

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Tinjauan Pustaka

Dalam penulisan tugas akhir ini peneliti menggali informasi dari beberapa penelitian sebelumnya sebagai bahan perbandingan, baik mengenai kekurangan atau kelebihan yang sudah ada.

Analisis elemen sebelumnya sudah pernah dibuat dan digunakan, namun dalam metode analisis yang berbeda. Beberapa penelitian yang berhubungan dan yang pernah dibuat adalah

Tabel 1. Penelitian Terdahulu

No.	Nama	Judul penelitian	Hasil Penelitian
1	Prasetyo (2023)	Perilaku Kolom Beton Bertulang Pipih (15x30 cm ²) terhadap Beban Statik Aksial Murni: Studi Komparasi Kolom dengan Tulangan dan Profil Baja	Penelitian ini menunjukkan bahwa kolom beton dengan perkuatan baja IWF memiliki kinerja struktural yang lebih baik dibandingkan kolom beton bertulang biasa. Hal ini dibuktikan melalui uji eksperimental, perhitungan teoritis, dan simulasi ANSYS 19.2, yang menunjukkan perbedaan beban aksial maksimum antara 2–9%. Deformasi kolom juga menunjukkan selisih 16–28%, dengan pola keretakan yang serupa antara uji dan simulasi. Kolom K4 memiliki kapasitas tertinggi, mampu

Berlanjut

Lanjutan Tabel 1.

No.	Nama	Judul penelitian	Hasil Penelitian
			menahan hingga 4 lantai, sementara K2 dan K3 mampu menahan 3 lantai. Meskipun K2 dan K3 setara dari segi kekuatan, kolom K3 lebih disarankan karena lebih mudah dikerjakan di lapangan. Secara keseluruhan, kolom dengan baja IWF direkomendasikan untuk struktur bangunan bertingkat karena lebih kuat dan efisien.
2	Sulistiana <i>et al.</i> (2024)	Evaluasi Kinerja Struktur Sambungan Balok-Kolom Pipih Beton Bertulang dengan Eksentrisitas Geometri: Studi Pemodelan Numerik	Hasil dari pemodelan numerik pada pertemuan balok-kolom pipih beton bertulang dengan variasi eksentrisitas (0 mm, 25 mm, dan 50 mm) menunjukkan pengaruh signifikan terhadap kinerja struktur. Kapasitas beban maksimum menurun dari 233,82 kN (e=0 mm) menjadi 218,70 kN (e=50 mm), sementara deformasi maksimum meningkat dari 145,57 mm menjadi 174,28 mm. Pola retak menjadi semakin asimetris, dengan ukuran retak pada sisi dekat kolom mencapai 480 x 370 mm untuk eksentrisitas 50 mm. Tegangan leleh baja tulangan tetap konsisten pada 431 MPa, namun posisinya bervariasi tergantung eksentrisitas. <i>Drift</i> rasio meningkat dari 9,39% (e=0 mm) menjadi

Berlanjut

Lanjutan Tabel 1.

No.	Nama	Judul penelitian	Hasil Penelitian
			11,24% ($e=50$ mm), melebihi batas 2% SNI 1726:2002. Daktilitas struktur juga meningkat dari 4,16 menjadi 4,82, menunjukkan peningkatan kemampuan menyerap energi.
3	Violeta (2023)	Analisa Kapasitas Kolom Pipih terhadap Beban Gravitasi dengan Diagram Interaksi	Penelitian ini mengamati diagram interaksi tinjauan terhadap 1 kolom bujur sangkar konvensional K1 dengan dimensi 30cmx30cm dan 3 variasi kolom pipih, dengan dimensi K2 yaitu 10cmx90cm, K3 yaitu 15cmx60cm, dan K4 yaitu 20cmx45cm, yang mana kesemuanya mempunyai luas penampang sebesar 900cm ² , dan luas total tulangan yang sama yaitu 1608.5mm ² , menghasilkan distribusi kombinasi gaya aksial dan momen lentur yang berbeda-beda pada masing-masing diagram interaksinya. Kolom pipih K2 memperoleh hasil yang tidak aman oleh karena ada kombinasi gaya yang sudah di luar cakupan kurva interaksi arah sumbu lemahnya. Sementara untuk kolom pipih K3 dan K4, ada beberapa kombinasi gaya aksial dan momen lentur yang sudah berada pada ambang batas selimut kurva

Berlanjut

Lanjutan Tabel 1.

