

ANALISIS EVALUASI STRUKTUR GEDUNG SD UMMU AIMAN KECAMATAN LAWANG KABUPATEN MALANG MENGGUNAKAN METODE RANGKA MOMEN PEMIKUL KHUSUS

Muhammad Zuhdi Irham¹, Januar Sasongko²

^{1,2} Fakultas Teknik Sipil Universitas Yudharta Pasuruan

Email: irhamningrat58@gmail.com

Abstrak: Semakin banyak siswa baru yang belajar di SD Ummu Aiman, mengakibatkan kekurangan ruang di gedung sekolah tersebut. Oleh karena itu, diperlukan tambahan gedung untuk mengatasi masalah tersebut. Namun, wilayah Indonesia, khususnya Pulau Jawa, rawan terhadap gempa bumi, sehingga setiap pembangunan infrastruktur harus memperhatikan ketahanan gempa. Gedung SD Ummu Aiman juga tidak terkecuali, sehingga perlu dilakukan perancangan dan pengawasan khusus untuk mengurangi risiko kerugian akibat beban gempa yang dapat mempengaruhi bangunan tersebut. Laporan studi kasus ini akan membahas perencanaan desain gedung tiga lantai yang terbuat dari beton bertulang untuk Gedung SD Ummu Aiman. Dalam penyusunan laporan ini, akan ditekankan pada analisis pembebanan, pemodelan SAP 2000, analisis kontrol tulangan untuk mengetahui hasil dari perencanaan preliminary desain struktur dan menganalisa tulangan stuktur balok yang merupakan metode rangka momen pemikul khusus. Hasil dari desain struktur adalah tebal pelat 10 cm dan 12 cm dengan tulangan utama $\varnothing 8-100$, ukuran balok induk 35/25 dengan tulangan utama 2 $\varnothing 16$ 2 $\varnothing 14$ dengan tulangan geser $\varnothing 8-150$, 25/20 dengan tulangan utama 2 $\varnothing 16$ 2 $\varnothing 14$ dengan tulangan geser $\varnothing 8-120$ dan balok anak berukuran 25/20 dengan tulangan utama 3 $\varnothing 25$ 2 $\varnothing 25$ dengan tulangan geser $\varnothing 8-200$. Kolom berukuran 30/30 dengan tulangan utama 4 D16 2 D12 dengan tulangan geser $\varnothing 8-150$ dan 25/25 dengan tulangan utama 4 D12 dan tulangan geser $\varnothing 8-150$.

Kata Kunci: Analisis evaluasi, Beton Bertulang, dan Metode Rangka Momen Pemikul Khusus.

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki ancaman gempa bumi cukup tinggi. Oleh karena itu, dalam merencanakan bangunan di daerah gempa, gaya gempa yang terjadi harus diperhitungkan dan digunakan dalam mendesain supaya struktur tetap memiliki kekakuan yang cukup untuk dapat berdiri (tidak runtuh) sehingga keselamatan pengguna bangunan saat terjadi gempa dapat terjamin. Perencanaan struktur ini dapat dilakukan dengan dua alternatif desain yaitu membuat sistem struktur yang berperilaku elastis saat memikul beban gempa dan sistem struktur yang berperilaku inelastis saat terjadi gempa. Desain struktur yang berperilaku tetap elastis mempunyai keunggulan saat terjadi beban gempa tidak ada satupun bagian dari struktur yang mengalami deformasi permanen, sehingga elemen struktur yang digunakan akan memerlukan penampang yang jauh lebih besar dan struktur akan menjadi sangat tidak ekonomis. Sedangkan desain struktur yang berperilaku inelastik mempunyai keunggulan pada saat terjadi gempa, terdapat bagian tertentu dan struktur tersebut yang akan mengalami plastifikasi akibat penyerapan energi gempa. Sistem struktur tersebut tentunya akan mengalami deformasi plastis pada bagian-bagian tertentu namun tetap memiliki kekakuan yang cukup untuk dapat bertahan. Oleh sebab itu perlu dilakukan perencanaan kapasitas untuk menjamin bahwa struktur mampu bertahan terhadap gempa yang sangat kuat dengan melakukan perubahan bentuk secara detail. Struktur beton kuat dalam gaya tekan tetapi lemah akan gaya tarik, karena kekuatan tarik baja tulangan jauh lebih tinggi

dari pada beton maupun kayu, maka digabungkan dengan beton menjadi beton bertulang. SNI 1729-2019 mengklasifikasikan beberapa macam sistem struktur untuk bangunan beton tahan gempa. Menurut Badan Pusat Statistik Provinsi Jawa Timur Kabupaten Malang merupakan wilayah terbesar kedua setelah Banyuwangi. Dengan wilayah besar tersebut banyak bangunan yang telah dibangun di Kabupaten Malang khususnya bangunan fasilitas pendidikan karena Malang terkenal dengan pendidikannya. Salah satu sekolah yang sudah berdiri lama di Kabupaten Malang adalah SD Ummu Aiman Lawang Islam yang terletak di jalan Argopuro No. 20 Lawang. Sekolah tersebut merupakan pelopor sekolah Islam yang sudah berdiri sejak tahun 1999. SD Ummu Aiman telah berkembang menjadi sekolah besar yang menjadi pilihan masyarakat, hal ini terbukti dari statistik pendaftaran setiap tahunnya selalu mengalami peningkatan. Semakin banyak siswa baru di SD Ummu Aiman Lawang, membuat gedung sekolah tidak dapat menampung calon siswa baru. Saat ini kondisi gedung sekolah dianggap tidak sebanding dengan jumlah siswa baru. Oleh karena itu, pihak Yayasan Bani Salim Ummu Aiman melakukan penambahan gedung untuk memfasilitasi siswanya dalam proses belajar agar proses pembelajaran dapat berjalan dengan baik. SD Ummu Aiman telah membangun Gedung yang terdiri dari 3 (tiga) lantai menggunakan Sistem Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus, namun dalam desian gedung tersebut masih menggunakan peraturan gempa lama. Pemerintah telah mengeluarkan peraturan gempa terbaru yaitu SNI 1729 2019. Sehingga perlu adanya evaluasi terhadap struktur gedung tersebut. Dalam penelitian ini akan dilakukan evaluasi struktur gedung SD Ummu Aiman menggunakan SNI gempa 1729 2019. Sehingga penelitian ini bertujuan agar menekan resiko korban jiwa dan kerugian materi karena gempa dapat diminimalisir.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini secara umum bertujuan untuk mendapatkan dimensi balok yang dibutuhkan dengan metode SRPMK (Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus) dan Mendapatkan tahanan momen balok yang didapatkan dengan metode SRPMK (Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus). Pengumpulan data bangunan dilakukan pada proyek Pembangunan gedung SD Ummu Aiman. Dalam melakukan analisa pembebanan dilakukan langkah-langkah pertama, mengidentifikasi semua jenis beban yang akan dikenakan pada sistem. Ini mencakup beban permanen seperti berat sendiri struktur, dan beban variabel seperti beban hidup atau angin. Kedua, menentukan besar dan distribusi beban pada sistem. Ini melibatkan perhitungan dan pemodelan matematis yang sesuai dengan karakteristik beban yang dikenakan. Ketiga, menganalisis respons sistem terhadap beban tersebut. Ini melibatkan penggunaan metode analisis struktural atau metode numerik untuk memprediksi respons dan kinerja sistem. Keempat, mengevaluasi hasil analisis dan membandingkannya dengan kriteria desain yang berlaku. Jika hasil analisis memenuhi kriteria, maka sistem dianggap aman dan memadai. Jika tidak, perubahan desain atau tindakan korektif lainnya mungkin diperlukan. Kelima, melakukan literasi jika diperlukan, terutama jika terdapat ketidakseimbangan beban atau kegagalan potensial yang ditemukan selama analisis. Dalam melakukan pemodelan dan analisis stuktur, peneliti menggunakan software SAP2000 V14 yang berguna untuk membuat model 3D dari gedung SD Ummu Aiman mulai dari elemen-elemen structural seperti balok, kolom, dinding, pelat, tangga, dan sebagainya.

