

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Analisis Struktur

Menurut Daniel L. Schodek (2008) struktur adalah suatu sarana yang yang berfungsi untuk menyalurkan beban dan akibat penggunaan bangunan tersebut kedalam tanah. Struktur bangunan berfungsi untuk menopang beban serta memberi kekuatan dan kekakuan yang diperlukan bangunan untuk mencegah keruntuhan. Analisis struktur adalah proses menghitung dan menentukan efek akibat beban yang bekerja pada struktur yang menimbulkan reaksi berupa gaya dalam pada struktur. Reaksi dari struktur dinyatakan dengan gaya yang terjadi di dalam struktur dan perubahan bentuk yang dialami oleh struktur.

Berdasarkan SNI 1726:2019 sistem struktur bangunan terbagi menjadi struktur bawah dan struktur atas. Struktur bawah adalah seluruh bagian struktur gedung yang berada di bawah muka tanah, seperti pondasi yang berfungsi sebagai pemikul beban bangunan di atasnya dan meneruskan beban bangunan tersebut ke tanah. Struktur atas adalah seluruh bagian struktur gedung yang berada di atas tanah.

Analisis struktur merupakan serangkaian proses perhitungan yang digunakan untuk menentukan respon struktur akibat beban luar. Respon struktur dinyatakan dengan gaya-gaya yang terjadi didalam struktur (gaya dalam) dan deformasi yang dialami. Gaya-gaya yang terjadi didalam struktur adalah gaya-gaya yang berkaitan dengan timbulnya regangan dan tegangan seperti gaya tarik, gaya tekan, gaya lentur, gaya geser, gaya torsi, dan gaya tumpu. Selain itu terdapat faktor reduksi kekuatan atau tahanan yang telah ditetapkan berdasarkan sifat gaya (Halim Sudirman, 2018)

Berdasarkan SNI 2847:2019, dijelaskan bahwa aturan analisis memiliki tujuan untuk memperkirakan gaya dalam dan deformasi dari sistem struktur serta untuk memastikan terpenuhinya persyaratan kekuatan, kemampuan layan dan stabilitas. Prosedur analisis harus sesuai dengan prinsip-prinsip dasar keseimbangan gaya dan kompatibilitas deformasi. Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 9.5 mengenai kekuatan rencana, menjelaskan bahwa bangunan dan komponen struktur harus memiliki kekuatan rencana disepanjang komponen atau kekuatan desain harus lebih besar atau sama dengan kekuatan perlu yang didapatkan dari beban terfaktor dan gaya dalam kombinasi pembebanan ($\phi S_n \geq U$), yang meliputi:

1. $\phi M_n \geq M_u$
2. $\phi V_n \geq V_u$

$$3. \phi T_n \geq T_u$$

$$4. \phi P_n \geq P_u$$

Keterangan:

M_n : Momen nominal

M_u : Momen ultimate

V_n : Geser nominal

V_u : Geser ultimate

T_n : Torsi nominal

T_u : Torsi ultimate

P_n : Aksial nominal

P_u : Aksial ultimate

2.2 Pembebanan

Secara umum beban pada struktur bangunan dapat dibagi menjadi 2 menurut arah kerjanya (PPIUG 1983) yang direncanakan sesuai pedoman perencanaan untuk rumah dan gedung adalah sebagai berikut:

2.2.1 Beban vertikal

Beban vertikal atau disebut beban gravitasi merupakan beban pada struktur bangunan yang berasal dari beban mati dan beban hidup. Pada perencanaan konstruksi bangunan gedung yang diperhatikan adalah sesuai dengan PPIUG 1983 adalah:

1. Beban mati (*dead load*)

Berdasarkan SNI 1727:2020, beban mati adalah total berat dari bahan bangunan baik komponen struktural maupun komponen arsitektural seperti partisi tetap, penutup lantai, plafond, penutup atap, dan lainnya. Berdasarkan PPIUG 1983, beban mati diartikan sebagai berat dari semua bagian dari suatu gedung yang bersifat tetap, termasuk segala unsur tambahan, penyelesaian-penyelesaian, mesin-mesin serta peralatan tetap yang merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung itu. Beban mati yang diperhitungkan dalam struktur merupakan berat sendiri elemen struktur yang memiliki fungsi struktural menahan beban. Adapun berat sendiri bahan bangunan dan berat sendiri komponen gedung dapat dirincikan pada antara lain **Tabel 2.1** dan **Tabel 2.2** sebagai berikut:

Tabel 2.1 Berat Sendiri Bahan Bangunan

No.	Bahan Bangunan	Berat (kg/m ³)
1.	Baja	7850
2.	Batu alam	2600
3.	Batu belah, batu bulat, batu gunung (berat tumpuk)	1500
4.	Batu karang (berat tumpuk)	700
5.	Batu pecah	1450
6.	Besi tuang	7250
7.	Beton	2200
8.	Beton bertulang	2400

Tabel 2.1 Berat Sendiri Bahan Bangunan (Lanjutan)

9.	Kayu kelas I	1000
10.	Kerikil, koral (kering udara sampai lembap, tanpa diayak)	1650
11.	Pasangan bata merah	1700
12.	Pasangan batu belah, batu bulat, batu gunung	2200
13.	Pasangan batu cetak	2200
14.	Pasangan batu karang	1450
15.	Pasir (kering udara sampai lembap)	1600
16.	Pasir (jenuh air)	1800
17.	Pasir kerikil, koral (kering udara sampai lembap)	1850
18.	Tanah, lempung dan lanau (basah)	1700
19.	Tanah, lempung dan lanau (basah)	2000
20.	Tanah hitam	1400

