

STUDI ALTERNATIF PERENCANAAN STRUKTUR KOMPOSIT PADA GEDUNG KANTOR DERMAGA MULTIPURPOSE TANJUNG PERAK SURABAYA

Abdulloh Faqih
Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Malang
Jl. MT.Haryono 193, Malang, Jawa Timur 65144
Email: abdullohfaqih4@gmail.com

ABSTRAK

Perencanaan pembangunan gedung kantor dermaga multipurpose Tanjung Perak Surabaya dilatarbelakangi meningkatnya kebutuhan akan prasarana perkantoran terutama di Dermaga Teluk Lamong Tanjung Perak Surabaya. Struktur gedung dalam tugas akhir ini merupakan alternatif perencanaan struktur komposit dengan menggunakan struktur baja-beton. Struktur komposit antara beton dan balok baja merupakan struktur yang memanfaatkan kelebihan dari beton dan baja dalam bekerja secara bersama-sama sebagai satu kesatuan struktur. Kelebihan tersebut antara lain adalah beton kuat terhadap tekan dan baja kuat terhadap tarik. Struktur gedung kantor dermaga menggunakan beton bertulang, memiliki empat lantai dengan panjang bangunan 85,025 m, lebar bangunan 24,075 m dan tinggi bangunan 17 m. Perencanaan gedung ini berdasarkan "Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung (SNI 03-1729-2002)". "Tata Cara Perencanaan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung (SNI 03-2847-2002)". "Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung (SNI 03-1726-2002)". "Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG 1983)". Studi alternatif perencanaan struktur komposit menghasilkan tebal pelat 12 mm dengan tulangan terpasang $\varnothing 12 - 125$ dan momen lapangan pelat 1319,15 kgm. ; balok anak yang digunakan adalah WF 400.300.10.16 dengan $M_{-mak} = 28359,1251$ kgm ; balok induk WF. 450.300.11.18 dengan $M_{-mak} = 16746,0600$ kgm. ; kolom komposit menggunakan WF. 400.400.13.21 $P_{u\ mak} = 93776,356$ kg dan $M_{mak} = 30623,7400$ kgm dengan 4 $\varnothing 14$ sebagai tulangan longitudinal dan $\varnothing 10 - 350$ sebagai tulangan sengkang. Perencanaan pondasi menggunakan pondasi tiang pancang dengan ukuran poer pondasi 2 m x 2m, $M_u = 30623,740$ kgm, $P_{total\ poer} = 100976,3560$ kg memakai tulangan pokok D22 – 150 mm serta tulangan tekan D16-150mm. Spesifikasi tiang pancang diameter 50 cm dengan kedalaman tiang 10 m dengan $P_{tiang} = 408,1744$ ton, $M_u = 30623,740$ kgm, tulangan pokok 16D22 dan tulangan spiral D12-30mm.

Kata Kunci : Struktur Komposit, Baja-Beton, Dermaga Multipurpose

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Gedung kantor dermaga multipurpose dibangun sebagai pusat kontrol untuk memantau kegiatan yang dilaksanakan dalam dermaga Teluk Lamong pelabuhan Tanjung Perak Surabaya. Struktur gedung kantor dermaga Teluk Lamong menggunakan struktur beton bertulang. Alternatif sistem struktur komposit dipilih oleh penulis dalam pelaksanaan pengerjaan tugas akhir ini. Sistem struktur komposit terbentuk dengan adanya interaksi antara komponen-komponen baja dan beton yang masing-masing karakteristik dasar materialnya dimanfaatkan

struktur menerus. Dengan kata lain, beban yang bekerja pada kolom akan mempengaruhi balok, pelat dan kolom lain atau sebaliknya. Perencanaan komposit mengasumsi bahwa baja dan beton bekerja sama dalam memikul beban yang bekerja sehingga akan menghasilkan desain profil yang lebih ekonomis. Sistem struktur komposit juga dapat menambah panjang bentang layan dari struktur. Berdasarkan pada hal tersebut, maka penulis mengidentifikasi permasalahan pada kekakuan dari pelat lantai dan dimensi struktur (balok, kolom dan pondasi)

yang diterapkan pada gedung dermaga Teluk Lamong.

Rumusan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah, maka dalam studi ini terdapat empat rumusan masalah, yaitu:

1. Berapa dimensi tulangan pelat lantai untuk digunakan pada gedung kantor dermaga multipurpose Teluk Lamong?
2. Berapa dimensi balok komposit baja-beton yang dibutuhkan sehingga mampu bekerja secara efektif?
3. Berapa dimensi kolom komposit baja-beton agar mampu menahan beban aksial, beban kombinasi dan lentur yang bekerja?
4. Berapa dimensi pondasi dan jenis pondasi apa yang dapat digunakan agar mampu menahan beban yang bekerja?

Tujuan dan Manfaat

Tujuan dari tugas akhir ini yaitu untuk memberikan alternatif perencanaan struktur gedung dermaga Teluk Lamong berupa perencanaan struktur komposit. Sedangkan manfaat dari tugas akhir ini yaitu untuk melatih kemampuan mahasiswa dalam merencanakan suatu struktur bangunan bertingkat banyak.

Lingkup Pembahasan

Terkait dengan rumusan masalah diatas, maka permasalahan-permasalahan yang akan dibahas dalam penulisan tugas akhir ini meliputi:

1. Perhitungan pelat lantai dan pelat atap
2. Perhitungan balok-baja beton komposit
3. Perhitungan kolom baja-beton komposit
4. Perencanaan *shear connector*
5. Perhitungan pondasi

TINJAUAN PUSTAKA

Struktur Komposit

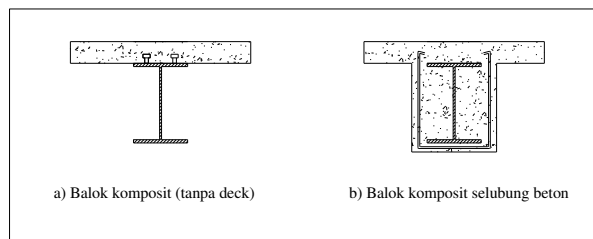
Struktur komposit merupakan struktur yang terdiri dari dua material atau lebih dengan sifat bahan yang berbeda dan membentuk satu kesatuan sehingga menghasilkan sifat gabungan yang lebih baik. Aksi komposit timbul bila dua struktural pemikul beban seperti konstruksi lantai beton dan balok baja penyangga disambung secara integral dan melendut secara satu kesatuan

Pelat

Pelat adalah elemen bidang tipis yang menahan beban transversal melalui aksi lentur ke masing – masing tumpuan. Pada konstruksi beton bertulang pelat digunakan sebagai lantai, atap dari gedung, lantai jembatan, lapis perkerasan pada jalan raya dan landasan bagi pesawat terbang di bandara. Hal ini terjadi karena pelat merupakan elemen struktur penahan beban vertikal yang rata dan dapat dibuat dengan perluasan yang cukup besar.