HASIL PENELITIAN PEMBEBANAN PADA STRUKTUR

A. Beban Mati

| | |
|-----------------------|---------------------------------|
| Berat beton bertulang | : 2400 Kg/m ³ |
| Berat Baja | : 7850 Kg/m ³ |
| Adukan spesi | : 21 Kg/m ³ |
| Tegel | : 24 Kg/m ³ |
| Plafond | : 11 Kg/m ³ |
| Penggantung plafond | : 7 Kg/m ³ |
| Beban Dinding | |
| Bata ringan citicon | : 600 Kg/m ³ |
| Plester | : 11,1 Kg/m ² /10 mm |
| Acian | : 3 Kg/m ² /2 mm |
| Thinbed | : 4 Kg/m ² /3mm |
| Total Beban Dinding | = 122,56 Kg/m ² |

Tinggi Dinding

$$\text{Lantai 1} = 4,5 \times 122,56 = 552 \text{ Kg/m}$$

$$\text{Lantai 2-8} = 5 \times 122,56 = 490 \text{ Kg/m}$$

B. Beban Hidup

| | |
|--------------------------------|-------------------------|
| Atap | : 96 Kg/m ² |
| Gedung Perkuliahan | : 192 Kg/m ² |
| Koridor di atas lantai pertama | : 383 Kg/m ² |
| Ruang Pertemuan | : 479 Kg/m ² |
| Tangga | : 300 Kg/m ² |

C. Beban Angin minimum :

Perhitungan beban angin menggunakan peraturan SNI 1727 2013. Berikut tahap-tahap perhitungan beban angin pada struktur bangunan gedung:

1. Menentukan kategori resiko

Kategori resiko gedung ini adalah kategori 4

2. Menentukan kecepatan angin dasar

Data kecepatan angin dasar didapat dari data kecepatan angin BMKG, $V = 13,6 \text{ m/s}$

3. Faktor arah angin $K_d = 0,85$

Faktor eksposur = B

Faktor topografi $K_{zt} = 1$

Faktor efek tiupan $G = 0,85$

Klasifikasi ketertutupan : Bangunan Tertutup

Koefisien tekanan internal $G_{cpi} = \pm 0,18$

4. Menentukan koefisien tekanan velositas

$$Z = 38,3 \text{ m} \quad \square\square = 7$$

$$Z_g = 365,76 \text{ m}$$

$$K_h = 1,05$$

$$K_z = 1,05$$

5. Menentukan tekanan velositas

$$q_z = 101,83 \text{ N/m}^2$$

$q_h = 101,36 \text{ N/m}^2$
 Koefisien eksternal, C_p atau C_n
 Bangunan
 $L/b = 1,67$
 Atap
 $h/L = 2,05$
 6. Tekanan angin

Tabel 1 Tekanan Angin

| Arah Angin | Bangunan | | Atap | |
|--------------|----------|-----------------------|-------|-----------------------|
| | C_p | P | C_p | P |
| Angin Datang | 0,8 | 692 Kg/m^2 | -0,7 | -6,03 Kg/m^2 |
| Angin Pergi | -0,5 | -431 Kg/m^2 | -0,6 | -5,17 Kg/m^2 |
| Angin Tepi | -0,7 | -6,03 Kg/m^2 | | |

Sumber : SNI 1727 2019

D. Beban Gempa

Analisa beban gempa pada gedung ini berdasarkan pada SNI 1728 2012 dengan lokasi gedung berada di Kota Malang, Jawa Timur. Perhitungan beban gempa menggunakan analisis respon spektrum:

1. Menetapkan kategori resiko gedung berdasarkan SNI 1726-2012 Tabel 1. Untuk gedung yang direncanakan pada tugas akhir ini kategori resiko adalah IV.

Tabel 2 Kategori Resiko Berdasar SNI 1726 2012

| Jenis Pemanfaatan | Kategori Resiko |
|---|-----------------|
| Gedung dan non gedung yang ditunjukkan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk: - Bangunan-bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan | IV |

Sumber : SNI 1727 2012

Nilai untuk Kota Malang adalah $S_1 = 0.25$

2. Penentuan Kelas Situs

Penentuan kelas situs berdasarkan data tanah Kota Malang.

Tabel 3 Hasil Pengolahan data N-SPT Kota Malang

| Lapisan ke i | Tebal lapisan(t) | N-SPT | t/N-SPT |
|--------------|------------------|-------|---------|
|--------------|------------------|-------|---------|

| | | | |
|-------|----|-----------|------|
| 1 | 13 | 16.8 | 0.77 |
| 2 | 6 | 32 | 0.19 |
| 3 | 7 | 32.3 | 0.22 |
| 4 | 3 | 42 | 0.07 |
| 5 | 1 | 43 | 0.02 |
| Total | 30 | 166.16667 | 1.27 |

Sumber : SNI 1727 2019.

Nilai tahanan penetrasi standar rata-rata pada lapisan tanah tebal 30 m adalah

$$\bar{N} = \frac{\sum \text{tebal lapisan tanah}}{t/N-SPT} = 23,6$$

3. Menentukan klasifikasi situs berdasar tabel SNI 1726 2012

$$\bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^n di}{\sum_{i=1}^n \frac{di}{ni}}$$

Memenuhi kelas situs SD

$$\begin{aligned} SD &= 15 < \bar{N} < 50 \\ &= 15 < 23.6 < 50 \end{aligned}$$

4. Menentukan parameter percepatan gempa Fa dan Fv

$$\begin{aligned} S_s &= 0.7 \\ S_1 &= 0.25 \end{aligned}$$

Kelas situs SD

Penentuan nilai Fa dan Fv melalui interpolasi tabel SNI 1726 2012

Tabel 4 Koefisien Situs Fa

| Kelas situs | Parameter respons spektral percepatan gempa (MCER) terpetakan pada perioda pendek, T=0,2 detik, 5 | | | | |
|-------------|---|--------|-------------|--------|---------------|
| | Ss ≤ 0,25 | Ss=0,5 | Ss=0,7 5 | Ss=1,0 | Ss ≥ 1,2 5 |
| SA | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 |
| SB | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| SC | 1,2 | 1,2 | 1,1 | 1 | 1 |
| SD | 1,6 | 1,4 | 1,2 | 1,1 | 1 |
| SE | 2,5 | 1,7 | 1,2 | 0,9 | 0,9 |
| SF | Ss ^b | | | | |

Sumber : SNI 1727 2012

Tabel 1 Koefisien Situs Fv

| Kelas situs | Parameter respons spektral percepatan gempa (MCER) terpetakan pada perioda pendek, T=0,2 detik, 5 | | | | |
|-------------|---|--------|--------|--------|----------|
| | S1 ≤ 0,1 | S1=0,2 | S1=0,3 | S1=0,4 | S1 ≥ 0,5 |
| SA | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 |
| SB | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 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 | S _s ^b | | | | |

$$\begin{aligned} F_a &= 1.24 \\ F_v &= 1.9 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_o &= \frac{0.2 S_{D1}}{S_{Ds}} = \frac{0.2 \times 0.3}{0.58} = 0.109 \\ T_s &= \frac{S_{D1}}{S_{Ds}} = \frac{0.32}{0.58} = 0.55 \end{aligned}$$

5. Menghitung parameter percepatan desain spektral, dengan melakukan perhitungan untuk nilai S_{ms} dan S_{m1} sebagai berikut :

$$\begin{aligned} S_{ms} &= F_a \cdot S_s = 0.87 \\ S_{m1} &= F_v \cdot S_1 = 0.48 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{Ds} &= \frac{2}{3} S_{ms} = 0.58 \\ S_{D1} &= \frac{2}{3} S_{m1} = 0.32 \end{aligned}$$

6. Menentukan kategori desain seismik berdasarkan Tabel

Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode Pendek (SNI 1726-2012 Tabel 6)

Tabel 5 Nilai S_{ds} dan Kategori Resiko

| Nilai S _{DS} | Kategori Resiko | |
|--------------------------------|--------------------|----|
| | 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 |

Sumber : SNI 1727 2012

Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode 1 s (SNI 03-1726-2012 Tabel 7)

Tabel 6 Nilai S_{d1} dan Kategori Resiko

| Nilai S _{D1} | Kategori Resiko | |
|-----------------------|--------------------|----|
| | I atau II atau III | IV |

| | | |
|-----------------------------|---|---|
| $S_{DI} < 0,067$ | A | A |
| $0,067 \leq S_{DI} < 0,133$ | B | C |
| $0,133 \leq S_{DI} < 0,20$ | C | D |
| $0,20 \leq S_{DI}$ | D | D |

Sumber : SNI 1727 2019

Sehingga gedung ini termasuk Kategori Desain Seismik D dan sistem struktur yang dipakai adalah Sistem Ganda SRPMK dan Dinding Struktur Khusus.

Tabel 7 Penentuan Sistem Struktur

| Sistem Penahan Gaya Gempa | Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur | | | | |
|---|---|----|----|----|----|
| | Kategori Desain Seismik | | | | |
| | B | C | D | E | F |
| A. Sistem Dinding Penumpu | | | | | |
| 1. Dinding geser beton bertulang khusus | TB | TB | 48 | 48 | 30 |
| 2. Dinding geser beton bertulang biasa | TB | TB | TI | TI | TI |
| B. Sistem rangka pemikul momen | | | | | |
| 3. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus | TB | TB | TB | TB | TB |
| 4. Rangka beton bertulang pemikul momen Menengah | TB | TB | TI | TI | TI |
| C. Sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus yang mampu menahan paling sedikit 25 persen gaya gempa yang ditetapkan | | | | | |
| 1. Dinding geser beton bertulang khusus | TB | TB | TB | TB | TB |
| 2. Dinding geser beton bertulang biasa | TB | TB | TI | TI | TI |

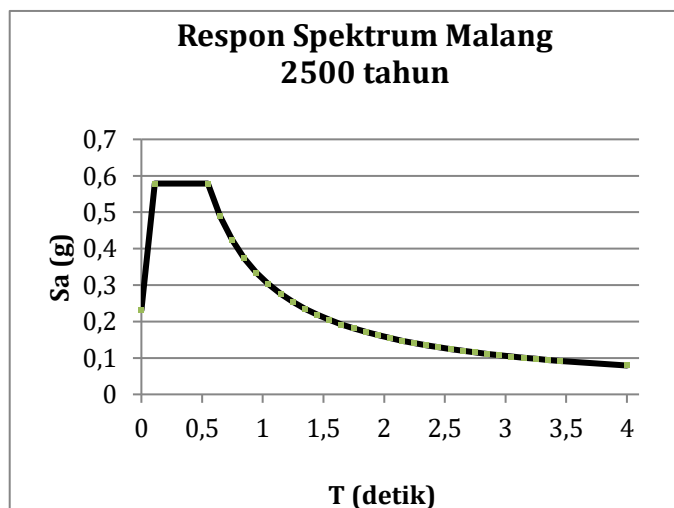
Sumber : SNI 1727 2019
 7. Menentukan koefisien modifikasi respon (R) sebesar 8, faktor pembesaran defleksi (C_d) sebesar $5\frac{1}{2}$ untuk SRPMK. Koefisien modifikasi respon (R) sebesar 7, faktor pembesaran defleksi (C_d) sebesar 5,5 untuk dinding geser berdasarkan SNI 1726-2012 Tabel 8. Pemilihan prosedur analisis struktur menggunakan analisis respon spektrum.

