

## Penggunaan *artificial neural network* (ANN) untuk memprediksi nilai *demand capacity ratio* (DCR) pada struktur atas jembatan rangka bina marga kelas A bentang 45 meter

Muh Rosyid Ridlo<sup>1\*</sup>, Astriana Hardawati<sup>2</sup>, Atika Ulfah Jamal<sup>3</sup>, and Suharyatma<sup>4</sup>  
<sup>1,2,3,4</sup>Faculty of Civil Engineering and Planning, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, Indonesia

### Article Info

Available online

### Keywords:

Artificial neural network  
Demand capacity ratio  
Truss bridge

### Corresponding Author:

Muh Rosyid Ridlo  
19511083@students.uii.ac.id  
Astriana Hardawati  
165111301@uui.ac.id

### Abstract

*Demand capacity ratio (DCR) is the ratio between the number of demand to the capacity available in a system in a given period of time. If the DCR exceeds 1, it means that the bridge has exceeded its capacity and has the potential to collapse. In order to avoid the risk of accidents on bridges, it is very important to know the DCR value of a bridge. However, the DCR calculation process is too detailed because it includes many variables such as vehicle weight, speed, wind, and other environmental factors. This is quite time-consuming because it requires a process of trial and error for each step. This study aims to approach using artificial neural networks (ANN) to predict DCR so that the process is shorter. ANN is used to predict the DCR value on the upper structure of the class A steel truss bridge of Highways with a span of 45 meters. As input data, the ultimate stress, span length, and steel profile area are used, while the output is the DCR value. Input and output data were obtained from SAP 2000 modelling results by varying bridge dimensions, material properties, and profile types after a combination of loading on the bridge. The result obtained is that the ANN model made is able to predict the DCR value of the upper structure of the truss bridge and does not experience overfitting. But the value of the referenced accuracy parameter is still large so that the resulting predictions are not good and require further research by increasing the amount of data and trying other ANN architectures.*

Copyright © 2023 Universitas Islam Indonesia  
All rights reserved

### Pendahuluan

#### Latar Belakang

Jembatan merupakan suatu bangunan yang memiliki fungsi untuk meneruskan jalan yang terhalang oleh suatu rintangan yang berada lebih rendah. Rintangan yang dimaksud dapat berupa jalan, air, atau lalu lintas biasa menurut Struyk dan Veen, (1984) dalam Fathurahman (2022).

Jembatan terdiri dari dua struktur utama yaitu struktur atas dan struktur bawah. Tipe jembatan pun bermacam-macam, salah satu contohnya adalah jembatan rangka. Struktur atas jembatan rangka berupa rangka-rangka baja yang digunakan.

Sebelumnya sudah banyak penelitian tentang jembatan rangka, diantaranya dilakukan oleh Muluk (2021) tentang

analisis rating factor pada jembatan rangka dan Fathurahman (2022) tentang perencanaan jembatan rangka.

Salah satu faktor yang menjadi parameter kondisi kelayakan jembatan adalah *demand capacity ratio* (DCR). Menurut Donald F. Gantz dan Jay N. Renneisen, *demand capacity ratio* (DCR) adalah rasio antara jumlah permintaan terhadap kapasitas yang tersedia dalam suatu sistem pada periode waktu tertentu. Untuk jembatan, jika DCR melebihi 1, maka jembatan telah melebihi kapasitasnya dan berpotensi runtuh. Agar dapat menghindari risiko kecelakaan pada jembatan, maka sangat penting untuk dapat memprediksi nilai DCR secara akurat. Penelitian mengenai DCR juga pernah dilakukan oleh Sapta (2017).

Perkembangan teknologi yang semakin pesat, semakin banyak teknologi untuk membantu kehidupan manusia. Yang sedang *trend* saat ini adalah *artificial intelligent* (AI). Salah satunya bagian dari AI adalah *artificial neural network* (ANN). ANN adalah sebuah mesin yang dirancang untuk memodelkan jalan seperti jaringan otak manusia melaksanakan tugas atau fungsi tertentu (Haykin, 2009). ANN ini dapat digunakan untuk membantu manusia dalam menganalisis, mengoptimisasi, bahkan memprediksi kasus-kasus. Maka dari itu, penelitian ini akan dibantu dengan ANN untuk memprediksi nilai DCR jembatan rangka.

