

STUDI ALTERNATIF PERENCANAAN DENGAN METODE KOMPOSIT GEDUNG FISIP UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SIDOARJO

Farah Fathati Nuriyana¹⁾, Warsito²⁾, Bambang Suprpto³⁾

- 1) Fakultas Teknik Sipil Universitas Islam Malang, email : ffathati@gmail.com
- 2) Fakultas Teknik Sipil Universitas Islam Malang, email : warsito@unisma.ac.id
- 3) Fakultas Teknik Sipil Universitas Islam Malang, email :
Bambang.Suprpto@unisma.ac.id

ABSTRAKSI

Perencanaan struktur bertujuan untuk menghasilkan suatu struktur yang stabil, kuat, awet, dan memenuhi tujuan-tujuan yang diinginkan. Semakin berkembangnya zaman dan kemajuan teknologi proyek pembangunan juga mengikuti arus perkembangan dengan mencari beberapa alternatif perencanaan, contohnya dengan menggunakan alternatif metode struktur komposit. Struktur komposit adalah suatu material yang terbentuk dari dua atau lebih elemen yang memiliki sifat yang berbeda, seperti beton dan baja. Kombinasi tersebut akan menghasilkan desain profil yang lebih kuat, ringan, dan ekonomis dibandingkan dengan struktur non komposit. Gedung perkuliahan FISIP ini terletak pada kampus I Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, yang memiliki tujuh lantai dengan lebar bangunan 16,5 m, panjang bangunan 24,5 m, tinggi bangunan 31,75 m, dan masuk dalam zona risiko gempa 3. Dalam penulisan tugas akhir ini yaitu merencanakan ulang dengan menggunakan alternatif metode komposit dan proses analisa perhitungannya menggunakan aplikasi StaadPro dengan pemodelan portal 2D dan merencanakan sambungan pada komponen strukturnya. Hasil akhir yang diperoleh tebal pelat 12,5 cm dengan tulangan utama Ø10-125 dan tulangan bagi Ø10-150; balok anak menggunakan profil baja WF300.150.6,5.9, WF 250.125.6.9; balok induk dengan profil baja WF500.200.10.16; kolom dengan profil baja WF400.400.15.15; dan perencanaan pondasi menggunakan pondasi tiang pancang dengan menggunakan diameter 50 cm dan kedalaman 50 m.

Kata Kunci : Perencanaan Struktur, Struktur Komposit, Gedung Perkuliahan.

ABSTRACT

Structure Planning is intending to produce a stable, strong, durable structure and to fulfill the desirable purposes. The more development of era and technology improvement, the development project also following the current of development by searching some various alternative planning, for example by using the alternative of composite structure method. Composite structure is a material which formed by two or more materials which different as physically and character, such as concrete and steel. That combination will produce a stronger profile design, light, and more economic rather than non-composite structure. This lecture building of FISIP is located in Campus 1 of Sidoarjo Muhammadiyah University, which has seven floors with width of the building is 16,5m, the length is 24,5m, the height is 31,75m, and be included in earthquake risk zone 3. In this last assignment writing that is re-planning by using alternative of composite method and counting process by using StaadPro application with 2D portal modeling. The last result which is obtained the plate thickness 12,5cm with main reinforcement Ø10-125 and reinforcement for Ø10-150; the secondary beam using steel profile WF300.150.6,5,9, WF250.126.6,9; the main beam using steel profile WF500.200.10,16; the column using steel profile WF400.400.15,15; and foundation planning is using piling foundation by using 50cm diameter and 50m depth.

Keyword : Structure Planning, Composite Structure, Lecture Building.

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Seiring dengan berkembangnya zaman dan kemajuan teknologi yang semakin pesat menjadikan kebutuhan manusia juga semakin bertambah, salah satunya yaitu bangunan menjadi kebutuhan pokok bagi manusia.

Perencanaan struktur bangunan memiliki tujuan untuk menghasilkan suatu struktur yang kuat dan awet sesuai dengan umur bangunan yang direncanakan. Faktor yang

terpenting dan berpengaruh dalam perencanaan bangunan tingkat tinggi adalah kekuatan bangunan itu sendiri. Maka dari itu harus direncanakan dan diperhitungkan sebaik-baiknya.

