

ANALISIS STRUKTUR PENULANGAN BALOK PADA PROYEK REHABILITASI GEDUNG KANTOR DINAS SOSIAL KOTA SAMARINDA

Azka Sabila¹⁾, Mardewi Jamal²⁾

¹⁾Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman, Jl. Sambaliung No.9
Kampus Gunung Kelua, Samarinda
e-mail: azka.sabila71@gmail.com

²⁾Pengajar Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman, Jl. Sambaliung No.9
Kampus Gunung Kelua, Samarinda
e-mail: wic_djamal@yahoo.com

ABSTRAK

Struktur bangunan adalah suatu bagian dari bangunan yang berfungsi untuk menyalurkan beban yang diakibatkan oleh adanya bangunan di atas tanah. Struktur bangunan gedung terdiri dari struktur atas dan struktur bawah. Pada perencanaan suatu konstruksi bangunan gedung, harus dipenuhi kriteria struktur bangunan gedung yang telah ditentukan, yakni kuat, kaku dan stabil sehingga dapat digunakan sesuai fungsinya. Oleh karena itu, diperlukan perencanaan elemen struktur sesuai dengan persyaratan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perhitungan dimensi dan tulangan balok induk pada Proyek Rehabilitasi Gedung Kantor Dinas Sosial Kota Samarinda. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk mengetahui perbandingan dimensi dan tulangan balok induk antara hasil perhitungan yang dilakukan penulis dengan hasil perhitungan berdasarkan *DED Project* pada Proyek Rehabilitasi Gedung Kantor Dinas Sosial Kota Samarinda. Penelitian ini dilakukan dengan mengacu pada SNI 2847:2019 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung. Pada penelitian ini, dilakukan perhitungan dimensi dan tulangan balok induk yang meliputi tulangan longitudinal, tulangan geser dan tulangan torsi.

Berdasarkan perhitungan dan analisis yang telah dilakukan, didapatkan dimensi dan tulangan balok induk adalah B11 dengan dimensi 350 x 650 mm dengan tulangan tumpuan yang meliputi atas, tengah, bawah dan sengkang secara berturut-turut adalah 5D19 mm, 2D16 mm, 6D19 mm, 3Ø10-50 mm dan tulangan lapangan adalah 6D19 mm, 2D16 mm, 5D19 mm, 3Ø10-100 mm; B12 dengan dimensi 300 x 550 mm dengan tulangan tumpuan yang meliputi atas, tengah, bawah dan sengkang secara berturut-turut adalah 4D16 mm, 2D13 mm, 4D16 mm, 3Ø10-50 mm dan tulangan lapangan adalah 4D16 mm, 2D13 mm, 4D16 mm, 3Ø10-100 mm; dan B13 dengan dimensi 300 x 550 mm dengan tulangan tumpuan yang meliputi atas, bawah dan sengkang secara berturut-turut adalah 4D16 mm, 4D16 mm, 2Ø10-150 mm dan tulangan lapangan adalah 4D16 mm, 4D16 mm, 2Ø10-200 mm. Perbandingan dimensi dan tulangan balok induk antara hasil perhitungan yang dilakukan penulis dengan hasil perhitungan berdasarkan *DED Project* pada Proyek Rehabilitasi Gedung Kantor Dinas Sosial Kota Samarinda adalah terdapat perbedaan antara dimensi (lebar dan tinggi) dan tulangan (jumlah tulangan, jumlah kaki dan jarak sengkang) balok. Perbedaan tersebut terjadi karena adanya perbedaan metode yang digunakan dalam perhitungan penulis (menggunakan acuan SNI 2847:2019 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung) dan *DED Project* (menggunakan acuan SK-SNI-T-15-1991-03 Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Bangunan Gedung dan SNI 2847:2019 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung).

Kata Kunci: Analisis Struktur, Beton bertulang, Balok

ABSTRACT

Building structure is a part of building which has function to distribute loads caused by the presence of the building on the ground. The building structure consists of upper structure and lower structure. In planning of a building construction, the specified building structure criteria must be fulfilled, which are strong, rigid and stable so it can be used according to its function. Therefore, it is necessary to plan structural elements

according to the requirements. This research aims to determine the calculation of dimensions and reinforcements of main beam in the Samarinda City Social Service Office Building Rehabilitation Project. Besides, this research also aims to determine the comparison of the dimensions and reinforcements of the main beam between the results of calculations carried out by author and based on the DED Project in the Samarinda City Social Services Office Building Rehabilitation Project. This research was conducted by referring to SNI 2847:2019 about Structural Concrete Requirements for Buildings. In this research, the dimensions and reinforcements of the main beam were calculated, including longitudinal reinforcement, shear reinforcement and torsion reinforcement.

Based on the calculations and analysis that have been carried out, it is obtained that the dimensions and reinforcements of the main beams are B11 with dimensions of 350 x 650 mm with the reinforcement of negative bending moment zone including the top, middle, bottom and stirrups successively are 5D19 mm, 2D16 mm, 6D19 mm, 3Ø10 mm-50 mm and the reinforcement of positive bending moment zone are 6D19 mm, 2D16 mm, 5D19 mm, 3Ø10 mm-100 mm; B12 with dimensions of 300 x 550 mm with the reinforcement of negative bending moment zone including the top, middle, bottom and stirrups successively are 4D16 mm, 2D13 mm, 4D16 mm, 3Ø10 mm-50 mm and the reinforcement of positive bending moment zone are 4D16 mm, 2D13 mm, 4D16 mm, 3Ø10 mm-100 mm; and B13 with dimensions of 300 x 550 mm with the reinforcement of negative bending moment zone including the top, bottom and stirrups successively are 4D16 mm, 4D16 mm, 2Ø10 mm-150 mm and the reinforcement of positive bending moment zone are 4D16 mm, 4D16 mm, 2Ø10 mm-200 mm. The comparison of the dimensions and reinforcements of the main beam between the results of calculations carried out by author and based on the DED Project in the Samarinda City Social Service Office Building Rehabilitation Project is that there are differences between the dimensions (width and height) and reinforcements (number of reinforcement, number of legs and spacing of stirrups) of the beam. This difference occurs due to different method used in the author's calculations (using SNI 2847:2019 Requirements for Structural Concrete for Buildings) and DED Project (using SK-SNI-T-15-1991-03 Procedures for Calculating Concrete Structures for Buildings and SNI 2847:2019 Structural Concrete Requirements for Buildings).