No.	Nama	Judul penelitian	Hasil Penelitian
			interaksi arah sumbu lemah, namun secara umum masih dikatakan aman.
4	Violeta (2024)	Analisa Pengaruh Variasi Bentuk dan Konfigurasi Kolom Terhadap Periode Getar Struktur	Berdasarkan penelitian ini mendapatkan kesimpulan bahwa struktur dengan bentuk kolom bujur sangkar dan lingkaran mempunyai kestabilan nilai simpangan arah X dan arah Y karena inersia ke seluruh arahnya adalah sama. Sementara untuk struktur dengan bentuk kolom pipih yang seragam ke salah satu arah akan menghasilkan nilai periode struktur yang besar, pun demikian, nilai simpangan maksimum antara arah X dan Y berbeda secara signifikan. Oleh karena itu, penggunaan kolom pipih pada struktur rangka penahan gempa disarankan untuk dikonfigurasi arahnya supaya tersebar secara merata sehingga dapat menghasilkan nilai simpangan yang relatif sama antara arah satu dengan arah lainnya.
5	Limbongan <i>et al.</i> (2016)	Analisis Struktur Beton Bertulang Kolom Pipih Pada Gedung Bertingkat	Berdasarkan dari hasil penelitian ini, tebal dinding 15cm, memiliki tinggi optimal lantai yang kecil sedangkan pada tebal 25cm mempunyai tinggi lantai yang dihasilkan

Berlanjut

Lanjutan Tabel 1.

No.	Nama	Judul penelitian	Hasil Penelitian
			<p>besar, namun dari beberapa pertimbangan tebal 20cm dianggap sebagai pilihan yang ekonomis. Semakin besar dimensi kolom baik arah lebar maupun panjang semakin kecil nilai simpangan antar lantai yang terjadi, begitupun sebaliknya di mana semakin besar tinggi antar tingkatnya semakin besar pula nilai simpangan antar lantainya. Pada hasil analisis struktur kolom, jenis kolom termasuk kolom panjang atau kolom langsing terlihat dari rasio kelangsingannya ($40,93 > 22$) dengan keadaan bergoyang dan kolom mengalami perilaku tertekuk.</p>
6	Frans <i>et al.</i> (2013)	Analisis Diagram Interaksi Kolom Pada Perencanaan Kolom Pipih Beton Bertulang (042s)	<p>Diagram interaksi kolom dapat digunakan untuk mendesain langsung kolom pipih, menentukan daerah keruntuhan, dan juga mendesain kolom secara praktis. Dalam diagram interaksi kolom kondisi pembebanan sangat mempengaruhi terhadap penentuan luas tulangan dan hubungan antara nilai momen nominal dan gaya aksial nominal. Terjadi peningkatan nilai luas penulangan kolom tepi dari kolom persegi hasil</p>

Berlanjut

Lanjutan Tabel 1.

No.	Nama	Judul penelitian	Hasil Penelitian
			perhitungan SAP2000v14 bila dibandingkan dengan kolom pipih hasil diagram interaksi kolom dengan metode uniaksial ekivalen sebesar 2%. Sedangkan pada kolom tepi tengah terjadi peningkatan rasio penulangan 3% dari kolom persegi dengan kolom pipih hasil diagram interaksi kolom dengan metode uniaksial ekivalen.

B. Landasan Teori

Pada bagian ini akan membahas kajian teori mengenai beberapa pengertian secara konseptual yang mendukung dan berkenaan dengan penelitian yang dilakukan seperti perilaku material dan elemen yang digunakan dalam pemodelan.

