NUSANTARA CIVIL ENGINEERING JOURNAL
Vol.4 No.02 (2025) pp. 95 - 110

Analysis Of Half Slab Floor Plates In Slab-On-Pile Structures For The IKN Toll Road Construction Project, Section 3A-2: Karangjoang - KKT Kariangau Balikpapan Segment (Case Study: The Impact Of The Yogyakarta Earthquake) PT. Adhi - Hutama - Nindya - Abipraya, Kso

Cahya Ningrum[1], Anis Aulia Ulfa[2], Wahyu Yusuf Rio[3]

[1,] Politeknik Negeri Balikpapan
anis.aulia@poltekba.ac.id

Received 18-08-2024; revision 28-08-2024, accepted 28-08-2024

Abstract
A slab-on-pile bridge consists of piles, pile heads, and a slab. The deck slab is the upper part of the bridge that carries traffic loads. Design issues for the deck slab include deflection, moment, shear force, and earthquake loads. Kalimantan has a relatively low earthquake risk due to its fewer active faults. Balikpapan City will experience earthquakes if there is influence from other regions. Therefore, differences in earthquakes in Java and Kalimantan can affect the structure.
The purpose of this study is to analyze the deflection, moment, and shear force of the half-slab during uplift, before, and after composite construction, as well as to calculate the shear connector. The structure will be simulated by applying the influence of the Yogyakarta earthquake to Balikpapan City. The reason for choosing Yogyakarta City is its active zone and the potential for larger earthquakes compared to Kalimantan. The study uses SNI 2833:2016, SNI 1725:2016, RSNI T-12-2004, and SAP 2000 V14.
The results of the analysis during lifting ϕMn > Mu = 123,428,127.160 Nmm > 74,520,000 Nmm with y reinforcement D22 – 150. Before the composite ϕMn > Mu = 123,428,127.160 Nmm > 115,300,000 Nmm with y reinforcement D22 – 150 and ϕMn > Mu = 53,815,017.177 Nmm > 34,993,350 Nmm with x reinforcement D16 – 200. When the composite ϕMn > Mu = 2,445,854,851.055 Nmm > 2,227,444,600 Nmm with x reinforcement M11 D22 – 100 and ϕMn > Mu = 2,445,854,851.055 Nmm > 2,023,937,200 Nmm with M11 D22 – 100 field y-reinforcement. Then, ϕMn > Mu = 571,144,094.330 Nmm > 482,361,200 Nmm with M22 D29 – 200 x-support reinforcement and ϕMn > Mu = 624,688,853.174 Nmm > 436,354,300 Nmm with M22 D29 – 200 field y-reinforcement. Shear connectors used are 58D19 - 200.

Keywords: *Precast floor slab; moment; shear force; deflection; shear connector.*

Analisis Pelat Lantai *Half Slab* Pada Struktur *Slab On Pile* Proyek Pembangunan Jalan Tol IKN Seksi 3A-2 : Segmen Karangjoang - KKT Kariangau Balikpapan (Studi Kasus: Pengaruh Akibat Gempa Yogyakarta) PT. Adhi - Hutama - Nindya - Abipraya, Kso

Abstrak
Slab on pile jembatan terdiri dari tiang pancang, *pile head*, dan *slab*. Pelat lantai adalah bagian atas jembatan yang memikul beban lalu lintas. Masalah perencanaan pelat lantai adalah lendutan, momen, gaya geser, dan beban gempa. Kalimantan relatif rendah terjadi gempa, karena jumlah sesar aktif lebih sedikit. Kota Balikpapan akan mengalami gempa, jika terdapat pengaruh dari wilayah lain. Sehingga, perbedaan gempa Jawa dan Kalimantan dapat mempengaruhi struktur tersebut.

Tujuan penelitian ini adalah menganalisis lendutan, momen, gaya geser *half slab* saat pengangkatan, sebelum, dan sesudah komposit, serta menghitung *shear connector*. Struktur akan disimulasikan dengan menerapkan pengaruh gempa Yogyakarta di Kota Balikpapan. Alasan memilih Kota Yogyakarta adalah zonanya yang aktif dan potensi gempa besar selalu ada dibandingkan Kalimantan. Penelitian menggunakan SNI 2833:2016, SNI 1725:2016, RSNI T-12-2004, dan SAP 2000 V14.
Hasil analisis saat pengangkatan ϕMn > Mu = 123.428.127,160 Nmm > 74.520.000 Nmm dengan tulangan y D22 – 150. Sebelum komposit ϕMn > Mu = 123.428.127,160 Nmm > 115.300.000 Nmm dengan tulangan y D22 – 150 dan ϕMn > Mu = 53.815.017,177 Nmm > 34.993.350 Nmm dengan tulangan x D16 – 200. Saat komposit ϕMn > Mu = 2.445.854.851,055 Nmm > 2.227.444.600 Nmm dengan tulangan x tumpuan M11 D22 – 100 dan ϕMn > Mu = 2.445.854.851,055 Nmm > 2.023.937.200 Nmm dengan tulangan y lapangan M11 D22 – 100. Kemudian, ϕMn > Mu =571.144.094,330 Nmm > 482.361.200 Nmm dengan tulangan x tumpuan M22 D29 – 200 dan ϕMn > Mu = 624.688.853,174 Nmm > 436.354.300 Nmm dengan tulangan y lapangan M22 D29 – 200. S*hear connector* digunakan 58D19 - 200.

Kata Kunci: Pelat lantai pracetak; momen; gaya geser; lendutan; konektor geser.

1. Pendahuluan

Penggunaan sistem struktur pracetak pada bangunan bertingkat terus meningkat seiring dengan kebutuhan percepatan konstruksi, konsistensi mutu, serta efisiensi pelaksanaan di lapangan. Salah satu sistem yang banyak diterapkan adalah pelat lantai pracetak tipe half slab yang dikombinasikan dengan topping slab beton cor di tempat untuk membentuk sistem pelat komposit. Penelitian terkini menunjukkan bahwa sistem lantai pracetak mampu memberikan kinerja struktural yang andal dengan waktu konstruksi yang lebih singkat dibandingkan sistem konvensional (Zhang et al., 2024)

Pelat half slab umumnya dirancang untuk bekerja sebagai elemen lentur setelah aksi komposit dengan topping slab tercapai. Studi eksperimental dan numerik terbaru menunjukkan bahwa kapasitas lentur dan geser sistem pelat pracetak sangat dipengaruhi oleh detail sambungan dan konfigurasi shear connector yang digunakan (Irawan et al., 2024; Tumimomor et al., 2016). Selain itu, variasi dimensi pelat dan tata letak koneksi terbukti berpengaruh signifikan terhadap kekakuan dan kapasitas sistem lantai pracetak satu arah maupun dua arah.

Dalam konteks bangunan bertingkat di wilayah rawan gempa, pelat lantai pracetak tidak hanya berfungsi sebagai elemen pemikul beban gravitasi, tetapi juga berperan sebagai diafragma horizontal yang mentransfer gaya gempa ke sistem penahan lateral. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa perilaku lentur pelat dan detail sambungan lantai dapat memengaruhi kinerja diafragma serta respons seismik struktur secara keseluruhan. Kajian mengenai aspek ini telah dilakukan, termasuk analisis sambungan half slab sebagai diafragma lantai pada bangunan apartemen terhadap beban gempa, yang menegaskan pentingnya mekanisme transfer gaya pada sistem lantai pracetak (Ulfa & Jamal, 2023).