Keywords: Structural Analysis, Reinforced Concrete, Beam

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Untuk memenuhi kebutuhan masyarakat di Kota Samarinda, pembangunan dan perbaikan fasilitas publik seperti sarana pendidikan, sarana kesehatan dan gedung perkantoran terus dilakukan. Sejalan dengan hal ini, Pemerintah Kota Samarinda melakukan peningkatan prasarana gedung perkantoran yang sangat diperlukan untuk mendukung pertumbuhan sosial ekonomi di Kota Samarinda, salah satunya adalah Proyek Rehabilitasi Gedung Kantor Dinas Sosial Kota Samarinda.

Proyek Rehabilitasi Gedung Kantor Dinas Sosial Kota Samarinda berupa konstruksi gedung bertingkat dengan struktur beton bertulang, sehingga berbagai hal perlu diperhatikan, mulai dari perencanaan dan desain, proses pengerjaan, hingga perawatan dan pemeliharaan. Oleh karena itu, diperlukan perencanaan dan pelaksanaan konstruksi yang sesuai, sehingga diperoleh struktur bangunan yang kuat, stabil serta risiko terjadinya kegagalan struktur dapat dikurangi.

1.2 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui perhitungan dimensi dan tulangan balok induk berdasarkan SNI 2847:2019 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung.
2. Mengetahui perbandingan dimensi dan tulangan balok induk antara hasil perhitungan yang dilakukan penulis dengan hasil perhitungan berdasarkan *DED Project*.

2. LANDASAN TEORI

2.1 Struktur

Struktur merupakan suatu sarana untuk menyalurkan beban yang diakibatkan oleh penggunaan atau adanya bangunan di atas tanah. Struktur berfungsi untuk memberikan kekuatan dan kekakuan yang diperlukan untuk mencegah sebuah bangunan mengalami keruntuhan [13] [1].

Untuk mencapai kondisi struktur yang aman, semua komponen pembebanan harus

direncanakan dengan baik agar kekuatan desainnya lebih besar dari beban yang terjadi [6].

Pada umumnya, struktur bangunan terdiri dari struktur bawah (*lower structure*) dan struktur atas (*upper structure*) [9].

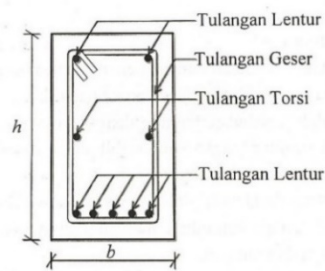
2.2 Struktur Atas

Struktur atas suatu gedung adalah seluruh bagian gedung yang terletak di atas muka tanah. Struktur atas terdiri dari kolom, pelat, balok dan tangga [12].

2.3 Balok

Balok merupakan elemen struktur yang berfungsi untuk mentransfer beban vertikal secara horizontal kemudian menyalurkannya ke dalam kolom [8].

Pada struktur gedung, momen lentur, gaya geser dan momen torsi adalah gaya-gaya yang sangat mempengaruhi perilaku balok dalam memikul beban. Dengan adanya gaya-gaya dalam tersebut, balok membutuhkan tulangan yang disebut dengan tulangan lentur, geser dan torsi [7].



Gambar 2. 1 Tulangan penyusun balok (Lesmana, 2020)

Oleh karena itu, diperlukan pemilihan dimensi penampang dan kebutuhan tulangan yang tepat agar mendapatkan balok yang cukup kuat untuk memikul besarnya gaya dalam yang terjadi [14].

2.4 Beton

Beton adalah campuran dari semen portland, agregat halus, agregat kasar dan air dengan atau tanpa bahan campuran yang membentuk masa padat [11].

Campuran semen dan air membentuk pasta semen sebagai bahan ikat. Sedangkan pasir dan kerikil berfungsi sebagai bahan pengisi dan diikat oleh pasta semen [2].

2.5 Baja Tulangan

Baja tulangan (*reinforced bar* atau *rebar*) adalah material penguat yang ditempatkan di dalam

beton untuk meningkatkan kuat tarik dari material beton. Fungsi utama dari baja tulangan adalah sebagai penguat (*reinforcement*) sehingga beton tidak mengalami kehancuran saat menerima tegangan tarik [7].

Baja tulangan beton terdiri dari dua jenis berdasarkan bentuknya, yaitu baja tulangan polos dan baja tulangan sirip [10].

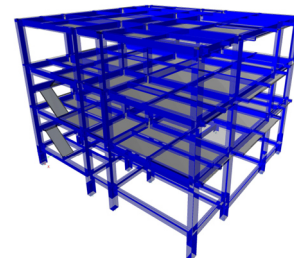
2.6 Beton Bertulang

Beton bertulang adalah material konstruksi yang menggunakan dua bahan berbeda secara bersamaan, yaitu beton polos, yang memiliki kekuatan tekan tinggi tetapi kekuatan tarik rendah, dan baja tulangan yang ditanamkan pada beton sehingga dapat memberikan kekuatan tarik yang diperlukan [4].

Beton bertulang memiliki sifat seperti bahan penyusunnya, yaitu sangat kuat terhadap beban tarik dan beban tekan. Dengan adanya tulangan baja, struktur beton menjadi bersifat lebih duktail [5] [7].

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Pemodelan Struktur Gedung



Gambar 3. 1 Pemodelan Struktur Gedung Kantor Dinas Sosial Kota Samarinda

3.2 Pembebanan Pada Model Struktur Gedung

Terdapat tiga jenis beban yang digunakan pada perencanaan ini yaitu sebagai berikut.

