

## EVALUASI DEFLEKSI VERTIKAL PADA JEMBATAN PIPA AIR SUNGAI PROGO MAGELANG BERDASARKAN RSNI T 03-2005

**Anik Triyani<sup>1</sup>, Anis Rakhmawati<sup>2</sup>, Dwi Sat Agus Yuwana<sup>3</sup>**  
**(1) Penyusun, (2) Dosen Pembimbing I, (3) Dosen Pembimbing II**  
**Fakultas Teknik, Universitas Tidar**  
**Email: [anik\\_triyani@yahoo.com](mailto:anik_triyani@yahoo.com)**  
Fakultas Teknik Universitas Tidar

### INTISARI

Jembatan pipa air Sungai Progo Magelang yang berada pada perbatasan antara Kota Magelang dengan Kecamatan Bandongan, Kabupaten Magelang dibangun pada tahun 1988. Jembatan rangka batang pipa air yang melintasi Sungai Progo mengalami defleksi atau lendutan yang akan menyebabkan jembatan runtuh jika beban terlalu berat. Defleksi atau lendutan menimbulkan permasalahan bagi warga yang mengkonsumsi air dari PDAM Kota Magelang sehingga perlu dilakukan evaluasi jembatan rangka batang tersebut.

Pengukuran jembatan pipa air Sungai Progo Magelang menggunakan alat *Theodolite* untuk mengetahui defleksi atau lendutan yang terjadi di lapangan. Perhitungan teoritis menggunakan metode titik buhul dengan rumus Castigliano untuk mengetahui defleksi atau lendutan yang terjadi pada rangka batang jembatan pipa air Sungai Progo Magelang. Defleksi yang terjadi akan dibandingkan dengan lendutan yang diijinkan berdasarkan RSNI T 03-2005.

Hasil pengukuran menunjukkan defleksi atau lendutan *existing* pada jembatan rangka batang pipa air Sungai Progo Magelang sebesar 0,800 cm, sedangkan hasil perhitungan secara teoritis menunjukkan defleksi atau lendutan sebesar 1,164 cm dan defleksi atau lendutan yang diijinkan berdasarkan RSNI T 03-2005 sebesar 4,75 cm. Berdasarkan hasil pengukuran dan perhitungan secara teoritis jembatan pipa air Sungai Progo Magelang masih aman sebagai penyangga pipa air.

---

Kata Kunci: Jembatan, Rangka Batang, Defleksi Vertikal, RSNI T 03-2005.

#### A. Pendahuluan

Jembatan rangka batang pipa air Sungai Progo berlokasi di sebelah Selatan Jembatan Plikon perbatasan antara Kota Magelang dengan Kecamatan Bandongan, Kabupaten Magelang. Jembatan rangka batang pipa air yang melintasi Sungai Progo dibangun pada tahun 1988 dengan 3 bentang yang mempunyai panjang bervariasi yaitu 12 m, 38 m dan 12 m. Jembatan rangka batang pipa air yang melintasi Sungai Progo

memiliki 2 pilar yang merupakan pilar Jembatan Plikon lama yang saat ini digunakan sebagai pilar jembatan pipa air. Jembatan rangka batang pipa air menyangga dua pipa dengan masing-masing pipa memiliki diameter 10 inchi atau sekitar 25 cm. Jembatan rangka batang pipa air yang melintasi Sungai Progo menggunakan mutu baja 37 dengan profil siku yang memiliki ukuran untuk batang horizontal atas dan batang horizontal bawah

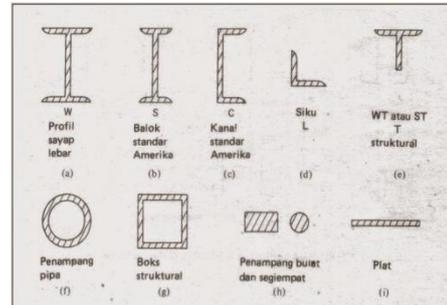
menggunakan ukuran 100 mm x 100 mm x 10 mm dan untuk batang vertikal dan batang diagonal menggunakan ukuran 60 mm x 60 mm x 6 mm. Berdasarkan RSNI T 03 -2005 umur rencana jembatan pada umumnya disyaratkan 50 tahun, namun untuk jembatan penting, jembatan bentang panjang atau yang bersifat khusus disyaratkan mempunyai umur rencana 100 tahun. Jembatan rangka batang pipa air yang melintasi Sungai Progo mengalami defleksi atau lendutan yang akan menyebabkan jembatan runtuh jika beban terlalu berat sehingga menimbulkan permasalahan bagi warga yang mengkonsumsi air dari PDAM Kota Magelang dan kerugian bagi pihak pengelola air yaitu PDAM Kota Magelang. Defleksi atau lendutan pada jembatan rangka pipa air di Sungai Progo disebabkan karena beban sendiri, berat pipa air dan kabel.

#### B. Tinjauan Pustaka

Jembatan adalah suatu fasilitas bangunan jalan yang berfungsi mendukung lalu lintas jalan raya atau beban-beban bergerak yang terletak di atas suatu rintangan atau tempat yang rendah seperti kali, sungai, jalan raya, jalan kecil, atau kombinasi semuanya (Bindra, 1992 dalam Zaeni, 2010).

