

Pengaruh Variasi Ketinggian Tekanan Beton Segar terhadap Ketahanan *Formwork* pada Struktur *Pile Cap* Jembatan

Intan Nuriskha Rachma^{*1}, Shanti Astri Noviani²

^{1,2}Jurusan Teknik Sipil, Universitas Siliwangi, Tasikmalaya, INDONESIA

^{*}Corresponding authors: intan.nuriskha@unsil.ac.id

Diserahkan 27 Desember 2024. Direvisi 25 Maret 2025. Diterima 06 Juni 2025

ABSTRAK: Proses pengecoran yang dilakukan dalam volume yang massif, seperti dalam kasus *pile cap* jembatan, pada dasarnya memiliki tekanan hidrostatik akibat beton segar yang relatif tinggi. Jika *Formwork* tidak mampu untuk menahan tekanan tersebut dengan baik maka, terdapat risiko kegagalan yang signifikan selama proses pengecoran. Oleh karena itu, sangat penting untuk mengevaluasi kekuatan bekisting untuk memastikan keamanan bekisting terhadap tekanan hidrostatik yang dihasilkan oleh beton segar. Kajian numerik dilakukan dengan cara memodelkan *formwork* secara 3D dengan elemen *frame* pada *tie rod*, pipa *support* dan komponen *formwork* lainnya. *Formwork* dianalisis dengan tiga *stage* pembebanan, *stage-1* untuk tinggi pengecoran 1m, *stage-2* untuk pengecoran dengan tinggi 1.3m dan *stage-3* dengan tinggi pengecoran 2.3m. Hasil analisis menunjukkan bahwa *formwork* aman digunakan jika pengecoran dilakukan secara bertahap sesuai dengan *stage* pengecoran khususnya *stage-1* dan *stage-2*. Namun, pengecoran pada *stage-3* dengan tinggi 2.3m tidak direkomendasikan karena dapat menyebabkan *buckling* pada pipa *support* dan menghasilkan *strength ratio* yang melebihi satu. Adapun tegangan yang diterima *phenolite* pada pembebanan *stage-1* masih berada dalam batas yang diizinkan dengan tegangan lentur dan geser yang terjadi adalah 9.95MPa dan 0.45MPa. Namun, untuk perilaku aksial yang terjadi pada *tie rod* dan pipa *support* selama pembebanan *stage 1*, tidak sesuai rencana di mana salah satu *tie rod* (TR02) mengalami aksial tekan sebesar 0.57kN. Perilaku aksial yang diharapkan terjadi pada *stage-2* & *stage-3* di mana *tie rod* mengalami aksial tarik dan pipa *support* mengalami aksial tekan.

KATA KUNCI: *Formwork*; pipa *support*; *tie rod*; tegangan

ABSTRACT: The casting process conducted with massive volumes, such as in the case of bridge pile caps, in fundamentally generates relatively high hydrostatic pressure due to fresh concrete. If the *Formwork* fails to adequately resist this pressure, there is a significant risk of failure during the casting process. Therefore, it is crucial to evaluate the strength of the *Formwork* to ensure it safe under the hydrostatic pressure generated by fresh concrete. A numerical analysis was conducted by modeling the *Formwork* in 3D using frame elements for tie rods, support pipes, and other *Formwork* components. The *Formwork* was analyzed in three loading stages, *stage-1* for casting height of 1m, *stage-2* for casting height of 1.3m, and *stage-3* for casting height of 2.3m. The analysis results indicate that the *Formwork* is safe when casting is performed incrementally in accordance with the loading stages, specifically *stage-1* and *stage-2*. However, casting at *stage-3*, with a height of 2.3m is not recommended due to buckling in the support pipes and a strength ratio exceeding 1. Regarding the stress received by phenolite under *stage-1* loading, it remains within the permissible limits, with the flexural and shear stresses recorded at 9.95MPa and 0.45MPa respectively. However, the axial behavior observed in the tie rods and support pipes during *stage-1* loading deviates from design expectations, with one tie rods (TR02) experiencing axial compression of 0.57kN. The expected axial behavior occurs at *stage-2* and *stage-3*, where the tie rod experiences axial tension, and the support pipes sustain axial compression.

