

## Optimalisasi beton prategang PCI girder pada jembatan perning kloji, mojokerto menggunakan metode *artificial neural network*

Maji'aturrohmah<sup>1\*</sup>, Widodo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, Indonesia

### Article Info

Available online

### Keywords:

Bridge  
PCI girder  
Artificial Neural Network

### Corresponding Author:

Majiaturrohmah  
[majiatur1304@gmail.com](mailto:majiatur1304@gmail.com)\*

### Abstract

*The Parning Kloji Bridge in Mojokerto Regency is considered unfit for use due to the displacement of one of the pillars due to the collapse of the retaining wall, making it necessary to replace the bridge. The bridge will be replaced with a Prestressed Concrete I Girder (PCI Girder). The bridge replacement has been planned by the service provider at a cost of Rp1,133,300,230.21. It requires an appropriate method to determine a more efficient cost.*

*Existing PCI girder planning with concrete quality  $f_c$  68.60 MPa, span 50 m, girder height 2.1 m, and a total of 8 girders. Bridge structure planning in this study only includes PCI girder calculations. The analysis process was carried out with Microsoft Excel software. By using the same load, existing modeling and 150 trials were carried out in accordance with the design requirements, including deflection, moment stress, and shear stress. Then ANN programming was continued with the input variables used, including span length, concrete quality, steel quality, strand diameter, number of strands, number of girders, and distance between girders. While the outputs used for ANN programming are girder height, moment, shear force, and cost.*

*ANN was used to predict the optimum PCI girder planning and proved by comparing the optimization results with ANN program and existing design. ANN prediction results have met the design requirements. The existing design cost is Rp1,133,300,230.21 and after ANN programming it is Rp 905,184,683.36, 20.13% cheaper than the existing bridge. Comparison between ANN predictions and prediction results based on empirical formulas obtained an error of 7.56% and from these results it is still safe because  $< 10\%$ , so it can be concluded that the results of ANN predictions are more optimal than the existing.*

### Pendahuluan

#### Latar Belakang

Kondisi geografis Indonesia sebagai negara kepulauan, memiliki daratan yang dipisahkan oleh perairan, seperti sungai, danau, selat, maupun laut. Berdasarkan kondisi tersebut, dibutuhkan sarana yang dapat menghubungkan transportasi dengan infrastruktur jembatan, sehingga dapat mempercepat jarak tempuh dan dapat

menunjang pembangunan nasional. Pembangunan jembatan diharapkan mampu menghubungkan jalan lintas antar daerah serta meningkatkan penanganan non-lintas untuk mendukung kelancaran lalu lintas barang dan jasa guna percepatan pemulihan ekonomi dengan tetap menjaga lingkungan di sekitarnya.

Jembatan Parning Kloji di Kabupaten Mojokerto Provinsi Jawa Timur berada di

ruas jalan batas Kabupaten Gresik-Mlirip. Jembatan tersebut dianggap sudah tidak layak pakai karena tergesernya salah satu pilar akibat robohnya dinding penahan tanah, sehingga perlu dilakukan penggantian jembatan. Penggantian jembatan tersebut perlu direncanakan seefektif dan efisien mungkin dengan tetap mempertimbangkan kekuatannya sesuai dengan standar mutu yang telah ditetapkan dan syarat struktur lainnya. Perencanaan penggantian jembatan sudah dilakukan oleh konsultan perencana sampai dengan muncul biaya yang harus dikeluarkan. Dalam perencanaannya masih menggunakan manual dan menggunakan *code* lama. Dari hasil perencanaan tersebut dianggap masih kurang ekonomis, sehingga perlu adanya optimalisasi biaya. Optimalisasi biaya adalah proses mengidentifikasi dan menerapkan strategi yang paling efisien untuk mengurangi biaya tanpa mengorbankan kualitas atau keamanan struktur *girder*.

Dalam perencanaan yang efektif dan efisien dipengaruhi oleh beberapa faktor, di antaranya penggunaan mutu beton, dimensi beton prategang, mutu baja, beton prategang sebagian, jarak sengkang, dan lainnya. Dengan beberapa pertimbangan tersebut, maka bisa digunakan program *Artificial Neural Network* untuk mengetahui perencanaan yang paling optimal.

*Artificial Neural Network* (ANN) adalah suatu metode yang digunakan untuk optimalisasi perhitungan yang kompleks menjadi lebih sistematis dengan menggunakan program komputer yang melibatkan beberapa variabel. Optimalisasi beton prategang PCI *girder* menggunakan metode ANN adalah upaya yang dilakukan untuk mengetahui perencanaan beton prategang yang optimal menggunakan metode ANN dengan *software* MATLAB.

Jembatan eksisting Pening Kloji dengan bentang 50 meter memiliki bangunan atas dengan tipe beton konvensional yang terdiri dari 3 (tiga) bentang dan 2 (dua) *abutment*. Dengan perkembangan tipe jembatan yang ada di Indonesia dan disesuaikan dengan

berbagai pertimbangan sesuai dengan kebutuhan, kondisi lapangan, beban lalu lintas, dan pertimbangan lainnya, maka Jembatan Prestressed Concrete I *Girder* (PCI *Girder*) menjadi alternatif pilihan untuk penggantian Jembatan Pening Kloji di Kabupaten Mojokerto karena biaya lebih murah dan mudah dalam pemasangannya.