Meskipun demikian, sebagian besar penelitian terdahulu masih berfokus pada kondisi akhir struktur setelah sistem pelat bekerja secara komposit. Analisis terhadap perilaku half slab pada tahapan awal konstruksi, seperti tahap pengangkatan (*lifting*) dan tahap sebelum komposit, masih relatif terbatas. Padahal, pada tahap-tahap tersebut elemen pracetak mengalami kondisi tumpuan dan pembebanan yang berbeda secara signifikan, yang berpotensi menjadi kondisi kritis terhadap keselamatan dan kinerja layan struktur.

Selain aspek tahapan konstruksi, evaluasi kinerja struktur pracetak umumnya dilakukan dengan menggunakan parameter gempa sesuai lokasi bangunan (Moehle et al., n.d.; NEHRP Recommended Provisions: Design Examples Prepared by the Building Seismic Safety Council for the Federal Emergency Management Agency of the Department of Homeland Security, 2006). Namun, beberapa studi terbaru menunjukkan bahwa penerapan skenario gempa konservatif dapat memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai ketahanan sistem struktur, khususnya untuk bangunan strategis dan infrastruktur penting. Pendekatan ini relevan untuk diterapkan pada kawasan berkembang seperti Ibu Kota Nusantara (IKN), di mana keandalan struktur menjadi aspek krusial dalam perencanaan jangka panjang.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja struktur pelat lantai pracetak tipe half slab secara bertahap, meliputi tahap pengangkatan, tahap sebelum komposit, dan tahap sesudah komposit. Evaluasi dilakukan melalui pendekatan analitis dan numerik untuk menilai kapasitas lentur, kinerja layan, serta kebutuhan tulangan dan shear connector pada setiap tahap konstruksi. Selain itu, penelitian ini menerapkan skenario gempa konservatif dengan menggunakan parameter gempa dari wilayah dengan tingkat kegempaan lebih tinggi guna menilai ketahanan sistem pelat pracetak secara lebih menyeluruh.

Dengan demikian, kontribusi utama penelitian ini terletak pada pendekatan evaluasi berbasis tahapan konstruksi yang secara eksplisit mengidentifikasi tahap yang mengontrol keselamatan, kinerja layan, dan desain tulangan. Pendekatan ini melengkapi penelitian sebelumnya yang menitikberatkan pada peran global half slab sebagai diafragma lantai terhadap beban gempa (Ulfa & Jamal, 2023), dengan menyoroti aspek perilaku lentur lokal dan keselamatan konstruksi yang masih jarang dibahas secara mendalam dalam literatur terkini.

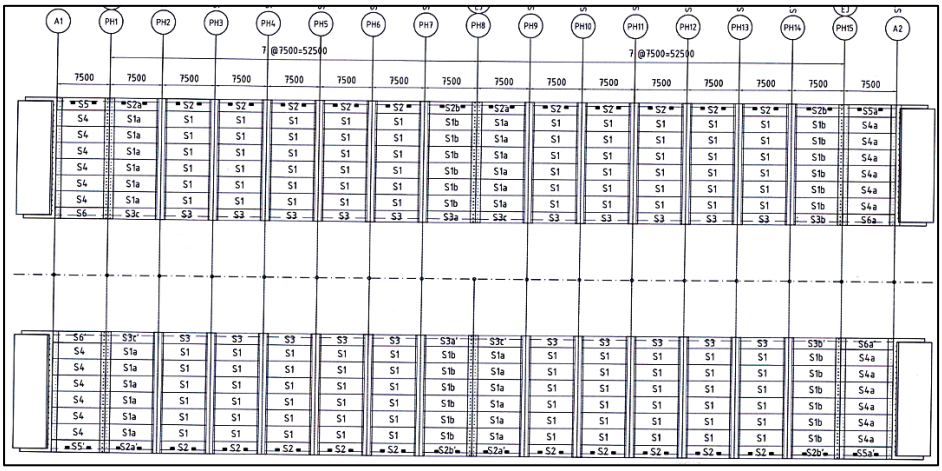
2. Metode

Penelitian ini merupakan studi analitis numerik yang mengevaluasi kinerja struktural pelat lantai pracetak tipe half slab pada struktur slab on pile proyek pembangunan Jalan Tol IKN Seksi 3A-2 Segmen Karangjoang–KKT Kariangau Balikpapan. Analisis dilakukan dengan mempertimbangkan pengaruh beban gempa menggunakan parameter gempa wilayah Yogyakarta sebagai skenario evaluasi konservatif.

Perencanaan dan analisis struktur mengacu pada SNI 1725:2016 (SNI 1725:2016, 2016) untuk pembebanan jembatan, SNI 2833:2016 (Putra, 2020) untuk perencanaan jembatan terhadap beban gempa, serta RSNI T-12-2004 (Putra, 2020) untuk perencanaan struktur beton jembatan. Analisis numerik dilakukan menggunakan perangkat lunak SAP2000 versi 14, sementara hasil analisis diverifikasi melalui perhitungan manual untuk memastikan kesesuaian dengan ketentuan standar yang berlaku.

Beberapa data sekunder yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

a. Perencanaan *half slab* disajikan pada Gambar 1 sementara Tabel 1 menampilkan nama dan dimensi pada masing – masing tipe *half slab*.



Gambar 1 Desain *Half Slab* Tampak Atas

Berikut adalah tabel 1 nama dan dimensi pada masing – masing tipe *half slab*:

Tabel 1 Nama Dan Dimensi *Half Slab*

No	Tipe *Half Slab*	Panjang (m)	Lebar (m)	Tebal Pelat (m)	Selimut Beton (mm)
1	S1	7,1	2,3	0,25	50
2	S1a	7,28	2,3	0,25	50
3	S1b	7,28	2,3	0,25	50
4	S2	7,1	1,75	0,25	50
5	S2a	7,28	1,75	0,25	50
6	S2a′	7,28	1,75	0,25	50
7	S2b	7,28	1,75	0,25	50
8	S2b′	7,28	1,75	0,25	50
9	S3	7,1	1,6	0,25	50
10	S3a	7,28	1,6	0,25	50
11	S3a′	7,28	1,6	0,25	50
12	S3b	7,28	1,6	0,25	50
13	S3b′	7,28	1,6	0,25	50
14	S3c	7,28	1,6	0,25	50
15	S3c′	7,28	1,6	0,25	50
16	S4	7,45	2,3	0,25	50
17	S4a	7,45	2,3	0,25	50
18	S5	7,45	1,75	0,25	50
19	S5′	7,45	1,75	0,25	50
20	S5a	7,45	1,75	0,25	50
21	S5a′	7,45	1,75	0,25	50
22	S6	7,45	1,6	0,25	50
23	S6′	7,45	1,6	0,25	50
24	S6a	7,45	1,6	0,25	50
25	S6a′	7,45	1,6	0,25	50

b. Data gempa wilayah Kota Yogyakarta bersumber dari Laporan Survei Pascagempa M 5,8 tanggal 26 Agustus 2024 (Harijoko et al., 2024). Kerusakan bangunan di Kabupaten Gunungkidul dominan terjadi pada formasi kepek dengan *site class* berupa tanah keras dengan tipe C (Vs > 350-750), sehingga guncangan yang tinggi ditemui di Desa Pacarejo, Kecamatan Semanu. Berikut adalah tabel 2 nilai Vs dan klasifikasi situs.

