

**EVALUASI NUMERIK KEKUATAN DAN KEMAMPUAN LAYAN JEMBATAN GIRDER
KOMPOSIT BAJA MENGGUNAKAN WELDED BEAM SM490**

**NUMERICAL EVALUATION OF STRENGTH AND SERVICEABILITY OF STEEL COMPOSITE
GIRDER BRIDGES USING WELDED BEAM SM490**

Prabowo Suharto^{*1}, Syahril Taufik²

¹Alumni, Magister Teknik Sipil, Institut Sains dan Teknologi Nasional, Indonesia

²Dosen, Magister Teknik Sipil, Institut Sains dan Teknologi Nasional, Indonesia

Korespondensi: prabowosuharto099@gmail.com

ABSTRAK

Jembatan *Girder Composite* adalah sebuah konstruksi jembatan yang terdiri dari bahan baja profil dengan beton bertulang. Profil baja utuh yang digunakan dalam jembatan girder komposit tidak diproduksi oleh fabrikasi di Indonesia, sehingga menggunakan profil built up dari plat mutu tinggi grade *SM490*. Evaluasi Numerik kekuatan dan kemampuan layan jembatan menggunakan metode analisis nonlinear software berbasis FEA. *Finite Element Analysis* yang menggunakan ANSYS R2025 mengidentifikasi komponen struktur utama baja dalam bentuk *SHELL181* dan struktur beton sebagai *SOLID65*. *Shell Model* digunakan untuk mempresentasikan girder baja karena hasil analisis mendekati hasil uji experimental 91,20%. Hasil verifikasi ANSYS dengan pembebanan node ditengah bentang yang menggunakan *WB1350x12x20x20* didapatkan performa 74,44% terhadap $f_u = 490$ MPa, dan beton bertulang 44,207% terhadap $f'_c = 30$ MPa. Pemeriksaan pada komposit girder sistem diafragma untuk daya layan dengan jarak antar girder 1,6 m maka didapatkan performa 2,960% dibawah standar beban 500 kN. Setelah dilakukan perkuatan dengan penambahan cover plate dan modifikasi diafragma didapatkan kapasitas lendutan baja berkurang menjadi 58,39% sedangkan beton naik menjadi 50,967%

Kata Kunci: *Girder Composite, SM490, WB1350x12x20x20, ANSYS, 500 kN.*

ABSTRACT

Composite Girder Bridge is a bridge construction consisting of profile steel material with reinforced concrete. The intact steel section profile used in the composite girder bridge is not produced by the manufacturer in Indonesia, so it uses a built-up section profile from high-strength plate grade *SM490*. Numerical Evaluation of the strength and serviceability of the bridge uses a nonlinear analysis method based on FEA software. *Finite Element Analysis* using ANSYS R2025 identifies the main structural components of steel in the form of *SHELL181* and the concrete structure as *SOLID65*. *Shell Model* is used to represent the steel girder because the analysis results are close to the experimental test results of 91.20%. The results of ANSYS verification with node loading in the middle of the span using *WB1350x12x20x20* obtained a performance of 74.44% against $f_u = 490$ MPa, and reinforced concrete 44.207% against $f'_c = 30$ MPa. Examination of the composite girder diaphragm system for serviceability with a distance between girders of 1.6 m obtained a performance of 2.960% below the standard load of 500 kN. After reinforcement with the addition of a cover plate and modification of the diaphragm, the steel deflection capacity was reduced to 58.39% while the concrete increased to 50.967%.

Keywords: *Girder Composite, SM490, WB1350x12x20x20, ANSYS, 500 kN.*

PENDAHULUAN

Jembatan *Girder Composite* adalah sebuah konstruksi jembatan yang terdiri dari bahan baja propil dengan beton bertulang. Propil baja utuh yang digunakan dalam jembatan girder komposit tidak diproduksi oleh fabrikasi di Indonesia, sehingga menggunakan profil built up dari plat mutu tinggi grade *SM490*.

Kemampuan batas layan beban kendaraan 500 kN sesuai dengan pembebanan SNI 1726 : 2016 harus diperhitungkan secara cermat terhadap beban maksimum untuk semua kelas Jembatan. Beban jembatan pada kelas A sebesar 100%, kelas B 70% sedangkan kelas C 50%.

Dalam desain struktur jembatan tegangan dan lendutan maksimum merupakan parameter yang paling utama. Perhitungan tegangan izin maksimum pada beton harus bisa mengakomodir kendaraan dengan beban 500 kN. Sedangkan lendutan maksimum bisa menetralkan geometri jembatan ketika kendaraan melintas.

Saat ini perhitungan kekuatan girder komposit hanya sampai batas tegangan izin 365 Mpa pada baja dengan grade *SM490*. Sehingga diperlukan analisis nonlinear untuk memprediksi kemampuan batas ultimit sebuah jembatan pada saat beban lalu lintas melebihi kapasitas kekuatan.

Dari uraian tersebut penulis mencoba melakukan evaluasi numerik terhadap jembatan girder yang menggunakan *Welded Beam SM490* dengan ANSYS. Hasil analisis terlebih dahulu dilakukan validasi terhadap hasil uji experimental sebelumnya. Dari hasil validasi kemudian dilakukan verifikasi dengan beban 50%, 70% dan 100 % pada jembatan dengan propil *single girder* maupun *girder* dengan sistem diafragma seperti halnya jembatan utuh.

TINJAUAN PUSTAKA

Welded Beam SM490

Welded beam (balok las) material *SM490* adalah baja struktural berkekuatan tinggi standar JIS G3106 yang ideal untuk konstruksi berat, jembatan, dan gedung bertingkat tinggi. Material ini menawarkan kombinasi kekuatan, ketangguhan, dan kemampuan las yang baik, umumnya tersedia dalam tipe YA (fleksibel) dan YB (statis tinggi).

Berikut ini adalah keunggulan dan spesifikasi utama dari *welded beam SM490*:

- Kekuatan Tinggi:** Memiliki tegangan leleh (*yield strength*) tinggi, memungkinkan menahan beban berat dan gaya eksternal besar tanpa deformasi atau patah.
- Ketahanan Las (*Weldability*):** Sifat las yang superior menjadikannya pilihan tepat untuk fabrikasi *welded beam* yang disesuaikan (*customized*).
- Material *SM490YA* vs *SM490YB*:**
 - SM490YA*: Sangat baik untuk struktur yang memerlukan ketangguhan tinggi dan fleksibilitas (kondisi dinamis).
 - SM490YB*: Lebih cocok untuk struktur dengan beban statis besar.
- Penggunaan:** Sangat umum digunakan pada jembatan bentang panjang, rangka bangunan berat, dan komponen struktural lainnya yang membutuhkan ketahanan korosi dan stabilitas tinggi.

