

ESTIMASI BIAYA STRUKTUR GEDUNG RUMAH SAKIT DENGAN BENTUK PERSEGI PANJANG MENGGUNAKAN METODE *ARTIFICIAL NEURAL NETWORK*

Ratih Dewanti^{1*}, Akhmad Aminullah², Henricus Priyosulistyo³

¹Mahasiswa Magister Teknik Sipil Universitas Gadjah Mada

^{2,3} Dosen Magister Teknik Sipil Universitas Gadjah Mada

**ratih.dewanti@mail.ugm.ac.id*

Abstract

The cost estimation of structure is important at the planning stage. This study uses the Artificial Neural Network (ANN) method as an approach method in providing the cost estimation of building structures where accuracy can be tested. The building model is a reinforced concrete structure with a rectangular shape that functions as a hospital building. The cost estimation of the structure consists of the cost of the beam, column, and slab. The ANN model training consists of 60 variations of research variables in the form of floor area, number of floors, column height, earthquake site class, dimension of beam and column. The results of the ANN modeling show that the estimated cost of the structure is more sensitive to the variable of beams and columns dimension. The cost estimation of structure using the ANN modelling produces a percentage of error/MMRE value of $\pm 1.55\%$ under learning data and $\pm 9.75\%$ under random test data.

Keywords: cost estimation, reinforced concrete structure, hospital building, artificial neural network

Abstrak

Estimasi biaya struktur memiliki peran penting pada tahap perencanaan. Penelitian ini memanfaatkan metode *Artificial Neural Network* (ANN) sebagai metode pendekatan untuk menghasilkan estimasi biaya struktur gedung yang keakuratannya dapat diuji. Permodelan gedung merupakan struktur beton bertulang dengan model tipikal bentuk persegi panjang yang berfungsi sebagai gedung rumah sakit. Estimasi biaya struktur terdiri dari biaya pekerjaan balok, kolom dan pelat. Tahap pelatihan permodelan ANN menggunakan 60 variasi data dari pengembangan variabel penelitian berupa luas lantai, jumlah lantai, tinggi kolom, kelas situs, dimensi balok dan dimensi kolom. Hasil permodelan ANN menunjukkan estimasi biaya struktur lebih sensitif terhadap variabel dimensi balok dan kolom. Permodelan ANN estimasi biaya struktur menghasilkan nilai persentase *error*/MMRE sebesar $\pm 1,55\%$ pada data *learning* dan $\pm 9,75\%$ pada data uji *random*.

Kata kunci: estimasi biaya, struktur beton bertulang, gedung rumah sakit, artificial neural network

1. Pendahuluan

Estimasi biaya tahap konseptual merupakan perkiraan biaya yang dibutuhkan untuk menyusun anggaran pembangunan suatu gedung. Keakuratan estimasi biaya merupakan faktor penting dalam keberhasilan suatu proyek agar anggaran yang tersedia dapat digunakan secara maksimal untuk semua aspek pekerjaan. Selain itu, estimasi biaya pekerjaan yang akurat juga berpengaruh terhadap efisiensi waktu dalam penyusunan anggaran karena mampu memperkirakan biaya konstruksi sebelum memperoleh detail desain perencanaan.

Diperlukan suatu metode pendekatan untuk mendapatkan estimasi biaya pekerjaan gedung guna mempermudah dalam penyusunan anggaran proyek agar penggunaan anggaran menjadi lebih efisien. Salah satu metode pendekatan yang dapat digunakan untuk estimasi biaya yaitu dengan metode *Artificial Neural Network* (ANN). Metode ANN mampu menghasilkan suatu prediksi yang cukup akurat dari walaupun informasi awal yang kurang memadai. Penelitian ini hanya meninjau pekerjaan struktur gedung yang terdiri dari pekerjaan balok, kolom dan pelat.

Beberapa penelitian estimasi biaya tahap konseptual telah dilakukan oleh beberapa peneliti terdahulu, hal ini ditinjau sebagai ruang lingkup dan metode studi yang ditetapkan dalam

penelitian ini mengenai estimasi biaya, Prathama [1] yang melakukan estimasi nilai pekerjaan struktur pada Rumah Sakit Pratama dengan metode ANN dengan mengolah nilai pekerjaan struktural dan desain item pekerjaan diperoleh dari 8 proyek yang berasal dari laporan penelitian analisis biaya konstruksi. Rumah Sakit Pratama pada Kementerian Kesehatan tahun 2015. Tujuh variabel penelitian berupa luas bangunan, bentang kolom rata-rata, persentase pekerjaan struktur tanah dan pondasi, persentase pekerjaan beton dan pelat lantai, persentase pekerjaan struktur atap, nilai IKK, dan jarak lokasi proyek dengan pusat kota. Penelitian lainnya dilakukan oleh Bekas [2] yang melakukan estimasi biaya portal struktur beton bertulang. Variabel penelitian berupa jumlah tingkat portal, baban eksternal, total panjang portal, jumlah bentang portal, dimensi penampang, dan rasio tulangan.