Gedung FISIP Universitas Muhammadiyah Sidoarjo memiliki 7 lantai dan dibangun sebagai tempat perkuliahan di kampus I. Dalam pelaksanaannya gedung ini menggunakan struktur beton bertulang.

Dalam penulisan skripsi ini penulis akan menggunakan alternatif konstruksi komposit. Karena struktur beton bertulang memiliki beban dan dimensi yang besar sehingga berpengaruh pada struktur penahan gempa. Sedangkan konstruksi komposit adalah kombinasi antara elemen baja beton yang akan menghasilkan suatu komponen yang ideal, lebih kuat, dan lebih ringan. Dalam pelaksanaannya juga struktur komposit jauh lebih ekonomis dan bermanfaat jika dibandingkan dengan beton bertulang.

Rumusan Masalah

Dirumuskan beberapa rumusan masalah sesuai dengan identifikasi masalah yang ada yaitu :

1. Berapakah beban pelat yang bekerja pada gedung FISIP Universitas Muhammadiyah Sidoarjo ?
2. Berapakah beban balok komposit yang bekerja pada gedung FISIP Universitas Muhammadiyah Sidoarjo ?
3. Berapakah beban kolom komposit yang bekerja pada gedung FISIP Universitas Muhammadiyah Sidoarjo ?
4. Berapakah beban pondasi tiang pancang yang bekerja pada gedung FISIP Universitas Muhammadiyah Sidoarjo ?

Tujuan & Manfaat Penelitian

1. Tujuan
 - a. Untuk mengetahui beban pelat yang bekerja pada gedung FISIP Universitas Muhammadiyah Sidoarjo.
 - b. Untuk mengetahui beban balok komposit yang bekerja pada gedung FISIP Universitas Muhammadiyah Sidoarjo.
 - c. Untuk mengetahui beban kolom komposit yang bekerja pada gedung FISIP Universitas Muhammadiyah Sidoarjo.
 - d. Untuk mengetahui beban yang bekerja pada pondasi tiang pancang pada gedung FISIP Universitas Muhammadiyah Sidoarjo.
2. Manfaat
 - a. Dapat berkontribusi melalui pemikiran dalam merencanakan struktur bangunan sehingga dapat dijadikan referensi pendidikan.

TINJAUAN PUSTAKA

Struktur Komposit

1. Umum

Sudah sejak lama ditemukan balok komposit untuk menopang pelat beton. Pada awal tahun 1960 mulai dikembangkan penggunaan komponen struktur komposit untuk bangunan gedung. Elemen komposit yang digunakan adalah balok baja yang diselimuti atau yang menopang pelat dengan penghubung geser. Komponen struktur komposit ini dapat menahan beban sekitar 30%-50% lebih besar daripada beban yang dipikul oleh balok baja tanpa adanya perilaku komposit.

