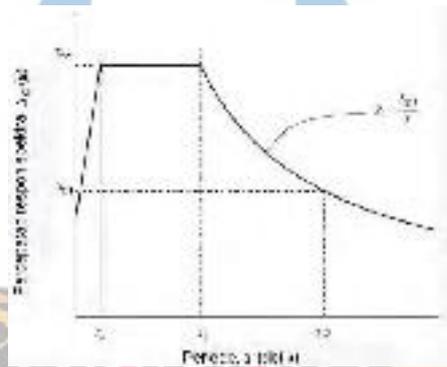
- Untuk perioda yang lebih kecil dari T_o , spektrum respons percepatan desain, S_a , harus diambil dari persamaan;

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_o} \right) \quad (2.33)$$

- b. Untuk perioda lebih besar dari atau sama dengan T_o dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s , spektrum respons percepatan desain S_a sama dengan S_{DS} .
- c. Untuk perioda lebih besar dari atau sama dengan T_o dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s , spektrum respons percepatan desain S_a sama dengan S_{DS} .

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \tag{2.34}$$

Nilai-nilai yang didapatkan kemudian dimasukkan ke dalam grafik sehingga membentuk grafik seperti pada Gambar 2.12 sebagai berikut.



Gambar 2.12. S_I Spektrum Respons Desain (SNI 1726, 2012)

2.8.2. Kombinasi Pembebanan Struktur

Standar Nasional Indonesia 1727:2013 mengenai beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain telah mengatur kombinasi pembebanan serta faktor beban pada pasal 2.3.2 serta sudah memperhitungkan beban gempa yang terjadi di kedua arah. Kombinasi dasar tersebut ditunjukkan pada Tabel 2.26 sebagai berikut.

Tabel 2.26. Kombinasi Dasar Desain Pembebanan^{*)}

Kombinasi	Persamaan
Kombinasi 1	1.4 DL
Kombinasi 2	1.2 D + 1.6 L + 0.5 (L _r atau R)
Kombinasi 3	1.2 D + 1.6 (L _r atau R) + (1.0 L atau 0.5 W)
Kombinasi 4	1.2 D + 1.0 W + 1.0 L + 0.5 (L _r atau R)
Kombinasi 5	1.2 D + 1.0 E + 1.0 L
Kombinasi 6	0.9 D + 1.0 W
Kombinasi 7	0.9 D + 1.0 E

^{*)} Standar Nasional Indonesia 1726, 2012

2.8.3. Kekuatan Desain

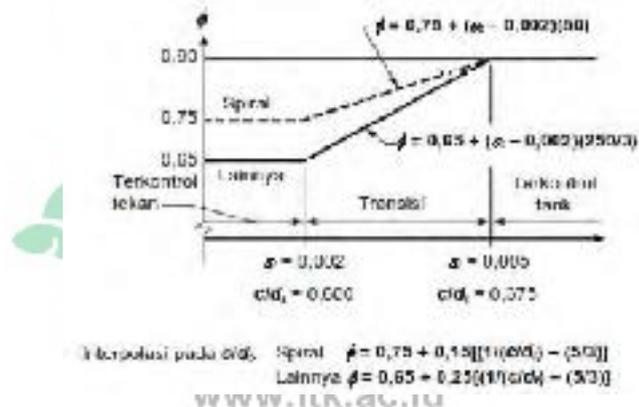
Dalam perencanaan struktur, kekuatan desain yang disediakan suatu komponen menurut SNI 2847: 2013 pasal 9.3, sambungannya dengan komponen struktur lain dan penampangnya, sehubungan dengan lentur, beban normal, geser, torsi harus diambil sebesar kekuatan nominal dihitung sesuai dengan persyaratan serta dikalikan dengan faktor reduksi seperti pada Tabel 2.27

Tabel 2.27. Kombinasi Dasar Desain Pembebanan^{*)}

Kekuatan Desain	Faktor Reduksi,
Penampang terkendali tarik	0,90
Penampang terkendali tekan	
a. Komponen struktur dengan tulangan spiral	0,75
b. Komponen struktur bertulang lainnya	0,65
Geser dan Torsi	0,75
Tumpuan pada beton	0,65
Daerah angkur pasca tarik	0,85
Model strat dan pengikat, dan strat, pengikat, daerah pertemuan (<i>nodal</i>), dan daerah tumpuan	0,75

^{*)} Standar Nasional Indonesia 2847, 2013

Variasi faktor reduksi juga dapat menyesuaikan dengan interpolasi grafik dari SNI 2847:2013 pasal 9.3.2 yang ditunjukkan pada Gambar 2.13. berikut



Gambar 2.13. Variasi Faktor Reduksi Kekuatan Tulangan Mutu 420 dan Baja Prategan (SNI 2847, 2013)

2.10. Analisis Gempa Statik Ekuivalen

SNI 1726 tahun 2012 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung & Non Gedung menyatakan bahwa pengaruh yang diakibatkan oleh gaya gempa pada suatu struktur harus diperhitungkan baik

dengan metode analisis statik, analisis respon spektra dinamik dan analisis dinamik *time history*. Faizah (2016) menyatakan bahwa analisis dinamik dengan *Time History* merupakan metode yang akurat akan tetapi memerlukan perhitungan yang cukup banyak dan memakan waktu yang lama, oleh karena itu metode yang sering digunakan dalam analisis perencanaan struktur ialah respon dinamis dan statik ekuivalen.

Metode analisis gempa statik ekuivalen merupakan bentuk penyederhanaan dari analisis respon spektra dinamik. Metode ini hanya dapat digunakan pada bangunan reguler horizontal ataupun vertikal dengan syarat; ketinggian tidak boleh melebihi 40 meter atau 10 tingkat. Apabila bangunan gedung melebihi dari 10 tingkat maka harus dilakukan dengan menggunakan analisis dengan konsep respon spektra dinamik. Hal yang membedakan antara konsep analisis statik ekuivalen dengan respon dinamik adalah karakteristik dari bangunan yang diperhitungkan. Analisis respon spektra dinamik memperhitungkan massa, redaman dan kekakuan dari struktur yang ditinjau, sedangkan pada analisis statik ekuivalen hanya memperhitungkan massa saja sehingga cenderung cocok untuk bangunan yang kaku atau rendah.

Teruna (2013) dalam Faizah (2016) menyatakan bahwa perbandingan nilai *base shear* dan *displacement* antara analisis respon dinamik dengan statik ekuivalen menggunakan program bantu SAP2000 pada bangunan beraturan dan tidak beraturan 7 tingkat menunjukkan hasil yang tidak jauh berbeda dan statik ekuivalen masih dapat digunakan pada bangunan 7 tingkat, namun dapat lebih akurat menggunakan analisis respon dinamik.

Perencanaan beban gempa pada struktur gedung dengan menggunakan metode analisis statik ekuivalen dapat mengacu pada standar SNI 1726:2012. Periode fundamental struktur, T , dalam arah yang ditinjau harus diperoleh menggunakan properti struktur dan karakteristik deformasi elemen penahan dalam analisis yang teruji serta tidak boleh melebihi untuk batasan pada periode yang dihitu (C_u). Periode fundamental pendekatan (T_a) dalam detik dapat ditentukan dengan persamaan sesuai SNI 1726:2012 pasal 7.8.2.1 sebagai berikut:

$$T_a = C_t h_n^x \quad (2.35)$$

Notasi h_n adalah ketinggian struktur dalam (m) di atas dasar sampai tingkat tertinggi struktur, untuk koefisien C_u dapat ditentukan sesuai Tabel 2.28 dan koefisien C_t serta x ditentukan dari Tabel 2.29.

Tabel 2.28. Koefisien Untuk Batas Atas Pada Periode yang Dihitung^{*)}

Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik, S_{DI}	Koefisien C_u
0,4	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
0,1	1,7

^{*)} Standar Nasional Indonesia 1726, 2012

Tabel 2.29. Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x ^{*)}

Tipe Struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100 persen gaya gempa yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya gempa		
Rangka baja pemikul momen	0,0724 ^a	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466 ^a	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731 ^a	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731 ^a	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488 ^a	0,75

^{*)} Standar Nasional Indonesia 1726, 2012

Analisis gaya gempa statik ekuivalen dipengaruhi oleh sistem penahan gaya gempa yang digunakan. Masing-masing jenis sistem memiliki koefisien modifikasi respons, faktor kuat lebih sistem dan faktor pembesaran defleksi yang berbeda. Sistem penahan gaya gempa pada struktur bangunan harus mampu menahan gempa di masing-masing arah kedua sumbu ortogonal. Faktor-faktor yang digunakan terdapat pada pasal 7.2.2 SNI 1726:2012 yang ditunjukkan pada Tabel 2.30 sebagai berikut:

Tabel 2.30. Faktor Kombinasi Sistem Perangkai Arah Berbeda^{*)}

Sistem Penahan Gaya Seismik	Koefisien Modifikasi Respons R^a	Faktor Kuat Lebih Sistem 0^g	Faktor Pembesaran Defleksi C_d^b
A. Sistem Dinding Penumpu			
1. Dinding geser batu bata bertulang khusus	5	2 ½	3 ½
2. Dinding geser batu bata bertulang menengah	3 ½	2 ½	2 ¼
3. Dinding geser batu bata bertulang biasa	2	2 ½	1 ¾
4. Dinding geser batu bata polos didetail	2	2 ½	1 ¾
5. Dinding geser batu bata polos biasa	1 ½	2 ½	1 ¼
6. Dinding geser batu bata prategang	1 ½	2 ½	1 ¾
7. Dinding geser batu bata ringan (AAC) bertulang biasa	2	2 ½	2
8. Dinding geser batu bata ringan (AAC) polos biasa	1 ½	2 ½	1 ½
B. Sistem Rangka Bangunan			
1. Dinding geser batu bata bertulang khusus	5 ½	2 ½	4
2. Dinding geser batu bata bertulang menengah	4	2 ½	4
3. Dinding geser batu bata bertulang biasa	2	2 ½	2
4. Dinding geser batu bata polos didetail	2	2 ½	2
5. Dinding geser batu bata polos biasa	1 ½	2 ½	1 ¼
6. Dinding geser batu bata prategang	1 ½	2 ½	1 ¾
C. Sistem Rangka Pemikul Momen			
1. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8	3	5 ½
2. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4 ½
3. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2 ½

^{*)} Standar Nasional Indonesia 1726, 2012

Tabel 2.30. Faktor Kombinasi Sistem Perangkai Arah Berbeda (lanjutan) ^{*)}

Sistem Penahan Gaya Seismik	Koefisien Modifikasi Respons R^a	Faktor Kuat Lebih Sistem o^g	Faktor Pembesaran Defleksi C_d^b
D. Sistem Ganda Dengan Rangka Pemikul Momen Menengah Mampu Menahan Paling Sedikit 25 Persen Gaya Gempa Yang Ditetapkan			
1. Dinding geser batu bata bertulang biasa	3	3	2 ½
2. Dinding geser batu bata bertulang menengah	3 ½	3	3

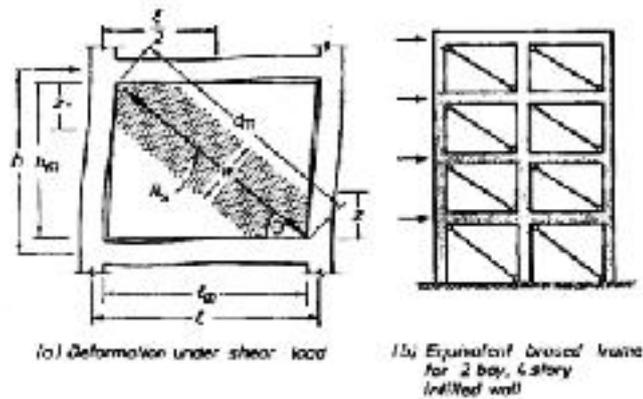
^{*)} Standar Nasional Indonesia 1726, 2012

Nilai tersebut digunakan sebagai faktor respon dalam perhitungan koefisien seismik dalam perhitungan besar gempa yang bekerja dalam analisis gempa statik yang dilakukan.