Persamaan hasil pemodelan ANN memiliki tingkat akurasi yang tinggi yang telah dibuktikan dari beberapa penelitian sebelumnya seperti Aulia (2020) menggunakan ANN untuk optimasi ukuran balok pada desain bangunan beton bertulang tahan gempa. Selain itu juga digunakan oleh Fadhila, Arfan (2020) menggunakan ANN untuk prediksi dan analisis berat gedung. Hasil penelitian ini diharapkan dapat membantu para rekan teknik sipil dalam merancang dan memelihara jembatan rangka agar lebih efektif dan efisien. Afifuddin

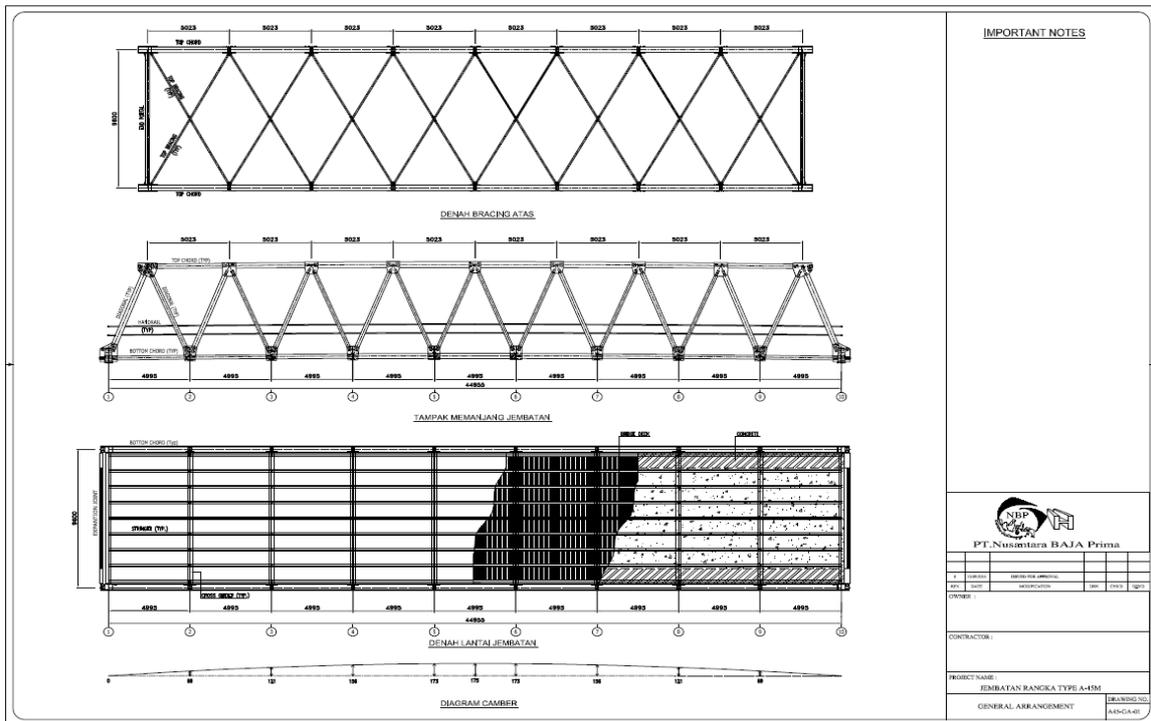
(2021), Suryani (2021) dan Bakhtiar (2022) juga menggunakan ANN untuk memprediksi perilaku mekanik beton. Sebelumnya, Prathama (2018) sudah menggunakan ANN untuk penentuan persentase bobot pekerjaan. Getaran pun dapat diprediksi menggunakan ANN seperti dalam penelitian Maulana (2021). Yang terbaru ada Harahap (2022) menggunakan ANN untuk mengestimasi dimensi tulangan. Artinya, ANN sudah luas digunakan untuk segala macam kasus.

