

PROTOTYPE JEMBATAN TIPE *PLATE GIRDER* U (PGU) DENGAN LANTAI *ORTHOTROPIC* KOMPOSIT

Andi Indianto¹, Erlina Yanuarini², Sukarman³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Jakarta

Jl. Prof. DR. G.A. Siwabessy, Kampus Universitas Indonesia Depok 16425

E-mail: erlina.yanuarini@sipil.pnj.ac.id

Abstract — *This paper describes the model of the bridge made of plates, for the girder and for the floor. Both are formed orthotropically which crosses. The girder is formed orthotropically in the longitudinal direction of the bridge, and the orthotropic floor is a transverse bridge. To increase the stiffness of the girder, then the orthotropic floor is casted with reinforced concrete. This tipe of structure is named orthotropic composite Tipe U (PGU) Plate Girder. To prove whether reinforced concrete casted on orthotropic floors can increase stiffness, then a bridge model with a scale of 1:10 was made. Bridge model in loading test. The loading test was performed on orthotropic PGU non-composites and on orthotropic PGU composites. The loading test showed that orthotropic composite PGU had a serviceability of 2.7 times that of orthotropic non composite PGU service.*

Keywords: *bridge_model, composite orthotropic, U-tipe plate girder.*

Abstrak — *Makalah ini memaparkan tentang model jembatan berbahan pelat, baik untuk girder maupun untuk lantainya. Keduanya dibentuk orthotropik yang menyilang. Girder dibentuk orthotropik arah memanjang jembatan, dan lantai dibentuk orthotropik arah melintang jembatan. Untuk menambah kekakuan girder, maka diatas lantai orthotropik dipasang beton bertulang cor ditempat. Tipe struktur ini diberi nama Plate Girder Tipe U (PGU) orthotropik komposit. Untuk membuktikan apakah beton bertulang yang dipasang diatas lantai orthotropik dapat menambah kekakuan, maka dibuat model jembatan dengan skala 1:10. Model jembatan di uji pembebanan. Uji pembebanan dilakukan terhadap PGU orthotropik non komposit dan terhadap PGU orthotropik komposit. Hasil uji pembebanan menunjukkan bahwa PGU orthotropik komposit memiliki daya layan sebesar 2,7 kali dari daya layan PGU orthotropik non komposit.*

Keywords: *model_jembatan, orthotropik_komposit, plate_girder_tipe_U.*

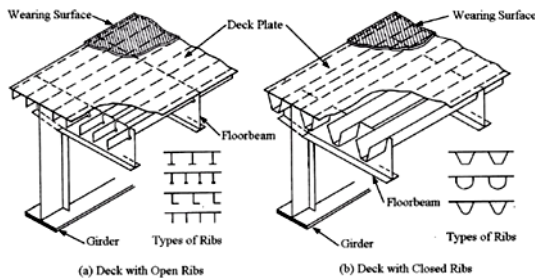
I. PENDAHULUAN

Penelitian model jembatan plate girder type U (PGU) dengan lantai orthotropic komposit ini dilakukan karena adanya kebutuhan jembatan yang ringan dan kuat (Ya et al., 2011), (Hemawati, 2014). Kondisi ini ditunjukkan dengan kemampuan menahan beban hidup yang lebih besar dari berat sendirinya, yang diharapkan nantinya dapat menggantikan penggunaan PCI girder yang memiliki berat sendiri yang besar dan tidak mudah dilaksanakan pada daerah pedalaman (Indianto, 2014). Salah satu struktur yang ringan adalah struktur yang terbuat dari pelat baja (American Institute of Steel Construction, 2016). Struktur yang tersusun dari pelat baja yang dibentuk profil dikenal dengan nama *plate girder* (Haoxiong Huan et al., 2007), (Riawan, 2008). Dalam kajian ini dibuat model struktur yang terbuat dari pelat baja yang dibentuk profil U arah memanjang untuk girdernya, dan profil arah melintang untuk dasar

lantainya. Bentuk profil yang dipilih adalah bentuk U trapesium seperti dalam penelitian sebelumnya (Hardwiyono et al., 2013), (Nugraha & Chairulloh, 2018). Bentuk trapesium dipilih karena bentuk ini mampu memberikan kekakuan arah lateral yang tinggi. Permasalahan yang akan dipecahkan melalui penelitian ini adalah seberapa besar penambahan kekuatan yang diperoleh sebagai akibat dari aksi komposit pada lantai jembatan. Sedangkan tujuan dan manfaat dari penelitian ini adalah untuk mengetahui apakah PGU ortotropik komposit yang alur *orthotropic*-nya dipasang arah melintang jembatan memiliki daya layan yang lebih besar daripada PGU *orthotropic* non komposit. Dan untuk mendapatkan besar nilai peningkatan daya layan dari PGU *orthotropic* non komposit setelah lantainya dirubah menjadi *orthotropic* komposit.