(Sumber: PPIUG, 1983)

Tabel 2.2 Berat Sendiri Komponen Gedung

No.	Material	Berat (kg/m ²)
	Adukan, per cm tebal	
1.	a. Dari semen	21
	b. Dari kapur	17
2.	Aspal, per cm tebal	14
	Dinding pasangan batako berlubang:	
	a. Tebal dinding 20 cm (HB 20)	200
3.	b. Tebal dinding 10 cm (HB 10)	120
	Tanpa lubang:	
	a. Tebal dinding 15 cm	300
	b. Tebal dinding 10 cm	200
	Dinding pasangan bata merah:	
4.	a. Satu bata	450
	b. Setengah bata	250
	Langit-langit dan dinding, terdiri:	
5.	a. Semen abses (eternity dan bahan lain sejenis), dengan tebal maksimum 4 mm	11
	b. Kaca, dengan tebal 3-5 mm	12
6.	Lantai kayu sederhana dengan balok kayu, tanpa langit-langit dengan bentang maksimum 5 m dan untuk beban hidup maksimum 200 kg/m ²	40
7.	Penggantung langit-langit (dari kayu), dengan bentang maksimum 5 m dan jarak s.k.s minimum 0,80 m	7
8.	Penutup atap genteng dengan reng dan usuk/kaso, per m ² bidang atap	50
9.	Penutup atap sirap dengan reng dan usuk/kaso, per m ² bidang atap	40
10.	Penutup atap seng gelombang (BWG 24) tanpa gordeng	10
11.	Penutup lantai dari ubin semen Portland, teraso dan beton, tanpa adukan per cm tebal	24
12..	Semen asbes gelombang (tebal 5 mm)	11

(Sumber: PPIUG, 1983)

2. Beban hidup (*live load*)

Berdasarkan PPIUG 1983 beban hidup merupakan semua beban yang terjadi akibat penggunaan suatu gedung dan juga termasuk beban-beban pada lantai yang berasal dari barang-barang yang dapat berpindah, misalnya mesin-mesin serta peralatan.

Berdasarkan SNI 1727:2020 tentang Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain, beban hidup dibagi menjadi 2, yaitu sebagai berikut:

a. Beban Hidup

Merupakan beban yang diakibatkan oleh pengguna atau penghuni suatu bangunan gedung atau struktur lain yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan.

b. Beban hidup atap

Merupakan beban yang diakibatkan oleh pekerja, peralatan dan material selama masa layan struktur akibat benda bergerak serta hunian pada atap seperti area berkumpul.

Tabel 2.3 Nilai Koefisien Reduksi untuk Beban Hidup

Penggunaan Gedung	Koefisien reduksi beban hidup	
	Untuk Perencanaan Balok Induk dan Portal	Untuk Peninjauan Gempa
Perumahan/penghunian: rumah tinggal, asrama, hotel, rumah sakit	0,75	0,30
Pendidikan: sekolah, ruang kuliah	0,90	0,50
Pertemuan umum:		
Masjid, gereja, bioskop, restoran, ruang dansa, ruang pagelaran	0,90	0,50
Kantor:		
Kantor, bank	0,60	0,30
Perdagangan:		
Gudang, perpustakaan, ruang arsip	0,80	0,80
Industri:		
Pabrik, bengkel	1,00	0,90
Tempat kendaraan:		
Garasi, gedung parker	0,90	0,50
Gang dan tangga:		
Perumahan/penghunian		
Pendidikan, kantor	0,75	0,30
Pertemuan umum, perdagangan,	0,75	0,50
penyimpanan, industri, tempat kendaraan	0,90	0,50

(Sumber: PPIUG, 1983)

2.2.2 Beban horizontal

Pada perencanaan konstruksi bangunan gedung yang diperhatikan adalah sesuai dengan PPIUG 1983 adalah :

1. Beban gempa

Beban gempa adalah beban yang bekerja pada suatu struktur akibat dari pergerakan tanah yang disebabkan karena adanya gempa bumi (baik gempa bumi tektonik ataupun gempa bumi vulkanik) dan mempengaruhi struktur tersebut. Dalam perhitungan beban gempa, diperlukan penentuan kategori

resiko bangunan, faktor keutamaan gempa, klasifikasi situs, kategori desain seismik dan sistem struktur yang digunakan.

2. Beban angin (*wind load*)

Beban angin ialah semua beban yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang disebabkan oleh selisih dalam tekanan udara. Beban angin ditentukan dengan menganggap adanya tekanan positif dan tekanan negatif (isapan), yang bekerja tegak lurus pada bidang-bidang yang ditinjau.

3. Beban khusus

Beban khusus adalah keseluruhan beban yang bekerja pada struktur bangunan dikarenakan perbedaan suhu, penurunan pondasi, gaya tambahan dari beban hidup, dan pengaruh khusus lainnya terhadap struktur.