Balok Komposit

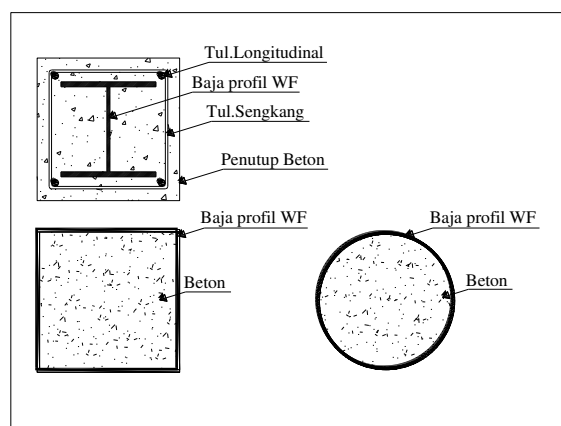
Balok komposit adalah sebuah balok yang kekuatannya bergantung pada interaksi mekanis diantara dua atau lebih bahan. Pada dasarnya aksi komposit pada balok komposit dapat tercapai atau tidaknya tergantung dari penghubung gesernya. Penghubung geser diletakkan di sayap atas profil baja dengan tujuan untuk mengurangi terjadinya slip pada pelat beton dengan balok baja.



Gambar 1. Penampang balok komposit

Kolom Komposit

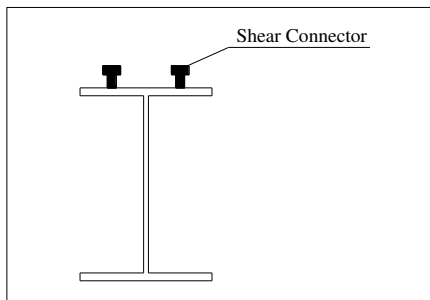
Kolom komposit dapat dibentuk dari pipa baja yang diisi dengan beton polos atau dapat pula dari profil baja hasil gilas panas yang dibungkus dengan betonn dan diberi tulangan baja serta sengkang, seperti halnya pada kolom beton biasa.



Gambar 2. Penampang kolom komposit

Penghubung Geser

Gaya geser yang terjadi antara pelat beton dan profil baja harus dipikul oleh sejumlah penghubung geser, sehingga tidak terjadi slip pada saat masa layan. Besarnya gaya geser horizontal yang harus dipikul oleh penghubung geser diatur dalam SNI 03-1729-2002 pasal 12.6.2.



Gambar 3. Penghubung geser /Shear Connector

Pondasi

Dari beberapa macam tipe pondasi yang dapat dipergunakan salah satu diantaranya adalah pondasi tiang pancang. Pemakaian tiang pancang dipergunakan untuk suatu bangunan apabila tanah dasar di bawah bangunan tersebut tidak mempunyai daya dukung (*bearing capacity*) yang cukup untuk memikul berat bangunan dan bebannya, atau apabila tanah keras yang mana mempunyai daya dukung yang cukup untuk memikul berat bangunan dan letak bebannya sangat dalam. Pondasi tiang pancang ini berfungsi untuk memindahkan atau mentransferkan beban-beban dari konstruksi di atasnya (*upper structure*) ke lapisan tanah yang dalam.

METODOLOGI

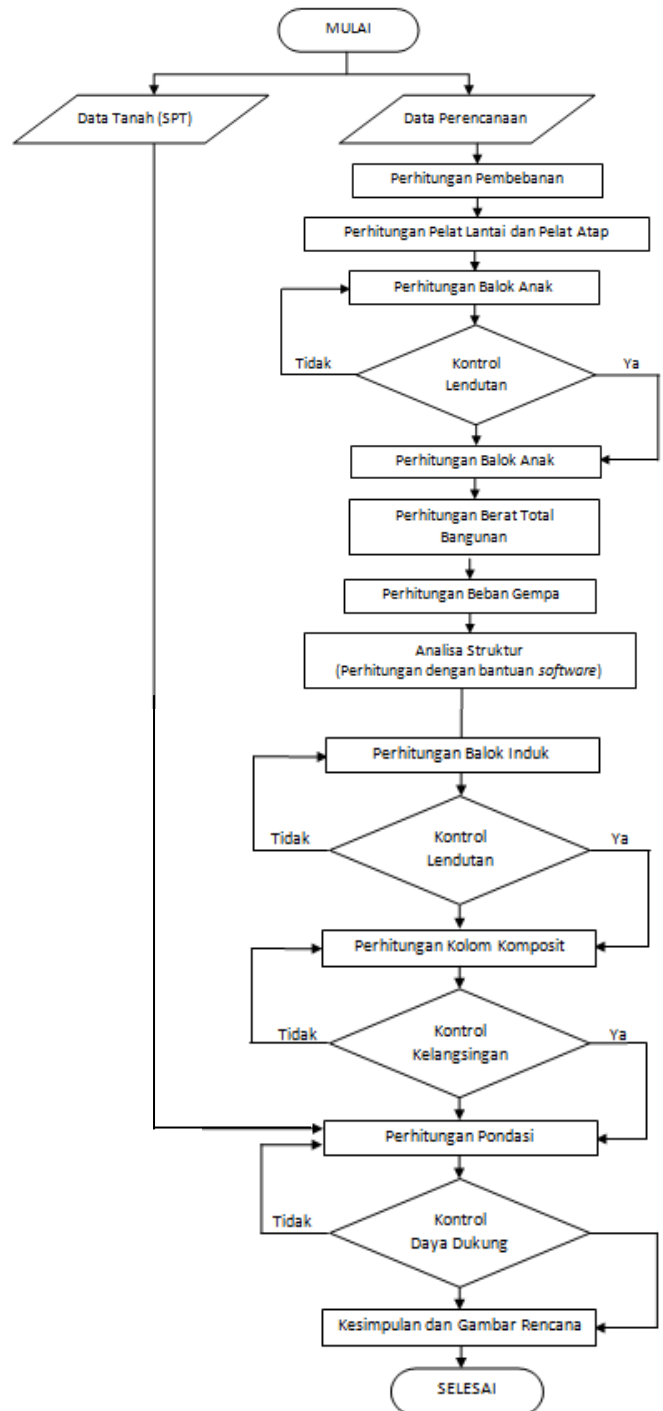
Data spesifikasi umum bangunan

- Nama gedung : Terminal Multipurpose
- Fungsi : Gedung Kantor
- Jumlah Lantai : Empat Lantai
- Lokasi : Surabaya
- Ukuran Bangunan
 - Panjang : 85,205 m
 - Lebar : 24,075 m
 - Tinggi : 17 m
- Zona Gempa : Wilayah 4

Mutu Bahan

- Pelat : Beton f_c 30 Mpa, Tul. Polos f_y 240 Mpa
- Balok Anak : WF 400.300.10.16, BJ 50 f_y 290 Mpa
- Balok Induk: WF 450.300.11.18, BJ 50 f_y 290 Mpa
- Kolom : WF 400.400.13.21, BJ 50 f_y 290 Mpa
- Pondasi: Baja ulir f_y 290 Mpa, Beton f_c 30 Mpa

Langkah – langkah dalam perencanaan gedung kantor Dermaga Multipurpose Tanjung Perak ditampilkan dalam *flowchat* berikut ini:



HASIL DAN PEMBAHASAN

PERHITUNGAN STRUKTUR

Tebal pelat lantai yang direncanakan 12 cm, kontrol tebal pelat sesuai SK SNI 03-2847-2002, dengan memakai rumus dibawah ini untuk mencari nilai am , ketentuan $am < 2,0$.

$$h = \frac{\ln(0,8 + \frac{f_y}{1500})}{36 + 5\beta(am - 0,2)}$$

nilai $am = 0,12$ karena $am < 2,0$ tebal pelat memenuhi syarat.