Tabel 2 Nilai Vs Dan Klasifikasi Situs Pada Desa Pacarejo

Vs (m/s)	Kedalaman (m)	Klasifikasi Situs
158,32	0, 00 – 3,64	Tanah lunak
246,51	3,65 – 13,55	Tanah sedang
683,26	**13,56 – 44,32**	**Tanah keras**
842,84	> 44,32	Batuan

Sumber: BMKG Kelas I Sleman, 2024

c. Peta Skenario Model Tingkat Guncangan (Shakemap) Gempa Bumi, Klasifikasi Situs dan Spektrum Respons Desain.

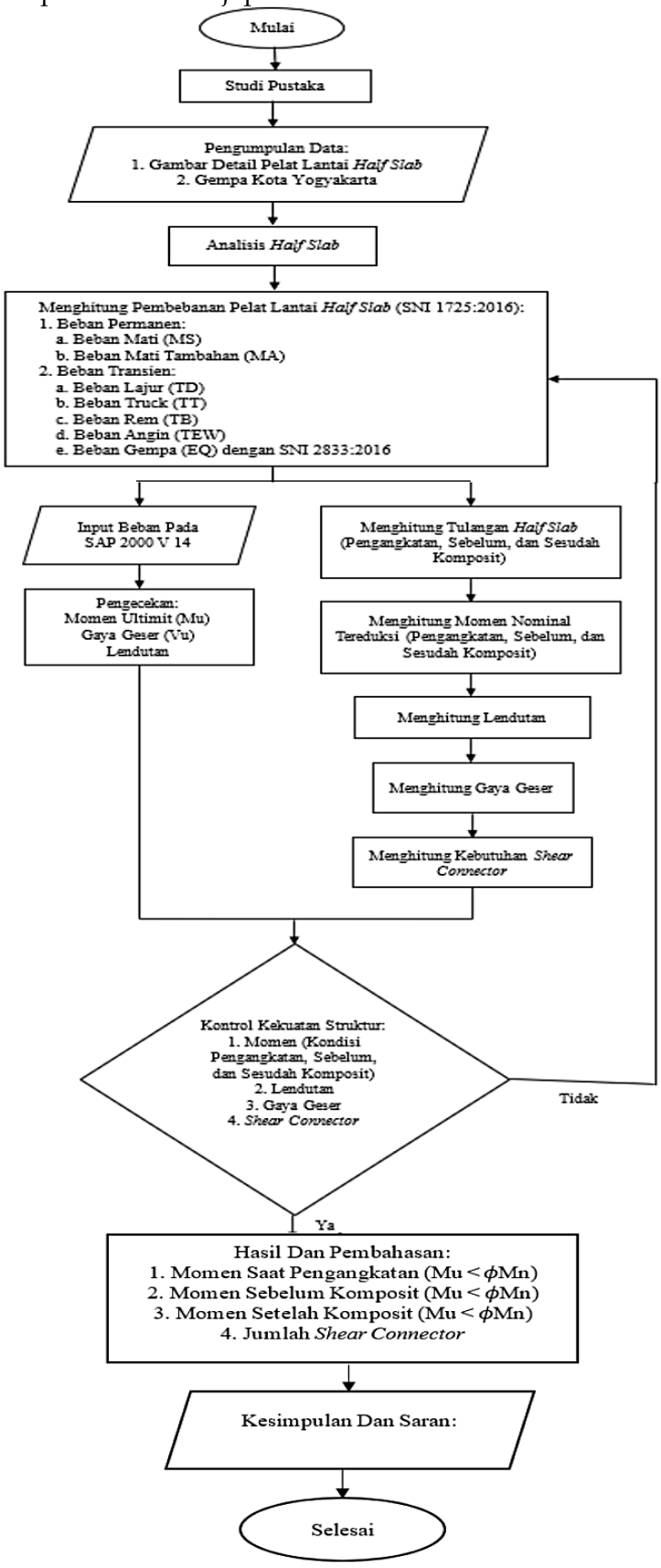
Analisis struktur dilakukan pada tiga tahapan konstruksi**,** yaitu:

d. Tahap pengangkatan (lifting),
Pada kondisi ini pelat half slab dianalisis saat diangkat sebagai elemen pracetak yang hanya menerima beban berat sendiri dengan kondisi tumpuan terbatas.
e. Tahap sebelum komposit,
Pada kondisi ini pelat half slab telah diletakkan di atas pile head dan menerima kombinasi beban mati serta beban hidup konstruksi, sementara kontribusi topping slab terhadap kekakuan struktur belum bekerja.
f. Tahap sesudah komposit,
Pada kondisi ini topping slab telah dicor dan diasumsikan bekerja secara monolit dengan half slab, sehingga sistem pelat berperilaku sebagai elemen komposit yang menerima beban layan penuh.

Pada setiap tahapan tersebut dilakukan evaluasi terhadap momen lentur, gaya geser, dan lendutan pelat lantai. Kombinasi pembebanan ditentukan sesuai dengan ketentuan SNI 1725:2016, sedangkan pengaruh gempa diperhitungkan berdasarkan spektrum respons desain yang diturunkan dari data gempa wilayah Yogyakarta sesuai dengan SNI 2833:2016

Kapasitas penampang pelat lantai dievaluasi berdasarkan kriteria kekuatan dan kinerja layan, dengan persyaratan $Mu < \varphi Mn$ untuk momen lentur, $Vu \leq \varphi Vn$ untuk gaya geser, serta lendutan total yang tidak melebihi batas izin. Selain itu, kebutuhan shear connector pada pile head dihitung untuk memastikan terjadinya aksi komposit yang efektif antara pelat half slab dan topping slab. Hasil analisis numerik dari SAP2000 dibandingkan dengan perhitungan manual untuk menentukan kondisi kritis dan memastikan keandalan hasil analisis.

Gambar bagan alur penelitian tersaji pada Gambar 2



Gambar 2 Bagan Alur Penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Data Perencanaan

a. Panjang *slab on pile* (L) : 120 m
b. Lebar parapet : 0,5 x 2 = 1 m
c. Lebar total satu jalur (b) : 3,4 + 11,25 + 1,5 + 1 = 17,15 m
d. Tebal *half slab* (ths) : 0,25 m
e. Tebal *topping slab* (tts) : 0,15 m
f. Tebal *half slab* + *topping slab* (ts) : 0,40 m
g. Tebal aspal dan *overlay* (ta) : 0,05 m
h. Tebal air hujan (th) : 0,05 m
i. Jarak antar *pile head* (SH) : 7,5 m
j. f'c : 30 Mpa
k. f'y : 420 Mpa
l. ϕ : 0,8

3.2. Analisis Half *Slab*

Analisis *half slab* dilakukan pada saat pengangkatan, sebelum komposit, dan sesudah komposit. Berikut tabel kombinasi pembebanan menggunakan ([9]).