- a. Beban Mati dan Beban Hidup
 - Berat jenis material beton = 2400 kg/m^3
 - Berat keramik, per cm tebal = 24 kg/m^2
 - Berat spesi/adukan, per cm tebal = 21 kg/m^2
 - Berat plafond & penggantung = 20 kg/m^2
 - Berat *mechanical & electrical* (ME) = 20 kg/m^2
 - Berat dinding pasangan 1/2 bata = 250 kg/m^2
 - Beban hidup pada kantor = 250 kg/m^2
 - Beban hidup (hujan) = 100 kg/m^2
 - Berat pekerja (orang) = 100 kg/m^2
- b. Beban Gempa

Beban gempa didasarkan pada SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung.

diatur oleh SNI 2847:2019, Pasal 24.2.2, Tabel 24.2.2 Perhitungan lendutan izin maksimum.

4. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Perencanaan Bangunan

Data perencanaan bangunan yang digunakan dalam perencanaan ini adalah sebagai berikut.

- a. Data Material
- Mutu beton (f'_c) = K-250 = 20.75 MPa
 - Mutu baja BJTS 280 = $f_y = 280$ MPa
 - $f_u = 350$ MPa
 - Mutu baja BJTP 280 = $f_y = 280$ MPa
 - $f_u = 350$ MPa

- b. Data Perencanaan

1. Kolom
 - Dimesi kolom = 400 x 600 mm
 - Tinggi setiap lantai = 4 m
2. Pelat
 - Tebal pelat lantai dasar = 200 mm
 - Tebal pelat lantai 1 sampai atap = 130 mm
3. Balok
 - Bentang balok induk (BI1) = 7500 mm
 - Bentang balok induk (BI2) = 2800 mm
 - Bentang balok induk (BI3) = 4500 mm

4.2 Preliminary Design

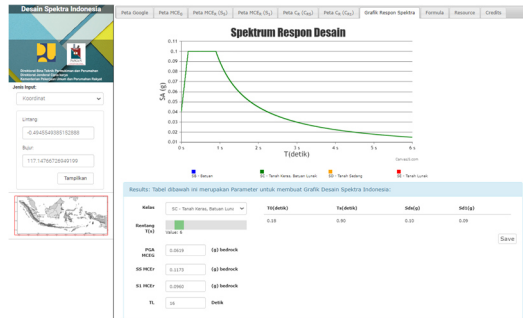
Setelah dilakukan *preliminary design* dan pemodelan dalam *software ETABSv20*, digunakan dimensi balok induk sebagai berikut.

Tabel 4. 1 Dimensi balok yang digunakan

Nama Balok	Kategori	Bentang (mm)	Dimensi	
			b (mm)	h (mm)
BI1 (X)	Satu Ujung Menerus	7500	350	650
BI1 (Y)	Dua Ujung Menerus	7500		
BI2 (X)	Dua Ujung Menerus	2800	300	550
BI3 (Y)	Satu Ujung Menerus	4500	300	550

4.3 Analisis Gaya Dalam dengan ETABSv20

Struktur dimodelkan dalam *software ETABSv20* dengan menggunakan pembebanan yang telah dihitung sebelumnya. Setelah struktur dianalisis, didapatkan gaya-gaya dalam yang diperlukan untuk perhitungan tulangan balok.



Gambar 3. 2 Grafik spektrum respon desain di lokasi bangunan
(<https://rsa.ciptakarva.pu.go.id>, 2023)

3.3 Perhitungan Dimensi Balok

Dalam merencanakan dimensi balok, perlu dilakukan *preliminary design* untuk memperkirakan dimensi-dimensi struktur awal, selanjutnya dilakukan perhitungan dengan menggunakan program struktur (dalam hal ini *ETABSv20*) untuk memperoleh dimensi yang efisien dan kuat. Untuk menentukan tinggi balok (h_{minimum}) digunakan tabel berikut ini.

Tabel 3. 1 Tinggi minimum balok nonprategang (SNI 2847:2019)

Kondisi Perlekatan	Minimum h
Perlekatan sederhana	$l/16$
Menerus satu sisi	$l/18.5$
Menerus dua sisi	$l/21$
Kantilever	$l/8$

Untuk menentukan lebar balok (b) diasumsikan sebagai berikut.

$$b = \frac{1}{2} \times h_{\text{min}} \quad (3. 1)$$

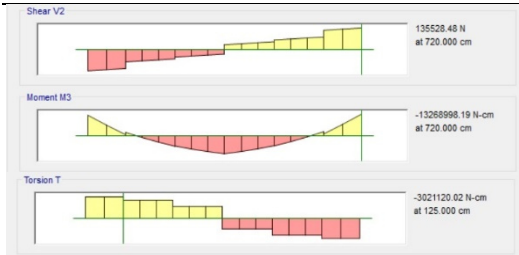
3.4 Perhitungan Tulangan Balok

Perhitungan tulangan balok dilakukan berdasarkan pada SNI 2847:2019 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung. Tulangan yang direncanakan pada balok ini meliputi tulangan lentur, geser dan torsi.

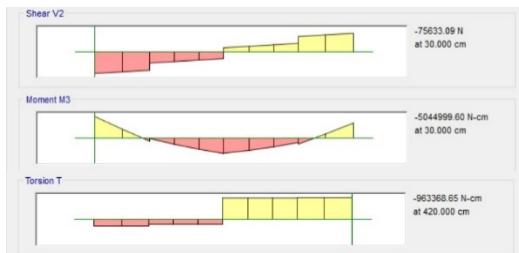
3.5 Analisis Lendutan

Lendutan adalah perubahan bentuk pada balok dalam arah y akibat adanya pembebanan vertikal yang diberikan pada balok. Lendutan yang terjadi pada balok perlu diperiksa apakah lendutan tersebut masih di dalam batas lendutan izin yang

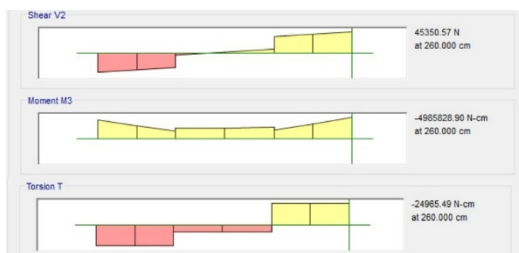
Azka Sabila¹⁾, Mardewi Jamal²⁾



Gambar 4. 1 Diagram gaya geser, momen lentur dan torsi pada balok induk BI1



Gambar 4. 2 Diagram gaya geser, momen lentur dan torsi pada balok induk BI2



Gambar 4. 3 Diagram gaya geser, momen lentur dan torsi pada balok induk BI3

Tabel 4. 2 Analisis gaya dalam setiap balok dengan ETABSv20

	BI-1	BI-2	BI-3
V_u (N)	215199.72	99880.14	63231.61
T_u (N.mm)	45814079.62	21269584.77	3232523.93
M_u⁺ (N.mm)	181298325.83	47443400.16	9820406.10
M_u⁻ (N.mm)	218682107	74777990.51	70299269.10

4.4 Perhitungan Tulangan Balok

Berikut adalah perhitungan tulangan untuk balok induk BI1. Hasil perhitungan tulangan untuk setiap balok dapat dilihat pada gambar.