Penelitian ini memiliki tujuan untuk membandingkan hasil prediksi nilai DCR menggunakan ANN dan metode konvensional dalam upaya mengetahui tingkat akurasi pemakaian ANN untuk prediksi nilai DCR pada struktur atas jembatan rangka baja kelas A Bina Marga dengan bentang 45 meter. Adapun manfaat dari penelitian ini sebagai penambah wawasan dalam bidang ketekniksipil berfokus pada nilai DCR pada jembatan rangka baja dan mengenalkan program ANN untuk memprediksi nilai DCR.

## Metode

### *Data Jembatan*

Jembatan yang dijadikan objek penelitian merupakan struktur atas jembatan rangka kelas A Binamarga dengan varian bentang 45 m lebar 9,6 m, dan tinggi 7 m. Banyak katalog mengenai jembatan A45 ini. Pada penelitian ini gambar teknis denah jembatan mengacu e-katalog dari PT Nusantara BAJA Prima (Gambar 1) dan ukuran gelagar menggunakan hasil penelitian dari Fathurahman (2022), dikarenakan ukuran bentang yang sama. Varian profil baja yang digunakan adalah profil WF (*wide flange shape*) yang merupakan produk dari PT Gunung Garuda, sedangkan mutu baja disesuaikan dengan pedoman yang berlaku.



Gambar 1 Teknis Denah Jembatan A45

**Pembebanan**

Beban yang bekerja pada jembatan mengacu pada SNI 1725 – 2016 Tentang Pembebanan Untuk Jembatan. Beban dibagi atas beberapa tipe yaitu, beban mati berupa beban sendiri dan beban mati tambahan, beban hidup berupa beban truk, beban gaya rem, beban pejalan kaki, beban angin, dan beban gempa. Beban lingkungan berupa beban temperatur, kemudian terdapat juga beban lajur D. Berdasarkan bentang jembatan yang dimodelkan, beban truk akan berpengaruh signifikan pada bentang pendek. Oleh karena itu, beban truk tidak digunakan pada pembebanan ini dan yang digunakan adalah beban lajur D. Hasil rekapitulasi pembebanan dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

Beban-beban tersebut bekerja pada gelagar jembatan sesuai kombinasi pembebanan yang berlaku. Kombinasi pembebanan dibuat sesuai dengan peraturan yang berlaku.

Tabel 1. Rekapitulasi Pembebanan

Jenis	Besar	Satuan	Posisi
Berat Sendiri	5,76	kN/m	Frame Gelagar Memanjang Tengah
Beban Mati Tambahan	7,04	kN/m	Frame Gelagar Memanjang Tepi
	3,24	kN/m	Frame Gelagar Memanjang Tengah
Beban Lajur D			
	BTR 3,15	kN/m	Frame Gelagar Memanjang Tepi
	6,30	kN/m	Frame Gelagar Memanjang Tengah
	BGT 48,02	kN/m	Frame Gelagar Melintang Tengah
Beban Pejalan Kaki	25,00	kN/m	Frame Gelagar Melintang Tepi
Beban Rem	4,83	kN	Joint Bottom Chord
	5,37	kN	Joint Upper Chord
Beban Angin			
	Struktur Tekan 18,23	kN	Joint Upper Chord
	Struktur Hisap 9,12	kN	Joint Bottom Chord
	Kendaraan 1,22	kN	Joint Gelagar Memanjang
Beban Gempa	3,94	kN	Joint Lantai Jembatan

### Pemodelan Jembatan

Pemodelan jembatan dilakukan dengan software SAP 2000 dengan semua beban struktur yang bekerja dan dibuat kombinasi pembebanan. Dari hasil pemodelan didapat gaya dalam struktur atas jembatan (Pu), yang nanti akan menjadi nilai demand. Nilai kapasitas (Pn) sendiri dihitung menggunakan Microsoft Excel dengan berpedoman pada RSNI T-03-2005. Nilai DCR dihitung dengan membandingkan gaya dalam yang didapat dan kapasitas yang dipunyai profil. Nilai DCR dianggap memenuhi syarat ketika ketika  $DCR \leq 1$ . Ketika DCR tidak memenuhi syarat, maka dilakukan pemodelan kembali dengan memvariasikan profil IWF secara trial and error hingga memenuhi syarat.