2.11. Model Diagonal Tekan Ekuivalen

Penelitian yang dilakukan untuk memodelkan struktur dinding pengisi pada rangka portal beton bertulang salah satu metode yang digunakan adalah menggunakan model ekuivalen diagonal tekan yang memiliki sifat seperti beton. Perilaku portal dengan dinding pengisi bata telah diselidiki oleh Chen (2003), Paulay (1992), Saneijedad dan Hobbs (1995), FEMA (1997) serta oleh Dewi (2012).

Paulay (1992) menjelaskan bahwa pada perilaku dinding pengisi, rangka portal dan panel pengisi akan bekerja secara komposit. Dengan meningkatnya deformasi lateral, perilaku menjadi lebih kompleks sebagai akibat dari rangka portal yang mencoba untuk berdeformasi lentur dan panel pengisi berdeformasi geser. Hasilnya, antara panel pengisi dengan rangka portal akan berpisah pada sudut diagonal tarik dan membentuk batang diagonal tekan pada arah diagonal tekan. Hubungan antara portal dan panel pengisi ditunjukkan pada Gambar 2.14.



Gambar 2.14. Ekuivalen Aksi *Bracing* pada Dinding Pengisi Bata (Paulay, 1992)

Periode natural dihitung berdasarkan kekakuan struktur setelah pemisahan terjadi. Hal ini yang menyebabkan struktur dianggap sebagai ekuivalen portal yang diperkaku secara diagonal yang dimana batang diagonal tekan dihubungkan pada sudut portal dengan *pins*. Analisis persamaan dikembangkan oleh Paulay (1992) berdasarkan alasan ini dimana lebar batang *bracing* diagonal disimbolkan dengan w tergantung dengan kekakuan dari dinding pengisi dan portal, kurva tegangan regangan material dan tingkat pembebanan. Akan tetapi, besarnya nilai w akan berpengaruh dengan meningkatkannya kekakuan struktur sehingga respons seismik akan meningkat juga, digunakan persamaan sebagai berikut dimana d_m adalah panjang dari diagonal batang tekan.

$$w = 0.25d_m \quad (2.36)$$

FEMA 273 (1997) atau *Federal Emergency Management Agency* dalam NEHRP (*National Earthquake Hazards Reduction Program*) *Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings* pasal 7.5.2 menyatakan bahwa kekakuan elastis *in-plane* dari dinding panel pengisi bata yang tidak diperkuat (*unreinforced*) harus dimodelkan dengan ekuivalen batang *bracing* diagonal tekan dengan lebar, a . Ekuivalen batang diagonal tekan tersebut memiliki karakteristik dan sifat material yang sama seperti ketebalan serta modulus elastisitas dari dinding pengisi yang diwakili oleh batang tekan tersebut. Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut.

$$a = 0.175({}_1h_{col})^{-0.4} r_{inf} \quad (2.37)$$

$$1 = \frac{E_{me} t_{inf} \sin 2}{4E_{fe} I_{col} h_{inf}} \quad (2.38)$$

Untuk dinding pengisi yang tidak komposit, hanya bagian vertikal menerus yang berhubungan penuh dengan elemen portal yang dipertimbangkan saat menghitung kekakuan *in-plane* kecuali dengan angkur yang mampu meneruskan beban dari portal ke panel dinding pengisi. Kekakuan dari dinding pengisi yang retak diwakilkan dengan ekuivalen *strut* dimana karakteristik batang tersebut ditentukan dari analisis mendetail yang mempertimbangkan perilaku non-linear setelah bata retak.

Saneinejad dan Hobbs (1995) dalam Amalia (2017) menyatakan bahwa ekuivalen batang diagonal merupakan metode analisis inelastik yang digunakan untuk mendefinisikan dinding pengisi secara sederhana. Konsep dasar yang dijelaskan adalah dinding pengisi diasumsikan sebagai pengaku portal dan fungsinya dianggap sama seperti batang pengaku tekan (*compression brace*) atau diagonal ekuivalen *strut*. Diagonal ekuivalen *strut* hanya mampu menahan gaya tekan, sehingga efek berlanjut dari beban lateral yang diakibatkan oleh beban gempa dapat diatasi dengan membentuk formasi diagonal *strut* dua arah. Apabila karakteristik mekanik dari ekuivalen diagonal *strut* dapat diidentifikasi, maka portal dengan dinding pengisi dapat dianalisis sebagai *open frame* dengan ekuivalen diagonal *strut*. Langkah-langkah yang dilakukan untuk mendefinisikan batang diagonal ekuivalen *strut* adalah.

$$f_c = 0.6f_m \quad (2.39)$$

Analisis keruntuhan *CC failure* atau *corner crushing* pada sudut portal saat gaya lateral terjadi adalah:

$$R = RCC = \frac{(1 - c) t_c h_c + b t_b}{\cos} \quad (2.40)$$

Analisis keruntuhan *DC failure* atau *diagonal crushing*, tipe keruntuhan ini terjadi pada panel dinding pengisi pada bagian tengah panel.

$$R = RDC = \frac{0,5htf_a}{\cos} \quad (2.41)$$

Analisis keruntuhan geser, pada tipe keruntuhan ini terjadi kegagalan geser horizontal pada ujung bawah panel dinding pengisi.

$$R = RS = \frac{tl}{(1 - 0,45 \tan \alpha) \tan \alpha} = \frac{0,85 tl}{\cos \alpha} \quad (2.42)$$

Perhitungan dari kekuatan horizontal dari dinding pengisi dan gaya horizontal yang dapat menyebabkan dinding retak dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$H_t = \frac{H}{C_c + f_b} \sqrt{2} t h f_t \cos^2 \alpha \quad (2.43)$$

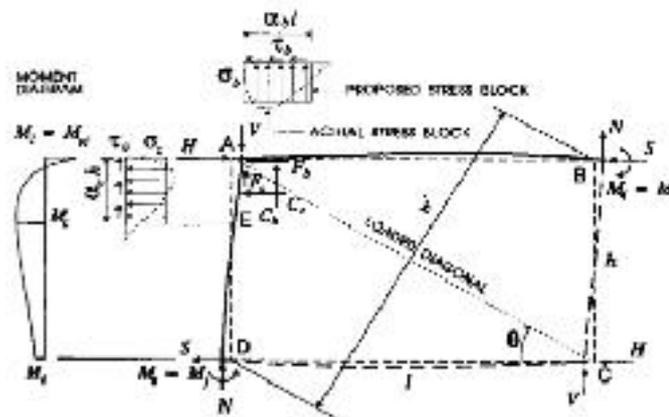
Perhitungan deformasi dan kekakuan efektif dari dinding pengisi menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$h = 5,83 c h \cos \alpha \left(\frac{c^2}{c^2 + b^2} \right)^{0,333} \quad (2.44)$$

Modulus elastisitas awal yang digunakan untuk perhitungan permodelan analisis menggunakan program bantu dihitung dengan:

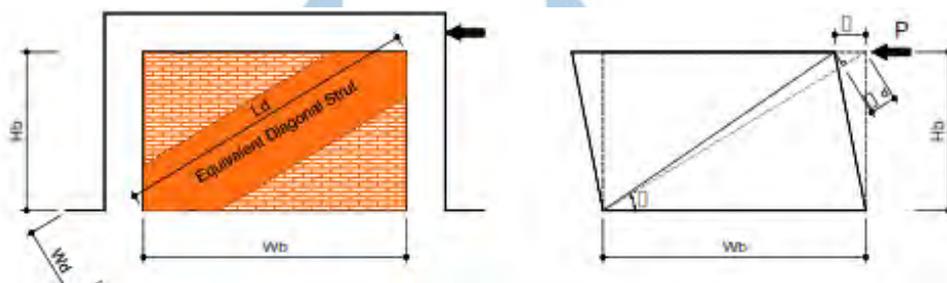
$$E_{d0} = \frac{2 h f_c}{h \cos^2 \alpha} \quad (2.45)$$

Pemodelan oleh Saneinejad dan Hobbs disimpulkan dapat memberikan prediksi perbedaan antara portal dengan dinding pengisi dengan portal terbuka. Kestimbangan dinding pengisi pada portal ditunjukkan pada Gambar 2.15 berikut.



Gambar 2.15. Ekuivalen *Bracing* Dinding Pengisi Bata (Saneinejad & Hobbs dalam Guney, 2005)

Penelitian oleh Chen (2003) dalam Dewi (2012) menyatakan bahwa representasi wilayah seluas dinding bata dinotasikan dengan A_d sebagai batang *bracing* diagonal tekan yang ditentukan oleh tebal bata, tinggi dinding pengisi dan lebar dinding pengisi. Pemodelan batang *bracing* tekan dilakukan sebagai bentuk bulat solid karena merepresentasikan perilaku sebenarnya. Terdapat tiga tahap kekuatan lateral dari dinding pengisi berdasarkan deformasi pada portal yaitu saat sebelum dinding bergeser, saat dinding bergeser dan setelah dinding bergeser. Asumsi luas dinding bata sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Chen (2003) ditunjukkan pada Gambar 2.16.