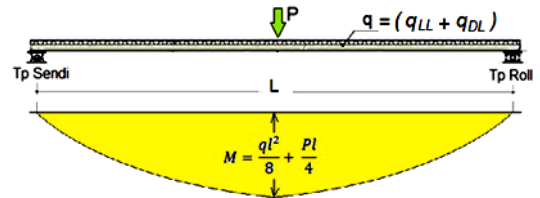
II. TINJAUAN PUSTAKA

Teori yang mendasari penelitian ini adalah teori tentang pelat yang memiliki sifat kekakuan yang tidak sama dalam 2 arah yang saling tegak lurus, hal ini disebabkan karena penempatan suatu struktur pengaku yaitu “rib” hanya pada satu arah (Pradana & Triwiyono, 2017). Struktur pengaku tersebut dapat berupa balok dalam berbagai macam profil berupa pelat tegak, pelat T terbalik atau pelat berbentuk U, atau V. Secara garis besar konstruksi pelat *orthotropic* baja dapat dibuat melalui pengelasan di pabrik dengan sistem pengaku terbuka dan sistem pengaku tertutup seperti yang ada pada Gambar 1 (US Department of Transportation Federal Highway Administration, 2007). Salah satu keunggulan lantai pelat baja *orthotropic* adalah memiliki berat lebih ringan dibanding lantai beton bertulang (Hardawati et al., 2016), (Pradana & Triwiyono, 2017).

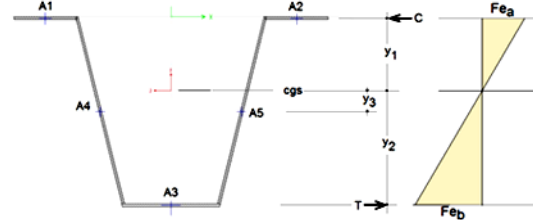


Gambar 1. Jenis Pengaku Pada Pelat *Orthotropic* (Sumber : Chen & Duan, 2000)

Mengacu pada SE no 05/SE/Db/2017 halaman 1 point 1.1, bahwa salah satu pokok perencanaan jembatan adalah kekuatan dan stabilitas (Direktorat Jenderal Bina Marga Kementerian PUPR, 2017). Untuk menjustifikasi kekuatan diperlukan analisa tegangan pada elemen akibat beban kerja (Bohai et al., 2013). Dan untuk menjustifikasi stabilitas, diperlukan analisa lendutan akibat beban kerja dan uji pembebanan. Analisis tegangan struktur jembatan *orthotropic* dilakukan dengan analisa teoritis manual yang menghasilkan diagram momen positif seperti tampak pada Gambar 2. Setelah itu dilanjutkan dengan analisa tegangan penampang *orthotropic* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 2. Diagram momen akibat pembebanan



Gambar 3. Penampang *orthotropic*

Analisa tegangan layan pada penampang PGU digunakan persamaan (1) dan (2)