Rangka batang yang hanya memikul beban vertikal, pada batang tepi atas umumnya timbul gaya tekan dan pada tepi bawah umumnya timbul gaya tarik. Apabila beban-beban tersebut bekerja langsung pada batang maka akan timbul tegangan lentur pada batang tersebut (Schodek, 1991 dalam Zaeni, 2010). Profil baja yang dicetak menurut

bentuk dan ukuran tertentu dapat dilihat pada Gambar 2.1 sebagai berikut:



Gambar 2.1 Tipe Profil Baja

### 2.2 Penelitian Mengenai Rangka Batang dengan Lendutan

Penelitian mengenai rangka batang dengan lendutan adalah sebagai berikut:

1. Penelitian oleh Husada (2012)

Husada (2012) melakukan penelitian tentang pengaruh penambahan beban pada rangka atap terhadap lendutan. Metode yang digunakan adalah memodelkan 5 rangka batang yaitu model A, model B, model C, model D dan model E dengan beban di titik buhul atas dimana beban yang bekerja terus ditingkatkan dimulai dari pembebanan 1000 kg-3000 kg dengan setiap penambahan sebesar 500 kg.

Hasil dari penelitian adalah model A pada pembebanan 3000 kg lendutan maksimum berada pada titik 5 sebesar 3,1124 cm dan titik 14 sebesar 3,1124 cm, gaya tarik batang maksimum pada batang 4 dan batang 5 sebesar 24000 kg dan gaya tekan maksimum pada batang 12 dan batang 13 sebesar 22500 kg. Model B pada pembebanan 3000 kg lendutan maksimum pada titik 5 dan titik 14 sebesar 3,0093 cm, gaya tarik batang maksimum pada batang 4 dan batang 5 sebesar 24000 kg dan gaya tekan maksimum pada batang 12 dan

batang 13 sebesar 22500 kg. Model C pada pembebanan 3000 kg lendutan maksimum pada titik 5 sebesar 2,4031 cm dan titik 14 sebesar 2,4238 cm, gaya tarik batang maksimum pada batang 4 dan batang 5 sebesar 22500 kg dan gaya tekan maksimum pada batang 12 dan batang 13 sebesar 22500 kg.

Model D pada pembebanan 3000 kg lendutan maksimum pada titik 5 sebesar 2,4019 cm dan titik 14 sebesar 2,4147 cm, gaya tarik batang maksimum pada titik 4 dan titik 5 sebesar 23533,9 kg dan gaya tekan maksimum pada batang 12 dan batang 13 sebesar 12966,1 kg. Model E pada pembebanan 3000 kg lendutan maksimum pada titik 4 dan titik 6 sebesar 2,6129 cm dan titik 14 sebesar 2,8260 cm, gaya tarik batang maksimum pada batang 4 dan batang 5 sebesar 22500 kg dan gaya tekan maksimum terdapat pada batang 12 dan batang 13 sebesar 22500 kg.

## 2. Penelitian oleh Arifi (2016)

Arifi (2016) melakukan penelitian tentang pengaruh konfigurasi rangka dan optimasi profil terhadap kinerja pada struktur jembatan rangka baja. Metode yang dilakukan adalah menggunakan 4 konfigurasi tipe jembatan yaitu Warren, Pratt, Howe dan K-truss.

Hasil dari penelitian adalah lendutan yang terjadi dari berbagai tipe jembatan, modifikasi konfigurasi serta optimasi terhadap tipe diperoleh konfigurasi 4 memberikan nilai lendutan terkecil sebesar 2,556 mm sedangkan optimasi dari tipe Pratt memberikan nilai lendutan terbesar sebesar 3,632 mm.

Hasil optimasi dari konfigurasi 1 memberikan berat teringan sebesar 107,0245 kg

sedangkan tipe K-truss karena memiliki jumlah batang yang banyak merupakan tipe struktur terberat sebesar 154,4754 kg. Hasil optimasi dari tipe Jembatan Howe memberikan nilai *efficiency ratio* terbesar perbandingan antara lendutan dan beratnya sebesar 57,387 kg.

Peraturan RSNI T 03-2005 tentang Perencanaan Struktur Baja untuk Jembatan, persyaratan dan pembatasan lendutan pada balok adalah dihitung akibat beban layan yaitu beban hidup yang ditambah dengan beban kejut. Balok di atas dua tumpuan atau gelagar menerus lendutan maksimum adalah  $1/800 \times$  bentang, kecuali pada jembatan di daerah perkotaan yang sebagian jalur digunakan pejalan kaki batas tersebut adalah  $1/1000 \times$  bentang. Untuk kantilever lendutan diujung kantilever tidak boleh melampaui  $1/300 \times$  panjang kantilever, kecuali pada jembatan di daerah sebagian jalur digunakan pejalan kaki batasan tersebut adalah  $1/375 \times$  bentang.

### 2.3.3 Tumpuan

Tumpuan merupakan perletakan konstruksi atau dukungan bagi konstruksi dalam meneruskan gaya-gaya yang bekerja ke pondasi. Menurut Wesli (2010), Ada 3 jenis tumpuan yaitu:

#### 1. Tumpuan Sendi

Tumpuan sendi sering disebut dengan Engsel karena cara bekerja mirip dengan cara kerja engsel. Tumpuan sendi mampu memberikan reaksi arah vertikal dan reaksi horizontal artinya tumpuan sendi dapat menahan gaya vertikal dan reaksi horizontal atau terdapat 2 variabel, yaitu  $R_v$  dan  $R_h$  yang akan

diselesaikan. Tumpuan sendi ini tidak dapat menahan momen.