Welded beam SM490 umumnya diproduksi dengan dimensi kustom sesuai dengan kebutuhan perancangan proyek konstruksi.

Finite Element Method Menggunakan ANSYS

Metode elemen hingga adalah prosedur numerik yang dapat digunakan untuk mendapatkan solusi untuk berbagai macam masalah teknik yang melibatkan analisis tegangan, perpindahan panas, elektromagnetisme, dan aliran fluida.

ANSYS yang digunakan dalam modelling struktur pada penelitian ini menggunakan SOLID 185, SOLID 65, SHELL181 dan BEAM 188

- BEAM188** adalah elemen 3-D dengan kemampuan tarik, tekan, dan tekuk. Elemen ini memiliki enam derajat kebebasan pada setiap simpul: translasi pada arah x dan y, dan z dan rotasi terhadap sumbu X, Y, dan Z.
- SHELL181** adalah elemen 3-D dengan kemampuan tarik, tekan, dan tekuk. Elemen ini memiliki enam derajat kebebasan pada setiap simpul: translasi pada arah x dan y, dan z dan rotasi terhadap sumbu X, Y, dan Z.
- SOLID 185** adalah elemen 3-D dengan kemampuan tarik, tekan, dan tekuk. Elemen ini memiliki tiga derajat kebebasan pada setiap simpul: translasi pada arah x dan y, dan z.

Sistem Element seperti ditunjukkan pada Gambar 1 berikut ini :

Element Order	Beam Element (ID)	Shell Element (2D)	Solid Element (3D)
Linear	BEAM188 Structural 3-D 2-Node Beam 2 nodes 3-D space DOF: •	SHELL 181 4-Node Structural Shell 4 nodes 3-D space • DOF: UX, UY, UZ, /	SOLID185 3-D 8-Node Structural Solid 8 nodes 3-D space DOF: UX, UY, UZ
	UX, UY, UZ, / ROTX, ROTY, ROTZ	ROTX, ROTY, ROTZ	
Quadratic	BEAM189 Structural 3-D 3-Node Beam 3 nodes 3-D space DOF: UX, UY, UZ, ROTX, ROTY, ROTZ	SHELL281 8-Node Structural Shell 8 nodes 3-D space DOF: UX, UY, UZ, ROTX, ROTY, ROTZ	SOLID186 3-D 20-Node Structural Solid 20 nodes 3-D space DOF: UX, UY, UZ

Gambar 1 Type Element ANSYS

Sumber: Ansys (2025)

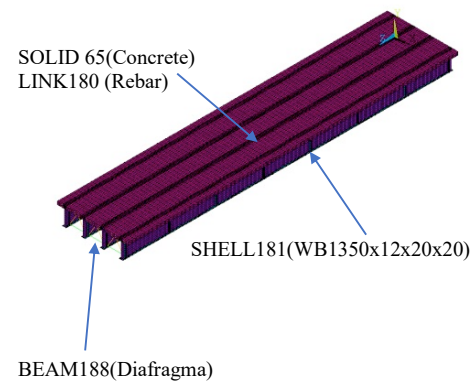
Model Composite Girder

Penulis mencoba merepresentasikan modelling yang pernah dibuat oleh Amir Gheitasi, dkk, (2014) yang membuat Simulasi dan Analisis FE ANSYS 14.0, dalam studi ini untuk memvalidasi respons nonlinier dari sistem jembatan yang dipilih. Elemen padat integrasi penuh delapan simpul, SOLID65, dengan fitur tertanam, seperti retak, hancur, dan deformasi plastik, digunakan untuk pemodelan dek beton. Penguatan internal sistem dek dimodelkan

secara diskrit (Tavarez 2001) menggunakan elemen spar tarik-tekan uniaksial, LINK180. Untuk balok baja, elemen cangkang integrasi tereduksi empat simpul, SHELL181, digunakan untuk memodelkan flens dan web, sedangkan penguat lateral disediakan oleh rangka silang yang dimodelkan dengan elemen balok linier dua simpul, BEAM188.

Jenis Elemen sepada ANSYS seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2 berikut.

$$\begin{aligned}
 f_y^{\text{girder}} &= 490 \text{ MPa} \\
 f_y^{\text{tul}} &= 420 \text{ MPa} \\
 f_c^{\text{concrete}} &= 30 \text{ MPa} \\
 E_s^{\text{girder}} &= 200000 \text{ MPa}, \nu_s = 0,3 \\
 E_s^{\text{rebar}} &= 200000 \text{ MPa}, \nu_s = 0,3 \\
 E_c^{\text{concrete}} &= 25743 \text{ MPa}, \nu_s = 0,2
 \end{aligned}$$

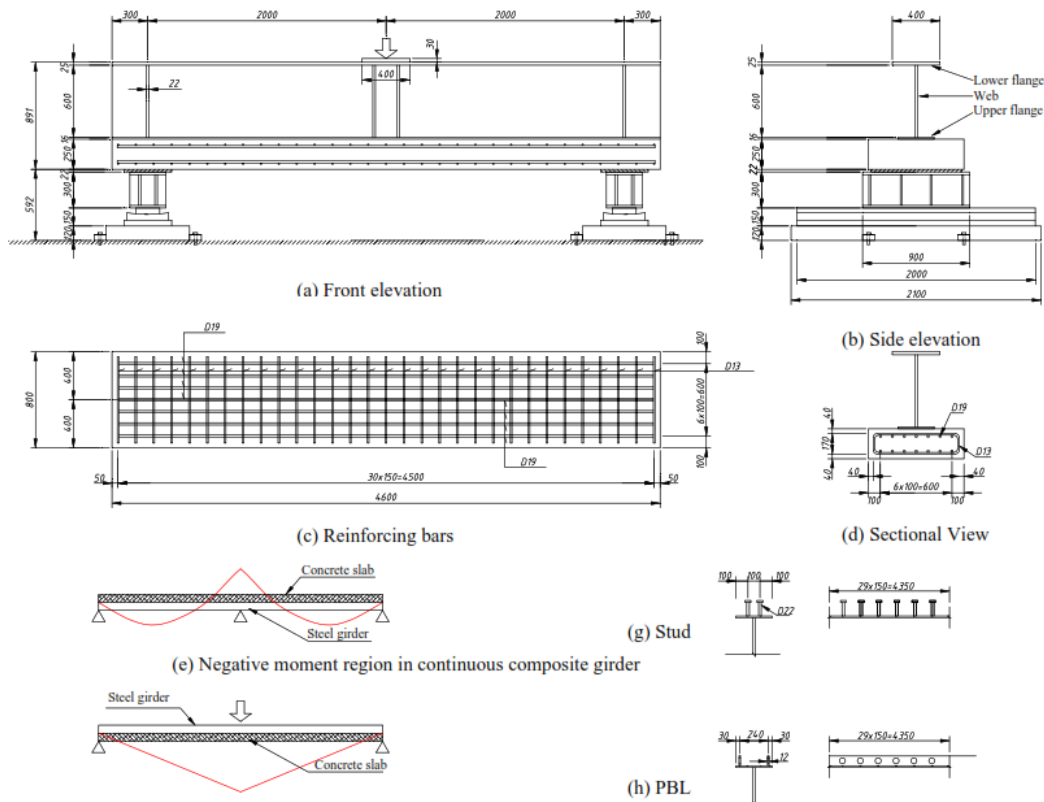


Gambar 2 Modelling Girder Composit
Sumber: Ansys (2025)