Mutu Beton (f'_c) = 20.75 MPa
 Mutu Tulangan Utama (f_y) = 280 MPa
 Mutu Tulangan Geser (f_{ys}) = 280 MPa
 Nilai β_1 = 0.85
 Faktor Reduksi untuk Lentur (ϕ) = 0.9

Faktor Reduksi untuk Geser (ϕ) = 0.75
 Faktor Reduksi untuk Torsi (ϕ) = 0.75
 Faktor Modifikasi Beton Normal (λ) = 1.0
 Diameter Tulangan Utama (D_l) = 19 mm
 Diameter Tulangan Sengkok (ϕ_s) = 8 mm
 Diameter Tulangan Torsi (D) = 16 mm
 Tebal Selimut (t_s) = 40 mm
 Dimensi Balok (b/h) = 350 mm/650 mm
 Panjang Bentang (L) = 7500 mm
 M_u^+ = 181298325.83 N.mm
 M_u^- = 218682107.00 N.mm
 V_u = 215199.72 N
 T_u = 45814079.62 N.mm

a. Tulangan Longitudinal Balok
 Perencanaan Tulangan Lapangan (M_u^+)

1. Nilai Momen Nominal M_n
 $M_n = 201442584.26$ N.mm
2. Rasio Minimum Tulangan Balok

$$\rho_{min} = \frac{0.25 \sqrt{f'_c}}{f_y} = 0.0041$$

$$\rho_{min} = \frac{1.4}{f_y} = 0.0050$$

$$\rho_{min} = 0.0050$$

3. Tinggi Efektif Balok (d), *Coefficient of Resistance* (R_n) dan m

$$d = h - t_s - \phi_s - \frac{1}{2}D_l = 592.50$$
 mm

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2} = 1.64$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 f'_c} = 15.88$$

4. Nilai Rasio Tulangan dari Balok

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) = 0.0062$$

5. Nilai Luasan Tulangan Tarik Dibutuhkan

$$A_s = \rho \times b \times d = 1276.62$$
 mm²

6. Nilai Luasan Aktual

Jumlah Tulangan dalam 1 Baris
 $n = \frac{A_s}{\frac{1}{4} \pi D^2} = 4.50 \approx 5$ tulangan

Spasi Tulangan

$$S_{min} = \frac{b - (2 \times t_s) - (2 \times \phi_s) - (n \times D_l)}{n - 1} = 39.75$$
 mm

Cek!

Nilai $S_{min} > t_s$

39.75 mm < 40 mm (NOT OK!) Jadi, tulangan tidak dapat dipasang dalam satu baris.

Jumlah Tulangan dalam 1 Baris

Nilai d_s

$$d_s = \left(t_s + \phi_s + \frac{1}{2}D_l \right) = 57.50$$
 mm

Jumlah maksimum tulangan dalam 1 baris

$$m = \frac{b-2 \times d_s}{D+S_n} + 1 = 4.98 \approx 4 \text{ tulangan}$$

Oleh karena itu, tulangan akan direncanakan dengan pemasangan dalam dua baris, yaitu: 3 tulangan baris-1 dan 2 tulangan baris-2

Spasi bersih

$$S_{min} = \frac{b-(2 \times t_s)-(2 \times \phi_s)-(n \times D_l)}{(n-1)} = 98.50 \text{ mm}$$

Cek!

Nilai $S_{min} > t_s$

$98.50 \text{ mm} \geq 40 \text{ mm}$ (OK!) Jadi, tulangan dipasang dalam dua baris dan perlu dilakukan perhitungan tinggi efektif (d) yang baru.

Nilai l_1 dan l_2

$$l_1 = t_s + \phi_s + \frac{1}{2} D_l = 57.50 \text{ mm}$$

$$l_2 = t_s + \phi_s + D_l + S_n + \frac{1}{2} D_l = 101.50 \text{ mm}$$

Nilai y

$$y = \frac{(n_1 \times A_{tulangan} \times l_1) + (n_2 \times A_{tulangan} \times l_2)}{n_{tot} \times A_{tulangan}} =$$

$$75.10 \text{ mm}$$

Tinggi Efektif Balok

$$d = h - y = 574.90 \text{ mm}$$

Tulangan Aktual

$$A_s = \left(\frac{1}{4} \pi D^2\right) n = 1417.64 \text{ mm}^2$$

7. Tinggi Blok Tegangan (α) Berdasarkan Tulangan Aktual

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0.85 \times f'_c \times b} = 64.30 \text{ mm}$$

8. Tinggi Garis Netral Baru (c)

$$c = \frac{a}{\beta_1} = 75.65 \text{ mm}$$

9. Cek Kategori Penampang

$$\varepsilon_t = \left(\frac{d_t - c}{c}\right) \times 0.003 = 0.0205$$

Nilai $\varepsilon_t \geq 0.005$

$$0.0205 \text{ mm} \geq 0.005 \text{ mm}$$
 (OK!)

10. Cek Kapasitas Penampang

Nilai Momen Nominal

$$M_n = A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) = 215439044.13$$

N.mm

Cek Kapasitas Balok

$$\phi M_n \geq M_u$$

$$193895139.72 \text{ N.mm} \geq$$

$$181298325.83 \text{ N.mm}$$
 (OK!)

