

Optimasi Dimensi Web Balok Gelagar I Terhadap Pembebanan Truk Pada Jalan Tol XYZ

Adinda Tiffany¹

Program Studi Teknik Sipil
Universitas Bakrie

Jalan H.R. Rasuna Said Kav. C-22, Kuningan, Jakarta Selatan

adindatiffany19@gmail.com

Bambang Purwoko Bintoro Kusumo²

Program Studi Teknik Sipil
Universitas Bakrie

Jalan H.R. Rasuna Said Kav. C-22, Kuningan, Jakarta Selatan

kusumo.bintoro@bakrie.ac.id

Jouvanchandra Pratama Putra³

Program Studi Teknik Sipil
Universitas Bakrie

Jalan H.R. Rasuna Said Kav. C-22, Kuningan, Jakarta Selatan

jouvanchandra@gmail.com

Abstrak – Jembatan jalan raya khususnya jalan bebas hambatan tol saat ini menjadi salah satu pembangunan infrastruktur utama yang diminati dalam meminimalisir kemacetan di jalan-jalan utama. Penggunaan gelagar memanjang atau sering disebut dengan I Girder menjadi salah satu material yang digunakan dalam pembangunan jembatan layang dewasa ini. Pada penerapannya Jalan Tol XYZ menjadi salah satu jalan utama penghubung kendaraan. Selain itu, kendaraan bertonase berat yang setiap hari melalui jalan ini seperti truk sedang dan truk trailer dengan panjang yang bervariasi serta beban kendaraan yang berlebih menjadi penyebab terjadinya kerusakan pada balok gelagar beton I Girder. Pada penelitian ini dilakukan analisis terhadap pola penyebaran beban kendaraan truk pada lajur kiri, kanan, tengah dan lendutan besarnya lendutan yang terjadi akibat pembebanan beban kendaraan. Optimasi dilakukan pada lebar web gelagar memanjang untuk melihat kapasitas jembatan dalam menerima beban kendaraan terhadap lendutan maksimum yang dibatasi. Dimensi aktual web 200 mm di modifikasi menjadi 150 mm dan 100 mm. Hasil analisis lendutan akibat beban kendaraan menunjukkan nilai lendutan masih dalam kapasitas jembatan $L/800 = 40$ mm. Hasil analisis yang didapatkan jembatan dengan optimasi dimensi lebar web masih dapat menerima beban kendaraan truk.

Kata kunci: jembatan, jalan tol, beban kendaraan, kapasitas lendutan, gelagar beton

I. PENDAHULUAN

Jembatan merupakan bagian yang penting dalam suatu sistem jaringan jalan, karena pengaruhnya yang signifikan bila jembatan itu runtuh atau tidak berfungsi dengan baik. Jembatan merupakan struktur yang melintasi sungai atau penghalang lalu lintas lainnya, maka keruntuhan jembatan akan mengganggu kelancaran transportasi orang dan barang. Sehingga pada pengoperasiannya, infrastruktur ini patut dipelihara dengan baik agar kinerjanya dapat ditingkatkan atau

dipertahankan. Manajemen pemeliharaan yang baik sangat ditentukan oleh sistem penilaian kondisi jembatan yang akurat dan objektif [1].

Perkembangan infrastruktur merupakan salah satu jenis proyek dari industri konstruksi. Sebagai sektor riil, pembangunan infrastruktur seperti jembatan layang, jalan tol, terowongan, dan sebagainya secara tak langsung akan menggerakkan ekonomi. Pertumbuhan kendaraan yang pesat dan tidak diikuti dengan pertumbuhan jalan yang sesuai akan menyebabkan kemacetan. Begitu juga di DKI Jakarta, masalah kemacetan lalu lintas dari tahun ke tahun semakin meningkat. Oleh karena itu, pembangunan proyek infrastruktur seperti jembatan layang merupakan salah satu alternatif yang cukup efektif dalam mengatasi kemacetan lalu lintas [2]. Hal ini disebabkan oleh fungsi geometrik lebar jembatan sebagai pengontrol volume arus kendaraan yang dapat dilayani oleh sistem transportasi [3].

Secara umum struktur jembatan dibagi menjadi dua yaitu struktur atas yang menerima beban langsung yang meliputi berat sendiri, beban mati, beban mati tambahan, beban lalu lintas kendaraan, gaya rem, beban pejalan kaki dan sebagainya, struktur bawah yang berfungsi memikul seluruh beban struktur atas dan beban lainnya yang ditimbulkan oleh tekanan tanah, aliran air dan hanyutan, tumbukan, gesekan pada tumpuan dan sebagainya. Struktur atas atau biasa disebut bangunan atas terdiri atas trotoar, pelat lantai kendaraan, balok utama girder dan balok diafragma.

Kapasitas jembatan menunjukkan kekuatan dan keandalan struktur jembatan terhadap beban aksi yang diberikan. Material precast lebih umum digunakan dalam pelaksanaan konstruksi jembatan layang. Balok segmental sendiri merupakan balok beton, yang pada umumnya precast dan post-tensioned, dalam bentuk bagian-bagian yang digabungkan. Oleh karena itu, penelitian ini akan membahas mengenai optimasi dimensi web gelagar memanjang terhadap

¹ Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil

² Dosen Program Studi Teknik Sipil

³ Dosen Program Studi Teknik Sipil

kombinasi loading test atau beban truk yang mengambil peran sebagai penyumbang beban terbesar pada konstruksi struktur atas jembatan layang tol ini. Penelitian ini mencoba melakukan penilaian kondisi gelagar memanjang I jembatan atau jalan layang XYZ dengan menggunakan acuan SNI 1725:2016 “Pembebanan untuk jembatan” dan RSNI T-04-2005 tentang “Perencanaan Struktur Beton untuk Jembatan”, serta menganalisis data dengan aplikasi komputer SAP2000 students Version.