2. Pembebanan

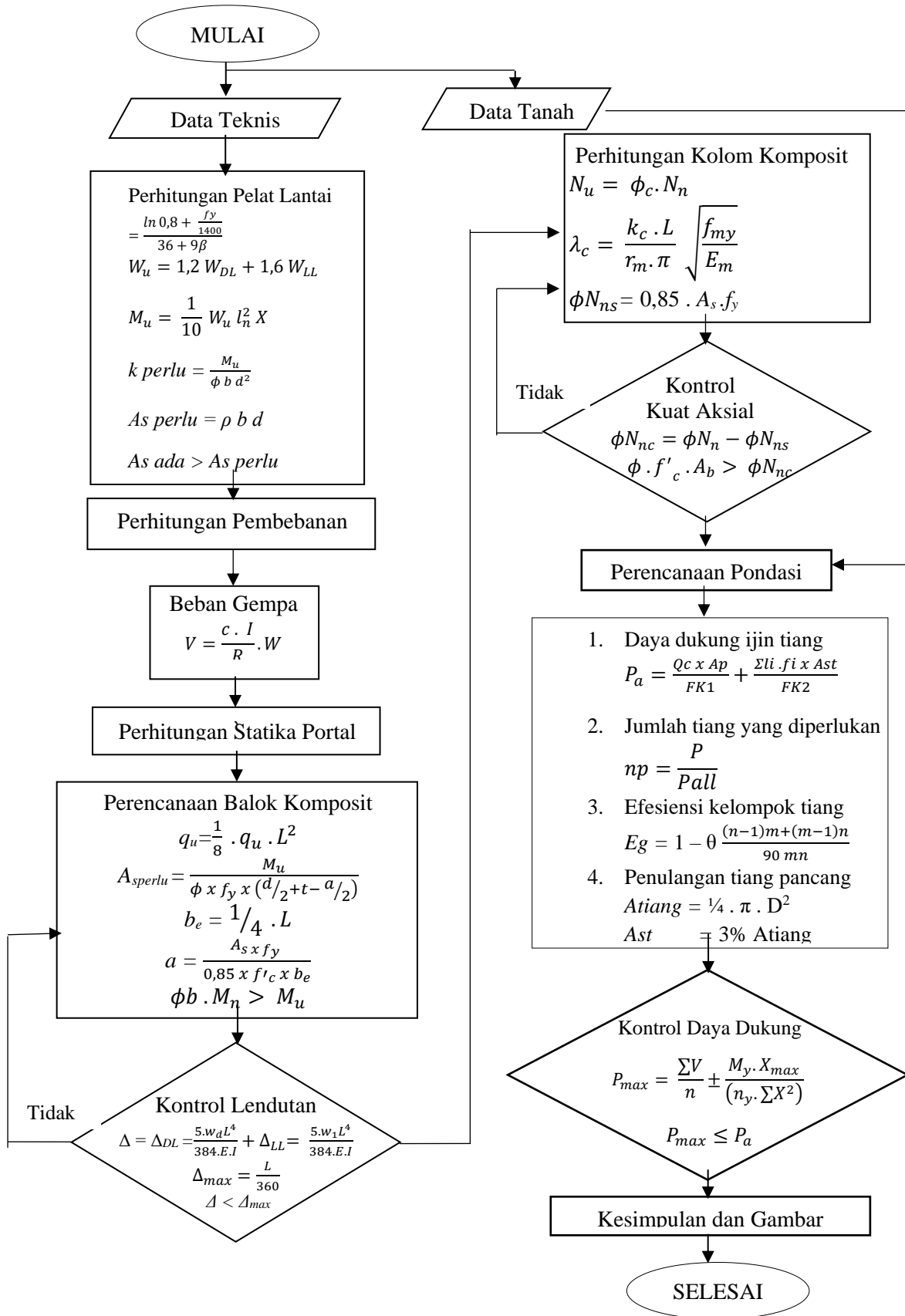
Pembebanan merupakan faktor terpenting dalam merancang sebuah struktur bangunan. Beban-beban yang bekerja pada suatu struktur ditimbulkan oleh gaya-gaya alami dan buatan manusia. Struktur bangunan dikatakan aman dan stabil apabila dapat menahan beban-beban yang bekerja pada bangunan tersebut, seperti :

- a. Beban mati
Merupakan berat seluruh bagian yang bersifat tetap yang berada pada bangunan.
- b. Beban hidup
Merupakan beban yang bersifat bergerak yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung.
- c. Beban gempa
Beban statik ekuivalen yang bekerja pada gedung atau bagian gedung akibat adanya pergerakan tanah, baik pergerakan arah vertikal maupun horizontal.