Jadi, tulangan lapangan yang digunakan adalah 5 D 19 mm.

Perencanaan Tulangan Tumpuan (M_u^-)

Langkah-langkah dalam merencanakan tulangan tumpuan sama halnya dengan tulangan lapangan, tetapi nilai momen ultimate yang digunakan adalah nilai momen ultimate negatif (M_u^-),

sehingga didapatkan tulangan lapangan yang digunakan adalah 6 D 19 mm.

- b. Tulangan Geser Balok

1. Besaran Nilai Gaya Geser Ultimate (V_u)

$$l = L - \left(2 \times \left(\frac{s_{kolom}}{2}\right)\right) = 7100 \text{ mm}$$

- a. Analisis Daerah Tumpuan

$$\frac{V_{u1}}{V_u} = \frac{\left(\frac{l-d}{2}\right)}{\frac{l}{2}}, V_{u1} = 170730.85 \text{ N}$$

- b. Analisis Daerah Lapangan

$$\frac{V_{u2}}{V_u} = \frac{\frac{l}{2}}{\frac{l}{2}}, V_{u2} = 101861.20 \text{ N}$$

2. Nilai Kuat Beton

$$V_c = 0.17 \lambda \times \sqrt{f'_c} \times b_w \times d = 155818.25 \text{ N}$$

3. Periksa Syarat Kemampuan Penampang dalam Menerima Beban Geser

$$V_u \leq \phi (V_c + 0.66 \sqrt{f'_c} \times b_w \times d)$$

$$170730.85 \text{ N} \leq 570569.77 \text{ N}$$
 (OK!)

4. Klasifikasi Nilai V_u

- a. Analisa Daerah Tumpuan

Berdasarkan perhitungan penulis, balok ini masuk dalam Kategori 4.

$$V_{s,min} = 0.062 \times \sqrt{f'_c} \times b_w \times d =$$

$$56827.83 \text{ N}$$

$$V_{s,min} = 0.35 \times b_w \times d = 70425.25 \text{ N}$$

$$V_{s,min} = 56827.83 \text{ N}$$

Cek Kategori 4:

$$\phi (V_c + V_{s,min}) \leq V_u \leq \phi \left(V_c + \frac{1}{3} \sqrt{f'_c} \times b_w \times d\right)$$

$$159484.56 \text{ N} \leq 170730.85 \text{ N} \leq$$

$$346008.17 \text{ N}$$
 (Memenuhi Syarat)

- b. Analisa Daerah Lapangan

Berdasarkan perhitungan penulis, balok ini masuk dalam Kategori 2.

Cek Kategori 2:

$$0.5 \times \phi \times V_c \leq V_u \leq \phi \times V_c$$

$$58431.84 \text{ N} \leq 101861.20 \text{ N} \leq$$

$$116863.69 \text{ N}$$
 (Memenuhi Syarat)

5. Menentukan Nilai Gaya Geser dari Tulangan (V_s) Rencana Berdasarkan Kategori yang Telah Ditentukan

- a. Analisa Daerah Tumpuan

Berdasarkan Kategori 4, nilai gaya geser dari tulangan:

$$V_s = \frac{V_u - \phi V_c}{\phi} = 71822.88 \text{ N}$$

- b. Analisa Daerah Lapangan

Berdasarkan Kategori 2, nilai gaya geser dari tulangan:

$$V_{s,min} = 0.062 \times \sqrt{f'_c} \times b_w \times d =$$

$$56827.83 \text{ N}$$

$$V_{s,min} = 0.35 \times b_w \times d = 70425.25 \text{ N}$$

$$V_s = 56827.83 \text{ N}$$

6. Jarak Tulangan Geser

- a. Analisa Daerah Tumpuan
Berdasarkan Kategori 4, batas max penentuan jarak antar tulangan geser:
 $s = \frac{d}{2} \leq 600 \text{ mm} = 287.45 \text{ mm} < 600 \text{ mm}$ (OK!)
 $s = 50 \text{ mm}$
- b. Analisa Daerah Lapangan
Berdasarkan Kategori 2, batas max penentuan jarak antar tulangan:
 $s = \frac{d}{2} \leq 600 \text{ mm} = 287.45 \text{ mm} < 600 \text{ mm}$ (OK!)
 $s = 100 \text{ mm}$
7. Nilai Luas Penampang Tulangan Geser (A_v)
- a. Analisa Daerah Tumpuan
Berdasarkan Kategori 4, nilai luas penampang tulangan geser:
 $A_{v,min} = \frac{V_s \times s}{f_{yt} \times d} = 22.31 \text{ mm}^2$
- b. Analisa Daerah Lapangan
Berdasarkan Kategori 2, nilai luas penampang tulangan geser:
 $A_{v,min} = 0.062 \times \sqrt{f'_c} \times \frac{b_w \times s}{f_{yt}} = 35.30 \text{ mm}^2$
 $A_{v,min} = \frac{0.35 \times b_w \times s}{f_{yt}} = 43.75 \text{ mm}^2$
 $A_v = 35.30 \text{ mm}^2$
8. Pastikan Nilai A_v Aktual Berdasarkan Tulangan Geser yang Digunakan di Lapangan
 $A = \frac{1}{4} \pi D^2 = 50.27 \text{ mm}^2$
- a. Analisa Daerah Tumpuan
Jumlah kaki dari tulangan geser:
 $n = \frac{A_{teoritis}}{A_{aktual}} = 0.44 \approx 3$ kaki
Luasan aktual tulangan geser pada tumpuan:
 $A_v = n \times A = 150.80 \text{ mm}^2$
- b. Analisa Daerah Lapangan
Jumlah kaki dari tulangan geser:
 $n = \frac{A_{teoritis}}{A_{aktual}} = 0.70 \approx 3$ kaki
Luasan aktual tulangan geser pada lapangan:
 $A_v = n \times A = 150.80 \text{ mm}^2$
9. Nilai Gaya Geser dari Tulangan (V_s)
Berdasarkan Luas Tulangan Aktual
- a. Analisa Daerah Tumpuan
 $V_s = \frac{A_v \times f_{yt} \times d}{s} = 485480.11 \text{ N}$
- b. Analisa Daerah Lapangan
 $V_s = \frac{A_v \times f_{yt} \times d}{s} = 242740.06 \text{ N}$
10. Cek Syarat Kekuatan Desain Tulangan Geser (V_n) Terhadap Geser Ultimate (V_u)
- a. Analisa Daerah Tumpuan
 $V_n = V_c + V_s = 641298.37 \text{ N}$
 $\phi \times V_n \geq V_u$
 $480973.77 \text{ N} \geq 170730.85 \text{ N}$ (OK!)
- b. Analisa Daerah Lapangan
 $V_n = V_c + V_s = 398558.31 \text{ N}$
 $\phi \times V_n \geq V_u$
 $298918.73 \text{ N} \geq 101861.20 \text{ N}$ (OK!)
- c. Tulangan Torsi Balok
- Cek Syarat Pengaruh Puntir
Keliling Luar Penampang Beton
 $P_{cp} = 2(b + h) = 2000 \text{ mm}$
Luas yang Dibatasi oleh Keliling Luar Penampang Beton
 $A_{cp} = b \times h = 227500 \text{ mm}^2$
 $\phi T_{th} \geq T_u$
 $\phi \times 0.083 \times \lambda \times \sqrt{f'_c} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \geq T_u$
 $7338059.23 \text{ N} \cdot \text{mm} < 45814079.62 \text{ N} \cdot \text{mm}$ (Tidak memenuhi syarat) Maka, diperlukan tulangan torsi.
 - Cek Kapasitas Penampang
Nilai Kuat Beton (V_c)
 $V_c = 0.17 \lambda \times \sqrt{f'_c} \times b_w \times d = 155818.25 \text{ N}$
Luas Torsi dari Garis Pusat
 $A_{oh} = (b - 2t_s) \times (h - 2t_s) = 153900 \text{ mm}^2$
Keliling Torsi dari Garis Pusat
 $P_h = 2(b_0 + h_0) = 1110 \text{ mm}$
 $\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w d} \right)^2 + \left(\frac{T_u P_h}{1.7 A_{oh}^2} \right)^2} \leq \phi \left(\frac{V_c}{b_w d} + 0.66 \sqrt{f'_c} \right)$
 $1.07 < 2.84$ (Memenuhi Syarat)
 - Luas Tulangan Transversal Akibat Geser (A_v)
Daerah Tumpuan: $A_v = 150.80 \text{ mm}^2$
Daerah Lapangan: $A_v = 150.80 \text{ mm}^2$
 - Luas Tulangan Transversal Akibat Torsi (A_t)
 $A_t = \frac{(T_u \times s)}{(\phi \times 2 \times A_0 \times f_{yt})} \times \tan(\theta) = 41.69 \text{ mm}^2$
Syarat 1
 $\frac{(A_v + 2A_t)_{min}}{s} \geq 0.062 \sqrt{f'_c} \left(\frac{b_w}{f_{yt}} \right)$
 $4.6836 > 0.3530$ (Memenuhi syarat)
Syarat 2
 $\frac{(A_v + 2A_t)_{min}}{s} \geq 0.35 \left(\frac{b_w}{f_{yt}} \right)$
 $4.6836 > 0.4375$ (Memenuhi syarat)
Daerah Tumpuan:
 $A_{tot} = A_v + 2A_t = 234.18 \text{ mm}^2$
Cek!
 $A_v > A_{tot}$
 $150.80 \text{ mm}^2 < 234.18 \text{ mm}^2$ (NOT OK!)
Maka, ubah diameter sengkang.
Diameter Sengkang Minimum
 $D = \sqrt{\frac{4 A_{tot}}{n \times \pi}} = 9.97 \text{ mm}$

Diperoleh diameter sengkang yang baru, yaitu: 3 Ø 10 mm – 50 mm

Daerah Lapangan:

$$A_{tot} = A_v + 2A_t = 234.18 \text{ mm}^2$$

Cek!

$$A_v > A_{tot}$$

$$150.80 \text{ mm}^2 < 234.18 \text{ mm}^2 \text{ (NOT OK!)}$$

Maka, ubah diameter sengkang.

Diameter Sengkang Minimum

$$D = \sqrt{\frac{4 A_{tot}}{n \times \pi}} = 9.97 \text{ mm}$$

Diperoleh diameter sengkang yang baru, yaitu: 3 Ø 10 mm – 100 mm

5. Tulangan Longitudinal Akibat Torsi (A_t)

$$A_t = \frac{T_u \times P_h}{\phi \times 2 \times A_0 \times f_{yt}} \times \cot(45^\circ) = 925.58 \text{ mm}^2$$

Luas Sengkang yang Baru

$$A = n \times \frac{\pi \times D^2}{4} = 235.62 \text{ mm}^2$$

$$A_t = \frac{A_{tot} - A_v}{2} = 42.41 \text{ mm}^2$$

Persamaan 1

$$A_{l,min} = 0.42 \times \sqrt{f'_c} \times \frac{A_{cp}}{f_{yt}} - \left(\frac{A_t}{s}\right) \times P_h \times$$

$$\frac{f_{yt}}{f_y} = 612.93 \text{ mm}^2$$

Persamaan 2

$$A_{l,min} = 0.42 \times \sqrt{f'_c} \times$$

$$\frac{A_{cp}}{f_{yt}} - \left(\frac{0.175 b_w}{f_{yt}}\right) \times P_h \times \frac{f_{yt}}{f_y} =$$

$$1311.66 \text{ mm}^2$$

$$A_{l,min} = 612.93 \text{ mm}^2$$

$$A_t > A_{l,min}$$

$$925.58 \text{ mm}^2 > 612.93 \text{ mm}^2 \text{ (Memenuhi)}$$

Karena $A_t > A_{l,min}$, maka digunakan $A_t = 925.58 \text{ mm}^2$

$$A_t = \frac{A_{pakai}}{3} = 308.53 \text{ mm}^2$$

Tulangan yang Akan Dipasang

$$n = \frac{A_t}{A_{tulangan}} = \frac{A_t}{\frac{1}{4} \pi D^2} = 1.54 \approx 2$$

tulangan

Maka, jumlah tulangan yang digunakan dalam 1 baris: 2 D 16 mm

6. Cek Kapasitas Kuat Torsi Nominal

Syarat 1

$$T_n = \frac{2 \times A_0 \times A_t \times f_{yt}}{s} \times \cot \theta =$$

$$62138277.38 \text{ N.mm}$$

Cek!