II. PENELITIAN TERDAHULU

Penelitian mengenai pengaruh beban kendaraan terhadap kapasitas lendutan gelagar memanjang (girder), dimana beban kendaraan bertonase berat seperti truk trailer diasumsikan tersebar di seluruh lajur kendaraan. Lajur lambat atau lajur sebelah kiri jalan pada kenyataannya di peruntukkan khusus untuk kendaraan bertonase berat. Penelitian mengenai pengaruh beban kendaraan truk terhadap kapasitas gelagar memanjang juga telah dilakukan untuk mengevaluasi kondisi eksisting struktur atas jembatan rangka baja dengan tipe jembatan panel Bailey yang merupakan jembatan darurat *portable*. Analisisnya menunjukkan kapasitas elemen struktur ujung jembatan tidak aman dalam memikul pembebanan yang diberuikan. Selain itu, Heryudiasari dan Rahim, juga melakukan studi perbandingan perilaku jembatan I girder dan U girder akibat pembebanan jembatan yakni berat sendiri jembatan, beban mati tambahan, beban lajur D, beban angin, beban rem, beban temperature atau suhu, serta beban gempa. Dari hasil studi perbandingan yang telah dilakukan dapat diketahui bahwa jembatan U girder mempunyai tingkat keefektifan yang lebih tinggi pada hasil perbandingan lendutan, tegangan, dan gaya dalam segi value engineering volume pekerjaan pada jembatan U girder lebih besar dibandingkan dengan jembatan I girder sebesar 9.86%.

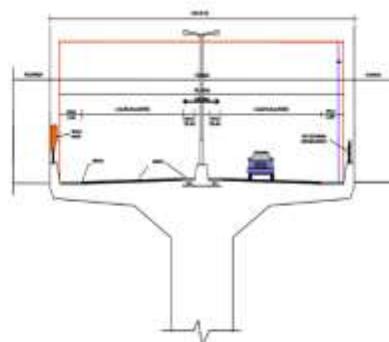
Disamping itu, Muchyidin melakukan studi model penurunan kondisi jembatan dengan gelagar beton bertulang berdasarkan umur rencana dan beban lalu lintas dengan sistem (IBMS) dilakukan untuk mengetahui variabel apa saja yang mempengaruhi penurunan kondisi jembatan. Pada kesimpulannya diketahui variabel yang mempengaruhi penurunan kondisi jembatan yakni bentang, lebar, umur rencana dan beban lalu lintas. Hal ini juga didukung dengan penelitian terdahulu yang dilakukan yang juga mengevaluasi kekuatan dan stabilitas jembatan rangka baja Belanda akibat pengaruh penurunan mutu materia, korosi, serta beban actual kendaraan dump truck tronton. Hasil penelitian ini menunjukkan jembatan masih dalam kondisi aman dengan faktor keamanan sebesar 1.5 dan NK 3, jembatan masuk dalam kategori rusak dan memerlukan perkuatan dan rehabilitasi.

Kajian analisis respon statis jembatan dengan tipe gelagar beton bertulang juga dilakukan oleh Setiati [4] untuk mengetahui kapasitas lendutan jembatan dengan melakukan

pengujian pembebanan secara statis menggunakan metode pembebanan loading test. Setiati memperoleh bahwa nilai lendutan yang dihasilkan beban kendaraan truk sebesar 9.5 mm lebih kecil dari nilai lendutan ijin $L/480$ sebesar 42 mm. Hal ini menunjukkan bahwa lendutan yang terjadi pada gelagar jembatan akibat beban kendaraan truk masih memenuhi nilai lendutan ijin jembatan.

i. JALAN TOL LAYANG (ELEVATED)

Berdasarkan Standar Konstruksi dan Bangunan No.007/BM/2009 Departemen Pekerjaan Umum tentang Geometri Jalan Bebas Hambatan untuk Jalan Tol, jalan tol adalah jalan umum yang merupakan bagian sistem jaringan jalan dan sebagai jalan nasional yang penggunaannya diwajibkan membayar tol. Jalan bebas hambatan untuk jalan tol secara fungsi harus berupa jalan arteri primer atau kolektor primer. Jalan arteri adalah jalan umum yang berfungsi melayani angkutan utama



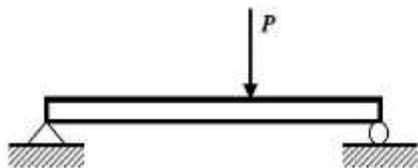
Gambar 2.1 Potongan melintang jalan bebas hambatan untuk jalan tol elevated

Pembebanan jembatan mengacu pada peraturan teknik perencanaan jembatan “SNI 1725:2016”. Beban truk berdasarkan SNI tersebut terdiri dari kendaraan truk semi-trailer yang mempunyai susunan dan berat as seperti gambar. Berat dari masing-masing as disebarakan menjadi 2 beban merata sama besar yang merupakan bidang kontak antara roda dengan permukaan lantai. Jarak antara 2 as tersebut bisa diubah-ubah antara 4 sampai 9 meter untuk mendapatkan pengaruh terbesar pada arah memanjang jembatan. Beban statis pada sturuktur jembatan berarti bahwa beban tetap tersebut tetap posisi, intensitas juga arah garis kerjanya.

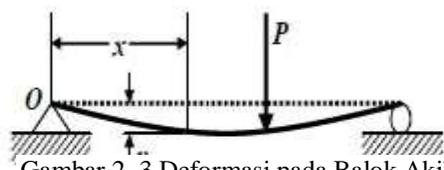
Pada kenyataannya di lapangan pengujian beban statis pada jembatan (static load test) dilakukan dengan melihat langsung perilaku dan respon kendaraan akibat beban truk. Prediksi terjadinya lendutan maksimum pada balok ditentukan edngan analisis statis berdasarkan standar pembebanan truk yang berlaku. Uji beban meliputi penempatan posisi as truk dengan beberapa kombinasi pembebanan. Kemudian nilai lendutan diukur berdasarkan nilai kombinasi saat pembebanan truk (loaded) dan kondisi semula tanpa pembebanan truk (unloaded).

Pada tahap pekerjaan desain struktur yang harus diperhatikan untuk saat ini adalah filosofi kondisi batas (limit state). Kondisi batas ini digunakan untuk menjelaskan sebuah kondisi dimana struktur atau bagian dari struktur tidak lagi melakukan fungsi serta tujuannya. Menurut McCormac [5], ada dua jenis kondisi batas, yaitu kekuatan dan daya layan (serviceability). Kondisi batas kekuatan didasarkan pada keamanan atau kapasitas struktur dalam menahan beban termasuk tekuk, retak, leleh, guling dan lain-lain. Sedangkan kondisi batas daya layan didasarkan terhadap kinerja struktur pada beban layan normal dan berhubungan dengan tingkat hunia struktur. Pengukuran daya layan dilakukan dengan memperhatikan besar lendutan, retak, getaran struktur serta kerusakan permukaan beton dan karat pada tulangan.