## 2. Tumpuan Rol

Tumpuan rol adalah tumpuan yang dapat bergeser ke arah horizontal sehingga tumpuan tidak dapat menahan gaya horizontal. Pada tumpuan rol terdapat roda yang dapat bergeser yang berfungsi untuk mengakomodir pemuaian pada konstruksi sehingga konstruksi tidak rusak. Tumpuan rol hanya mampu memberikan reaksi arah vertikal artinya tumpuan rol hanya dapat menahan gaya vertikal sehingga hanya terdapat satu buah variabel yang akan diselesaikan yaitu  $R_v$ . Tumpuan rol tidak dapat menahan momen.

## 3. Tumpuan Jepit

Tumpuan jepit berupa balok yang terjepit pada tiang (kolom) dimana tumpuan jepit mampu memberikan reaksi terhadap gaya vertikal, gaya horizontal bahkan mampu memberikan reaksi terhadap putaran momen. Sehingga pada tumpuan jepit terdapat 3 buah variabel yang akan diselesaikan yaitu  $R_v$ ,  $R_h$  dan momen.

### 2.3.4 Muatan atau Pembebanan

Muatan adalah beban luar yang bekerja pada konstruksi. Secara umum muatan terdiri dari 2 jenis yaitu muatan terpusat dan muatan terbagi rata. Meskipun ada dengan muatan segitiga atau muatan trapesium namun sebenarnya muatan tersebut termasuk muatan terbagi merata. (Wesli, 2010).

#### 1. Muatan Pusat

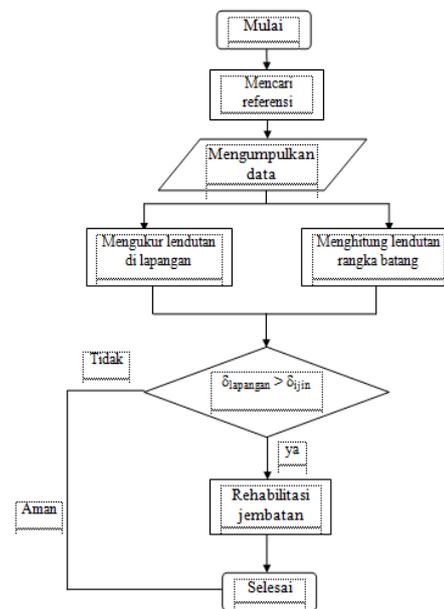
Muatan terpusat adalah beban yang bekerja secara terpusat di satu titik saja.

#### 2. Muatan Terbagi Rata

Muatan terbagi rata adalah beban yang bekerja secara merata disepanjang balok tergantung dari panjang muatan terbagi rata tersebut.

## C. Metodologi Penelitian

Langkah-langkah yang akan dilakukan dalam penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1 di bawah ini:



Gambar 3.1 Bagan Alir Penelitian Lokasi Pengukuran

Pengukuran defleksi vertikal pada rangka batang jembatan pipa air yang melintasi Sungai Progo Magelang di sebelah Selatan Jembatan Plikon, Kecamatan Bandongan, Kabupaten Magelang.

## Data

Data yang diperoleh adalah:

1. Data primer
2. Data sekunder
- a. Data Primer

Data primer adalah data yang diperoleh langsung dari subyek dengan menggunakan alat pengukuran atau alat pengambilan data langsung pada subyek sebagai sumber informasi yang dicari. Data

primer dari subyek adalah hasil pengukuran di lapangan.

#### b. Data Sekunder

Data sekunder adalah data yang diperoleh lewat pihak lain atau secara tidak langsung yang diperoleh peneliti dari subyek penelitiannya. Data sekunder dalam penelitian ini adalah gambar rencana jembatan pipa air Sungai Progo Magelang.

#### Alat

Alat yang digunakan dalam pengukuran adalah:

##### 1. Theodolit

Theodolit adalah alat yang dirancang untuk pengukuran sudut yaitu sudut mendatar yang dinamakan dengan sudut horizontal dan sudut tegak yang dinamakan sudut vertikal. Sudut-sudut tersebut berperan dalam penentuan jarak mendatar dan jarak tegak diantara dua buah titik lapangan.

##### 2. Rol Meter

Rol meter merupakan alat ukur untuk mengukur panjang atau jarak, mengukur sudut, membuat sudut siku bahkan membuat lingkaran. Rol meter memiliki tingkat ketelitian 0,5 mm.

##### 3. Rambu Ukur

Rambu ukur adalah alat yang digunakan dalam pengukuran sipat datar. Rambu ukur diperlukan untuk mempermudah atau membantu mengukur beda tinggi antara garis bidik dengan permukaan tanah.

##### 4. Tripod Theodolite

*Tripod Theodolite* adalah kepala kaki tiga, tempat alat *Theodolite*. Berfungsi sebagai dasar atau penampang yang menyangga alat *theodolit* dan menjaga agar tetap stabil terpancang di tanah.

##### 5. Alat Tulis

Alat tulis digunakan sebagai penunjang dalam pengukuran dan menulis hasil pengukuran di lapangan.