1. Beton

Menurut SNI 2847-2019 definisi beton adalah campuran antara semen *portland* atau semen hidrolis yang lain, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk massa padat. Menurut Tjokrodinuljo (2007), beton adalah campuran yang terdiri dari agregat kasar, agregat halus, air, dan semen *portland* atau semen hidraulis, dengan atau tanpa bahan tambahan. Campuran ini dibuat menjadi plastis sehingga dapat dituang ke dalam cetakan dengan bentuk yang diinginkan. Bahan tambahan dapat berupa bahan kimia atau non-kimia atau bahan seperti *pozzolan*. Karena reaksi kimia yang terjadi antara air dan semen saat campuran dibiarkan, ia akan semakin mengeras dengan waktu.

2. Kolom

Kolom adalah komponen struktur vertikal yang berfungsi untuk meneruskan beban aksial dari struktur ke fondasi. Kerugian atau kegagalan pada kolom dapat menyebabkan rantai runtuh atau bahkan keruntuhan total bangunan karena peran pentingnya dalam menahan tekanan (Sudarmoko, 1996). SNI 2847:2019 menyatakan bahwa kolom adalah komponen struktur

yang memiliki perbandingan tinggi terhadap dimensi lateral terkecilnya lebih dari tiga. Kolom biasanya digunakan untuk menahan beban aksial dominan.

Selain kolom konvensional berbentuk persegi, dalam praktik konstruksi dikenal pula jenis kolom pipih. Pada umumnya struktur kolom utama rumah tinggal bertingkat dua menggunakan kolom pipih dengan alasan estetika dan area terkesan menjadi lebih luas dibandingkan menggunakan kolom persegi yang pasti akan menonjol dan memakan area lebih luas. Kolom pipih merupakan *special shaped column* (kolom berbentuk khusus). Kolom berbentuk khusus ini meliputi bentuk L dan T (Limbongan, 2016).



Gambar 2. Kolom Bentuk L,T, dan Persegi (Pratama, 2021)

Kolom pipih yang digunakan pada penelitian ini adalah kolom yang memiliki dimensi terkecil berukuran setengah bata dan berdasarkan SNI 2487:2019 pasal 18.7.2.1 rasio perbandingan antara dimensi kolom terkecil terhadap dimensi tegak lurus nya tidak boleh kurang dari 0,4. Jika rasio perbandingan tersebut kurang dari 0,4 maka tidak tergolong kolom. Hal tersebut menjadi dasar penentuan dimensi kolom pada benda uji penelitian ini. Pada pasal 25.7.2.2, diameter sengkang yang digunakan untuk tulangan utama D32 atau dibawahnya menggunakan D10. Untuk tulangan

longitudinal yang terletak pada dua atau lebih lapisan horizontal, memiliki spasi paling sedikit 25mm (SNI 2847:2019 Pasal 25.2.2)

3. *ABAQUS CAE*

ABAQUS merupakan salah satu *software* yang digunakan untuk *Computer Aided Engineering* (CAE). Saat ini *ABAQUS* sering disebut *ABAQUS FEA* karena *ABAQUS* merupakan *software* yang digunakan untuk menganalisis suatu desain dengan menggunakan metode *Finite Element Analysis*. Perangkat lunak ini dapat melakukan simulasi linear, mulai dari analisis yang paling sederhana hingga analisis non linear yang memiliki kondisi kontak yang kompleks dan rumit. Dalam *software* ini kita dapat mengatur segala kondisi yang dimiliki oleh material sehingga nantinya reaksi yang dihasilkan dari permodelan yang telah dibuat dapat menghasilkan reaksi yang benar-benar sesuai dengan keadaan aslinya. *Software* ini memiliki beberapa fasilitas salah satu fasilitas untuk yang dapat memfungsikan *software* ini menjadi program analisis elastis dan plastis (Fauzan,2022).