Gambar 2.16. Simulasi Dinding Bata sebagai Ekuivalen Diagonal Tekan (Chen, 2003)

Luas wilayah A_d representasi dinding bata pada gambar tersebut dapat dicari dengan persamaan berikut:

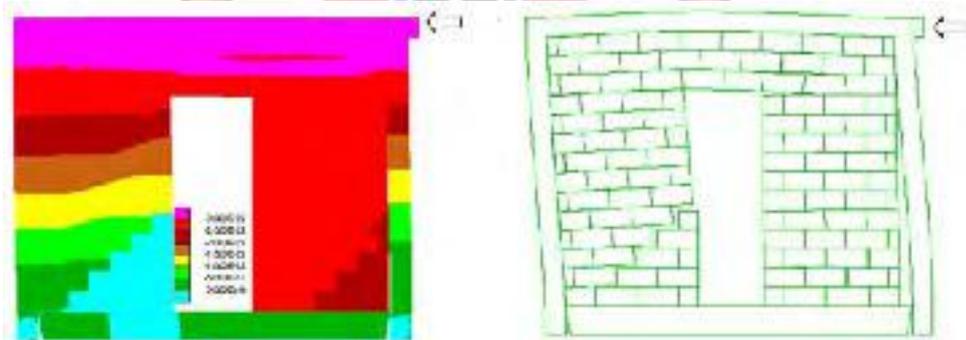
$$A_d = \frac{L_d T_b}{\cos^2} \quad (2.46)$$

2.12. Model *Continuum Plane*

Dinding pengisi bata pada portal yang dimodelkan dengan *continuum mode* adalah pemodelan dimana komponen struktur dimodelkan diskritisasi atau memecahnya menjadi bagian-bagian kecil dengan mempertahankan dimensi dan ukuran elemen, karakteristik material serta kondisi batas agar data yang dihasilkan lebih akurat (Pamungkas, 2011). Model *continuum* dalam beberapa penelitian seperti Korkmaz (2008) menyatakan bahwa model ini dapat menyediakan perhitungan representasi dinding pengisi yang akurat. Selain itu, dengan menggunakan pemodelan ini dapat memprediksi area kerusakan pada dinding

pengisi serta karakteristik yang mirip dengan kondisi lapangan pada aspek material dan juga geometrik.

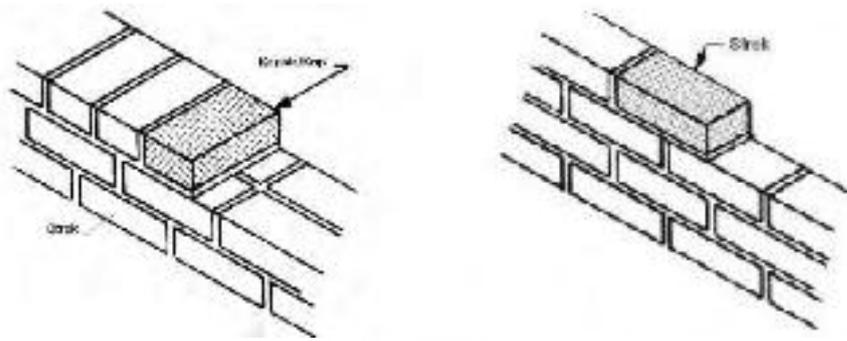
Prinsip dasar metode ini menggambarkan struktur yang kontinu dimodelkan dengan elemen *shell* pada SAP2000 metode diskritisasi sehingga menjadi elemen-elemen kecil (diskrit) yang memiliki perilaku sama dengan struktur yang kontinu. Permodelan ini juga memungkinkan untuk memodelkan adanya bukaan pada dinding pengisi seperti pintu maupun jendela. Permodelan ini menggunakan elemen *link* untuk menghubungkan dinding bata pengisi dengan portal agar memiliki perpindahan dan rotasi yang sama (Pamungkas, 2011). Mohebkhah (2007) menjelaskan bahwa metode elemen diskrit ini memiliki kemampuan untuk menganalisis gerakan yang bergerak bersamaan (*motion of multiple*), mengetahui perpotongan diskontinuitas dan sangat cocok untuk analisis struktur dinding pengisi. Permodelan diskrit oleh Mohebkhah (2007) ditunjukkan pada Gambar 2.17.



Gambar 2.17. *Continuum Model* Dinding Pengisi (Mohebkhah, 2007)

2.13. Kekuatan dan Deformasi Dinding Pengisi

Kekuatan yang dimiliki oleh struktur dinding pengisi serta kegagalan struktur sangat dipengaruhi oleh susunan dinding pengisi yang dimiliki yaitu susunan setengah bata atau susunan satu bata. Perbedaan kedua jenis terletak pada posisi penyusunan batu bata saat penyusunan dinding pengisi dan ini dapat dilihat pada Gambar 2.18. Chen (2003) dalam Dewi (2012) menyatakan bahwa nilai atau nilai koefisien kegagalan *strut* diagonal dinding bata dapat dihitung dengan persamaan 2.47 untuk dinding setengah bata dan 2.48 untuk satu bata.



(a) Susunan Satu Bata

(b) Susunan 1/2 Bata

Gambar 2.18. Jenis Susunan Dinding Bata (Badan Pembinaan Konstruksi, 2017)

Persamaan yang digunakan pada susunan setengah bata ditunjukkan pada persamaan 2.47 dan untuk satu bata pada 2.48

$$\tan \theta = \frac{2(h + g_h)}{l + g_v} \quad (2.47)$$

$$\tan \theta = \frac{2(h + g_h)}{w + l + 2g_v} \quad (2.48)$$

Kekuatan utama dari dinding bata dibedakan dari jenis pembatas yang digunakan. Pembatas dinding bata disini adalah kolom ataupun balok yang menjadi penyusun portal dinding pengisi sehingga dibedakan menjadi dinding dengan 4 pembatas dan 3 pembatas. Dinding pengisi dengan 4 pembatas adalah dinding yang dibatasi oleh 2 kolom pada sisi kanan dan kiri serta dua balok pada sisi atas dan juga bawah. Kekuatan geser lateral dari dinding jenis ini dapat dihitung dengan:

$$\tan \theta = \frac{H_b}{W_b}, V_n = T_b (W_b f + H_b f_{mbt}) \quad (2.49)$$

$$\tan \theta = \frac{H_b}{W_b}, V_n = T_b (W_b f + H_1 f_{mbt} + 0.5(H'_b - H_1)(f_{mbt} + f_{bt})) \quad (2.50)$$

Dinding pengisi dengan 3 pembatas adalah dinding yang dibatasi oleh 2 kolom dan satu balok serta memiliki bukaan seperti pintu dan juga jendela. Kekuatan geser lateral dari dinding jenis ini dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$V_n = T_b (W_b f_f + H_2 f_{mbt}) \quad (2.51)$$

$$H'_b = \min(H_b, W_b) \quad (2.52)$$

$$H_1 = W_b \tan \quad (2.53)$$

$$H_2 = 0.5W_b \tan \quad H_b \quad (2.54)$$

$$f_f = 0,0258(f_{mc}) + 0.885 + (0.654 + 0.00515 f_{mc}) \frac{N}{A_d} \quad (2.55)$$

$$f_{mbt} = 0.232(f_{mc})^{0.338} \quad (2.56)$$

$$f_{bt} = 0.22 f_{bc} \quad (2.57)$$

Nilai f_f dan juga nilai f_{mbt} merupakan koefisien kekuatan yang diambil sebesar 0,45 untuk keduanya, f_{mbt} adalah nilai kekuatan tarik dinding batu bata (MPa), f_{bt} merupakan kekuatan tarik batu bata (MPa), f_{mc} merupakan kekuatan tekan mortar (MPa), f_{bc} adalah nilai kekuatan tekan bata (MPa). Nilai perpidahan maksimum atau *ultimate displacement* dari struktur dinding pengisi dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

$$u = \frac{N}{E_u T_b} \quad (2.58)$$

Struktur dinding pengisi memiliki dua komponen titik kritis yaitu titik *ultimate* dan titik residu atau titik sisa. Nilai kekuatan geser lateral residu dari dinding bata dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

$$V_r = f_f T_b W_b \quad 0.6V_n \quad (2.59)$$

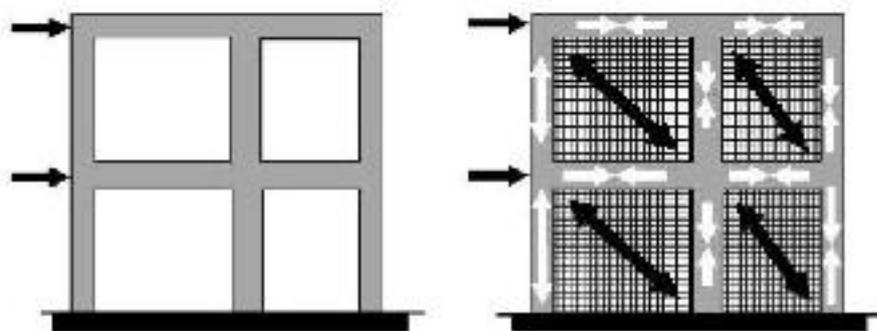
2.14. Perilaku Dinding Pengisi Akibat Gaya Lateral

Dinding pengisi pada bangunan struktur beton bertulang terkadang menyebabkan beberapa perilaku yang tidak diinginkan saat berada dalam pengaruh beban gempa seperti *short-coloumn effect*, *soft story effect*, torsi dan keruntuhan *out-of-plane*. Kebanyakan bangunan beton bertulang dengan dinding pengisi batu bata di negara berkembang menunjukkan efek yang menguntungkan maupun efek yang merugikan pada gempa dengan skala 6,0 sampai 6,5 dan intensitas maksimum VIII pada skala MMI walaupun bangunan tersebut tidak dirancang maupun didetailkan untuk menerima beban gempa. Beberapa desain

dinding pengisi dipengaruhi gaya lateral akibat beban gempa yang dilakukan menurut Murty (2000) antara lain adalah:

- a. Dinding pengisi dianggap terpisah dari portal beton bertulang sehingga tidak mempengaruhi rangka portal pada saat terjadi deformasi lateral. Keseluruhan gaya lateral pada bangunan dianggap hanya dipikul oleh portal beton bertulang.
- b. Dinding pengisi dibangun utuh bersama portal beton bertulang namun dianggap sebagai elemen non-struktural. Keseluruhan gaya lateral pada bangunan dipikul oleh portal beton dan merupakan asumsi yang sering digunakan pada negara berkembang.
- c. Dinding pengisi dianggap satu kesatuan dengan portal beton dan sebagai elemen struktural. Kekakuan bidang yang diberikan dinding pengisi ikut dipertimbangkan dalam analisis struktur bangunan.

Perilaku yang terjadi pada dinding pengisi saat terkena beban gempa adalah dinding pengisi ikut berpengaruh dalam deformasi lateral dari portal beton bertulang, pemisahan portal dan terjadi pada satu diagonal serta *strut* tekan terjadi sehingga menambah kekakuan pada struktur bangunan. Mekanisme transfer beban pada struktur berubah dari aksi portal menjadi aksi rangka batang sehingga kolom pada portal mengalami peningkatan gaya aksial dan penurunan momen letur serta gaya geser seperti pada Gambar 2.19.