$$F_e = \frac{M}{W} \tag{1}$$

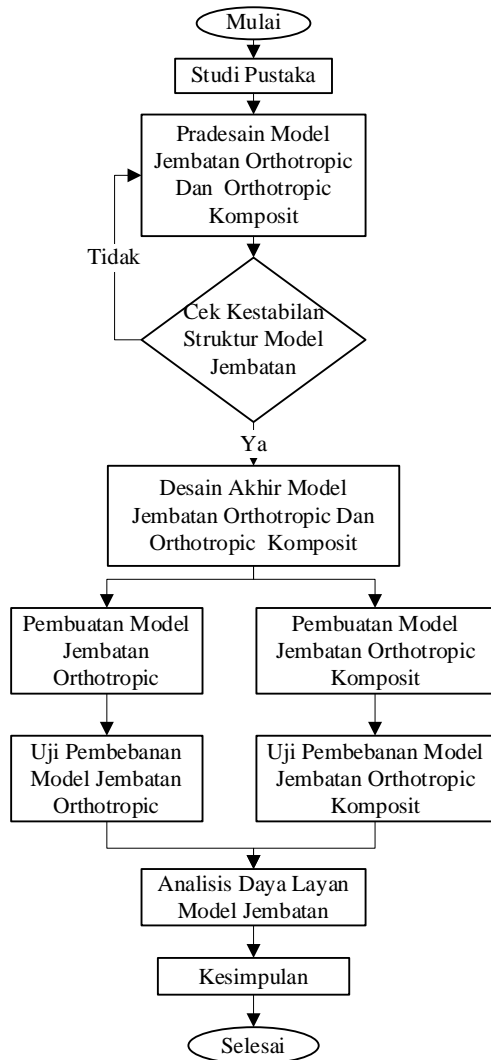
$$F_e = \frac{F_y}{n} \tag{2}$$

- F_e = tegangan ijin
- F_y = tegangan leleh material baja
- n = angka keamanan (1,5)
- M = momen akibat beban kerja
- W = momen lawan penampang *orthotropic*

III. METODE

Untuk mencapai tujuan penelitian, maka dilakukan kajian teoritis terhadap model jembatan yang akan diuji, dan uji pembebanan terhadap model. Proses penelitian mengikuti *flowchart* kegiatan seperti pada Gambar 4. Kegiatan ini dimulai dari studi pustaka, pradesain model, cek kestabilan model, desain akhir model, pembuatan model, pengujian model, analisis daya layan, dan penarikan kesimpulan.

Metode pengumpulan data dilakukan dengan pengujian model. Metode penyajian data dilakukan dengan tabulasi. Metode analisa data dilakukan dengan komparasi.

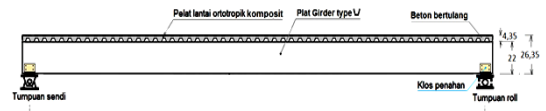


Gambar 4. Flowchart Penelitian

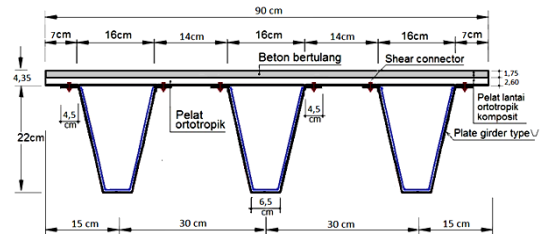
Desain Model PGU Orthotropic Komposit

Model jembatan plate girder U dengan lantai orthotropic komposit mengacu pada Pedoman Perencanaan Lantai Jembatan Rangka Baja dengan menggunakan Corrugated Steel Plate (Badan Litbang PU Departemen Pekerjaan Umum, 2005), terbuat dari pelat baja dengan ketebalan 0,98 mm. Lantai orthotropic tersusun dari pelat baja gelombang dengan ketebalan 0,42 mm. Diatas lantai orthotropic diberi beton agregat halus dengan kuat tekan $F_c'50$ MPa. Struktur girder yang terbuat dari pelat baja yang dibentuk U, disatukan dengan lantai orthotropic dengan menggunakan shear connector paku rivert (American Institute of Steel Construction, 2016). Desain model jembatan plate girder U dengan lantai orthotropic komposit tampak samping seperti pada Gambar 4. Potongan melintang dan

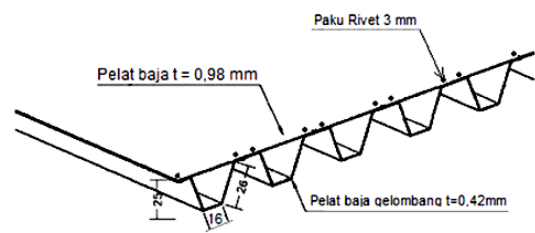
bentuk tiga dimensi model jembatan ada pada Gambar 5 sampai dengan Gambar 8.