Penelitian Terdahulu

Lin dan Yoda (2011), melakukan penelitian yang berjudul *Mechanical Behaviour of Composite*

Bridge Under Hogging Moment mempresentasikan penggunaan benda uji *Girder Composit* dalam laboratorium adalah seperti Gambar 3 berikut.



Gambar 3 Girder Komposit Momen Hogging (Lin & Yoda, 2011)
Sumber: Hasil Penelitian (2025)

Hasil penelitian menunjukkan bahwa spesifikasi yang berlaku saat ini seperti AASHTO, JSCE dan EUROCODE 4 dapat memberikan nilai yang sesuai untuk kekuatan girder komposit pada momen lentur negative seperti terlihat pada Tabel 1 dan Gambar 4 berikut.

Tabel 1 Loading capacity of the test specimens

Specimen No	$F_{u,e}$ (kN)	$D_{u,e}$ (mm)	Initial cracking bending moment (kN.m)			Ultimate bending moment (kN.m)		
			$M_{c,e}$	$M_{c,t}$	$M_{c,e}/M_{c,t}$	$M_{u,e}$	$M_{u,t}$ (kN/m)	$M_{u,e}/M_{u,t}$
CBS-1	3980.8	38.38	200	273	0.81	3980.8	3006	1.32
CBS-2	3801.4	41.67	140	247	0.57	3801.4	3104	1.22
CBP-1	4127.8	33.30	120	273	0.44	4127.8	3006	1.37
CBP-2	3998.6	40.43	120	247	0.48	3998.6	3104	1.28

Note: $F_{u,e}$ and $D_{u,e}$ =Ultimate load and corresponding ultimate displacement in the experiments; $M_{c,e}$ and $M_{c,t}$ = Initial cracking bending moment from experiments and theoretical calculation; $M_{u,e}$ and $M_{u,t}$ = ultimate bending moment from experiments and theoretical calculation, respectively.

Sumber: Hasil Penelitian (2025)

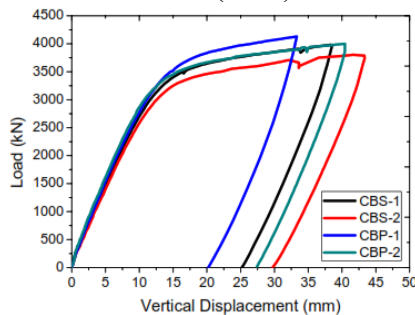


Fig.3 Load-deflection relationship.

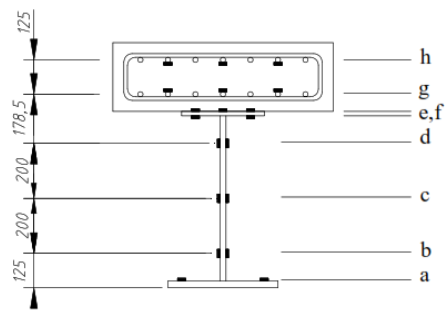


Fig.4 Strain gauge arrangement at mid-span (note: b and d layers were only applied in CBS-1 and CBP-1).

Gambar 4 Parameter dimensi, beban terpusat dan lendutan
Sumber: Hasil Penelitian (2025)

METODE PENELITIAN

Pendekatan Sistem

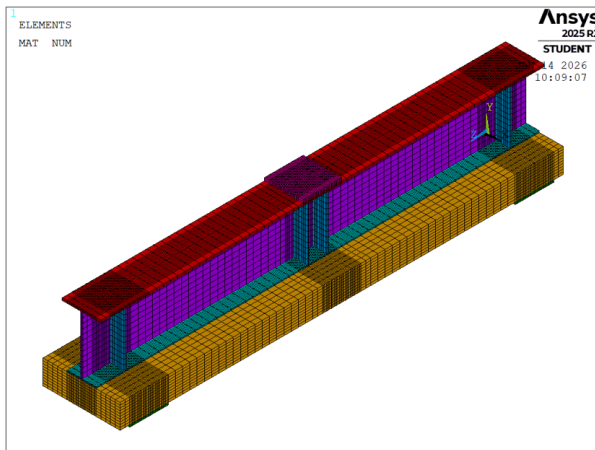
Penelitian ini dilakukan dengan cara pemodelan girder komposit dengan sumber referensi *Mechanical Behaviour of Composite Bridge Under Hogging Moment*. Untuk mendapatkan kekuatan penampang baja girder komposit harus dilakukan uji validasi hasil laboratorium dan verifikasi dari analisis *Ansys*. Pemodelan dengan beban terpusat pada girder baja diharapkan mencapai kondisi maksimum tegangan nonlinear.

Model validasi dibuat dengan elemen

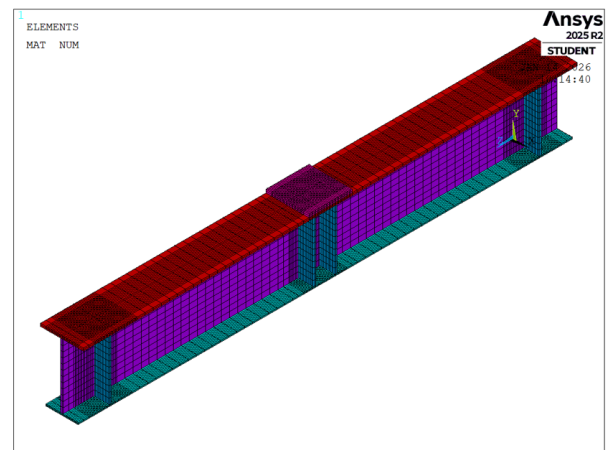
SOLID185 untuk baja dan *SOLID 65* untuk beton. Pemodelan menggunakan analisis diharapkan bisa mencapai tegangan yang mendekati real hasil pengujian laboratorium.