Adapun penelitian mengenai estimasi biaya pekerjaan struktur gedung beton bertulang terhadap beban rencana berupa beban gempa wilayah Yogyakarta dengan kelas situs berbeda belum pernah dilakukan sebelumnya. Data *input* dalam permodelan ANN terdiri dari variabel penelitian sedangkan data target merupakan biaya pekerjaan struktur hasil analisis struktur *software* SANSPRO. Persamaan empiris hasil dari studi ini diharapkan mampu memberikan estimasi awal biaya pekerjaan struktur terhadap model gedung yang tipikal dengan model gedung penelitian.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Artificial Neural Network (ANN)

Kusumadewi [8] menyatakan model ANN diadopsi dari cara kerja otak manusia yang terdiri dari jaringan-jaringan yang memperoleh pengetahuan melalui proses pembelajaran. Jaringan antar *neuron* yang dinamakan bobot sinaptik digunakan untuk mengingat pengetahuan. Jaringan antar *neuron* mampu memecahkan masalah kompleks dengan solusi analitik terhadap keterbatasan data numerik. Pemilihan konfigurasi arsitektur ANN berpengaruh pada pencapaian nilai *output* yang sesuai terhadap nilai target dengan nilai *error* yang kecil. Sistem teknik pembelajaran yang digunakan berupa *backpropagation*.

Perancangan arsitektur ANN melibatkan analisis data, identifikasi variabel estimasi biaya pekerjaan struktur serta pemilihan arsitektur jaringan. Penentuan arsitektur berupa jumlah *hidden layer* rencana serta jenis fungsi aktivasi. Persamaan ANN secara umum adalah sebagai berikut ini.

$$Y = f\left(\sum W_n X_n\right) \quad (1)$$

dengan:

Y	: prediksi <i>output</i>
W_n	: bobot korespondensi
X_n	: variabel <i>input</i>
f	: fungsi transfer yang digunakan

Fungsi *sigmoid biner* ataupun *logsig* digunakan dalam penelitian ini. Fungsi *sigmoid biner* memiliki nilai maksimum 1 dan minimum 0 sehingga data *input* dan *output* pada tahap pelatihan harus dinormalisasi dahulu sehingga nilai semua data memiliki nilai *range* yang sama. Rumus fungsi *sigmoid biner* adalah sebagai berikut ini.

$$y = f(x) = \frac{1}{1 + e^{-ax}} \quad (2)$$

$$f'(x) = \sigma f(x)\{1 - f(x)\} \quad (3)$$

Hasil simulasi *backpropagation* dengan *software* MATLAB akan menghasilkan nilai konstanta bobot berupa nilai bobot *input*, bobot lapisan, bobot bias *input*, dan bobot bias lapisan yang kemudian dilakukan analisis dengan persamaan berikut ini.

$$Y = Z_i \cdot W[i, j] + b[2, j] \quad (4)$$

$$Z_{inj} = f(X_i \cdot V[i, j] + b[i, j]) \quad (5)$$

$$Z_i = \frac{1}{1 + e^{-Z_{ij}}} \quad (6)$$

dengan:

X_i	: data <i>input</i>
Z_j	: jumlah <i>neuron</i> pada <i>hidden layer</i>
V_{ij}	: bobot <i>input</i>
W_{ij}	: bobot lapisan
b_{ij}	: bobot bias <i>input</i>
b_{2k}	: bobot bias lapisan
Y_k	: data <i>output</i>
T_k	: data target

Simulasi *backpropagation* akan berhenti apabila telah tercapai nilai *error* pada proses iterasi yang lebih kecil dari nilai *error* maksimum atau nilai *epoch* yang lebih besar dari nilai *epoch* maksimum. Evaluasi data *output* estimasi biaya pekerjaan struktur dianalisis dengan perhitungan *error* MMRE yaitu dengan persamaan berikut ini.

$$MMRE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\text{aktual} - \text{estimasi}}{\text{aktual}} \quad (7)$$

Pandelea [3] menyatakan metode ANN bukan sebagai *software* yang menggantikan analisis struktur, namun merupakan metode yang saling melengkapi agar pekerjaan menjadi lebih efektif dan efisien.