KEYWORDS: *Formwork*; support pipes; tie rod; stress

1 PENDAHULUAN

Formwork (bekisting) merupakan struktur sementara yang difungsikan untuk membentuk beton sehingga beton tetap dalam posisi yang tepat sesuai dengan dimensi yang direncanakan selama proses pengeringan atau pengerasan beton (Aek, Suhudi dan Setya Wijaya, 2019). Pada umumnya, proyek-proyek struktur gedung atau jembatan di Indonesia menggunakan *formwork* prafabrikasi di mana elemen-elemen penyusun sistem *formwork* telah dibuat di tempat pabrik sehingga di lapangan komponen tersebut dapat langsung digunakan (Simaibang, 2022). Namun pada beberapa kasus, *formwork* sering mengalami kegagalan akibat tidak adanya pengecekan kembali terhadap penyesuaian volume beton dengan elemen-elemen pendukung sistem *formwork*. Adanya penggunaan material secara berulang juga ikut memicu terjadi kegagalan pada *formwork* saat proses pengecoran berlangsung.

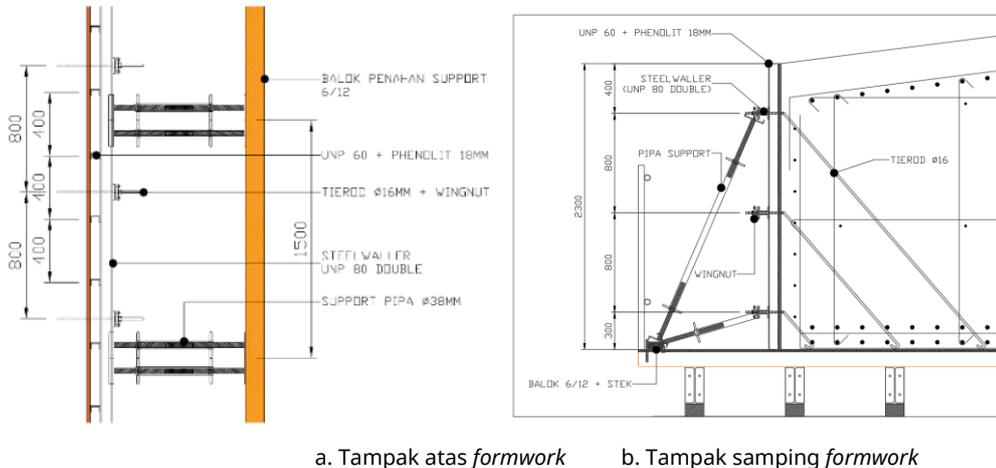
Pada pelaksanaan pengecoran *pile cap* jembatan, volume beton yang digunakan sangat masif sehingga rentan terjadi kegagalan seperti keruntuhan dan defleksi berlebihan pada elemen penyusun *formwork* (Millanda, Pratama dan Suropto, 2023). Pemicu kegagalan pada *formwork* biasanya disebabkan oleh kejadian tidak terduga seperti beban berlebihan saat konstruksi, beban tumbuk saat penuangan beton, efek dari *vibration* saat pengecoran, dan efek dari pemindahan bekisting yang tidak tepat (Nilimaa, Gamil dan Zhaka, 2023). Salah satu elemen yang sering mengalami kegagalan pada sistem *formwork pile cap* adalah *tie rod* dan pipa *support*. Elemen *tie rod* biasanya berupa besi tulangan dengan diameter tertentu dan dipasang dengan cara dikaitkan ke tulangan utama *pile cap*. *Tie rod* direncanakan dapat menahan gaya tarik sedangkan pipa *support* difungsikan untuk menahan gaya tekan pada saat proses pengecoran. *Formwork* pada dasarnya bertindak sebagai penahan beban beton basah di mana terdapat gaya lateral hidrostatik yang timbul akibat dari berat beton yang dicurahkan.