### **Tujuan Penelitian**

Berdasarkan rumusan masalah di atas, tujuan penelitian ini sebagai berikut.

1. Mengetahui prinsip ANN untuk optimalisasi desain beton prestress apabila dipakai variabel dan tujuan optimalisasi desain.
2. Mengetahui respons dan lendutan akibat variabel desain beton prestress yang aman dan optimal.
3. Mendapatkan biaya yang paling ekonomis akibat variabel desain beton prestress yang paling optimal.

### **Batasan Penelitian**

Batasan penelitian diperlukan dalam pembuatan penelitian membatasi pembahasan, sehingga lebih terarah dan lebih fokus. Adapun batasan dalam penelitian ini sebagai berikut.

1. Jembatan Pening Kloji di Kabupaten Mojokerto Jawa Timur sebagai studi kasus dengan bentang jembatan 50 m, dan lebar 11 m.
2. Objek yang digunakan dalam penelitian ini adalah hanya gelagar beton prategang profil I, tidak termasuk *abutment* dan pilar.
3. Pembebanan yang digunakan adalah beban gravitasi.
4. Subjek dalam penelitian ini adalah optimalisasi beton prategang profil I dengan metode *Artificial Neural Network*.
5. Analisis perhitungan dilakukan dengan bantuan *software Microsoft Excel*.
6. Pemrograman *Artificial Neural Network* dilakukan dengan bantuan *software* MATLAB.

7. Perencanaan meliputi Rencana Anggaran Biaya (RAB) PCI girder, hanya biaya struktur.
8. Peraturan yang digunakan dalam penelitian sebagai berikut.
  - a. Standar Pembebanan untuk Jembatan (SNI 1725:2016).
  - b. Panduan Praktis Perencanaan Teknis Jembatan No.02/M/BM/2021.

**Landasan Teori**

**Jembatan**

Jembatan adalah sarana infrastruktur transportasi yang menghubungkan antar daerah, sehingga dapat mempercepat waktu dan jarak tempuh dan dapat menunjang pembangunan nasional. Dengan adanya jembatan diharapkan mampu meningkatkan penanganan non lintas. Selain itu, jembatan juga dapat mendukung kelancaran lalu lintas barang dan jasa guna percepatan pemulihan ekonomi dengan tetap menjaga lingkungan di sekitarnya.

Komponen penyusun struktur jembatan terdiri dari struktur atas dan struktur bawah. Fungsi dari struktur atas jembatan adalah untuk menyalurkan beban, baik beban hidup maupun beban mati dari struktur itu sendiri dari pelat yang kemudian akan disalurkan ke bagian tumpuan jembatan. Sedangkan struktur bawah adalah struktur yang memikul keseluruhan beban dari struktur atas jembatan yang berfungsi untuk meneruskan beban dari struktur atas ke tanah dasar. Pada penelitian di Jembatan Pening Kloji Kabupaten Mojokerto ini akan berfokus pada struktur beton prategang PCI girder untuk mendapatkan desain yang optimal dengan metode ANN.

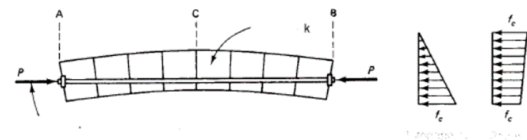
Terdapat beberapa pedoman dalam perencanaan struktur jembatan, di antaranya sebagai berikut.

1. SNI 1725:2016 tentang Pembebanan Untuk Jembatan.
2. Panduan Praktis Perencanaan Teknis Jembatan No.02/M/BM/2021.

**Gaya Prategang**

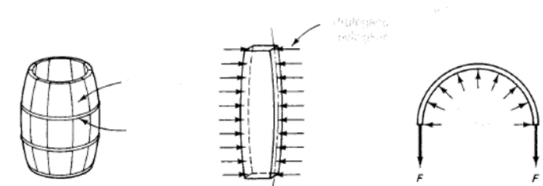
Gaya prategang adalah gaya tekan yang bekerja sebelum beban bekerja di sepanjang bentang yang memberikan gaya prategang. Akibat dari gaya tersebut mengakibatkan adanya prinsip prategang atau biasa disebut dengan prategang linier yang diberikan secara longitudinal atau sejajar di sepanjang bentang. Tegangan melingkar yang diberikan dalam struktur yang berbentuk silindris prinsipnya sama dengan prategang linier, yaitu dengan tegangan tarik dapat dinetralisasi di serat terluar akibat tekanan dari dalam.

Adanya aksi pemberian prategang dari kedua jenis penampang dan reaksi atau respons yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 1 dan Gambar 2 berikut (Edward, 2001).