Tabel 8 Respon Spektrum Malang

| T (detik) | T (detik) | Sa (g) |
|-----------|-----------|--------|
| 0 | 0 | 0.231 |
| T0 | 0.11 | 0.58 |

| | | |
|--------|------|------|
| Ts | 0.55 | 0.58 |
| Ts+0.1 | 0.65 | 0.49 |
| Ts+0.2 | 0.75 | 0.42 |
| Ts+0.3 | 0.85 | 0.37 |
| Ts+0.4 | 0.95 | 0.33 |
| Ts+0.5 | 1.05 | 0.30 |
| Ts+0.6 | 1.15 | 0.28 |
| Ts+0.7 | 1.25 | 0.25 |
| Ts+0.8 | 1.35 | 0.24 |
| Ts+0.9 | 1.45 | 0.22 |
| Ts+1.0 | 1.55 | 0.20 |
| Ts+1.1 | 1.65 | 0.19 |
| Ts+1.2 | 1.75 | 0.18 |
| Ts+1.3 | 1.85 | 0.17 |
| Ts+1.4 | 1.95 | 0.16 |
| Ts+1.5 | 2.05 | 0.15 |
| Ts+1.6 | 2.15 | 0.15 |
| Ts+1.7 | 2.25 | 0.14 |
| Ts+1.8 | 2.35 | 0.13 |
| Ts+1.9 | 2.45 | 0.13 |
| Ts+2.0 | 2.55 | 0.12 |
| Ts+2.1 | 2.65 | 0.12 |
| Ts+2.2 | 2.75 | 0.12 |
| Ts+2.3 | 2.85 | 0.11 |
| Ts+2.4 | 2.95 | 0.11 |
| Ts+2.5 | 3.05 | 0.10 |
| Ts+2.6 | 3.15 | 0.10 |
| Ts+2.7 | 3.25 | 0.10 |
| Ts+2.8 | 3.35 | 0.09 |
| Ts+2.9 | 3.45 | 0.09 |
| 4 | 4 | 0.08 |

Sumber : SNI 1727 2019.

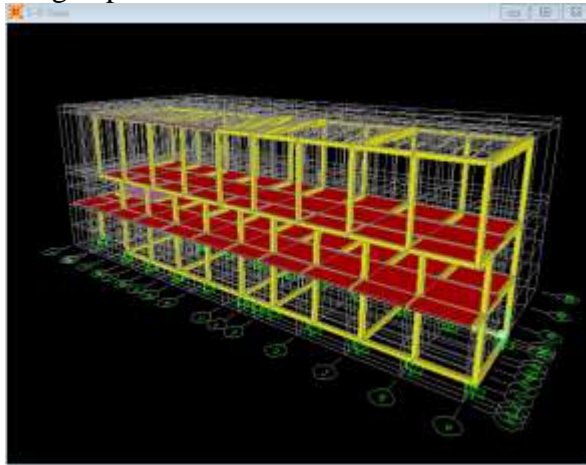


Gambar 1 Respon Spektrum Malang

Sumber : SNI 1727 2019

PEMODELAN SAP 2000

Setelah dilakukan perhitungan dimensi struktur yang dipakai, maka dapat dilanjutkan dengan pemodelan struktur secara 3 dimensi



Gambar 2 Pemodelan Bangunan Gedung Sekolah 3 Dimensi

Sumber : SAP 2000 v.14

Pemodelan struktur dilakukan dengan program SAP 2000 secara 3 dimensi.

Untuk alur pemodelan struktur gedung pada SAP 2000 antara lain:

1. Pendefinisian kekuatan material yang dipakai
2. Pendefinisian dimensi pelat lantai, pelat tangga, pelat atap, balok, dan kolom struktur
3. Pemodelan struktur 3 dimensi
4. Pendefinisian beban rencana pada pemodelan struktur
5. Running software
6. Ekstrak data gaya dalam yang terjadi akibat beban rencana

Hasil Analisa Tulangan pada Struktur Balok

Hasil perencanaan preliminary desain dimensi struktur balok adalah sebagai berikut:

Tabel 9 Hasil Analisa Perhitungan Tulangan Struktur Balok

| Balok | Dimensi | Tulangan Lentur | | Tulangan Geser | | Torsi |
|-------|----------|-----------------|---------------|----------------|---------------|-------|
| | | Tumpuan n | Lapangan n | Tumpuan n | Lapangan n | |
| 1 | 35cm/25c | 2 Ø16 | 2 Ø16 | Ø8-150 | Ø8-200 | 2Ø1 |
| | m | 2 Ø14 | 2 Ø14 | | | 2 |
| 2 | 25cm/20c | 3 Ø14 | 3 Ø25 | Ø8-120 | Ø8-120 | 2Ø1 |
| | m | | | | | 2 |
| Anak | 25cm/20c | 3 Ø25 | 2 Ø25 | Ø8-200 | Ø8-200 | |
| | m | | | | | |

Sumber : Hasil analisa

PERHITUNGAN STRUKTUR BALOK SNI 1726:2012

Data Balok Lantai

1. BAHAN STRUKTUR

Kuat tekan beton $f_c^1 = 20 \text{ MPa}$
 Tegangan leleh baja (deform) untuk tulangan lentu, $f_y = 400 \text{ MPa}$
 Tegangan leleh baja (polos) untuk tulangan geser, $f_y = 240 \text{ Mpa}$

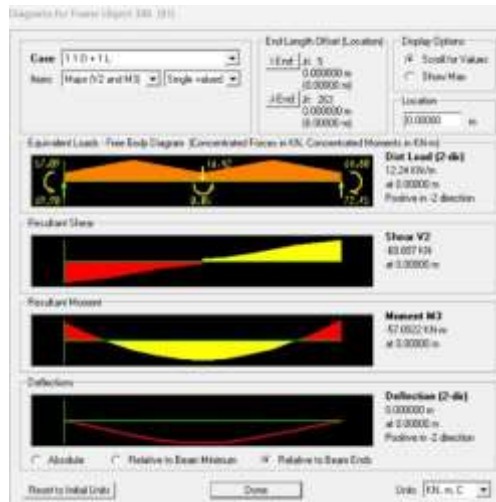
2. DIMENSI BALOK

Lebar balok $b = 250 \text{ mm}$
 Tinggi balok $h = 350 \text{ mm}$
 Diameter tulangan (deform) yang digunakan, $D = 16 \text{ mm}$
 Diameter Sengkang (polos) yang digunakan, $P = 8 \text{ mm}$
 Tebal bersih selimut beton, $t_s = 20 \text{ mm}$

3. MOMEN DAN GAYA GESER RENCANA



Gambar 3 Nilai Axial
 Sumber : SAP 2000 V.14



Gambar 4 Nilai Momen arah x
Sumber : SAP 2000 V.14



Gambar 5 Nilai Momen arah y
Sumber : SAP 2000 V.14

Momen rencana positif akibat beban terfaktor ,

$$M_u^+ = 0,289 \text{ kNm}$$

Momen rencana negative akibat beban terfaktor ,

$$M_u^- = 57,092 \text{ kNm}$$

Gaya geser rencana akibat beban terfaktor , $V_u = 1.687 \text{ kN}$

Perhitungan Tulangan

Untuk : $f_c^1 \leq 30 \text{ MPa}$ $\square\square\square\square\square\square\square\square$

$\square\square\square\square\square\square\square\square$ Untuk : $f_c^1 > 30 \text{ MPa}$ $\square\square = 0,85 - 0,05 * (f_c^1 - 30) / 7 = -$

Faktor bentuk distribusi tegangan beton \rightarrow $\square\square\square\square\square\square\square\square$

$\square\square\square\square\square\square\square\square$ Rasio tulangan pada kondisi *balance* ,

$$\square_b = \square\square^{\square\square\square\square\square\square\square\square} f_c' / f_y * 600 / (600 + f_y) = 0,0217$$