3. Metode Penelitian

Permodelan penelitian terbagi menjadi 2 tahap. Pada tahap pertama, dilakukan permodelan analisis struktur menggunakan *software* SANSPRO V.5.10 dengan lisensi atas nama Aminullah, Ph.D., Pada tahap kedua dilakukan permodelan ANN dengan *software* MATLAB. Dari permodelan dengan *software* SANSPRO akan diperoleh validasi kemampuan variasi data *training* terhadap beban rencana serta memperoleh volume pekerjaan struktur. Volume pekerjaan struktur yang terdiri dari pekerjaan balok, kolom dan pelat kemudian dihitung dengan Harga Satuan Pekerjaan (HSP) Kabupaten Sleman sehingga menghasilkan total biaya pekerjaan struktur. Biaya pekerjaan struktur pada setiap variasi data juga ditinjau terhadap standar harga satuan tertinggi rata-rata per m² bangunan gedung negara tidak sederhana berdasarkan Peraturan Bupati Sleman No. 25 tahun 2019 untuk mengevaluasi biaya pekerjaan struktur yang masih sesuai standar harga.

Sebanyak 7 variabel penelitian pada Tabel 3.1 diolah menjadi 60 variasi data. Variabel penelitian tersebut digunakan sebagai data *input* pada permodelan ANN sedangkan data *output* dan target merupakan nilai total biaya pekerjaan struktur pada setiap variasi data. Permodelan ANN dengan *software* MATLAB menghasilkan nilai bobot yang kemudian diolah menjadi persamaan empiris estimasi biaya pekerjaan struktur. Dalam permodelan ANN, simulasi hanya dapat dilakukan dengan data numerikal sehingga variabel kelas situs dilakukan kategorial menjadi 0,1 untuk kelas situs SC, 0,2 untuk kelas situs SD dan 0,3 untuk kelas situs SE.

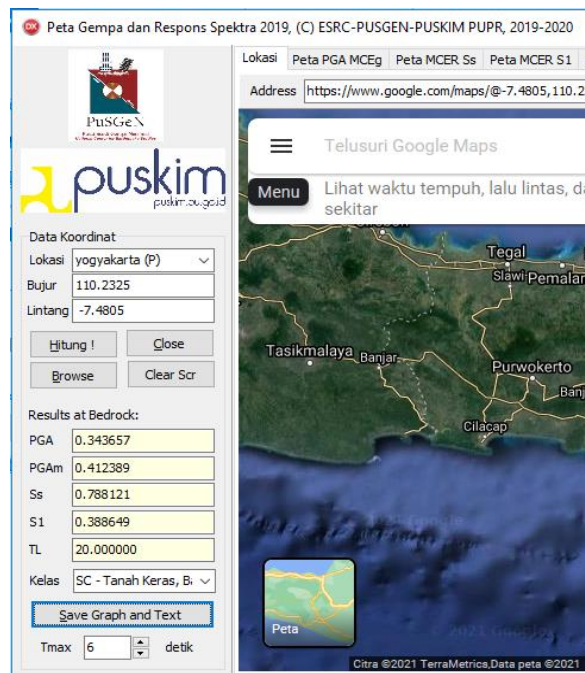
3.1 Permodelan Gedung Rumah Sakit

Model gedung data *training* direncanakan dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Gedung berfungsi sebagai gedung rumah sakit dengan kategori risiko IV yang terdiri dari 5 bentang arah horizontal dan 3 bentang arah vertikal. Variasi panjang bentang dilakukan guna memperoleh luas gedung yang berbeda. Variasi dimensi kolom dan balok disesuaikan dengan persyaratan perencanaan awal struktur. Dimensi kolom direncanakan dengan bentuk persegi yang sama pada setiap lantai. Beban rencana direncanakan dengan peraturan SNI 1727:2018 mengenai beban desain minimum untuk gedung rumah sakit