#### Cara Pengumpulan Data

Cara pengumpulan data adalah:

1. Survei
2. *Interview* atau wawancara
3. Pengukuran di lapangan

#### Cara Pengukuran

Menurut Wongsotjitro (1977), melakukan pengukuran untuk mendapatkan bayangan dari pada keadaan lapangan dengan menentukan tempat titik-titik di atas permukaan bumi terhadap satu sama lainnya. Untuk mendapat hubungan antara titik-titik baik hubungan yang mendatar maupun hubungan tegak memerlukan sudut-sudut yang harus diukur.

Pengukuran jembatan pipa air yang melintasi Sungai Progo Magelang dengan cara sebagai berikut:

1. Menyetel alat *Theodolite*
2. Pengukuran

#### Pengukuran Beda Tinggi

Rumus beda tinggi antara dua titik adalah:

$$\Delta h = BT_B - BT_A$$

dengan:

$$\Delta h = \text{beda tinggi (m)}$$

$$BT_A = \text{benang tengah A (m)}$$

$$BT_B = \text{benang tengah B (m)}$$

Menghitung beda tinggi terlebih dahulu membaca benang tengah atau dengan rumus sebagai berikut:

$$BT = \frac{BA+BB}{2}$$

dengan:

$$BT = \text{benang tengah (m)}$$

$$BA = \text{benang atas (m)}$$

$$BB = \text{benang bawah (m)}$$

#### Analisis Rangka Sederhana dengan Metode Titik Simpul

Menurut Hariandja (1996), metode titik simpul sebagai salah satu cara analitis merupakan penerapan langsung kriteria keseimbangan titik simpul, untuk komponen gaya dua arah yang saling *ortogonal*. Syarat keseimbangan rangka batang adalah:

1. Jumlah rangka batang sama dengan dua kali jumlah titik buhul dikurangi jumlah reaksi pada tumpuan.

$$s = 2k - r$$

Keterangan:

s = jumlah rangka batang

k = jumlah titik buhul

r = jumlah reaksi tumpuan (tumpuan rol-sendi adalah 3)

2. Jumlah gaya horizontal ( $\Sigma H$ ), gaya vertikal ( $\Sigma V$ ) dan momen ( $\Sigma M$ ) sama dengan nol. Jumlah gaya batang horizontal pada perhitungan gaya batang akan berubah menjadi  $\Sigma K_x = 0$  dan jumlah gaya vertikal pada perhitungan gaya batang akan berubah menjadi  $\Sigma K_y = 0$ .

### Metode Perhitungan Defleksi Rangka Batang

Metode perhitungan defleksi rangka batang menggunakan perhitungan Castigliano untuk menghitung defleksi yang terjadi. Metode Castigliano melibatkan proses berikut:

1. Sistem beban memberikan pada batang akan menentukan terlebih dahulu, sehingga menjadi  $P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$ ,
2. Menghapus sistem beban dari luar dan menerapkan beban satuan pada titik simpul di tengah bentang,
3. Menghitung gaya  $K_1, K_2, K_3, \dots, K_n$  pada batang yang menyebabkan beban satuan,

4. Defleksi yang terjadi pada sendi memberikan penjumlahan dari  $\Sigma \frac{P_1 K_1 l_1}{A_1 E}$ . Penjumlahan dengan memasukkan jumlah  $P_1, P_2, P_3, \dots, P_n; K_1, K_2, K_3, \dots, K_n; l_1, l_2, l_3, \dots, l_n$  dan  $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$ .

Penjumlahan dalam bentuk tabel yang ditunjukkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Perhitungan Penjumlahan Batang

Batang	P'	K	l	A	$\frac{P'Kl}{A}$
	(ton)	(ton)	(m)	(cm <sup>2</sup> )	(tm/cm <sup>2</sup> )

Sumber: Ramamrutham, 1978

Sehingga:

$$\delta = \frac{1}{E} \sum \frac{P'Kl}{A} \dots\dots\dots(3.12)$$

dengan:

$\delta$  = Lendutan atau Defleksi (cm)

E = Elastisitas baja =  $2,1 \times 10^6$  (kg/cm<sup>2</sup>)

P' = Gaya batang menerima beban luar (ton)

K = Gaya batang menerima beban satuan (ton)

l = Panjang batang (m)

A = Luas penampang (cm<sup>2</sup>)

### D. Hasil dan Pembahasan

#### Hasil Pengukuran Defleksi di Lapangan

Pengukuran di lapangan pada tanggal 13 September 2017 yang berlokasi di Jembatan Plikon terbagi dalam 3 titik yaitu titik A berada di ujung Timur, titik C berada di tengah jembatan dan titik B berada di ujung Barat. Masing-masing titik pengukuran dilakukan 3 kali pembidikan hal ini dilakukan untuk mendapatkan hasil yang tepat.