Gambar 1 Beton Prategang Pada Blok Beton

Gambar di atas menggambarkan pemberian prategang pada blok beton dengan gaya tekan P yang memungkinkan balok tersebut mengalami kegagalan geser vertikal karena tergelincir pada arah vertikal. Akan tetapi kenyataannya tidak demikian dikarenakan adanya gaya longitudinal P. (Edward, 2001).



Gambar 2 Pemberian Prategang Melingkar

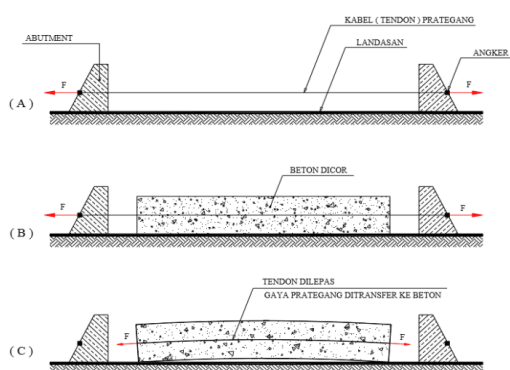
Pada gambar di atas menggambarkan pemberian prategang P dari kayu bagian dalam pada benda silindris. Terlihat kayu tersebut dapat saling terpisah, namun karena adanya pemberian prategang dari gaya tekan dari logam penguat yang melingkar di struktur silindris tersebut, sehingga kayu masih tetap menyatu. Dari adanya aksi pemberian prategang dari kedua jenis penampang di atas dapat disimpulkan bahwa

tegangan diberikan pada komponen struktur prategang sebelum beban bekerja, baik beban hidup maupun beban mati supaya tegangan tarik tersebut dapat dikurangi.

### Metode Prategang

#### 1. Pratarik (*Pre-tension method*)

Pratarik (*Pre-tension method*) adalah sistem penarikan baja prategang yang diberikan gaya prategang terlebih dahulu sebelum dilakukan pengecoran. Pada sistem ini beton diberikan prategang dan tendon dilakukan penarikan untuk ditegangkan sebelum dilakukan pengecoran pada bekisting yang sudah disiapkan. Prinsip pratarik ini dapat dilihat pada Gambar 3 berikut (Edward, 2001).



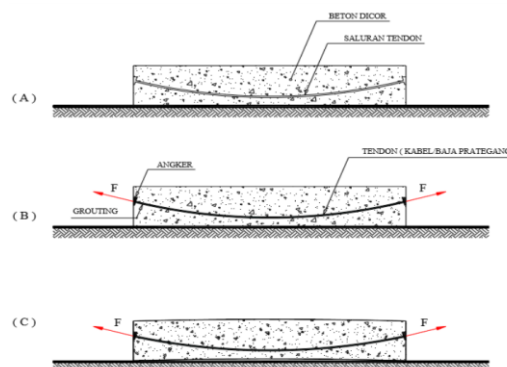
Gambar 3 Beton Prategang Pratarik

Pada gambar di atas, tendon diberi gaya prategang kemudian diangker pada kedua abutment tetap. Kemudian beton dicor pada bekisting yang telah disiapkan sampai melingkupi tendon yang telah diberikan gaya prategang kemudian dibiarkan kering. Setelah beton cukup umur, mengering, dan kuat menerima gaya prategang, maka tendon akan dipotong dan dilepas. Setelah dilepas dan dipotong maka gaya prategang akan ditransfer ke beton dan sebelum menerima beban, beton akan melengkung ke atas. Setelah ada beban yang bekerja maka balok tersebut akan kembali rata seperti semula.

#### 2. Pasca-tarik (*Post-tension method*)

Pasca-tarik (*Post-tension method*) adalah sistem penarikan baja prategang yang dilakukan setelah pengecoran beton terlebih

dahulu hingga memenuhi kekerasan yang cukup untuk menahan tegangan sesuai dengan yang telah direncanakan. Prinsip pasca-tarik ini dapat dilihat pada Gambar 4 berikut (Edward, 2001).



Gambar 4 Beton Prategang Pascatarik

Pada gambar di atas, tahap pertama adalah menyiapkan bekisting untuk pengecoran yang dilengkapi dengan saluran kabel prategang yang dipasang sesuai dengan beton yang akan dicor. Kabel prategang dimasukkan dalam saluran kabel prategang setelah dilakukan pengecoran dan beton sudah cukup umur untuk menahan gaya prategang. Kabel prategang tersebut ditarik untuk menghasilkan gaya prategang. Untuk sistem penarikannya bisa dilakukan dengan menarik kedua ujung sisinya secara bersamaan dan diangker secara bersamaan juga. Selain itu juga bisa dilakukan dengan menarik salah satu ujung dan ujung lainnya diangker. Setelah diangker kemudian dilakukan grouting melalui lubang yang tersedia. Beton akan tertekan setelah diangker dan gaya prategang ditransfer ke beton. Balok beton akan melengkung ke atas akibat tendon dipasang melengkung dan memberikan beban merata ke balok tersebut.