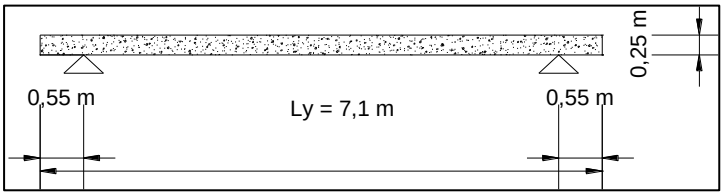
Tabel 3 Kombinasi Beban

Beban	Faktor Beban	Kombinasi		
		Kuat I	Kuat III	Ekstrim I
a. Aksi Tetap				
Berat Sendiri (MS)	KMS	1,2	1,2	1,2
Beban Mati Tambahan (MA)	KMA	1,4	1,4	1,4
b. Aksi Transien				
Beban Lajur "D"	KTD	1,8	-	0,3
Gaya Rem	KTB	1,8	-	0,3
Beban Truck	KTT	1,8	-	0,3
c. Aksi Lingkungan				
Beban Angin	KEW	-	1,4	-
Beban Gempa	KEQ	-	-	1

Sumber: [9]

3.3. Kondisi Half *Slab* Saat Pengangkatan

Pada saat kondisi pengangkatan beban yang bekerja adalah berat sendiri *half slab*. Kombinsi beban yang digunakan adalah 1,2 MS.



Gambar 3 *Half Slab* Arah Y Saat Pengangkatan

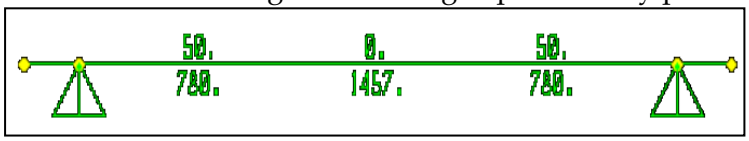
1. Perhitungan beban arah y *half slab* pada tipe pelat S1:
   a) Beban mati (MS) dengan faktor beban = 1,2
      h x b x wc x γMS = 0,25 x 2,3 x 24 x 1,2 = 16,56 KN/m
   b) Mulapangan = $\frac{1}{8}$ x qu x L^2 = $\frac{1}{8}$ x 16,56 x 6^2 = 74,520 KNm

c) $Vu = \frac{1}{2} \times qu \times L = \frac{1}{2} \times 16{,}56 \times 6 = 49{,}680$ KNm

2. Perhitungan tulangan arah y *half slab* pada tipe pelat S1 (7,1 x 2,3 m) D22-150 mm:
   a) Tinggi efektif pelat (dy) = h – d' = 250 – 50 = 200 mm
   b) *Rho* belance (**ρ**b) = $\frac{0{,}85 \times f'c \times \beta}{fy} \times \frac{600}{600 + fy} = 0{,}0304$
   c) *Rho* maksimal (**ρ**maks) = 0,75 x **ρ**b = 0,0228
   d) *Rho* minimal (**ρ**min) = $\frac{1{,}4}{fy} = 0{,}0033$
   e) Faktor momen nominal (Rn) = $\frac{Mu}{\phi \times b \times d^2} = 1{,}013$ Mpa
   f) *Rho* perlu (**ρ**perlu) = $\frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{fy}}\right) = 0{,}0025$ Mpa
   g) Asperlu = **ρ**min x b x dy = 1533,333 mm²
   h) Jumlah tulangan dalam 1 meter (n) = $\frac{Asperlu}{As} = 5$ buah tulangan
   i) Aspasang = $\frac{As \times b}{s} = 5831{,}048$ mm²

   Sehingga Aspasang > Asperlu = 5831,048 mm² > 1533,333 mm² (ok). Kemudian menentukan momen nominal tereduksi.
   j) As = 5D22 = $5 \times \frac{1}{4} \times \frac{22}{7} \times 22^2 = 1901{,}429$ mm²
   k) a = $\frac{As \times fy}{0{,}85 \times f'c \times b} = 13{,}616$ mm
   l) **ρ**pasang = $\frac{AsPasang}{b \times d} = 0{,}0041$
   m) Mn = $\phi \times fy \times \rho \times b \times d^2 \times (1 - 0{,}588 \times \rho \times \frac{fy}{f'c}) = 123428127{,}160$ Nmm

   Hasil ϕMn > Mu = 123.428.127,160 Nmm > 74.520.000 Nmm (Ok). Sehingga D22 – 150 mm telah memenuhi kebutuhan momen ultimit pada saat kondisi pengangkatan pelat. Berdasarkan perhitungan manual dan hasil di SAP 2000, jika dilihat dari Mu nilai yang terbesar diperoleh dari perhitungan manual, yaitu 74,520 KNm sedangkan di SAP 2000 72,0153 KNm, maka yang dikontrol adalah hasil manual. Jika mampu menahan beban secara perhitungan manual, maka bisa menahan beban yang ada di SAP 2000. Hasil tulangan perlu arah y lapangan pada SAP 2000 adalah 1457 mm² dan perhitungan manual 1533,333 mm². Dibawah ini adalah gambar tulangan perlu arah y pada SAP 2000.



Gambar 4 Tulangan Arah Y Pada SAP 2000 V14

3. Perhitungan gaya geser
   a) $Vc = \frac{1}{6} \times \sqrt{f'c} \times b \times d = 419920{,}627$ N
   b) ϕVc = 0,7 x 419920,627 = 293944.439 N
   c) 0,5 x ϕVc = 0,5 x 293944.439 = 146972,220 N

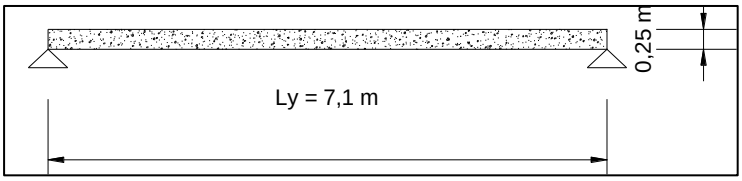
   Berdasarkan syarat tulangan, maka tulangan geser minimum tidak dipasang untuk pelat. Karena kebutuhan kekuatan geser terfaktor Vu < 0,5 x ϕVc = 49.680 N < 146.972,220 N atau Vu < ϕVc = 49.680 N < 293.944.439 N.