### Pendekatan ANN

Pendekatan ANN yang dilakukan menggunakan software Visual Studio Code. Input data adalah panjang bentang jembatan, properties material, dan profil yang digunakan dalam pemodelan di SAP 2000 dengan target output nilai DCR yang sudah dihitung.

Langkah pertama yaitu arsitektural ANN disusun dengan menggunakan program visual studio code. Kemudian data model dimasukkan ke dalam program Visual Studio Code untuk dianalisis dengan metode ANN. Selanjutnya, dilakukan prediksi nilai DCR dengan ANN. Tingkat akurasi dari model ANN dilihat berdasarkan nilai parameter yang digunakan yaitu nilai *Root Mean Square Error* (RMSE) dan nilai *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE).

RMSE merupakan hasil akar kuadrat dari *Mean Square Error* (MSE). Jadi semakin kecil nilai RMSE maka akan semakin akurat metode yang digunakan. Cara menghitung RMSE adalah sebagai berikut.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (At - Ft)^2}{n}} \quad (1)$$

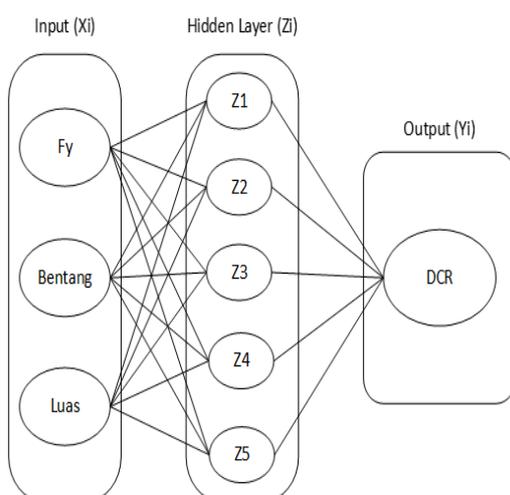
Nilai  $At$  merupakan nilai aktual data,  $Ft$  adalah nilai prediksi dan  $n$  adalah banyaknya data yang diolah

Nilai Tengah Galat Persentase Absolut (*Mean Absolute Percentage Error*) atau nilai MAPE adalah persentase kesalahan rata-rata secara mutlak. Nilai MAPE biasa digunakan untuk dalam statistic untuk mengukur akurasi.

Nilai Tengah Galat Persentase Absolut (*Mean Absolute Percentage Error*) dirumuskan sebagai berikut.

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum \left| \frac{At - Ft}{At} \right| 100\% \quad (2)$$

Nilai  $yt$  merupakan nilai sebenarnya pada periode ke- $t$ ,  $n$  adalah jumlah sampel, dan  $\hat{y}t$  adalah nilai prediksi pada periode ke- $t$ . Arsitektural ANN yang dibuat dapat dilihat pada Gambar 2 berikut.