Menentukan tulangan pelat yang digunakan sebagai berikut:

Beban yang bekerja (q_u) = 1146,400 kg/m²

$\rho_{min} = 0,00583$, $\rho_{mak} = 0,0483$

Nilai momen maksimum, $M_{mak} = 13,1915$ kNm.

Diketahui dalam perhitungan, nilai-nilainya yaitu $R_n = k = 1,866$ Mpa

$\omega = 0,0647$

$\rho = 0,00808$

Karena $\rho = 0,00808 > \rho_{min} = 0,00583$, maka

$A_s = \rho \cdot b \cdot d = 0,00808 \cdot 1000 \cdot 94 = 759,883$ mm²

Dipakai tulangan pokok $\emptyset 12 - 125$, dengan A_s tabel 905mm².

Direncanakan tulangan bagi $\emptyset 12 - 125$

$A_{s\text{bagi}} = 20\% \times 759,883 \text{ mm}^2 = 151,967 \text{ mm}^2$.

$A_{s\text{ada}} = \frac{1000}{125} \times \frac{1}{4} \pi \times 12^2 = 904,32 \text{ mm}^2$

Perhitungan Balok Induk

Direncanakan balok induk menggunakan profil WF. 450.300.11.18. Beban berfaktor balok induk, $W_u = 3278,9368$ kg/m

Berdasarkan hasil analisa perhitungan *software* diperoleh $M_u = 16746,06$ kgm, $V_u = 15149,4328$ kg.

Kontrol kestabilan profil

$\frac{h_c}{t_w} \leq \frac{1680}{\sqrt{f_y}} = 35,8 \leq 98,652 \rightarrow$ penampang kompak.

Lebar efektif balok komposit $b_E = \frac{L}{8} = \frac{950}{8} = 118,75$ cm.

Modulus elastisitas beton

$E_c = 0,041 \cdot W^{1,5} \cdot \sqrt{f'_c}$
 $= 0,041 \cdot 2400^{1,5} \cdot \sqrt{30} = 26403,490$ Mpa.

Modulus elastisitas baja; $E_s = 200000$ Mpa

Rasio modulus elastisitas (n)

$n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{200000}{26403,490} = 7,574$

Lebar penampang komposit

$b_{tr} = \frac{b_E}{n} = \frac{118,75}{7,574} = 15,67$ cm

Luas penampang komposit

$A_{tr} = b_{tr} \times t_s = 15,67 \times 12 = 188,12$ cm²

Profil baja sebelum komposit

Momen Inersia (I_x) = 56100 (tabel profil baja)

Section modulus

- Serat baja atas

$S_{sa} = \frac{I_x}{y_a} = \frac{56100}{22} = 2550$ cm³

- Serat baja bawah

$S_{sb} = \frac{I_x}{y_b} = \frac{56100}{22} = 2550$ cm³

Pemeriksaan tegangan

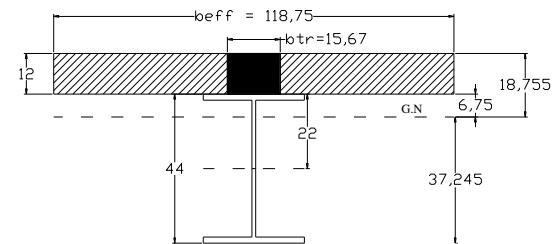
$$f_{ya} = \frac{M}{S_{sb}} = \frac{1674606}{2550} = 656,7082 \text{ kg/cm}^2$$

$f_{ya} < 2900 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow$ OK.

$$f_{yb} = \frac{M}{S_{sa}} = \frac{1674606}{2550} = 656,7082 \text{ kg/cm}^2$$

$f_{yb} < 2900 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow$ OK.

Penampang setelah komposit



Gambar 4. Garis netral penampang komposit

$$\bar{y} = \frac{\sum A \cdot y}{\sum A} = \frac{6480,3492}{345,5249} = 18,75 \text{ cm.}$$

Momen inersia penampang komposit

$$I_{tr} = 125544,8764 \text{ cm}^4$$

Modulus penampang

$$S_c = \frac{125544,8764}{18,75} = 6693,9104 \text{ cm}^3$$

$$S_{sa} = \frac{125544,8764}{18,75 - 12} = 18585,2329 \text{ cm}^3$$

$$S_{sb} = \frac{125544,8764}{37,24} = 3370,7926 \text{ cm}^3$$

Pemeriksaan tegangan

$$f_{sa} = \frac{M}{S_{sa}} = \frac{1674606}{18585,2329} = 90,1041 \text{ kg/cm}^2$$

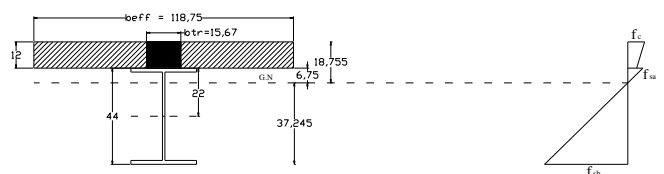
$f_{sa} < 2900 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow$ OK.

$$f_{sb} = \frac{M}{S_{sb}} = \frac{1674606}{3370,7926} = 496,798 \text{ kg/cm}^2$$

$f_{sb} < 2900 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow$ OK.

$$f_c = \frac{M}{n \times S_c} = \frac{1674606}{7,574 \times 6693,9104} = 33,0266 \text{ kg/cm}^2$$

$f_c < 2900 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow$ OK.



Gambar 5. Diagram tegangan penampang balok setelah komposit.

Menghitung kuat lentur profil

Kuat lentur nominal daerah momen positif

$$\begin{aligned} M_n &= C_c \cdot d'' + C_s \cdot d'' \\ &= 363375 \cdot 0,2815 + 46542,5 \cdot 0,2215 \\ &= 112614,6450 \text{ kgm} \end{aligned}$$

Kuat lentur rencana

$$\emptyset \cdot M_n = 0,85 \cdot 112614,6450 = 95722,4482 \text{ kgm}$$

Cek,

$$M_u = 16746,06 \text{ kgm} \leq \emptyset \cdot M_n = 95722,4482 \text{ kgm}$$

Kuat lentur nominal daerah momen negatif

$$M_{n1} = T_{sr}(d - y + t_s - a/2) = 27129,60(44-21,27+12-(15,074/2)) = 737626,66 \text{ kgcm} = 7376,2666 \text{ kgm}$$

$$M_{n2} = T_s(d - y - (0,163/2)) = 214465,20(44-21,27-0,0841) = 4860425,73 \text{ kgcm} = 48604,2573 \text{ kgm}$$

$$M_n = M_{n1} + M_{n2} = 7376,2666 + 48604,2573 = 55980,5239 \text{ kgm}$$

$$\phi \cdot M_n = 0,85 \cdot 55980,5239 = 47583,4453 \text{ kgm}$$

Cek,

$$M_u = 16746,06 \text{ kgm} \leq \phi \cdot M_n = 47583,4453 \text{ kgm}$$

Pemeriksaan terhadap geser

$$V_u = 15149,4328 \text{ kg}$$

$$A_w = t_w \cdot h_c = 1,1 \cdot 40,40 = 44,44 \text{ cm}^2$$

$$V_n = 0,6 \cdot f_{yw} \cdot A_w = 0,6 \cdot 2900 \cdot 44,44 = 77325,60 \text{ kg}$$

