

PENERAPAN METODE *ARTIFICIAL INTELLIGENCE* UNTUK PREDIKSI BIAYA AWAL PROYEK KONSTRUKSI BANGUNAN

Anastasia Valentina Tandiono¹ dan Doddy Prayogo²

^{1,2} Program Studi Magister Teknik Sipil, Universitas Kristen Petra, Surabaya

¹ anastasia.valentina@rocketmail.com, ² prayogo@peter.petra.ac.id

ABSTRAK: Melakukan perhitungan anggaran biaya merupakan salah satu hal yang penting untuk dilakukan dalam perencanaan pembangunan. Nilai awal proyek konstruksi dapat diprediksi dengan menggunakan metode *artificial intelligence* (AI). Menghasilkan model prediksi yang akurat merupakan salah satu tujuan yang ingin dicapai. Pada penelitian ini dilakukan evaluasi mengenai pemodelan prediksi biaya proyek konstruksi dengan menggunakan metode *artificial neural network* (ANN). Sebagai evaluasi, digunakan empat indikator *error* yaitu *coefficient of correlation* (*R*), *mean absolute percentage error* (MAPE), *root mean square error* (RMSE), *mean absolute error* (MAE), dan satu indikator normalisasi untuk mengevaluasi pemodelan yang dihasilkan yaitu *reference index* (RI). Pada penelitian ini data yang didapat dipecah kedalam dua data set. Hasilnya, pada *data set 1* nilai MAPE yang didapat sebesar 26,12% dan *R* 0,916. Pada *data set 2* MAPE yang didapat 33,79% dengan *R* 0,841. Pada hasil normalisasi data pada kedua *data set*, dengan adanya normalisasi tidak memberi perubahan yang signifikan terhadap metode ANN.

Kata kunci: prediksi, biaya proyek konstruksi, ANN, normalisasi data.

ABSTRACT: *Budgeting calculation for a project is one of the most important things to do in the planning phase. Initial construction project cost can be predicted using an artificial intelligence (AI) method. This research aims to evaluate an AI model for predicting construction project costs using the artificial neural network (ANN) method. To assess the method, four error indicators are used, namely, coefficient of correlation (R), mean absolute percentage error (MAPE), root mean square error (RMSE), mean absolute error (MAE), and one normalization indicator reference index (RI). The available data set was divided into two data set. For data set 1, the best MAPE value is 26,12% and R 0,9160. For data set 2, the best MAPE value is 33,79% and R-value 0,8410. For the normalized data, the result did not give a significant change for the ANN method.*

Keywords: *prediction, construction project cost, ANN, data normalization.*

1. PENDAHULUAN

Estimasi biaya adalah suatu perhitungan biaya yang diperkirakan dapat memenuhi kebutuhan dalam menyelesaikan suatu pekerjaan pada sebuah proyek konstruksi (Astrianingsih & Abma, 2019). Dalam melakukan estimasi biaya diperlukan adanya analisa biaya pada tiap item pekerjaan yang diharapkan nantinya akan semirip mungkin dengan saat pelaksanaan pembangunan dilakukan. Kegiatan estimasi biaya merupakan kegiatan yang tidak mudah dan membutuhkan waktu cukup lama.

Pada penelitian sebelumnya metode prediksi model yang masih sering digunakan terbatas pada penggunaan *Linear Regression* (LR) (N. Thomas & A.V. Thomas, 2016; Hammad et al, 2008), *Support Vector Machine* (SVM) (Wang et al, 2011), dan *Artificial Neural Network* (ANN) (Wang et al, 2011). Dari beberapa hasil penelitian tersebut terdapat kumpulan daftar faktor-faktor yang mempengaruhi estimasi biaya proyek konstruksi. Selain itu, pada penelitian sebelumnya terdapat pembuktian tentang penggunaan metode ANN yang dapat menghasilkan pemodelan yang lebih akurat dibandingkan metode lainnya.