(a) Aksi Portal

(b) Aksi Batang Pada Dinding Pengisi

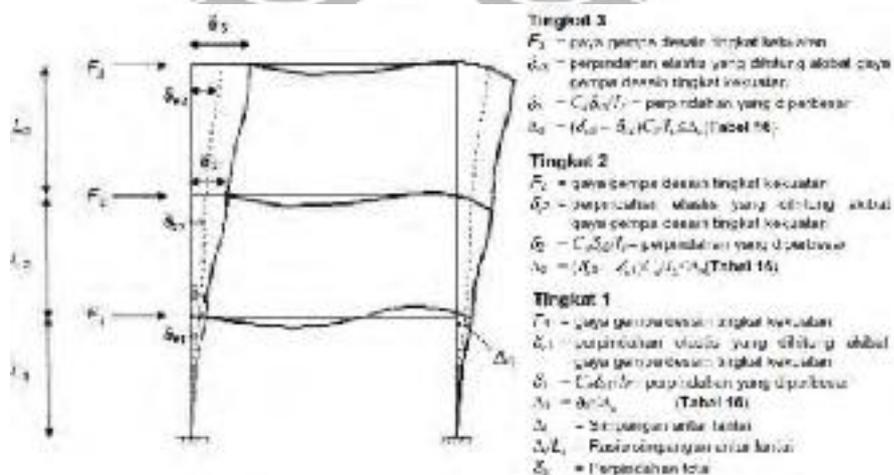
Gambar 2.19. Transfer Gaya Lateral Dinding Pengisi (Murty, 2000)

Pada saat dinding pengisi diletakkan tidak seragam pada elevasi yang berbeda dari struktur, mekanisme transfer beban campuran mungkin terjadi antara

aksi portal dan aksi batang karena pada beberapa bagian struktur terjadi kebutuhan daktilitas yang lebih besar. Sebagai contoh, efek *soft-story* atau kondisi dimana suatu lantai bangunan memiliki lebih sedikit atau tidak ada dinding pengisi dibandingkan lantai di atasnya, efek *short-column* atau kondisi dimana dinding pengisi hanya dibangun tidak sepenuh tinggi kolom dan efek *plan-torsion* atau kondisi dimana dinding pengisi berada tidak simetris dalam denah bangunan sehingga terjadi kebutuhan daktilitas yang besar pada kolom dan secara signifikan mengubah mekanisme keruntuhan.

2.15. Simpangan Antar Lantai (*Inter-Story Drift*)

Simpangan antar lantai merupakan indikator penting dalam analisis perilaku struktur akibat beban gempa berdasarkan kinerja. Skolnik (2010) menjelaskan bahwa simpangan antar lantai (*inter-story drift*) didefinisikan sebagai perpindahan (*displacement*) translasi relatif antara dua lantai berurutan yang dipisahkan oleh tinggi tingkat lantai tersebut dan merupakan kuantitas respons serta indikator kinerja struktur bangunan. SNI 1726:2012 menyatakan bahwa penentuan simpangan antar lantai tingkat desain (Δ_d) harus dihitung sebagai perbedaan defleksi pada pusat massa di tingkat teratas dan terbawah yang ditinjau seperti pada Gambar 2.20.



Gambar 2.20. Penentuan Simpangan Antar Lantai (SNI 1726, 2012)

Apabila pusat massa tidak terletak segaris dalam arah vertikal, diizinkan untuk menghitung defleksi di dasar tingkat berdasarkan proyeksi vertikal dari pusat massa tingkat di atasnya. Jika desain tegangan izin digunakan, harus

dihitung menggunakan gaya gempa tingkat kekuatan desain tanpa direduksi untuk desain tegangan izin. Struktur yang dirancang untuk kategori desain seismik C, D, E atau F yang memiliki ketidakberaturan horisontal, simpangan antar lantai desain harus dihitung sebagai selisih terbesar dari defleksi titik-titik di atas dan di bawah tingkat yang diperhatikan yang letaknya segaris secara vertikal, di sepanjang salah satu bagian tepi struktur. Defleksi pusat massa pada tingkat x , δ_x (mm) harus ditentukan dengan persamaan berikut:

$$\delta_x = \frac{C_d \cdot \delta_{xe}}{I_e} \quad (2.60)$$

Dimana C_d merupakan faktor amplifikasi defleksi, δ_{xe} merupakan defleksi pada lokasi yang disyaratkan yang ditentukan dengan analisis elastis; dan I_e merupakan faktor keutamaan dari gempa.

Pengaruh *P-delta* pada geser dan momen tingkat, gaya dan momen elemen struktur yang dihasilkan, dan simpangan antar lantai tingkat yang timbul oleh pengaruh ini tidak disyaratkan untuk diperhitungkan bila koefisien stabilitas (λ) seperti yang ditentukan oleh persamaan berikut atau kurang dari 0,10:

$$\lambda = \frac{P_x \cdot I_e}{V_x \cdot h_{sx} \cdot C_d} \quad (2.61)$$

Dimana P_x merupakan beban desain vertikal total pada dan di atas tingkat x , dinyatakan dalam kilo newton, bila menghitung P_x maka faktor beban individu tidak perlu melebihi 1.0, δ_x merupakan simpangan antar lantai tingkat desain dinyatakan dalam milimeter yang terjadi serentak bersama gaya geser seismik pada tingkat x dan $x-1$ serta dinyatakan dalam kilo newton. Nilai I_e merupakan faktor keutamaan gempa yang ditentukan, h_{sx} merupakan tinggi tingkat di bawah tingkat x dalam milimeter serta C_d adalah faktor pembesaran defleksi. Koefisien stabilitas (λ) harus tidak melebihi λ_{max} yang ditentukan sebagai berikut.

$$\lambda_{max} = \frac{0,5}{C_d} \geq 0,25 \quad (2.62)$$

Nilai λ_{max} adalah rasio kebutuhan geser terhadap kapasitas geser untuk tingkat antara tingkat x dan $x-1$. Rasio ini diizinkan diambil sebesar 1,0. Jika koefisien stabilitas lebih besar dari 0,10 tetapi kurang dari atau sama dengan λ_{max} , faktor peningkatan terkait dengan pengaruh *P-delta* pada perpindahan dan gaya

komponen struktur harus ditentukan dengan analisis rasional. Sebagai alternatif, diizinkan untuk mengalihkan perpindahan dan gaya komponen struktur dengan $1,0/(1- \dots)$. Jika lebih besar dari Δ_{max} maka struktur berpotensi tidak stabil dan harus didesain ulang.

Batasan simpangan antar lantai tingkat desain yang telah ditentukan dengan perhitungan persamaan tidak boleh melebihi simpangan antar lantai tingkat izin seperti yang ditentukan pada Tabel 2.31 untuk semua tingkat.

Tabel 2.31. Simpangan Antar Lantai Izin ^{*)}

Struktur	Kategori Risiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar lantai tingkat.	$0,025h_{sx}$	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$
Struktur dinding geser kantilever batu bata	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$
Struktur dinding geser batu bata lainnya	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$
Semua struktur lainnya	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$	$0,010h_{sx}$

^{*)}SNI 1726, 2012

Untuk sistem penahan gaya gempa yang terdiri hanya rangka momen dalam kategori desain seismik D, E dan F, simpangan antar lantai tingkat izin harus sesuai yang disyaratkan SNI 1726:2012. Tidak boleh ada batasan simpangan antar lantai untuk struktur satu tingkat dengan dinding interior, partisi, langit-langit, dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar lantai tingkat. Struktur di mana sistem struktur dasar terdiri dari dinding geser batu bata yang didesain sebagai elemen vertikal kantilever dari dasar atau pendukung fondasinya yang dikonstruksikan sedemikian agar penyaluran momen di antara dinding geser dapat diabaikan.

2.16. Struktur Baja

Baja struktural adalah satu material yang telah banyak digunakan dalam konstruksi-konstruksi bangunan seperti gedung dan jembatan. Konstruksi dengan baja struktural dikenal dengan kemudahan dalam pembangunannya, kokoh, kekuatan menahan beban yang besar serta bobotnya yang lebih ringan sehingga

cukup banyak digunakan di lapangan. Pada konstruksi bangunan masa kini, baja sering menjadi pilihan karena sifatnya yang cenderung homogen karena merupakan hasil fabrikasi pabrik yang mutunya terjaga dengan baik. Baja struktural juga biasa dikenal sebagai baja lunak atau baja karbon rendah (Susanti,2017).

Selama penggunaan baja struktural, dikenal dengan baja karbon ASTM A6. ASTM sendiri ialah *American Society for Testing Materials* yaitu organisasi internasional yang bergerak untuk mengembangkan standarisasi teknik untuk berbagai produk dan material. Baja struktur ASTM A6 dikenal dengan spesifikasi mempunyai tegangan leleh minimum sebesar 33 ksi atau 227,5 MPa. Baja struktural lain yang juga dikenal ialah baja paduan rendah khusus tahan karat atau A242 serta baja mudah dilas atau A373 yang telah diatur persyaratannya dalam AISC atau *American Institute of Steel Construction*.

Struktur baja dapat didesain berdasarkan kekuatan bahan sesuai dengan tegangan yang dimiliki sehingga dapat disesuaikan dengan penggunaan. Beberapa struktur baja sekarang telah dilakukan proses oksidasi atau galvanisasi untuk meningkatkan sifat tahan karat. Oksidasi dilakukan untuk membentuk lapisan pelindung padat yang akan mencegah terjadinya korosi atau karat. Beberapa baja memiliki sifat untuk lebih mudah dilas dan dapat bertahan pada suhu yang tinggi. Baja struktural dapat diidentifikasi berdasarkan ASTM dan AISC berdasarkan beberapa variabel sifat bahan untuk tegangan izin yang meliputi tegangan putus, tegangan leleh serta beberapa sifat mekanis lain yaitu modulus elastisitas, modulus geser, *poisson ratio* serta koefisien pemuaian. Sifat mekanis yang dimiliki oleh baja struktural menurut SNI 1729:2015 ditunjukkan pada Tabel 2.32 di bawah ini:

Tabel 2.32. Sifat Mekanis Baja Struktural *)

Parameter	Notasi	Nilai
Modulus Elastisitas	<i>E</i>	200.000 MPa
Modulus Geser	<i>G</i>	80.000 MPa
<i>Poisson Ration</i>	μ	0.3
Koefisien Pemuaian		$12 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$