$$\phi \cdot V_n = 0,9 \cdot 77325,60 = 69593,04 \text{ kg}$$

Cek

$$V_u \leq \phi \cdot V_n = 15149,4328 \text{ kg} \leq 69593,04 \text{ kg}$$

Kontrol lendutan

$$\Delta_{DL} = \frac{5W_d L^4}{384 EI} = \frac{5 \times 18,266388 \times 950^4}{384 \times 2 \cdot 10^6 \times 125544,8764} = 0,7715 \text{ cm}$$

$$\Delta_{LL} = \frac{5W_L L^4}{384 EI} = \frac{5 \times 6,739564 \times 950^4}{384 \times 2 \cdot 10^6 \times 125544,8764} = 0,2869 \text{ cm}$$

$$\Delta = \Delta_{DL} + \Delta_{LL} = 0,7715 + 0,2869 = 1,0584 \text{ cm}$$

Lendutan ijin

$$\bar{\Delta} = \frac{950}{360} = 2,63 \text{ cm}$$

Cek

$$\Delta = 1,05 \text{ cm} \leq \bar{\Delta} = 2,63 \text{ cm} \rightarrow \text{OK.}$$

Penghubung geser (*Shear Connector*)

Stud ½". Diameter yang diijinkan, 2,5 x t_f = 2,5 x 16 = 40 mm. > ½" (12,7mm)

$$A_{sc} = \frac{\pi \cdot 12,7^2}{4} = 126,612 \text{ mm}^2.$$

$$Q_n = 0,5 \times A_{sc} \times \sqrt{f_c \times E_c} = 0,5 \times 1,26 \times \sqrt{300 \times 264034,90} = 5634,279 \text{ kgcm}$$

$$A_{sc} \times f_u = 126,61 \times 290 = 36717,66 \text{ kgmm} = 3671,766 \text{ kgcm}$$

Dipakai Q_n = 5634,279 Digunakan dua kaki, maka 5634,279 x 2 = 11268,5594 kgcm

Jarak *shear connector*

$$s_1 = \frac{Q_n}{q_1} = \frac{11268,5594}{830,4387} = 13,569 \approx 13 \text{ cm}$$

$$s_2 = \frac{Q_n}{q_2} = \frac{11268,5594}{622,8290} = 18,092 \approx 18 \text{ cm}$$

$$s_3 = \frac{Q_n}{q_3} = \frac{11268,5594}{415,2193} = 27,138 \approx 27 \text{ cm}$$

$$s_4 = \frac{Q_n}{q_4} = \frac{11268,5594}{207,6097} = 54,277 \approx 54 \text{ cm}$$

Kolom Komposit

Kolom komposit didesain menggunakan profil WF 400.400.13.21 terbungkus beton ukuran 60x60.

Hasil perhitungan *software* didapat:

$$Mz1 (-M_{u1}) = 306,2374 \text{ kNm} = 30623,7400 \text{ kgm}$$

$$Mz2 (-M_{u2}) = 216,6348 \text{ kNm} = 21663,4800 \text{ kgm}$$

$$N_u = F_x = 93776,356 \text{ kg,}$$

$$F_y (\text{Shear Along}) / V_u = 10663,624 \text{ kg}$$

$$A_c = 60 \times 60 = 3600 \text{ cm}^2$$

$$A_s = 218,7 \text{ cm}^2$$

Kontrol luas minimum penampang profil

$$(A_s / A_c) \times 100\% = (218,7/3600) \times 100\% = 6,075$$

$$6,075\% < 4\% \rightarrow \text{OK.}$$

Dipakai tulangan sengkang Ø10- 350

$$A_r = \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 1^2 = 0,785 \text{ cm}^2$$

$$A_{r_{perlu}} = 0,018 \text{ cm}^2 / 1 \text{ cm} \times 35 = 0,630 \text{ cm}^2$$

$$0,630 \text{ cm}^2 < 0,785 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{OK}$$

Syarat luas tulangan longitudinal 4Ø14

Jarak antar tulangan longitudinal

$$= 60 - (2 \times 4) - (2 \times 1) - 1,4 = 48,6 \text{ cm}$$

$$A_r = \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 1,4^2 = 1,5386 \text{ cm}^2$$

$$A_{r_{perlu}} = 0,018 \text{ cm}^2 / 1 \text{ cm} \times 48,6 = 0,8424 \text{ cm}^2$$

$$A_{r_{perlu}} = 0,8424 \text{ cm}^2 < A_r = 1,5386 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{OK}$$

Modifikasi tegangan leleh

$$f_{my} = f_y + c_1 \cdot f_{yr} \left(\frac{A_r}{A_s} \right) + c_2 \cdot f_c' \left(\frac{A_c}{A_s} \right) = 2900 + 0,7 \cdot 2400 \cdot \left(\frac{6,1544}{218,7} \right) + 0,6 \cdot 300 \cdot \left(\frac{3375,1456}{218,7} \right) = 5727,1742 \text{ kg/cm}^2$$

Analisa tekuk kolom komposit

$$\lambda_c = \frac{k_c \cdot L}{r_m \cdot \pi} \sqrt{\frac{f_{my}}{E_m}} = \frac{0,65 \times 950}{18 \times 3,14} \sqrt{\frac{5727,1742}{2814957,687}} = 0,357$$

karena $0,25 < \lambda_c = 0,357 < 1,2$, maka:

$$\omega = \frac{1,43}{1,6 - 0,67 \lambda_c} = \frac{1,43}{1,6 - 0,67 \cdot 0,357} = 1,050$$

$$f_{cr} = \frac{f_{my}}{\omega} = \frac{5727,1742}{1,050} = 5454,4516 \text{ kg/cm}^2$$

$$N_n = A_s \cdot f_{cr} = 218,7 \times 5454,4516 = 1192888,5691 \text{ kg}$$

Kuat nominal kolom

$$Z_x = (b_f \cdot t_f) \cdot (d - t_f) + 1/4 t_w \cdot (d - 2t_f)^2 = (400 \cdot 21) \cdot (400 - 21) + \frac{1}{4} 13 \cdot (400 - 2(21))^2 = 3600133 \text{ mm}^3 = 3600,133 \text{ cm}^3$$

$$M_n = f_{my} \cdot Z_x = 5727,1742 \times 3600,133 = 20618588,8342 \text{ kgcm} = 206185,8883 \text{ kgm}$$