2.2.3 Kombinasi pembebanan

Kombinasi pembebanan merupakan gabungan beberapa beban terfaktor yang berpeluang besar terjadi dalam satu waktu secara bersamaan. Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 4.2.2.1 dan Pasal 4.2.2.3, yang merincikan kombinasi pembebanan dasar serta kombinasi pembebanan dengan adanya pengaruh beban gempa yaitu sebagai berikut:

$$1. \quad 1,4D \quad (2.1)$$

$$2. \quad 1,2D + 1,6L + 0,5(Lr \text{ atau } S \text{ atau } R) \quad (2.2)$$

$$3. \quad 1,2D + 1,6(Lr \text{ atau } S \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5W) \quad (2.3)$$

$$4. \quad 1,2D + 1,0W + L + 0,5(Lr \text{ atau } S \text{ atau } R) \quad (2.4)$$

$$5. \quad 0,9D + 1,0W \quad (2.5)$$

$$6. \quad 1,4D + E_v + E_h + L \quad (2.6)$$

$$7. \quad 0,9D - E_v + E_h \quad (2.7)$$

Nilai dan dijelaskan pada Pasal 7.4.2.1 dan 7.4.2.2, yaitu sebagai berikut:

$$E_h = \rho (Q_{E-x} + Q_{E-y}) \quad (2.8)$$

$$E_v = 0,2S_{DS}D \quad (2.9)$$

Keterangan:

D = Beban mati

L = Beban hidup

Lr = Beban hidup atap

S = Beban salju

R = Beban hujan

W = Beban angin

E_h = Beban mati

E_v = Beban mati

ρ = Beban mati

Q_{E-x} = Beban mati

Q_{E-y} = Beban mati

2.3 Kolom

Berdasarkan SK SNI T-15-1991-03, kolom merupakan suatu komponen struktur bangunan yang tugas utamanya menahan beban yang bekerja yaitu beban aksial tekan vertikal. Oleh karena itu, kolom harus dirancang mampu menahan beban terfaktor pada semua lantai atau atap dan momen maksimum dari beban terfaktor pada suatu bentang lantai atap bersebelahan yang ditinjau (Badan Standarisasi Nasional, 2019). Gedung Kantor Imigrasi Kuala Tungkal menggunakan jenis kolom dengan pengikat sengkang lateral dengan bentuk kolom yang terpasang dilapangan berbentuk persegi.

2.3.1 Analisis kolom

Pada buku Struktur Beton Bertulang oleh Dipohusodo (1993) di jelaskan mengenai analisis dan perencanaan masih terbatas kolom pendek, yang mana tidak termasuk dalam mempertimbangkan kemungkinan terjadinya tekuk (*buckling*) pada kolom. Dalam peraturan tidak memberikan penjelasan mengenai batas panjang maksimum kolom pendek, tetapi menetapkan digunakannya suatu proses evaluasi kelangsingan kolom pada batas nilai rasio kelangsingan tertentu. Pada dasarnya SK SNI T-15-1991-03 menggolongkan komponen struktur tekan menjadi dua, yaitu struktur kolom pendek dan kolom langsing.

Berdasarkan SK SNI T-15-1991-03 pada pasal 3.3.11 Ayat 4(1) tentang pengaruh kelangsingan pada komponen struktur tekan boleh diabaikan pada rangka tak bergoyang apabila memenuhi syarat sebagai berikut:

$$\frac{kl_u}{r} \leq 34 - \left(\frac{12M_1}{M_2} \right) \quad (2.7)$$

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{f_y}} \quad (2.8)$$

Keterangan:

k = Rasio kelangsingan

l_u = Panjang batang

r = Jari-jari inersia penampang kolom ($\sqrt{\frac{I}{A}}$)

I = Momen inersia

A = Luas penampang kolom

C_c = Batas tekuk elastis

E = Modulus elastisitas

2.3.2 Kekuatan kolom akibat beban aksial dan lentur

Beban aksial adalah beban yang arah kerjanya searah atau berlawanan arah dengan panjang dari suatu elemen. Pada kolom, arah beban searah gaya gravitasi merupakan beban aksial tekan sedangkan ketika berlawanan arah gravitasi merupakan beban aksial tarik. Beban aksial ini dapat membebani kolom tepat dipusat berat plastisnya (kondisi sentris) maupun tidak (kondisi eksentris).

Kekuatan nominal dari suatu kolom dengan aksial tekan sentris dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$P_o = 0,85 f_c' (A_g - A_{st}) + f_y' A_{st} \quad (2.10)$$

Dalam praktiknya, keadaan beban aksial sentris dari suatu kolom sangat jarang terjadi bahkan dianggap tidak ada (Asroni, 2010). Oleh karena itu SNI 2847:2019 membatasi kekuatan kolom dengan beban sentris ini sebesar 80% untuk kolom dengan sengkang pengikat dan 85% untuk sengkang spiral, sehingga kekuatan nominal maksimal untuk beban aksial tekan sentris menjadi:

$$P_{nmax} = 0,80 P_o = 0,80 [0,85 f_c' (A_g - A_{st}) + f_y' A_{st}] \quad (2.11)$$

(untuk tulangan sengkang pengikat)

$$P_{nmax} = 0,85 P_o = 0,85 [0,85 f_c' (A_g - A_{st}) + f_y' A_{st}] \quad (2.12)$$

(untuk tulangan sengkang spiral)

Selain menerima beban aksial tekan, kolom juga dapat menerima beban aksial tarik yang kekuatan nominalnya adalah:

$$P_{nt} = f_y' A_{st} \quad (2.13)$$

$$A_{st} = A_s + A'_s \quad (2.14)$$

Keterangan:

P_o = Kekuatan aksial tekan dalam kondisi sentris

P_{nmax} = Kekuatan aksial tekan maksimal nominal

A_g = Luas penampang kolom

A_{st} = Luas total tulangan longitudinal

f_c' = Mutu kuat tekan beton

f_y' = Mutu Tulangan

Menurut Sianipar (2009), kolom yang mengalami lentur akibat momen cenderung menimbulkan tekanan pada satu sisi kolom dan tarikan pada sisi lainnya karena gaya yang ditimbulkan oleh beban aksial dan momen relatif besar. Beban yang dipikul oleh momen akan berhubungan dengan diagram Pn-Mn. Kekuatan kolom yang menerima beban aksial dan lentur secara bersamaan ditimbulkan akibat ketidaktepatan beban pada pusat berat plastis. Besarnya momen ini tergantung dari jarak beban ke titik berat plastis yang disebut eksentrisitas (e).