Perhitungan pengukuran di lapangan adalah sebagai berikut:

1. Titik A berada di ujung Timur
  - a. Pembidikan 1 memperoleh hasil berikut:
 
$$BA = 2,990 \text{ m}$$

$$BB = 2,430 \text{ m}$$

$$BT = 2,710 \text{ m}$$
  - b. Pembidikan 2 memperoleh hasil berikut:
 
$$BA = 2,980 \text{ m}$$

$$BB = 2,420 \text{ m}$$

$$BT = 2,700 \text{ m}$$
  - c. Pembidikan 3 memperoleh hasil berikut:
 
$$BA = 2,980 \text{ m}$$

$$BB = 2,420 \text{ m}$$

$$BT = 2,700 \text{ m}$$
 Hasil rata-rata benang tengah (BT) pada titik A adalah:
 
$$BT = \frac{2,710 \text{ m} + 2,700 \text{ m} + 2,700 \text{ m}}{3} = 2,703 \text{ m}$$
2. Titik C berada di tengah bentang
  - a. Pembidikan 1 memperoleh hasil berikut:
 
$$BA = 2,880 \text{ m}$$

$$BB = 2,515 \text{ m}$$

$$BT = 2,700 \text{ m}$$
  - b. Pembidikan 2 memperoleh hasil berikut:
 
$$BA = 2,900 \text{ m}$$

$$BB = 2,530 \text{ m}$$

$$BT = 2,715 \text{ m}$$
  - c. Pembidikan 3 memperoleh hasil berikut:
 
$$BA = 2,900 \text{ m}$$

$$BB = 2,530 \text{ m}$$

$$BT = 2,715 \text{ m}$$
 Hasil rata-rata benang tengah (BT) pada titik C adalah:
 
$$BT \text{ rata-rata} = \frac{2,700 \text{ m} + 2,715 \text{ m} + 2,715 \text{ m}}{3} = 2,710 \text{ m}$$
3. Titik B berada di ujung Barat
  - a. Pembidikan 1 memperoleh hasil berikut:
 
$$BA = 2,790 \text{ m}$$

$$BB = 2,610 \text{ m}$$

- b. Pembidikan 2 memperoleh hasil berikut:
 
$$BA = 2,785 \text{ m}$$

$$BB = 2,610 \text{ m}$$

$$BT = 2,700 \text{ m}$$
- c. Pembidikan 3 memperoleh hasil berikut:
 
$$BA = 2,785 \text{ m}$$

$$BB = 2,610 \text{ m}$$

$$BT = 2,700 \text{ m}$$
 Hasil rata-rata benang tengah (BT) pada titik B adalah:
 
$$BT \text{ rata-rata} = \frac{2,700 \text{ m} + 2,700 \text{ m} + 2,700 \text{ m}}{3} = 2,700 \text{ m}$$

Defleksi atau Lendutan yang terjadi di lapangan adalah:

$$\Delta h = BT_C - \left( \frac{BT_A + BT_B}{2} \right)$$

$$\Delta h = 2,710 \text{ m} - \left( \frac{2,703 \text{ m} + 2,700 \text{ m}}{2} \right)$$

$$\Delta h = 2,710 \text{ m} - 2,702 \text{ m}$$

$$\Delta h = 0,008 \text{ m} \rightarrow 0,800 \text{ cm}$$

Hasil dari pengukuran di lapangan mendapatkan defleksi atau lendutan sebesar 0,800 cm.

### Perhitungan Analitis

#### 4.2.1 Beban dan Keseimbangan

Beban yang bekerja pada rangka batang adalah berat pipa dan air serta berat profil rangka batang sendiri sehingga hasil perhitungan adalah sebagai berikut:

1. Berat pipa
 

Pipa mempunyai diameter 10 inch atau 254 mm dengan tebal 6 mm, sehingga dalam Tabel pipa baja pada lampiran 1 mempunyai berat sebesar 36,69 kg/m<sup>3</sup>.
2. Berat air
 

Berat air dengan mengasumsikan bahwa air yang ada dalam pipa adalah air penuh sehingga perhitungan sebagai berikut:

$$A = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \rightarrow d = 254 \text{ mm} - 12 \text{ mm} = 242 \text{ mm} = 0,242 \text{ m}$$

$$A = \frac{1}{4} \times 3,14 \times 0,242^2 \text{ m}$$

$$A = 0,04597 \text{ m}^2 \times 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$A = 45,97 \text{ kg/m}^3$$

Berat pipa + air (Ppa)

$$Ppa = 36,69 \text{ kg/m}^3 + 45,97 \text{ kg/m}^3$$

$$Ppa = 82,66 \text{ kg/m}^3$$

$$Ppa = 82,66 \text{ kg/m}^3 \times 1,875 \text{ m}$$

$$Ppa = 154,987 \text{ kg}$$

### 3. Berat profil (Pp)

a. Berat profil ukuran 100 mm x 100 mm x 10 mm = 15,1 x 2 = 30,20 kg/m

b. Berat profil ukuran 60 mm x 60 mm x 6 mm = 5,42 x 2 = 10,84 kg/m

#### c. Berat profil keseluruhan

1)  $Pp = 30,20 \text{ kg/m} \times 1,5 \text{ m} = 45,30 \text{ kg}$

2)  $Pp = 2 \times 10,84 \text{ kg/m} \times 1,875 \text{ m} + 2 \times 10,84 \text{ kg/m} \times 1,2005 \text{ m}$

$$Pp = 40,650 \text{ kg} + 26,027 \text{ kg}$$

$$Pp = 66,677 \text{ kg}$$

$$\sum Pp = 45,30 \text{ kg} + 66,677 \text{ kg} = 111,977 \text{ kg}$$

Total beban pada titik simpul = berat pipa + air + berat profil

$$P = 154,987 \text{ kg} + 111,977 \text{ kg}$$

$$P = 266,964 \text{ kg} \rightarrow 267 \text{ kg}$$

Pada masing-masing ujung bentang

$$= \frac{P}{2} = \frac{266,964 \text{ kg}}{2} = 133,482 \text{ kg}$$

$$\rightarrow 133,5 \text{ kg}$$

### 4.2.2 Keseimbangan Rangka Batang

Ujung bentang  $P_1 = P/2 = 133,5 \text{ kg}$

Ujung bentang  $P_{21} = P/2 = 133,5 \text{ kg}$

Rangka batang menerima beban dari luar dapat dilihat pada Gambar 4.1.