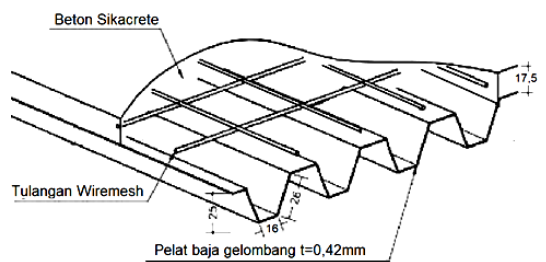
Gambar 5. Tampak Samping Model Jembatan



Gambar 6. Potongan Melintang Model Jembatan



Gambar 7. Model Pelat Lantai Orthotropic



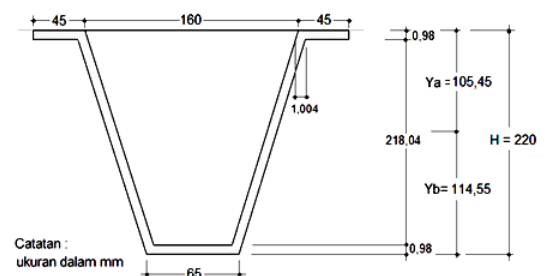
Gambar 8. Model Pelat Lantai Orthotropic Komposit

Section properties PGU orthotropic yang mengacu pada Gambar 9 adalah sebagai berikut:

$$I_x = 3545760,62 \text{ mm}^4$$

$$W_a = 33623,83 \text{ mm}^3$$

$$W_b = 30954,85 \text{ mm}^3$$



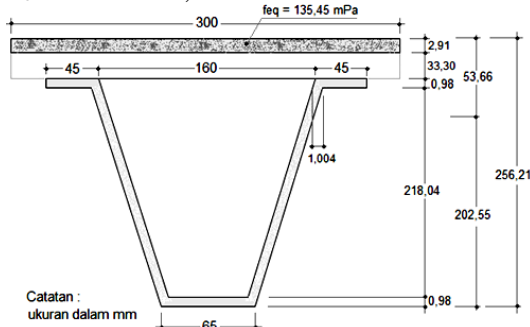
Gambar 9. Penampang PGU Ortotropik

Section properties PGU *orthotropic* komposit *transpose* mengacu pada Gambar 10 adalah sebagai berikut:

$$I_x = 10496668,96 \text{ mm}^4$$

$$W_a = 195632,22 \text{ mm}^3$$

$$W_b = 51821,36 \text{ mm}^3$$

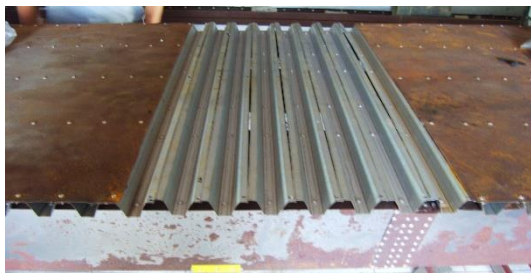


Gambar 10. Penampang PGU *Orthotropic* Komposit *Transpose*

Pembuatan Model

Urutan pembuatan model jembatan *orthotropic* komposit adalah

- Menyiapkan PGU (Gambar 11)
- Melepas lantai pelat baja penutup ortotropik
- Memasang *wire mesh* diatas lantai ortotropik (Gambar 12)
- Memasang bekisting untuk pengecoran lantai (Gambar 13)
- Pengecoran lantai dengan sicacrete (Gambar 14 dan Gambar 15)
- Melakukan perawatan beton



Gambar 11. Pembuatan Lantai Ortotropik



Gambar 12. Pemasangan *Wire Mesh* Diatas Lantai Ortotropik



Gambar 13. Pemasangan Bekisting



Gambar 14. Pembuatan Beton Sicacrete



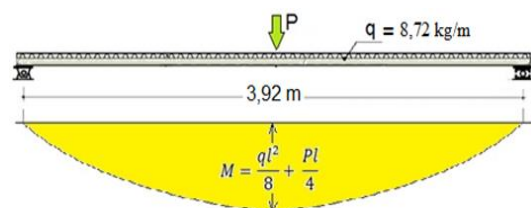
Gambar 15. Pengecoran Lantai

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN Kapasitas Layan PGU *Orthotropic*

$$\text{Berat isi baja} = 8 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

$$\text{Tebal pelat lantai orthotropic} = 0,42 \cdot 1,636 = 0,687 \text{ mm} \text{ equivalen}$$

Faktor 1,636 adalah perbandingan panjang *zigzag* dengan panjang horizontal. Beban mati terbagi rata total (q) terdiri sebesar 8,72 kg/m, terdiri dari pelat baja dan *girder orthotropic* sebesar 7,07 kg/m dan pelat lantai *orthotropic* sebesar 1,65 kg/m . Beban q membebani girder seperti tampak pada gambar Gambar 16.