Berdasarkan penelitian (Yusuf, 2021) dengan mempertimbangkan *stage* pengecoran serta jarak pada *tie rod* maka kekuatan dan kestabilan *formwork* dapat lebih terjaga karena kekuatan *formwork* telah disesuaikan dengan beban yang ditopangnya. Perlu diperhatikan oleh perencana bahwa setiap komponen *formwork* harus dipasang sesuai gambar desain guna memastikan bahwa semua beban konstruksi di topang dengan aman (Illinoiu, 2006). Adapun tujuan dari analisis ini adalah untuk menggambarkan kekuatan, dan keamanan *Formwork* selama proses pengecoran *pile cap* berlangsung. Mengingat bahwa bekisting merupakan struktur sementara yang digunakan berulang maka syarat terkait kekuatan, keamanan dan kestabilan harus dipenuhi sehingga dapat berfungsi sesuai umur layan struktur (Nursani dan Al Huseiny, 2020).

2 METODE

2.1 Objek Penelitian

Objek yang dianalisis merupakan *formwork* yang digunakan pada *pile cap* jembatan untuk proyek Jembatan Pulau Balang Duplikasi dengan area 18.7 m x 14.9 m dan tinggi 2.3m (Gambar 1). *Formwork* tidak dimodelkan sesuai dengan perimeter *pile cap*, sample dianalisis sesuai dengan jarak antar pipa *support* (antar tumpuan) sehingga *tributary area* beton basah yang ditahan adalah 1.5m (lebar *pile cap* arah transversal) x 2.3m (tinggi *pile cap*). Beban beton basah direncanakan dicor secara bertahap yaitu 1m pada *stage-1* dan 1.3m pada *stage-2* dengan jarak *tie rod* 1m dan 1.9m (arah vertikal).

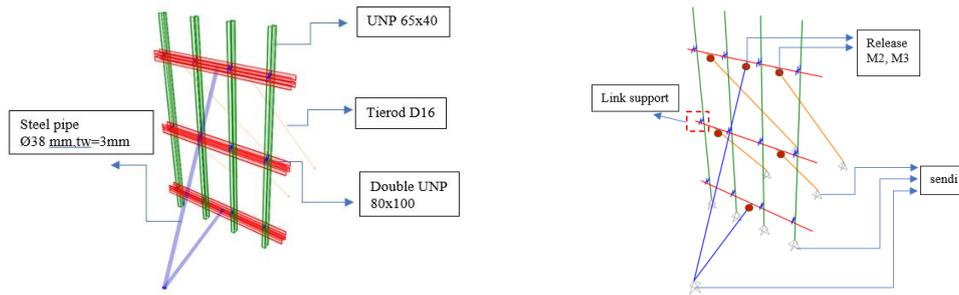


a. Tampak atas *formwork* b. Tampak samping *formwork*

Gambar 1. *Formwork pile cap*

2.2 Pemodelan *Formwork* Pada SAP2000

Formwork dimodelkan dengan elemen *frame* secara 3D (Gambar 2). Elemen yang dimodelkan terdiri dari elemen vertikal UNP65, elemen horizontal yaitu *double* UNP80 (UNP80), pipa *support* diameter 38mm dengan tebal dinding 3mm (PS), dan *tie rod* diameter D16 (TR).



Gambar 2. Pemodelan *formwork* pada *software*

Hubungan elemen horizontal (*double UNP80*) ke elemen vertikal (*UNP65*) menggunakan *link support* dengan asumsi *rigid*. Sedangkan tie rod (*D16*) di *release* terhadap momen (*M2* dan *M3*) sehingga bersifat seperti truss. Perletakan yang digunakan adalah sendi yang diposisikan pada pipa *support* dan elemen vertikal (*UNP65*).

2.3 Analisis Kekuatan *Phenolite* Tebal 18mm

Phenolite tidak dimodelkan pada *software*. Untuk mengetahui kekuatan *phenolite* maka analisis dapat dilakukan secara sederhana dengan konsep statis tertentu (*sendi-rol*). *Phenolite* ditahan oleh elemen vertikal (*UNP65*) di mana jarak antar *UNP65* adalah 0.4m. Untuk memudahkan analisis maka beban beton diaplikasikan sebagai beban merata dengan ketinggian cor sebesar 1m sesuai dengan pengecoran *stage 1*. Momen dan gaya lintang yang terjadi pada *phenolite* dapat diketahui dengan persamaan (Munthe dan Noegroho, 2020):

$$M_{max} = \frac{1}{8} x q x l^2 \tag{1}$$

$$V_{max} = \frac{1}{2} x q x l \tag{2}$$

di mana *q* adalah beban beton setinggi satu meter (kN/m), dan *l* jarak antar elemen vertikal (m). Dengan mengetahui momen dan gaya lintang yang terjadi maka tegangan pada *phenolite* dapat dihitung dengan persamaan (RSNI PKKI NI-5, 2002):