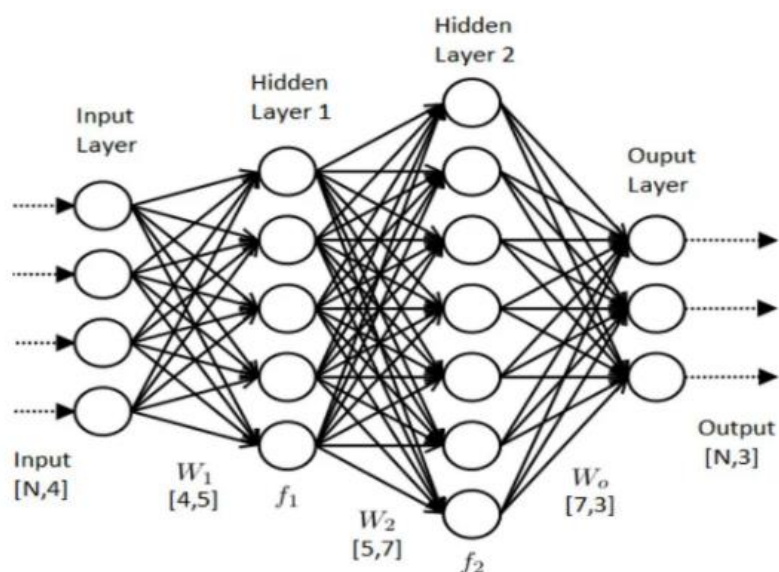
Walaupun telah banyak penelitian yang dilakukan dengan menggunakan LR dan AI dalam mengestimasi biaya proyek konstruksi, namun mayoritas penelitian dilakukan hanya pada satu jenis bangunan misalnya, bangunan tinggi seperti gedung perkantoran maupun apartemen (El-Sawalhi & Shehatto, 2014), jalan raya (Czarnigowska & Sobotka, 2013), dan beberapa bangunan komersial lainnya (N. Thomas & A.V. Thomas, 2016 ; Ujong et al, 2022).

Oleh karena itu, pada penelitian ini digunakan beberapa tipe bangunan dan akan dianalisa menggunakan metode ANN untuk mengembangkan pemodelan yang dapat memprediksi biaya proyek konstruksi. Dengan adanya beberapa tipe bangunan, maka tingkat kesulitan analisa akan semakin tinggi. Pemodelan yang dihasilkan akan ditinjau akurasi hasil prediksinya dengan cara melihat *error* yang terjadi dan dilakukan normalisasi dengan RI. Nilai *error* yang ditinjau antara lain adalah nilai *coefficient of correlation* (R), *mean absolute error* (MAE), *root mean square error* (RMSE), dan *absolute percentage error* (MAPE). s

2. LANDASAN TEORI

2.1. Metode ANN

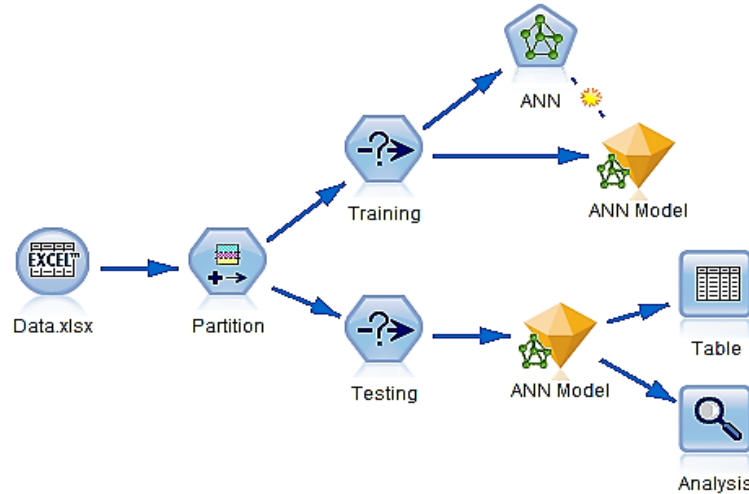
Pada metode ANN terdapat beberapa layer dalam komputasinya yaitu *input*, *hidden*, dan *output layer*. *Input layer* adalah komponen variabel, *hidden layer* menunjukkan titik-titik perhitungan, dan *output layer* adalah hasil yang diprediksi dan yang sudah diprediksi. Ilustrasi pemodelan ANN dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Ilustrasi pemodelan ANN

2.2. Model ANN menggunakan IBM SPSS Modeler 18.0

Pada penelitian ini menggunakan IBM SPSS Modeler 18.0 sebagai alat pengolahan data dan untuk model prediksi. Gambar 2 merupakan ilustrasi pemodelan ANN dengan IBM SPSS Modeler 18.0.