METODOLOGI PENELITIAN

1. Lokasi Proyek
Proyek ini terletak di kampus I Universitas Muhammadiyah Sidoarjo kelurahan Sidowayah, kecamatan Sidoarjo, kabupaten Sidoarjo.
2. Pengumpulan data
Nama proyek : Pembangunan gedung perkuliahan FISIP Universitas Muhammadiyah Sidoarjo
Fungsi gedung : Gedung perkuliahan
Jumlah lantai : 7 lantai
Ukuran gedung :
 - P = 24,5 meter
 - L = 16,5 meter
 - T = 31,75 meter
3. Tahap Penyelesaian
 - a. Persiapan adalah tahap penentuan data-data yang diperlukan untuk mendukung perencanaan struktur.
 - b. Pengumpulan data. Dalam pengumpulan data peran instansi terkait sangat penting sebagai pendukung dalam perolehan data.
 - c. Perencanaan dan perhitungan pelat lantai, kemudian hasilnya dianalisa untuk mengetahui struktur aman atau tidak berdasarkan beban yang bekerja.
 - d. Pemilihan profil baja yang digunakan pada elemen utama seperti, balok dan kolom.
 - e. Pemodelan struktur portal pada StaadPro.
 - f. Analisa kontrol profil baja dari hasil pemodelan struktur terhadap momen, gaya tekan, gaya tarik, dan gaya geser.
 - g. Tahap kesimpulan. Dari hasil analisa perhitungan maka dibuat suatu kesimpulan berdasarkan tujuan dari penelitian tersebut.

Diagram Alir Penelitian



PEMBAHASAN

Data Perencanaan

- a. Fungsi gedung : Gedung Perkuliahan
- b. Lokasi gedung : Sidoarjo
- c. Jumlah lantai : 7 lantai
- d. Jenis struktur : Struktur komposit
- e. Zona gempa : Zona 3
- f. Mutu bahan f_c' : 35 MPa
- g. Mutu bahan f_y : 240 MPa (polos)
: 400 MPa (ulir)

Plat Lantai

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{240} = 0,0058$$

$$\begin{aligned} A_{S_{\text{perlu}}} &= \rho_{\min} \cdot b \cdot d_x \\ &= 0,0058 \times 1000 \times 100 \\ &= 580 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Tulangan Pokok} = \text{Ø}10 - 125$$

$$\begin{aligned} A_{S_{\text{ada}}} &= 1000/125 \times \frac{1}{4} \times \pi \times \text{Øtulangan}^2 \\ &= 1000/125 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 10^2 \\ &= 628 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

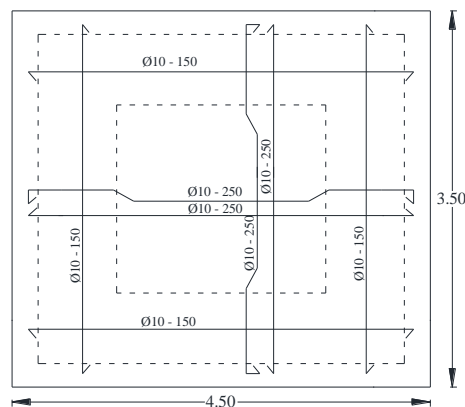
$$A_{S_{\text{ada}}} > A_{S_{\text{perlu}}} = 628 \text{ mm}^2 > 580 \text{ mm}^2$$

$$\text{Tulangan Bagi} = \text{Ø}10 - 150$$

$$\begin{aligned} A_{S'_{\text{bagi}}} &= \rho \cdot b \cdot d_x \\ &= 0,0017 \times 1000 \times 100 \\ &= 170 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{S'_{\text{ada}}} &= 1000/150 \times \frac{1}{4} \times \pi \times \text{Øtulangan}^2 \\ &= 1000/150 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 10^2 \\ &= 523,3 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$A_{S'_{\text{ada}}} > A_{S'_{\text{perlu}}} = 523,3 \text{ mm}^2 > 170 \text{ mm}^2$$



Gambar 1. Penulangan pelat lantai 1 sampai lantai 7
(Sumber : Hasil perhitungan)

Balok Anak

Menggunakan Profil WF 300.150.6,5.9 (Tabel Profil Konstruksi Baja, hal 20)

BJ 37, $f_y = 370$ Mpa (SNI 03-1729-2002, hal 11)