$$\sigma_l = \frac{M_{max}}{W} \tag{3}$$

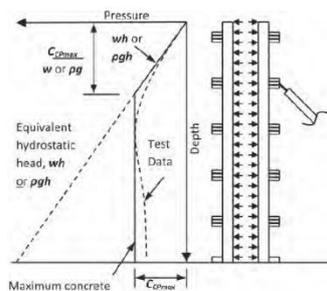
$$w = \frac{b x h^2}{6} \tag{4}$$

$$\tau_{v_kayu} = \frac{2}{3} x \frac{V_{max}}{b x h} \tag{5}$$

di mana *w* adalah modulus penampang (m³), *b* lebar penampang (m), *h* tinggi penampang (m), τ_v tegangan geser (MPa), dan σ_l tegangan lentur (MPa)

2.4 Tekanan Lateral Beton

Berdasarkan (ACI Committee 347, 2014) mendefinisikan bahwa jenis pembebanan pada *formwork* diantaranya adalah beban vertikal dan beban lateral. Beban yang termasuk ke dalam beban vertikal adalah beban mati dan juga beban hidup. Sedangkan untuk beban lateral berasal dari beton segar (Gambar 3).



Gambar 3. Beban lateral beton segar

Sumber: ACI Committee 347

Untuk beton konvensional atau *Self Consolidating Concrete* (SCC), *formwork* harus di desain terhadap beban hidrostatik yang berasal dari beton dengan menggunakan persamaan,

$$C_{CP} = \rho \times g \times h \quad (6)$$

di mana C_{CP} adalah tekanan lateral beton (kPa), g gravitasi (m/s^2), h kedalaman beton cair (m), dan ρ berat jenis beton (kg/m^3). SCC merupakan beton dengan performa tinggi yang dapat terkonsolidasi karena massanya sendiri.

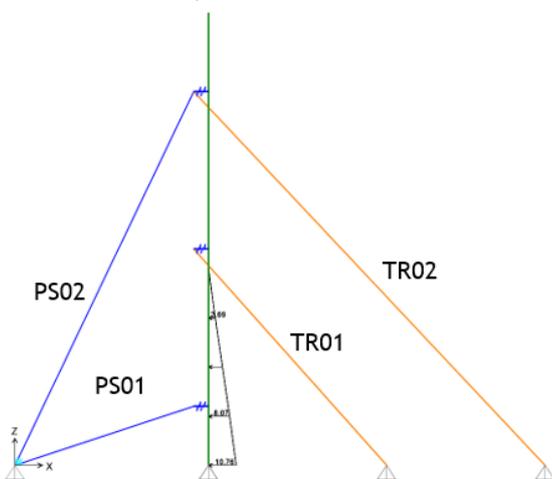
3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengecoran *pile cap* direncanakan menjadi 3 *stage*. *Staging* pengecoran tersebut dilakukan untuk menjamin bahwa *formwork* cukup kuat dan stabil dalam menahan beban beton basah. *Stage-1* merupakan *stage* pengecoran beton dengan tinggi 1m. *Stage-2* dikerjakan setelah proses pengecoran *stage-1* selesai dengan tinggi pengecoran sebesar 1.3m. Untuk mengetahui kapasitas maksimal *formwork* maka dilakukan analisis dengan mempertimbangkan pengecoran secara *full* dengan tinggi 2.3m (*stage 3*) sesuai tinggi *pile cap*.

3.1 Analisis Formwork Stage-1

Berat jenis beton yang digunakan adalah 26.9 kN/m^3 , nilai tersebut diambil berdasarkan *engineering judgment* di mana beton basah dianggap memiliki berat jenis lebih besar. Pada pemodelan beban beton diaplikasikan sebagai *trapezoidal load* pada UNP 65 dengan cakupan lebar sebesar 0.4m. Dengan asumsi pengecoran pertama setinggi 1m maka beban hidrostatik beton (Gambar 4) adalah

$$\begin{aligned} C_{CP} &= 26.9 \text{ kN/m}^3 \times 1\text{m} \\ &= 26.9 \text{ kN/m}^2 \\ q_{\text{beton}} &= C_{CP} \times 0.4\text{m} \\ &= 10.76 \text{ kN/m} \end{aligned}$$