Gambar 2. Ilustrasi pemodelan ANN menggunakan IBM SPSS Modeler 18.0

2.3. Normalisasi Maksimum dan Minimum

Metode normalisasi minimum dan maksimum adalah metode yang mengubah sekumpulan data menjadi skala mulai dari nilai minimum (menjadi 0) dan maksimum (menjadi 1). Hal ini dapat dilakukan untuk menghindari kesulitan numerik, dimana bila terdapat angka yang memiliki range terlalu besar, maka akan membuat hasil prediksi menjadi seragam (Cheng et al., 2014). Normalisasi data didapat dengan menggunakan rumus pada Persamaan 1.

$$X_{norm} = \frac{X_n - X_{n \min}}{X_{n \max} - X_{n \min}} \quad (1)$$

2.4. Evaluasi Model Prediksi

Metode evaluasi model prediksi menggunakan empat indikator *error* dan normalisasi RI. Rumus perhitungan tiap indikator dan normalisasi dapat dilihat pada Tabel 1. Dalam table ini, nilai y' yang merupakan nilai prediksi, y nilai aktual, P_i = nilai ke- i pada 1 simulasi model ANN, dan n jumlah data.

Tabel 1. Perhitungan indikator *error*

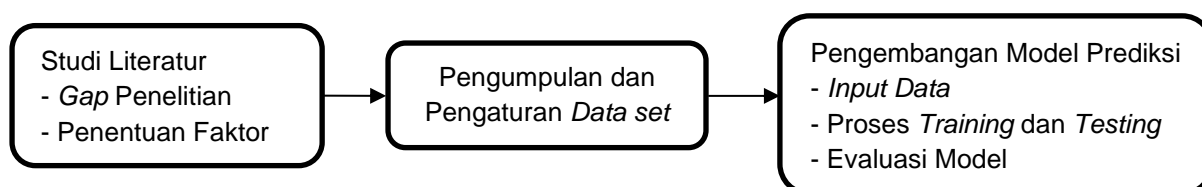
Indikator	Rumus
R	$\frac{n \sum y \cdot y' - (\sum y)(\sum y')}{\sqrt{n(\sum y^2) - (\sum y)^2} \sqrt{n(\sum y'^2) - (\sum y')^2}}$
MAE	$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y - y' $
RMSE	$\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y' - y)^2}$

Indikator	Rumus
MAPE	$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left \frac{y - y'}{y} \right $
RI	$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{P_i - P_{min,i}}{P_{max,i} - P_{min,i}} \right)$

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Kerangka Penelitian

Penelitian diawali dengan melakukan studi literatur untuk penentuan faktor yang dijadikan variabel penelitian. Kemudian data proyek dikumpulkan dan dilakukan pengolahan berupa *data preprocessing* dan evaluasi statistik deskriptif. Kemudian dilakukan pengembangan dan evaluasi model prediksi. Diagram alir tahapan penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram alir tahapan penelitian

3.2. Variabel Penelitian

Terdapat 15 variabel penelitian yang mempengaruhi estimasi biaya proyek dari hasil studi literatur terlihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Definisi operasional variabel

No.	Variabel	Satuan/Klasifikasi
X1	Luas Bangunan	m ²
X2	Skala Kontraktor	1 = Kecil 2 = Menengah 3 = Besar
X3	Jumlah Tingkat Bangunan	Unit
X4	Jumlah Kolom Struktur	Unit
X5	Luas <i>Landscape</i>	m ²
X6	Tinggi Bangunan	m'
X7	Volume Pekerjaan Beton	m ³
X8	Volume Pekerjaan Baja	kg
X9	Tahun Konstruksi	2012 - 2023
X10	Tipe Proyek	1 = Rumah Tinggal 2 = Komersial 3 = Gudang 4 = Pabrik
X11	Tipe Pondasi	1 = Setempat/Lajur 2 = <i>Bored Pile/Strauss</i> 3 = Tiang Pancang

No.	Variabel	Satuan/Klasifikasi
X12	Tipe Pemilik	1 = Perorangan/Swasta 2 = Pemerintah/BUMN
X13	Tipe Kontrak	1 = <i>Lump Sum</i> 2 = <i>Unit Price</i>
X14	Lokasi Proyek	1 = Perkotaan 2 = Daerah
X15	Metode Pemilihan Kontraktor	1 = Tender 2 = Pemilihan 3 = Penunjukan
Y	Biaya Awal Proyek	Rp. (Juta Rupiah)