Gambar 16. Pembebanan Dan Diagram Bidang Momen PGU *Orthotropic*

Selain beban q maka diberikan juga beban P seperti yang tampak pada Gambar.15, sehingga menghasilkan persamaan momen

$$M(kgcm) = \frac{ql^2}{8} + \frac{Pl}{4}$$

$$M(kgcm) = \frac{0,0872(392)^2}{8} + \frac{P \cdot 392}{4}$$

$$M = (1675 + 98P)kgcm$$

$$F_e = \frac{F_y}{n} = \frac{275}{1,5} = 183,33 \frac{N}{mm^2} = 1869,5 \frac{kg}{cm^2}$$

$$F_e = \frac{M}{W} = 1869,5 \frac{kg}{cm^2}$$

$$\frac{M}{W} = \frac{1675 + 98P}{3095485} = 1869,5 \frac{kg}{cm^2}$$

Maka $P = 573,40kg$

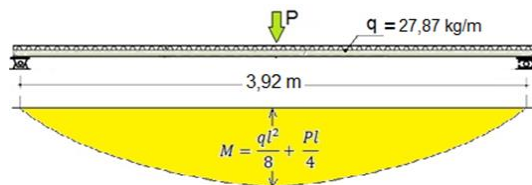
Kapasitas PGU Orthotropic Komposit

Berat isi baja = $8 \frac{g}{cm^3}$

Berat isi beton f_c ' 50MPa = $2,35 \frac{g}{cm^3}$

Tebal pelat beton rata-rata = 3,05 cm

Beban mati terbagi rata total (q) terdiri sebesar 27,87 kg/m, terdiri dari pelat beton sebesar 21,5 kg/m dan girder orthotropic sebesar 4,72 kg/m dan pelat lantai orthotropic sebesar 1,65 kg/m .



Gambar 17. Pembebanan Dan Diagram Bidang Momen PGU Orthotropic Composite

Beban q dan beban P seperti yang tampak pada Gambar 17 membebani pelat girder, sehingga menghasilkan persamaan momen

$$M(kgcm) = \frac{ql^2}{8} + \frac{Pl}{4}$$

$$M(kgcm) = \frac{0,2787(392)^2}{8} + \frac{P \cdot 392}{4}$$

$$M = (55323,27 + 98P)kgcm$$

$$F_{ea} = 1381,21 \frac{kg}{cm^2}$$

$$F_{eb} = \frac{M}{W} = 1869,5 \frac{kg}{cm^2}$$

$$\frac{M}{W} = \frac{5323,27 + 98P}{51821,36}$$

$$\frac{5323,27 + 98P}{51821,36} = 1869,5 \frac{kg}{cm^2}$$

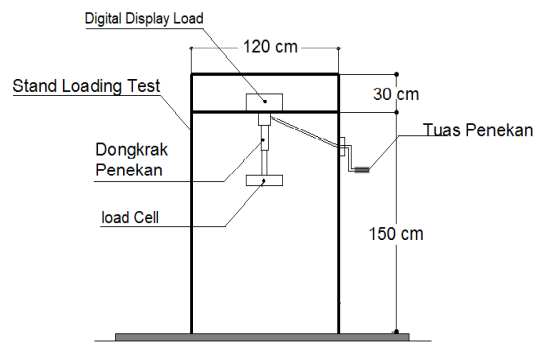
Maka $P = 933,92kg$

Hasil Uji Pembebanan

Uji lentur digunakan untuk mengetahui daya layan struktur PGU ortotropik non komposit dan PGU orthotropic komposit. Uji lentur mengacu pada SNI 03-4145-1996 tentang metode pengujian kuat lentur dengan balok uji sederhana yang dibebani terpusat langsung (Badan Standardisasi Nasional, 1996). Pengujian dilakukan dengan alat Mechanical digital loading test dengan kapasitas 500 kg seperti tampak pada Gambar 18 dan dengan spesifikasi alat seperti pada Tabel 1.