4. Perhitungan lendutan

Arah y (Lx = 2300 mm dan b = 1000 mm)
As D22 = 380,286 mm²
Beban mati (qD) = 16,56 KN/m = 16560000 N/mm
Lendutan izin maksimum = $\frac{Lx}{h} = \frac{2300}{250}$ = 9,2 mm
Inersia efektif perhitungan lendutan (le) = $\left(\frac{Mcr}{Ma}\right)^3$ x (Ig) + $\left(1- \left(\frac{Mcr}{Ma}\right)\right)^3$ x (Icr) = 73886008943394 mm⁴
Lendutan elastis akibat beban mati (σD) = $\frac{5 \times q \times L^4}{384 \times Ec \times Ie} = \frac{5 \times 16560000 \times 2300^4}{384 \times 25742{,}960 \times 73886008943394}$ = 3,172 mm
Aspasang = $\frac{As \times b}{s} = \frac{380{,}286 \times 1000}{150}$ = 2535,24
Rasio tulangan pelat lantai (**ρ**′) = $\frac{As\ pasang}{b \times d} = \frac{2535{,}24}{1000 \times 200}$ = 0,012
Faktor ketergantungan beban mati (λ) = $\frac{\sigma}{(1 + 50 \times \rho')} = \frac{2}{(1 + 50 \times 0{,}012)}$ = 1,25
Lendutan jangka panjang akibat rangkak dan susut (σg) = λ x σd = 1,25 x 3,172 = 3,965 mm
Lendutan total pada pelat (σtotal) = σD + σg = 3,172 + 3,965 = 7,137 mm
Syarat lendutan total pada pelat (σtotal) < Lendutan izin maksimum. Hasil didapatkan nilai lendutan 7,137 mm < 9,2 mm (Ok), sedangkan pada SAP 2000 nilai lendutan 4,46 < 9,2 mm (ok). Maka nilai lendutan struktur dikatakan aman.

3.4. Kondisi Half *Slab* Sebelum Komposit

Saat *half slab* diletakkan di atas tumpuan (*pile head*), maka beban yang bekerja adalah berat sendiri *half slab* dan beban hidup pekerja. Kombinsi beban yang digunakan adalah (1,2 MS + 1,8 LL).



Gambar 5 *Half Slab* Arah Y Pada Saat Pemasangan

1. Perhitungan beban arah y *half slab* pada tipe pelat S1:
   a) Beban mati (MS) dengan faktor beban = 1,2
      h x b x wc x γMS = 0,25 x 2,3 x 24 x 1,2 = 16,56 KN/m
      Beban hidup (LL) dengan faktor beban = 1,8
      Berat pekerja x γLL = 1 x 1,8 = 1,8 KN/m
      Total beban mati + hidup = 18,36 KN/m
   b) Mulapangan = $\frac{1}{8}$ x qu x L² = $\frac{1}{8}$ x 18,36 x 7,1² = 115,690950 KNm
   c) Vu = $\frac{1}{2}$ x qu x L = $\frac{1}{2}$ x 18,36 x 7,1 = 65,1780 KNm

2. Perhitungan tulangan arah y *half slab* pada tipe pelat S1 (7,1 x 2,3 m) D22-150 mm:
   a) Tinggi efektif pelat (dy) = h – d′ = 250 – 50 = 200 mm
   b) *Rho* belance (**ρ**b) = $\frac{0{,}85 \times f'c \times \beta}{fy}$ x $\frac{600}{600 + fy}$ = 0,0304
   c) *Rho* maksimal (**ρ**maks) = 0,75 x **ρ**b = 0,0228
   d) *Rho* minimal (**ρ**min) = $\frac{1{,}4}{fy}$ = 0,0033
   e) Faktor momen nominal (Rn) = $\frac{Mu}{\phi \times b \times d^2}$ = 1,572 Mpa

f) *Rho* perlu (**ρ**perlu) = $\frac{1}{m}$ x $\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \text{ x m x Rn}}{fy}}\right)$ = 0,0039 Mpa

g) Asperlu = **ρ**min x b x dy = 1778,200 mm²

h) Jumlah tulangan dalam 1 meter (n) = $\frac{\text{Asperlu}}{\text{As}}$ = 5 buah tulangan

i) Aspasang = $\frac{\text{As x b}}{s}$ = 5831,048 mm²

Sehingga Aspasang > Asperlu = 5831,048 mm² > 1778,200 mm² (ok). Kemudian menentukan momen nominal tereduksi.

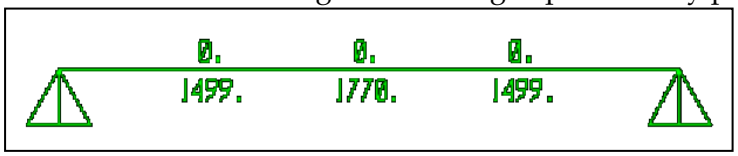
j) As = 5D22 = 5 x $\frac{1}{4}$ x $\frac{22}{7}$ x 22² = 1901,429 mm²

k) a = $\frac{\text{As x fy}}{0{,}85 \text{ x f'c x b}}$ = 13,616 mm

l) **ρ**pasang = $\frac{\text{AsPasang}}{\text{b x d}}$ = 0,0041

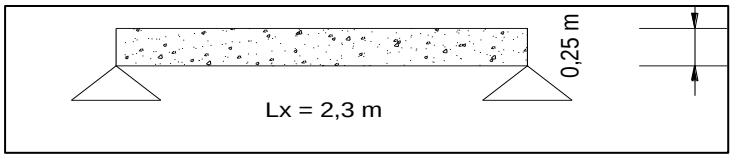
m) Mn = ϕ x fy x **ρ** x b x d² x (1 – 0,588 x **ρ** x $\frac{fy}{f'c}$) = 123428127,160 Nmm

Hasil ϕMn > Mu = 123.428.127,160 Nmm > 115.690.950 Nmm (Ok). Sehingga D22 – 150 mm telah memenuhi kebutuhan momen ultimit pada saat kondisi pengangkatan pelat. Berdasarkan perhitungan manual dan hasil di SAP 2000, jika dilihat dari Mu nilai yang terbesar diperoleh dari perhitungan manual, yaitu 115,690950 KNm sedangkan di SAP 2000 115,177 KNm, maka yang dikontrol adalah hasil manual. Jika mampu menahan beban secara perhitungan manual, maka bisa menahan beban yang ada di SAP 2000. Hasil tulangan perlu arah y lapangan pada SAP 2000 adalah 1778,200 mm² dan perhitungan manual 1770 mm². Dibawah ini adalah gambar tulangan perlu arah y pada SAP 2000.



Gambar 6 Tulangan Arah Y Pada SAP 2000 V14

Half slab arah x:



Gambar 7 *Half Slab* Arah X Pada Saat Pemasangan

3. Perhitungan beban arah x *half slab* pada tipe pelat S1:
   a) Beban mati (MS) dengan faktor beban = 1,2
      h x b x wc x γMS = 0,25 x 7,1 x 24 x 1,2 = 51,12 KN/m
      Beban hidup (LL) dengan faktor beban = 1,8
      Berat pekerja x γLL = 1 x 1,8 = 1,8 KN/m
      Total beban mati + hidup = 52,92 KN/m
   b) Mulapangan = $\frac{1}{8}$ x qu x L² = $\frac{1}{8}$ x 52,92 x 2,3² = 34,9933500 KNm
   c) Vu = $\frac{1}{2}$ x qu x L = $\frac{1}{2}$ x 52,92 x 2,3 = 60,8580 KNm