3.3. Pengaturan Parameter

Pada penelitian ini pengaturan parameter menggunakan pengaturan standar dari program IBM SPSS Modeler 18.0 dan proses simulasi menggunakan metode *Grid Search* pada parameter *Hidden Layer* dan *Design of Experiment* (DOE) untuk penentuan jumlah neuron seperti terlihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Pengaturan parameter

Parameter	Standar	DOE
<i>ANN Modeling</i>	<i>Multilayer Perceptron</i>	
<i>Max. Training Time</i>	<i>15 Minutes</i>	
<i>Max. Number of Cycle</i>	1000	
<i>Hidden Layer</i>	<i>Automatic</i>	{1, 2}
<i>Number of Hidden Neuron</i>	<i>Automatic</i>	{5, 6, 9, 10}

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

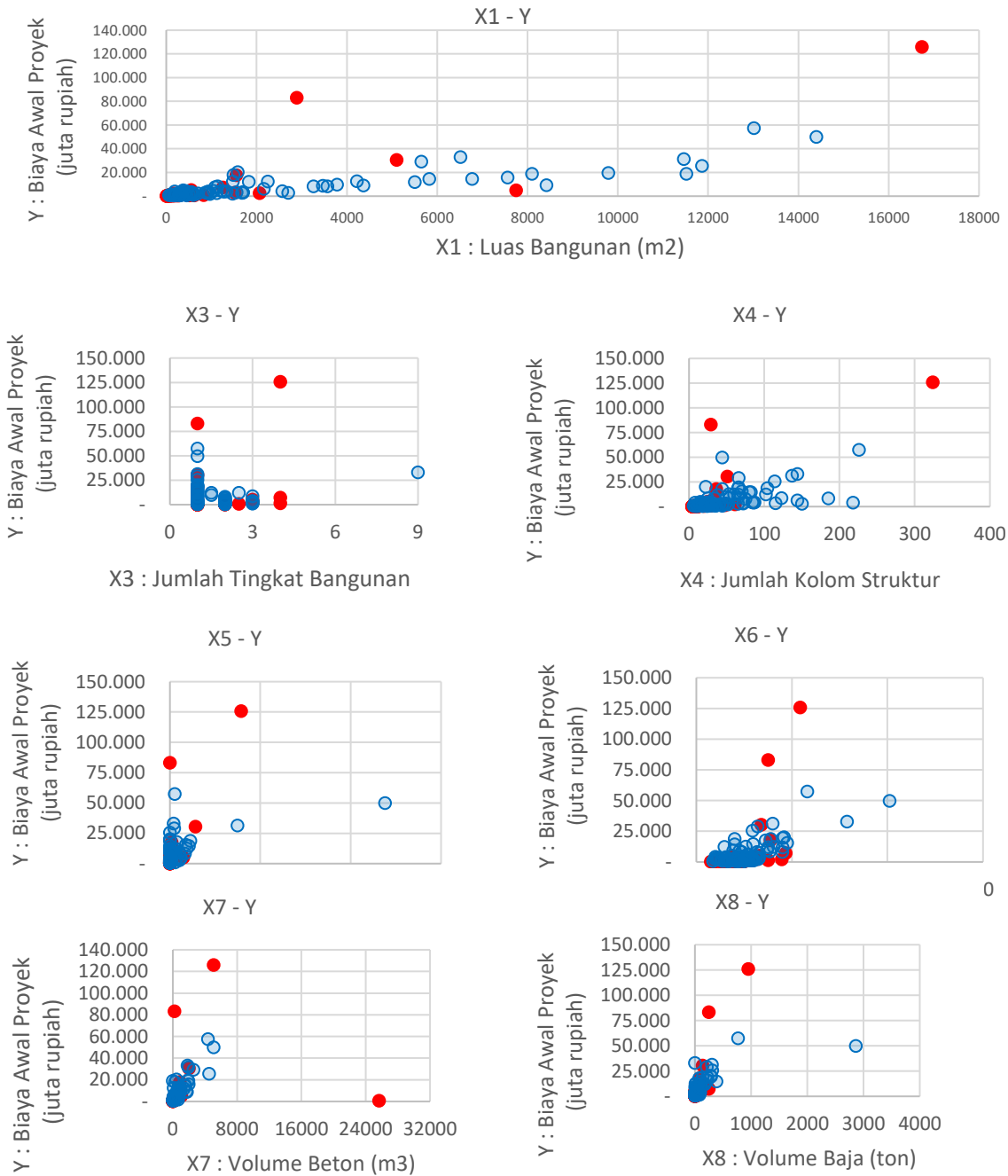
4.1. Pengumpulan dan Pengolahan *Data set*