Prosedur Pelaksanaan Analisis

Pada tahap awal, analisis dasar dilakukan pada girder komposit hogging sistem yang diberikan beban node terpusat ditengah bentang. Modelling *Ansys* sistem komposit *SOLID* seperti ditunjukkan pada Gambar 5. Pada tahap kedua dibuat modelling sistem *SOLID* seperti terlihat pada Gambar 6 berikut ini.

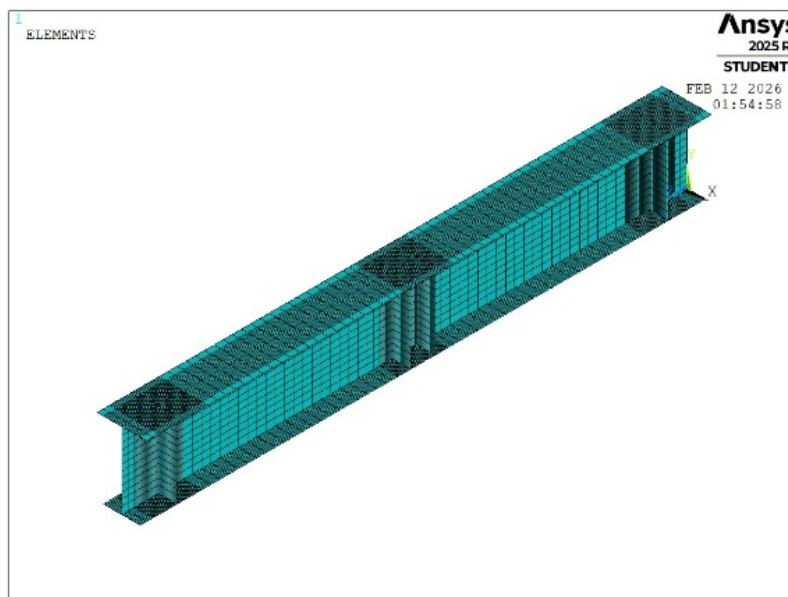


Gambar 5 Modelling Composit *SOLID*
Sumber: Hasil Penelitian (2025)



Gambar 6 Modelling *SOLID185*
Sumber: Hasil Penelitian (2025)

Pada tahap ketiga dibuat modelling sistem *SHELL* seperti terlihat pada Gambar 7 berikut ini :

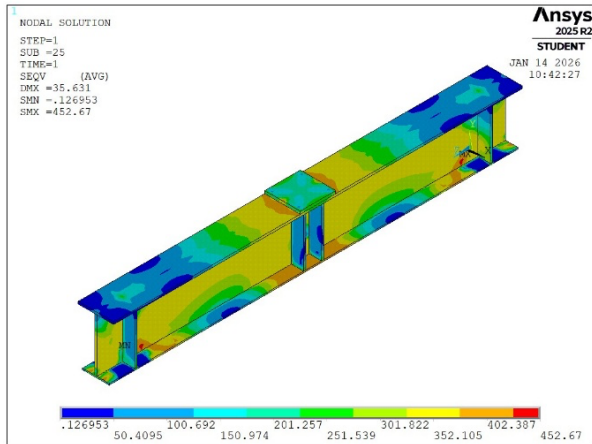


Gambar 7 Modelling *SHELL181*
Sumber: Hasil Penelitian (2025)

HASIL DAN PEMBAHASAN

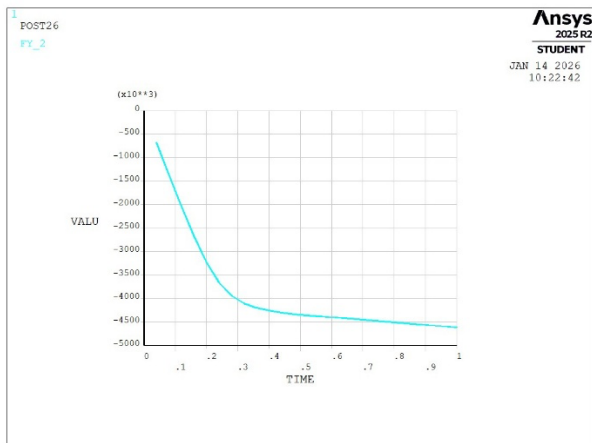
Hasil Analisis Model Validasi

Pada tahap awal validasi membuat modelling SOLID185 dan SHELL181 untuk mendapatkan hasil analisis nilai beban terpusat dan lendutan maksimum. Hasil analisis dapat dilihat pada modelling Solid sebagaimana ditampilkan pada Gambar 8 berikut.



Gambar 8 Stress Maksimum Propil Girder
Sumber: Hasil Penelitian (2025)

Pada Gambar 8 menunjukkan tegangan maksimum terjadi pada elemen Solid tercapai 452,67 MPa dengan lendutan maksimum sebesar 35,631 mm. Grafik non linier pada elemen Solid Girder ditunjukkan pada Gambar 9 berikut.



Gambar 9 Grafik Nonlinear Solid Girder
Sumber: Hasil Penelitian (2025)

Pada Gambar 9 terlihat bahwa elemen solid mencapai kondisi nonlinear dengan beban terpusat maksimum pada tengah bentang sebesar 4571 kN. Hasil analisis 3 elemen disajikan dalam Tabel 2 berikut.

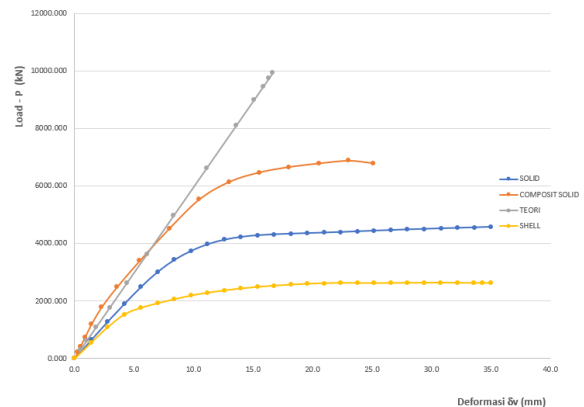
Tabel 2. Perbandingan Hasil Experimental Dengan Analisis Ansys

Model	Eksperimental	
	Load (kN)	Deformasi (mm)
Validasi model solid composit	3980,800	38,380
Validasi model solid	4571,000	35,631
Validasi model shell	2617,000	35,002
Perhitungan manual	9930,137	16,667

Sumber: Hasil Penelitian (2025)

Untuk perhitungan manual penulis menggunakan persamaan matematis $\delta = \frac{P.L^3}{48.E_s.I_{Comp}}$ Dimana lendutan maksimum dihitung terlebih dahulu dengan persamaan $\delta = \frac{L}{240}$ Kemudian didapatkan hasil beban terpusat maksimum.