### Artificial Neural Network (ANN)

Artificial Neural Network (ANN) adalah suatu metode yang digunakan untuk optimalisasi perhitungan yang kompleks menjadi lebih sistematis dengan menggunakan program komputer yang

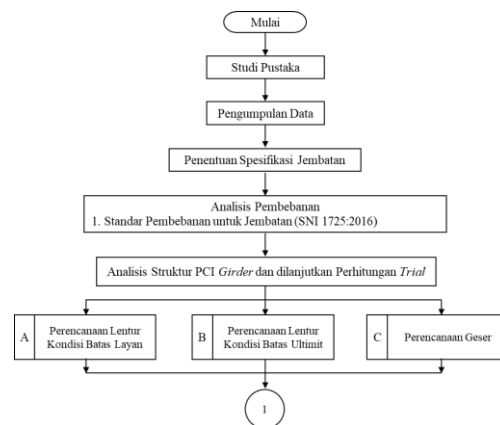
melibatkan beberapa variabel. Metode ANN memungkinkan untuk dapat melakukan pendekatan yang akurat walaupun dengan keterbatasan data atau informasi yang ada. Haykin (2009) dalam bukunya menyebutkan pengertian *Neural Network* adalah mesin yang dirancang untuk merepresentasikan jalan di mana otak melakukan tugas atau fungsi tertentu yang menarik, jaringan biasanya diimplementasikan dengan menggunakan komponen elektronik atau disimulasikan dalam perangkat lunak pada digital komputer. Metode ANN terdiri dari serangkaian input, layer, dan output. *Input* berfungsi untuk memproses data numerik. Sedangkan untuk data yang berupa grafik, gambar, atau yang lainnya maka harus diubah terlebih dahulu menjadi data numerik. Layer berupa kumpulan neuron yang dikelompokkan dan saling terhubung dalam suatu lapisan, yang terdiri dari *input layer*, *hidden layer*, dan *output layer*. *Output* merupakan penyelesaian yang berupa persamaan numerik dari masalah yang telah dimasukkan ketika input data.

Tingkat keakuratan ANN tergantung pada tingkat korelasi antara input dan output karena ANN memproses data informasi berdasarkan riwayat input yang telah masuk. Metode ini sangat dipengaruhi oleh kuantitas dan kualitas contohnya, semakin banyak jumlah contohnya maka kesalahannya semakin sedikit. Metode penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan, yaitu tahap pemodelan, pelatihan, dan pengujian. Tahap pemodelan terdiri dari analisis data, identifikasi parameter yang digunakan, dan pemilihan bentuk jaringan. Tahap pelatihan memerlukan persiapan data serta konfigurasi untuk melakukan tahap pelatihan. Sedangkan tahap pengujian adalah tahap untuk melakukan validasi akurasi dari estimasi yang telah dilakukan, sehingga dihitung presentasi kesalahannya dengan cara membandingkan nilai aktual dengan hasil estimasi.