4. Perhitungan tulangan arah x *half slab* pada tipe pelat S1 (7,1 x 2,3 m) D16-200 mm:
   a) Tinggi efektif pelat (dx) = h – d' = 250 – 50 = 200 mm

b) *Rho* belance (**ρ**b) = $\frac{0{,}85 \times f'c \times \beta}{fy} \times \frac{600}{600 + fy}$ = 0,0304

c) *Rho* maksimal (**ρ**maks) = 0,75 x **ρ**b = 0,0228

d) *Rho* minimal (**ρ**min) = $\frac{1{,}4}{fy}$ = 0,0033

e) Faktor momen nominal (Rn) = $\frac{Mu}{\phi \times b \times d^2}$ = 0,154 Mpa

f) *Rho* perlu (**ρ**perlu) = $\frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{fy}}\right)$ = 0,0004 Mpa

n) Asperlu = **ρ**min x b x dx = 0,0033 x 1000 x 200 = 666,667 mm²

g) Jumlah tulangan dalam 1 meter (n) = $\frac{Asperlu}{As}$ = 4 buah tulangan

h) Aspasang = $\frac{As \times b}{s}$ = 7140,571 mm²

Sehingga Aspasang > Asperlu = 7140,571 mm² > 666,667 mm² (ok). Kemudian menentukan momen nominal tereduksi.

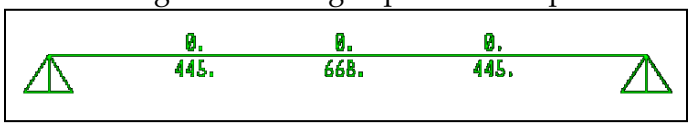
i) As = 4D16 = 4 x $\frac{1}{4}$ x $\frac{22}{7}$ x 16² = 804,571 mm²

j) a = $\frac{As \times fy}{0{,}85 \times f'c \times b}$ = 1,866 mm

k) **ρ**pasang = $\frac{AsPasang}{b \times d}$ = 0,0006

l) Mn = ϕ x fy x **ρ** x b x d² x (1 – 0,588 x **ρ** x $\frac{fy}{f'c}$) = 53815017,177 Nmm

Hasil ϕMn > Mu = 53.815.017,177 Nmm > 34.993.350 Nmm (Ok). Sehingga D16 – 200 mm telah memenuhi kebutuhan momen ultimit pada saat kondisi pengangkatan pelat. Berdasarkan perhitungan manual dan hasil di SAP 2000, jika dilihat dari Mu nilai yang terbesar diperoleh dari perhitungan manual, yaitu 34,99335 KNm sedangkan di SAP 2000 33,5936 KNm, maka yang dikontrol adalah hasil manual. Jika mampu menahan beban secara perhitungan manual, maka bisa menahan beban yang ada di SAP 2000. Hasil tulangan perlu arah y lapangan pada SAP 2000 adalah 667 mm² dan perhitungan manual 668 mm². Dibawah ini adalah gambar tulangan perlu arah x pada SAP 2000.



Gambar 8 Tulagan Arah X Pada SAP 2000 V14

5. Perhitungan gaya geser

Arah x (b = 7100 mm):

a) Vc = $\frac{1}{6}$ x √f'c x b x d = 1296276,719 N

b) ϕVc = 0,7 x 1296276,719 = 907.393,704 N

c) 0,5 x ϕVc = 0,5 x 907.393,704 = 453696,852 N

Berdasarkan syarat tulangan, maka tulangan geser minimum tidak dipasang untuk pelat. Karena kebutuhan kekuatan geser terfaktor Vu < 0,5 x ϕVc = 60.858 N < 453.696,852 N atau Vu < ϕVc = 60.858 N < 907.393,704 N.

.

Arah y (b = 2300 mm):

a) Vc = $\frac{1}{6}$ x √f'c x b x d = 419920,627 N

b) ϕVc = 0,7 x 419920,627 = 293944,439 N

c) 0,5 x ϕVc = 0,5 x 293944,439 = 146972,220 N

Berdasarkan syarat tulangan, maka tulangan geser minimum tidak dipasang untuk pelat. Karena kebutuhan kekuatan geser terfaktor Vu < 0,5 x ϕVc = 65.178 N < 146.972.220 N

atau Vu < ϕVc = 65.178 N < 293.944.439 N.

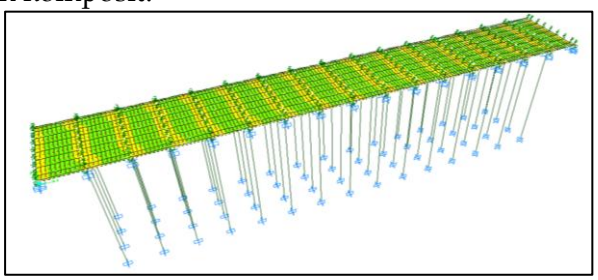
6. Perhitungan lendutan
   Arah y (Lx = 2300 mm dan b = 1000 mm)
   As D22 = 380,286 mm²
   Beban mati (qD) = 16,56 KN/m = 16560000 N/mm
   Beban mati + beban hidup (qD + qLL) = 16,56 + 1,8 = 18,36 KN/m = 18360000 N/mm
   Lendutan izin maksimum = $\frac{Lx}{h} = \frac{2300}{250}$ = 9,2 mm
   Lendutan beban mati sesaat (Jangka pendek) (σD)
   Inersia efektif perhitungan lendutan (Ie) $= \left(\frac{Mcr}{Ma}\right)^3 x\ (Ig) + \left(1- \left(\frac{Mcr}{Ma}\right)\right)^3 x\ (Icr) =$ 70852875453039,600 mm⁴
   Lendutan elastis akibat beban mati dan beban hidup (σD)
   Lendutan elastis akibat beban mati (σD) = $\frac{5 \times q \times L^4}{384 \times Ec \times Ie} = \frac{5 \times 16560000 \times 2300^4}{384 \times 25742{,}960 \times 70852875453039{,}600}$ = 3,308 mm

   Lendutan sesaat atau jangka pendek untuk beban mati dan beban hidup penuh (σD + σLL)
   Inersia efektif perhitungan lendutan (Ie) $= \left(\frac{Mcr}{Ma}\right)^3 x\ (Ig) + \left(1- \left(\frac{Mcr}{Ma}\right)\right)^3 x\ (Icr) =$ 51990105890712,500 mm⁴

   Lendutan elastis akibat beban mati dan beban hidup (σD + σLL)
   σD + σLL = $\frac{5 \times q \times L^4}{384 \times Ec \times Ie} = \frac{5 \times 18360000 \times 2300^4}{384 \times 25742{,}960 \times 51990105890712{,}500}$ = 4,999 mm
   Lendutan awal untuk beban hidup penuh (σL) = (σD + σLL) – σD = 1,69 mm
   Aspasang = $\frac{As \times b}{s} = \frac{380{,}286 \times 1000}{150}$ = 2535,24
   Rasio tulangan pelat lantai (**ρ'**) = $\frac{As\ pasang}{b \times d} = \frac{2535{,}24}{1000 \times 200}$ = 0,012
   Faktor ketergantungan beban mati (λ) = $\frac{\sigma}{(1 + 50 \times \rho')} = \frac{2}{(1 + 50 \times 0{,}012)}$ = 1,25
   Lendutan jangka panjang akibat rangkak dan susut (σg) = (λ x σD) + σL
   = (1,25 x 3,308) + 1,69 = 5,825 mm
   Syarat lendutan total pada pelat (σtotal) < Lendutan izin maksimum. Hasil didapatkan nilai lendutan 5,825 mm < 9,2 mm (ok), sedangkan pada SAP 2000 nilai lendutan 7,80 < 9,2 mm (ok). Maka nilai lendutan struktur dikatakan aman.