Lendutan atau defleksi adalah perubahan bentuk pada balok dengan bentang tertentu akibat dari adanya pembebanan vertikal baik terpusat maupun merata. Lendutan merupakan fungsi dari kekakuan yaitu perkalian antara modulus elastisitas balok (E_c) dengan momen inersia (I). Deformasi pada balok secara sangat mudah dapat dijelaskan berdasarkan lendutan balok dari posisinya sebelum mengalami pembebanan. Untuk penjelasan lebih lanjut balok pada posisi awal sebelum terjadi deformasi dan balok dalam konfigurasi terdeformasi yang diasumsikan akibat aksi pembebanan, diperlihatkan pada gambar berikut.



Gambar 2. 2 Kondisi Balok Sebelum Terjadi Deformasi



Gambar 2. 3 Deformasi pada Balok Akibat Lendutan

dengan mengalikan dimensi jembatan dengan berat jenis jembatan yang digunakan. Berat dari bagian-bagian bangunan tersebut adalah massa dikalikan dengan percepatan gravitasi (g). Percepatan gravitasi yang digunakan dalam standar ini adalah 9.81 m/detik^2 . Berat sendiri (MS).

Tabel 2. 1 Faktor Beban Berat Sendiri (SNI 1725:2016)

Tipe beban	Faktor beban (γ_{MS})			
	Keadaan Batas Layan (γ_{MS}^S)	Keadaan Batas Ultimit (γ_{MS}^U)		
		Bahan	Biasa	Terkurangi
Telap	Baja	1,00	1,10	0,90
	Aluminium	1,00	1,10	0,90
	Beton pracetak	1,00	1,20	0,85
	Beton dicor di tempat	1,00	1,30	0,75
	Kayu	1,00	1,40	0,70

diri atas ” bekerja imbulkan pengaruh pada jembatan yang ekuivalen dengan suatu iring – iringan kendaraan yang sebenarnya. Jumlah total beban lajur “D” yang bekerja tergantung pada lebar jalur kendaraan itu sendiri.

Beban truk “T” adalah satu kendaraan berat dengan 3 as yang ditempatkan pada beberapa posisi dalam lajur lalu lintas rencana. Tiap as terdiri dari dua bidang kontak pembebanan yang dimaksud sebagai simulasi pengaruh roda kendaraan berat. Hanya satu truk “T” diterapkan per lajur lalu lintas rencana.

Secara umum, beban “D” akan menjadi beban penentu dalam perhitungan jembatan yang mempunyai bentang sedang sampai panjang, sedangkan beban “T” digunakan untuk bentang pendek dan lantai kendaraan.

Tabel 2.2 Jumlah Lajur Lalu Lintas Rencana (SNI 1725:2016)

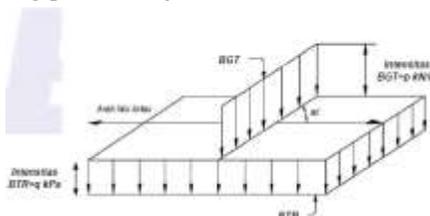
Tipe Jembatan (1)	Lebar Bentang Jembatan (2) (mm)	Jumlah Lajur Lalu Lintas Rencana (3)
Satu Lajur	$3000 \leq w < 5250$	1
	$5250 \leq w < 7500$	2
	$7500 \leq w < 10.000$	3
Dua Arah, tanpa Median	$10.000 \leq w < 12.500$	4
	$12.500 \leq w < 15.250$	5
	$w \geq 15.250$	6
	$5000 \leq w < 8000$	2
	$8250 \leq w < 10.750$	3
Dua Arah, dengan Median	$11.000 \leq w < 13.500$	4
	$13.750 \leq w < 16.250$	5
	$w \geq 16.500$	6

Catatan (1) Untuk jembatan tipe lain, jumlah lajur lalu lintas rencana harus ditentukan oleh insulasi yang berwenang.
 Catatan (2) Lebar jalur kendaraan adalah jarak minimum antara kiri atau pinggir untuk satu arah atau jarak antara pembatas median dan median untuk dua arah.

Yang disebut dengan beban lalu lintas pada tata cara ini adalah beban hidup. Beban lalu lintas untuk perencanaan jembatan terdiri dari:

1. Beban lajur “D”

Beban lajur “D” bekerja pada seluruh lebar jalur kendaraan dan menimbulkan pengaruh pada jembatan yang ekuivalen dengan suatu iring-iringan kendaraan yang sebenarnya. Jumlah total beban lajur “D” yang bekerja tergantung pada lebar jalur kendaraan itu sendiri



ii. KLASIFIKASI PADA PEMBEBANAN STRUKTUR JEMBATAN BERDASARKAN SNI 1725:2016

Beban Permanen

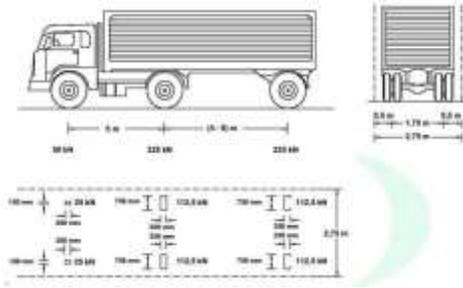
Yang dimaksud dengan beban permanen dalam Tata Cara ini adalah beban mati, yaitu beban yang bekerja sepanjang waktu dan bersumber pada sifat bahan jembatan, cara jembatan dibangun dan bangunan lain yang mungkin menempel pada jembatan.

Yang termasuk beban mati adalah berat sendiri jembatan. Untuk mengetahui besarnya berat sendiri jembatan yaitu

Gambar 2. 4 Pembebanan Truk T "500kN"
(SNI 1725:2016)

2. Beban truk "T"

Beban truk T yaitu beban akibat berat sendiri dari kendaraan truk.