Kombinasi tekan dan lentur

$$N_u = 93776,356 \text{ kg}$$

$$N_n = 1192888,5691 \text{ kg}$$

$$\frac{N_u}{2\phi N_n} + \left(\frac{M_{us}}{\phi_b M_n}\right) \leq 1,0$$

$$\frac{93776,356}{2 \cdot 1192888,5691} + \left(\frac{33236,5603}{0,9 \cdot 206185,8883}\right) \leq 1,0$$

$$0,2184 \leq 1,0 \rightarrow \text{OK}$$

Kuat rencana kolom

$$P_n = N_n = 1192888,5691 \text{ kg}$$

$$\phi P_n = 0,85 \times 1192888,5691$$

$$= 1013955,2837 \text{ kg}$$

Kekuatan aksial profil

$$\phi P_{ns} = 0,85 \cdot A_s \cdot f_y$$

$$= 0,85 \cdot 218,7 \cdot 2900 = 539095,500 \text{ kg}$$

$$\phi P_{nc} = \phi P_n - \phi P_{ns}$$

$$= 1013955,2837 - 539095,500$$

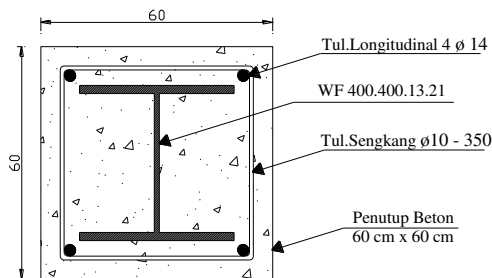
$$= 474859,7873 \text{ kg}$$

Penumpu beton

$$\phi P_{nc} \leq 1,7 \cdot \phi_c \cdot f'_c \cdot A_b \rightarrow \phi_c = 0,6$$

$$A_b \leq \frac{P_{nc}}{1,7 \cdot \phi_c \cdot f'_c} = \frac{474859,7873}{1,7 \cdot 0,6 \cdot 300} = 1551,8 \text{ cm}^2$$

$$A_c = 3375,1456 \text{ cm}^2 \geq A_b = 1551,8 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{OK}$$



Gambar 6. Penampang kolom komposit

Sambungan

Sambungan balok induk dengan kolom

Gaya geser terfaktor dari balok ke kolom

$$R_n = C_{u1} + T_{u1} - V_u$$

$$= \frac{M_{u26}}{0,95 \cdot d_{26}} + \frac{M_{u27}}{0,95 \cdot d_{27}} - V_{u12}$$

$$= \frac{16746,06}{0,95 \cdot 0,440} + \frac{8021,50}{0,95 \cdot 0,440} - 6329,0090$$

$$= 52923,3833 \text{ kg}$$

Analisis stabilitas rangka

$$N_y = A_{s11} \cdot f_y = 218,7 \times 2900 = 634230 \text{ kg}$$

$$\phi N_y = 0,75 \cdot 634230 = 475672,50 \text{ kg}$$

$$N_u = 36000 \text{ kg} \leq 475672,5 \text{ kg}$$

$$R_v = 0,6 \cdot f_y \cdot d_{11} \cdot t_{w11} \left(1 + \frac{3 \cdot b_{f11} \cdot t_{f11}^2}{d_{26} \cdot d_{11} \cdot t_{w11}}\right)$$

$$= 0,6 \cdot 2900 \cdot 40 \cdot 1,3 \left(1 + \frac{3 \cdot 40 \cdot 2,1^2}{44 \cdot 40 \cdot 1,3}\right)$$

$$= 111407,4545 \text{ kg}$$

$$\phi R_v = 0,9 \cdot 111407,4545 = 100266,7091 \text{ kg}$$

Cek :

$$R_u = 52923,3833 \text{ kg} \leq \phi R_v = 100266,7091 \text{ kg}$$

$R_u \leq \phi R_v$, maka tidak dibutuhkan pengaku pada daerah panel.

Perhitungan baut A325,

Kuat geser nominal (1) baut

$$V_d = \phi_f \cdot V_n = \phi_f \cdot r_1 \cdot f_u^b \cdot A_b$$

$$= 0,75 \cdot 0,5 \cdot 8250 \cdot 2,86 = 8484,1250 \text{ kg/baut.}$$

Kuat tarik nominal (1) baut

$$T_d = \phi_f \cdot T_n = \phi_f \cdot 0,75 \cdot f_u^b \cdot A_b$$

$$= 0,75 \cdot 0,75 \cdot 8250 \cdot 2,86 = 13272,1875 \text{ kg/baut}$$

Kuat tumpu nominal (1) baut

$$R_d = \phi_f \cdot R_n = 2,4 \cdot \phi_f \cdot d_b \cdot t_p \cdot f_u^b$$

$$= 2,4 \cdot 0,75 \cdot 1,91 \cdot 2 \cdot 8250$$

$$= 56727,00 \text{ kg/baut}$$

Gaya tarik dan tekan akibat momen

$$C = T = \frac{M_{u26}}{0,95 \cdot d_{26}} = \frac{16746,06}{0,95 \cdot 0,44}$$

$$= 40062,3445 \text{ kg}$$

Jumlah baut yang dibutuhkan

$$n = \frac{T}{V_d} = \frac{40062,3445}{8484,1250} = 4,72 \approx 5 \text{ baut}$$

$$\frac{V_n}{n} = \frac{15149,4328}{5} = 3029,8866 \text{ kg/baut} \leq V_d$$

$$\rightarrow \text{OK.}$$

$$\frac{N_u}{n} = \frac{9890}{5} = 1978 \text{ kg/baut} \leq V_d \rightarrow \text{OK.}$$

Perhitungan pelat ujung

$$\phi_b M_n = \phi_b M_p = \phi_b \cdot Z_x \cdot f_y$$

$$Z_x = (b_f \cdot t_f) \cdot (d - t_f) + 1/4 t_w \cdot (d - 2t_f)^2$$

$$= (300 \cdot 18) \cdot (450 - 18) + 1/4 \cdot 11 \cdot (450 - 2(18))^2$$

$$= 2804139 \text{ mm}^3 = 2804,139 \text{ cm}^3$$

$$\phi_b M_n = \phi_b \cdot Z_x \cdot f_y = 0,9 \cdot 2804,139 \cdot 2900$$

$$= 7318802,790 \text{ kgcm}$$

$$T_{uMax} = \frac{\phi_b \cdot M_n}{d - t_f} = \frac{7318802,790}{44 - 1,8} = 173431,3457 \text{ kg}$$

Direncanakan, w = lebar pelat ujung = 35 cm

P = panjang pelat ujung = 50 cm

$$b' = s - 1/2 d_b = 2,86 - 1/2 \cdot 1,91 = 1,91 \text{ cm}$$

$$t_p = \sqrt{\frac{4 \cdot 44 \cdot T b'}{w \cdot f_y (1 + \alpha \delta)}}$$

$$= \sqrt{\frac{44 \cdot 173431,3457 \cdot 1,91}{35 \cdot 2900 (1 + 0)}}$$

$$= 3,80 \text{ cm} \approx 4 \text{ cm}$$

Sambungan balok dengan pelat ujung

$$\alpha = 3/4 = 1,91 \text{ cm}$$

$$t_e = 0,707 \cdot \alpha = 0,707 \cdot 1,91 = 1,35 \text{ cm}$$

$$\text{Kuat tarik } E70 = 70 \text{ ksi} = 485 \text{ Mpa} = 4850 \text{ kg/cm}^2$$