*)SNI 1729, 2015

Struktur bangunan baja pada umumnya menggunakan profil yang bermacam-macam sesuai dengan kebutuhan perencanaan. Umumnya, untuk elemen kolom digunakan baja dengan penampang *H-beam* , sedangkan untuk balok digunakan penampang *I-beam*. Profil *wide -flange* biasa di gunakan untuk membuat sebuah kolom , *ring balk* , tiang pancang , *top* dan *bottom cord member* pada *truss* , komposit *beam* atau *coloumn* , maupun kanopi. Profil lain seperti *hollow* juga digunakan untuk membuat rangka atap. SNI 03 - 1729 – 2002 pasal 5.3 menyatakan bahwa baja struktur dapat dibedakan berdasarkan kekuatannya menjadi beberapa jenis, yaitu BJ 34, BJ 37, BJ 41, BJ 50, dan BJ 55. Besarnya tegangan leleh (f_y) dan tegangan ultimit (f_u) berbagai jenis baja struktur sesuai dengan SNI 03 - 1729 - 2015, Dapat dilihat dalam Tabel 2.33 di bawah ini:

Tabel 2.33. Jenis Kekuatan Baja Struktural^{*)}

Jenis Baja	Tegangan Putus Minimum (f_u),MPa	Tegangan Leleh Minimum (f_y),MPa	Peregangan Minimum (%)
BJ 34	340	210	22
BJ 37	370	240	20
BJ 41	410	250	18
BJ 50	500	290	16
BJ 55	550	410	13

^{*)}SNI 1729, 2002

2.17.Desain Kekuatan Struktur Baja

Dasar desain kekuatan struktur baja dilakukan sesuai SNI 1729:2015 untuk masing-masing komponen elemen. Dasar desain yang digunakan ialah Desain Faktor Beban dan Ketahanan (DFBK) atau LRFD (*Load Resistance Factor Design*). Masing-masing komponen elemen tersebut adalah sebagai berikut:

2.17.1. Desain Elemen Lentur

Desain komponen struktur lentur pada baja direncanakan sesuai dengan Bab F SNI 1729:2015. Perencanaan elemen lentur menurut pasal F1, kekuatan lentur nominal harus memenuhi persamaan:

$$0,90M_n \geq M_u \quad (2.63)$$

Jika penampang melintang suatu komponen struktur tekan cukup tipis, maka akan ada kemungkinan terjadi tekuk lokal. Jika tekuk lokal terjadi maka

komponen struktur tersebut tidak akan mampu lagi memikul beban secara penuh. SNI 1729:2015 membatasi rasio antara lebar dengan ketebalan suatu elemen dan penampang suatu komponen struktur dapat diklasifikasikan menjadi penampang kompak, tak kompak dan langsing. Dalam perhitungan tahanan momen nominal dibedakan antara penampang kompak, tak kompak dan langsing seperti halnya saat membahas batang tekan. Batasan penampang kompak, tak kompak dan langsing menurut Tabel B4.1 SNI 1729:2015 adalah:

1. Penampang kompak : $\lambda < \lambda_p$
2. Penampang tak kompak : $\lambda_p < \lambda < \lambda_r$
3. Penampang langsing : $\lambda > \lambda_r$

Untuk komponen struktur simetris tunggal dalam lengkungan tunggal dan semua komponen struktur simetris ganda, nilai faktor modifikasi tekuk torsi lateral C_b dapat dihitung sesuai:

$$C_b = \frac{12,5M_{maks}}{2,5M_{maks} + 3M_A + 4M_B + 3M_C} \quad (2.64)$$

Komponen struktur profil I kompak simetri ganda dan kanal melengkung di sumbu major yang melentur serta memiliki badan kompak dapat dihitung sesuai SNI 1729:2015 pasal F2. Kekuatan lentur nominal harus nilai terendah yang diperoleh sesuai dengan keadaan batas dari leleh dan tekuk torsi lateral. Untuk pelelehan digunakan persamaan sebagai berikut:

$$M_n = M_p = F_y Z_x \quad (2.65)$$

Keadaan tekuk torsi-lateral dapat dihitung dengan tiga kondisi yang berlaku, yaitu:

- a. Apabila $L_b \leq L_p$, keadaan batas untuk tekuk torsi lateral tidak boleh digunakan.
- b. Apabila $L_p < L_b \leq L_r$, digunakan persamaan sebagai berikut:

$$M_n = C_b M_p - (M_p - 0,7F_y S_x) \frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \quad (2.66)$$

- c. Apabila $L_b > L_r$, digunakan persamaan sebagai berikut:

$$M_n = S_x f_{cr} M_p \quad (2.67)$$

$$F_{cr} = \frac{C_b}{L_b} \frac{2E}{r_{ts}} \sqrt{1 + 0,078 \frac{J_c}{S_x h_o} \frac{L_b}{r_{ts}}}^2 \quad (2.68)$$

Desain komponen untuk profil struktur berongga atau PSB seperti profil penampang bulat *hollow* dapat menggunakan pasal F8 SNI 1729:2015 sebagai berikut. Kekuatan lentur nominal merupakan nilai terendah dari yang diperoleh sesuai keadaan batas dari leleh dan tekuk lokal. Untuk pelelehan menggunakan persamaan:

$$M_n = M_p = F_y Z \quad (2.69)$$

Keadaan tekuk lokal dapat dihitung dengan tiga kondisi yang berlaku, yaitu:

- Untuk penampang kompak, keadaan batas dari tekuk lokal sayap tidak diterapkan.
- Untuk penampang tidak kompak menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$M_n = \frac{0,021E}{D} + F_y S \quad (2.70)$$

- Untuk penampang dengan dinding langsing menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$M_n = F_{cr} S \quad (2.71)$$

$$F_{cr} = \frac{0,33E}{D} \quad (2.72)$$

2.17.2. Desain Elemen Tekan

Desain komponen elemen untuk tekan dilakukan sesuai dengan SNI 1729:2015 Bab E yang ditentukan berdasarkan tekuk dan lentur. Desain elemen tekan digunakan untuk komponen yang terkena gaya aksial tekan. Perencanaan elemen tekan disesuaikan dengan jenis elemen yang didefinisikan pada Tabel

B4.1 SNI 1729:2015 yaitu penampang kompak, tidak kompak dan langsing. Batasan penampang kompak, tak kompak dan langsing menurut Tabel B4.1 SNI 1729:2015 adalah:

1. Penampang kompak : $< p$
2. Penampang tak kompak : $p < < r$
3. Penampang langsing : $> r$

Faktor panjang efektif, K untuk perhitungan rasio kelangsingan komponen struktur KL/r harus terlebih dahulu ditentukan. Untuk komponen struktur yang dirancang berdasarkan tekan, rasio kelangsingan efektif sebaiknya tidak melebihi 200. Untuk tekuk lentur dari komponen struktur tanpa elemen langsing, menggunakan Pasal E3 SNI 1729:2015. Kekuatan tekan nominal P_n harus ditentukan berdasarkan:

$$P_n = F_{cr} A_g \quad (2.73)$$

Tegangan kritis, F_{cr} dapat ditentukan berdasarkan beberapa kondisi sebagai berikut:

a. Bila $\frac{KL}{r} < 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ atau $\frac{F_y}{F_e} < 2,25$, persamaan yang digunakan adalah:

$$F_{cr} = 0,658 \frac{F_y}{F_e} F_y \quad (2.74)$$

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

$$F_{cr} = 0,877 F_e \quad (2.75)$$

Tegangan tekuk kritis elastis penampang dapat dihitung dengan persamaan:

$$F_e = \frac{^2 E}{\frac{KL}{r}^2} \quad (2.76)$$

2.17.3. Desain Elemen Tarik

Desain elemen tarik dipergunakan untuk komponen struktur baja yang dominan memikul gaya aksial tarik. Perencanaan elemen tarik dilakukan berdasarkan Bab D SNI 1729:2015. Pada desain elemen tarik, tidak ada batas

kelangsingan maksimum untuk komponen struktur dalam tarik. Untuk komponen struktur yang dirancang berdasarkan tarik, rasio kelangsingan L/r lebih baik tidak melebihi 300. Saran ini tidak berlaku pada batang atau gantungan dalam gaya tarik. Kekuatan tarik desain dari komponen struktur tarik merupakan nilai terendah dari keadaan batas leleh dan keruntuhan tarik dari penampang sebagai berikut:

- a. Untuk leleh tarik terhadap penampang bruto menggunakan:

$$P_n = 0,90F_y A_g \quad (2.77)$$

- b. Untuk keruntuhan tarik pada penampang netto menggunakan:

$$P_n = 0,75F_u A_e \quad (2.78)$$

Luas bruto penampang dan luas netto penampang struktur tarik ditentukan sesuai dengan pasal B4.3 SNI 1729:2015. Luas netto efektif penampang ditentukan berdasarkan pasal D3 sebagai berikut:

$$A_e = A_n U \quad (2.79)$$

Nilai U merupakan faktor *shear lag* untuk sambungan pada komponen struktur tarik yang tertera pada Tabel D3.1 SNI 1729:2015.

2.17.4. Desain Kekuatan Geser

Desain kekuatan geser dilakukan terhadap komponen yang terkena gaya geser. Desain kekuatan geser struktur baja dilakukan sesuai Bab G SNI 1729:2015. Untuk komponen struktur dengan badan tidak diperkaku atau diperkaku menggunakan pasal G2 untuk badan dari komponen struktur simetris tunggal atau ganda dan kanal yang menahan geser dalam bidang badan. Kuat geser nominal dari badan tidak diperkaku atau diperkaku menurut keadaan batas harus memenuhi:

$$V_n = 0,6F_y A_w C_v \quad (2.80)$$

Beberapa kondisi untuk nilai C_v dari badan tidak diperkaku atau diperkaku menurut keadaan batas dari pelelehan geser dan tekuk geser adalah:

a. Untuk badan struktur profil-I canai panas dengan $h/t_w \leq 2,24\sqrt{E/F_y}$:

$$C_v = 1,0 \quad (2.81)$$

b. Untuk badan dari semua profil simetris ganda dan profil simetris tunggal serta kanal lainnya, kecuali PSB Bundar, koefisien geser badan C_v ditentukan dengan:

i. Bila nilai $h/t_w \leq 1,10\sqrt{k_v E/F_y}$, maka digunakan:

$$C_v = 1,0 \quad (2.82)$$

ii. Bila nilai $1,10\sqrt{k_v E/F_y} < h/t_w \leq 1,37\sqrt{k_v E/F_y}$, maka digunakan:

$$C_v = \frac{1,10\sqrt{k_v E/F_y}}{h/t_w} \quad (2.83)$$

iii. Bila nilai $h/t_w > 1,37\sqrt{k_v E/F_y}$, maka digunakan:

$$C_v = \frac{1,51k_v E}{(h/t_w)^2 F_y} \quad (2.84)$$

Koefisien tekuk geser pelat badan k_v ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

a. Untuk badan tanpa pengaku transversal dan dengan $h/t_w \leq 260$, kecuali untuk badan profil T dimana $k_v=1,2$.