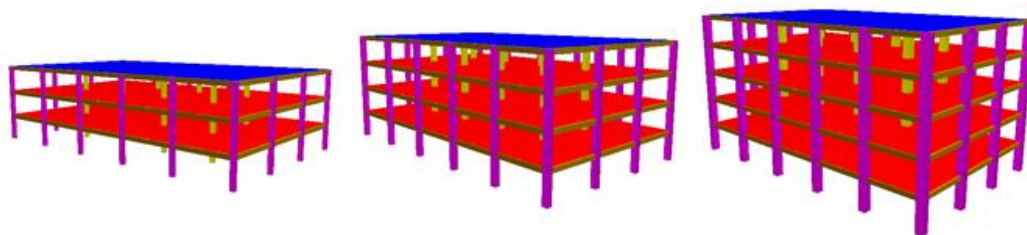
Tabel 3.1. Variabel penelitian

Variabel	Defenisi	Satuan	Rentang data
X_1	Luas 1 lantai	m^2	375, 540, 735, dan 960
X_2	Jumlah lantai gedung	n	3, 4, dan 5
X_3	Tinggi kolom	m	3,75, 4,00 dan 4,25
X_4	Kelas situs	-	SC (tanah keras) SD (tanah sedang) SE (tanah lunak)
X_5	Lebar balok	cm	30 dan 35
X_6	Tinggi balok	cm	45, 50, 55, 60
X_7	Dimensi kolom persegi	cm	50 - 100
Y	Total harga pekerjaan struktur	Rp	1.575.896.408 - 5.004.824.142

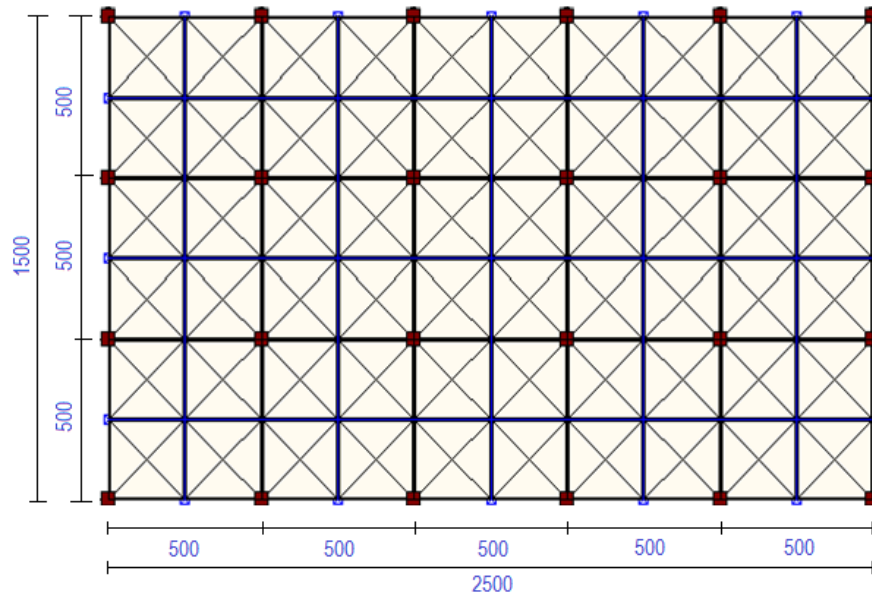
Mutu yang digunakan dalam perencanaan struktur gedung adalah 30 Mpa untuk mutu beton dan 420 Mpa untuk mutu tulangan baja. Perencanaan tipikal dimensi balok anak 25 cm x 50 cm pada setiap model gedung. Permodelan gedung yang direncanakan berupa gedung 3, 4 dan 5 lantai. Wilayah gempa yang digunakan yaitu wilayah Yogyakarta ($S_s=0,788$ dan $S_1=0,388$). Data gempa diperoleh dari Peta Gempa dan Respon Spektra 2019 puskim.pu.go.id. yang dapat dilihat pada Gambar 3.1. Berikut model 3D gedung pada Gambar 3.2 yang dilakukan analisis dalam *software* SANSIRO. Salah satu denah gedung permodelan dari variasi data dengan luas 375m² dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.1. Data gempa wilayah Yogyakarta
Sumber: *puskim.pu.go.id*