2.3.3 Keruntuhan kolom

Bayzoni (2016) menjabarkan keruntuhan pada kolom terjadi karena besarnya regangan pada baja tulangan yang tertarik pada penampang kolom, keruntuhan awal tersebut digolongkan menjadi 3 yaitu:

1. Keruntuhan tarik: pada kondisi ini nilai regangan beton semakin kecil $\epsilon_{cu} < 0,003$ dan nilai $c < c_b$ sehingga gaya aksial nominal lebih kecil dari gaya aksial kondisi seimbang ($P_n < P_{nb}$).

2. Keruntuhan tekan: pada waktu runtuhnya kolom, beton akan mencapai kekuatan batasnya terlebih dahulu $\varepsilon_{cu} = 0,003$, tulangan tekan (A_s') telah mencapai leleh ($f_s = f_y'$) sedangkan baja tulangan tarik belum leleh ($\varepsilon_s < \varepsilon_y$ atau $f_s < f_y'$).
3. Keruntuhan seimbang: pada kondisi ini regangan yang terjadi pada tulangan telah leleh ($\varepsilon_s = \varepsilon_y$) dan material beton juga mengalami kehancuran ($\varepsilon_{cu} = 0,003$) secara bersama-sama.

Pada umumnya, nilai regangan maksimum tekan yang terjadi pada komponen beton dengan proporsi material dan kekuatan normal berkisar antara 0,003 hingga 0,004 saat mencapai kekuatan nominalnya. Regangan tekan maksimum untuk serat tekan terjauh pada beton diasumsikan sama dengan 0,003 dan kekuatan tarik dapat diabaikan. Baja tulangan akan mengalami keruntuhan ketika regangannya sebesar ε_{ty} . Untuk tulangan ulir dengan m_t baja tulangan (f_y') 420 MPa ε_{ty} diizinkan diambil sebesar 0,002 (SNI 2847:2019). Nilai ε_{ty} dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\varepsilon_{ty} = \frac{f_y'}{E_s} \quad (2.15)$$

Dimana nilai elastisitas baja tulangan (E_s) = 200.000 MPa.

2.4 Balok

Balok merupakan batang horizontal dari rangka struktural yang memikul beban tegak lurus sepanjang batang tersebut (biasanya berasal dari dinding, pelat atau atap bangunan) dan menyalurkannya pada tumpuan atau struktur dibawahnya. Balok berfungsi menahan kondisi pembebanan yang rumit seperti tekuk atau lentur. Berdasarkan perencanaan lentur terdapat 3 macam bentuk balok beton bertulang (Dipohusodo, 1993), diantaranya dapat dirincikan sebagai berikut :

1. Balok persegi dengan tulangan tunggal
Balok persegi dengan tulangan tunggal merupakan balok yang hanya mempunyai tulangan tarik saja dan dapat mengalami keruntuhan akibat lentur.
2. Balok persegi dengan tulangan rangkap
Balok tulangan rangkap adalah balok yang memiliki tulangan tarik dan tulangan tekan. Tulangan rangkap digunakan untuk mengurangi lendutan jangka panjang.
3. Balok T
Balok T merupakan balok yang berbentuk huruf T, sebagian dari pelat akan bekerja sama dengan bagian atas balok untuk memikul tekan.

Berdasarkan tumpuannya terdapat 3 macam bentuk balok beton bertulang (Dipohusodo, 1993), diantaranya dapat dirincikan sebagai berikut :

1. Balok induk

Balok induk adalah semua balok yang melintang tanpa topang pada seluruh lebar bangunan dan pada kedua ujungnya bertumpu pada kolom. Balok induk dibuat untuk menghubungkan antar dua kolom dan menyalurkan beban langsung ke kolom.

2. Balok anak

Balok anak adalah balok yang bertumpu pada balok induk dan tidak pernah bertumpu langsung pada kolom. Balok anak ini berguna untuk memperkecil tebal pelat dan mengurangi besarnya lendutan yang terjadi.

3. Balok bagi

Balok bagi adalah balok yang menghubungkan balok anak dengan balok anak lainnya atau balok anak dengan balok induk.

Menurut Imran dan Zulkifli (2014), kekuatan pada struktur penahan lentur (balok) harus memenuhi persyaratan berikut:

$$\phi M_n \geq M_u \quad (2.27)$$

Nilai ϕ merupakan nilai faktor reduksi kekuatan yang berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 3.2 ayat 3.2.3 adalah sebagai berikut:

1. Lentur tanpa beban axial, $\phi = 0,80$.
2. Beban axial, dan beban axial dengan lentur:
 - a. Axial tarik, dan axial tarik dengan lentur, $\phi = 0,80$.
 - b. Axial tekan, dan axial tekan dengan lentur:
 - 1) Komponen struktur dengan tulangan spiral maupun sengkang ikat, $\phi = 0,70$.
 - 2) Komponen struktur dengan tulangan sengkang biasa, $\phi = 0,65$.
3. Geser dan torsi, $\phi = 0,60$.
4. Tumpuan pada beton, $\phi = 0,70$.