Setelah angka parameter diperoleh dari analisis ANSYS dan perhitungan teori, kemudian Load dibuat sebagai koordinat Y axis dan Lendutan sebagai koordinat X axis dapat lihat pada Gambar 10 berikut ini.



Gambar 10 Grafik Plot Beban Terpusat vs Lendutan
Sumber: Hasil Penelitian (2025)

Nilai load dan deformasi diambil yang paling mendekati dengan hasil uji laboratorium sebelumnya dengan menggunakan modelling shell yang tersaji pada Tabel 3 berikut ini.

Tabel 3. Perbandingan Hasil Experimental Dengan Analisis Ansys

Model	Eksperimental		ANSYS	
	Load (kN)	Deformasi (mm)	Load (kN)	Deformasi (mm)
Validasi model	3980,800	38,3800	2617,1	35,002

Model	Eksperimental		ANSYS	
	Load (kN)	Deformasi (mm)	Load (kN)	Deformasi (mm)
laboratorium dengan Shell Element				

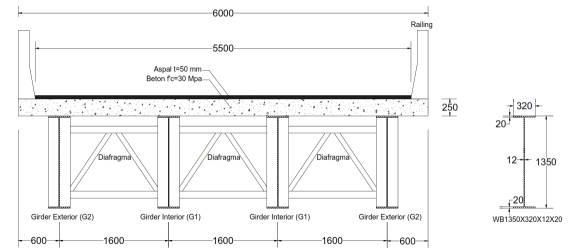
Sumber: Hasil Penelitian (2025)

Dari komparasi hasil analisis ANSYS maka yang digunakan garis grafik yang berwarna kuning sehingga didapatkan lendutan maksimum sebesar 35,002 mm atau 91,2%.

Hasil Analisis Model Verifikasi Composit Beban Mati

Pembebanan menggunakan perhitungan sebagaimana ditampilkan pada Gambar 11 berikut.

Berat sendiri (Q_{MS}) dan Beban mati tambahan (Q_{MA})



Gambar 11 Geometri Jembatan

Sumber: Hasil Penelitian (2025)

Untuk memudahkan perhitungan identifikasi beban dibuat dalam bentuk Tabel 4 - 5 berikut.

Tabel 4. Perhitungan Beban Q_{MA} dan Q_{MS}

No	Uraian	Kode	Lebar (m) (a)	Tebal (m) (b)	Layan FK (c)	BJ (d)	Q_{MA+MS}^S (kN/m) (e)	Ultimit FK (f)	Q_{MA+MS}^U (kN/m) (g)=(e)x(f)
1	Stringer	Q_{MS}			1,0		2,24	1,1	2,46
2	Lantai beton	Q_{MS}	1,600	0,250	1,0	25,0	10,00	1,3	13,0
3	Aspalt	Q_{MA}	1,600	0,050	1,0	22,0	1,76	2,0	3,52
4	Genangan air	Q_{MA}	1,600	0,050	1,0	9,8	0,78	2,0	1,57
5	Diafragma	Q_{MS}			1,0		0,43	1,1	0,47
Girder (G1) Interior					Total		15,21		21,02
1	Stringer	Q_{MS}			1,0		4,92	1,1	5,41
2	Lantai beton	Q_{MS}	1,400	0,250	1,0	25,0	8,75	1,3	11,38
3	Aspalt	Q_{MA}	1,150	0,050	1,0	22,0	1,27	2,0	2,53
4	Railing	Q_{MR}			1,0		1,50	2,0	3,00
5	Genangan air	Q_{MA}	1,150	0,050	1,0	9,8	0,56	2,0	1,13
6	Diafragma	Q_{MS}			1,0		0,43	1,1	0,47
7	Berat lampu & pipa	Q_{MA}			1,0		0,48	2,0	0,96
Girder (G2) Exterior					Total		17,91		24,88

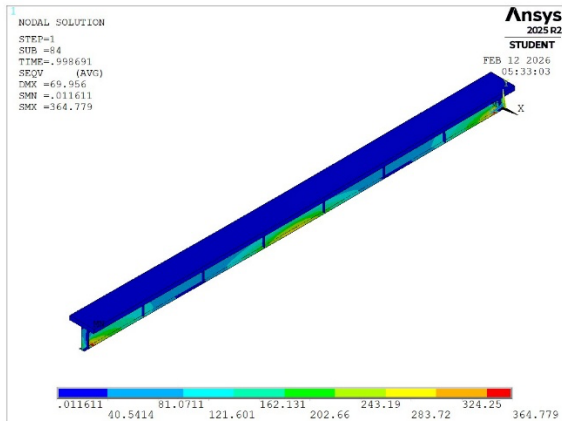
Sumber: Hasil Penelitian (2025)

Tabel 5. Perhitungan Beban P_{TD} dan Q_{TD}

No	Uraian	Kode	Lebar (m) (a)	Tebal (m) (b)	Layan FK (c)	BJ (d)	Q_{MA+MS}^S (kN/m) (e)	Ultimit FK (f)	Q_{MA+MS}^U (kN/m) (g)=(e)x(f)
1	Beban garis	P_{TD}	1,000	39,913	1,0	39,91	1,8		71,84
2	Beban terbagi rata	Q_{MS}	1,600	0,250	1,0	25,0	10,00	1,3	13,20
Girder (G1) Interior					Total				85,04
1	Beban garis	P_{TD}	1,000	39,9	1,0	39,91	1,8		71,84
2	Beban terbagi rata	Q_{TD}	1,000	7,3	1,0	7,33	1,8		13,20
3	Pedestrian	T_p	1,000	5,0	1,0	5,00	1,8		9,00
Girder (G2) Exterior					Total				94,04

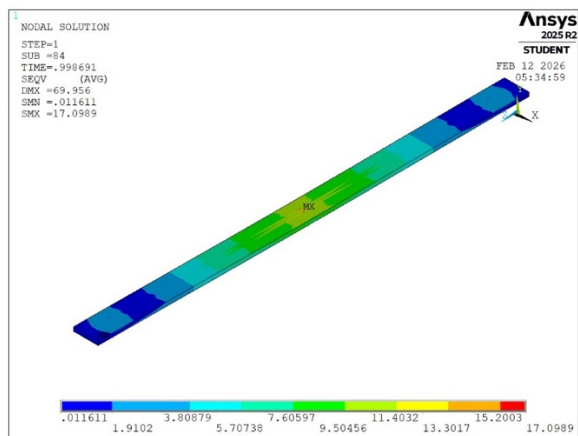
Sumber: Hasil Penelitian (2025)

Hasil analisis modelling komposit lebar efektif beton = 1600 mm dengan software ANSYS yang menggunakan beban node ANSYS dapat dilihat pada Gambar 12 tegangan maksimum mencapai 364,779 mm dan lendutan maksimum mencapai 69,956