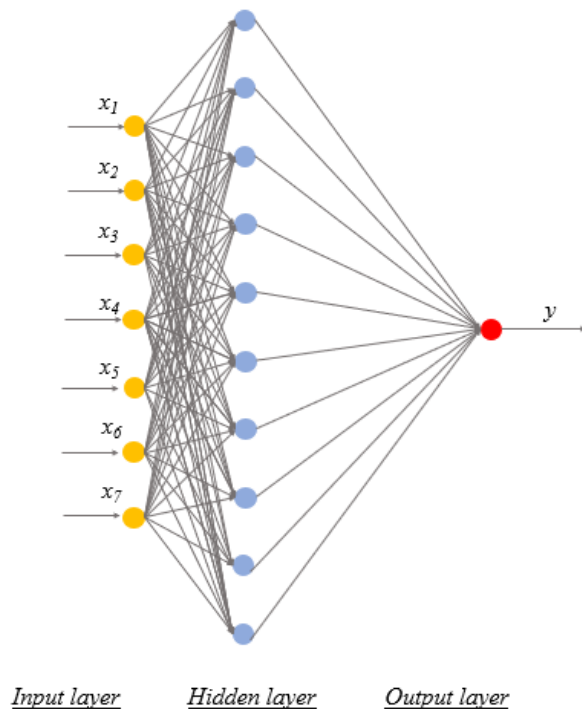
Gambar 3.2. Model 3D gedung data *learning*



Gambar 3.3. Denah model gedung data *learning* (luas 1 lantai 375 m²)

3.2 Permodelan ANN

Model arsitektur yang digunakan terdiri dari 3 lapisan yaitu *input layer*, *hidden layer* dan *output layer*. *Input layer* terdiri dari 7 *neuron* berupa variabel penelitian dengan biaya pekerjaan struktur sebagai data target dan data *output*. Prathama [1] menyatakan bahwa model ANN dibentuk secara empiris, bukan berasal dari teoritis sehingga jumlah *neuron* pada *hidden layer* dilakukan dengan cara uji coba karena tidak ada aturan dalam menentukannya. Dalam proses *learning* permodelan ANN estimasi biaya pekerjaan menggunakan metode pembelajaran *Levenberg-Marquardt (trainlm)* dengan 10 *neuron* pada *hidden layer*. Model estimasi biaya didasarkan pada variabel desain dapat dilihat pada Gambar 3.4 berikut ini.

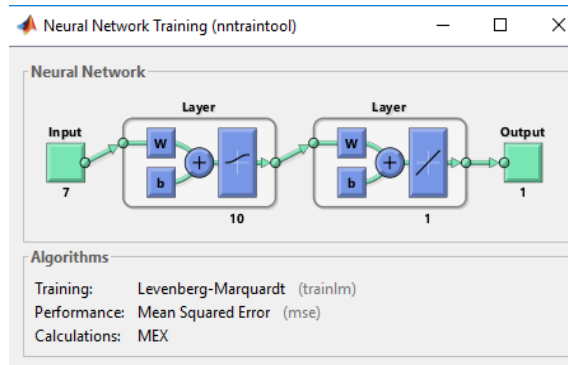


Gambar 3.4 Model arsitektur ANN
Sumber: Prathama [1]

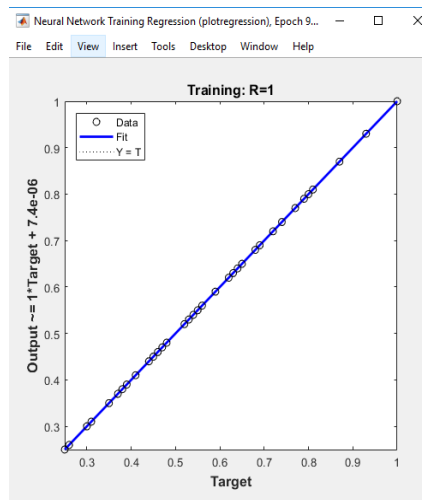
4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Hasil Simulasi ANN

Permodelan ANN estimasi biaya struktur diaplikasikan dalam *software* MATLAB. Berikut Gambar 4.1 merupakan bentuk jaringan simulasi ANN sesuai dengan konfigurasi penelitian 7-10-1 (7 variabel *input*, 1 *hidden layer* dengan 10 *neuron* dan 1 *output*). Nilai regresi proses iterasi permodelan sebesar 1 pada yang dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.1 Bentuk jaringan simulasi ANN pada *software* MATLAB



Gambar 4.2 Grafik regresi simulasi ANN pada *software* MATLAB

Dari simulasi ANN dengan metode *backpropagation* menghasilkan nilai konstanta bobot yang kemudian diolah menjadi persamaan empiris estimasi biaya pekerjaan struktur dengan nilai X merupakan nilai dari variabel penelitian. Berikut persamaan empiris yang dihasilkan dari permodelan ANN.