4. *Concrete Damage Plasticity*

Untuk material beton, *ABAQUS* menyediakan model *Concrete Damage Plasticity* (CDP). Model CDP adalah salah satu model konstitutif yang paling populer untuk mensimulasikan perilaku beton yang terjadi seperti monotonik dan siklik/dinamis. Model ini adalah modifikasi dari hipotesis kekuatan Drucker-Prager dan secara teoritis dijelaskan oleh

Lubliner et al. pada tahun 1989 dan dikembangkan oleh Lee dan Fenves pada tahun 1998 (Al-Zuhairi, Al-Ahmed, Abdulhameed, & Hanoon, 2022).

Model CDP memprediksi respons spesimen beton bertulang secara akurat, sementara model CSC gagal menangkap respons spesimen yang dianalisis terutama karena masalah konvergensi (Panahi, 2022). Parameter CDP ini biasanya diperoleh dari pengujian laboratorium dan digunakan untuk mensimulasikan retakan dan kehancuran beton secara realistis (Lubliner et al., 1989; Lee & Fenves, 1998). Parameter utama yang diperlukan untuk model CDP *ABAQUS* adalah *dilatation angle* (ψ), *eccentricity* (ϵ), rasio kekuatan relatif ($f_{\text{biaxial}}/f_{\text{uniaxial}}; f_{b0}/f_{c0}$), dan parameter kerusakan tekan dan tarik. Kurva tegangan-regangan beton dan faktor kerusakan biasanya digunakan untuk mengkalibrasi parameter ini. (Li Qingfu et al., 2019).

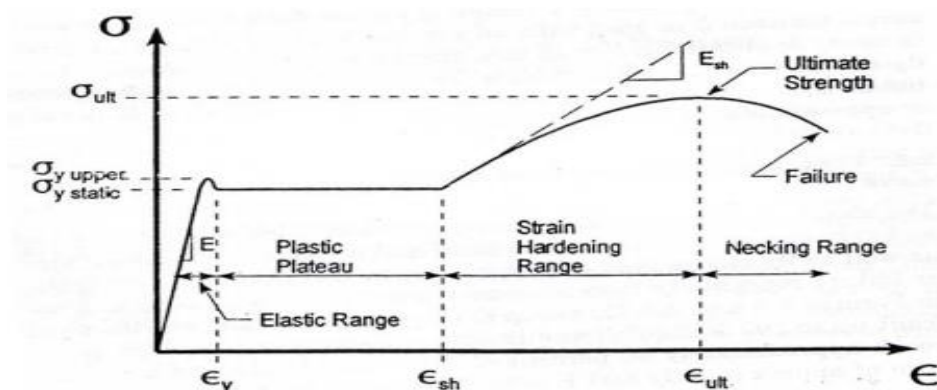
Menurut Lee dan Fenves, Untuk α_p (parameter dilatasi untuk beton) = 0.2 nilai sudut dilatasi ψ adalah 31° . Voyiadjis dan Taqieddin dan Wu et al. juga mengusulkan bahwa nilai parameter dilatasi α_p berkisar antara 0,2 dan 0,3. Untuk rentang α_p ini, sudut dilatasi (ψ) harus berada diantara 31° dan 42° .

5. Baja

Baja adalah logam paduan yang terdiri dari karbon sebagai unsur paduan utama dan besi sebagai unsur dasar. Baja memiliki kandungan karbon antara 0.2% dan 2.1% berat, tergantung pada gradenya. Karbon berfungsi sebagai unsur penguat. Mangan (*manganese*), krom

(*chromium*), vanadium, dan nikel adalah bahan paduan lain yang sering digunakan selain karbon. Berbagai jenis baja berkualitas tinggi dapat diperoleh dengan mengubah kandungan karbon dan unsur paduan lainnya. Jika kandungan karbon ditambahkan pada baja, itu dapat meningkatkan kekerasan (*hardness*) dan kekuatan tarik (*tensile strength*), tetapi membuatnya lebih getas (*brittle*), dan menurunkan keuletannya (*ductility*).