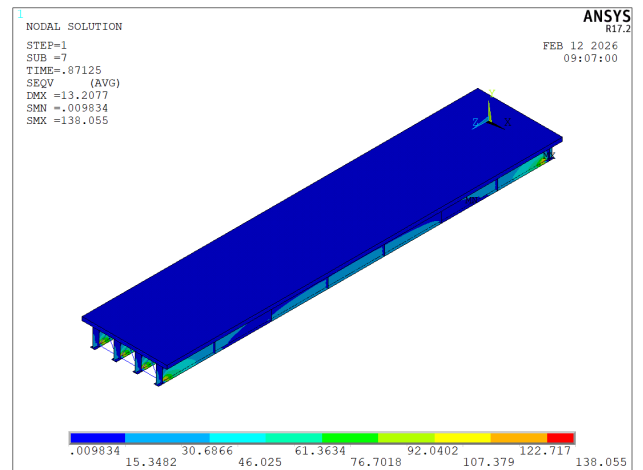
Gambar 12 Stress dan Lendutan Maksimum Akibat Beban Node ANSYS
Sumber: Hasil Penelitian (2025)

Hasil analisis modelling komposit lebar efektif beton = 1600 mm dengan software ANSYS yang menggunakan beban node ANSYS dapat dilihat pada Gambar 13 tegangan maksimum mencapai 17,099 MPa dan lendutan maksimum mencapai 69,956 mm



Gambar 13 Stress dan Lendutan Maksimum Akibat Beban Node ANSYS
Sumber: Hasil Penelitian (2025)

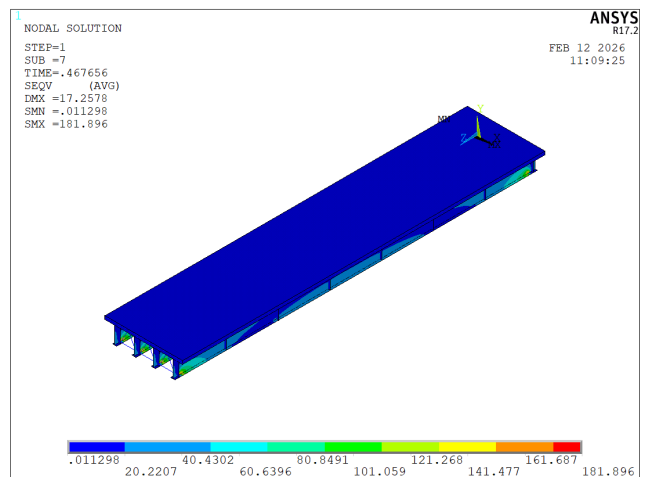
Hasil analisis modelling utuh komposit 4 girder sistem diafragma dengan software ANSYS yang menggunakan beban mati Q_{MA+MS} dapat dilihat pada Gambar 14 berikut.



Gambar 14 Stress dan Lendutan Maksimum Akibat Beban Mati (Q_{MA+MS})
Sumber: Hasil Penelitian (2025)

Perhitungan lendutan dibuat terpisah karena ada rasio yang berbeda antara beban mati dengan beban hidup kendaraan. Pada Gambar 14 terlihat stress maksimum penampang komposit mencapai 138,055 MPa dengan lendutan maksimum 13,208 mm.

Hasil analisis modelling utuh komposit 4 girder sistem diafragma dengan software ANSYS yang menggunakan beban hidup Q_{TD} dapat dilihat pada Gambar 15 berikut.



Gambar 15 Stress dan Lendutan Maksimum Akibat Beban Hidup (Q_{TD})
Sumber: Hasil Penelitian (2025)

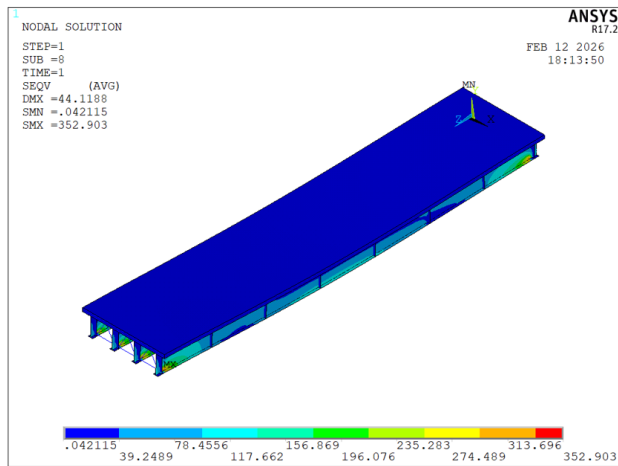
Pada Gambar 15 terlihat stress maksimum penampang komposit mencapai 181,896 MPa dengan lendutan maksimum 17,258 mm. Perhitungan lendutan dibuat terpisah karena FK berbeda antara beban mati dengan beban hidup kendaraan. Perhitungan lendutan untuk beban mati menggunakan parameter $\delta = \frac{L}{300}$ sedangkan untuk beban hidup

menggunakan parameter $\delta = \frac{L}{800}$

Nilai lendutan akibat beban mati dibatasi = $\delta = \frac{L}{300} = \frac{28000}{300} = 93,333 \text{ mm}$

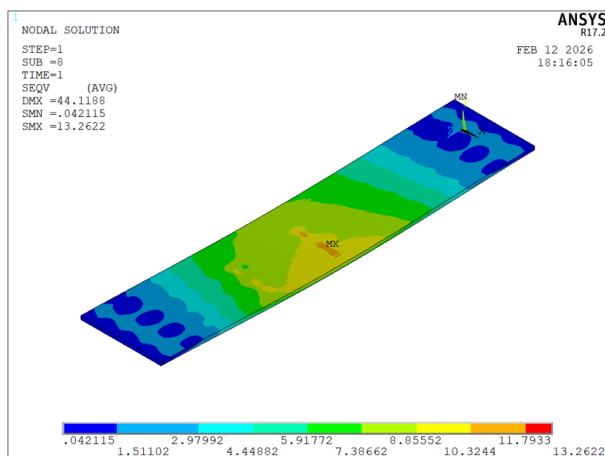
Nilai lendutan akibat beban hidup dibatasi = $\delta = \frac{L}{800} = \frac{28000}{800} = 35,000 \text{ mm}$

Hasil analisis modelling utuh komposit 4 girder sistem diafragma pada girder baja dengan software ANSYS yang menggunakan beban mati (Q_{MA}, Q_{MS}) dan beban hidup Q_{TD} dapat dilihat pada Gambar 16 berikut.