Faktor tahanan momen maksimum ,

$$R_{max} = 0,75 * \square_b * f_y * [1 - 1/2 * 0,75 * \square_b * f_y / (0,85 * f_c^1)]$$

$$= 5,2589$$

Faktor reduksi kekuatan lentur $\square\square = 0,8$

Jarak tulangan terhadap sisi luar beton ,

$$d_s = t_s + \square\square + D/2 = 36,00 \text{ mm}$$

Jumlah tulangan dalam satu baris,

$$n_s = (b - 2 * d_s) / (25 + D) = 4,34$$

Digunakan jumlah tulangan dalam satu baris $n_s = 4$ bh

jarak horizontal pusat ke pusat antara tulangan

$$x = (b - n_s * D - 2 * d_s) / (n_s - 1) = 38,00 \text{ mm}$$

Jarak vertical pusat ke pusat antara tulangan,

$$y = D + 25 = 41,00 \text{ mm}$$

1. TULANGAN MOMEN POSITIF

Momen positif nominal rencana,

$$M_n = M_u^+ / \square = 0,361 \text{ kNm}$$

Diperkirakan jarak pusat tulangan lentur kesisi beton $d' = 50 \text{ mm}$

Tinggi efektif balok

$$d = h - d' = 300,00 \text{ mm}$$

Faktor tahanan momen,

$$R_n = M_n * 10^6 / (b * d^2) = 0,0161$$

Keterangan :

$$R_n < R_{mak} \quad \longrightarrow \quad \text{ok}$$

Rasio tulangan yang diperlukan :

$$\square = 0,85 * f_c' / f_y * [1 - \square\square * (1 - 2 * R_n / (0,85 * f_c'))] = 0,00004$$

Rasio tulangan minimum,

$$\square_{min} = \square\square f_c' / (4 * f_y) = 0,00280$$

Rasio tulangan maksimum,

$$\square_{max} = 4 / f_y = 0,00350$$

Rasio tulangan yang digunakan $\square\square = 0,00350$

Luas tulangan yang diperlukan,

$$A_s = \square * b * d = 263 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan yang diperlukan,

$$n = A_s / (\square / 4 * D^2) = 1,306$$

Digunakan tulangan,

$$2 \quad D \quad 16$$

Luas tulangan terpakai,

$$A_s = n * \square / 4 * D^2 = 402 \text{ mm}^2$$

Jumlah baris tulangan,

$$n_b = n / n_s = 0,50$$

$$n_b < 3 \quad \longrightarrow \quad \text{ok}$$

| Baris ke | Jumlah ni | Jarak y _i | Juml. Jarak N _i * y _i |
|----------|-----------|-----------------------|---|
| 1 | 2 | 36,00 | 72,00 |
| 2 | 0 | 0,00 | 0,00 |
| 3 | 0 | 0,00 | 0,00 |
| N = | 2 | $\square [n_i * y_i]$ | 72 |

Letak titik berat tulangan, $d' = \square [n_i * y_i] / n = 36,00 \text{ mm}$

$$36,00 < 50 \quad \longrightarrow \quad \text{OK}$$

Tinggi efektif balok,

$$d = h - d' = 314,00 \text{ mm}$$

$$a = A_s * f_y / (0,85 * f_c' * b) = 37,847 \text{ mm}$$

Momen nominal,

$$M_n = A_s * f_y * (d - a / 2) * 10^{-6} = 47,463 \text{ kNm}$$

Tahanan momen balok,

$$\phi * M_n = 37,970 \text{ kNm}$$

Syarat :

$$\phi * M_n \geq M_u^+$$

$$37,970 > 0,289 \rightarrow \text{AMAN (OK)}$$

2. TULANGAN MOMEN NEGATIF

Momen positif nominal rencana,

$$M_n = M_u^- / \phi = 71,365 \text{ kNm}$$

Diperkirakan jarak pusat tulangan lentur kesisi beton $d' = 50 \text{ mm}$

Tinggi efektif balok

$$d = h - d' = 300,00 \text{ mm}$$

Faktor tahanan momen,

$$R_n = M_n * 10^6 / (b * d^2) = 3,1718$$

Keterangan :

$$R_n < R_{mak} \rightarrow \text{ok}$$

Rasio tulangan yang diperlukan :

$$\phi = 0,85 * f_c' / f_y * [1 - \phi * (1 - 2 * R_n / (0,85 * f_c'))] = 0,00885$$

Rasio tulangan minimum,

$$\phi_{min} = \phi * f_c' / (4 * f_y) = 0,00280$$

Rasio tulangan maksimum,

$$\phi_{max} = 4 / f_y = 0,00350$$

Rasio tulangan yang digunakan $\phi = 0,00885$

Luas tulangan yang diperlukan,

$$A_s = \phi * b * d = 664 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan yang diperlukan,

$$n = A_s / (\phi / 4 * D^2) = 3,302$$

Digunakan tulangan,

$$4 \quad D \quad 16$$

Luas tulangan terpakai,

$$A_s = n * \phi / 4 * D^2 = 804 \text{ mm}^2$$

Jumlah baris tulangan,

$$n_b = n / n_s = 1,0$$

$$n_b < 3 \rightarrow \text{ok}$$

| Baris Ke | Jumlah ni | Jarak yi | Juml. Jarak Ni * yi |
|----------|-----------|--------------------|---------------------|
| 1 | 6 | 36,00 | 144,00 |
| 2 | 0 | 0,00 | 0,00 |
| 3 | 0 | 0,00 | 0,00 |
| N = | 4 | $\phi [n_i * y_i]$ | 144 |

$$\text{Letak titik berat tulangan, } d' = \phi [n_i * y_i] / n$$

$$= 36,00 \text{ mm}$$

$$36,00 < 50 \rightarrow \text{OK}$$

Tinggi efektif balok,

$$d = h - d' = 314,00 \text{ mm}$$

$$a = A_s * f_y / (0,85 * f_c' * b) = 75,694 \text{ mm}$$

Momen nominal,

$$M_n = A_s * f_y * (d - a / 2) * 10^{-6} = 88,838 \text{ kNm}$$

Tahanan momen balok,

$$\phi * M_n = 71,071 \text{ kNm}$$

Syarat :

$$\phi * M_n \geq M_u^+$$

$$71,071 > 57,092 \rightarrow \text{AMAN (OK)}$$

3. TULANGAN GESER

Gaya geser ultimit rencana $V_u = 1.687 \text{ kN}$

Faktor reduksi kekuatan geser $\phi = 0,60$

Tegangan leleh tulangan geser $f_y = 240 \text{ MPa}$

Kuat geser beton,

$$V_c = (\phi * f_c') / 6 * b * d * 10^{-3} = 55,902 \text{ kN}$$

Tahanan geser beton,

$$\phi * V_c = 33,541$$

\rightarrow Hanya tulangan geser minimum

Kuat geser Senggang, $V_s = 1,687 \text{ kN}$

Digunakan Senggang berpenampang 2 P 8

Luas tulangan geser Senggang,

$$A_v = n_s * \phi / 4 * p^2 = 100,53 \text{ mm}^2$$

Jarak Senggang yang diperlukan:

$$s = A_v * f_y * d / (V_s * 10^3) = 4290,59 \text{ mm}$$

Jarak Senggang minimum,

$$S_{\min} = d / 2 = 157,00 \text{ mm}$$

Jarak Senggang maksimum,

$$S_{\max} = 250 \text{ mm}$$

Jarak yang harus digunakan $s = 157,00 \text{ mm}$

Diambil jarak Senggang $s = 150 \text{ mm}$

Digunakan Senggang **2 P 8 150 mm**

PERHITUNGAN STRUKTUR BALOK SNI 2847 : 2019

Data-data perencanaan struktur balok induk:

Balok Primer

- Mutu beton, f_c' : 20 MPa
- Mutu baja tulangan, f_y : 240 MPa
- Dimensi balok : 350 x 250 mm
- Bentang balok (L) : 6 m
- Bentang bersih balok (L_n) : 9180 mm
- Diameter tulangan lentur : 12 mm ; $f_y = 400 \text{ Mpa}$
- Diameter tulangan geser : 8 mm ; $f_y = 400 \text{ Mpa}$
- Rencana tulangan torsi : 12 mm ; $f_y = 400 \text{ Mpa}$
- Cover : 20 mm

Cek syarat komponen struktur penahan gempa.

- Bentang bersih komponen struktur tidak boleh kurang dari 4 kali tinggi efektifnya (SNI 2847:2019)

$$L_n = 9170 \text{ mm}$$

$$d = 674,5 \text{ mm}$$

$$4d = 2698 \text{ mm}$$

Sehingga $L_n > 4d$ memenuhi syarat

- Lebar komponen tidak boleh kurang dari $0,3 h$ dan 250 mm (SNI 2847:2019 pasal 21.5.3)

$$b/h = 0,54$$

$$b = 400 \text{ mm} = 0,54 h > 0,3 h$$

$$b = 400 \text{ mm} > 250 \text{ mm}$$

Sehingga lebar komponen memenuhi syarat

-Gaya Aksial

Gaya tekan aksial terfaktor pada komponen, tidak boleh melebihi $\frac{Ag f_c}{10}$ SNI 2847 2019 pasal 21.5.1.1

$$\frac{Ag f_c}{10} = \frac{740 \times 400 \times 30}{10} = 88800 \text{ Kg}$$

$$Nu \text{ balok} = 8025 \text{ Kg} < \frac{Ag f_c}{10} \text{ (oke)}$$

Perhitungan tulangan longitudinal penahan lentur

Menentukan Menentukan harga β_1

$$\begin{aligned} \beta_1 &= 0.85 - 0.05 \frac{(f_c - 28)}{7} \text{ (SNI 2847 : 2019 Pasal 10.2.7.3)} \\ &= 0.85 - 0.05 (30 - 28) / 7 = 0.849 \end{aligned}$$

Menentukan batasan nilai tulangan dengan menggunakan syarat rasio tulangan sebagai berikut:

Mencari \square balance

$$\begin{aligned} \square b &= \frac{0.85 \times \beta_1 \times f_c}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= \frac{0.85 \times 0.849 \times 30}{400} \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0.0325 \end{aligned}$$

Mencari $\square \square$ maksimum

$$\square \square \max = 0.025 \text{ (SNI 2847:2019 pasal 21.5.2.1)}$$

$$\square \square \max = 0.75 \square b = 0.75 \times 0.0325 = 0.024$$

Mencari $\square \square$ minimum

$$\square \square \min = \frac{0.25 \sqrt{f_c}}{f_y} = \frac{0.25 \sqrt{30}}{400} = 0.00342$$

$$\square \square \min = \frac{1.4}{f_y} = \frac{1.4}{400} = 0.0035$$

Maka $\rho_{\min} = 0.0035$

Menentukan harga m

$$m = \frac{f_y}{0.85 f_c} = \frac{400}{0.85 \times 30} = 15.69$$

Perhitungan Tulangan Tumpuan Kiri

Gaya dalam hasil dari SAP adalah $M_u = -60909.8$ Kgm

1. $M_u = 60,9$ Tm
 $d = 740 - 40 - 13 - 25/2 = 674,5$ mm
2. $M_n = M_u / 0.9 = 67,67$ Tm
3. $R_n = M_n / b d^2 = \frac{67,6}{400 \times 674,5^2} = 3,72$
4. $m = 15.69$
5. $\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m R_n}{f_y}} \right)$
 $\rho = \frac{1}{15.69} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15.69 \times 3,72}{400}} \right) = 0.0101$

$$6. A_s = \rho b d = 0.0102 \times 400 \times 674.5 = 2752,105 \text{ mm}^2$$

Dipakai Tulangan:

$$6 \text{ D}25 A_s = 2946,43 \text{ mm}^2$$

$$\rho_{\text{pakai}} = 0.01092$$

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{pakai}} < \rho_{\text{maksimum}}$$

$$0.0035 < 0.01092 < 0.024 \text{ (oke)}$$

Menurut SNI 2847:2019 ps 21.5.2(2) bahwa kuat lentur positif komponen struktur lentur pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari setengah kuat lentur negatifnya, Sehingga dipasang tulangan pada tumpuan bidang tekan sebesar 3 D25 $A_s = 1473,214 \text{ mm}^2$

Cek momen nominal daerah tumpuan kiri

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0.849 f_c b} = \frac{2946,43 \times 400}{0,849 \times 30 \times 400} = 115,74$$

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

$$= 0.9 \times 2946,43 \times 400 \times \left(674,5 - \frac{115,74}{2} \right) = 65,406 \text{ Tm}$$

$$\phi M_n > M_u$$

$$65.406 \text{ Tm} > 60,9 \text{ Tm (oke)}$$

Cek Kondisi Penampang

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{115,74}{0,849} = 136,395 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{d} = \frac{136,395}{674,5} = 0,202 < 0,375 \text{ sehingga penampang } \textit{tension controlled}.$$

Perhitungan Tulangan Tumpuan Kanan

Gaya dalam hasil dari SAP adalah $M_u = -60121.27$ Kgm

1. $M_u = 60,121 \text{ Tm}$
 $d = 740 - 40 - 13 - 25/2 = 674,5 \text{ mm}$
2. $M_n = M_u / 0.9 = 66,801 \text{ Tm}$
3. $R_n = M_n / b d^2 = \frac{66,801}{400 \times 674,5^2} = 3,67$
4. $m = 15.69$
5. $\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m R_n}{f_y}} \right)$
 $\rho = \frac{1}{15.69} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15.69 \times 3,67}{400}} \right) = 0.00995$
6. $A_s = \rho b d = 0.00995 \times 400 \times 674.5 = 2685.633 \text{ mm}^2$

Dipakai Tulangan:

$$6 \text{ D}25 \text{ A}_s = 2946,43 \text{ mm}^2$$

$$\rho_{\text{pakai}} = 0.01092$$

$$\rho_{\text{min}} < \rho_{\text{pakai}} < \rho_{\text{maksimum}}$$

$$0.0035 < 0.01092 < 0.024 \text{ (oke)}$$

Cek momen nominal daerah tumpuan kanan

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,849 f_c b} = \frac{2946,43 \times 400}{0,849 \times 30 \times 400} = 115,74$$

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

$$= 0.9 \times 2946,43 \times 400 \times \left(674,5 - \frac{115,74}{2} \right) = 65,406 \text{ Tm}$$

$$\phi M_n > M_u$$

$$65.406 \text{ Tm} > 60,121 \text{ Tm (oke)}$$

Perhitungan Tulangan Lapangan

Gaya dalam hasil dari SAP adalah $M_u = 20768,2 \text{ Kgm}$

$$1. M_u = 20,768 \text{ Tm}$$

$$d = 674,5 \text{ mm}$$

$$2. M_n = M_u / 0.9 = 23,075 \text{ Tm}$$

$$3. R_n = M_n / b d^2 = \frac{23,075}{400 \times 674,5^2} = 1,27$$

$$4. m = 15.69$$

$$5. \rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m R_n}{f_y}} \right)$$

$$\rho = \frac{1}{15.69} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15.69 \times 1,27}{400}} \right) = 0.00325$$

$$6. A_s = \rho b d = 0.00325 \times 400 \times 674,5 = 877,6857 \text{ mm}^2$$

Dipakai Tulangan:

$$3 \text{ D}25 \text{ A}_s = 1473,214 \text{ mm}^2$$

$$\rho_{\text{pakai}} = 0.00546$$

$\rho_{min} < \rho_{pakai} < \rho_{maksimum}$

$0.0035 < 0.00546 < 0.024$ (oke)

Cek momen nominal

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,849 f_c b} = \frac{1473,214 \times 400}{0,849 \times 30 \times 400} = 57,87 \text{ mm}$$

$$\phi M_n = \phi A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ = 0,9 \times 1473,214 \times 400 \times \left(674,5 - \frac{57,87}{2} \right) = 34,237 \text{ Tm}$$

$\phi M_n > M_u$

$34,237 \text{ Tm} > 20,768 \text{ Tm}$ (oke)

Cek Kondisi Penampang

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{57,87}{0,849} = 68,197 \text{ mm}$$

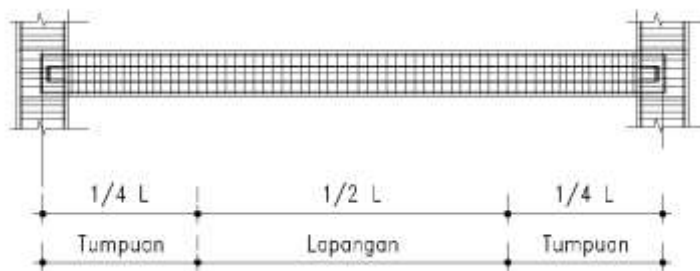
$$\frac{c}{d} = \frac{68,197}{674,5} = 0,101 < 0,375 \text{ sehingga penampang } \textit{tension controlled}.$$

Menurut SNI 2847:2019 ps 21.5.2(2) bahwa kekuatan momen positif atau negatif pada sebarang tempat tidak boleh $< \frac{1}{4}$ kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu joint, sehingga tulangan tekan pada daerah lapangan adalah 2 D25.

Tabel 10 Tabel hasil perhitungan tulangan balok

| Daerah | Mu | Tulangan | ΦM_n | kontrol |
|---------------|-----------|----------|------------|---------|
| Tumpuan Kanan | 61,48 Tm | 6 D25 | 65.406 Tm | Oke |
| Tumpuan Kiri | 60,121 Tm | 6 D25 | 65.406 Tm | Oke |
| Lapangan | 20,768 Tm | 3 D25 | 34,237 Tm | Oke |

Sumber : Hasil Analisa



Gambar 6 Tulangan Balok

Kontrol Syarat Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus Tulangan Lentur:

Tulangan Momen Positif pada tumpuan:

$\frac{1}{2}$ Kekuatan Momen Negatif pada daerah tumpuan

Maka perlu dipasang tulangan 3 D25 di daerah serat tekan pada balok daerah tumpuan

Tulangan Momen Negatif pada daerah lapangan:

$\frac{1}{4}$ Kekuatan momen negatif pada daerah tumpuan,

Maka perlu dipasang tulangan 2 D25 di daerah serat tekan pada balok daerah lapangan

Kontrol jarak antar tulangan

$$s = \frac{b - 2\text{tebal selimut} - 2D_{\text{senggang}} - (n \times D_{\text{tul lentur}})}{n - 1} \geq 25\text{mm}$$

$$s = \frac{400 - 2 \times 40 - 2 \times 25 - (6 \times 25)}{6 - 1}$$

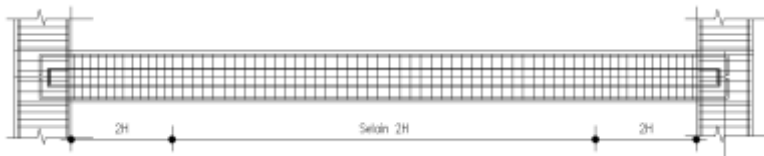
$$s = 28,8 \text{ mm} > 25 \text{ mm (oke)}$$

Perencanaan Tulangan Geser Balok

Perhitungan tulangan geser pada balok berfungsi untuk menentukan tulangan geser yang diperlukan dalam menahan gaya geser, sehingga tidak terjadi retak pada balok.