Gambar 2 Arsitektur Pemodelan ANN

### Hasil dan Pembahasan

Dari hasil pemodelan SAP 2000 didapatkan nilai *demand capacity ratio* (DCR) pada struktur atas jembatan rangka kelas A Bina Marga dengan bentang 45 meter. Jumlah data yang didapat sebanyak 105 data. Data-data tersebut kemudian menjadi input untuk proses training dan testing pada pendekatan ANN. Data input ANN yang digunakan pada penelitian ini adalah  $f_u$  (MPa), bentang (m), luasan profil (cm<sup>2</sup>). Output yang dihasilkan dari permodelan ini berupa nilai DCR, yang mana DCR merupakan ratio antara gaya dalam ultimit dengan kapasitas nominal. Sebanyak 105 data kemudian ditransformasi. Transformasi yang digunakan dalam proses pemodelan ANN yaitu dalam skala nol (0) sampai satu (1). Tujuannya untuk menghindari data yang terlalu dominan. Setelah transformasi selesai, data dibagi untuk dua buah proses, yaitu training dan testing. Dalam menentukan jumlah data, untuk training process ANN menggunakan 0,8 atau 80% data log dan testing process 0,2 atau 20% data log random. Hal ini mengindikasikan bahwa data log dibagi menjadi dua sub yaitu 80% untuk training dan 20% untuk testing secara acak. Arsitektural ANN menggunakan 4 *hidden layer*. *Hidden layer* 1 berisikan 2 neuron, layer 2 berisikan 3 neuron, layer 3 berisikan 8 neuron, layer 4 berisikan 7 neuron, dan *activation key* berupa tanh. Jumlah *hidden layer* dan jumlah neuron dalam setiap layer dapat memberikan indikasi tentang kompleksitas jaringan yang digunakan dalam ANN. *Activation key* atau fungsi aktivasi untuk menentukan bagaimana nilai input akan diubah menjadi keluaran pada setiap neuron.

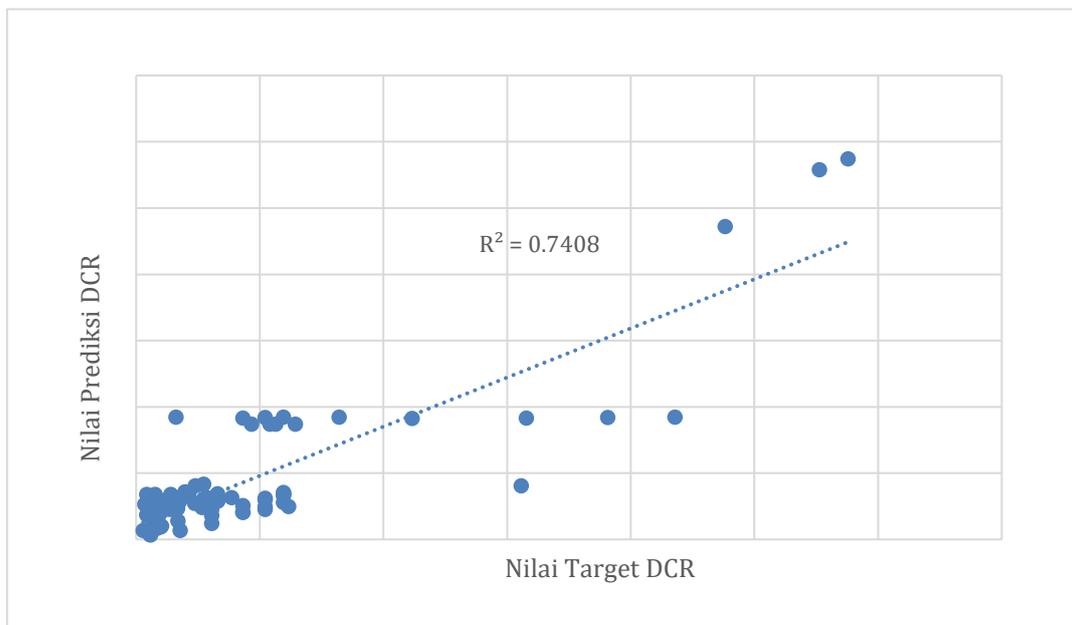
Hasil yang didapat dari proses training yaitu nilai regresi sebesar 0,741, nilai RMSE sebesar 0,598, dan nilai MAPE sebesar 93,4%. Sedangkan hasil yang didapat dari proses testing yaitu nilai regresi sebesar 0,608 nilai RMSE sebesar 0,613 dan nilai MAPE sebesar 93,8%. Tabel 2 berikut adalah contoh perbandingan data DCR input

yang didapatkan dari analisis manual (target) dengan hasil prediksi ANN (output) pada masing-masing proses. Terlihat masih memiliki perbedaan nilai yang besar, sejalan dengan besarnya nilai RMSE dan MAPE yang didapat, sehingga koefisien korelasi masih jauh dari satu.