Tebal pelat (ts) = 12,5 cm

Periksa Lendutan

Lendutan yang diizinkan

$$\Delta_{\text{izin}} = 1,11 \text{ cm}$$

Lendutan yang terjadi

$$\Delta_{\text{DL}} = 0,074 \text{ cm}$$

$$\Delta_{\text{LL}} = 0,033 \text{ cm}$$

$$\Delta_{\text{Total}} = \Delta_{\text{DL}} + \Delta_{\text{LL}} = 0,11 \text{ cm}$$

$$\Delta_{\text{ijin}} > \Delta_{\text{total}} = 1,11 \text{ cm} > 0,11 \text{ cm}$$

Daya dukung shear connector

$$q_1 = \frac{d_1 \cdot S}{\frac{I_{tr}}{4376,91 \times 11274,28}}$$
$$= \frac{25817,20}{1911,38 \text{ kg/cm}}$$

$$q_2 = 1433,54 \text{ kg/cm}$$

$$q_3 = 955,69 \text{ kg/cm}$$

$$q_4 = 477,85 \text{ kg/cm}$$

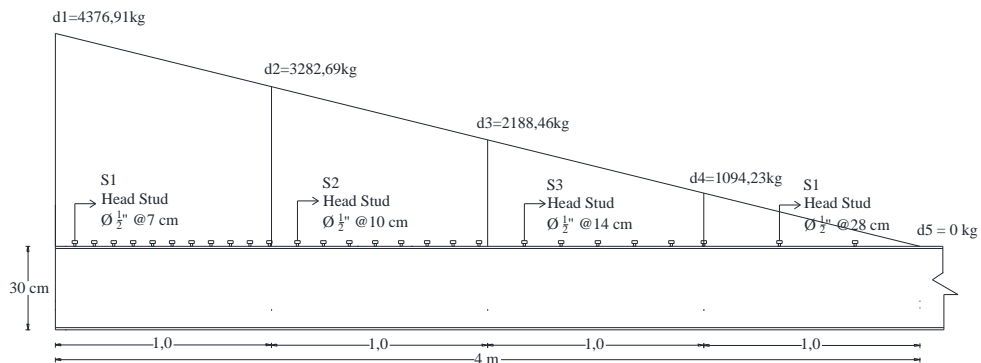
jarak antar shear connector

$$s_1 = \frac{Q_n}{q_1} = \frac{(11274,28)}{1911,38} = 5,90 \text{ cm} \approx 6 \text{ cm}$$

$$s_2 = 7,86 \text{ cm} \approx 8 \text{ cm}$$

$$s_3 = 11,80 \text{ cm} \approx 12 \text{ cm}$$

$$s_4 = 23,59 \text{ cm} \approx 24 \text{ cm}$$



Gambar 2. Detail profil dan shear connector
(Sumber : Hasil perhitungan)

Analisa gempa

Berat total bangunan

$$W_{\text{total}} = 541465,28 \text{ kg}$$

Tabel 1 Berat total bangunan

Jumlah	DL (kg)	LL (kg)	Berat Total (kg)
atap	62285,6	12925,44	75211,04
7	64783,6	12925,44	77709,04
6	64783,6	12925,44	77709,04
5	64783,6	12925,44	77709,04
4	64783,6	12925,44	77709,04
3	64783,6	12925,44	77709,04
2	64783,6	12925,44	77709,04
JUMLAH			541465,28

(sumber : hasil perhitungan)

Tabel 2 Berat tingkat

Jumlah	H (m)	Berat Tingkat (kg)	W.h (kg)
atap	28	75211,04	2105909,12
7	24	77709,04	1865016,96
6	20	77709,04	1554180,80
5	16	77709,04	1243344,64
4	12	77709,04	932508,48
3	8	77709,04	621672,32
2	4	77709,04	310836,16
JUMLAH		541465,28	8633468,48

(sumber : hasil perhitungan)

Parameter Percepatan Terpetakan

Parameter percepatan batuan dasar diambil dari pera gerak tanah seismik dari website resmi PU sesuai lokasi proyek penelitian 1% dalam kurun waktu 50 tahun, dan didapatkan nilai $S_s = 0,680$ g dan $S_1 = 0.269$ g (Puskim. 2019)