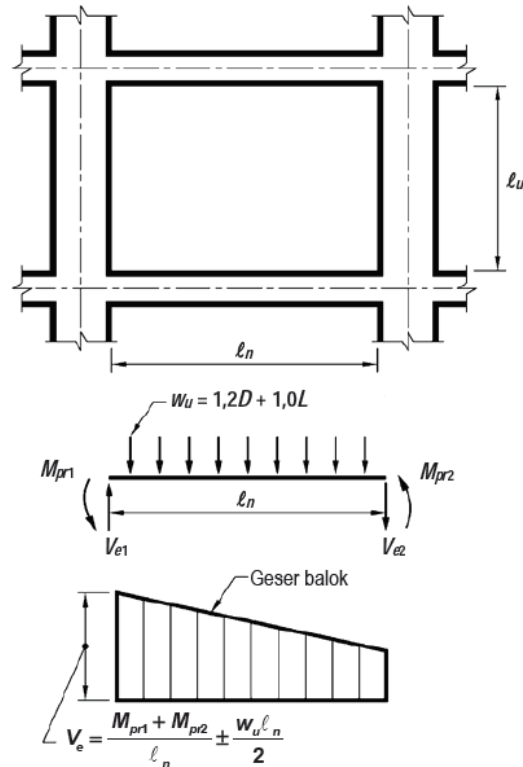
Perencanaan tulangan geser pada balok dibagi menjadi 2 wilayah yaitu:

- Wilayah 1 : mulai dari muka kolom ke tengah bentang sejarak dua kali tinggi balok
- Wilayah 2 : mulai dari jarak dua kali tinggi balok dari muka kolom sampai di tengah bentang



Gambar 7 Tulangan Balok

Penentuan gaya geser balok menggunakan SNI 2847 2019 pasal 21.6.2.2 persamaan 21-1



Gambar 8 Gaya geser rencana komponen balok pada SRPMK

Perhitungan Gaya Geser Ultimate

Menghitung Mpr

Data Tulangan Balok:

- Tulangan Tumpuan kiri daerah tarik = 6 D25
- Tulangan Tumpuan kanan daerah tarik = 6 D25
- Tulangan Tumpuan daerah tarik = 3 D25

Mpr tumpuan tumpuan daerah tarik = 6 D25

$$a = \frac{1,25 A_s x f_y}{0,849 f_c b} = \frac{1,25 x 2945,24 x 400}{0,849 x 30 x 400} = 144,68 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_{pr1} &= 1,25 A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 1,25 x 2945,24 x 400 x \left(674,5 - \frac{144,68}{2} \right) \\ &= 88711,37 \text{ Kgm} \end{aligned}$$

Mpr tumpuan tumpuan daerah tarik = 3 D25

$$a = \frac{1,25 A_s x f_y}{0,849 f_c b} = \frac{1,25 x 1472,6216 x 400}{0,849 x 30 x 400} = 72,34 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_{pr2} &= 1,25 A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 1,25 x 1472,6216 x 400 x \left(674,5 - \frac{72,34}{2} \right) \\ &= 47019,92 \text{ Kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} MPr1 &= 88711,37 \text{ Kgm} \\ Mpr2 &= 47019,92 \text{ Kgm} \\ Wu &= 5300,092 \text{ Kg/m} \end{aligned}$$

Kondisi 1

$$\begin{aligned} V_n &= \frac{Mpr1+Mpr2}{Ln} + \frac{Wu \times Ln}{2} \\ &= \frac{88711,37 + 47019,92}{9,17} + \frac{5300,092 \times 9,17}{2} = 39102,589 \text{ Kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_n &= \frac{Mpr1+Mpr2}{Ln} - \frac{Wu \times Ln}{2} \\ &= \frac{88711,37 + 47019,92}{9,17} - \frac{5300,092 \times 9,17}{2} = -9499,254 \text{ Kg} \end{aligned}$$

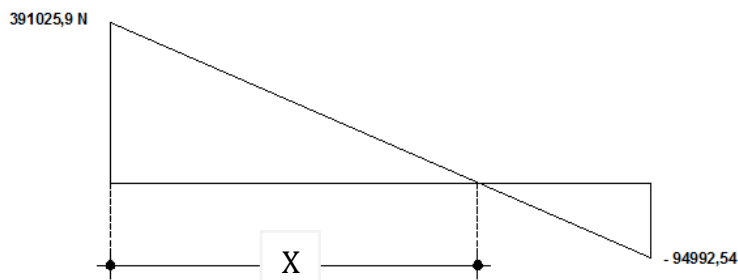
Kondisi 2

$$\begin{aligned} V_n &= \frac{Mpr1+Mpr2}{Ln} + \frac{Wu \times Ln}{2} \\ &= \frac{47019,919 + 88711,372}{9,17} + \frac{5300,092 \times 9,17}{2} = 39102,589 \text{ Kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_n &= \frac{Mpr1+Mpr2}{Ln} - \frac{Wu \times Ln}{2} \\ &= \frac{47019,919 + 88711,372}{9,17} - \frac{5300,092 \times 9,17}{2} = -9499,254 \text{ Kg} \end{aligned}$$

$$Ve1 = 39102,589 \text{ Kg}$$

$$Ve2 = -9499,254 \text{ Kg}$$



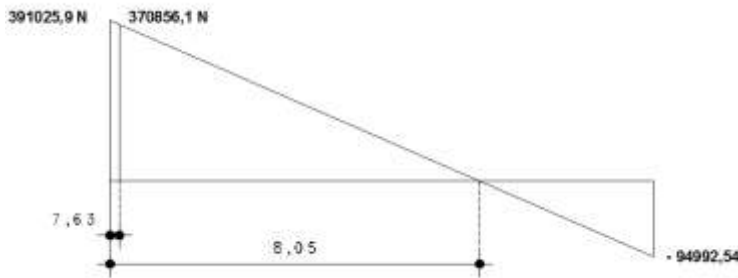
Gambar 9 Diagram Gaya Geser Pada Balok

$$\frac{391025,9}{x} = \frac{94992,54}{10-x}$$

$$x = 8,05 \text{ m}$$

Gaya Geser pada wilayah 1

Daerah muka kolom sampai sejarak dua kali tinggi balok
 $L = 8,05 - (0,83/2) = 7,63 \text{ m}$



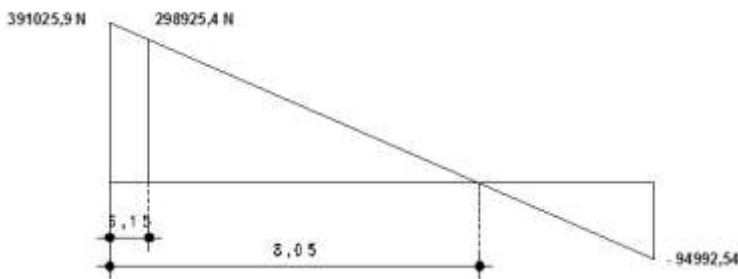
Gambar 10 Diagram Geser Wilayah 1

$$\frac{7,63}{8,05} = \frac{V1}{391025,9}$$

$$V1 = 370856,1 \text{ N}$$

Gaya Geser pada daerah wilayah 2

mulai dari jarak dua kali tinggi balok dari muka kolom sampai di tengah bentang
 $L = 8,05 - (0,83/2 + 2 \times 0,74) = 6,15 \text{ m}$



Gambar 11 Diagram Geser Wilayah 2

$$\frac{6,15}{8,05} = \frac{V2}{391025,9}$$

$$V2 = 298925,4 \text{ N}$$

Menghitung Parameter Syarat perencanaan

$$V_s \text{ min} = \frac{1}{3} b w d = \frac{1}{3} \times 400 \times 674,5 = 89933,33 \text{ N}$$

$$V_s \text{ max} = \frac{2}{3} \sqrt{f_c} b w d = \frac{2}{3} \times \sqrt{30} \times 400 \times 674,5 = 985170,3 \text{ N}$$

$$\varphi (V_c + V_s \text{ min}) = 0,75 \times (0 + 89933,33) = 67450 \text{ N}$$

$$\varphi (V_c + \frac{1}{3} \sqrt{f_c} b w d) = 0,75 \times (0 + \frac{1}{3} \times \sqrt{30} \times 400 \times 674,5) = 369438,9 \text{ N}$$

$$\varphi (V_c + \frac{2}{3} \sqrt{f_c} b w d) = 0,75 \times (0 + \frac{2}{3} \times \sqrt{30} \times 400 \times 674,5) = 738877,7 \text{ N}$$

Penulangan Geser Geser pada wilayah 1

Daerah muka kolom sampai sejarak dua kali tinggi balok

$$\varphi (V_c + \frac{1}{3} \sqrt{f_c} b w d) < V1 < \varphi (V_c + \frac{2}{3} \sqrt{f_c} b w d) \\ 369438,9 \text{ N} < 391025,9 \text{ N} < 738877,7 \text{ N}$$