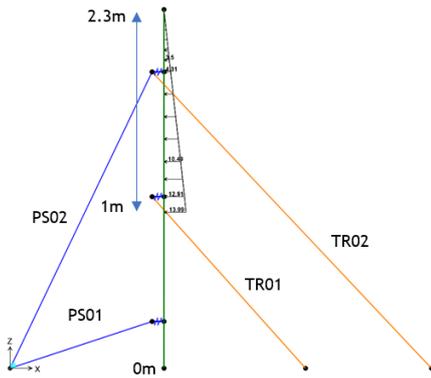
Gambar 4. Aplikasi beban beton $h=1\text{m}$

Stage-1 tie rod pada elevasi 1.9m (TR02) mengalami tekan sebesar 0.37kN, kondisi ini tidak sesuai dengan rencana di mana *tie rod* seharusnya mengalami tarik. Sedangkan *tie rod* pada elevasi 1m (TR01) mengalami gaya tarik sebesar 5.78 kN dan kondisi tersebut sesuai dengan kinerja *tie rod* yang diharapkan. Untuk pipa *support* kondisi aksial tarik terjadi pada pipa *support* (PS02) sebesar 0.42kN. Sedangkan kondisi aksial tekan terjadi pada pipa *support* (PS01) sebesar 15.82kN.

3.2 Analisis Formwork Stage-2

Pemodelan pada *stage-2* hanya mempertimbangkan beban beton setinggi 1.3m (Gambar 5) pada elevasi *pile cap* 1-2.3m (pasca *stage-1*) dengan anggapan beton pada *stage-1* sudah mengering. Dengan konsep pemodelan yang sama berikut beban yang diaplikasikan pada model,

$$\begin{aligned} C_{CP} &= 26.9 \text{ kN/m}^3 \times 1.3\text{m} \\ &= 34.97 \text{ kN/m}^2 \\ q_{\text{beton}} &= C_{CP} \times 0.4\text{m} \\ &= 13.99 \text{ kN/m} \end{aligned}$$



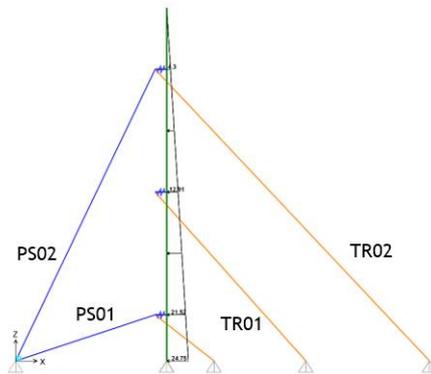
Gambar 5. Aplikasi beban beton h=1.3m

Akibat skema pembebanan *stage-2* maka TR01 dan TR02 mengalami aksial tarik sebesar 23.42kN dan 16.86kN. Sedangkan untuk pipa *support* PS01 dan PS02 mengalami aksial tekan sebesar 2.46kN dan 11.86kN. Kedua elemen pada *stage-2* mengalami kinerja gaya aksial sesuai dengan rencana. Di mana *tie rod* mengalami aksial tarik dan pipa *support* mengalami aksial tekan.

3.3 Analisis Formwork Stage-3

Pemodelan pada *stage-3* merupakan asumsi *stage worst case* di mana pengecoran dilakukan dalam 1 tahap setinggi 2.3m (sesuai tinggi *pile cap*). Dengan konsep pemodelan yang sama berikut beban yang diaplikasikan pada model (Gambar 7),

$$\begin{aligned}
 C_{CP} &= 26.9 \text{ kN/m}^3 \times 2.3\text{m} \\
 &= 61.87 \text{ kN/m}^2 \\
 q_{\text{beton}} &= C_{CP} \times 0.4\text{m} \\
 &= 24.75\text{kN/m}
 \end{aligned}$$



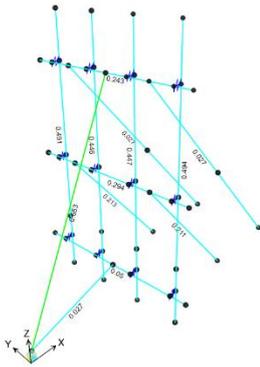
Gambar 6. Aplikasi beban beton h=2.3m

Pada *stage-3*, gaya aksial yang terjadi pada *tie rod* dan pipa *support* memiliki karakter yang sama dengan *stage-2*. Di mana *tie rod* mengalami aksial tarik sedangkan pipa *support* mengalami aksial tekan. Aksial tarik yang terjadi pada *tie rod* TR01 dan TR02 adalah 54.48kN dan 16.25kN sedangkan aksial tekan pada pipa *support* PS02 dan PS01 adalah 59.54kN dan 9.82kN.