$$k_v = 5 \quad (2.85)$$

b. Untuk badan dengan pengaku transversal menggunakan persamaan:

$$k_v = 5 + \frac{5}{(a/h)^2} \quad (2.86)$$

Kekuatan geser nominal untuk profil struktur berongga PSB Bundar disesuaikan dengan keadaan batas dari pelelehan geser dan tekuk geser yang ditentukan dengan:

$$V_n = F_{cr} A_g / 2 \quad (2.87)$$

Nilai F_{cr} harus memenuhi persyaratan yaitu nilai tersebut harus diambil terbesar dari persamaan:

$$F_{cr} = \frac{1,60E}{\sqrt{\frac{L_v}{D} \frac{D}{t}}^{\frac{5}{4}}} \quad (2.88)$$

$$F_{cr} = \frac{0,78E}{\frac{D}{t}^{\frac{3}{2}}} \quad (2.89)$$

Nilai tegangan tekuk kritis tersebut tidak boleh melebihi dari $0,6F_y$.

www.itk.ac.id

2.17.5. Desain Kekuatan Kombinasi

Desain elemen dengan kombinasi dan interaksi gaya dimaksudkan untuk memperhitungkan kejadian dimana gaya-gaya yang ada seperti aksial, lentur dan geser bekerja secara bersamaan. Desain komponen struktur dengan kombinasi gaya menggunakan Bab H SNI 1729:2015. Untuk komponen struktur simetris ganda dan tunggal menahan lentur serta tekan menggunakan pasal H2 dengan kondisi sebagai berikut:

- a. Bila nilai $\frac{P_r}{P_c} \leq 0,2$, maka menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1,0 \quad (2.90)$$

- b. Bila nilai $\frac{P_r}{P_c} > 0,2$, maka menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\frac{P_r}{2P_c} + \frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \leq 1,0 \quad (2.91)$$

Komponen struktur yang menahan gaya torsi dan kombinasi torsi, lentur, geser dan/atau gaya aksial dapat dihitung menggunakan pasal H3 SNI 1729:2015. Kekuatan torsi desain untuk PSB bundar dapat dihitung dengan:

$$T_n = 0,90F_{cr}C \quad (2.92)$$

Tegangan kritis F_{cr} untuk PSB bundar diambil nilai terbesar persamaan sebagai berikut:

$$F_{cr} = \frac{1,23E}{\sqrt{\frac{L}{D} \frac{D}{t}}^{\frac{5}{4}}} \quad (2.93)$$

$$F_{cr} = \frac{0,60E}{\frac{D}{t^{\frac{3}{2}}}} \quad (2.94)$$

Nilai tegangan tekuk kritis tersebut tidak boleh melebihi dari $0,6F_y$. Konstanta torsi C dapat diambil secara konservatif dari persamaan sebagai berikut:

$$C = \frac{(D-t)^2 t}{2} \quad (2.95)$$

Kombinasi yang terjadi antara momen lentur dengan gaya geser dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\frac{M_u}{M_n} + 0,625 \frac{V_u}{V_n} \leq 1,375 \quad (2.96)$$

2.18.Sambungan Baja

Struktur baja merupakan gabungan dari beberapa komponen elemen struktur yang disatukan melalui sambungan. Sambungan memegang peranan penting untuk menyatukan elemen-elemen agar beban dapat terdistribusi dengan baik sehingga perencanaan mendetail mengenai sambungan pada struktur baja perlu dilakukan. Sambungan pada struktur baja dikenal terdapat dua jenis, yaitu sambungan baut dan sambungan las.

2.18.1 Sambungan Baut

Sambungan baut merupakan jenis sambungan pada struktur baja yang menggunakan paku keling atau baut sebagai pengencang. Jenis baut yang digunakan merupakan baut mutu tinggi yang memiliki kelebihan seperti jumlah tenaga kerja lebih sedikit, kemampuan menerima gaya yang lebih besar dan secara keseluruhan dapat menghemat biaya konstruksi. Dua tipe dasar baut mutu tinggi yang distandarkan oleh ASTM adalah tipe A325 dan A490. Baut ini memiliki kepala berbentuk segi enam. Baut A325 terbuat dari baja karbon dengan kekuatan leleh berkisar 560 – 630 MPa sedangkan baut A490 terbuat dari baja campuran (*alloy*) yang memiliki kekuatan leleh berkisar 790-900 MPa. Selain baut mutu tinggi, terdapat baut dengan mutu normal yaitu A307 yang terbuat dari baja karbon rendah (Agus, 2008). SNI 1729:2015 pasal J3 ayat 1 menyatakan bahwa penggunaan baut kekuatan tinggi harus memenuhi ketentuan *Specification for Structural Joints Using High-Strength Bolts* yang telah disetujui oleh *The*

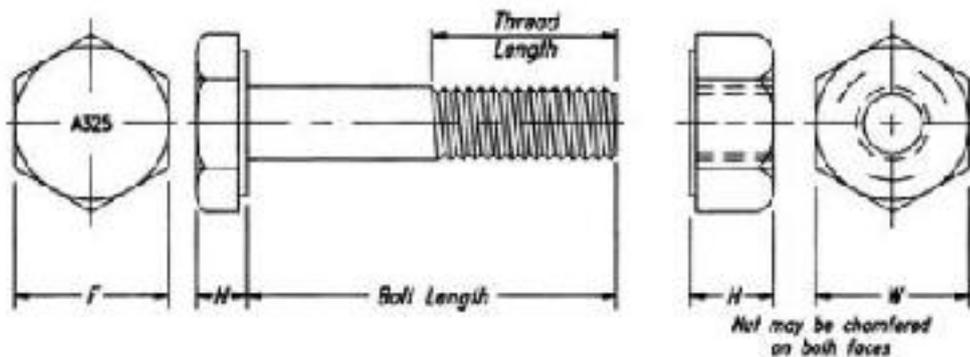
Research Council on Structural Connection. Kekuatan nominal baut berulir ditunjukkan pada Tabel 2.34.

Tabel 2.34. Jenis Kekuatan Baja Struktural^{*)}

Deskripsi Pengencang	Kekuatan Tarik Nominal, F_{nt} , ksi (MPa)	Kekuatan Geser Nominal dalam Sambungan Tipe-Tumpu, F_{nv} , ksi (MPa)
Baut A307	45 (310)	27 (188)
Baut grup A (Misal, A325), bila ulir tidak dikecualikan dari bidang geser	90 (620)	54 (372)
Baut grup A (misal, A325), bila ulir tidak termasuk dari bidang geser	90 (620)	68 (457)
Baut A490 atau A490M, bila ulir tidak dikecualikan dari bidang geser	113 (780)	68 (475)
Baut A490 atau A490M, bila ulir tidak termasuk dari bidang geser	113 (780)	84 (579)
Bagian berulir yang memenuhi persyaratan Pasal A3.4, bila ulir tidak dikecualikan dari bidang geser	$0,75 F_u$	$0,450 F_u$
Baut A490 atau A490M, bila ulir tidak dikecualikan dari bidang geser	$0,75 F_u$	$0,563 F_u$

^{*)}SNI 1729, 2015

Penampang serta bagian-bagian dari porongan geometrik baut berkekuatan tinggi *heavy-hex* dapat dibedakan dari bentuk kepala dan bagian yang tidak berulir. Panampang baut berkekuatan tinggi ditunjukkan pada Gambar 2.21.



Gambar 2.21. Penampang Baut Struktural dan Mur (RCSC, 2014)

Dimensi baut serta kebutuhan besar lubang pada baut berkekuatan tinggi menurut RCSC dan SNI 1729:2015 ditunjukkan pada Tabel 2.35 dan Tabel 2.36 sebagai berikut:

Tabel 2.35. Dimensi Baut dan Mur Menurut RCSC^{*)}

Diameter Nominal Baut, d_b , in	Dimensi Baut, in			Dimensi Mur, in	
	Lebar, F	Tinggi, H_1	Ulir, T	Lebar, W	Tinggi, H_2
1/2	7/8	5/16	1	7/8	31/64
5/8	17/16	25/64	5/4	17/16	39/64
3/4	5/4	15/32	11/8	5/4	47/64
7/8	23/16	35/64	3/2	23/16	55/64
1	13/8	39/64	7/4	13/8	63/64
9/8	29/16	11/16	2	29/16	71/64
5/4	2	25/32	2	2	39/32
11/8	35/16	27/32	9/4	35/16	43/32
3/2	19/8	15/16	9/4	19/8	47/32

^{*)}RCSC, 2014

Dimensi lubang nominal untuk masing-masing ukuran baut menurut pasal J3.3 SNI 1729:2014 ditunjukkan pada Tabel 2.36 sebagai berikut.

Tabel 2.36. Dimensi Lubang Nominal Baut, in ^{*)}

Baut	Dimensi Lubang			
	Standar (Diameter)	Ukuran-lebih (Diameter)	Slot-Pendek (LebarxPanjang)	Slot-Panjang (LebarxPanjang)
1/2	9/16	5/8	9/16 x 11/16	9/16 x 5/4
5/8	11/16	13/16	11/16 x 7/8	11/16 x 25/16
3/4	13/16	15/16	13/16 x 1	13/16 x 15/8
7/8	15/16	17/16	15/16 x 9/8	15/16 x 35/16
1	17/16	5/4	17/16 x 21/16	17/16 x 5/2
> 9/8	$d + 1/16$	$d + 5/16$	$(d+1/16)x(d+3/8)$	$(d+1/16)+(2,5xd)$

^{*)}SNI 1729, 2015

Jarak spasi minimum menurut pasal J3.3 merupakan jarak antara pusat-pusat standar, ukuran-berlebih atau lubang-lubang slot yang tidak boleh kurang dari 8/3 kali diameter nominal. Jarak tepi minimum merupakan jarak dari pusat lubang standar ke suatu tepi dari suatu bagian yang disambung pada setiap arah tidak boleh kurang seperti yang telah ditentukan pada Tabel 2.37. Jarak dari pusat suatu ukuran berlebih atau lubang slot ke suatu tepi dari suatu bagian yang

disambung harus tidak kurang dari diperlukan untuk suatu lubang standar ke suatu tepi dari bagian yang disambung.