Mencari  $R_A$

$$\sum M_B = 0$$

$$R_A \times 37,5 - P_1 \times 37,5 - P_2 \times 35,625 - P_3 \times 33,750 - P_4 \times 31,875 - P_5 \times 30 - P_6 \times 28,125 - P_7 \times 26,250 - P_8 \times 24,375 - P_9 \times 22,5 - P_{10} \times 20,625 - P_{11} \times 18,750 - P_{12} \times 16,875 - P_{13} \times 15 - P_{14} \times 13,125 - P_{15} \times 11,250 - P_{16} \times 9,375 - P_{17} \times 7,5 - P_{18} \times 5,625 - P_{19} \times 3,750 - P_{20} \times 1,875 - P_{21} \times 0 = 0$$

$$R_A \times 37,5 - 133,5 \times 37,5 - 267 \times 35,625 - 267 \times 33,750 - 267 \times 31,875 - 267 \times 30 - 267 \times 28,125 - 267 \times 26,250 - 267 \times 24,375 - 267 \times 22,5 - 267 \times 20,625 - 267 \times 18,750 - 267 \times 16,875 - 267 \times 15 - 267 \times 13,125 - 267 \times 11,250 - 267 \times 9,375 - 267 \times 7,5 - 267 \times 5,625 - 267 \times 3,75 - 267 \times 1,875 - 133,5 \times 0 = 0$$

$$R_A \times 37,5 - 5006,250 - 9511,875 - 9011,250 - 8510,625 - 8010 - 7509,375 - 7008,750 - 6508,125 - 6007,500 - 5506,875 - 4505,625 - 4005 - 3504,375 - 3003,750 - 2503,125 - 2002,500 - 1501,875 - 1001,250 - 500,625 - 0 = 0$$

$$R_A \times 37,5 - 100125 = 0$$

$$R_A = \frac{100125}{37,5}$$

$R_A = 2670 \text{ kg}$ , karena simetris maka nilai  $R_B = 2670 \text{ kg}$ .

Kontrol  $\rightarrow R_A + R_B = 2670 \text{ kg} + 2670 \text{ kg} = 5340 \text{ kg}$ .

$$\sum P = 133,5 \text{ kg} \times 2 + 267 \text{ kg} \times 19$$

$$\sum P = 267 \text{ kg} + 5073 \text{ kg} = 5340 \text{ kg}$$

$\rightarrow \text{OK}$

### 4.2.3 Gaya Batang Menerima Beban Luar

Perhitungan gaya batang terlebih dahulu mencari sudut rangka batang. sudut rangka batang dapat dicari menggunakan rumus *phitaghoras* sebagai berikut:

1. Mengambil potongan rangka A,C dan X

$$CX^2 = AC^2 + AX^2$$

$$CX = \sqrt{1,5^2 + 1,875^2}$$

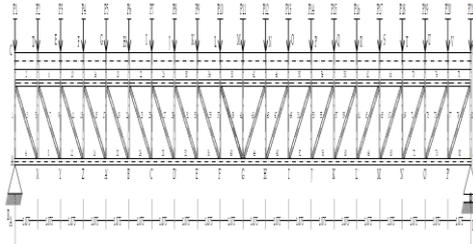
$$CX = \sqrt{2,25 + 3,517}$$

$$CX = 2,401 \text{ m}$$

2. Sudut rangka batang

$$\tan = \frac{1,5}{1,875} = 0,8$$

$\tan^{-1} = 38,66^\circ$  sehingga sudut rangka batang adalah  $38,66^\circ$ .



Gambar 4.1 Rangka Batang Menerima Beban Luar

### 4.3 Pembahasan

#### 4.3.1 Perhitungan Defleksi atau Lendutan

Hasil perhitungan penjumlahan masing-masing batang dapat dilihat pada Tabel 4.1-Tabel 4.4 sebagai berikut:

Tabel 4.1 Perhitungan Batang Vertikal

Batang Vertikal						
Batang	Ukuran	P (ton)	K (ton)	l (m)	A (cm <sup>2</sup> )	PKI/A (tm/cm <sup>2</sup> )
1	60x60x6	2,67	0,5	1,5	13,82	0,144898698
5		2,804	0,5	1,5	13,82	0,152170767
9		3,071	0,5	1,5	13,82	0,166660637
13		3,338	0,5	1,5	13,82	0,181150507
17		3,605	0,5	1,5	13,82	0,195640376
21		3,872	0,5	1,5	13,82	0,210130246
25		4,139	0,5	1,5	13,82	0,224620116
29		4,406	0,5	1,5	13,82	0,239109986
33		4,674	0,5	1,5	13,82	0,253654124
37		4,941	0,5	1,5	13,82	0,268143994
41		0,267	0,5	1,5	13,82	0,01448987
45		4,941	0,5	1,5	13,82	0,268143994
49		4,674	0,5	1,5	13,82	0,253654124
53		4,406	0,5	1,5	13,82	0,239109986
57		4,139	0,5	1,5	13,82	0,224620116
61		3,872	0,5	1,5	13,82	0,210130246
65		3,605	0,5	1,5	13,82	0,195640376
69		3,338	0,5	1,5	13,82	0,181150507
73		3,071	0,5	1,5	13,82	0,166660637
77		2,804	0,5	1,5	13,82	0,152170767
81		2,67	0,5	1,5	13,82	0,144898698
Jumlah						4,08684877

Gaya batang vertikal yang terbesar berada pada batang 1 dan batang 81 dengan gaya sebesar 2,67 ton sedangkan gaya batang yang terkecil berada pada batang 41 yaitu sebesar 0 ton yang berada tepat di tengah bentang. Batang vertikal merupakan batang tekan. Hasil perhitungan batang diagonal dapat dilihat pada Tabel 4.2 sebagai berikut:

Tabel 4.2 Perhitungan Batang Diagonal

Batang Diagonal						
Batang	Ukuran	P (ton)	K (ton)	l (m)	A (cm <sup>2</sup> )	PKI/A (tm/cm <sup>2</sup> )
3	60x60x6	4,486	0,8	2,401	13,82	0,623495572
7		4,914	0,8	2,401	13,82	0,682981997
11		5,341	0,8	2,401	13,82	0,742329436
15		5,768	0,8	2,401	13,82	0,801676874
19		6,195	0,8	2,401	13,82	0,861024313
23		6,622	0,8	2,401	13,82	0,920371751
27		7,05	0,8	2,401	13,82	0,979858177
31		7,478	0,8	2,401	13,82	1,039344602
35		7,906	0,8	2,401	13,82	1,098831027
39		8,333	0,8	2,401	13,82	1,158178466
43		8,333	0,8	2,401	13,82	1,158178466
47		7,906	0,8	2,401	13,82	1,098831027
51		7,478	0,8	2,401	13,82	1,039344602
55		7,05	0,8	2,401	13,82	0,979858177
59		6,622	0,8	2,401	13,82	0,920371751
63		6,195	0,8	2,401	13,82	0,861024313
67		5,768	0,8	2,401	13,82	0,801676874
71		5,341	0,8	2,401	13,82	0,742329436
75		4,914	0,8	2,401	13,82	0,682981997
79		4,486	0,8	2,401	13,82	0,623495572
Jumlah						17,81618443

Gaya batang diagonal yang terbesar terdapat pada batang 39 dan batang 43 sebesar 8,333 ton, sedangkan gaya batang yang terkecil terdapat pada batang 3 dan batang 43 sebesar 4,486 ton. Batang Diagonal merupakan batang tarik.

Hasil perhitungan gaya batang horizontal atas dapat dilihat pada Tabel 4.3 sebagai berikut:

Tabel 4.3 Perhitungan Batang Horizontal Atas

Batang Horizontal Atas						
Batang	Ukuran	P (ton)	K (ton)	l (m)	A (cm <sup>2</sup> )	PKI/A (tm/cm <sup>2</sup> )
2	100x100x10	3,504	0,625	1,875	38,4	0,106933594
6		0,334	0	1,875	38,4	0
10		3,837	0,625	1,875	38,4	0,117095947
14		0,668	0	1,875	38,4	0
18		4,17	0,625	1,875	38,4	0,127258301
22		1,002	0	1,875	38,4	0
26		4,504	0,625	1,875	38,4	0,137451172
30		1,336	0	1,875	38,4	0
34		4,838	0,625	1,875	38,4	0,147644043
38		1,67	0	1,875	38,4	0
42		1,67	0	1,875	38,4	0
46		4,838	0,625	1,875	38,4	0,147644043
50		1,336	0	1,875	38,4	0
54		4,504	0,625	1,875	38,4	0,137451172
58		1,002	0	1,875	38,4	0
62		4,17	0,625	1,875	38,4	0,127258301
66		0,668	0	1,875	38,4	0
70		3,837	0,625	1,875	38,4	0,117095947
74		0,334	0	1,875	38,4	0
78		3,504	0,625	1,875	38,4	0,106933594
Jumlah						1,272766113

Gaya batang horizontal atas yang terbesar terdapat pada batang 34 dan batang 46 sebesar 4,838 ton, sedangkan gaya batang horizontal atas yang terkecil terdapat pada batang 38 dan batang 42 sebesar 1,670 ton. Batang horizontal atas merupakan batang tekan.