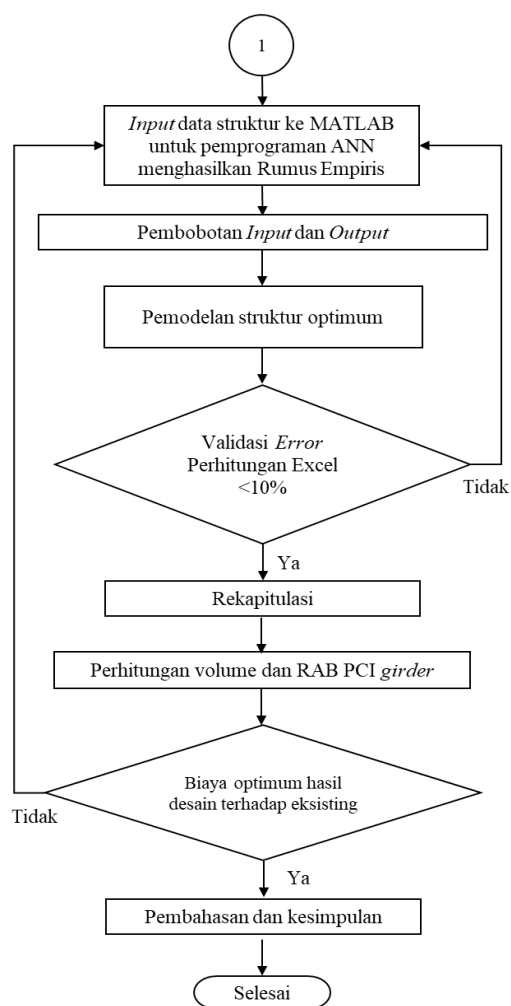
**Metodologi**

Analisis struktur eksisting dalam perhitungan yang dilakukan dengan

menggunakan data dari Proyek Penggantian Jembatan Pening Kloji yang dilakukan dari awal perencanaan sampai dengan perhitungan rincian anggaran biaya. Analisis struktur ini terdiri dari perencanaan lentur gelagar beton prategang kondisi layan, perencanaan lentur gelagar beton prategang kondisi batas ultimit, perencanaan geser gelagar beton prategang, lendutan, dan rincian anggaran biaya. Setelah dilakukan analisis struktur eksisting, maka dilanjutkan dengan melakukan percobaan (*trial*) sebanyak 150 *trial*. Setelah semua percobaan dilakukan memenuhi syarat desain maka dilanjutkan pemrograman ANN. Pemrograman dilakukan dengan memasukkan *input* dan *output* menggunakan software MATLAB. Input yang dimasukkan meliputi panjang bentang (*L*), presentase parsial prestress, mutu beton (*f'c*), mutu baja (*fy*), diameter stands (*Dps*), jumlah strands (*nstrand*), luas strands (*Astrand*), jarak antar gelagar (*Sg*), dan jumlah gelagar (*ng*). Input tersebut dipilih karena berpengaruh pada hasil (*output*) yang meliputi tinggi girder (*H*), momen (*M*), gaya geser (*V*), dan biaya (*C*). Prosedur lengkapnya dapat dilihat pada Gambar 5 berikut.



Gambar 5 Bagan Alir Penelitian



Lanjutan Gambar 5 Bagan Alir Penelitian

### Perhitungan Struktur Eksisting

#### Pembebanan

Pembebanan pada penelitian ini mengacu pada SNI 1725-2016 tentang Pembebanan Untuk Jembatan. Rekapitulasi pembebanan dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1 Rekapitulasi Pembebanan

Rekapitulasi Pembebanan	Kode	Q (kN/m)	P (kN)	V (kN)	M (kNm)
Berat mati sendiri (gelagar)	MS_G	19,571		89,285	116,07
Berat mati sendiri (pelat)	MS_P	6,865		71,616	145,205
Berat mati sendiri (pelat deck)	MS_PD	1,218	0,462		80,774
Berat diafragma	W_dp	0,558	3,955		74,435
Berat mati tambahan (aspal)	MA	2,310	7,750		21,875

Lanjutan Tabel 1 Rekapitulasi Pembebanan

Rekapitulasi Pembebanan	Kode	Q (kN/m)	P (kN)	V (kN)	M (kNm)
Beban pejalan kaki	TP	10,00		250,000	3125,0
Beban lajur "D"	TD	19,80	188,65	589,325	8545,63
Beban rem	TB	125,0		62,500	1562,50
Beban angin	EW	6,570		3,285	82,125
Beban gempa	EQ	2,996		74,911	936,392
Jumlah		194,89	188,650	1743,1	23790

#### Lendutan

Rekapitulasi lendutan dapat dilihat pada Tabel 2 berikut

Tabel 2 Rekapitulasi Lendutan

Jenis beban	Kode	Lendutan (m)	Keterangan
Chamber	PR	0,0208	Chamber
Berat mati sendiri (gelagar)	MS_G	-0,0059	Defleksi
Berat mati sendiri (pelat)	MS_P	-0,0021	Defleksi
Berat mati sendiri (pelat deck)	MS_PD	-0,0004	Defleksi
Berat diafragma	W_dp	-0,0002	Defleksi
Berat mati tambahan (aspal)	MA	-0,0007	Defleksi
Beban pejalan kaki	TP	-0,0030	Defleksi
Beban lajur "D"	TD	-0,0253	Defleksi
Beban rem	TB	-0,0030	Defleksi
Beban angin	EW	-0,0020	Defleksi
Beban gempa	EQ	-0,0009	Defleksi
Total lendutan	Σ	-0,0227	m

#### Rincian Anggaran Biaya

Rincian anggaran biaya dalam penelitian ini hanya berfokus pada PCI girder. Volume dan biaya pekerjaan PCI girder dapat dilihat pada Tabel 3 berikut.

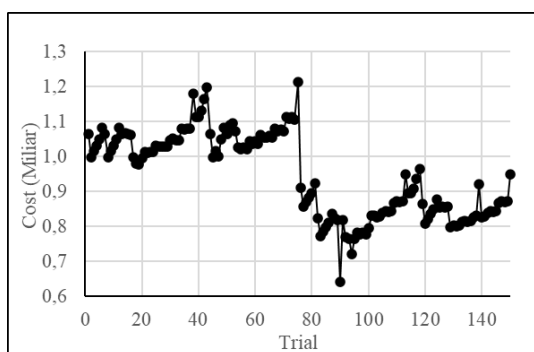
Tabel 3 Daftar Volume dan RAB

Rincian	Sat.	Vol.	Harga Satuan	Total Harga
Beton	m3	333,0	Rp1.489.764,5	Rp496.091.578,5
Baja tulangan	kg	12503,4	Rp16.147,2	Rp201.894.229,6
Baja prategang	kg	43531,4	Rp10.000,0	Rp435.314.422,1
Total Biaya				Rp1.133.300.230,2

### Perhitungan Hasil Trial

Perhitungan *trial* dilakukan seperti perhitungan PCI *girder* struktur eksisting utama dengan perhitungan struktur 150 *trial* untuk mencapai tujuan optimasi PCI *girder* menggunakan pemrograman ANN. Hasil perhitungan beberapa variasi percobaan dijadikan *output* pada pemrograman ANN.