2.4.1 Analisis kapasitas lentur balok

1. Tinggi balok minimum

Tabel 2.5 Tinggi Minimum Balok Nonprategang

Kondisi perletakan	Minimum h
Perletakan sederhana	$l/16$
Menerus satu sisi	$l/18,5$
Menerus dua sisi	$l/21$
Kantilever	$l/8$

Sumber: SNI 2847:2019

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 9.3.1.1.1, untuk balok yang menggunakan mutu tulangan $f_y = 420$ MPa, maka persamaan yang terdapat pada **tabel 2.9** harus dikalikan dengan $(0,4 + f_y/700)$.

2. Batas Lendutan

Balok perlu direncanakan untuk memiliki lendutan izin maksimum yang bisa terjadi saat memikul beban layan. Batas lendutan ini diatur dalam SNI 2847:2019 Pasal 24, dengan perhitungan lendutan izin maksimum sesuai **tabel 2.6** berikut.

Tabel 2.6 Perhitungan Lendutan Izin

Jenis komponen struktur	Kondisi	Lendutan yang diperhitungkan	Batas lendutan
Atap datar	Tidak memikul atau tidak disatukan dengan elemen nonstruktural yang mungkin akan rusak akibat lendutan yang besar	Lendutan seketika akibat L_r dan R maksimum	$l/180$
Lantai		Lendutan seketika akibat L	$l/360$
Atap atau lantai	Mungkin akan rusak akibat lendutan yang besar	Bagian dari lendutan total yang terjadi setelah pemasangan elemen nonstruktural, yaitu jumlah dari lendutan jangka panjang akibat semua beban tetap dan lendutan seketika akibat penambahan beban hidup	$l/480$
	Memikul atau disatukan dengan elemen nonstruktural	Tidak akan rusak akibat lendutan yang besar	$l/240$

Sumber: SNI 2847:2019

3. Batasan regangan pada tulangan tarik balok

Untuk balok nonprategang dengan nilai $P_u < 0,10f'_cA_g$, maka batas regangan yang terjadi pada tulangan tarik adalah sekurang-kurangnya 0,004 ($\epsilon_t \geq 0,004$).

4. Kekuatan perlu (M_u)

Momen terfaktor (M_u) dan geser terfaktor (V_u) yang digunakan diperkenankan dihitung pada muka tumpuan.

2.4.2 Analisis kuat geser balok

Berikut merupakan hal-hal yang perlu diperhitungkan dalam menganalisis kuat geser balok.

1. Perhitungan luas tulangan actual A_v

$$A = \frac{1}{4}\pi D^2 \quad (2.28)$$

$$A_v = n \times A \quad (2.29)$$

2. Perhitungan kuat geser dari tulangan geser V_s

$$V_s = \frac{A_v \times f_{yt} \times d}{s} \quad (2.30)$$

3. Perhitungan kuat geser dari tulangan V_c

$$V_c = 0,17 \times \lambda \times \sqrt{f'_c} \times b_w \times d \quad (2.31)$$

4. Perhitungan kuat nominal V_n

$$V_n = V_s + V_c \quad (2.32)$$

5. Cek kapasitas geser

$$\Phi V_n > V_u \quad (2.33)$$

2.5 Pelat Lantai

Menurut Lesmana (2020), struktur pelat lantai merupakan bagian struktur gedung yang secara langsung berhubungan dengan beban yang bekerja pada gedung. Pelat lantai merupakan elemen struktur yang difungsikan untuk mendistribusikan beban mati dan beban hidup ke struktur utama lainnya, seperti balok dan kolom. Secara umum, pelat lantai dibedakan menjadi dua tipe yaitu pelat satu arah (*one way*) dan pelat dua arah (*two way*).

2.5.1 Pelat Satu Arah (*One Way*)

Berdasarkan SNI-2847-2019, ketebalan minimum pelat satu arah diatur seperti pada **Tabel 2.7**, **Tabel 2.8** dan **Tabel 2.9** berikut.

Tabel 2.7 Ketebalan Minimum Pelat

Kondisi tumpuan	<i>h</i> minimum
Tumpuan sederhana	$l/20$
Satu ujung menerus	$l/24$
Kedua ujung menerus	$l/28$
Kantilever	$l/10$

Sumber: SNI 2847:2019

Nilai ketebalan minimum pelat dan tinggi minimum balok pada **Tabel 2.7**, **Table 2.8** dan **Tabel 2.9** berlaku untuk beton yang memiliki mutu normal dan tulangan mutu $f_y = 420$ MPa, untuk kasus lain nilai ketebalan minimum pelat dan tinggi minimum balok harus dimodifikasi sesuai dengan aturan pada SNI 2847:2019. Konsep dasar pelat satu arah adalah pada saat pelat memikul beban gravitasi, terjadi lendutan pada satu arah yaitu pada arah memendek (b_p). Pelat satu arah dianalogikan sebagai pelat menerus yang ditumpu oleh beberapa perletakan yang perilakunya bisa diasumsikan sama dengan perilaku struktur balok, sehingga SNI 2847:2019 mengizinkan dilakukan analisis momen terfaktor (M_u) dan geser terfaktor (V_u).