$$Y = Rp. 5.004.824.142 (2,707 + (-0,437Z_1 - 0,042 Z_2 + 0,102 Z_3 + 0,207 Z_4 - 0,112Z_5 - 0,050 Z_6 + 0,260 Z_7 - 3,048 Z_8 - 1,664 Z_9 + 2,593 Z_{10}))$$

dengan,

$$Z_1 = 1/(1 + \exp^{-(-6,659X_1 - 7,119X_2 + 4,587X_3 + 0,763X_4 - 4,558X_5 - 2,919X_6 - 6,842X_7 - 0,437)})$$

$$Z_2 = 1/(1 + \exp^{-(9,612X_1 - 16,250X_2 + 2,071X_3 - 5,611X_4 - 19,768X_5 + 15,193X_6 - 23,366X_7 - 0,042)})$$

$$Z_3 = 1/(1 + \exp^{-(-6,900X_1 + 2,855X_2 + 33,620X_3 + 0,874X_4 - 15,277X_5 - 7,724X_6 - 8,985X_7 + 0,102)})$$

$$Z_4 = 1/(1 + \exp^{-(-8,376X_1 + 4,422X_2 + 18,343X_3 - 0,586X_4 - 18,661X_5 - 3,644X_6 - 10,435X_7 + 0,207)})$$

$$Z_5 = 1/(1 + \exp^{-(-3,804X_1 - 3,716X_2 - 16,185X_3 - 1,322X_4 - 21,073X_5 - 20,313X_6 + 13,462X_7 - 0,112)})$$

$$Z_6 = 1/(1+exp^{-(2,666X_1-15,881X_2+14,938X_3-3,388X_4+5,816X_5-17,965X_6+31,088X_7-0,050)})$$

$$Z_7 = 1/(1+exp^{-(6,212X_1+5,185X_2-13,001X_3-0,276X_4-10,986X_5-11,443X_6+15,200X_7+0,260)})$$

$$Z_8 = 1/(1+exp^{-(9,663X_1+7,287X_2+5,542X_3+0,023X_4-28,074X_5-11,314X_6-7,799X_7-3,048)})$$

$$Z_9 = 1/(1+exp^{-(5,553X_1+0,757X_2+9,259X_3+9,063 X_4-5,845X_5-19,007X_6+ 5,393X_7-1,664)})$$

$$Z_{10} = 1/(1+exp^{-(0,972X_1+14,072X_2 -11,439 X_3+1,094X_4-29,457X_5-13,165X_6-0,822X_7+2,593)})$$

Data target pada permodelan ANN estimasi biaya pada penelitian ini berupa biaya pekerjaan struktur yang diperoleh dari perkalian antara volume pekerjaan struktur hasil analisis *software* SANSPRO dengan AHSP Kabupaten Sleman. Sedangkan data *output* berupa nilai estimasi biaya struktur hasil persamaan empiris dari permodelan ANN. Berikut contoh 10 data dari 60 variasi data yang digunakan pada tahap *learning* yang dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Perbandingan antara data *output* dan data target pada proses *learning* menghasilkan persentase nilai *error* MMRE terbesar ±1,55% yang dapat dilihat pada Tabel 4.2. Nilai *error* yang dihasilkan relatif kecil sehingga persamaan bisa digunakan untuk estimasi biaya pekerjaan struktur.

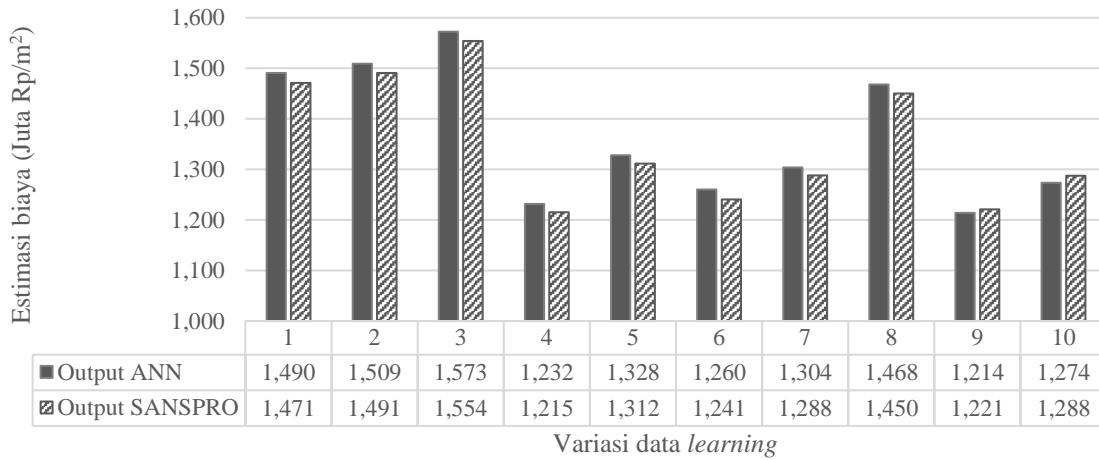
Tabel 4.1. Data *learning* pada tahap validasi persamaan empiris