Gambar 2.5 Pembebanan Truk T "500kN"
(SNI 1725:2016)

iii. FAKTOR BEBAN DINAMIS

Besarnya BGT dari pembebanan lajur "D" dan beban roda dari Pembebanan Truk "T" harus cukup untuk memberikan terjadinya interaksi antara kendaraan yang bergerak dengan jembatan dengan dikali FBD. Besarnya nilai tambah dinyatakan dalam fraksi dari bebanstatis. FBD ini diterapkan pada keadaan batas daya layan dan batas ultimit. BTR dari pembebanan lajur "D" tidak dikali dengan FBD. Untuk pembebanan "D": FBD merupakan fungsi panjang bentang ekuivalen seperti tercantum dalam Gambar 28 . Untuk bentang tunggal panjang bentang ekuivalen diambil sama dengan panjang bentang sebenarnya. Untuk bentang menerus panjang bentang ekuivalen LE diberikan dengan rumus:

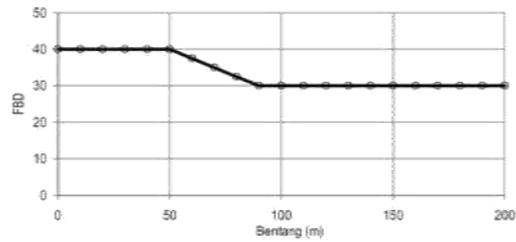
$$L_E = \sqrt{L_{av} L_{max}}$$

Keterangan :

Lav adalah panjang bentang rata-rata dari kelompok bentang yang disambungkan secara menerus

Lmax adalah panjang bentang maksimum dalam kelompok bentang yang disambungkan secara menerus

Untuk pembebanan truk "T", FBD diambil 30%. Nilai FBD yang dihitung digunakan pada seluruh bagian bangunan yang berada di atas permukaan tanah. FBD jangan diambil kurang dari 40% untuk kedalaman nol dan jangan kurang dari 10% untuk kedalaman 2 m. Untuk kedalaman antara bisa diinterpolasi linier. Nilai FBD yang digunakan untuk kedalaman yang dipilih harus diterapkan untuk bangunan seutuhnya.



Gambar 2. 6 Faktor Beban Dinamis untuk beban T untuk pembebanan lajur "D" (SNI 1725:2016)

iv. BEBAN REM

Gaya rem harus diambil yang terbesar dari:

- 25% dari berat gandar truk desain atau,
- 5% dari berat truk rencana ditambah beban lajur terbagi rata BTR

Gaya rem tersebut harus ditempatkan di semua lajur rencana yang dimuati sesuai dengan Pasal 8.2 dan yang berisi lalu lintas dengan arah yang sama. Gaya ini harus diasumsikan untuk bekerja secara horizontal pada jarak 1800 mm diatas permukaan jalan pada masingmasing arah longitudinal dan dipilih yang paling menentukan. Untuk jembatan yang dimasa depan akan dirubah menjadi satu arah, maka semua lajur rencana harus dibebani secara simultan pada saat menghitung besarnya gaya rem. Faktor kepadatan lajur yang ditentukan pada Pasal 8.4.3 berlaku untuk menghitung gaya rem.

v. BEBAN ANGIN

Tekanan angin yang ditentukan diasumsikan disebabkan oleh angin rencana dengan kecepatan dasar (VB) sebesar 90 hingga 126 km/jam. Beban angin harus diasumsikan terdistribusi secara merata pada permukaan yang terekspos oleh angin. Luas area yang diperhitungkan adalah luas area dari semua komponen, termasuk sistem lantai dan railing yang di ambil tegak lurus arah angin. Arah ini harus divariasikan untuk mendapatkan pengaruh yang paling berbahaya terhadap struktur jembatan atau komponen-komponennya. Luasan yang tidak memberikan kontribusi dapat diabaikan dalam perencanaan

Untuk jembatan atau bagian jembatan dengan elevasi lebih tinggi dari 10000 mm diatas permukaan tanah atau permukaan air, kecepatan angin rencana, Vdz, harus dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$V_{DZ} = 2.5 V_o \left(\frac{V_{10}}{V_b} \right) \ln \left(\frac{Z}{Z_0} \right)$$

Tabel 2. 3 Nilai Vo dan Zo untuk berbagai variasi kondisi permukaan hulu

Kondisi	Lahan Terbuka	Sub Urban	Kota
V ₀ (km/jam)	13,2	17,6	19,3
Z ₀ (mm)	70	1000	2500

Jika di benarkan oleh kondisi setempat, perencana dapat menggunakan kecepatan angin rencana dasar yang berbeda

untuk kombinasi pembebanan yang tidak melibatkan kondisi beban angin yang bekerja pada kendaraan. Arah angin rencana harus diasumsikan horizontal, kecuali ditentukan dalam pasal lain dalam Pasal 9.6.3. dengan tidak adanya data yang lebih tepat, tekanan angin rencana dalam MPa dapat ditetapkan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$P_D = P_B \left(\frac{V_{DZ}}{V_B} \right)^2$$

Keterangan:

P_B : tekanan angin dasar seperti tabel 29 (MPa)

Tabel 2. 4 Tekanan Angin Dasar (SNI 1725:2016)

Komponen bangunan atas	Angin tekan (MPa)	Angin hisap (MPa)
Rangka, kolom, dan pelengkung	0,0024	0,0012
Balok	0,0024	N/A
Permukaan datar	0,0019	N/A

III METODOLOGI

Metodologi yang digunakan penelitian pada ini dapat diilustrasikan sebagai berikut: Pengumpulan data merupakan sarana pokok untuk menemukan penyelesaian suatu masalah secara ilmiah. Dalam pengumpulan data, peranan instansi yang terkait sangat diperlukan sebagai pendukung dalam memperoleh data-data yang diperlukan.

1. Studi literatur terkait materi untuk menentukan gambaran analisis data.
2. Menentukan kebutuhan data di lapangan.
3. Mendata instansi yang dapat dijadikan nara sumber data.
4. Survey lokasi untuk mendapatkan gambaran umum kondisi eksisting lapangan.
5. Perencanaan dan analisis data-data yang jembatan yang didapatkan.

Metode Pengumpulan data yang dilakukan adalah sebagai berikut:

a. Pengumpulan Data Primer

1. Metode Observasi

Dengan survey langsung ke lapangan, agar dapat diketahui kondisi eksisting di lapangan secara garis besar, untuk data detailnya bisa diperoleh dari instansi yang terkait.