Pengujian dilakukan sampai batas lendutan izin (δ_{ijin}) (Badan Standardisasi Nasional, 2005) sebesar

$$\delta_{ijin} = \frac{1}{800} \times 3920mm = 4,9mm$$



Gambar 18. Alat Uji

Tabel 1. Spesifikasi Alat Uji

No.	Specification	Unit	Value
-----	---------------	------	-------

1	Capacity	kg	500
2	Combined error	% Fs	< ± 0,023
3	Safe overload	of Emax	150%
4	Ultimated overload	of E max	300%
5	Input resistance	Ω	350 ± 3,5

Uji Model PGU Orthotropic

Pengujian model PGU *orthotropic* ditunjukkan pada Gambar 19 dan menghasilkan hasil uji beban pada konsidi *loading* dan *unloading* seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2. Dari pengujian ini maka didapatkan diagram hasil uji PGU *orthotropic* dengan persamaan garis trendline

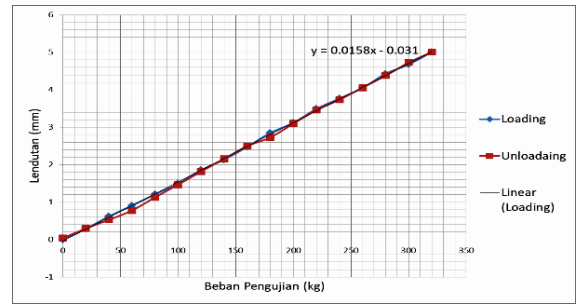


Gambar 19. Uji Model PGU Orthotropic

Tabel 2. Data Hasil Uji Beban PGU Orthotropic

No	Be Ban kg	Loading			Unloading		
		Lendu Tan Kiri mm	Lendu Tan Kanan mm	Rata - Rata mm	Lendu Tan kiri mm	Lendu Tan Kanan mm	Rata - Rata mm
1	0	0	0	0.00	0	0.08	0.04
2	20	0.13	0.44	0.29	0.10	0.40	0.30
3	40	0.3	0.93	0.62	0.03	1.02	0.53
4	60	0.48	1.34	0.91	0.16	1.40	0.78
5	80	0.65	1.76	1.21	0.43	1.83	1.13
6	100	0.89	2.1	1.50	0.77	2.16	1.47
7	120	1.24	2.47	1.86	1.11	2.53	1.82
8	140	1.53	2.74	2.14	1.40	2.92	2.16
9	160	1.9	3.06	2.48	1.62	3.38	2.50
10	180	2.2	3.49	2.85	1.95	3.51	2.73
11	200	2.46	3.78	3.12	2.29	3.90	3.10
12	220	2.82	4.16	3.49	2.67	4.24	3.46
13	240	3.11	4.43	3.77	2.93	4.55	3.74
14	260	3.33	4.76	4.05	3.24	4.87	4.06
15	280	3.71	5.14	4.43	3.57	5.18	4.38
16	300	3.73	5.63	4.68	3.87	5.58	4.73
17	320	4.11	5.9	5.01	4.11	5.90	5.01

Berdasarkan grafik lendutan hasil uji PGU dengan lantai *orthotropic* didapatkan persamaan garis trendline $y = 0,0158 - 0,031$ dengan batas lendutan izinnnya sebesar 4,9 mm yang dapat diketahui dari Gambar 20.



Gambar 20. Diagram Hasil Uji PGU Orthotropic

Uji Model PGU Orthotropic Komposit

Sedangkan pengujian model PGU *orthotropic* komposit ditunjukkan pada Gambar 21 dan menghasilkan hasil uji beban pada konsidi *loading* dan *unloading* seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.



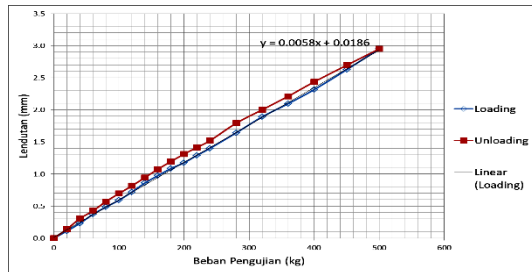
Gambar 21. Uji Model PGU Orthotropic Composite