Variasi Data	Luas 1 Lantai	Jumlah Lantai	Tinggi Kolom	Kelas Situs	Lebar Balok	Tinggi Balok	Dimensi kolom
<i>Learning</i>							
	m ²	n	m		cm	cm	cm
1	375	4	4,25	SC	30	45	50
2	375	5	3,75	SC	30	45	55
3	375	5	4,00	SE	30	45	55
4	540	3	4,00	SC	30	45	50
5	540	4	4,25	SE	30	50	55
6	540	5	3,75	SC	30	50	55
7	540	5	4,00	SC	30	50	60
8	540	5	4,25	SE	35	50	70
9	735	4	4,25	SE	30	55	65
10	735	5	4,00	SE	35	55	75

Tabel 4.2. Nilai persentase *error*/ MMRE data *learning*

Data <i>Learning</i>	<i>Output</i> ANN		<i>Output</i> SANSPRO		Standar Haga Satuan Tertinggi Rata-rata	MMRE
	Total biaya	Biaya per m ²	Total biaya	Biaya per m ²		
	Rp	Rp/m ²	Rp	Rp/m ²	Rp/m ²	%
1	2.235.624.701	1.490.416	2.206.890.444	1.471.260	1.798.975	±1,30
2	2.829.062.259	1.508.833	2.794.718.011	1.490.516	1.841.770	±1,23
3	2.948.466.674	1.572.516	2.914.046.407	1.554.158	1.841.770	±1,18
4	1.995.350.666	1.231.698	1.968.350.197	1.215.031	1.775.200	±1,37
5	2.867.687.755	1.327.633	2.833.442.801	1.311.779	1.798.975	±1,21
6	3.401.940.467	1.259.978	3.350.114.705	1.240.783	1.841.770	±1,55
7	3.521.103.681	1.304.112	3.476.899.831	1.287.741	1.841.770	±1,27
8	3.963.692.415	1.468.034	3.914.747.410	1.449.906	1.841.770	±1,25
9	3.568.886.329	1.213.907	3.588.665.559	1.220.635	1.798.975	±0,55

10	4.680.604.511	1.273.634	4.731.607.755	1.287.512	1.841.770	±1,08
----	---------------	-----------	---------------	-----------	-----------	-------



Gambar 4.3 Grafik perbandingan nilai *output* ANN dan *output* SANSPRO data *learning*