Gambar 16 Stress dan Lendutan Akibat Beban Mati (Q_{MA}, Q_{MS}) dan Hidup (Q_{TD})
Sumber: Hasil Penelitian (2025)

Pada Gambar 16 terlihat stress maksimum penampang komposit mencapai 352,903 MPa dengan lendutan maksimum 44,119 mm. Hasil analisis modelling utuh komposit 4 girder sistem diafragma pada beton dengan software ANSYS yang menggunakan beban mati (Q_{MA}, Q_{MS}) dan beban hidup Q_{TD} dapat dilihat pada Gambar 17 berikut.

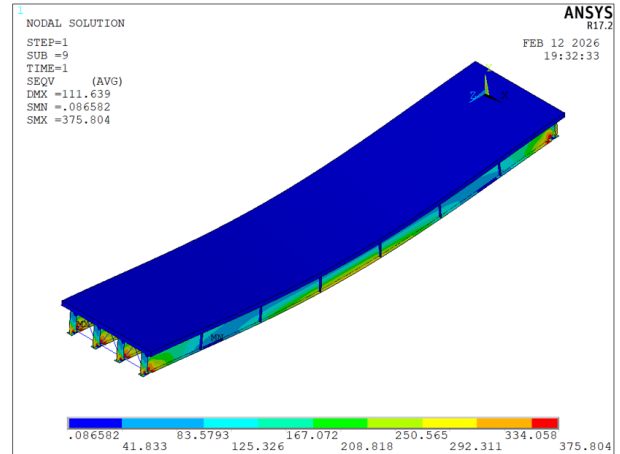


Gambar 17 Von Mises Stress dan Lendutan Akibat Beban Mati (Q_{MA}, Q_{MS}) dan Hidup (Q_{TD})

Sumber: Hasil Penelitian (2025)

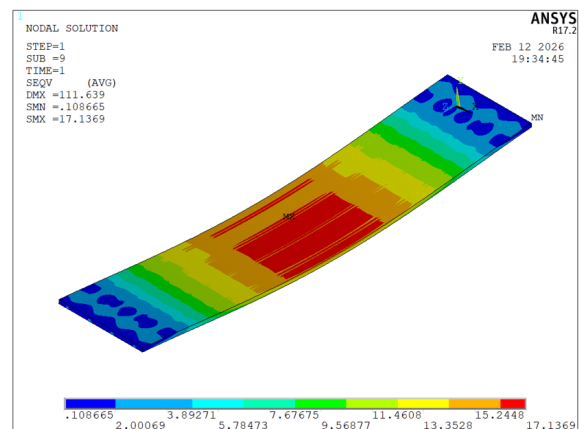
Pada Gambar 17 terlihat von Mises Stress maksimum pada beton mencapai 13,262 MPa dengan lendutan maksimum sebesar 40,895 mm.

Hasil analisis modelling full-model girder komposit 4 girder sistem diafragma pada baja dengan ANSYS yang menggunakan beban mati (Q_{MA}, Q_{MS}) dan beban hidup P_{TD} dapat dilihat pada Gambar 18 berikut.



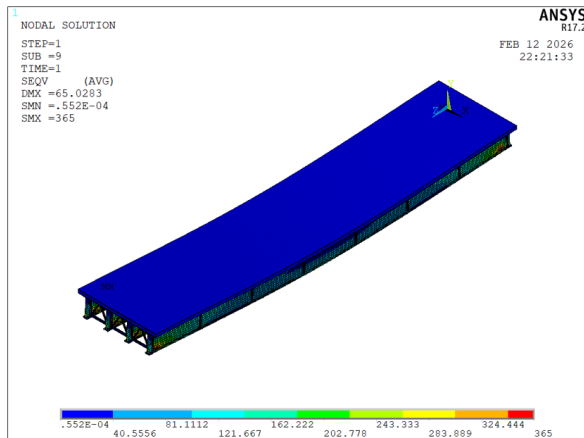
Gambar 18 Von Mises Stress dan Lendutan Akibat Beban Mati (Q_{MA}, Q_{MS}) dan Hidup (P_{TD})
Sumber: Hasil Penelitian (2025)

Pada Gambar 18 terlihat von Mises stress maksimum penampang komposit mencapai 375,804 MPa dengan lendutan maksimum sebesar 111,639 mm. Hasil analisis modelling utuh komposit 4 girder sistem diafragma pada beton dengan software ANSYS yang menggunakan beban mati (Q_{MA}, Q_{MS}) dan beban hidup P_{TD} dapat dilihat pada Gambar 19 berikut.



Gambar 19 Von Mises Stress dan Lendutan Akibat Beban Mati (Q_{MA}, Q_{MS}) dan Hidup (P_{TD})
Sumber: Hasil Penelitian (2025)

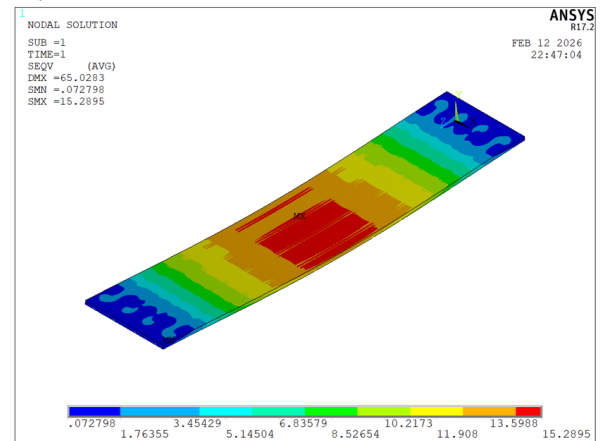
Pada Gambar 19 terlihat stress maksimum pada beton mencapai 17,137 MPa dengan lendutan maksimum sebesar 111,639 mm. Hasil analisis modelling dengan perkuatan bottom flange menggunakan plat tebal = 30 mm dapat dilihat pada Gambar 20 berikut, terlihat tegangan von Mises mencapai 365 MPa dan lendutan menjadi 65,028 mm.



Gambar 20 Stress dan Lendutan Pada Girder Komposit Setelah Perkuatan

Sumber: Hasil Penelitian (2025)

Hasil analisis modelling dengan perkuatan bottom flange menggunakan plat $t = 30$ mm dapat dilihat pada Gambar 21 berikut, terlihat tegangan beton mencapai 15,29 MPa dan lendutan menjadi 65,028 mm



Gambar 21 Von Mises Stress dan Lendutan pada Beton Setelah Perkuatan
Sumber: Hasil Penelitian (2025)

Resume Hasil Analisis Model Verifikasi Composit Single Girder

Hasil analisis ANSYS kemudian dibuat dengan perbandingan hasil desain rencana dalam bentuk Tabel 4 sebagai berikut.