Tabel 3. Data Hasil Uji Beban PGU Orthotropic Komposit

No	Beban kg	Loading			Unloading		
		Lendu Tan kiri mm	Lendu Tan kanan mm	Rata - rata mm	Lendu Tan kiri mm	Lendu Tan kanan mm	Rata - rata mm
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.40	-0.40	0.00
2	20.00	0.04	0.18	0.11	0.11	0.17	0.14
3	40.00	0.12	0.34	0.23	0.22	0.39	0.31
4	60.00	0.21	0.53	0.37	0.30	0.55	0.43
5	80.00	0.29	0.68	0.49	0.40	0.74	0.57
6	100.00	0.37	0.81	0.59	0.48	0.91	0.70
7	120.00	0.46	0.98	0.72	0.60	1.03	0.82
8	140.00	0.59	1.13	0.86	0.74	1.15	0.95
9	160.00	0.71	1.24	0.98	0.87	1.28	1.08
10	180.00	0.84	1.33	1.09	0.99	1.40	1.20
11	200.00	0.94	1.41	1.18	1.12	1.50	1.31
12	220.00	1.07	1.51	1.29	1.23	1.60	1.42
13	240.00	1.20	1.60	1.40	1.35	1.69	1.52
14	280.00	1.45	1.83	1.64	1.59	1.99	1.79
15	320.00	1.69	2.09	1.89	1.80	2.20	2.00
16	360.00	1.91	2.28	2.10	2.03	2.39	2.21
17	400.00	2.15	2.48	2.32	2.25	2.62	2.44

18	450.00	2.51	2.74	2.63	2.61	2.78	2.70
19	500.00	2.95	2.95	2.95	2.95	2.95	2.95

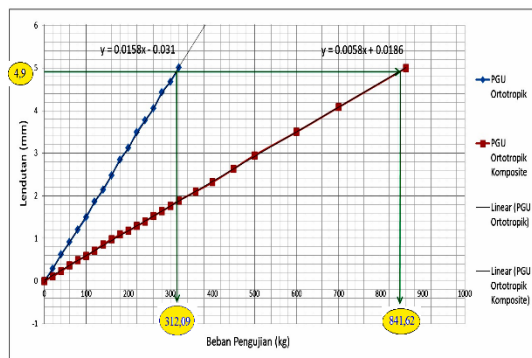
Gambar 21 menunjukkan hasil uji pembebanan PGU dengan lantai *orthotropic* komposit sehingga didapatkan persamaan garis *trendline* sebesar $y = 0,0058x + 0,0186$ dengan batas lendutan 4,9 mm.



Gambar 22. Diagram Hasil Uji PGU *Orthotropic* Komposit

Analisa Peningkatan Kapasitas

Analisa peningkatan kapasitas dapat diketahui dari penggabungan dua gambar yaitu Gambar 20 dan Gambar 22 seperti tampak pada Gambar 23.



Gambar 23. Diagram Kapasitas Hasil Uji Beban

$$y = 0,0158 - 0,031$$

$$4,9 = 0,0158 - 0,031$$

$$\rightarrow x = 312,09\text{kg}$$

$$y = 0,0058 + 0,0186$$

$$4,9 = 0,0058 + 0,0186$$

$$\rightarrow x = 841,62\text{kg}$$

Dengan menarik garis lurus horizontal sebatas lendutan izin 4,9 mm, dan memotong garis dengan persamaan $y = 0,0158 - 0,031$, maka didapatkan beban layan PGU dengan lantai *orthotropic* sebesar 312,09 kg. Sedangkan, dengan menarik garis lurus horizontal sebatas lendutan 4,9 mm yang memotong garis dengan persamaan $y = 0,0058 + 0,0186$, didapatkan beban layan

PGU dengan lantai *orthotropic* komposit sebesar 841,62 kg.

Dari hasil analisa kapasitas penampang PGU dengan lantai *orthotropic* mampu menahan beban layan (P) sebesar 312,09 kg. Sedangkan PGU dengan lantai *orthotropic* komposit mampu menahan beban layan sebesar 841,62 kg. Artinya dengan mengganti pelat baja penutup lantai *orthotropic* dengan ketebalan 0,98 mm, yang diganti dengan beton f_c '50 MPa setebal 17,5 mm, dapat meningkatkan kapasitas layan PGU sebesar

$$\frac{841,62 - 312,09}{312,09} \times 100\% = 169,67\%$$

$$\frac{841,62}{312,09} = 2,70\text{kali}$$

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil uji pembebanan, dengan didasarkan lendutan layan, maka PGU *orthotropic* komposit memiliki kapasitas layan sebesar 2,7 kali lebih besar dari pada kapasitas PGU *orthotropic* non komposit.