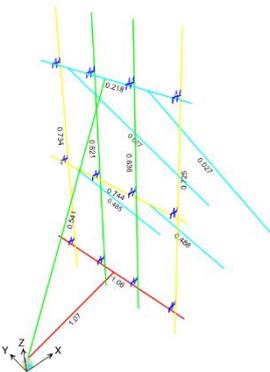
3.4 Analisis Buckling Pada Pipa Support

Pipa *support* difungsikan untuk menahan gaya tekan akibat beban lateral beton basah. Berdasarkan *stage* pemodelan, aksial terbesar terjadi pada *stage-3* dengan nilai tekan sebesar 59.54kN. Untuk menjamin bahwa elemen tekan tidak mengalami kegagalan maka pipa *support* dilakukan pengecekan terhadap *buckling*.

$$\begin{aligned}
 F_e &= \frac{\pi^2 \times E}{\left(\frac{K \times L}{r}\right)^2} \\
 F_e &= \frac{\pi^2 \times 200000 \text{ MPa}}{\left(\frac{1 \times 887 \text{ mm}}{12.42}\right)^2} \\
 &= 387 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$



Gambar 8. Strength ratio stage-2



Gambar 9. Strength ratio stage-3

Rekapitulasi *strength ratio* pada setiap elemen *formwork* untuk masing-masing *stage* adalah Tabel 2 sebagai berikut.

Tabel 2. *Strength ratio* pada *formwork*

Stage	Profil	Rasio (R)	Check R<1
1	UNP80	0.28	Ok
	UNP65	0.19	Ok
	PS	0.29	Ok
	TR	0.50	Ok
2	UNP80	0.29	Ok
	UNP65	0.49	Ok
	PS	0.65	Ok
	TR	0.21	Ok
3	UNP80	1.06	Not
	UNP65	1.07	Not
	PS	0.73	Ok
	TR	0.48	Ok

Strength ratio lebih dari 1 menandakan elemen tidak mempunyai kapasitas dalam menahan beban yang terjadi. *Stage* pengecoran yang dilakukan secara bertahap terbukti dapat menjamin kekuatan *formwork* tetap terpenuhi. Hal tersebut dapat dilihat pada nilai rasio yang dialami setiap elemen pada *stage-1* dan *stage-2* di mana rasio yang terjadi kurang dari 1. Rasio tertinggi terjadi pada *stage-3*, di mana pipa *support* terbawah (PS01) dan elemen horizontal (UNP80) terindikasi tidak memiliki kapasitas dalam menahan beban beton basah setinggi 2.3m.

3.7 Kekuatan Pada *Phenolite* Tebal 18mm

Phenolite memiliki tebal 18mm dengan material kayu mutu A kelas I. Analisis kekuatan *phenolite* dihitung dengan asumsi statis tertentu sebagai sendi rol dengan beban beton setinggi 1m. Maka momen dan geser yang terjadi adalah:

$$C_{CP} = 26.9 \text{ kN/m}^3 \times 1\text{m}$$

$$L_{\text{beton}} = 26.9 \text{ kN/m}^2$$

$$L_{\text{beton}} = 0.4 \text{ m}$$

$$Q_{\text{beton}} = C_{\text{CP}} \times L_{\text{beton}}$$

$$= 26.9 \text{ kN/m}^2 \times 0.4 \text{ m}$$

$$= 10.76 \text{ kN/m}$$

$$M_{\text{max}} = \frac{1}{8} \times 10.76 \text{ kN/m} \times 0.4 \text{ m}^2$$

$$= 0.215 \text{ kNm}$$

$$V_{\text{max}} = \frac{1}{2} \times 10.76 \text{ kN/m} \times 0.4 \text{ m}$$

$$= 2.15 \text{ kNm}$$

Modulus penampang *phenolite*:

$$W_{\text{kayu}} = \frac{1}{6} \times 0.4 \text{ m} \times 0.018 \text{ m}^2$$

$$= 21600 \text{ mm}^3$$

Tegangan ijin lentur pada *phenolite*:

$$\sigma_{\text{lentur}} = 15 \text{ MPa} \times \frac{2}{3} \times \frac{5}{6} = 12.5 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\text{geser}} = 2 \text{ MPa} \times \frac{2}{3} \times \frac{5}{6} = 1.67 \text{ MPa}$$

Pengecekan tegangan pada *phenolite* akibat beban beton 1m (Munthe & Noegroho, 2020) adalah

$$\sigma_{\text{l_kayu}} = \frac{M_{\text{max}}}{W_{\text{kayu}}} = 9.95 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\text{l_kayu}} < \sigma_{\text{lentur}}, 9.95 \text{ MPa} < 12.5 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\text{v_kayu}} = \frac{2}{3} \times \frac{V_{\text{max}}}{b \times h} = \frac{2}{3} \times \frac{2.15 \text{ kNm}}{0.4 \text{ m} \times 0.018 \text{ m}}$$

$$= 0.45 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\text{v_kayu}} < \tau_{\text{geser}}, 0.45 \text{ MPa} < 1.67 \text{ MPa}$$

Berdasarkan hasil perhitungan di atas diketahui bahwa *phenolite* dengan tebal 18mm dapat menahan beban beton basah *stage-1* karena tegangan lentur dan tegangan geser yang terjadi kurang dari batas ijin yang syaratkan. Untuk menjamin kapasitas tegangan lentur dari *phenolite* maka perlu dilakukan pengaturan jarak antar tumpuan. Hal ini dapat dilihat pada hasil penelitian sebelumnya (Ilyasa, Suhariyanto dan Wahiddin, 2021) di mana dengan jarak antar tumpuan sebesar 0.25m maka tegangan lentur yang terjadi pada *phenolite* adalah 3.2MPa. Tegangan lentur turun sampai 32.1% jika dibandingkan dengan jarak tumpuan 0.4m.

3.8 Lendutan

Lendutan diambil berdasarkan kombinasi *dead load* ditambah beban beton segar tanpa faktor pembesaran. Lendutan pada setiap stage difokuskan pada elemen vertikal yaitu UNP65 dengan panjang elemen sebesar 2300mm. Sehingga pada Tabel 3, lendutan (Δ) yang terjadi dapat dibandingkan dengan lendutan ijin (Δ_n) H/500 (SNI 1729, 2019).

Tabel 3. Lendutan pada UNP65

Stage	Δ mm	Δ_n mm	Check $\Delta < \Delta_n$
1	1.0	4.6	Ok
2	1.3	4.6	Ok
3	4.3	4.6	Ok

Sedangkan untuk *phenolite* tebal 18mm, lendutan diambil dengan perhitungan sebagai berikut,

$$\Delta = \frac{5 q l^4}{384 EI}$$

$$= \frac{5 \times 10.76 \text{ kN/m} (0.4)^4 \text{ m}}{384 \times 12500 \text{ MPa} \times 194400 \text{ mm}^4} = 1.47 \text{ mm}$$

Dengan batas lendutan ijin $L/240$ di mana L adalah 400mm maka diketahui bahwa lendutan yang terjadi pada *phenolite* masih memenuhi batas ijin $1.47 \text{ mm} < 1.67 \text{ mm}$.