(kondisi 5)

$$V_s \text{ perlu} = V_u / \varphi - V_c = \frac{391025,9 \text{ N}}{0,75} = 49447.48 \text{ Kg}$$

$$S \text{ maks} < d/4 < 300 \text{ mm}$$

$$d/4 = 674,5 / 4 = 168,625 \text{ mm}$$

$$s \text{ pakai} = 120 \text{ mm}$$

$$A_v = \frac{V_s \times s}{f_y \times d} = \frac{49447.48 \times 10 \times 150}{400 \times 674,5} = 219,929 \text{ mm}^2$$

Dipakai $\Phi 13 - 120 \text{ mm}$

$$A_s \Phi 13 = 132,7323 \text{ mm}^2$$

$$2 \text{ kaki} = 265,4646 \text{ mm}^2 > A_v \text{ (oke)}$$

Penulangan geser pada daerah wilayah 2

mulai dari jarak dua kali tinggi balok dari muka kolom sampai

$$\varphi (V_c + V_s \text{ min}) < V_1 < \varphi (V_c + \frac{1}{3} \sqrt{f_c} b w d)$$

$$67450 \text{ N} < 283294,2 \text{ N} < 369438,9 \text{ N}$$

(kondisi 4)

$$V_s \text{ perlu} = V_u / \varphi - V_c = \frac{298925,4 \text{ N}}{0,75} = 39856.72 \text{ Kg}$$

$$S \text{ maks} < d/2 < 300 \text{ mm}$$

$$d/2 = 674,5 / 2 = 337,25 \text{ mm}$$

$$s \text{ pakai} = 150 \text{ mm}$$

$$A_v = \frac{V_s \times s}{f_y \times d} = \frac{39856.72 \times 10 \times 150}{400 \times 674,5} = 221,59 \text{ mm}^2$$

Dipakai $\Phi 13 - 150 \text{ mm}$

$$A_s \Phi 13 = 132,7323 \text{ mm}^2$$

$$2 \text{ kaki} = 265,4646 \text{ mm}^2 > A_v \text{ (oke)}$$

Tabel 11 Hasil Perhitungan Tulangan Geser Balok

| Daerah | V_u | A_v perlu | Tulangan | A_v (2kaki) | kontrol |
|-----------|---------------|-------------------------|---------------------|-------------------------|---------|
| Wilayah 1 | 370856,1 N | 219.93 mm^2 | $\Phi 13-120$ mm | 265.46 mm^2 | Oke |
| Wilayah 2 | 298925,4 N | 221.59 mm^2 | $\Phi 13-150$ mm | 265.46 mm^2 | Oke |

Sumber : Hasil Analisa

Perhitungan Tulangan Torsi

Berdasarkan hasil program SAP diperoleh momen puntir sebesar:

Tu tumpuan = 3839,28 Kgm

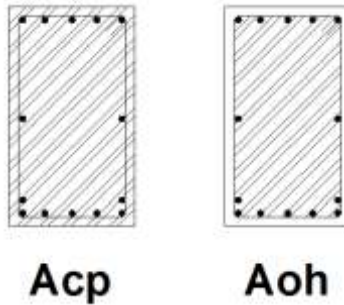
Tu lapangan = 159,55 Kgm

Gaya Geser Ultimate

$V_u = 335043,3 \text{ N}$

Pengaruh momen puntir dapat diabaikan apabila momen puntir Tu kurang dari:

$$T_u = \Phi 0,083 \lambda \sqrt{f_c} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$



Gambar 12 Aoh dan Acp pada balok

Sumber : Hasil Analisa

$$A_{cp} = 400 \times 740 = 296000 \text{ mm}^2$$

$$P_{cp} = 2 \times (400 + 740) = 2280 \text{ mm}$$

$$T_u = \Phi 0,083 \sqrt{30} \left(\frac{296000^2}{2280} \right) = 1310,233 \text{ Kgm}$$

Tu Tumpuan > Tu min

$$3839,28 \text{ Kgm} > 1310,233 \text{ Kgm}$$

Tu Lapangan < Tu min

$$159,55 \text{ Kgm} < 1310,233 \text{ Kgm}$$

Sehingga daerah tumpuan memerlukan tulangan torsi

Sehingga daerah lapangan tidak memerlukan tulangan torsi

Mengecek dimensi penampang untuk menahan torsi

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w d} \right)^2 + \left(\frac{T_u P_h}{1,7 A_{oh}^2} \right)^2} \leq \phi \left(\frac{V_c}{b_w d} + 0,66 \sqrt{f'c} \right)$$

Bh = b – 2 x tebal selimut – Φ sengkang

$$= 400 - (2 \times 40) - 13 = 307 \text{ mm}$$

Hh = h – 2 x tebal selimut – Φ sengkang =

$$= 740 - (2 \times 40) - 13 = 647 \text{ mm}$$

$$P_h = 2 \times (B_h + H_h) = 2 \times (307 + 647) = 1908 \text{ mm}$$

$$A_{oh} = B_h \times H_h = 307 \times 647 = 198629 \text{ mm}^2$$

$$V_c = 0,17 \sqrt{f_c} b w d$$

$$V_c = 0,17 \sqrt{30} 400 \times 674,5 = 251218,4 \text{ N}$$

$$\sqrt{\left(\frac{335043,3}{400 \times 674,5}\right)^2 + \left(\frac{3839,28 \times 1908}{1,7 \times 198629^2}\right)^2} < \phi \left(\frac{251218,4}{400 \times 674,5} + 0,66 \sqrt{30}\right)$$

$$1,24 < 3,41$$

Maka, penampang balok mampu untuk menahan torsi

Menghitung kebutuhan tulangan torsi

$$\frac{A_t}{s} = \frac{T_u}{\phi 2 A_0 h f_{yt} \cot \theta}$$

$$A_0 = 0,85 A_0 h = 0,85 \times 198629 \text{ mm}^2 = 168834,65 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_t}{s} = \frac{38392800 \text{ N}}{0,75 \times 2 \times 198629 \times 400 \times 1} = 0,32$$

Menghitung kebutuhan tulangan torsi transversal

Luas tulangan transversal akibat V_u :

$$A_v \text{ perlu} = 219,93 \text{ (dari perhitungan tulangan sengkang)}$$

$$A_v / s = 219,93 / 120 = 1,8327$$

Tulangan Sengkang terpasang :

$$\Phi 13 - 120 \text{ mm}, A_v = 265,46 \text{ mm}^2$$

$$A_v / s \text{ pasang} = 265,46 / 120 = 2,212$$

Luas Tulangan transversal setelah ditambah torsi

$$A_v \text{ total} = A_v / s + 2 A_t / s = 1,8327 + 2 \times 0,32 = 2,47$$

$A_v \text{ total} > A_v / s \text{ pasang}$, sehingga perlu perubahan pada tulangan sengkang

Tulangan sengkang baru

Dipasang 3 kaki $\Phi 13-120 \text{ mm}$

$$A_v = 398,196 \text{ mm}^2$$

$$A_v / s = \frac{398,196}{120} = 3,318$$

$$A_v / s > A_v \text{ total} / s \text{ (oke)}$$

Perhitungan tulangan torsi longitudinal

$$A_{tl} = \frac{A_t}{s} \times p h \times \left(\frac{f_{yv}}{f_{yt}}\right) \times \cot^2 \theta$$

$$A_{tl} = 0,32 \times 1908 \times 1 \times 1 = 614,659 \text{ mm}^2$$

Dibagi menjadi 4 buah tulangan

Dipasang tulangan diameter = 19 mm

$$A_s = 4 \times \frac{1}{4} \times \frac{22}{7} \times 19^2 = 1134,115 \text{ mm}^2$$

$A_s > A_{tl}$ (oke)

Tabel 13 Perubahan Tulangan Geser Hasil Perhitungan Tulangan Torsi

| Daerah | Tu | Av total | Tulangan lama | Tulangan baru | Av | kontrol |
|-----------|-------------|------------------------|--------------------|--------------------|------------------------|---------|
| Wilayah 1 | 3747.31 Kgm | 295,4 mm | 2 Φ 13-120 mm | 3 Φ 13-120 mm | 398,19 mm ² | Oke |
| Wilayah 2 | 159,55 Kgm | 221.59 mm ² | 2 Φ 13-150 mm | 2 Φ 13-150 mm | 265.46 mm ² | Oke |

Sumber : Hasil Analisa

Kontrol Syarat Jarak Senggang Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus

- $d/4 = 169 \text{ mm}$
- 6 x diameter tulangan longitudinal terkecil = 150 mm
- 150 mm, tapi tidak perlu kurang dari 100 mm

Maka jarak tulangan sengkang memenuhi syarat SRPMK

Tulangan Torsi Longitudinal:

Dipasang 4 Φ 19

Kontrol Retak Balok

Spasi tulangan yang berada paling dekat dengan permukaan tarik tidak boleh lebih.

$$S = 380 \left(\frac{280}{f_s} \right) - 2,5 \cdot C_c \quad \text{pasal 10.6(4)(10-4)}$$

$$f_s = \frac{2}{3} f_y = \frac{2}{3} \times 400 = 266,67 \text{ Mpa}$$

$$C_c = \text{cover} + \text{sengkang} = 40 + 13 = 53 \text{ mm}$$

$$S = 380 \times \frac{280}{266,67} - 2,5 \times 53 = 266 \text{ mm}$$

Dan tidak boleh lebih dari

$$S = 300 \times \frac{280}{f_s}$$

$$300 \times \frac{280}{266,67} = 315 \text{ mm}$$

Jarak antar tulangan lentur

$$s = \frac{b_w - (2 \times \text{selimut}) - (2 \times D_{\text{sengkang}}) - (n D_{\text{tul.utama}})}{n - 1}$$

$$S = \frac{400 - 2 \times 40 - 2 \times 13 - 6 \times 25}{6 - 1} = 28,8 \text{ mm} > 25 \text{ mm}$$