3.5. Kondisi *Half Slab* Sesudah Komposit

Saat komposit, *half slab* dan *topping slab* telah bersatu, sehingga beban yang bekerja adalah berat sendiri saat komposit, beban mati tambahan, dan beban hidup layan. Dimana gaya yang digunakan adalah hasil dari SAP 2000 dan diambil nilai kombinasi terbesar. Berikut adalah gambar *half slab* sesudah komposit.



Gambar 9 *Half Slab* Sesudah Komposit

1. Perhitungan Tulangan Dan Momen Nominal Tereduksi
   Perhitungan momen pada saat komposit diambil pada nilai SAP 2000 dengan Mmax arah x dan Mmax arah y. Dibawah ini adalah tabel rekap momen *uniform shell* pada SAP 2000.

Tabel 4 Rekap Momen *Uniform Shell* SAP 2000

Mmax (M11) Arah X		**Mmax (M22) Arah Y**	
Momen Tumpuan (KNm)	Momen Lapangan (KNm)	Momen Tumpuan (KNm)	Momen Lapangan (KNm)
- 2227,4446	2023,9372	- 482,3612	426,3543

Sehingga dari perhitungan tulangan dengan diameter x = D16-200 dan diamater y = D22-150 belum memenuhi kebutuhan momen ultimit. Maka, tulangan perlu diperbesar dengan D22-100 arah x dan D29-200 arah y. Berikut adalah tabel hasil rekapan momen nominal tereduksi pada half slab setelah komposit.

Tabel 5 Rekapan Momen Nominal Tereduksi Setelah Komposit

Tulangan Awal			**Tulangan Diperbesar**			**Satuan**
Tumpuan x M11		Lapangan x M11	Tumpuan x M11		Lapangan x M11	
D16-200		D16-200	D22-100		D22-100	mm
Momen			Momen			
Kontrol Kapasitas Penampang			Kontrol Kapasitas Penampang			
ϕMn	**<**	Mu	ϕMn	**>**	Mu	
328,147	**<**	2227,4446	2405,244	**>**	2227,4446	KNm
Menentukan Momen Nominal Tereduksi			Menentukan Momen Nominal Tereduksi			
ϕMn	**<**	Mu	ϕMn	**>**	Mu	
326.624.602,047	**<**	2.227.444.600	2.445.854.851,055	**>**	2.227.444.600	Nmm
Tidak memenuhi syarat ϕMn > Mu			Memenuhi syarat ϕMn > Mu			

Tulangan Awal			Tulangan Diperbesar			Satuan
Tumpuan y M22		Lapangan y M22	Tumpuan y M22		Lapangan y M22	
D22-150		D22-150	D29-200		D29-200	mm
Momen			Momen			
Kontrol Kapasitas Penampang			Kontrol Kapasitas Penampang			
ϕMn	**<**	Mu	ϕMn	**>**	Mu	
341,766	**<**	482,3612	540,506	**>**	482,3612	KNm
Menentukan Momen Nominal Tereduksi			Menentukan Momen Nominal Tereduksi			
ϕMn	**<**	Mu	ϕMn	**>**	Mu	
339.813.988,576	**<**	482.361.200	571.144.094,330	**>**	482.361.200	Nmm
Tidak memenuhi syarat ϕMn > Mu			Memenuhi syarat ϕMn > Mu			

2. Perhitungan gaya geser

Perhitungan gaya geser pada saat komposit diambil pada nilai SAP 2000 dengan Vmax arah x dan Vmax arah y. Dibawah ini adalah tabel rekap gaya geser *uniform shell* pada SAP 2000.

Tabel 6 Rekap Gaya Geser *Uniform Shell* SAP 2000

Vumax (V13) Arah X		**Vumax (V23) Arah Y**	
Gaya Geser Tumpuan (KN)	Gaya Geser Lapangan (KN)	Gaya Geser Tumpuan (KN)	Gaya Geser Lapangan (KN)
- 4087,25	4049,94	- 2807,92	2869,42

Hasil perencanaan penampang akibat geser didapatkan nilai Vu ≤ ϕVn, sehingga dapat menahan geser, maka tulangan geser menggunakan D28-50 mm pada arah x dan D28-100 mm pada arah y. Berikut adalah tabel hasil tulangan geser.

Tabel 7 Rekap Hasil Tulangan Gaya Geser

Arah Gaya Geser	**Arah Tulangan**	**As Perhitungan (mm²)**	**Tulangan (mm)**
V13 (X)	Tumpuan arah X	616	D28-50
	Lapangan arah X	616	D28-50
V23 (Y)	Tumpuan arah Y	616	D28-100
	Lapangan arah Y	616	D28-100

3. Perhitungan lendutan
   Arah y (Lx = 1000 mm dan b = 7450 mm)
   As D29 = 660,786 mm²
   Beban mati + beban hidup (qD + qLL) = 436,3543 KNm = 436354300 Nmm
   Lendutan izin maksimum = $\frac{Lx}{h} = \frac{1000}{250}$ = 4 mm
   Lendutan sesaat atau jangka pendek untuk beban mati dan beban hidup penuh (σD + σLL)
   Inersia efektif perhitungan lendutan (le) $= \left(\frac{Mcr}{Ma}\right)^3 x \left(Ig\right) + \left(1- \left(\frac{Mcr}{Ma}\right)\right)^3 x \left(Icr\right)$ = 255845420158696 mm⁴
   Lendutan elastis akibat beban mati dan beban hidup (σD + σLL)
   $\sigma D + \sigma LL = \frac{5 \times q \times L^4}{384 \times Ec \times Ie} = \frac{5 \times 436354300 \times 1000^4}{384 \times 25742{,}960 \times 255845420158696}$ = 0,863 mm
   $Aspasang = \frac{As \times b}{s} = \frac{660{,}786 \times 7450}{200}$ = 24614,268
   Rasio tulangan pelat lantai (ρ') $= \frac{As\ pasang}{b \times d} = \frac{24614{,}268}{7450 \times 200}$ = 0,0094
   Faktor ketergantungan beban mati (λ) $= \frac{\sigma}{(1 + 50 \times \rho')} = \frac{2}{(1 + 50 \times 0{,}0094)}$ = 1,36
   Lendutan jangka panjang akibat rangkak dan susut (σg) = λ x σL = 1,36 x 0,863 = 1,172 mm
   Syarat lendutan total pada pelat (σtotal) < Lendutan izin maksimum. Hasil didapatkan nilai lendutan 1,172 mm < 4 mm, sedangkan pada SAP 2000 nilai lendutan 1,907 < 4 mm (ok). Maka nilai lendutan struktur dikatakan aman.