Tabel 4. Perbandingan Desain Awal terhadap Hasil Experimental ANSYS

Kriteria	Desain Perencana			ANSYS		
	Load (kN)	Stress (MPa)	Deformasi (mm)	Load (kN)	Stress (MPa)	Deformasi (mm)
Beban Mati ($Q_{MA}+Q_{MS}$)	595,0	325,050	80,250		138,055	13,208
Beban Hidup(Q_{TD})	595,0	325,050	34,210		181,896	17,258
Beban Node(Lendutan)				1348,550	364,779	69,956
Beban $Q_{MA}, Q_{MS}, Q_{TD}, P_{TT}$					352,903	44,119
Beban $Q_{MA}, Q_{MS}, Q_{TD}, P_{TD}$					375,804	111,639
Beban $Q_{MA}, Q_{MS}, Q_{TD}, P_{TD}$					365,000	65,028

Sumber: Hasil Penelitian (2025)

Dari hasil perbandingan pada Tabel 4 di atas, memperlihatkan bahwa hasil desain Perencana cenderung terlalu konservatif dengan nilai tegangan maksimum sangat besar karena memperhitungkan kondisi elastis murni.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan, maka dapat disimpulkan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) Dari hasil analisis FEM 3D ANSYS terhadap komposit single girder baja bentang 28 m diperoleh tegangan baja sebesar 364,779 MPa, tegangan beton sebesar 17,099 MPa, lendutan maksimum sebesar 69,956 mm serta load maksimum mencapai 1348,55 kN
- 2) Dari hasil analisis FEM 3D ANSYS kondisi 1 beban P_{TT} terhadap komposit 4 girder baja sistem diafragma bentang 28 m diperoleh tegangan baja sebesar 352,903 MPa, tegangan beton sebesar 13,262 MPa, lendutan maksimum sebesar 44,119 mm
- 3) Dari hasil analisis FEM 3D ANSYS kondisi 2 beban P_{TD} terhadap komposit 4 girder baja sistem diafragma bentang 28 m diperoleh tegangan baja sebesar 375,804 MPa, tegangan beton sebesar 13,262 MPa, lendutan maksimum sebesar 111,639 mm
- 4) Didapatkan rasio kekuatan elemen penampang profil girder berdasarkan SNI 1725:2016 untuk beban kendaraan 500 kN yang menggunakan analisis ANSYS, melewati tegangan leleh sebesar 102,96% f_y . Pada beban kendaraan 500 kN, didapatkan tegangan sebesar 375,804 MPa melebihi tegangan ultimit menyebabkan kondisi tidak aman akibat terjadinya overstress.
- 5) Perkuatan tambahan pada 4 buah profil girder dengan stiffener karena terjadi overstress, dilakukan dengan penambahan diafragma sejarak 5 meter dan penambahan cover plate setebal 30 mm pada posisi di bawah *bottom flange*. Hasil tegangan pada girder komposit menunjukkan nilai sebesar 365 MPa, dan lendutan berkurang menjadi 58,248% terhadap beban terakhir.

DAFTAR PUSTAKA

Ahmed A., and Lokhande. R.B. (2017). *Comparative Analysis and Design of T-Beam and Box Girders*. International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)

Amri S., dan Puluhalawa I. (2020). *Desain Jembatan Komposit Pada Sungai Jalan Antara Rupa Utara*. Journal of Constructional Steel Research

Adamakos T., Vayas I., Petridis S., and Iliopoulos A., (2010). *Modeling of curved composite I-girder bridges using spatial systems of beam elements*. J. of Constructional Steel Research,

AASHTO. (2012). *Bridge Design Specification*.

AASHTO LRFD

Altabey W.A., Noori M., and Wang L., (2018). *Using ANSYS for Finite Element Analysis: A Tutorial for Engineers*. Momentum Press, LLC, New York

Badan Standarisasi Nasional. (2005). *Perencanaan Baja RSNI T-03-2005*

Badan Standarisasi Nasional. (2016). *Pembebanan Untuk Jembatan SNI 1725:2016*

Daouadi T.H., Abbès B., Bensatallah T., and Abbès F. (2025). *Analysis of Interface Sliding in a Composite I-Steel-Concrete Beam Reinforced by a Composite Material Plate: The Effect of Concrete-Steel Connection Modes*. Journal of Composite Site MDPI

Gheitasi A. and Harris D.K.. (2014). *Overload Flexural Distribution Behavior of Composite Steel Girder Bridges*. Journal of Bridge Engineering

Gheitasi A., and Harris D. K., (2014). *Failure Characteristics and Ultimate Load-Carrying Capacity of Redundant Composite Steel Girder Bridges: Case Study*. Journal of Bridge Engineering,

Hraib F., and Tabsh S.W.. (2025). *Influence of Girder Flaring on Load Effect in Girders of Composite Steel Bridges*. Applied Sciences MDPI

Lin W. and T. Yoda (2011). *Mechanical Behaviour of Composite Bridge Under Hogging Moment*. Department of Civil and Environmental Engineering, Waseda University, Japan

Moaveni S.. (2015). *Finite Element Analysis Theory and Application with ANSYS*. Minnesota State University, Mankato

Puluhulawa I., and Harahap F.R., (2021). *Desain Struktur Jembatan Komposit Sungai Pengalir Berdasarkan Pembebanan SNI 1725:2016*. Seminar Nasional Industri dan Teknologi (SNIT)

Putra S., Syukri S., dan Mahyar H. (2017). *Perencanaan Gelagar Baja Pada Jembatan Desa Buket Linteung Kecamatan Langkahan Kabupaten Aceh Utara*. Jurnal.pnl.ac.id,

Rabahi A., Daouadi T.H., Rabia B. (2022). *Analysis and modeling of hyperstatic RC beam bonded by composite plate symmetrically loaded and supported*. Department of Civil Engineering, Ibn Khaldoun University of Tiaret, Algeria

Reginatoa L.H., Tamayob J. L. P., and Morsch I. B., (2018). *Finite element study of effective width in steel-concrete composite beams under long-term service loads*. Latin American Journal of Solids and Structures

Taufik S. (2025). *Materi Pelatihan Building Information Modelling (BIM) dengan Revit 2026 untuk Proyek Infrastruktur*. Institut Sains dan Teknologi Nasional

Xu B., Sun C., Song S., Zhang X., Zhao B., and Zhang W.. (2024). *Comparative Study on the Seismic Vulnerability of Continuous Bridges with Steel–Concrete Composite Girder and Reinforced Concrete Girder*. Buildings MDPI

Zhao R., Liu Y., Jiang L., Feng B., Fu Y., and Zhang C. (2022). *Experimental Study on Hot Spot Stresses of Curved Composite Twin-Girder Bridges*. Materials MDPI