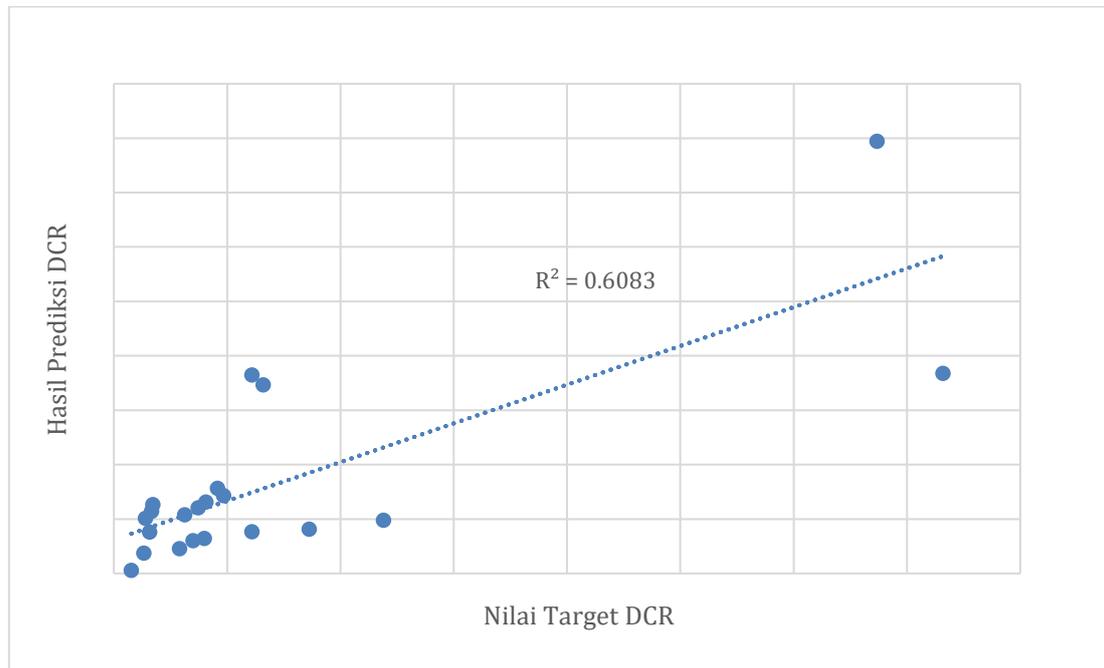
Grafik regresi dapat dilihat pada Gambar 3 dan 4 berikut untuk masing-masing proses. sumbu x adalah target yang hendak dicapai sedangkan sumbu y adalah hasil prediksi ANN.

Tabel 2. Contoh Rekapitulasi DCR

Nilai DCR			
Proses Training		Proses Testing	
Target	Output	Target	Output
6,10E-01	2,40E-01	8,62E-01	4,07E-01
7,92E-02	1,33E-01	1,40E-01	5,08E-01
1,21E-01	4,21E-01	4,58E-01	7,83E-01
4,73E-01	5,46E-01	3,73E-01	6,05E-01
9,32E-01	1,74E+00	4,07E-01	6,56E-01
2,05E-01	2,02E-01	3,13E-01	5,40E-01
5,60E-02	1,33E-01	1,58E-01	3,81E-01
4,76E+00	4,72E+00	7,74E-02	2,85E-02
1,84E-01	4,45E-01	1,32E-01	1,89E-01
3,26E-01	5,78E-01	3,37E+00	3,97E+00