2. Metode Wawancara

Dengan mewawancarai narasumber dari instansi terkait yang dapat Pengumpulan Data Sekunder

b. Metode Literatur

Mengumpulkan, mengidentifikasi dan mengolah data dari instansi terkait serta acuan perencanaan dan metode kerja yang digunakan.

c. Data Lalu Lintas

IV HASIL DAN PEMBAHASAN

- i. OUTPUT LENDUTAN AKTUAL BEBAN TRUK SAP2000 V.14

POLA PEMBEBANAN AKTUAL (UNLOADED CASES)

Hasil analisis yang terjadi pada kondisi aktual jembatan pada saat tidak ada beban lalu lintas yang melewatinya, besarnya lendutan yang terjadi yaitu:

Tabel 4.1 Lendutan Hasil Kombinasi Pembebanan Aktual

TABLE: Joint Displacements					
Joint	OutputCase	CaseType	U1	U2	U3
Text	Text	Text	mm	mm	mm
1	DEAD	LinStatic	0	0	0
1	LL	LinStatic	0	0	0
1	WIND	LinStatic	0	0	0
1	SDL	LinStatic	0	0	0
1	TB	LinStatic	0	0	0

POLA PEMBEBANAN TRUK LAJUR KIRI

Hasil analisis besarnya lendutan yang terjadi pada desain struktur atas gelagar I pada pola kombinasi pembebanan 1 (Beban Truk di lajur kiri) adalah sebagai berikut:

Tabel 4.2 Lendutan Hasil Kombinasi Pembebanan Lajur Kiri

TABLE: Joint Displacements					
Joint	OutputCase	CaseType	U1	U2	U3
Text	Text	Text	mm	mm	mm
23	TRUK KANAN	LinStatic	0	0	2.105892

POLA PEMBEBANAN TRUK LAJUR KANAN

Tabel 4.3 Lendutan hasil kombinasi pembebanan lajur kanan

TABLE: Joint Displacements					
Joint	OutputCase	CaseType	U1	U2	U3
Text	Text	Text	mm	mm	mm
1	TRUK	LinStatic	0	0	0

Hasil analisis besarnya lendutan yang terjadi pada desain struktur atas gelagar I pada pola kombinasi pembebanan 2 (Beban Truk di kanan) adalah sebagai berikut:

POLA PEMBEBANAN TRUK LAJUR TENGAH

Hasil analisis besarnya lendutan yang terjadi pada desain struktur atas gelagar I pada pola kombinasi pembebanan (Beban Truk di tengah) adalah sebagai berikut:

Tabel 4.4 Lendutan Hasil Kombinasi Pembebanan Lajur Tengah

TABLE: Joint Displacements					
Joint	OutputCase	CaseType	U1	U2	U3
Text	Text	Text	mm	mm	mm
1	TRUK TENGAH	LinStatic	0	0	0

POLA PEMBEBANAN TRUK LAJUR (KIRI-KANAN-TENGAH)

Hasil analisis besarnya lendutan yang terjadi pada desain struktur atas gelagar I pada pola kombinasi pembebanan (Beban Truk di kiri,kanan, dan tengah) adalah sebagai berikut:

Tabel 4.5 Lendutan Hasil Kombinasi Pembebanan Semua Lajur

TABLE: Joint Displacements					
Joint	OutputCase	CaseType	U1	U2	U3
Text	Text	Text	mm	mm	mm
1	TRUK FULL	LinStatic	0	0	0

Output Lendutan Akibat Kombinasi Pembebanan SAP2000 V.14

Hasil analisis lendutan ini berdasarkan pola kombinasi pembebanan yang terdiri atas beban mati, beban mati tambahan, beban angin, beban rem, dan beban kendaraan bertonase berat *truck trailer- semi trailer* yang dihitung berdasarkan pola penyebaran kendaraan pada 3 lajur kendaraan (lajur kiri, lajur tengah, dan lajur kanan). Pola penyebaran beban pada lajur kendaraan ini mengabaikan beban kendaraan berat yang melewati bahu jalan

KOMBINASI PEMBEBANAN 1 (BEBAN TRUK LAJUR KIRI)

Lendutan yang terjadi akibat pembebanan kendaraan berat yang ditempatkan pada lajur kiri jalan dengan kombinasi pembebanan (beban mati, beban mati tambahan, beban rem, beban angin, dan beban kendaraan truk di sebelah kiri) sebagai berikut:

Tabel 4.6 Lendutan Hasil Kombinasi 1

TABLE: Joint Displacements Combination 1					
Joint	OutputCas	CaseType	U1	U2	U3
Text	Text	Text	mm	mm	mm
5	COMB1	Combinatio	0.465995	0	0

KOMBINASI PEMBEBANAN 2 (BEBAN TRUK LAJUR KIRI-KANAN)

Lendutan yang terjadi akibat pembebanan kendaraan berat yang ditempatkan pada lajur kiri dan kanan jalan dengan kombinasi pembebanan (beban mati, beban mati tambahan, beban rem, beban angin, dan beban kendaraan truk di sebelah kiri dan kanan) sebagai berikut:

Tabel 4.7 Tabel 4. 15 Lendutan Hasil Kombinasi 2

TABLE: Joint Displacements					
Joint	OutputCas	CaseType	U1	U2	U3
Text	Text	Text	mm	mm	mm
396	COMB2	Combinatio	0.465619	-0.00098	-5.90E+10

KOMBINASI PEMBEBANAN 3 (BEBAN TRUK LAJURKANAN-TENGAH)

Lendutan yang terjadi akibat pembebanan kendaraan berat yang ditempatkan pada lajur kanan dan tengah jalan dengan kombinasi pembebanan (beban mati, beban mati tambahan,

beban rem, beban angin, dan beban kendaraan truk di sebelah tengah dan kanan) sebagai berikut

Tabel 4.8 Lendutan Hasil Kombinasi 3

TABLE: Joint Displacements Combination 3					
Joint	OutputCase	CaseType	U1	U2	U3
Text	Text	Text	mm	mm	mm
392	COMB3	Combinatio	0.464247	-0.00269	-1.20E+11

KOMBINASI PEMBEBANAN 4 (BEBAN TRUK LAJUR KIRI-KANAN-TENGAH)

Lendutan yang terjadi akibat pembebanan kendaraan berat yang ditempatkan pada lajur kiri, kanan dan tengah (*fully loaded*) jalan dengan kombinasi pembebanan (beban mati, beban mati tambahan, beban rem, beban angin, dan beban kendaraan truk *full* lajur kiri-kanan-tengah) sebagai berikut:

Tabel 4.9 Lendutan Hasil Kombinasi 4

TABLE: Joint Displacements Combination 4					
Joint	OutputCase	CaseType	U1	U2	U3
Text	Text	Text	mm	mm	mm
396	COMB4	Combinatio	0.465619	-0.00098	-5.89E+10

REKAPITULASI LENDUTAN AKIBAT KOMBINASI PEMBEBANAN

Dari 4 analisis yang dilakukan dengan 4 kombinasi pembebanan yang tersebar akibat beban kendaraan truk terhadap lajur lalu lintas, didapatkan besarnya lendutan yang terjadi sebagai berikut:

Tabel 4.10 Rekapitulasi Lendutan Hasil Kombinasi Pembebanan Aktual

REKAPITULASI LENDUTAN PADA PEMBEBANAN EKSISTING				
Joint	Output Cas	Output Len	Lendutan Ijin	
Text	Text	mm	mm	
5	COMB1	0.465995	40	OK
396	COMB2	0.465619	40	OK
392	COMB3	0.464247	40	OK
396	COMB4	0.465619	40	OK

Nilai lendutan akibat 4 kombinasi pembebanan di atas yang paling besar lendutan terjadi di kombinasi 1 yaitu pada join 5 dengan nilai lendutan yang terjadi sebesar 0.456995 mm.