Sebelum merencanakan suatu struktur, perlu dipahami mengenai material properti yang digunakan, material properti berisi informasi kekuatan dan daktilitas dari suatu material, di mana digunakan pada saat pemilihan material. Hubungan antara tegangan dan regangan digunakan dalam melihat tingkat daktilitas suatu material. Semakin panjang kurva yang dihasilkan maka semakin tinggi pula tingkat kedaktilan material tersebut. Hubungan tegangan-regangan untuk material baja secara umum dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Kurva Hubungan Tegangan-Regangan Baja (Bruneau,dkk. 1998)

Dari kurva di atas dapat lihat hubungan tegangan-regangan baja terbagi menjadi 4 zona yaitu zona elastik, zona plastis, zona *strain*

hardening, zona terjadinya *necking* dan diakhiri dengan keruntuhan (*failure*). Keempat zona tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut:

- a. Zona elastis, terlihat tegangan dan regangan bertambah membentuk garis linear. Kemiringan linear pada zona elastik ini disebut dengan *modulus young* (E) atau lebih dikenal sebagai modulus elastisitas. Kondisi material pada zona ini adalah linear elastik artinya pembebanan pada daerah ini menyebabkan material dapat kembali ke bentuk semula. Zona ini berakhir ketika tercapainya keluluhan material (f_y).
- b. Zona plastis, setelah awal keluluhan terjadi maka material akan masuk pada zona berbentuk garis datar (*flat plateau*), pada zona ini hanya ada peningkatan regangan. Kondisi material pada zona ini tidak lagi elastik tetapi sudah plastis artinya material yang berdeformasi tidak dapat kembali ke bentuk awal.
- c. Zona *strain hardening*, zona ini ditandai dengan meningkatnya tegangan dan regangan namun hubungan yang terjadi tidak lagi linear tetapi sudah non linear.
- d. Zona *necking*, zona yang tercapai saat tegangan mencapai keluluhan ultimit (f_u) yang secara perlahan-lahan turun hingga material mencapai titik keruntuhan (*failure*).

Berdasarkan Gambar 3, dapat disimpulkan bahwa material baja memiliki keunggulan dalam memikul beban siklik (beban gempa). Hal ini dapat kita lihat dengan panjangnya zona *strain hardening* dan zona *necking*. Panjangnya zona tersebut menyimpulkan bahwa material baja

mempunyai perilaku yang duktail, sehingga dapat melakukan redistribusi tegangan yang terjadi di saat terjadinya plastifikasi. (Aziz, 2016).

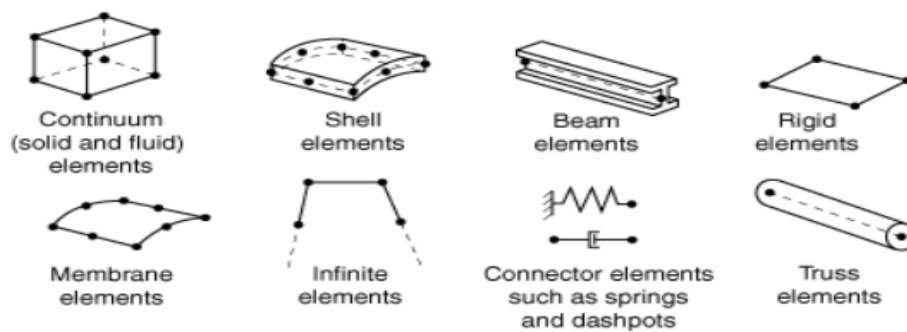
Berdasarkan kurva hubungan tegangan regangan pada Gambar 3, menunjukkan konsep *elastic perfect plastic* atau sering disebut *elastoplastic*, yaitu suatu model perilaku material di mana material tersebut bersifat elastis pada awalnya sesuai dengan hukum Hooke (di mana regangan berbanding lurus dengan tegangan), dan ketika tegangan mencapai titik luluh (*yield stress*), material mulai mengalami deformasi plastis tanpa peningkatan tegangan lebih lanjut. Artinya, setelah mencapai batas luluh, material akan terus mengalami perubahan bentuk secara permanen (plastis) tanpa tambahan gaya yang meningkat.