Dalam melakukan analisis momen terfaktor (M_u) dan geser terfaktor (V_u) akibat beban gravitasi untuk pelat satu arah dan balok menerus, harus memenuhi syarat sesuai SNI 2847:2019 Pasal 6.5, yaitu sebagai berikut:

1. Komponen struktur merupakan prismatis.
2. Beban terdistribusi merata.
3. Beban hidup tak terfaktor tidak melebihi tiga kali beban mati terfaktor ($L \leq 3D$).
4. Terdapat dua bentang atau lebih.
5. Panjang bentang terbesar terhadap panjang bentang terpendek dari dua bentang yang bersebelahan tidak lebih dari 20% ($l_p / b_p \leq 20\%$).

Momen pendekatan yang digunakan untuk menganalisis balok menerus dan pelat satu arah nonprategang dijelaskan pada **tabel 2.9** berikut.

Tabel 2.9. Momen pendekatan untuk analisis balok menerus dan pelat satu arah nonprategang

Momen	Lokasi	Kondisi	M_u
Positif	Bentang ujung	Ujung tak menerus dan monolit dengan perletakan	$w_u l_n^2/14$
		Ujung tak menerus dan tidak terkekang	$w_u l_n^2/11$
	Bentang tengah	Semua	$w_u l_n^2/16$
Negatif	Muka interior dari pendukung eksterior	Balok menyatu secara monolit dengan balok spandrel pendukung	$w_u l_n^2/24$
		Balok monolit dengan kolom pendukung	$w_u l_n^2/16$
	Muka eksterior dari pendukung interior pertama	Dua bentang	$w_u l_n^2/9$
		Lebih dari dua bentang	$w_u l_n^2/10$
	Muka dari pendukung lainnya	Semua	$w_u l_n^2/11$
	Muka semua pendukung memenuhi (a) dan (b)	(a) Pelat dengan bentang tidak lebih dari 3 m (b) Balok dengan rasio jumlah kekakuan kolom terhadap kekakuan balok melebihi 8 pada setiap ujung bentangnya.	$w_u l_n^2/12$

Sumber: SNI 2847:2019

Geser pendekatan yang digunakan untuk menganalisis balok menerus dan pelat satu arah nonprategang dijelaskan pada **tabel 2.10** berikut.

Tabel 2.10 Geser pendekatan untuk analisis balok menerus dan pelat satu arah nonprategang

Lokasi	V_u
Muka eksterior dari pendukung muka interior pertama	$1,15w_u l_n/2$
Muka dari pendukung lainnya	$w_u l_n/2$

Sumber: SNI 2847:2019

2.5.2 Pelat Dua Arah

Berdasarkan SNI 2847:2019, ketebalan minimum pelat dua arah diatur seperti pada **tabel 2.11** dan **tabel 2.12** berikut.

Tabel 2.11 Ketebalan Minimum Pelat Dua Arah Nonprategang Tanpa Balok Interior

fy, MPa	Tanpa drop panel		Dengan drop panel	
	Panel eksterior		Panel interior	
	Tanpa balok tepi	Dengan balok tepi	Tanpa balok tepi	Dengan balok tepi
280	$l_n/33$	$l_n/36$	$l_n/36$	$l_n/40$
420	$l_n/30$	$l_n/33$	$l_n/33$	$l_n/36$
520	$l_n/28$	$l_n/31$	$l_n/31$	$l_n/34$

Sumber: SNI 2847:2019

Tabel 2.12 Ketebalan Minimum Pelat Dua Arah dengan Balok Perangkai

Stiffness	α_{fm}	h_{min}
<i>Shallow Beam</i>	$\alpha_{fm} \leq 0,2$	Mengikuti ketentuan SNI 2847:2019; Pasal 8.3.1.1; Hal-133, yaitu pelat tanpa balok perangkai
<i>Medium Stiff Beam</i>	$0,2 \leq \alpha_{fm} \leq 2,0$	Terbesar dari: $\frac{L_n(0,8 + \frac{f_y}{1400})}{36 + 5\beta(\alpha_{fm} - 0,2)}$ 125 mm
<i>Very Stiff Beam</i>	$\alpha_{fm} \geq 2,0$	Terbesar dari: $\frac{L_n(0,8 + \frac{f_y}{1400})}{36 + 9\beta}$ 90 mm

Sumber: SNI 2847:2019

2.5.3 Analisis kekuatan pelat lantai

Berdasarkan SNI 2847:2019 dalam menganalisis kekuatan pelat yang harus ditinjau adalah analisis kekuatan lentur yang terjadi. Analisis kekuatan lentur yang terjadi pada pelat dapat diuraikan sebagai berikut.

Analisis kekuatan pelat dibawah ini dianggap hanya menahan kekuatan lentur saja, sama halnya pada balok dengan perletakan sendi-rol yang didominasi oleh lenturan dan geser, akan tetapi karena struktur pelat yang cenderung lebar maka dianggap beton pada pelat mampu menahan gaya geser tanpa ada bantuan dari tulangan geser.