Berdasarkan peraturan RSNI T-12-2004 mengenai perencanaan struktur beton untuk jembatan pada pasal 9.2.1. Pembatasan dari lendutan balok dan pelat, didapatkan nilai persyaratan lendutan untuk balok bentang akibat beban hidup layan termasuk kejut yang nilainya harus dalam batas dan sesuai dengan struktur dan kegunaannya yakni tidak boleh lebih dari $L/800$ untuk bentang dan dan $L/400$ untuk kantilever.

Dengan bentang jembatan $L=32$ meter, maka nilai lendutan maksimum yang terjadi pada balok/gelagar I tidak boleh melampaui nilai $32000/800 = 40$ mm. Nilai ini menunjukkan bahwa nilai lendutan yang terjadi pada 4 kombinasi pembebanan dengan dimensi web gelagar 200 mm masih memenuhi kapasitas lendutan maksimum akibat beban kendaraan bertonase berat *truck dan semi-trailer*.

A. Optimasi Pertama Lendutan (Wb = 150 mm)

Optimasi dilakukan dengan mengurangi lebar web aktual 200 mm menjadi 150 mm, dari hasil analisis akan didapatkan nilai lendutan maksimum yang terjadi akibat masing-masing kombinasi pembebanan yang diberikan. Nilai kombinasi pembebanan sama dengan nilai pada kondisi aktual. Hasil analisis *software SAP2000* sebagai berikut:

KOMBINASI PEMBEBANAN 1 (BEBAN TRUK LAJUR KIRI)

Hasil optimasi pembebanan dengan dimensi web 150 mm pada kombinasi 1 beban (mati, mati tambahan, angin, rem, dan beban truk di lajur kiri) didapatkan nilai lendutan yang terjadi seperti tabel di bawah:

Tabel 4.11 Optimasi Lendutan Kombinasi 1

TABEL: Joint Displacements Comb 1					
Joint	OutputCase	CaseType	U1	U2	U3
Text	Text	Text	mm	mm	mm
5	COMB1	Combination	0.492498	0	0

KOMBINASI PEMBEBANAN 1 (BEBAN TRUK LAJUR KANAN)

Hasil optimasi pembebanan dengan dimensi web 150 mm pada kombinasi 1 beban (mati, mati tambahan, angin, rem, dan beban truk di lajur kanan) didapatkan nilai lendutan yang terjadi seperti tabel di bawah:

Tabel 4.12 Optimasi Lendutan Kombinasi 2

TABEL: Joint Displacements Comb 2					
Joint	OutputCase	CaseType	U1	U2	U3
Text	Text	Text	mm	mm	mm
5	COMB2	Combination	0.4925	0	0

KOMBINASI PEMBEBANAN 1 (BEBAN TRUK LAJUR KANAN-TENGAH)

Hasil optimasi pembebanan dengan dimensi web 150 mm pada kombinasi 1 beban (mati, mati tambahan, angin, rem, dan beban truk di lajur kanan dan tengah) didapatkan nilai lendutan yang terjadi seperti tabel di bawah:

Tabel 4.13 Optimasi Lendutan Kombinasi 3

TABEL: Joint Displacements					
Joint	OutputCase	CaseType	U1	U2	U3
Text	Text	Text	mm	mm	mm
5	COMB3	Combination	0.492498	0	0

KOMBINASI PEMBEBANAN 1 (BEBAN TRUK LAJUR KIRI-TENGAH-KANAN)

Hasil optimasi pembebanan dengan dimensi web 150 mm pada kombinasi 1 beban (mati, mati tambahan, angin, rem, dan beban truk di lajur kiri, kanan dan tengah) didapatkan nilai lendutan yang terjadi seperti tabel di bawah:

Tabel 4.14 Optimasi Lendutan Kombinasi 4

TABEL: Joint Displacements Combination 4					
Joint	OutputCase	CaseType	U1	U2	U3
Text	Text	Text	mm	mm	mm
396	COMB4	Combination	0.465619	-0.00098	-5.89E-10

Dari keempat kombinasi pembebanan yang dimasukkan, didapatkan perbandingan nilai lendutan yang terjadi pada web sebagai berikut:

Tabel 4.15 Rekapitulasi Lendutan Hasil Kombinasi Pembebanan Optimasi (W=150 mm)

REKAPITULASI LENDUTAN PADA PEMBEBANAN EKSISTING				
Joint	Output Case	Output	Lendutan	
Text	Text	mm	mm	
5	COMB1	0.492498	40	OK
5	COMB2	0.492498	40	OK
5	COMB3	0.492498	40	OK
396	COMB4	0.492109	40	OK

Nilai lendutan yang dihasilkan pada optimasi pertama pada dimensi web 150 mm berdasarkan analisis mengalami persamaan nilai lendutan yaitu sebesar 0.49 mm dari total lendutan izin sebesar 40 mm. Kondisi ini menunjukkan lendutan yang terjadi masih dapat diterima oleh kapasitas gelangar memanjang *I Girder*.