6. *Finite Element Method* (FEM)

Finite element method atau metode elemen hingga adalah prosedur numerik yang dapat digunakan untuk memecahkan masalah mekanika kontinum dengan tingkat ketelitian yang dapat diterima. Pada dasarnya elemen hingga adalah bagian-bagian kecil dari suatu elemen kompleks. (Pranata, 2024)

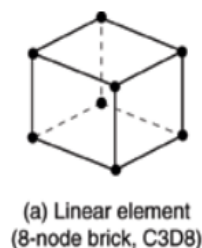
Metode elemen hingga merupakan metode yang paling umum yang digunakan untuk menganalisis suatu struktur. Metode ini digunakan pada masalah-masalah rekayasa yang sulit untuk diselesaikan menggunakan perhitungan eksak. Inti dari FEM adalah membagi suatu benda yang akan dianalisa, menjadi beberapa bagian dengan jumlah hingga (*finite*). Bagian-bagian ini disebut elemen yang tiap elemen satu dengan elemen lainnya

dihubungkan dengan nodal (*node*). Kemudian dibuat persamaan matematika yang menjadi representasi benda tersebut. Proses membagi model geometris yang kompleks (seperti balok atau kolom) menjadi sejumlah potongan-potongan kecil dan sederhana yang disebut elemen disebut *meshing*. (Pranata,2019). Berdasarkan ABAQUS 2016, pemilihan tipe elemen dalam model elemen hingga harus sesuai dengan kondisi geometrik dan idealisasi struktur untuk mendapatkan *output* yang ingin dicapai. Macam-macam tipe elemen dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Macam-macam Tipe Elemen (ABAQUS, 2016)

Permodelan elemen hingga untuk kolom beton dimodelkan secara 3 dimensi menggunakan *solid* 3D berupa elemen C3D8 yaitu elemen 3D dengan bentuk kubus yang memiliki 8 *node* di tiap ujung-ujungnya, dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Contoh Solid Element C3D8 (ABAQUS, 2016)

7. *Embedded Region*

Berdasarkan *ABAQUS* 2016, teknik elemen tertanam (*embedded element*) dipakai untuk menaruh sebuah elemen ke dalam elemen lain yang menjadi “induknya”. Misalnya, cara ini sering dipakai untuk memodelkan tulangan baja didalam beton. *ABAQUS* akan otomatis mencari apakah simpul (*node*) dari elemen tertanam ada didalam elemen induk. Jika elemen tertanam ada didalam elemen induk, maka simpul itu mengikut gerakan dari elemen induknya (tidak bisa bergerak bebas sendiri). Sehingga, gerakan simpul yang tertanam akan mengikuti hasil perhitungan gerakan elemen induk.

Tapi, untuk rotasi/putaran, simpul tertanam masih bisa punya rotasi sendiri karena tidak dibatasi oleh elemen induk. Selain itu, juga dapat membuat lebih dari satu definisi elemen tertanam dalam sebuah model. *Embedded region* atau daerah tertanam adalah teknik pemodelan untuk mensimulasikan material komposit atau struktur di mana satu daerah (daerah tertanam) sepenuhnya terkurung di dalam daerah lain (daerah induk). Contohnya, dalam beton bertulang, elemen tulangan (seperti tulangan baja) dapat dimodelkan sebagai daerah tertanam dalam elemen beton padat.