Perhitungan hasil 150 percobaan dengan variasi *input* dan *output* yang menghasilkan biaya seperti yang dapat dilihat pada Gambar 6 berikut.

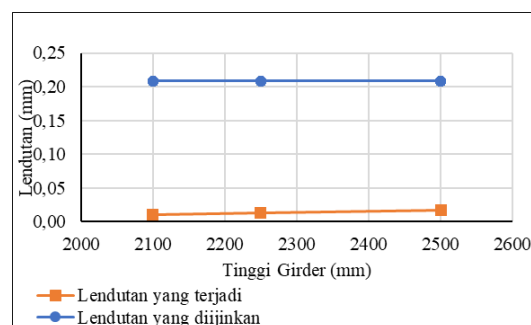


Gambar 6 Hasil Percobaan

Dari grafik di atas, didapatkan harga termurah adalah percobaan ke 90 dengan tinggi *girder* 2250 mm, lendutan -0,0136 m, dan dengan biaya Rp 641.105.234. *Trial* ke 90 memiliki biaya paling rendah karena menggunakan *strands* dengan diameter terkecil diantara semua *trial*, yaitu diameter 7,94 mm. Selain itu juga *trial* ke 90 memiliki jumlah gelagar terkecil diantara semua *trial*, yaitu 6 gelagar. Sedangkan percobaan dengan biaya tertinggi adalah percobaan ke 75 karena menggunakan diameter terbesar diantara semua *trial*, yaitu diameter 15,24 mm. Selain itu juga *trial* ke 75 memiliki jumlah gelagar terbanyak diantara semua *trial*, yaitu 8 gelagar. Diameter *strands* dan jumlah gelagar ini yang sangat berpengaruh ke biaya.

Hasil dari perhitungan 150 *trial* telah memenuhi kriteria desain yang aman, di antaranya adalah lendutan yang terjadi kurang dari lendutan yang diizinkan, tegangan yang terjadi kurang dari tegangan yang diizinkan, momen yang terpakai lebih

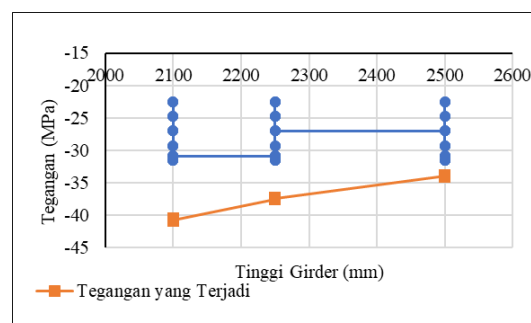
dari momen ultimit, dan gaya geser pakai lebih dari gaya geser ultimit. Ringkasan lendutan hasil percobaan dapat dilihat pada Gambar 7 di bawah ini.



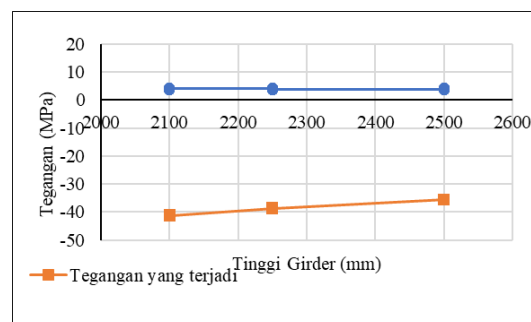
Gambar 7 Grafik Lendutan yang Terjadi

Dari gambar di atas dapat dilihat bahwa dari 150 *trial* yang dilakukan dengan variasi tinggi *girder* 2100 mm, 2250 mm, dan 2500 mm menghasilkan lendutan yang masih dalam batas aman, yaitu masih kurang dari lendutan yang diizinkan.

Ringkasan tegangan serat atas dan tegangan serat bawah dari hasil 150 percobaan dapat dilihat pada Gambar 8 dan Gambar 9 di bawah ini.



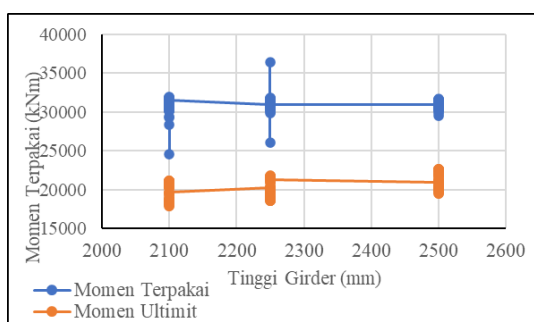
Tabel 8 Grafik Tegangan Serat Atas



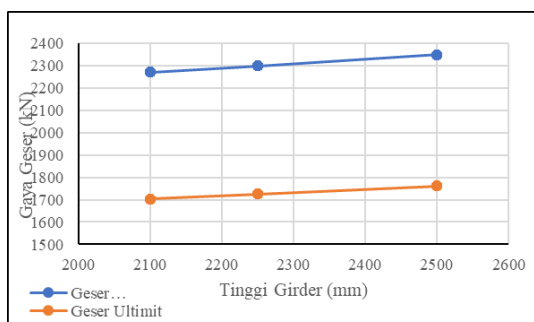
Gambar 9 Grafik Tegangan Serat Bawah

Dari gambar di atas dapat dilihat bahwa dari 150 *trial* yang dilakukan dengan variasi tinggi girder 2100 mm, 2250 mm, dan 2500 mm menghasilkan tegangan yang terjadi masih dalam batas aman, yaitu masih kurang dari tegangan yang diizinkan.