Sebanyak 120 data proyek konstruksi didapat dari hasil pengumpulan data. *Data outlier* dieliminasi sebagai bagian proses *data preprocessing* terlihat pada Gambar 4. Eliminasi dilakukan karena pada data awal ada beberapa data yang memiliki karakteristik tidak seragam dengan data lainnya, hal ini akan mengakibatkan prediksi ANN menjadi tidak akurat.

Setelah eliminasi tersisa 85 data, dari data tersebut akurasi model prediksi ANN masih tidak akurat dengan MAPE sebesar 67,27%. Dilakukanlah pengelompokan pada 85 data tersebut menjadi data set 1 dan data set 2. Data set 1 berisi 43 data dan merupakan data proyek dengan nilai awal proyek \leq Rp. 3.174.000.000. Rincian *data set 1* terlihat pada Tabel 4.

Pada data set 2 terdapat 42 data dengan nilai proyek diatas Rp.3.174.000.000. Statistik deskriptif untuk data set 2 dapat dilihat pada Tabel 5.

Tandiono: Penerapan Metode *Artificial Intelligence* untuk Prediksi Biaya Awal Proyek Konstruksi



Gambar 4. Proses eliminasi *data outlier*

Tabel 4. Statistik deskriptif *data set 1*

No.	Variabel	Satuan	Min.	Mean	Std.	Max.
x1	Luas proyek	m2	59,22	573,46	549,76	2701,48
x2	Skala kontraktor	1 = Kecil	1 = 32,56% ; 2 = 67,44% ; 3 = 0%			
		2 = Menengah				
		3 = Besar				
x3	Jumlah tingkat bangunan	unit	1,00	1,58	0,66	3,00

No.	Variabel	Satuan	Min.	Mean	Std.	Max.
x4	Jumlah kolom struktur	unit	6,00	31,88	23,90	150,00
x5	Luas lansekap	m2	0,00	73,52	230,71	1035,94
x6	Total tinggi bangunan	m	3,50	8,39	2,65	12,95
x7	Volume beton	m3	0,91	157,58	134,21	666,42
x8	Volume profil baja	kg	0,00	13595,76	16246,42	80421,62
x9	Tahun pembangunan	2000,2001, . . .	2012 = 4,65% ; 2013 = 4,65% ; 2014 = 0% ; 2015 = 4,65% ; 2016 = 4,65% ; 2017 = 0% ; 2018 = 9,30% ; 2019 = 11,63% ; 2020 = 39,53% ; 2021 = 0% ; 2022 = 13,95% ; 2023 = 6,98%			
x10	Klasifikasi bangunan	1 = Rumah Tinggal	1 = 20,93% ; 2 = 32,56% ; 3 = 34,88 % ; 4 = 11,63%			
		2 = Komersial				
		3 = Gudang				
		4 = Pabrik				
x11	Tipe pondasi	1 = Pondasi Setempat	1 = 27,91% ; 2 = 48,84% ; 3 = 23,26%			
		2 = Pondasi Strouss				
		3 = Tiang Pancang				
x12	Tipe pemilik	1 = Swasta	1 = 93,02% ; 2 = 6,98%			
		2 = Pemerintah				
x13	Tipe Kontrak	1 = Lump Sum	1 = 25,58% ; 2 = 74,42%			
		2 = Unit Price				
x14	Lokasi proyek	1 = Kota	1 = 46,51% ; 2 = 53,49%			
		2 = Daerah				
x15	Metode Pemilihan Kontraktor	1 = Tender	1 = 48,84% ; 2 = 23,26% ; 3 = 27,91%			
		2 = Pemilihan				
		3 = Penunjukkan				
y	Biaya awal proyek (Target)	Rp. (juta rupiah)	502	1.717	804	3.175