DAFTAR PUSTAKA

American Institute of Steel Construction. (2016). *ANSI/AISC 360-16: Specification for Structural Steel Buildings*.

Badan Litbang PU Departemen Pekerjaan Umum. (2005). *Pedoman Perencanaan Lantai Jembatan Rangka Baja Dengan Menggunakan Corrugated Steel Plate (CSP)*.

Badan Standardisasi Nasional. (1996). SNI 03-4154: Metode Pengujian Kuat Lentur Beton dengan Balok Uji Sederhana yang Dibebani Terpusat Langsung. In *Badan Standardisasi Nasional*.

Badan Standardisasi Nasional. (2005). *RSNI T03-2005: Perencanaan Struktur Baja Untuk Jembatan*.

Bohai, J., Rong, L., Ce, C., Hirofumi, M., & Xiongfei, C. (2013). Evaluation on root-deck fatigue of orthotropic steel bridge deck. *Journal Of Constructional Steel Research*, 90, 174–183. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2013.07.036>

Chen, W.-F., & Duan, L. (2000). *Bridge Engineering Handbook*. CRC Press-Taylor & Francis Group.

Direktorat Jenderal Bina Marga Kementerian

- PUPR. (2017). *Kriteria Desain Jembatan Standar* (SE No. 05/SE/Db/2017).
- Haoxiong Huan, Kaliakin, V. N., Chajes, M. J., Mertz, D. R., & Shenton, H. W. (2007). Application of Orthotropic Thin Plate Theory to Filled Steel Grid Decks for Bridges". *Journal of Bridge Engineering* © ASCE.
- Hardawati, A., Triwiyono, A., & Siswosukarto, S. (2016). Aplikasi Orthotropic Steel Deck (Osd) Dengan Ribs Penampang V Pada Jembatan Rangka Tipe Calendar Hamilton (Ch). *Teknisia, XXI, No. 2*, 229–239.
- Hardwiyono, S., Soebandono, B., & Hakim, L. (2013). Perancangan Ulang Struktur Atas Jembatan Gajah Wong Yogyakarta dengan Menggunakan Box Girder. *Jurnal Ilmiah Semesta Teknika, 16*(1), 10–20.
- Hemawati. (2014). *Efek Penggunaan Dek Baja Orthotropic Tipe Closed Ribs Terhadap Berat Lantai Jembatan*. Jurusan Teknik Sipil-Universitas Negeri Jakarta.
- Indianto, A. (2014). *Uji Model Jembatan Girder Ortotropik Dengan Pelat Lantai Ortotropik Parsial*.
https://www.academia.edu/11011864/jembatan_girder_ortotropik
- Nugraha, W., & Chairulloh, R. (2018). Modular Untuk Jembatan Lintas Atas Sungai (Ereksi Method Analysis Of Modular Steel Box Girder For Bridge Over The River. *Jurnal Jalan-Jembatan, 2*(2), 84–98.
- Pradana, E. W., & Triwiyono, A. (2017). Pengaruh Penggantian Lantai Jembatan Rangka Baja (Redecking) Dengan Panel Baja Ortotropik Terhadap Perubahan Berat Lantai Jembatan. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil, 21*(1), 1–29.
- Riawan, R. (2008). Pelat Baja Prekas Ortotropik Sebagai Solusi Percepatan Perbaikan Lantai Jembatan Rangka Baja. *Journal Trend Jembatan Bentang Panjang Teori Riset Desain Pabrikasi Dan Pelaksanaan*.
- US Department of Transportation Federal Highway Administration. (2007). *Manual for Design, Construction, and Maintenance of Orthotropic steel Deck*.
- Ya, S., Yamada, K., & Ishikawa, T. (2011). Fatigue Evaluation of Rib-to-Deck Welded Joints of Orthotropic Steel Bridge Deck. *Journal of Bridge Engineering, 16*(4), 492–499.
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)BE.1943-5592.0000181](https://doi.org/10.1061/(ASCE)BE.1943-5592.0000181).