Tabel 2.37. Jarak tepi Minimum ^{*)}

Diameter Baut (mm)	Jarak Tepi Minimum
16	22
20	26
22	28
24	30
27	34
30	38
36	46
Di atas 36	1,25d

^{*)}SNI 1729, 2015

Desain kekuatan baut menurut SNI 1729:2015 dilakukan terhadap tegangan tarik, tegangan geser dan tegangan kombinasi. Desain baut terhadap tegangan tarik sesuai pasal J3.6 SNI 1729:2015 sebagai berikut:

$$R_n = 0,75 A_b F_{nt} \quad (2.97)$$

Desain baut terhadap tegangan geser sesuai pasal J3.6 SNI 1729:2015 sebagai berikut:

$$R_n = 0,75 A_b F_{nv} \quad (2.98)$$

Desain baut terhadap kombinasi gaya tarik dan geser dalam sambungan tipe tumpuan menurut pasal J3.6 adalah sebagai berikut:

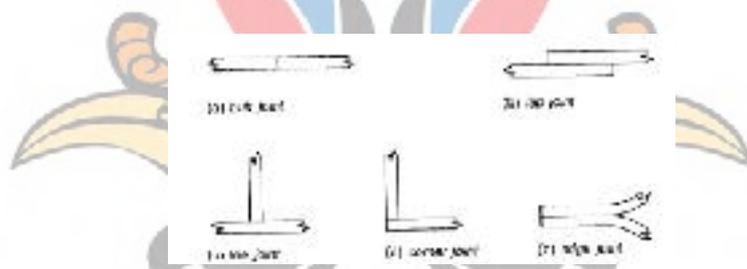
$$R_n = 0,75 F_{nt}' A_b \quad (2.99)$$

$$F_{nt}' = 1,3F_{nt} - \frac{F_{nt}}{F_{nv}} f_{rv} F_{nt} \quad (2.100)$$

2.18.2 Sambungan Las

Sambungan las merupakan jenis sambungan pada struktur baja yang dilakukan melalui pengelasan. Pengelasan merupakan proses penyambungan bahan logam yang menghasilkan peleburan bahan dengan memanasinya hingga suhu yang tepat dengan atau tanpa pemberian tekanan dan dengan atau tanpa bahan pengisi (Agus, 2008). Beberapa jenis sambungan yang ditemui pada sambungan las ditunjukkan pada Gambar 2.22 dengan definisi sebagai berikut :

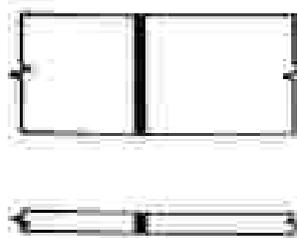
1. Sambungan sebidang atau *butt joint*. Sambungan ini umumnya dipakai untuk pelat-pelat datar dengan ketebalan hampir sama. Pada sambungan ini tidak ada eksentrisitas. Ujung-ujung sambungan harus diratakan atau dimiringkan dan elemen yang akan disambung harus dipertemukan dengan hati-hati
2. Sambungan lewatan atau *lap joint*. Sambungan ini banyak ditemukan karena mudah disesuaikan dengan kondisi lapangan dan relatif mudah.
3. Sambungan tegak atau *tee joint*. Sambungan ini banyak dipakai terutama untuk penampang tersusun seperti *I*, pelat girder atau *stiffner*.
4. Sambungan sudut atau *corner joint*. Sambungan ini digunakan untuk penampang tersusun dengan bentuk kotak untuk kolom dan balok yang menerima torsi.
5. Sambungan sisi atau *edge joint*. Jenis sambungan ini tidak termasuk sambungan struktural dan hanya untuk menjaga pelat tidak bergeser



Gambar 2.22. Jenis Sambungan pada Las (Agus, 2008)

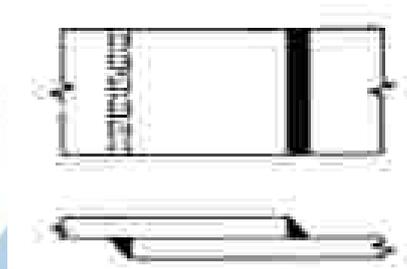
Jenis-jenis las yang sering digunakan untuk penyambungan komponen baja adalah sebagai berikut

1. Las tumpul (*groove welds*). Las ini digunakan untuk menyambung batang sebidang yang harus menyalurkan beban secara penuh sehingga kekuatan las harus sama dengan batang yang disambung seperti pada Gambar 2.23.



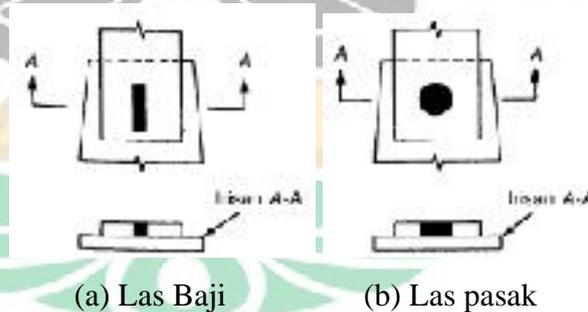
Gambar 2.23. Jenis Las Tumpul (Agus, 2008)

2. Las sudut (*fillet welds*) merupakan jenis las yang paling banyak dijumpai dibandingkan tipe las yang lainnya dengan proporsi 80% sambungan las menggunakan las sudut. Hal yang mendasari jenis ini sering digunakan karena tidak memerlukan tingkat presisi yang tinggi dalam pengerjaannya. Contoh las sudut ditunjukkan pada Gambar 2.24 sebagai berikut:



Gambar 2.24. Jenis Las Sudut (Agus, 2008)

3. Las baji dan pasak (*slot and plug welds*) merupakan jenis las yang digunakan bersama las sudut. Jenis ini digunakan untuk menyalurkan gaya geser pada sambungan lewatan bila ukutan panjang las terbatas. Sambungan las baji dan pasak ditunjukkan pada Gambar 2.25 sebagai berikut:



Gambar 2.25. Jenis Las Baji dan Pasak (Agus, 2008)

Desain kekuatan untu sambungan yang dilas merupakan nilai terendah dari kekuatan material dasar yang ditentukan dari keadaan batas dan tarik menurut pasal J2 SNI 1729:2015. Untuk logam dasar menggunakan persamaan:

$$R_n = F_{nBM} A_{BM} \quad (2.101)$$

Sedangkan untuk logam las dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$R_n = F_{nw} A_{we} \quad (2.102)$$

Alternatif, untuk kekuatan desain las sudut tersedia yang diizinkan dapat dicari dengan menggunakan persamaan:

$$R_n = F_{nw} A_{we} \quad (2.103)$$

Dimana tegangan nominal dari logam las dicari dengan persamaan:

$$F_{nw} = 0,60F_{EXX} (1,0 + 0,50 \sin^{1,5}) \quad (2.104)$$

Persyaratan kuat tarik logam pengisi pada sambungan las menurut AWS A5,1-91 mengenai *Specification for Carbon Steel Electrodes for Shielded Metal Arc Welding* ditunjukkan pada Tabel 2.38 sebagai berikut:

Tabel 2.38. Kuat Tekan Nominal Logam Pengisi Las ^{*)}

Klasifikasi AWS	Kuat Tarik (MPa)	Kuat Leleh (MPa)
E6010	414	331
E6011	414	331
E6012	414	331
E6013	414	331
E6019	414	331
E6020	414	331
E6022	414	tidak ditentukan
E6027	414	399
E7014	482	399
E7015	482	399
E7016	482	399
E7018	482	399
E7024	482	399
E7027	482	399
E7028	482	399
E7048	482	399
E7018M	482	365-496

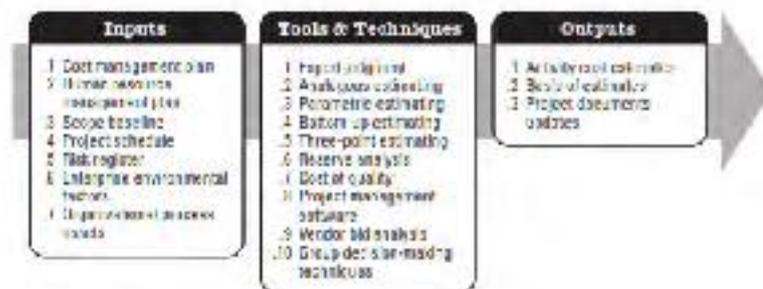
^{*)}AWS A5.1-91, 1998

2.19. Rencana Anggaran Biaya

Rencana anggaran biaya merupakan proses perhitungan volume dan harga dari berbagai macam pekerjaan dalam proyek konstruksi yang akan dilaksanakan selama proyek berlangsung (Susanti, 2017). Terdapat lima hal utama dalam merencanakan anggaran biaya konstruksi.

1. Bahan-bahan atau material yang digunakan selama pekerjaan. Harga bahan yang digunakan merupakan harga yang berlaku pada daerah tempat pelaksanaan serta sudah termasuk dengan biaya angkutan, penyimpanan dan lain-lain.
2. Upah pekerja. Biaya upah pekerja dipengaruhi oleh durasi bekerja, kondisi pekerjaan, keterampilan, keahlian serta banyaknya pekerjaan yang dilakukan.
3. Alat-alat konstruksi. Biaya ini termasuk alat-alat dan mesin yang digunakan selama pekerjaan seperti bangunan sementara, alat tangan, alat berat, mesin dan lain-lain. Perhitungan biaya alat-alat konstruksi bergantung jenis, lama pakai, dan besarnya pekerjaan yang dilakukan.
4. Biaya tambahan atau *overhead*. Biaya ini merupakan biaya tambahan yang tidak termasuk dalam biaya konstruksi seperti listrik, air, alat tulis, asuransi dan lain-lain.
5. Keuntungan atau *profit*. Biaya ini dinyatakan dalam persentase yang berkisar 8% hingga 15% dari jumlah biaya pekerjaan. Perhitungan keuntungan tergantung besarnya risiko pekerjaan, tingkat kesulitan, metode dan cara pembayaran.

Project Management Body of Knowledge atau yang dikenal sebagai PMBOK (2013) menjelaskan bahwa estimasi biaya merupakan proses untuk menghasilkan perkiraan sumber keuangan yang dibutuhkan untuk menyelesaikan pekerjaan proyek. Keuntungan proses ini ialah dapat menentukan biaya yang dibutuhkan agar proyek dapat terselesaikan. Parameter masukan, teknik dan alat serta keluaran dari proses ini ditunjukkan pada Gambar 2.26 sebagai berikut.



Gambar 2.26. Proses Estimasi Biaya (PMBOK, 2013)

Dalam perencanaan anggaran biaya, dikenal juga istilah analisis harga satuan pekerjaan. Menurut Peraturan Menteri Pekerjaan Umum nomor 11 tahun 2013, analisis harga satuan pekerjaan yang selanjutnya disingkat AHSP adalah perhitungan kebutuhan biaya, tenaga kerja, bahan dan peralatan untuk mendapatkan harga satuan atau satu jenis pekerjaan tertentu. Analisis harga satuan pekerjaan dipengaruhi oleh besarnya nilai koefisien yang menunjukkan nilai satuan bahan atau material, nilai alat serta nilai satuan upah tenaga kerja yang digunakan. Koefisien yang digunakan dihitung berdasarkan tingkat produktivitas, jumlah pekerja, waktu dan alat yang digunakan dalam menyelesaikan pekerjaan. Harga bahan, material, alat serta tenaga kerja yang digunakan pada analisis harga satuan menyesuaikan dengan harga pasaran tempat analisis dibuat sehingga analisis harga satuan untuk satu pekerjaan akan berbeda dari satu tempat ke tempat lainnya.