Waktu getar alami dasar

$$\begin{aligned}
 T_a &= 0,1 \times N \\
 &= 0,1 \times 8 \\
 &= 0,8 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

Penentuan Koefisien R, Ω_0 , dan Cd

Sistem penahan gaya gempa Struktur Rangka Baja dan Beton Komposit berdasarkan SNI 1726:2012 pasal 7.2.

$$R = 5 \quad Cd = 3 \quad \Omega_0 = 4,5$$

Tabel 3 Distribusi gaya gempa

Lantai	hi (m)	Hi ^k (m)	Wi (kg)	W.h (kgm)	Wi . Hi ^k (kg)	Cvx	Fx (kg)
atap	28	46,156	75211,04	2105909,12	3471469,31	0,259	17116,751
7	24	38,658	77709,04	1865016,96	3004100,60	0,224	14812,299
6	20	31,35	77709,04	1554180,80	2435880,84	0,182	12010,582
5	16	24,25	77709,04	1243344,64	1884558,07	0,141	9292,178
4	12	17,42	77709,04	932508,48	1353723,53	0,101	6674,796
3	8	10,93	77709,04	621672,32	849229,42	0,063	4187,290
2	4	4,925	77709,04	310836,16	382684,20	0,029	1886,898
JUMLAH				8633468,48	13381645,96		65980,793

(sumber : hasil perhitungan)

Balok Induk

Diperoleh data dari hasil perhitungan StaadPro :

Mu 06 : 18685,00 kgm

Pemilihan Profil

Menggunakan Profil WF 500.200.10.16 (Tabel Profil Konstruksi Baja, hal 20)

BJ 37 , fy = 370 Mpa (SNI 03-1729-2002, hal 11)

Tebal pelat (ts) = 12,5 cm

Periksa Lendutan

Lendutan yang diizinkan

$\Delta_{izin} = 1,94 \text{ cm}$

Lendutan yang terjadi

$\Delta_{DL} = 0,13 \text{ cm}$

$\Delta_{LL} = 0,05 \text{ cm}$

$\Delta_{Total} = \Delta_{DL} + \Delta_{LL} = 0,18 \text{ cm}$

$\Delta_{ijin} > \Delta_{total} = 1,94 \text{ cm} > 0,18 \text{ cm}$

Daya dukung shear connector

$$q_1 = \frac{d_1 \cdot S}{I_{tr}}$$

$$= \frac{7235,93 \times 11274,28}{131479,85}$$

$$= 620,47 \text{ kg/cm}$$

$$q_2 = 465,36 \text{ kg/cm}$$

$$q_3 = 310,24 \text{ kg/cm}$$

$$q_4 = 155,12 \text{ kg/cm}$$

jarak antar shear connector

$$s_1 = Q_n/q_1$$

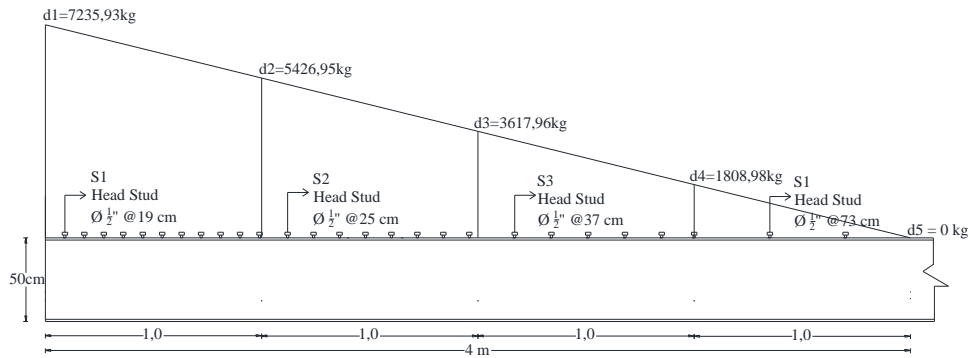
$$= (11274,28)/ 620,47$$

$$= 18,17 \text{ cm} \approx 19 \text{ cm}$$

$$s_2 = 24,23 \text{ cm} \approx 25 \text{ cm}$$

$$s_3 = 36,34 \text{ cm} \approx 37 \text{ cm}$$

$$s_4 = 72,68 \text{ cm} \approx 73 \text{ cm}$$



Gambar 3. Detail profil dan shear connector
(Sumber : Hasil Perhitungan)