Gambar 3 Korelasi Target dan Output Proses Training



Gambar 4 Korelasi Target dan Output Proses Testing

Nilai regresi yang didapat masih jauh dari satu, baik pada proses training maupun testing, artinya belum ada korelasi yang baik antara hasil prediksi ANN dengan nilai target sebenarnya. Hal ini dapat disebabkan oleh data yang kurang, termasuk juga parameter input dan output yang kurang. Selanjutnya, untuk melihat akurasi model ANN, dilakukan analisis untuk mendapat nilai RMSE. Nilai RMSE yang didapat pada proses training dibanding dengan pada proses testing dibawah satu dan tidak jauh berbeda. RMSE proses training sebesar 0,598 dan mempunyai selisih 0,02 lebih besar daripada proses testing. Hal ini mengindikasikan tidak terjadi *overfitting*. *Overfitting* adalah kondisi dimana data terlalu *fit* (sesuai) pada proses training, sehingga ketika dilakukan testing justru data tidak *fit* (sesuai). Salah satu indikasi yang dapat dilihat adalah nilai parameter yang didapatkan hanya baik ketika proses training, tetapi tidak baik ketika proses testing. Perbedaan nilai kedua proses besar.

Parameter kedua untuk mendapatkan akurasi adalah dengan menganalisis nilai MAPE. Dari model ANN, nilai MAPE yang didapatkan pada kedua proses masih sangat besar diatas 90%. Proses testing bahkan lebih besar sedikit dibanding proses training yaitu selisih sebesar 0,4%. Nilai MAPE yang besar ini mengindikasikan model ANN yang digunakan belum baik dalam memprediksi. Bisa diperbaiki dengan menambah parameter data, jumlah data, termasuk mengubah arsitektural ANN itu sendiri.

Kinerja model ANN sangat ditentukan oleh pola hubungan antar *neuron* atau arsitektural jaringan, metode penentuan bobot penghubung, dan fungsi aktivasi. Model dianggap akurat apabila kombinasi dari ketiga hal tersebut menghasilkan nilai MSE yang kecil. Oleh karena itu, proses *trial and error* dalam menentukan arsitektural ANN perlu dilakukan untuk mendapatkan model yang akurat. Selain itu, untuk meningkatkan performa dan akurasi dari model ANN juga dapat ditempuh dengan menambah jumlah data yang digunakan. Penelitian inipun dapat

dilanjutkan dengan mencoba arsitektural ANN yang lain dan menambah jumlah data dengan variasi bentang lainnya.

ANN dalam penelitian ini digunakan untuk memprediksi nilai DCR lebih cepat, tanpa harus memodelkan secara detail terlebih dahulu. Secara aplikatif, ANN dapat digunakan untuk melihat nilai DCR dari beberapa model jembatan rangka pada katalog yang banyak beredar saat ini. Dengan mengetahui hasil prediksi DCR maka dapat mengetahui model jembatan rangka mana yang memiliki nilai DCR besar atau kecil. Lebih lanjut, dapat memprediksi model jembatan mana yang lebih ekonomis secara tidak langsung, walaupun bukan satu-satunya alat. ANN di dunia Teknik Sipil umumnya digunakan untuk optimasi. Pada penelitian ini masih sebatas aplikasi, tetapi tidak menutup kemungkinan untuk penelitian lanjutan dapat menggunakan ANN untuk optimasi, tidak hanya jembatan rangka, tetapi jenis jembatan lain.

### Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa model ANN yang digunakan dapat memprediksi nilai DCR dari struktur atas jembatan rangka. Namun hasil prediksi yang didapat belum baik. Masih perlu penelitian lanjutan untuk memperbaiki model ANN yang dibuat termasuk menambah jumlah data yang digunakan. Nilai parameter yang dianalisis yaitu nilai RMSE dan MAPE didapatkan nilai yang masih besar, sehingga disimpulkan akurasi belum baik. Akan tetapi, berdasarkan kedua parameter tersebut, diketahui bahwa model ANN yang dibuat tidak mengalami overfitting dilihat dari selisih nilai yang didapat pada proses training dan testing yang kecil.