Hasil perhitungan batang horizontal bawah dapat dilihat pada Tabel 4.4 sebagai berikut:

Tabel 4.4 Perhitungan Batang Horizontal Bawah

Batang Horizontal Bawah						
Batang	Ukuran	P (ton)	K (ton)	l (m)	A (cm <sup>2</sup> )	PKI/A (tm/cm <sup>2</sup> )
4	100x100x10	0	0	1,875	38,4	0
8		-3,504	-0,625	1,875	38,4	0,106933594
12		-0,334	0	1,875	38,4	0
16		-3,837	-0,625	1,875	38,4	0,117095947
20		-0,668	0	1,875	38,4	0
24		-4,17	-0,625	1,875	38,4	0,127258301
28		-1,002	0	1,875	38,4	0
32		-4,504	-0,625	1,875	38,4	0,137451172
36		-1,336	0	1,875	38,4	0
40		-4,839	-0,625	1,875	38,4	0,147674561
44		-4,839	-0,625	1,875	38,4	0,147674561
48		-1,336	0	1,875	38,4	0
52		-4,504	-0,625	1,875	38,4	0,137451172
56		-1,002	0	1,875	38,4	0
60		-4,17	-0,625	1,875	38,4	0,127258301
64		-0,668	0	1,875	38,4	0
68		-3,837	-0,625	1,875	38,4	0,117095947
72		-0,334	0	1,875	38,4	0
76		-3,504	-0,625	1,875	38,4	0,106933594
80		0	0	1,875	38,4	0
Jumlah						1,272827148

Gaya batang horizontal bawah yang terbesar terdapat pada batang 40 dan batang 44 sebesar 4,839 ton, sedangkan batang horizontal bawah yang terkecil terdapat pada batang 4 dan batang 80 sebesar 0 ton. Batang horizontal bawah merupakan batang tarik. Jumlah perhitungan batang ( $\sum \frac{P'_{KI}}{A}$ ) adalah sebagai berikut:

$$\sum \frac{P'_{KI}}{A} = 4,087 + 1,259 + 1,273 + 17,816$$

$$\sum \frac{P'_{KI}}{A} = 24,435 \text{ tm/cm}^2$$

$$E = 2,1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

$$\delta = \frac{1}{E} \sum \frac{P'_{KI}}{A}$$

$$\delta = \frac{1}{2,1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2} \times 24,435 \text{ tm/cm}^2$$

$$\delta = \frac{24,885 \times 100}{2,1 \times 10^6} = 1,164 \text{ cm}$$

Berdasarkan RSNI T 03-2005 tentang Perencanaan Struktur Baja untuk Jembatan, lendutan maksimum yang diijinkan adalah L/800 sehingga rangka batang pada jembatan pipa air Sungai Progo memiliki lendutan maksimum sebesar  $\frac{3800 \text{ cm}}{800} = 4,75 \text{ cm}$ .

Berdasarkan hasil dari pengukuran di lapangan defleksi atau lendutan yang terjadi sebesar 0,800 cm dan perhitungan menggunakan metode Castigliano defleksi atau lendutan rencana sebesar 1,164 cm maka jembatan rangka batang Sungai Progo masih aman digunakan sebagai penyangga pipa air milik PDAM Kota Magelang.

#### E. Kesimpulan

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari pengukuran dan perhitungan dapat diperoleh beberapa kesimpulan antara lain:

1. Jembatan rangka batang pipa air Sungai Progo Magelang mengalami defleksi atau lendutan *existing* pada pengukuran sebesar 0,800 cm dan perhitungan menggunakan metode Castigliano mengalami defleksi sebesar 1,164 cm.
2. Defleksi atau lendutan yang terjadi pada pengukuran maupun perhitungan menggunakan metode Castigliano lebih kecil dari lendutan maksimum yang diijinkan berdasarkan RSNI T 03-2005 sebesar 4,75 cm.
3. Perubahan ukuran profil mempengaruhi hasil dari defleksi atau lendutan. Semakin besar ukuran profil hasil defleksi kecil,

sedangkan semakin kecil ukuran profil hasil defleksi semakin besar.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Arifi, E., 2016, *Pengaruh Konfigurasi Rangka dan Optimasi Profil terhadap Kinerja pada Struktur Jembatan Rangka Baja*, Universitas Brawijaya, Malang.
- Husada, G., 2012, *Pengaruh Penambahan Beban pada Rangka Atap terhadap Lendutan*, Universitas Kristen Maranatha, Bandung.
- Hariandja, B., 1996, *Mekanika Teknik: Statika Dalam Analisis Struktur Berbentuk Rangka*, Erlangga, Jakarta.
- Ma'arif, F., 2012, *Modul Pembelajaran Mekanika Teknik 2*, Universitas Negeri Yogyakarta, Yogyakarta.
- Ramamrutham, S., 1978, *Theory of Structure, Formerly Senior Lecture, Department of Civil Engineering, National Institute*
- RSNI T 03-2005, 2005, *Perencanaan Struktur Baja untuk Jembatan*, Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- Setiawan, A., 2008, *Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD*, Erlangga, Jakarta.
- Wesli, 2010, *Mekanika Rekayasa*, Graha Ilmu, Yogyakarta.
- Wisnumurti, 2008, *Presentase Penurunan Lendutan pada Model Jembatan Rangka Akibat Penambahan Kabel Prategang Eksternal Tipe Trapezium*, Universitas Brawijaya, Malang.
- Wongsotjitro, S., 1977, *Ilmu Ukur Tanah*, Yayasan Kanisius, Yogyakarta.
- Zaeni, A., 2010, *Perencanaan Jembatan Rangka Baja Tipe Baltimore Truss Di Atas Sungai Prau Kecamatan Tempuran*, Universitas Tidar Magelang, Magelang.