Maka jarak antar tulang lentur memenuhi syarat keretakan balok

Panjang Penyaluran Balok

Peraturan tentang panjang penyaluran tulangan berada di SNI 2847 2019 pasal 12.2. dan perhitungan sebagai berikut:

Tabel 14 Panjang Penyaluran Batang Ulir dan Kawat Ulir

| | 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 λd tidak kurang dari minimum tata cara Atau spasi bersih batang tulangan atau kawat yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari $2d_b$ dan selimut bersih tidak kurang dari d_b | $\left[\frac{f_y \Psi_t \psi_e}{2,1 \lambda \sqrt{f'_c}} \right] d_b$ | $\left[\frac{f_y \Psi_t \psi_e}{1,7 \lambda \sqrt{f'_c}} \right] d_b$ |
| Kasus-kasus lain | $\left[\frac{f_y \Psi_t \psi_e}{1,4 \lambda \sqrt{f'_c}} \right] d_b$ | $\left[\frac{f_y \Psi_t \psi_e}{1,1 \lambda \sqrt{f'_c}} \right] d_b$ |

Sumber : Hasil Analisa

a) Panjang penyaluran tulangan tarik:

Diketahui $d_b = 25$ mm;

$$\lambda d = \left[\frac{f_y \Psi_t \psi_e}{1,7 \lambda \sqrt{f'_c}} \right] d_b$$

Ψ_t = Faktor tulangan ; 1

ψ_e = Faktor pelapis ; 1

$$\lambda d = \frac{400 \times 1 \times 1}{1,7 \times 1 \times \sqrt{30}} = 1073 \text{ mm}$$

Syarat $\phi d > 300 \text{ mm}$ (oke)

Reduksi panjang penyaluran

$$\phi \text{reduksi} = \frac{As \text{ perlu}}{As \text{ pasang}} \times \phi d$$

$$= \frac{2752,105}{2946,43} \times 1100 \approx 1025 \text{ mm}$$

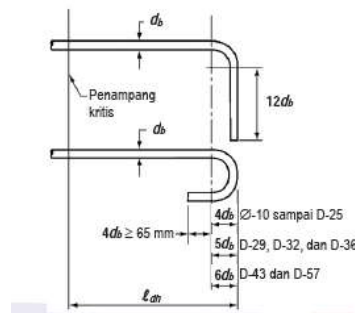
Maka, panjang penyaluran tulangan tarik = 1100 mm

b) Panjang Penyaluran Tulangan Tekan

$$\begin{aligned} \phi dc &= \frac{0,24 fy}{\lambda \sqrt{fc}} \times db & \text{dan} & \quad \phi dc = 0,043 fy \times db \\ &= \frac{0,24 \times 400}{1 \sqrt{30}} \times 25 & \text{dan} & \quad \phi dc = 0,043 \times 400 \times 25 \\ &= 438,178 \text{ mm} & \text{dan} & \quad = 430 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka panjang tulangan tekan = 450 mm

c) Panjang Penyaluran Tulangan Berkait dalam kondisi Tarik

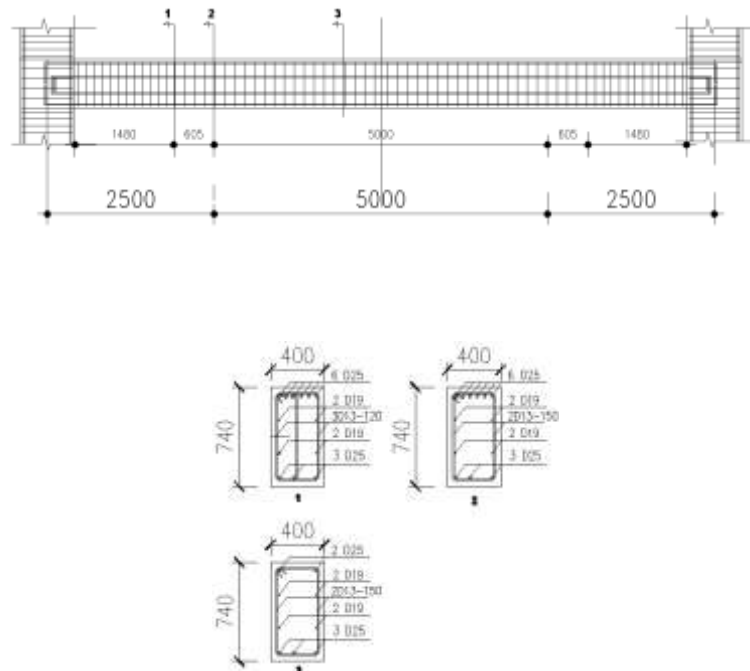


$$\begin{aligned} \phi dh &= \left(\frac{0,24 \times \psi_e fy}{\lambda \times \sqrt{fc}} \right) \times db \\ \phi dh &= \left(\frac{0,24 \times 1 \times 400}{1 \times \sqrt{30}} \right) \times 25 = 438,178 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka panjang penyaluran Tulangan Berkait dalam kondisi Tarik = 450 mm
 $12 d_b = 12 \times 25 = 300 \text{ mm}$

| ID-BALOK | B-1 | |
|----------|----------|-----------|
| POSISI | TUMP. | LAPANGAN |
| | | |
| TULATAS | 6 D25 | 2 D25 |
| TULBAWAH | 2 D25 | 3 D25 |
| SEMKANG | 2013-120 | 2 D13-150 |
| TULBADAN | 4D19 | |

Gambar 13 Contoh Penggambaran Tulangan Balok Induk



Gambar 14 Penulangan Balok Induk

KESIMPULAN

Setelah melakukan analisis yang meliputi pembebanan, analisis aksi lentur, geser, dan aksial, serta kontrol tulangan dengan menggunakan perangkat lunak SAP2000, dapat disimpulkan bahwa desain Gedung SD Ummu Aiman telah sesuai dengan peraturan desain struktur yang berlaku, sebagaimana diatur dalam SNI 2012 dan SNI 2019 yang hampir serupa. Beberapa temuan yang dapat diidentifikasi meliputi:

1. Dimensi Balok Induk pada Gedung SD Ummu Aiman adalah 350 mm x 250 mm.
2. Hasil nilai tahanan momen yang dihasilkan dari analisis perencanaan Gedung SD Ummu Aiman adalah sebagai berikut:
 - a. Berdasarkan SNI 1726:2012 : 37,970 kN/m
 - b. Berdasarkan SNI 2847:2019 : 32,576 kN/m

Temuan ini menggambarkan kesesuaian desain gedung dengan persyaratan SNI dan menunjukkan bahwa gedung tersebut memiliki kemampuan untuk menahan beban dan gaya yang diberikan sesuai dengan standar yang ditetapkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional (2019), "Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung (SNI 2847- 2019)", Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional (2019), "Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain (SNI 1727- 2013)", Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional, "Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1729- 2019)", Jakarta, 2019.
- Badan Pusat Statistik Jawa Timur, "Luas Wilayah Menurut Kabupaten/Kota (km²), 2016-2020", diakses pada 13 Mei 2023, dari <https://jatim.bps.go.id/indicator/153/81/1/luas-wilayah-menurut-kabupaten-kota.html>.
- Betania Mahendrayu, Wahyu Kartini (2012). "Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (Srpmk) Struktur Beton Bertulang Pada Gedung Graha Siantar Top Surabaya". Jurnal Teknik Sipil KERN Vol. 2 No. 2 Nopember 2012
- Comart, Jack (2002), "Desain Beton Bertulang Jilid 1", Erlangga, Jakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum (1983), "Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Bangunan Gedung (PPIUG)", Bandung: Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan.
- Departemen Pekerjaan Umum (1971), "Peraturan Beton Bertulang Indonesia (PBBI)", Bandung: Badan Penelitian dan Pengembangan Departemen Pekerjaan Umum.
- Imran, Iswandi & Hendrik, Fajar (2014). "Perencanaan Lanjut Struktur Beton Bertulang", Bandung: Penerbit ITB.
- Pamungkas, Anugrah & Harianti, Erny (2013). "Desain Pondasi Tahan Gempa", Yogyakarta: ANDI Yogyakarta.
- Reni Darfilun, Awilliambuth, Aloysius A., & Prima Mangiri (2016). "Perencanaan Struktur Beton Pada Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (Srpmk)". Jurnal REKONSTRUKSI TADULAKO Civil Engineering Journal on Research and Development <http://new.jurnal.untad.ac.id/index.php/renstra>.
- Ricky Januar Honarto, Banu Dwi Handono, & Ronny Pandaleke (2019). "Perencanaan Bangunan Beton Bertulang Dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus Di Kota Manado". Jurnal Sipil Statik Vol.7 No.2 Februari 2019 (201-208) ISSN: 2337-6732.

Setiawan, Agus (2016). *“Perancangan Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SNI 2847:2013”*, Jakarta: Erlangga.

Website Resmi SD Ummu Aiman. “Profil SD Ummu Aiman”, diakses pada 16 April 2023, dari <https://sdummuaiman.sch.id/profil>.