Kolom

Dari hasil perhitungan analisa StaadPro yg ditinjau dari kolom lantai 1 pada Beam 23, maka diperoleh hasil maksimum yaitu :

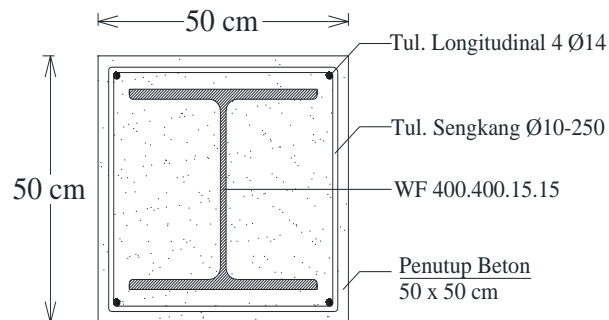
$$\begin{aligned} M_z / M_u &= 14701,543 \text{ kgm} \\ N_u &= 28112,024 \text{ kg} \\ V_u &= 6304,508 \text{ kg} \end{aligned}$$

Pemilihan profil

Menggunakan Profil WF 500.200.10.16 (Tabel Profil Konstruksi Baja, hal 20)

BJ 37 , $f_y = 370 \text{ Mpa}$ (SNI 03-1729-2002, hal 11)

Tebal pelat (ts) = 12,5 cm



Gambar 4 Penampang kolom
(Sumber : Hasil perhitungan)

Perhitungan sambungan

Hasil analisa StaadPro sebagai berikut :

Tabel 4 Statika pembebanan

	Balok 1	Balok 2	Kolom 23	Kolom 27
M_u (kgm)	4697,293	10506,642	14701,543	15872,640
$N_u = F_x$ (kg)	1280,510	74,285	28656,873	28112,024
$V_u = F_y$ (kg)	3170,359	8602,219	6304,508	7659,303

(sumber : hasil perhitungan)

Sambungan Kolom Balok

$$R_n = C_{u1} + T_{u1} - V_u = \frac{M_{u01}}{0,95 \cdot d_{01}} + \frac{M_{u02}}{0,95 \cdot d_{02}} - V_{u27} = 24348,981 \text{ kg}$$

$$R_v = 0,6 \cdot f_y \cdot d_{23} \cdot t_{w23} \left(1 + \frac{3 \cdot b_{f23} \cdot t_{f23}^2}{d_{01} \cdot d_{23} \cdot t_{w23}} \right) = 145188 \text{ kg}$$

$$\phi R_v = 0,9 \times 145188 = 130669 \text{ kg}$$

$$R_n \leq \phi R_v = 24348 \text{ kg} \leq 130669 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} V_d &= \phi_f \cdot V_n = \phi_f \cdot r_1 \cdot f_u^b \cdot A_b \\ &= 0,75 \cdot 0,5 \cdot 8250 \cdot 2,864 = 8859,881 \text{ kg/baut} \end{aligned}$$

Gaya tarik dan tekan akibat momen

$$C = T = \frac{M_{u01}}{0,95 \cdot d_{01}} = \frac{4697,293}{0,95 \cdot 0,5} = 9889,038 \text{ kg}$$

Jumlah yang dibutuhkan

$$n = \frac{T}{V_d} = \frac{9889,038}{8859,881} = 1,12 \approx 2 \text{ baut}$$

Jarak baut

$$\begin{aligned} \text{Jarak tepi} &: 1,5 \cdot d_b & \leq s \leq & 3 \cdot d_b \\ &: 1,5 \cdot 1,91 & \leq s \leq & 3 \cdot 1,91 \\ &: 2,865 & \leq s \leq & 5,73 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jarak per baut} &: 2,5 \cdot d_b & \leq s \leq & 7 \cdot d_b \\ &: 2,5 \cdot 1,91 & \leq s \leq & 7 \cdot 1,91 \\ &: 4,775 & \leq s \leq & 13,37 \end{aligned}$$