8. Beban

Dalam desain struktur, beban sangat penting. Oleh karena itu, saat merancang sebuah struktur, penting untuk menentukan beban yang bekerja pada sistemnya. Beban yang bekerja pada suatu struktur dapat berasal dari

gaya gravitasi atau beban lateral (gempa atau angin). (Schueller, 2001). Beban yang digunakan pada penelitian ini adalah beban monotonik dan beban aksial. Beban monotonik adalah pembebanan satu arah yang diterapkan secara bertahap pada struktur, dari beban nol hingga yang menyebabkan struktur mencapai kehancuran. (Ing, dkk. 2019). Beban aksial merupakan gaya yang bekerja sejajar pada sumbu elemen struktur, gaya ini dapat berupa tarik atau tekan. Untuk menentukan beban aksial, diperlukan data seperti beban mati dan beban hidup. Beban mati meliputi beban plat lantai, yang dapat dihitung menggunakan persamaan (1):

$$P_{DL} = \gamma_c \times b \times L_1 \times L_2 \times g \dots \dots \dots (1)$$

Di mana:

- P_{DL} = beban mati (N)
- γ_c = berat jenis beton (kg/m^3)
- b = tebal plat lantai (m)
- L_1, L_2 = dimensi panjang dan lebar plat lantai (m)
- g = gaya gravitasi (m/s^2)

Tabel 4.3-1 - Beban hidup terdistribusi merata minimum, L_o dan beban hidup terpusat minimum

Hunian atau penggunaan	Merata, L_o psf (kN/m^2)	Reduksi beban hidup diizinkan? (No. Pasal)	Reduksi beban hidup berlantai banyak diizinkan? (No. Pasal)	Terpusat lb (kN)	Juga Lihat Pasal
Apartemen (lihat rumah tinggal)					
sistem lantai akses					
Ruang kantor	50 (2,4)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	2.000 (8,9)	
Ruang komputer	100 (4,79)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	2.000 (8,9)	

Gambar 6. Beban Hidup Terdistribusi Merata (SNI 1727:2020)

7.7.2 Berat seismik efektif

Berat seismik efektif struktur, W , harus menyertakan seluruh beban mati dan beban lainnya yang terdaftar di bawah ini:

1. Dalam daerah yang digunakan untuk penyimpanan: minimum sebesar 25 % beban hidup lantai

copy standar ini di

Gambar 7. Reduksi Beban Hidup (SNI 1726:2019)

Berdasarkan SNI 1727:2020 pasal 4.3.1 tentang beban hidup yang diperlukan pada Gambar 6 dan SNI 1726:2019 pasal 7.7.2 tentang reduksi beban hidup pada Gambar 7 dapat dihitung nilai beban hidup melalui persamaan (2):

$$P_{LL} = L_0 \times L_1 \times L_2 \times \emptyset \dots \dots \dots (2)$$

Di mana:

- P_{LL} = beban hidup (N)
- L_0 = beban hidup terdistribusi merata (kN/m²)
- L_1, L_2 = dimensi panjang dan lebar plat lantai (m)
- \emptyset = faktor reduksi beban hidup, 25%

9. *Displacement control*/kontrol perpindahan

Perubahan bentuk pada benda yang dikenai gaya disebut *displacement*. *Displacement* terjadi setelah analisis struktur statis menggunakan metode elemen, seperti *deformation* atau *displacement* (Haryanti dkk, 2021). *Displacement control*/kontrol perpindahan adalah suatu parameter yang digunakan sebagai besarnya perpindahan struktur jika besar beban tidak diketahui. *Displacement control* ini berguna untuk menganalisis struktur dalam kondisi inelastis dan kehilangan kapasitas angkut beban selama analisis (Wibawa, dkk. 2021).

Displacement control juga berguna untuk memantau perkembangan retak serta penurunan kekakuan akibat beban berulang. Pada saat dilakukan pengujian, benda uji dapat terlihat lemah atau rusak bukan karena memang hancur, tetapi karena terjadi penurunan kekakuan yang mengakibatkan juga terjadi penurunan beban. Karena itu, perlu dibuat kriteria kegagalan, misalnya dari seberapa besar kekakuan berkurang atau seberapa panjang retaknya (Nijssen, 2020).