Kekuatan las

$$\phi R_{nw} = \phi \cdot t_e \cdot (0,6 \cdot F_{EXXX})$$

$$= 0,75 \cdot 1,35 \cdot (0,6 \cdot 4850)$$

$$= 2946,3750 \text{ kg/cm}$$

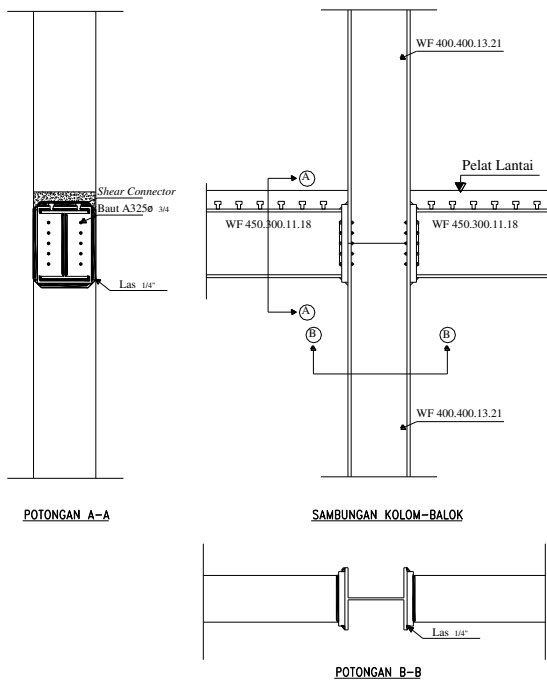
$$L_w = \frac{T_{uMax}}{\phi R_{nw}} = \frac{173431,3475}{2946,3750} = 58,86 \text{ cm} \approx 60 \text{ cm}$$

$$T = L_w \cdot \phi R_{nw} = 60 \cdot 2946,3750$$

$$= 176782,500 \text{ kg}$$

Cek

$$T = 176782,500 \text{ kg} > T_{uMax} = 173431,3457 \text{ kg}$$



Gambar 7. Sambungan balok induk dengan kolom.

Sambungan balok anak dengan balok induk

Tipe baut : A325,

Kuat geser nominal (1) baut

$$V_d = \phi_f \cdot V_n = \phi_f \cdot r_1 \cdot f_u^b \cdot A_b$$

$$= 0,75 \cdot 0,5 \cdot 8250 \cdot 2,86 = 8484,1250 \text{ kg/baut.}$$

Kuat tarik nominal (1) baut

$$T_d = \phi_f \cdot T_n = \phi_f \cdot 0,75 \cdot f_u^b \cdot A_b$$

$$= 0,75 \cdot 0,75 \cdot 8250 \cdot 2,86 = 13272,1875 \text{ kg/baut.}$$

Kuat tumpu nominal (1) baut

$$R_d = \phi_f \cdot R_n = 2,4 \cdot \phi_f \cdot d_b \cdot t_p \cdot f_u^b$$

$$= 2,4 \cdot 0,75 \cdot 1,91 \cdot 1,3 \cdot 8250 = 36872,55 \text{ kg/baut.}$$

Jumlah baut yang dibutuhkan

$$V_d = 8484,1250 \text{ kg/baut}$$

$$n = \frac{V_u}{V_d} = \frac{17911,0264}{8484,1250} = 2,11 \approx 3 \text{ baut.}$$

$$\frac{V_n}{n} = \frac{17911,0264}{3} = 5970,3421 \text{ kg/baut}$$

Sambungan pelat siku dengan balok induk

$$\alpha = \frac{1}{4} \text{ " } = 0,635 \text{ cm}$$

$$t_e = 0,707 \cdot \alpha = 0,707 \cdot 0,635 = 0,45 \text{ cm}$$

$$\text{Kuat tarik } E70 = 70 \text{ ksi} = 485 \text{ Mpa} = 4850 \text{ kg/cm}^2$$

Kekuatan las

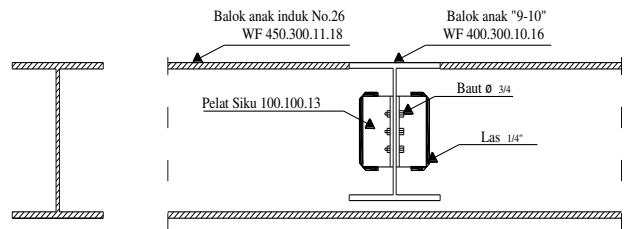
$$\phi R_{nw} = \phi \cdot t_e \cdot (0,6 \cdot F_{EXXX})$$

$$= 0,75 \cdot 0,45 \cdot (0,6 \cdot 4850) = 982,125 \text{ kg/cm}$$

$$L_w = \frac{V_u}{\phi R_{nw}} = \frac{17911,0264}{982,125} = 18,23 \text{ cm} \approx 20 \text{ cm}$$

$$R_u = \frac{P}{2 \cdot L_w} = \frac{17911,0264}{2 \cdot 20} = 447,775 \text{ kg}$$

$$R_u = 447,775 \text{ kg} \leq R_{nw} = 982,125$$



Gambar 8. Sambungan balok anak dengan balok induk.

Pelat dasar kolom

$$A_{perlu} = \frac{P_u}{\phi \cdot 0,85 \cdot f_c} = \frac{26827,194}{0,6 \cdot 0,85 \cdot 290} = 175,341 \text{ cm}^2$$

Pelat dasar direncanakan dengan ukuran 50 cm x 50 cm.

$$B = 50 \text{ cm}$$

$$N = 50 \text{ cm}$$

$$0,8b_f = 0,8 \cdot 50 = 40 \text{ cm}$$

$$0,95d = 0,95 \cdot 50 = 47,5 \text{ cm}$$

$$m = 0,5 (N - 0,95d) = 0,5 (50 - 47,5)$$

$$= 1,25 \text{ cm}$$

$$n = 0,5 (B - 0,8b_f) = 0,5 (50 - 40)$$

$$= 5 \text{ cm}$$

Nilai m dan n terbesar digunakan untuk mendapatkan tebal pelat.

$$t_{perlu} = \sqrt{\frac{2 \cdot P_u \cdot n^2}{B \cdot N \cdot 0,9 \cdot f_y}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 26827,194 \cdot 5^2}{42 \cdot 42 \cdot 0,9 \cdot 2900}} = 0,53 \text{ cm}$$

$$\approx 1 \text{ cm.}$$

Tebal pelat dasar kolom dipakai 1 cm.

Perhitungan kebutuhan baut angkur

Tipe baut : A325,

Kekuatan 2 buah baut angkur :

$$\frac{1}{4} \pi \cdot d^2 = \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 1,91^2 \cdot 2 \cdot 2900$$

$$= 16609,799 \text{ kg}$$

$$16609,799 \text{ kg} > V_u = 8736,417 \text{ kg}$$

Sambungan pelat dasar kolom

$$\alpha = \frac{3}{4} \text{ " } = 1,905 \text{ cm}$$

$$t_e = 0,707 \cdot \alpha = 0,707 \cdot 1,905 = 1,35 \text{ cm}$$

$$\text{Kuat tarik } E70 = 70 \text{ ksi} = 485 \text{ Mpa} = 4850 \text{ kg/cm}^2$$

Kekuatan las

$$\phi R_{nw} = \phi \cdot t_e \cdot (0,6 \cdot F_{EXXX})$$

$$= 0,75 \cdot 1,35 \cdot (0,6 \cdot 4850) = 2946,3750 \text{ kg/cm}$$

$$L_w \leq \text{keliling profil}$$

$$K_{profil} = (2 \cdot b_f) + (4 \cdot t_f) + (2 \cdot (b_f - t_w)) + (2 \cdot (d - 2 \cdot t_f))$$

$$= (2 \cdot 40) + (4 \cdot 1,8) + (2 \cdot (40 - 1,1)) + (2 \cdot (40 - 2 \cdot 1,8))$$

$$= 237,800 \text{ cm}$$

$$L_w = \frac{P_u}{\phi R_{nw}} = \frac{26827,194}{2946,375} = 9,10 \text{ cm} \approx 10 \text{ cm}$$