Menurut Wang dan Salmon (1994), momen yang didapat pada tahap awal menghasilkan nilai momen perlu (M_u), sehingga:

$$M_n = M_u \phi \quad (2.34)$$

Menurut SNI 2847:2019 tentang “Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung”, rasio tulangan yang diperlukan adalah:

$$\rho_{min} \leq \rho \leq \rho_{maks} \quad (2.35)$$

1. Luas (A_s)

$$A_s = \rho . b . d \quad (2.36)$$

2. Jarak tulangan (s)

$$S = - b (14 \pi \phi_{tul}^2) \quad (2.37)$$

3. Kontrol kapasitas dan tulangan yang digunakan

$$C_c = T_s \quad (2.38)$$

$$C_c = 0,85 . f_c' . a . b \quad (2.39)$$

$$T_s = A_s . f_s \quad (2.40)$$

4. Kuat lentur nominal pelat

Apabila diasumsikan tulangan tarik telah leleh, maka:

$$f_s = f_y \quad (2.41)$$

sehingga pemeriksaan kuat lentur nominal pelat adalah :

$$M_n = T_s d - a^2 \quad (2.42)$$

2.5.4 Pemeriksaan Lendutan Pelat

Pemeriksaan lendutan pada pelat mengacu pada “Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung SNI 2847:2019” yaitu :

$$\delta_{yang\ terjadi} < \delta_{ijin} \quad (2.43)$$

SNI 2847:2019 menjelaskan bahwa batas lendutan izin maksimum pada komponen struktur “lantai tidak menahan atau berhubungan dengan komponen nonstruktural yang mungkin rusak akibat lendutan yang besar” dengan lendutan yang diperhitungkan akibat beban hidup adalah sebesar 1 – 360.

2.6 Software ETABS

ETABS (Extended Three Dimensional Analysis of Building Systems) merupakan salah satu program yang dipergunakan untuk melakukan analisis dan desain pada struktur bangunan dengan cepat dan tepat. Dalam analisis struktur menggunakan *software ETABS* terdapat 3 tahap yaitu tahap *input* data, tahap analisis dan tahap *output*. 3 tahapan analisis menggunakan *software ETABS* dapat dirincikan sebagai berikut:

1. Tahap *input*

Pada tahap *input*, memasukkan semua data yang digunakan untuk menganalisis kekuatan struktur kolom, balok dan pelat lantai. Tahapan yang dilakukan dalam *input* data adalah sebagai berikut:

- a. Menyesuaikan satuan yang digunakan.
- b. Pemodelan 3D sesuai dengan denah dari *Asbuilt Drawing* dan kondisi dilapangan pada Gedung Balai Latihan Kerja, dalam pemodelan 3D ini juga menyesuaikan dengan dimensi kolom, balok dan pelat lantai sehingga membentuk struktur yang utuh dengan mutu beton dan mutu baja.
- c. *Input* beban-beban yang bekerja dan kombinasi beban yang digunakan. Beban-beban yang bekerja yaitu beban mati dan beban hidup, dan kombinasi pembebanan ini sesuai dengan SNI 1727:2020.

2. Tahap analisis

Pada tahap analisis memproses dari data-data yang telah di *input* ke *software ETABS* untuk dilakukan analisis. Tahap analisis akan menghasilkan gaya-gaya dalam yang terjadi dan kekuatan masing-masing struktur dari kombinasi yang digunakan. Tahap analisis dilakukan dengan cara:

- a. Klik menu *analyze* pada *software ETABS*.
- b. Selanjutnya klik *run analyze* dan tunggu sampai *software ETABS* selesai menganalisis struktur

- c. Selanjutnya klik *design* pada ikon software ETABS, lalu pilih *concrete frame design*, pilih *start design/check of structure* dan tunggu software ETABS menganalisis kembali beban-beban yang bekerja pada struktur
 - d. Setelah selesai menganalisis maka didapatkan nilai beban ultimate (Pu) dan momen ultimate (Mu). Nilai beban ultimate (Pu) dan momen ultimate (Mu) didapat dari hasil analisis kombinasi beban yang bekerja.
3. Tahap *output*
- Pada tahap *output* memperoleh hasil dari analisis yang dilakukan pada struktur balok. Tahap *output* ini menghasilkan :
- a. Dilihat dari hasil analisis yang telah dilakukan, jika penampang balok mampu menahan beban-beban yang bekerja maka pada elemen struktur berwarna hijau. Akan tetapi struktur yang berwarna merah juga dikatakan mampu menahan beban-beban yang bekerja jika muncul nilai gaya dalam pada struktur.
 - b. Sebaliknya, jika penampang balok tidak mampu menahan beban-beban yang bekerja didapatkan *output* berupa kondisi elemen struktur yang mengalami kegagalan atau *over strength* (O/S) yang ditandai dengan warna merah pada elemen strukturnya dan nilai-nilai gaya dalam yang terjadi tidak muncul.

2.7 Studi Penelitian Terdahulu

Dalam penelitian Analisis Kekuatan Balai Latihan Kerja ini penulis melakukan peninjauan terhadap penelitian-penelitian sebelumnya yang membahas perhitungan kekuatan struktur gedung. Yang mana penelitian-penelitian terdahulu menjadi sumber referensi dalam melakukan perhitungan struktur, pembebanan, rumus-rumus dan penggunaan software ETABS. Beberapa penelitian yang ditinjau dapat dilihat pada **Tabel 2.16** berikut.