Tabel 5. Statistik deskriptif *data set 2*

No.	Variabel	Satuan	Min.	Mean	Std.	Max.
x1	Luas proyek	m2	188,90	4204,14	3963,87	14400,00
x2	Skala kontraktor	1 = Kecil	1 = 11,90% ; 2 = 83,33% ; 3 = 4,76%			
		2 = Menengah				
		3 = Besar				
x3	Jumlah tingkat bangunan	unit	1,00	1,58	1,33	9,00
x4	Jumlah kolom struktur	unit	8,00	75,19	52,59	226,00
x5	Luas lansekap	m2	0,00	1211,66	3784,28	23807,00
x6	Total tinggi bangunan	m	4,00	13,09	6,81	40,45
x7	Volume beton	m3	0,00	1060,77	1225,51	5081,00
x8	Volume profil baja	kg	0,00	179715,34	448049,46	2862059,00
x9	Tahun pembangunan	2000,2001, . . .	2012 = 4,76% ; 2013 = 2,38% ; 2014 = 2,38% ; 2015 = 0% ; 2016 = 0% ; 2017 = 4,76% ; 2018 = 7,14% ; 2019 = 7,14% ; 2020 = 7,14% ; 2021 = 16,67% ; 2022 = 26,19% ; 2023 = 21,43%			

No.	Variabel	Satuan	Min.	Mean	Std.	Max.
x10	Klasifikasi bangunan	1 = Rumah Tinggal	1 = 4,76% ; 2 = 23,81% ; 3 = 59,52 % ; 4 = 11,90%			
		2 = Komersial				
		3 = Gudang				
		4 = Pabrik				
x11	Tipe pondasi	1 = Pondasi Setempat	1 = 9,52% ; 2 = 11,90% ; 3 = 78,57%			
		2 = Pondasi Strouss				
		3 = Tiang Pancang				
x12	Tipe pemilik	1 = Swasta	1 = 97,62% ; 2 = 2,38%			
		2 = Pemerintah				
x13	Tipe Kontrak	1 = Lump Sum	1 = 61,90% ; 2 = 38,10%			
		2 = Unit Price				
x14	Lokasi proyek	1 = Kota	1 = 78,57% ; 2 = 21,43%			
		2 = Daerah				
x15	Metode Pemilihan Kontraktor	1 = Tender	1 = 61,90% ; 2 = 14,29% ; 3 = 23,81%			
		2 = Pemilihan				
		3 = Penunjukkan				
y	Biaya awal proyek (Target)	Rp. (juta rupiah)	3355	13.330	12.081	57.427

4.2. Hasil Pemodelan Prediksi

Dengan adanya pengaturan parameter standar dan *grid search*, didapatkan 4 hasil terbaik metode ANN pada masing-masing data set 1 dan 2 baik tanpa normalisasi dan dengan normalisasi. Hasil terlampir pada Tabel 6 dan Tabel 7. Pada data tanpa normalisasi data set 1 ANN9 merupakan ANN terbaik dengan MAPE 26,12% dan RI 0,993. Pada data set 2 ANN11 merupakan ANN terbaik dengan MAPE 33,79% dan RI 0,910. Pada normalisasi data set 1 pemodelan ANN terbaik yaitu pada ANN1 dengan nilai MAPE sebesar 26,23% dan nilai RI 1. Pada normalisasi data set 2 pemodelan ANN terbaik yaitu ANN13 dengan MAPE 29,49% dan RI 0,961. Walaupun dengan adanya beberapa tipe bangunan yang digunakan dalam penelitian ini, nilai akurasi ANN menunjukkan akurasi yang baik dengan nilai MAPE terbaik yaitu 26,12%.

Tabel 6. Hasil evaluasi *training* dengan metode ANN

Metode Prediksi	Jumlah Neuron		Evaluasi <i>Data Training</i>				
	Layer 1	Layer 2	R	MAE (Rp)	RMSE (Rp)	MAPE (%)	RI
ANN9 : Data set 1 tanpa normalisasi	10	6	0,764	386.641.367	527.031.681	26,17%	0,507
ANN11 : Data set 2 tanpa normalisasi	6	9	0,986	1.315.596.507	2.089.418.381	17,79%	0,694
ANN1 : Data set 1 normalisasi	<i>Auto</i>	<i>Auto</i>	0,868	328.752.861	408.344.287	22,68%	0,676
ANN13 : Data set 2 normalisasi	10	9	0,971	2.007.438.221	3.001.992.875	25,75%	0,532