Ringkasan momen dan gaya geser dari hasil 150 percobaan dapat dilihat pada Gambar 10 dan Gambar 11 di bawah ini.



Gambar 10 Grafik Momen



Gambar 11 Grafik Gaya Geser

Setelah semua *trial* memenuhi kriteria desain bahwa struktur tersebut aman, maka langkah selanjutnya adalah dilakukan pemrograman menggunakan ANN untuk melakukan prediksi struktur yang optimal.

### Pemrograman ANN

#### Data Input dan Output

Data *input* dan *output* dilakukan *min-max normalization* dengan mengubah data menjadi rentang yang lebih kecil. Normalisasi tersebut dalam rentang -1 sampai dengan 1 untuk mempertahankan bentuk distribusi dan nilai pasti dari data minimum dan maksimum.

### Hasil Prediksi ANN

Hasil pemrograman ANN yang dilakukan di MATLAB didapatkan pembobotan yang menjadi dasar pembuatan rumus empiris. Pembobotan tersebut dimasukkan ke dalam persamaan fungsi aktivasi sesuai dengan multi-input neuron dengan persamaan sebagai berikut.

$$n = (w_i \times p_i) + b_i \tag{1}$$

Keterangan:

$b_i$  : matriks bobot bias

$w_i$  : matriks bobot lapisan

$p_i$  : matriks data input

Dilanjutkan dengan persamaan berikut untuk mencari nilai  $a$ .

$$a = \frac{2}{1 + e^{-2n}} - 1 \tag{2}$$

Keterangan:

Rekapitulasi hasil ANN dapat dilihat pada Tabel 4 berikut.

Tabel 4 Rekapitulasi Hasil Pemrograman ANN

H	$A_{ps\_tot}$	M	V	Cost
mm	mm <sup>2</sup>	kNm	kN	Rp
2269,9	6198,3	27465,2	2292,0	979.211.330,8

### Validasi Hasil Pemrograman ANN

Berdasarkan hasil yang sudah didapatkan dari prediksi ANN, maka dilanjutkan dengan perhitungan kembali untuk membuktikan prediksi dari ANN seberapa valid dan membuktikan apakah metode ANN dapat digunakan untuk memprediksi perhitungan PCI girder yang optimum. Dari prediksi ANN didapatkan tinggi girder 2269,8954 mm dan dalam perhitungan ini akan digunakan girder dengan tinggi 2300 mm.

#### Rincian Anggaran Biaya

Volume dan biaya pekerjaan PCI girder hasil validasi pemrograman ANN dapat dilihat pada Tabel 5 berikut.

Tabel 5 Daftar Volume dan RAB

Rincian	Sat.	Vol.	Harga Satuan	Total Harga
Beton	m <sup>3</sup>	281,25	Rp1.489.764,5	Rp418.996.265,6
Baja tulangan	kg	14222,6	Rp16.147,2	R229.654.686,2
Baja prategang	kg	25653,4	Rp10.000,0	Rp256.533.731,6
Total Biaya				Rp905.184.683,36

Perbandingan hasil pemrograman ANN, perhitungan berdasarkan rumus empiris hasil dari prediksi ANN, dan perhitungan PCI *girder* jembatan eksisting dapat dilihat pada Tabel 6 berikut.

Tabel 6 Perbandingan ANN dan Eksisting

Jenis	H (mm)	M (kNm)	V (kN)	Cost (Rp)
Optimum ANN	2300	20950,1	2218,8	905.184.683
Program ANN	2269,9	25342,0	2293,0	979.211.331
Eksisting	2100	19977,2	2136,5	1.133.300.230

### Hasil Optimasi Biaya Desain terhadap Eksisting

Berdasarkan tabel perbandingan pemrograman ANN dan jembatan eksisting, dapat dilihat bahwa terdapat perbedaan hasil prediksi pemrograman ANN dengan hasil perhitungan PCI *girder* berdasarkan hasil prediksi ANN, yaitu perbandingan Rp979.211.330,75 dengan Rp905.184.683,36 dengan nilai *error* 7,56%. Hal tersebut dikarenakan faktor *error* dari pemrograman ANN dikarenakan belum ada modul perhitungan secara detail dari MATLAB, data yang digunakan kurang banyak, serta homogenitas *input* dan *output* tidak sama. Dari hasil tersebut tetap dapat membuktikan bahwa pemodelan baru lebih optimum dikarenakan dari biayanya relatif lebih murah dibandingkan dengan perhitungan PCI *girder* jembatan eksisting dengan selisih antara jembatan eksisting dan hasil prediksi dari pemrograman ANN sebesar 20,13%. Seperti yang sudah dijelaskan pada setiap pemrograman di atas bahwa dari data 150 input tidak semuanya dilakukan training, melainkan *training* 70%, *validation* 15%, *testing* 15%, sehingga memungkinkan adanya *error* dan

ketidaktepatan dalam pemrograman. Untuk mendapatkan hasil *error* yang lebih kecil diperlukan waktu yang lebih lama dan data variasi input yang lebih banyak lagi untuk dilakukan pemrograman.