Perhitungan Sambungan Balok Anak dengan Balok Induk

$$M_u = 3501,53 \text{ kgm} ; V_u = 4376,91 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} V_d &= \phi_f \cdot V_n = \phi_f \cdot r_1 \cdot f_u^b \cdot A_b \\ &= 0,75 \cdot 0,5 \cdot 8250 \cdot 2,864 = 8859,881 \text{ kg/baut} \end{aligned}$$

Jumlah yang dibutuhkan

$$n = \frac{V_u}{V_d} = \frac{4376,91}{8859,881} = 0,5 \approx 1 \text{ baut}$$

Pondasi

Data-data perencanaan pondasi tiang pancang yang digunakan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Diameter tiang pancang} &= 50 \text{ cm} \\ \text{Panjang tiang pancang} &= 3900 \text{ cm} \\ \text{Daya dukung kekuatan bahan} &= 686,875 \text{ ton} \end{aligned}$$

Daya dukung terhadap kekuatan tanah pada kedalaman 50 m = 137,113 ton, jadi daya dukung yang menentukan berdasarkan kekuatan tanah.

Dari hasil analisa perhitungan StaadPro diperoleh gaya yang terjadi sebagai berikut :

$$\begin{aligned} P_u &= 28656,873 \text{ kg} & = 28,6569 \text{ ton} \\ M_u &= 14701,543 \text{ kgm} & = 14,7015 \text{ tonm} \end{aligned}$$

Kebutuhan tiang (n)

$$n = \frac{28,6569}{137,113} = 0,2090 \sim 2 \text{ tiang} \quad (\text{Sardjono. 1984})$$

Jarak antar as tiang pancang kelompok

Syarat jarak tiang (jarak antar as tiang)

$$2,5 D_{\text{tiang}} < s < 4 D_{\text{tiang}}$$

$$2,5 \times 0,50 < s < 4 \times 0,50$$

125 cm < s < 200 cm. Diambil nilai s = 150 cm

Syarat jarak as tiang ke tepi

$$s > 1,25 D_{\text{tiang}}$$

$$s > 1,25 \times 0,50 \text{ cm}$$

s > 62,5 cm. Diambil nilai s = 75 cm

Dimensi penampang poer pondasi yaitu:

$$p = 3 \text{ m}$$

$$l = 2 \text{ m}$$

$$t = 0,5 \text{ m}$$

PENUTUP

Kesimpulan

1. Dimensi pelat komposit 12,5cm, tulangan utama Ø10-125 dan tulangan bagi Ø10-150.
2. Dimensi balok komposit yang dipakai :
 - a. Balok induk WF500.200.10.16
 - b. Balok anak WF300.150.6,5.9
3. Dimensi kolom komposit WF400.400.15.15
4. Dimensi pondasi yang digunakan :
 - a. Puer pondasi dengan ukuran 3 m x 2 m
 - b. Jenis pondasi memakai tiang pancang Ø50 sebanyak 2 tiang dengan kedalaman 50 m

Saran

1. Dalam perhitungan struktur dapat menerapkan analisa 3D.
2. Selain StaadPro, dapat menggunakan ETABS dan SAP 2000 dalam perencanaan portal.
3. Perencanaan pondasi dapat menggunakan jenis pondasi sumuran dengan tetap mempertimbangkan kondisi tanah

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anonim. (2002). *SNI 03-1729-2002 Perencanaan Ulang Struktur Baja Menggunakan Spesifikasi Bangunan Gedung Baja Struktural*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- [2] Anonim. (2012). *SNI 1726:2012 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- [3] Puskim. (2019). *puskim.pu.go.id/aplikasi/desainpektraironesia2011/*. Dipetik Desember 09, 2019, dari puskim.pu.go.id: <http://puskim.pu.go.id/>
- [4] Sardjono. (1984). *Pondasi Tiang Pancang Jilid1*. Surabaya: Sinar Wijaya.