B. Optimasi Lendutan (Wb = 100 mm)

Optimasi kedua dilakukan dengan mengurangi lebar web aktual 200 mm menjadi 100 mm, dari hasil analisis akan didapatkan nilai lendutan maksimum yang terjadi akibat masing-masing kombinasi pembebanan yang diberikan. Nilai kombinasi pembebanan sama dengan nilai pada kondisi aktual. Hasil analisis *software SAP2000* sebagai berikut:

KOMBINASI PEMBEBANAN 1 (BEBAN TRUK LAJUR KIRI)

Hasil optimasi pembebanan dengan dimensi web 100 mm pada kombinasi 1 beban (mati, mati tambahan, angin, rem, dan beban truk di lajur kiri) didapatkan nilai lendutan yang terjadi seperti tabel di bawah:

Tabel 4.16 Optimasi Lendutan Kombinasi 1 (Web=100 mm)

TABEL: Joint Displacements					
Joint	OutputCase	CaseType	U1	U2	U3
Text	Text	Text	mm	mm	mm
5	COMB1	Combination	0.522246	0	0

KOMBINASI PEMBEBANAN 2 (BEBAN TRUK LAJUR KANAN)

Hasil optimasi pembebanan dengan dimensi web 100 mm pada kombinasi 1 beban (mati, mati tambahan, angin, rem, dan beban truk di lajur kanan) didapatkan nilai lendutan yang terjadi seperti tabel di bawah:

Tabel 4. 17 Optimasi Lendutan Kombinasi 2 (Web=100 mm)

TABEL: Joint Displacements					
Joint	OutputCase	CaseType	U1	U2	U3
Text	Text	Text	mm	mm	mm
5	COMB2	Combination	0.522246	0	0

KOMBINASI PEMBEBANAN 3 (BEBAN TRUK LAJUR KANAN-TENGAH)

Hasil optimasi pembebanan dengan dimensi web 100 mm pada kombinasi 1 beban (mati, mati tambahan, angin, rem, dan beban truk di lajur kanan dan tengah) didapatkan nilai lendutan yang terjadi seperti tabel di bawah:

Tabel 4.183 Optimasi Lentutan Kombinasi 3 (Web=100 mm)

TABLE: Joint Displacements					
Joint	OutputCase	CaseType	U1	U2	U3
Text	Text	Text	mm	mm	mm
5	COMB3	Combination	0.522246	0	0

KOMBINASI PEMBEBANAN 4 (BEBAN TRUK LAJUR KIRI-TENGAH-KANAN)

Hasil optimasi pembebanan dengan dimensi web 100 mm pada kombinasi 1 beban (mati, mati tambahan, angin, rem, dan beban truk di lajur kiri, kanan dan tengah) didapatkan nilai lentutan yang terjadi seperti tabel di bawah:

Tabel 4.19 Optimasi Lentutan Kombinasi 4 (Web=100 mm)

TABLE: Joint Displacements					
Joint	OutputCase	CaseType	U1	U2	U3
Text	Text	Text	mm	mm	mm
5	COMB4	Combination	0.522246	0	0

Dari keempat kombinasi pembebanan yang dimasukkan, didapatkan perbandingan nilai lentutan yang terjadi pada web sebagai berikut:

Tabel 4.20 Rekapitulasi Optimasi Lentutan Kombinasi 1-4 (Web=100 mm)

REKAPITULASI LENDUTAN PADA PEMBEBANAN OPTIMASI (W=100 mm)				
Joint	Output Case	Output Lentutan	Lentutan Ijin	
Text	Text	mm	mm	
5	COMB1	0.465985	40	OK
395	COMB2	0.465939	40	OK
342	COMB3	0.464247	40	OK
395	COMB4	0.465939	40	OK

Berdasarkan nilai lentutan maksimum yang di ijin kan terjadi pada gelagar memanjang *I Girder* nilai lentutan ijin yang terjadi akibat penempatan kombinasi pembebanan dan efisiensi dimensi web menjadi 100 mm, desain ini masih memenuhi kapasitas lentutan yang terjadi.

Optimasi Ketiga Lentutan (Wb = 50 mm)

Optimasi ketiga ini dilakukan dengan mengurangi lebar web aktual 200 mm menjadi 50 mm, dari hasil analisis akan didapatkan nilai lentutan maksimum yang terjadi akibat masing-masing kombinasi pembebanan yang diberikan. Nilai kombinasi pembebanan sama dengan nilai pada kondisi aktual. Hasil analisis *software SAP200* sebagai berikut:

KOMBINASI PEMBEBANAN 1 (BEBAN TRUK LAJUR KIRI)

Hasil optimasi pembebanan dengan dimensi web 50 mm pada kombinasi 1 beban (mati, mati tambahan, angin, rem, dan beban truk di lajur kiri) didapatkan nilai lentutan yang terjadi seperti tabel di bawah:

Tabel 4.21 Optimasi Lentutan Kombinasi 1 (Web=50 mm)

TABLE: Joint Displacements					
Joint	OutputCase	CaseType	U1	U2	U3
Text	Text	Text	mm	mm	mm
5	COMB1	Combination	0.555892	0	0

KOMBINASI PEMBEBANAN 2 (BEBAN TRUK LAJUR KANAN)

Hasil optimasi pembebanan dengan dimensi web 50 mm pada kombinasi 1 beban (mati, mati tambahan, angin, rem, dan beban truk di lajur kanan) didapatkan nilai lentutan yang terjadi seperti tabel di bawah:

Tabel 4.22 Optimasi Lentutan Kombinasi 2 (Web=50 mm)

TABLE: Joint Displacements					
Joint	OutputCase	CaseType	U1	U2	U3
Text	Text	Text	mm	mm	mm
5	COMB2	Combination	0.555892	0	0

KOMBINASI PEMBEBANAN 3 (BEBAN TRUK LAJUR KANAN-TENGAH)

Hasil optimasi pembebanan dengan dimensi web 100 mm pada kombinasi 1 beban (mati, mati tambahan, angin, rem, dan beban truk di lajur kanan dan tengah) didapatkan nilai lentutan yang terjadi seperti tabel di bawah:

Tabel 4.23 Optimasi Lentutan Kombinasi 3 (Web=50 mm)

TABLE: Joint Displacements					
Joint	OutputCase	CaseType	U1	U2	U3
Text	Text	Text	mm	mm	mm
5	COMB3	Combination	0.555892	0	0

KOMBINASI PEMBEBANAN 4 (BEBAN TRUK LAJUR KIRI-TENGAH-KANAN)

Hasil optimasi pembebanan dengan dimensi web 50 mm pada kombinasi 1 beban (mati, mati tambahan, angin, rem, dan beban truk di lajur kiri, kanan dan tengah) didapatkan nilai lentutan yang terjadi seperti tabel di bawah:

Tabel 4.24 Optimasi Lentutan Kombinasi 4 (Web=50 mm)