4 KESIMPULAN

Berdasarkan analisis yang dilakukan pada *formwork* dengan skema pembebanan *stage-1*, *stage-2* dan *stage-3* didapatkan kesimpulan bahwa pengecoran *pile cap* dilakukan secara bertahap dengan tinggi 1m dan 1.3m (*stage-1* & *stage-2*) terbukti dapat menjaga kekuatan *formwork*. Tegangan lentur dan geser yang terjadi pada *phenolite* akibat pembebanan *stage-1* adalah 9.95MPa dan 0.45MPa dengan lendutan maksimum sebesar 1.47mm. Sehingga tegangan dan lendutan tersebut masih memenuhi syarat batas ijin. Pada *stage-1* perilaku *tie rod* tidak sesuai dengan yang diharapkan di mana *tie rod* pada elevasi 1.9m (TR02) mengalami tekan sebesar 0.37kN, sedangkan *tie rod* pada elevasi 1m (TR01) mengalami gaya tarik sebesar 5.78kN. Sedangkan untuk *stage-2* dan 3 perilaku *tie rod* pada elevasi 1m (TR01) dan 1.9m (TR02) sesuai dengan rencana dengan gaya tarik terbesar terjadi pada (TR01) sebesar 54.48kN. Pengecoran *pile cap* dalam 1 tahap tidak dianjurkan karena *strength ratio* yang terjadi pada elemen pipa *support* (PS01) dan D-UNP80 melebihi kapasitas serta mengalami *buckling* pada posisi pipa *support* (PS02).

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT. Fiako Engineering selaku konsultan perencana yang telah mendukung kebutuhan data yang berkaitan dengan penelitian ini.

REFERENSI

- ACI Committee 347, 2014. *American Concrete Institute: Guide To Formwork For Concrete 347*.
- Aek, P., Suhudi dan Setya Wijaya, H., 2019. Analisa Perbandingan Penggunaan Bekisting Konvensional dengan Pra Cetak pada Pekerjaan Kolom Apartemen Begawan Malang. In: *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Industri, Lingkungan dan Infrastruktur (Sentikuin)*. Malang: Fakultas Teknik Universitas Tribhuwana Tungadewi. hal.19.1-19.6.
- Illinoiu, O.G., 2006. Slab Formwork Design. *Civil Engineering Dimension*, 8(1), hal.47-54. <https://doi.org/10.9744/ced.8.1.pp.%2047-54>.
- Ilyasa, H.T., Suhariyanto, S. dan Wahiddin, W., 2021. Perencanaan Acuan Dan Perancah Pada Proyek Pembangunan Jakarta International Stadium Jakarta Utara. *Jurnal JOS-MRK*, 2(4), hal.290-294. <https://doi.org/10.55404/jos-mrk.2021.02.04.290-294>.
- Millanda, M., Pratama, M.A. dan Suripto, S., 2023. Analisis Kekuatan Bekisting Aluko Pada Proyek Apartemen Kingland Avenue Serpong. *Construction and Material Journal*, 4(3), hal.231-236. <https://doi.org/10.32722/cmj.v4i3.4792>.
- Munthe, A.T. dan Noegroho, M.A., 2020. Analysis of Strength, Stiffness, and Stability The Formwork Construction in LRT Jabodebek Project. *Journal of World Conference (JWC)*, 2(2), hal.170-183. <https://doi.org/10.29138/prd.v2i2.206>.
- Nilimaa, J., Gamil, Y. dan Zhaka, V., 2023. Formwork Engineering for Sustainable Concrete Construction. *CivilEng*, 4(4), hal.1098-1120. <https://doi.org/10.3390/civileng4040060>.
- Nursani, R. dan Al Huseiny, M.S., 2020. Analisis Numerik Sambungan Las Struktur Baja Dengan Menerapkan Variasi Layout Las. *Akselerasi : Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 2(1). <https://doi.org/10.37058/aks.v2i1.2045>.
- Rosdiyani, T., Amilia, E. dan Abdullah, M.A., 2023. Tinjauan Analisis Perbandingan Kekuatan, Kekakuan, Stabilitas Bekisting Konvensional dengan Fiberglass. *Jurnal Sipilkrisna*, 9(1), hal.69-78. <https://doi.org/10.61488/sipilkrisna.v9i1.253>.
- RSNI PKKI NI-5, 2002. *RSNI PKKI NI-5- 2002 Tata Cara Perencanaan Konstruksi Kayu Indonesia*.
- Simaibang, E.M., 2022. *Evaluasi Kekuatan dan Kekakuan Bekisting Dinding Geser akibat Tekanan Lateral Beton Segar pada Proyek Podomoro City Deli Medan*. Universitas Medan Area.

SNI 1729, 2019. Sni 1729-2019. *Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung*, hal.215.

Yusuf, M., 2021. *Analisis Kekuatan Bekisting Dinding Tengah Kantung Lumpur Kanan Proyek Bendung D.I Serdang*. Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.