$$\phi T_n > T_u$$

$$46603708.03 \text{ N.mm} >$$

$$45814079.62 \text{ N.mm (Memenuhi syarat)}$$

Syarat 2

$$T_n = \frac{2 \times A_0 \times A_t \times f_y}{P_h} \times \tan \theta$$

$$= 61085439.49 \text{ N.mm}$$

Cek!

$$\phi T_n \geq T_u$$

$$45814079.62 \text{ N.mm} \geq$$

$$45814079.62 \text{ N.mm (Memenuhi syarat)}$$

BI1 350x650			
TUMPUAN		LAPANGAN	
TULANGAN ATAS	5 D 19	TULANGAN ATAS	6 D 19
TULANGAN TENGAH	2 D 16	TULANGAN TENGAH	2 D 16
TULANGAN BAWAH	6 D 19	TULANGAN BAWAH	5 D 19
TULANGAN SENKANG	3 Ø 10 – 50 mm	TULANGAN SENKANG	3 Ø 10 – 100 mm

Gambar 4. 4 Tulangan pada balok induk BI1

BI2 300x550			
TUMPUAN		LAPANGAN	
TULANGAN ATAS	4 D 16	TULANGAN ATAS	4 D 16
TULANGAN TENGAH	2 D 13	TULANGAN TENGAH	2 D 13
TULANGAN BAWAH	4 D 16	TULANGAN BAWAH	4 D 16
TULANGAN SENKANG	3 Ø 10 – 50 mm	TULANGAN SENKANG	3 Ø 10 – 100 mm

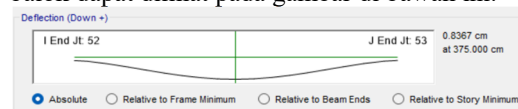
Gambar 4. 5 Tulangan pada balok induk BI2

BI3 300x550			
TUMPUAN		LAPANGAN	
TULANGAN ATAS	4 D 16	TULANGAN ATAS	4 D 16
TULANGAN TENGAH	–	TULANGAN TENGAH	–
TULANGAN BAWAH	4 D 16	TULANGAN BAWAH	4 D 16
TULANGAN SENKANG	2 Ø 10 – 150 mm	TULANGAN SENKANG	2 Ø 10 – 200 mm

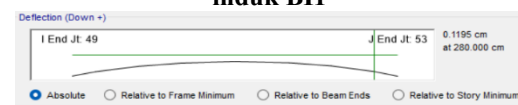
Gambar 4. 6 Tulangan pada balok induk BI3

4.5 Analisis Lentutan

Hasil analisis lentutan didapatkan dari *software ETABSv20*. Lentutan yang terjadi pada setiap balok dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 4. 7 Analisis lentutan pada balok induk BI1



Gambar 4. 8 Analisis lentutan pada balok induk BI2

Azka Sabila¹⁾, Mardewi Jamal²⁾



Gambar 4. 9 Analisis lendutan pada balok induk BI3

Berikut adalah analisis lendutan izin pada balok induk BI1. Hasil analisis lendutan pada balok induk selengkapnya dapat dilihat pada tabel.

Analisis Lendutan Balok Induk BI1

a. Lendutan Izin (Δ_{izin})

$$\Delta_{izin} = \frac{l}{480} = \frac{750}{480} = 1.56 \text{ cm}$$

Tabel 4. 3 Analisis lendutan pada setiap balok

Nama Balok	Δ_{izin}	Δ_{BI}	$\Delta_{izin} > \Delta_{BI}$
BI1	1.56 cm	0.84 cm	Aman
BI2	0.58 cm	0.12 cm	Aman
BI3	0.94 cm	0.21 cm	Aman

4.6 Perbandingan Dimensi dan Tulangan Balok Induk Antara Hasil Perhitungan Penulis dengan Hasil Perhitungan Berdasarkan DED Project

Berikut ini adalah tabel perbandingan dimensi dan tulangan balok induk antara hasil perhitungan penulis dengan hasil perhitungan berdasarkan DED Project.

Tabel 4. 4 Perbandingan dimensi balok

Dimensi Balok			
Hasil Perhitungan		Berdasarkan DED Project	
BI1	b (mm)	350	B1
	h (mm)	650	
BI2	b (mm)	300	B2
	h (mm)	550	
BI3	b (mm)	300	B2
	h (mm)	550	

Tabel 4. 5 Perbandingan tulangan balok

Tulangan Balok			
Hasil Perhitungan		Berdasarkan DED Project	
BI1	Tumpuan		B1
	Atas	5 D 19 mm	
	Tengah	2 D 16 mm	
	Bawah	6 D 19 mm	

	Sengkang	3 Ø 10 - 50 mm		3 Ø 10 - 100 mm
	Lapangan			Lapangan
	Atas	6 D 19 mm		4 D 19 mm
	Tengah	2 D 16 mm		2 D 13 mm
	Bawah	5 D 19 mm		6 D 19 mm
BI2	Sengkang	3 Ø 10 - 100 mm	B2	3 Ø 10 - 150 mm
	Tumpuan			Tumpuan
	Atas	4 D 16 mm		5 D 16 mm
	Tengah	2 D 13 mm		2 D 13 mm
	Bawah	4 D 16 mm		4 D 16 mm
	Sengkang	3 Ø 10 - 50 mm		2 Ø 10 - 100 mm
	Lapangan			Lapangan
	Atas	4 D 16 mm		4 D 16 mm
	Tengah	2 D 13 mm		2 D 13 mm
	Bawah	4 D 16 mm		5 D 16 mm
BI3	Sengkang	3 Ø 10 - 100 mm	B2	2 Ø 10 - 150 mm
	Tumpuan			Tumpuan
	Atas	4 D 16 mm		5 D 16 mm
	Tengah			2 D 13 mm
	Bawah	4 D 16 mm		4 D 16 mm
	Sengkang	2 Ø 10 - 150 mm		2 Ø 10 - 100 mm
	Lapangan			Lapangan
	Atas	4 D 16 mm		4 D 16 mm