### Daftar Pustaka

- Afifuddin, Mochammad, Dora Nafira, and Fachrurrazi Fachrurrazi. 2021. "Prediksi Kuat Tekan Beton Kinerja Tinggi Dengan Pemodelan Metode Artificial Neural Network (ANN)." *Jurnal Teknik Sipil* 10 (2): 106–13.
- Afifuddin, Mochammad, Rudiansyah Putra, and Andika Akbar. n.d. "Aplikasi Artificial Neural Network (ANN) Untuk Memprediksi Perilaku Lentur Profil Kanal (C) Ferosemen."
- Anonim, 2016. SNI 1725-2016(Pembebanan Untuk Jembatan), Badan Standarisasi Nasional: Jakarta
- Anonim, 2005. RSNI T-03-2005(Perencanaan Struktur Baja untuk Jembatan), Badan Standarisasi Nasional: Jakarta
- Aulia, Annisaa Yumna. n.d. "Pemakaian Artificial Neural Network (ANN) Untuk Optimasi Ukuran Balok Pada Desain Bangunan Beton Bertulang Tahan Gempa (Studi Kasus Bangunan Pusat Perbelanjaan Di Yogyakarta)."
- Bakhtiar, Nur Hanif, and Mochammad Afifuddin. 2022. "Aplikasi Artificial Neural Network (ANN) Pada Model Prediksi Kuat Tarik Belah Beton Busa" 4 (1).
- Fathurahman, Ilman. n.d. "Perencanaan Struktur Jembatan Kiringan Menggunakan Rangka Baja Tipe Warren (Structural Planning Of Kiringan Bridge Using Warren Type Steel Frame)."
- Firdausa, Fadhila, and Arfan Hasan. 2020. "Prediksi Dan Analisis Berat Gedung Dengan Structural Analysis Program 2000 (Sap 2000) Dan Metode Artificial Neural Network." *Jurnal Deformasi* 5 (1): 1.
- Hagan M., et al. 2002. *Neural Network Design*. Campus Pub. Service. University of Colorado Bookstore
- Harahap, Kinanti Faradiba, Akhmad Aminullah, and Henricus Priyosulistyo. 2022. "Pendekatan Artificial Neural Network untuk Mengestimasi Dimensi Optimum dan Rasio Tulangan Gedung." *Inersia* 18 (1): 1–9.
- Haykin. S. 2009. *Neural Network and Learning Machines*. United State of America: Pearson
- Maulana, Yuga, Ganda Marihot Simangunsong, and Tri Karian. 2021. "Review Penggunaan Algoritma Artificial Neural Network Dalam Memprediksi Getaran Peledakan" 7.
- Muluk, Ahmad Ahsan Tajul. n.d. "(Analisis Of Rating Factor Of The Sardito I Bridge Using SNI Load 1725: 2016)."
- Prathama, Aulia Yudha. 2018. "Pendekatan ANN (Artificial Neural Network) Untuk Penentuan Prosentase Bobot Pekerjaan Dan Estimasi Nilai Pekerjaan Struktur Pada

- Rumah Sakit Pratama.*” *Jurnal Teknosains*  
7 (1): 14.
- Sapta, Sapta. 2017. “*Tinjauan Kapasitas (Demand-Capacity Ratio) Struktur Baja Menara Air Kapasitas 100m<sup>3</sup> Di Pabrik Karet Pt. Mardec Siger Waykanan Lampung Terhadap Beban Gempa Berdasarkan SNI 03-1726-2012.*” *Teknika*:
- Suryani, Erna, Wahyu Naris Wari, Yuni Ulfiyati, and M Nur Afifuddin. n.d. “*Prediksi Nilai Kuat Tekan Mortar Dengan Pemodelan Artificial Neural Network (ANN) Dengan Pecahan Keramik.*”
- Struyk, R.J dan Van Der Veen. 1984. *Jembatan*. PT Pradnya Paramita. Jakarta