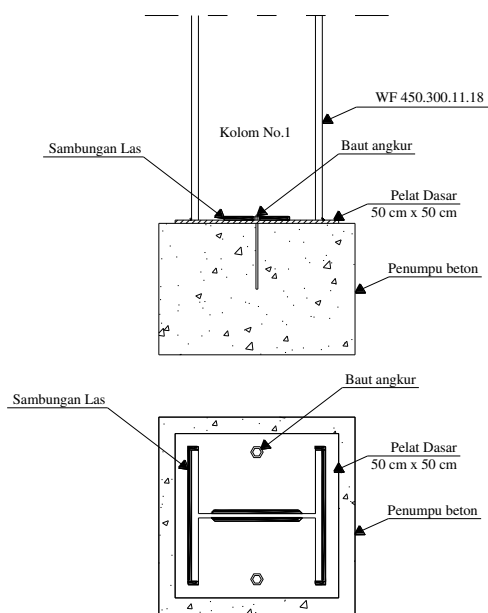
Cek :

$$L_w = 10 \text{ cm} < K_{profil} = 237,8 \text{ cm} \rightarrow \text{OK.}$$

$$T = L_w \cdot \phi R_{nw} = 10 \cdot 2946,3750 = 29463,750 \text{ kg}$$

Cek:

$$T = 29463,75 \text{ kg} > P_u = 26827,194 \text{ kg} \rightarrow \text{OK.}$$



Gambar 9. Konstruksi dasar kolom

Pondasi

Pondasi menggunakan pondasi tiang pancang. Data yang digunakan berupa data SPT (*Standart Penetration Test*) dengan nilai uji geser kipas (*Vane Shear Test*) / $c_u = 0,421 \text{ ton/m}^2$.

Perhitungan poer pondasi

Spesifikasi Poer

Lebar (B) = 2 m

Panjang (L) = 2 m

Tebal (t) = 0,5 m

Berat sendiri Poer = (B x L x t) x Bj. Beton x faktor beban

$$= (2 \times 2 \times 0,5) \times 2400 \times 1,5 = 7200 \text{ kg}$$

Dari perhitungan *software* diperoleh

$$P_u / F_x = 93776,356 \text{ kg}$$

$$M_x = M_z = 30623,740 \text{ kgm}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban total} &= \text{Berat sendiri} + P_u \\ &= 7200 + 93776,356 \\ &= 100976,3560 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$q_u = \frac{P_{total}}{A} \pm \frac{M_x}{W_x} \pm \frac{M_y}{W_y}$$

$$= \frac{100976,3560}{2 \times 2} \pm \frac{30623,74}{\frac{1}{6} \times 2^2 \times 2} \pm \frac{30623,74}{\frac{1}{6} \times 2^2 \times 2}$$

$$= 25244,0890 \pm 6805,2755 \pm 6805,2755$$

$$q_{max} = 38854,6401 \text{ kg/m}^2$$

$$q_{min} = 11633,5379 \text{ kg/m}^2$$

Daya dukung poer

Sudut geser tanah $\phi = 0^\circ$

$$N_c = 5,3, N_\gamma = 0, N_q = 1,0$$

$$q_u = \alpha \cdot c \cdot N_c + \beta \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma + \gamma \cdot D_f \cdot N_q$$

$$q_u = (1,3 \times 2,105 \times 5,3) + (0,3 \times 0,00168 \times 2 \times 0) + (0,00168 \times 10 \times 1)$$

$$= 14,5202 \text{ kg/cm}^2$$

$$q_{u \text{ netto}} = \frac{q_u}{SF} = \frac{14,5353}{3} = 4,8400 \text{ kg/cm}^2$$

Cek, $q_u > q_{max}$

$$q_u = 48,400 \text{ t/m}^2 > q_{max} = 38,8546 \text{ t/m}^2$$

Daya dukung yang dihasilkan poer aman.

$$P_{\text{tiang pancang}} = (\sigma_{\text{terjadi}} \times SF) - q_u$$

$$= [(38,8546 \times 3) - 14,5252] \times 4 \text{ m}^2$$

$$= 408,1744 \text{ ton}$$

$$P_{\text{izin tiang}} = 3 \times 38,8546 \text{ t/m}^2 \times 4 \text{ m}^2 = 466,2552 \text{ ton}$$

Penulangan Poer

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{290} = 0,00482$$

$$\rho_{max} = 0,75 \times \frac{\beta \cdot f_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y}$$

$$= 0,75 \times \frac{0,85 \cdot 30}{290} \times \frac{600}{600 + 290} = 0,0444$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{99,2000 \cdot 10^6}{0,8 \cdot 1000 \cdot 439} = 0,6434$$

$$\omega = 0,85 \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2,353 \cdot R_n}{f_c}} \right)$$

$$= 0,85 \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2,353 \cdot 0,6434}{30}} \right)$$

$$= 0,0217$$

$$\rho = \omega \times \frac{f_c}{f_y} = 0,0217 \times \frac{30}{290} = 0,002244$$

Karena $\rho = 0,002244 < \rho_{min} = 0,00482 < \rho_{max} = 0,0444$, maka yang digunakan dalam perhitungan untuk luas tulangan pokok adalah $\rho_{min} = 0,00482$.

$$A_s \text{ perlu} = \rho \cdot b \cdot d$$

$$= 0,00482 \times 1000 \times 439 = 2115,9800 \text{ mm}^2$$

Jarak tulangan (S)

$$S = \frac{1000}{\frac{2115,9800}{(\frac{1}{4} \times \pi \times 22^2)}} = 179,557 \text{ mm} \approx 150 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan pokok D22 – 150 mm

$$A_s \text{ ada} = \frac{1000}{150} \times \left(\frac{1}{4} \times \pi \times 22^2 \right) = 2532,9333$$

$A_s \text{ ada} > A_s \text{ perlu} \rightarrow \text{OK.}$

Tulangan tekan direncanakan D16 mm

$$A_s \text{ tekan} = 20\% \times A_s \text{ perlu} = 20\% \times 2115,9800$$

$$= 423,196 \text{ mm}^2$$

Jarak tulangan (S)

$$S = \frac{1000}{\frac{423,196}{(\frac{1}{4} \times \pi \times 16^2)}} = 474,862 \text{ mm} \approx 150 \text{ mm}$$

$$A_s \text{ ada} = \frac{1000}{150} \times \left(\frac{1}{4} \times \pi \times 16^2 \right) = 1339,733$$

$A_s \text{ ada} > A_s \text{ perlu} \rightarrow \text{OK.}$

Perhitungan tiang pancang

Diameter tiang $\phi_{\text{tiang}} = 50 \text{ cm}$

$P_{\text{tiang}} = 408,1744 \text{ ton}$

Daya dukung tiang (kekutan bahan)

$$\bar{P}_{tiang} = \sigma_{bahan} \times A_{tiang} = 300 \times \frac{1}{4} \pi 50^2$$

$$= 588750 \text{ kg} = 588,750 \text{ ton.}$$

Daya dukung tiang (kekuatan tanah)

$$q_d = 3q_u = 3 \times 0,421 \text{ t/m}^2 = 1,263 \text{ t/m}^2$$

$$q_d \times A = 1,263 \times \frac{1}{4} \pi 0,5^2 = 0,2478 \text{ ton}$$

Gaya geser maksimum

$$U \sum li \times fi = \pi \times d \times \sum li \times fi$$

$$= 3,14 \times 0,5 \times 117,375 = 184,2788 \text{ ton.}$$

$$\text{Jadi, } R_u = (q_d \times A) + (\pi \times d \times \sum li \times fi)$$

$$= 0,2478 + 184,2788 = 184,5266 \text{ ton.}$$

Daya dukung tiang dalam kelompok

$$n_{tiang} = \frac{408,1744}{184,5266} = 2,21$$

Direncanakan tiang pancang 4 buah dengan $m = 2$

, $n = 2$.