4. *Shear Connector*
   Diameter angkur = D19 mm
   Luas tulangan angkur (As) = $\frac{1}{4}$ x $\frac{22}{7}$ x D² = 283,643 mm²

Ec = 4700 x √f'c = 25742,960 Mpa

Qn = 0,5 x As x √(f''c x Ec) ≤ As x Fu

= 0,5 x 283,643 x √(30 x 25742,960) ≤ 283,643 x 525

= 124632,620 ≤ 148912,05 N/mm²

Vh = 0,85 x f'c x Asc

= 0,85 x f'c x (Tebal pelat x lebar *pile head*)

= 0,85 x 30 x ((250 + 150) x 1400) = 14280000 N

n = $\frac{Vh}{2 \times Qn} = \frac{14280000}{2 \times 124632,620}$ = 57,288, menjadi 58 buah *shear connector*

s = $\frac{L}{n} = \frac{17150}{58}$ = 285,689 mm, menjadi 200 mm

Hasil tulangan yang diperoleh dalam perhitungan *shear conector* menggunakan D19 mm dengan jarak 200 mm berjumlah 58 buah.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Hasil momen nominal tereduksi pada *half slab* didapatkan ϕMn > Mu = 123.428.127,160 Nmm > 74.520.000 Nmm (Aman) dengan tulangan terpasang dilapangan arah y D22 – 150, sehingga mampu dan memenuhi kebutuhan momen ultimit saat pengangkatan.
2. Hasil momen nominal tereduksi pada *half slab* didapatkan ϕMn > Mu = 123.428.127,160 Nmm > 115.690.950 Nmm (Aman) dengan tulangan terpasang dilapangan arah y D22 – 150, dan ϕMn > Mu = 53.815.017,177 Nmm > 34.993.350 Nmm (Aman) dengan tulangan terpasang dilapangan arah x D16 –200. Sehingga momen nominal tereduksi arah x dan y mampu dan memenuhi kebutuhan momen ultimit saat sebelum komposit.
3. Hasil momen nominal tereduksi pada *half slab* saat sesudah komposit didapatkan:
   a. Desain awal tulangan tumpuan dan lapangan arah x M11 menggunakan D16-200, saat di kontrol kapasitas penampang dan momen nominal tereduksi tidak memenuhi syarat ϕMn > Mu, maka tulangan diperbesar dengan menggunakan D22-100. Kemudian, didapatkan hasil perhitungan:
      1) ϕMn > Mu = 2.445.854.851,055 Nmm > 2.227.444.600 Nmm (Aman) dengan tulangan terpasang arah x tumpuan M11 D22 – 100 mm.
      2) ϕMn > Mu = 2.445.854.851,055 Nmm > 2.023.937.200 Nmm (Aman) dengan tulangan terpasang arah y lapangan M11 D22 – 100 mm.
   b. Desain awal tulangan tumpuan dan lapangan arah y M22 menggunakan D22-150, saat di kontrol kapasitas penampang dan momen nominal tereduksi tidak memenuhi syarat ϕMn > Mu, maka tulangan diperbesar dengan menggunakan D29-200. Kemudian, didapatkan hasil perhitungan:
      1) ϕMn > Mu = 571.144.094,330 Nmm > 482.361.200 Nmm (Aman) dengan tulangan terpasang arah x tumpuan M22 D29 – 200 mm.
      2) ϕMn > Mu = 624.688.853,174 Nmm > 436.354.300 Nmm (Aman) dengan tulangan terpasang arah y lapangan M22 D29 – 200 mm.
   c. Berdasarkan perhitungan diatas maka, momen nominal tereduksi arah x dan y pada M11 dan M22 SAP 2000 mampu dan memenuhi kebutuhan momen ultimit saat sesudah komposit.
4. Memenuhi, sehingga *shear connector* pada *pile head* menggunakan 58D19 - 200 mm, dengan demikian dapat memenuhi kecukupan *shear connector* jika ditambahkan pengaruh beban gempa Kota Yogyakarta.

Penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan validasi eksperimental terhadap perilaku pelat half slab dan sistem shear connector guna mengonfirmasi hasil analisis numerik serta mengevaluasi aspek retak, daktilitas, dan efektivitas kerja komposit secara lebih menyeluruh. Selain itu, kajian parametrik terhadap variasi ketebalan topping slab, konfigurasi tulangan, serta detail sambungan perlu dilakukan untuk memperoleh desain yang lebih efisien dan ekonomis tanpa mengurangi tingkat keamanan struktur. Pengembangan penelitian juga perlu mencakup analisis terintegrasi antara struktur atas dan struktur bawah, termasuk pelat injak (slab on pile), sehingga respons global sistem dapat dipahami secara lebih komprehensif. Dalam konteks wilayah seismik, evaluasi respons dinamik dengan mempertimbangkan variasi spektrum gempa dari berbagai wilayah, baik di dalam maupun luar negeri, direkomendasikan agar kinerja pelat sebagai elemen diafragma dapat dikaji secara lebih mendalam terhadap karakteristik gempa yang berbeda

6. Daftar Pustaka

Harijoko, A., Anggraini, A., Setianto, A., Hendratno, A., Solikhin, A., Omang, A., Puji, A. R., Cipta, A., Diambama, A. D., & Natawidjaja, D. H. (2024). *Geologi gempa bumi Indonesia*. UGM PRESS.

Irawan, D., Habieb, A. B., Iranata, D., Suprobo, P., & Raka, I. G. P. (2024). Experimental Study of Two-way Half Slab Precast Concrete using Rextangular Rigid Connection. *Civil Engineering Dimension*, *26*(1).

Moehle, J. P., Hooper, J. D., Kelly, D. J., & Meyer, T. R. (n.d.). Seismic Design of Cast-in-Place Concrete Diaphragms, Chords, and Collectors: A Guide for Practicing Engineers (NIST GCR 10-917-4). In *NEHRP Seismic Design Technical Brief* (Number 3).

NEHRP Recommended Provisions: Design Examples Prepared by the Building Seismic Safety Council for the Federal Emergency Management Agency of the Department of Homeland Security (2006).

Putra, I. (2020). *Evaluasi Kinerja Slab On Pile Jembatan Kenjeran Terhadap Beban Gempa Menurut SNI 2833-2016*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

SNI 1725:2016. (2016). Pembebanan Untuk Jembatan. In *Badan Standardisasi Nasional Indonesia*.

Tumimomor, M. E., Dapas, S. O., & Mondoringin, M. R. I. A. J. (2016). ANALISIS PENGHUBUNG GESER (SHEAR CONNECTOR) PADA BALOK BAJA DAN PELAT BETON. *Jurnal Sipil Statik*, *4*(8), 461–470.

Ulfa, A. A., & Jamal, M. (2023). An Analysis of The Apartment's Tamansari Skylounge Halfslab Connection as a Diaphragm (Case Study: Padang Seismic Load). *Nusantara*, *2*(1), 13–26.

Zhang, Y., Chang, K., Yang, Y., Zhao, G., & Liu, Y. (2024). Study on the Tensile and Shear Performances of Fully Precast Partially Composite Floor Slab Joints. *Buildings*, *14*(4), 1037.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution Non-Commercial 4.0 International License