Tabel 7. Hasil Evaluasi *Testing* dengan Metode ANN

Metode Prediksi	Jumlah Neuron		Evaluasi <i>Data Testing</i>				
	Layer 1	Layer 2	R	MAE (Rp)	RMSE (Rp)	MAPE (%)	RI
ANN9 : Data set 1 tanpa normalisasi	10	6	0,916	259.651.929	329.835.735	26,12%	0,993
ANN11 : Data set 2 tanpa normalisasi	6	9	0,841	4.516.990.050	6.486.433.772	33,79%	0,910
ANN1 : Data set 1 normalisasi	<i>Auto</i>	<i>Auto</i>	0,927	256.830.579	300.325.792	26,23%	1,000
ANN13 : Data set 2 normalisasi	10	9	0,9107	3.482.263.204	4.876.180.259	29,49%	0,961

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari evaluasi nilai *error* dan nilai pembobotan RI, ANN merupakan metode yang dapat memberikan hasil yang baik dalam memprediksi biaya rencana proyek konstruksi. Dengan adanya normalisasi data didapatkan hasil yang lebih baik akan tetapi tidak menunjukkan perbedaan hasil yang signifikan. Dengan demikian, dapat ditarik kesimpulan bahwa ANN adalah metode pemodelan yang akurat dalam memprediksi biaya rencana proyek konstruksi untuk seluruh klasifikasi bangunan pada tiap tipe proyek bangunan.

Beberapa saran yang untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Penelitian dapat dilakukan pada tipe proyek lain yang masih jarang diteliti, misalnya pada proyek infrastruktur seperti jembatan dan jalan raya.
2. Perlu adanya optimasi untuk menentukan parameter ANN yang paling berpengaruh dalam membentuk model prediksi biaya proyek konstruksi.
3. Penelitian dapat dilakukan dengan menambahkan variabel lainnya yang belum terdapat pada penelitian ini.

6. DAFTAR REFERENSI

- Astrianingsih, B., & Abma, V. (2019). Estimasi biaya dan waktu proses perencanaan anggaran biaya dan penjadwalan menggunakan aplikasi *Ibuild* dan *Microsoft excel*. <https://dspace.uui.ac.id/bitstream/handle/123456789/13976/JURNAL%20.pdf?sequence=2&isAllowed=y>.
- Cheng, M. Y., Prayogo, D., & Wu, Y. W., 2014. Novel genetic algorithm-based evolutionary support vector machine for optimizing high-performance concrete mixture. *Journal of Computing in Civil Engineering, ASCE, ISSN 0887-3801/06014003(7)*. DOI: 10.1061/(ASCE) CP.1943-5487.0000347
- Czarnigowska, A., & Sobotka, A. (2013). Time-cost relationship for predicting construction duration. *Archives of Civil and Mechanical Engineering, 13(4)*, pp. 518–526. <http://dx.doi.org/10.1016/j.acme.2013.05.004>.
- El-Sawalhi, N. I., & Shehatto, O. (2014). A neural network model for building construction projects cost estimating. *KICEM Journal of Construction Engineering and Project Management Online*. ISSN 2233-9582. <http://dx.doi.org/10.6106/JCEPM.2014.4.4.009>.
- Hammad, A. A., Ali, S. M., Sweis, G. J., & Bashir, A. (2008). Prediction model for construction cost and duration in Jordan. *Jordan Journal of Civil Engineering, 2(3)*.

- Thomas, N., & Thomas, A. V. (2016). Regression modelling for prediction of construction cost and duration. *Applied Mechanics and Materials*. ISSN: 1662-7482, Vol. 857, pp 195-199. doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.857.195.
- Ujong, J. A., Mbadike, E. M., & Alaneme, G. U. (2022). Prediction of cost and duration of building construction using artificial neural network. *Asian Journal of Civil Engineering*, 23(7), 1117-1139. <https://doi.org/10.1007/s42107-022-00474-4>.
- Wang, Y. R., Yu, C. Y., & Chan, H. H. (2011). Predicting construction cost and schedule success using artificial neural networks ensemble and support vector machines classification models. *International Journal of Project Management*, 30, pp. 470-478. doi:10.1016/j.ijproman.2011.09.002.