$$S \leq \frac{1,57 \times 50 \times 2 \times 2}{2+2-2} = 157 \text{ cm.}$$

Efisiensi kelompok tiang

$$\eta = 1 - \frac{\theta}{90} \left\{ \frac{(n-1) \cdot m + (m-1) \cdot n}{m \cdot n} \right\}$$

$$= 1 - \frac{18^{\circ} 26' 5,82''}{90} \left\{ \frac{(2-1) \times 2 + (2-1) \times 2}{2 \times 2} \right\}$$

$$= 1 - (0,2048 \times 1) = 0,7953$$

Daya dukung tiang dalam kelompok adalah

$$P_{tiang \text{ kel}} = \eta \times n \times Q$$

$$= 0,7953 \times 4 \times 184,5266$$

$$= 597,9762 \text{ ton}$$

$$P_{tiang \text{ kel}} > P_{tiang}$$

$$597,9762 \text{ ton} > 408,1744 \text{ ton} \rightarrow \text{OK.}$$

Distribusi pembebanan tiang

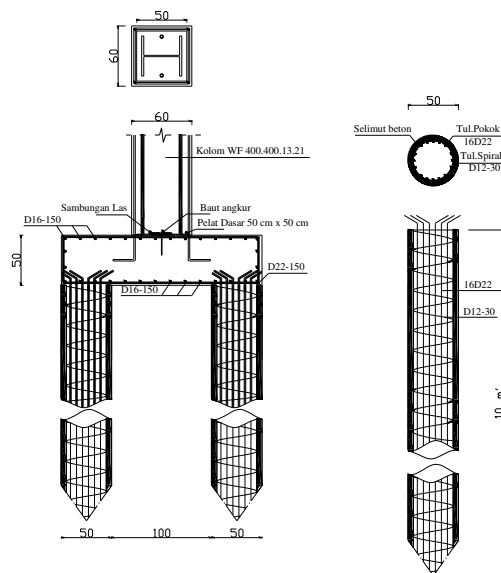
$$P_{max} = \frac{408,1744}{4} \pm \frac{204,0872 \times 0,75}{2 \times 2,25} \pm$$

$$\frac{204,0872 \times 0,75}{2 \times 2,25}$$

$$= 102,0436 \pm 34,0145 \pm 34,0145n = 170,0727 \text{ ton}$$

$$P_{max} < P_{tiang}$$

$$170,0727 \text{ ton} < 408,1744 \text{ ton} \rightarrow \text{OK.}$$



Gambar 10. Pondasi tiang pancang

PENUTUP

Kesimpulan

Dari hasil analisa perhitungan Studi Alternatif Perencanaan Struktur Komposit Pada Gedung Dermaga Multipurpose Tanjung Perak Surabaya, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Pelat lantai yang digunakan mempunyai ketebalan 120 mm dengan tulangan terpasang $\emptyset 12 - 125$. Momen tumpuan pelat 1319,15 kgm dan momen lapangan pelat 1319,15 kgm.
2. Balok yang terpasang menggunakan profil WF. 400.300.10.16 sebagai balok anak dengan $M_{mak} = 28359,1251$ kgm dan profil WF. 450.300.11.18 sebagai balok induk dengan $M_{mak} = 16746,0600$ kgm.
3. Kolom komposit menggunakan profil WF. 400.400.13.21 dengan dimensi kolom beton 60 cm x 60 cm. Dengan $P_{u \text{ mak}} = 93776,356$ kg dan $M_{mak} = 30623,7400$ kgm. Tulangan yang digunakan yaitu 4 $\emptyset 14$ sebagai tulangan longitudinal dan $\emptyset 10 - 350$ sebagai tulangan sengkang.
4. Pondasi yang digunakan berupa pondasi tiang pancang dengan ukuran poer pondasi 2 m x 2m, $M_u = 30623,740$ kgm, $P_{total \text{ poer}} = 100976,3560$ kg memakai tulangan pokok D22 - 150 mm serta tulangan tekan D16-150mm. Spesifikasi tiang pancang diameter 50 cm dengan kedalaman tiang 10 m dengan $P_{tiang} = 408,1744$ ton, $M_u = 30623,740$ kgm, tulangan pokok 16D22 dan tulangan spiral D12-30mm.

Saran

1. Ukuran tebal pelat lantai dan pelat atap dapat dirubah dengan mendesain denah pembalokan secara berbeda. L_y dan L_x yang berubah sesuai perencanaan denah pembalokan mempengaruhi luasan pelat.
2. Dimensi balok anak dan balok induk dapat dirubah sesuai denah pembalokan yang direncanakan.
3. Pondasi tiang pancang yang direncanakan dapat didesain ulang dengan perencanaan dan perhitungan pondasi sumuran.
4. Pemilihan metode pelaksanaan maupun penggunaan bahan dan peralatan berpedoman pada faktor kemudahan dalam pelaksanaan pekerjaan di lapangan, pengalaman tenaga kerja serta segi ekonomisnya.

Salmon Charles, 1996, "**Struktur Baja Desain Dan Prilaku**", Jilid Ketiga, PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta

Sardjono, HS. 1998. **Pondasi tiang pancang jilid 1**, Penerbit Sinar Wijaya, Surabaya.

Sosrodarsono, Suyono dan Kazuto Nakazawa, 2000. **Mekanika tanah dan teknik pondasi**. PT Pradya Paramita. Jakarta.

Sutarman E, 2013, **Konsep & Aplikasi Pengantar Teknik Sipil**, Penerbit ANDI, Yogyakarta.

Sutarman E, 2013, **Konsep dan Aplikasi Statika**, Penerbit ANDI, Yogyakarta.

DAFTAR PUSTAKA

Anonim. 2002. **SNI 03-1729-2002 Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung**. Badan Standardisasi Nasional.

Anoim. 2002. **SNI 03-2847-2002 Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung**. Badan Standardisasi Nasional.

Anonim. 2002. **SNI -1726-2002 Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunann Gedung**. Badan Standardisasi Nasional.

Agus Setiawan, 2008, **Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD**, Penerbit Erlangga, Jakarta.

E. Bowles 1993. **Analisis Dan Desain Pondasi**. Edisi Keempat Jilid 2. Penerbit Erlangga.

Gunawan Rudy, 1988, **Tabel Profil Konstruksi Baja**, Penerbit Kanisius, Yogyakarta.

Hery C.H 1994. **Mekanika Tanah 1**. PT Gramedia Pustaka Umum Jakarta.

kh Sunggono, 1995, **Buku Teknik Sipil**, Penerbit Nova, Bandung.

Kusuma Gideon, Vis W.C., 1993. **Grafik dan Tabel Perhitungan Beton Bertulang**, Penerbit Erlangga, Jakarta