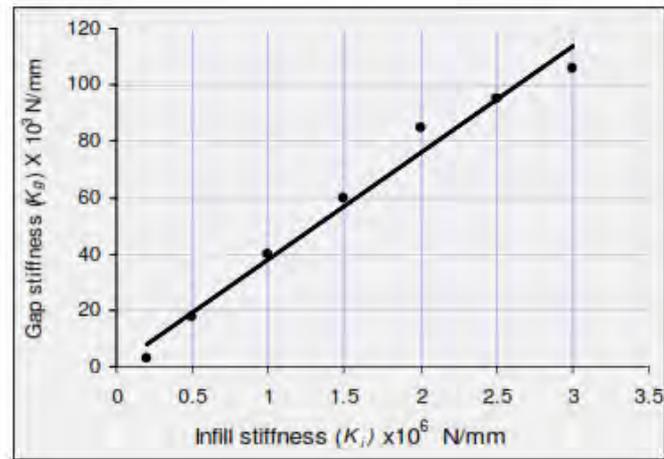
2.20. Elemen *Gap* (*Gap Element*) Pada Program SAP2000

Elemen *Gap* merupakan salah satu bagian dari *link elements* yang disediakan oleh program bantu SAP2000 sebagai kebutuhan struktural. Elemen ini biasanya digunakan untuk merepresentasikan hubungan atau kontak yang terjadi antara dua elemen struktur dan meneruskan gaya-gaya yang terjadi, seperti studi antara dua struktur yang terkena beban *time-history*. Kedua pilihan linier dan non-linier tersedia, akan tetapi pada pemodelan dinding pengisi dibatasi pada pemakaian linier. Fungsi yang dimiliki terbatas pada gaya tekan yang terjadi serta kekakuan akan bernilai nol pada saat terjadi tarik. Elemen ini dapat dianggap memiliki berat nol karena dengan jumlah yang cukup banyak akan menambah berat pada struktur. Kekakuan efektif pada elemen ini dapat dihitung sesuai persamaan dari Dorji (2009) dengan *damping value* bernilai tetap 0,05 pada struktur beton. Persamaan yang digunakan sebagai berikut:

$$K_g = 0,0378K_i + 347 \quad (2.105)$$

Dimana K_g merupakan kekakuan dari elemen *gap* dan K_i merupakan kekakuan dari elemen dinding pengisi. Hubungan linear yang terjadi antara kekakuan dinding pengisi dan elemen *gap* dapat dilihat pada Gambar 2.27. Pada Gambar

2.28 ditunjukkan elemen *gap* pada SAP2000 dengan komponennya yaitu *I* dan *J* yang merupakan nodal dari elemen *gap* serta *k* merupakan kekakuan.



Gambar 2.27. Hubungan Kekakuan *Gap* dan Dinding Pengisi (Dorji, 2009)



Gambar 2.28. Elemen *Gap* SAP2000 (Dorji, 2009)

2.21. Penelitian Terdahulu www.itk.ac.id

Penelitian yang dilakukan mengenai dinding pengisi bata pada struktur bangunan gedung telah cukup banyak dilakukan. Penelitian yang telah dilakukan bervariasi dari uji kekuatan tekan dinding pengisi seperti yang dilakukan Dewi (2012) dan Sri Frapanti (2018). Perbandingan antara perilaku struktur gedung yang dimodelkan dengan dinding pengisi dengan struktur gedung tanpa dinding pengisi juga telah dilakukan dengan hasil bahwa struktur yang memiliki dinding

pengisi memiliki perilaku lebih baik saat dikenai beban lateral dibandingkan tanpa dinding pengisi seperti yang dilakukan Prayuda (2015) dan Wiranata (2016). Analisis lebih mendalam juga dilakukan untuk mengetahui efek keberadaan dinding pengisi terhadap gaya dalam yang terjadi pada komponen struktur utama yaitu balok dan kolom seperti yang dilakukan oleh Abd-Elhamed (2015).

Penelitian tugas akhir ini dilakukan dengan mengambil topik yang belum dibahas secara keseluruhan dari referensi-referensi yang digunakan yaitu perbandingan perencanaan struktur dengan dinding pengisi dan tanpa dinding pengisi dan perbandingan terhadap analisis biaya komponen struktur. Penelitian tugas akhir ini akan membandingkan hasil desain struktur yang dimodelkan tanpa dinding pengisi dan dengan dinding pengisi, displacement yang terjadi akibat beban gempa statik dan juga pengaruhnya terhadap analisis biaya struktur utama kolom dan juga balok. Penelitian terdahulu yang telah dilakukan mengenai pemodelan dinding pengisi bata pada struktur bangunan ditunjukkan pada Tabel 2.39 sebagai berikut.

Tabel 2.39. Ringkasan Penelitian Terdahulu

No.	Judul, Tahun dan Pengarang	Uraian Singkat
1.	Analisis Kinerja Dinding Bata Yang Diperbaiki Dengan Plester / 2011, Rais Pamungkas	Dalam penelitian ini memodelkan struktur dengan satu panel dinding bata dan ruko tiga lantai bentang yang dikenai beban sesuai SNI 03-1726-2012. Efek separasi antara dinding bata dan portal beton dimodelkan dengan melepas <i>link</i> . Hasil didapatkan plester menunjukkan peningkatan kekakuan dan kekuatan dinding bata.
2.	Studi Perilaku Model Panel Dinding Bata Pengisi Pada Struktur Beton Bertulang/ 2012, Rany Rakitta Dewi	Dalam penelitian ini dibuat 3 model panel struktur beton bertulang dengan dinding pengisi bata lebar 4 m, 3 m dan 2 m di zona gempa 6 tanah lunak sebagai <i>bracing</i> tekan. Hasil studi menunjukkan bahwa struktur dengan dinding pengisi batu bata memiliki nilai daktilitas yang lebih baik dan kapasitas <i>base shear</i> yang lebih besar dari struktur <i>open frame</i> .

Tabel 2.39. Ringkasan Penelitian Terdahulu (lanjutan)

No.	Judul, Tahun dan Pengarang	Uraian Singkat
3.	Gaya Lateral <i>In-Plane</i> Struktur Portal Dinding Pasangan Bata ½ Batu Melalui Analisis Numerik/ 2015, Hakas Prayuda	Penelitian bertujuan untuk mengetahui kontribusi dinding bata terhadap kekakuan struktur dengan gaya lateral <i>in-plane</i> . Didapatkan hasil dinding aman digunakan pada saat kondisi elastis hingga ke plastis.
4.	<i>Effect of Infill Walls on Response of Multi Storey Reinforced Concrete Structure/</i> 2015, Ayman Abd-elhamed, Sayed Mahmoud	Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pebanding perilaku struktur beton <i>open frame</i> dan dengan dinding pengisi. Didapatkan hasil perilaku struktur dengan dinding pengisi lebih baik dan gaya dalam yang dihasilkan lebih kecil dari model <i>open frame</i> .
5.	Pebandingan Perilaku Struktur Beton Bertulang Analisis Sistem Dinding Bata Sebagai <i>Strut</i> Dengan Sistem <i>Open Frame</i> /2016, I Made K Wiranata, I Ketut Yasa Bagiarta, I Wayan J.	Penelitian bertujuan membandingkan model <i>open frame</i> dan <i>strut diagonal</i> pada dinding pengisi bata. Didapatkan hasil <i>open frame</i> lebih daktail dibanding model <i>strut</i>
6.	Studi Perhitungan Kekakuan Portal Dinding Bata Pada Banguna Bertingkat Dari Beberapa Negara Dengan Pushover/2018, Sri Frapanti	Penelitian dilakukan untuk mengetahui kekakuan dan kekuatan dinding bata dengan melakukan uji tekan dengan variasi bata dari beberapa negara. Didapatkan bahwa dinding pengisi bata berkontribusi terhadap kekakuan dinding pengisi.
7.	<i>Design Aspect of Including Infill Wall in RC Frame Design/</i> 2014, M. Sukrawa	Penelitian dilakukan dengan melakukan analisis gedung beton bertulang 4 lantai dengan memodelkan sebagai <i>open frame</i> , <i>diagonal strut</i> dan <i>shell elements</i> . Hasil menunjukkan pada model dinding pengisi lebih kaku dibandingkan <i>open frame</i> pada arah dinding.
8.	<i>A Comparative Study on The Effect of Infill Walls on RCC Frame Structures/</i> Dr. S.S. Sankhla, Deepak Bhati, 2016	Penelitian ini dilakukan pada struktur 20 lantai dengan membandingkan model <i>open frame</i> dengan model <i>diagonal strut</i> . Hasil menunjukkan bahwa <i>roof displacement</i> serta gaya dalam yang terjadi pada kolom berkurang dengan memodelkan dinding pengisi.

2.22. Posisi Penelitian

Penelitian terkait perbandingan pemodelan struktur *open frame* dengan model menggunakan dinding pengisi telah dilakukan sebelumnya sesuai dengan referensi pada penelitian terdahulu. Beberapa tinjauan yang digunakan pada penelitian ini berdasarkan pada referensi penelitian sebelumnya yang telah dilakukan dengan menambahkan beberapa aspek yang belum dilakukan. Perbandingan tinjauan yang dilakukan oleh penelitian sebelumnya dengan penelitian yang sekarang ditunjukkan pada Tabel 2.40.

Berdasarkan tabel tersebut, penelitian yang dilakukan pada saat ini memiliki area riset yang lebih luas, tidak hanya pada perbandingan gaya dalam dan *displacement*, tetapi juga pada desain penampang akhir serta perbandingan biaya dan volume struktur utama seperti kolom, balok dan pelat pada model *open frame*, diagonal tekan dan *continuum shell*. Penelitian ini melanjutkan penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya hingga sampai pada pemodelan aktual yang dapat digunakan dalam perencanaan struktur bangunan gedung dengan SAP2000 serta perbandingan terhadap biaya apabila struktur gedung dimodelkan sebagai *open frame*, diagonal tekan dan juga.



www.itk.ac.id

Tabel 2.40. Perbandingan Tinjauan Dengan Penelitian Sebelumnya

No.	Referensi	Tinjauan Penelitian					Desain Penampang	Biaya dan Volume
		Gaya Dalam	Displacement	Model <i>Open Frame</i>	Model Diagonal Tekan	Model <i>Continuum Shell</i>		
1.	Pamungkas, 2011							
2.	Dewi,2012							
3.	Prayuda, 2015							
4.	Elhamed,2015							
5.	Wiranata,2016							
6.	Frapanti,2018							
7.	Sukrawa,2014							
8.	Sankhla,2016							
9.	Rifqi, 2020 (Penelitian Sekarang)							