### Kesimpulan

Berdasarkan hasil pembahasan pada bab sebelumnya, maka dari penelitian ini didapatkan kesimpulan sebagai berikut.

1. Pemrograman ANN dilakukan dengan menggunakan beberapa variabel yang digunakan sebagai *input* dan *output*. Input yang dimasukkan dalam pemrograman ANN akan memprediksi hasil output untuk optimalisasi desain beton *prestress* PCI *girder*. Variabel *input* yang digunakan, antara lain panjang bentang, mutu beton, mutu baja, diameter strand, jumlah strand, jumlah gelagar, dan jarak antar gelagar. Sedangkan output yang digunakan untuk pemrograman ANN adalah tinggi *girder*, momen, gaya geser, dan biaya.
2. PCI *girder* hasil prediksi ANN berdasarkan rumus empiris yang optimum adalah *girder* dengan panjang 50 m, tinggi 2,3 m, mutu beton 68,60 MPa, diameter strands 7,94 mm, jarak antar gelagar 1.500 mm, dan dengan jumlah 6 gelagar menghasilkan lendutan sebesar 0,0158 m. Lendutan yang tersebut tidak melebihi dari lendutan yang diizinkan, yaitu sebesar 0,2083 m.
3. Perencanaan PCI *girder* yang optimum terhadap *respons* dan biaya menggunakan pemrograman *Artificial Neural Network* (ANN) yang dibuktikan dengan perbandingan pemodelan hasil prediksi ANN dengan pemodelan struktur eksisting. Perbandingan antara prediksi ANN dengan hasil prediksi berdasarkan rumus empiris didapatkan *error* sebesar 7,56%. Hasil pemodelan dari prediksi ANN lebih optimum dibandingkan dengan eksisting dari segi biaya. Biaya yang dibutuhkan dari hasil pemrograman ANN adalah sebesar Rp 905.184.683,36 dengan selisih 20,13% lebih murah dari jembatan eksisting.

## Daftar Pustaka

- Annisa Y. 2021. Pemakaian Artificial Neural Network (ANN) untuk Optimasi Ukuran Balok pada Desain Bangunan Beton Bertulang Tahan Gempa. *Tugas Akhir*. (Tidak Diterbitkan). Universitas Islan Indonesia, Yogyakarta.
- Faurrent, L. 1994. *Fundamentals of Neural Networks: Architectures, Alghorithms, and Application*. Prentice-Hall.
- Hagan M., et al. 2002. *Neural Network Design*. Campus Pub. Service. University of Colorado Bookstore.
- Haykin. S. 2009. *Neural Networks and Learning Machines*. United State of America: Pearson.
- Himawan Adam M. 2022. Perbandingan Penggunaan PCI-Girder H-210 Dan H-170 Pada Bentang 40 Meter Jembatan HKS. *Tugas Akhir*. (Tidak Diterbitkan). Universitas Islan Indonesia, Yogyakarta.
- Kusumadewi, S. (2012). *Membangun Jaringan Syaraf Tiruan Menggunakan MATLAB dan Excel Link*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Nawy Edward G. 2001. *Beton Prategang Jilid 1*. Erlangga. Jakarta.
- Prasetyo Hendi. 2017. Optimalisasi Disain Jembatan Buntung di Sleman Yogyakarta Menggunakan PCI Girder Dengan Variasi Mutu Beton Dan Tinggi Girder. *Tugas Akhir*. (Tidak Diterbitkan). Universitas Islan Indonesia, Yogyakarta.
- Panduan Bidang Jalan dan Jembatan No. 02/M/BM/2021. 2021. *Panduan Praktis Perencanaan Teknis Jembatan*, Kementerian Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat Direktorat Jenderal Bina Marga.
- SNI 1725:2016. 2016. *Pembebanan Untuk Jembatan*, Badan Standarisasi Nasional, Bandung.
- SNI 2833:2016. 2016. *Perencanaan Jembatan Terhadap Beban Gempa*, Badan Standarisasi Nasional, Bandung.
- Soetoyo. 2015. *Konstruksi Beton Pratekan*. Gunadarma. Jakarta.
- Suseno Ranga. 2022. Perancangan Ulang Jembatan Bae-Besito (Karangsambung) Dengan PCI-Girder. *Tugas Akhir*. (Tidak Diterbitkan). Universitas Islan Indonesia, Yogyakarta.
- Tumpu Miswar dan Rangan Parea Rusan R. 2020. *Struktur Beton Prategang : Teori dan Prinsip Desain*. Makassar.
- T.Y Lin. 1982. *Desain Struktur Beton Prategang Jilid 1*. Penerbit Erlangga, Jakarta