Tabel 2.13 Penelitian Terdahulu

No.	Deskripsi Penelitian	Hasil Penelitian
1.	Analisis Struktur Balok dan Pelat Lantai Akibat Alih Fungsi Bangunan (Studi Kasus : Gedung Rektorat Universitas Jambi)	Pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan struktur balok dan pelat lantai akibat alih fungsi bangunan. Hasil dari penelitian ini yaitu, hasil analisis ETABS dan perhitungan manual memperoleh nilai momen nominal (Mn), momen <i>ultimate</i> (Mu) dan besarnya lendutan yang terjadi pada pelat lantai yang digunakan untuk cek kekuatan penampang balok dan pelat lantai. Dan hanya terdapat beberapa elemen yang tidak dapat menahan beban dan tidak memenuhi syarat pada saat cek lendutan.
	Penulis : Nurhaliza, M. Nuklirullah, Fetty Febriasti Bahar (2021)	
	Jurnal Teknik Sipil	
	Volume 10 No 2	

Tabel 2.16 Penelitian Terdahulu (Lanjutan)

2.	Evaluasi Kinerja dan Perkuatan Struktur Gedung Guna Alih Fungsi Bangunan (Studi Kasus : Perubahan Fungsi Ruang Kelas Menjadi Ruang Perpustakaan Pada Lantai II Gedung G Universitas Semarang)	Hasil penelitian menunjukkan f_c' eksisting sebesar 17 MPa dan f_y sebesar 390 MPa dari evaluasi kinerja struktur, maka dapat diketahui kinerja pelayanannya yang terbatas dan batas akhir bangunan telah benar-benar memenuhi persyaratan SNI-1726-2002. Berdasarkan berdasarkan hasil analisa struktur pelat lantai 2, pelat A, C, E, dan H memerlukan penguatan kemampuan lentur. Balok di lantai 2 : 1 A-E ; 1 E-I ; 2 AE ; 2 E-I ; 3 M dan berdering balok : 0 A-C ; 0 M; 0 EG; 0 GI ; 3 M; 3 E-I membutuhkan penguatan kemampuan lentur dan kemampuan geser. Didapatkan penguatan kemampuan lentur dan geser dengan penambahan FRP mampu menambah kemampuan lentur dan geser pelat dan balok. Hasil analisis pada penguatan kemampuan lentur dengan penambahan tulangan menunjukkan bahwa dapat menambah kemampuan lentur kolom. Dan dari analisa pondasi, dapat diketahui bahwa pondasi mampu memikul beban baru sehingga tidak memerlukan penguatan.
	Penulis: Ignatius Christiawan, Andreas Triwiyono, Hary Chrisday	
	Jurnal Forum Teknik Sipil	
	No. XVII/1-Januari 2008	
3.	Analisa Struktur Bangunan Rumah Susun Mbr Type - 36 (3 Lantai) Prototype Pada Wilayah Gempa Dan Non Gempa Study Kasus Rusun Mbr Pemkab Kotim	Penelitian bertujuan untuk mengetahui perbandingan kebutuhan dimensi dan tulangan pada wilayah gempa vs non gempa. Standart perancangan mengacu pada SNI 1727:2013, SNI 2847:2013, SNI 2847-2019 dan SNI 1726-2019. Dari hasil penelitian diperoleh perbandingan luasan dimensi struktur kolom beban gempa vs non gempa yaitu dengan rata-rata sebesar 25,42%, sedangkan untuk kebutuhan luas tulangan utama sebesar 22,50%, nilai Capacity Ratio ($P_u/\phi.P_n$) antara 0.535-0,967. Untuk dimensi struktur balok dan plat lantai dengan rata-rata sebesar 23,84%, sedangkan luas tulangan lentur (AS) sebesar 20,22%, dengan Defleksi (δ) maksimum untuk semua balok dan plat lantai dengan nilai antara 0.13 - 3,70 mm. Untuk perbandingan seluruh struktur luasan dimensi dengan rata-rata sebesar 24,63%, tulangannya adalah sebesar 21,36%.
	Penulis: Ridho Saleh Silaban	
	Jurnal Media Ilmiah Teknik Sipil	
	Vol. 11 No. 1 Januari 2023	
4.	Efektivitas Kekuatan Struktur Kolom Akibat Perubahan Fungsi Gedung pada Proyek Magna One Surabaya terhadap Beban Gempa	Hasil dari penelitian ini didapatkan massa struktur <i>Mixed Use</i> lebih besar dibandingkan struktur <i>Full Office</i> dengan nilai persentase kenaikan massa struktur sebesar 0,3% akibat adanya penambahan tulangan kolom berupa tulangan ekstra utama, tulangan ekstra sengkang, dan tulangan ekstra sengkang. Gaya aksial
	Penulis: Faradiba Dwi Hernita, Berkat Cipta Zega	
	Jurnal UNESA	
	Vol 1 No.1 April 2023	

Tabel 2.16 Penelitian Terdahulu (Lanjutan)

		pada struktur <i>Mixed Use</i> sebesar 17484.71 kN, nilai deviasi maksimum sebesar 41.2 mm pada kategori aman tidak melebihi izin delta, nilai <i>Base Shear Reaction</i> lebih besar pada struktur <i>Mixed Use</i>, untuk periode <i>Mixed Use</i> sebesar 4.24 detik yang mana lebih kecil 6,19% dibandingkan periode struktur <i>Full Office</i>. Jangka waktu struktur yang bekerja pada program SAP 2000 masih dalam batas aman tidak lebih dari 5,425 detik sehingga struktur <i>Mixed Use</i> lebih efektif.
--	--	---