TABLE: Joint Displacements					
Joint	OutputCase	CaseType	U1	U2	U3
Text	Text	Text	mm	mm	mm
5	COMB4	Combination	0.555892	0	0

Tabel 4.25 Perilaku Struktur Balok yang di Optimasi

Elemen Struktur yang di Optimasi		Perilaku Struktur		
Parameter yang diubah	Parameter tetap	Momen (M_{max})	Lentutan (y_{max})	Retak (w)
Dimensi web di perkecil	l , n dan h , mutu	konstan	naik	naik

Berdasarkan tabel di atas, maka dapat disimpulkan bahwa perilaku lentutan pada dasarnya yang paling berpengaruh sebagai batasan ijin perilaku struktural untuk keamanan bangunan tersebut terhadap optimasi struktur balok yang dilakukan. Hal ini dikarenakan lentutan yang terjadi akibat beban kendaraan dapat menyebabkan besarnya retak yang terjadi. Berdasarkan analisis yang dilakukan dengan acuan literatur penelitian terdahulu, variabel yang menentukan besarnya lentutan yang terjadi pada jembatan dan mempengaruhi penurunan kondisi jembatan.

Tabel 4.26 Penelitian Terdahulu

Judul Penelitian	Penulis	Parameter	Hasil
Model Penurunan Kondisi Jembatan Gelagar Beton Bertulang	(R. Asep Achmad Muchyudin, 2005)	Model penurunan kondisi jembatan beton bertulang berdasarkan umur rencana dan beban lalu lintas dengan sistem (EAS)	Variabel yang mempengaruhi penurunan kondisi jembatan yakni bentang, lebar, umur dan beban lalu lintas.
Kajian Analisis Respon Statis Jembatan Tipe Gelagar Beton Bertulang Dengan Metode Pembebanan (Loading Test)	(N. Retno Sekati, 2012)	Analisis kapasitas lendutan jembatan dengan pengujian pembebanan secara statis jembatan beton bertulang gelagar 60 m.	Diperoleh nilai lendutan akibat beban truk sebesar 9,5 mm yang masih lebih kecil dan lendutan izin L/400 atau 42 mm.

Berdasarkan hasil analisis yang sudah dilakukan berdasarkan acuan literatur di atas, dapat dibuktikan bahwa pengurangan dimensi web berpengaruh pada besarnya lendutan yang terjadi pada gelagar, selain itu penempatan beban kendaraan bertonase berat *truck-semi trailer* dengan variasi panjang kendaraan yang berbeda jelas mempengaruhi lendutan yang terjadi pada gelagar jembatan.

Penelitian pada skripsi ini merupakan penelitian terapan dengan objek yang dimodelkan pada Ruas Tol Ir. Wiyoto Wiyono sta. 704.5 *software SAP2000 student version 14* dengan konsep pembebanan *ultimate* dan *service* pada beban kendaraan. Hasil (*output*) dari pemodelan tersebut berupa dan lendutan yang dijadikan sebagai acuan perilaku struktur balok yang dioptimasi. Selain itu, pengecekan ini bertujuan untuk membatasi skala optimasi yang dilakukan, sehingga tidak hanya tercapai tujuan struktur bangunan dengan biaya yang optimum tetapi masih memenuhi syarat batas ijin keamanan dan kekuatan struktur bangunan tersebut.

Hasil optimasi elemen struktur menunjukkan bahwa parameter yang berpengaruh secara signifikan terhadap optimasi desain adalah jumlah dimensi web balok, hal ini dibuktikan dengan kombinasi dari kedua parameter tersebut yang menghasilkan nilai paling optimum.

V KESIMPULAN

Dari hasil penelitian didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Pengaruh beban lalu lintas kendaraan bertonase berat truk terhadap besarnya lendutan adalah berbanding lurus. Artinya semakin besar beban yang harus dipikul struktur balok maka akan semakin besar lendutan terjadi. Pada kondisi eksisting besarnya lendutan yaitu sebesar 0.46995 mm dan pada saat dioptimasi dengan dimensi web 150 mm lendutan yang terjadi naik menjadi 0.492498 mm. optimasi selanjutnya dengan web 100 mm lendutan yang terjadi menjadi 0.54619 mm.
2. Lendutan maksimum pada gelagar memanjang berdasarkan acuan peraturan RSNI T-12-2004 Struktur beton untuk jembatan nilai lendutan maksimum adalah sebesar $L/800 = 40$ mm.
3. Dari optimasi yang dilakukan terhadap lebar web 150 mm dan 100 mm dengan pola kombinasi beban kendaraan yang di variasikan sebagai berikut:
 - a. DL + SIDL + WIND + TB + TRUK lajur kiri
 - b. DL + SIDL + WIND + TB + TRUK lajur kanan
 - c. DL + SIDL + WIND + TB + TRUK tengah
 - d. DL + SIDL + WIND + TB + TRUK full (lajur kiri + tengah +kanan)

4. Lendutan maksimum yang terjadi menyebabkan biaya *maintenance* pada gelagar memanjang *1 Girder* meningkat karena hal ini akan mempengaruhi penurunan kondisi jembatan. Pekerjaan *maintenance* yang dapat dilakukan pada gelagar yang mengalami keretakan yang masih dalam kapasitas tegangan ijin jembatan yakni pekerjaan *grouting* beton atau pelekatan zat-zat aditif tertentu untuk perkuatan jembatan

REFERENCES

- [1] Hariman, H dkk., 2007. "Evaluasi Program Pemeliharaan Jembatan dengan Metode *Bridge Management System* (BMS)". Forum Teknik Sipil no.XVII/3.
- [2] Putra, Jefri. 2009. "Identifikasi Faktor-Faktor Risiko Penggunaan Precast Segmental Girder terhadap Aspek Waktu pada Proyek Flyover di DKI Jakarta". Universitas Indonesia.
- [3] Zulhijjah, M Akbar. 2014. "Asesmen Kapasitas Jembatan Rangka Baja Pasca Penggantian Dek Lantai Kayu menjadi Lantai Beton". Universitas Hasanuddin. Makassar.
- [4] Setiati, N. Retno. 2012. "Kajian Analisis Respon Statis Jembatan Tipe Gelagar Bertulang dengan Metode Pembebanan (*Loading Test*)". *Industrial Research Workshop and Seminar*. Bandung
- [5] McCormac, Jack C. Desain Beton Bertulang Edisi Kelima. Erlangga. 2013.