Dari kedua tabel tersebut di atas, dapat dilihat bahwa terdapat perbedaan antara dimensi (lebar dan tinggi) dan tulangan (jumlah tulangan, jumlah kaki dan jarak sengkang) balok hasil perhitungan penulis dengan hasil perhitungan berdasarkan DED Project. Perbedaan tersebut terjadi karena adanya perbedaan metode yang digunakan dalam perhitungan. Perhitungan yang dilakukan penulis menggunakan acuan SNI 2847:2019 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung, sedangkan perhitungan berdasarkan DED Project menggunakan acuan SK-SNI-T-15-1991-03 Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Bangunan Gedung dan SNI 2847:2019 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan dan perhitungan yang telah dilakukan oleh penulis, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut.

1. Hasil perhitungan dimensi dan tulangan balok induk yang didapatkan adalah BI1 dengan dimensi 350 x 650 mm dengan tulangan tumpuan yang meliputi atas, tengah, bawah dan sengkang secara berturut-turut adalah 5D19 mm, 2D16 mm, 6D19 mm, 3Ø10-50 mm dan tulangan lapangan adalah 6D19 mm, 2D16 mm, 5D19 mm, 3Ø10-100 mm; BI2 dengan dimensi 300 x 550 mm dengan tulangan tumpuan yang meliputi atas, tengah, bawah dan sengkang secara berturut-turut adalah 4D16 mm, 2D13 mm, 4D16 mm, 3Ø10-50 mm dan tulangan lapangan adalah 4D16 mm, 2D13 mm, 4D16 mm, 3Ø10-100 mm; dan BI3 dengan dimensi 300 x 550 mm dengan tulangan tumpuan yang meliputi atas, bawah dan sengkang secara berturut-turut adalah 4D16 mm, 4D16 mm, 2Ø10-150 mm dan tulangan lapangan adalah 4D16 mm, 4D16 mm, 2Ø10-200 mm.
2. Perbandingan dimensi dan tulangan balok induk antara hasil perhitungan yang dilakukan penulis dengan hasil perhitungan berdasarkan *DED Project* adalah terdapat perbedaan antara dimensi (lebar dan tinggi) dan tulangan (jumlah tulangan, jumlah kaki dan jarak sengkang) balok. Perbedaan tersebut terjadi karena adanya perbedaan metode yang digunakan dalam perhitungan penulis (menggunakan acuan SNI 2847:2019 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung) dan *DED Project* (menggunakan acuan SK-SNI-T-15-1991-03 Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Bangunan Gedung dan SNI 2847:2019 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung).

6. DAFTAR PUSTAKA

1. Ariestadi, Dian. 2008. *Teknik Struktur Bangunan Jilid 2*. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan
2. Asroni, Ali. 2010. *Balok dan Pelat Beton Bertulang*. Yogyakarta: Graha Ilmu
3. Badan Standardisasi Nasional. 2019. *Standar Nasional Indonesia (SNI) Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung (SNI 2847:2019)*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional
4. Bastian, Elfania. 2018. Pengaruh Jenis Tulangan Terhadap Efektifitas Kinerja Balok Beton Bertulang. *Rang Teknik Journal*, 1 (2), 181
5. Dady, Yohanes Trian, M. D. J. Sumajouw, dan R. S. Windah. 2015. Pengaruh Kuat Tekan Terhadap Kuat Lentur Balok Beton Bertulang. *Jurnal Sipil Statik*, 3 (5), 341
6. Endarwati, Ayu, Warsito, dan Azizah Rokhmawati. 2022. Studi Alternatif Perencanaan Gedung Hotel Aston Inn Mojokerto Menggunakan Struktur Komposit. *Jurnal Rekayasa Sipil*, 12 (3), 36
7. Lesmana, Yudha. 2020. *HandBook: Desain Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SNI 2847:2019 Edisi Pertama*. Makassar: Nas Media Pustaka
8. Pratiwi, Adella, Asep Supriyadi, Faisal. 2022. Perencanaan Struktur Beton Bertulang Gedung 7 Lantai Tahan Gempa Lokasi Jalan Letjend Suprpto Kota Pontianak. *JeLAST: Jurnal PWK, Laut, Sipil, Tambang*, 9 (1), 2
9. Putri, Aisya Hayyu, Masril, dan Dedi Kurniawan. 2021. Perencanaan Struktur Gedung Pasar Raya Padang. *Ensiklopedia Research and Community Service Review*, 1 (1), 138
10. Ruzuqi, Rezza, Eko Tavip Maryanto, dan Andi Rahmat. 2022. Kuat Tarik Baja Tulangan Polos (Studi Kasus: PT. Ghody Bimantara Mandiri). *Jurnal METIKS*, 2 (1), 10
11. Saepudin, Uu, Gini Hartati, dan Syahban Nur Bakri. 2022. Analisis Kuat Tekan dan Kuat Lentur Beton Berserat *Polymeric* Sebagai Material Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*). *Jurnal Media Teknologi*, 9 (1), 90
12. Saputra, Riki, Ishak, dan Masril. 2022. Perencanaan Ulang Pembangunan Masjid Wustha Payakumbuh. *Ensiklopedia Research and Community Service Review*, 1 (2), 123
13. Yazid, Faiz, Riksa Kurniadi, Deny Syahrani, dan Ayub Konstatinus Moambura. 2022. Perancangan Gedung Kantor Sewa Borneo Khatulistiwa 4 Lantai dengan Menggunakan Beton Bertulang Jalan Jenderal Ahmad Yani Kota Pontianak. *Jurnal RETENSI*, 3 (1), 2
14. Zulfikri, Muhammad Farham, Mohamad Galuh Khomari, dan Siska Aprilia Hardiyanti. 2023. Evaluasi Balok Beton Bertulang dengan Variasi Bentang Terhadap Dimensi dan Tulangan. *Jurnal Riset Teknik Sipil dan Sains*, 1 (2), 76