4.2. Validasi Persamaan Empiris terhadap Data *Random*

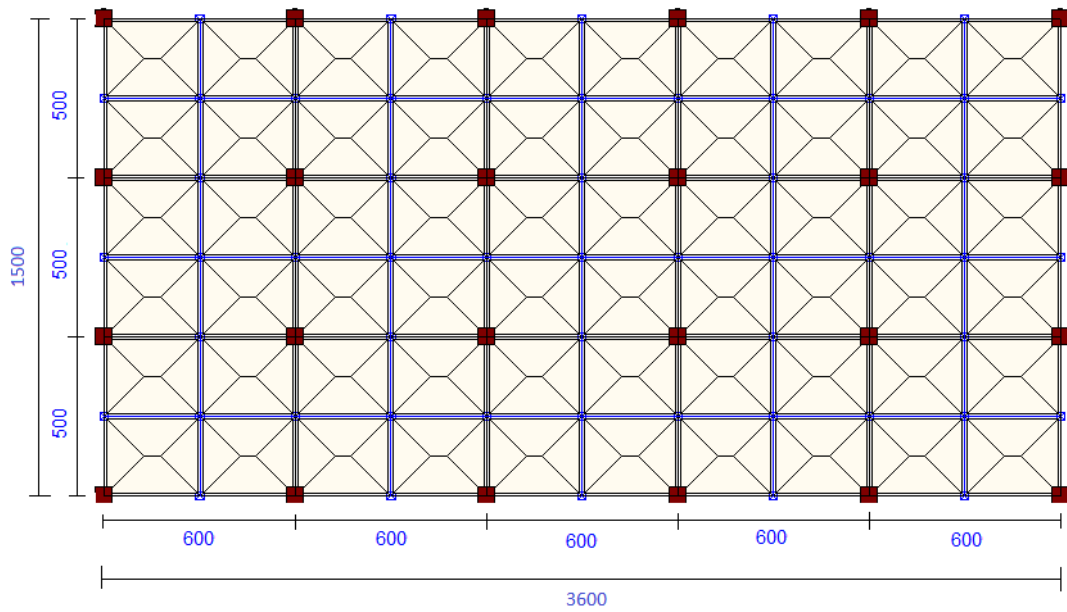
Validasi Persamaan empiris perlu dilakukan menggunakan data *random* agar mengetahui seberapa *valid* persamaan empiris yang dihasilkan. Tahap validasi dicoba terhadap 10 data *random* dengan nilai yang masih dalam rentang data *training*. Sebanyak 10 data *random* tersebut juga dilakukan dianalisis ulang dengan *software* SANSPRO guna memperoleh nilai volume pekerjaan sesuai dengan data uji penelitian. Estimasi biaya pekerjaan struktur hasil persamaan empiris kemudian dibandingkan dengan estimasi biaya hasil analisis *software* SANSPRO. Validasi dilakukan terhadap 2 model denah gedung yang divariasikan terhadap jumlah lantai, tinggi kolom kelas situs dan dimensi penampang. Denah gedung yang digunakan pada tahap validasi dapat dilihat pada Gambar 4.4 dan Gambar 4.5.

Tabel 4.3. Data uji tahap pada tahap validasi persamaan empiris

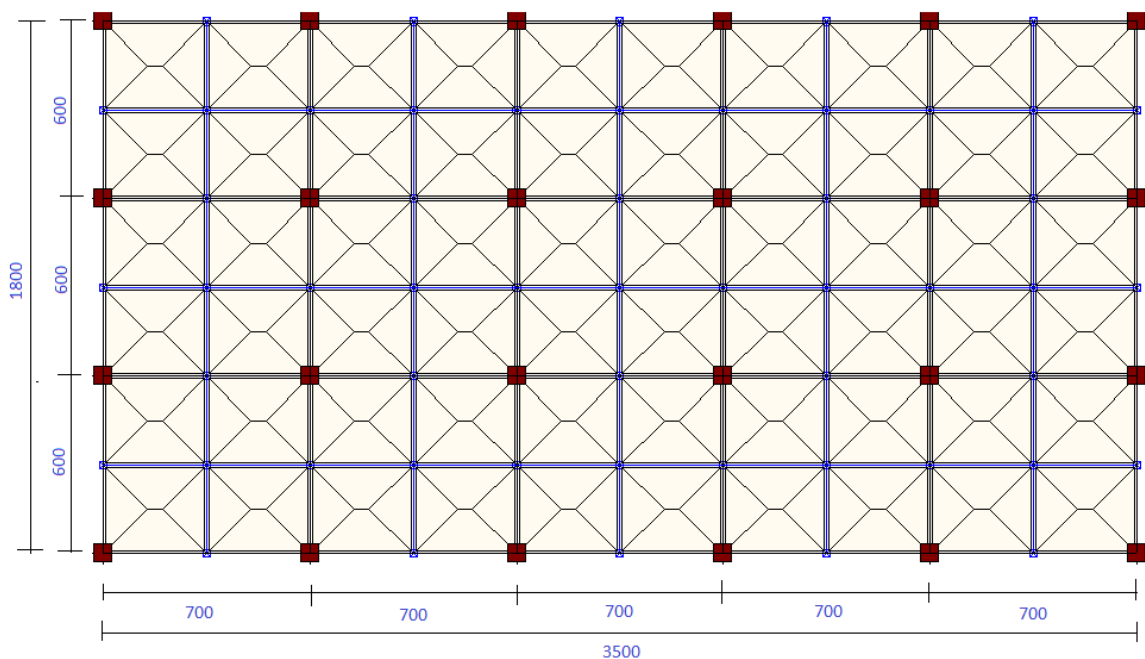
Variasi Data Uji	Luas 1 Lantai m ²	Jumlah Lantai n	Tinggi Kolom m	Kelas Situs	Lebar Balok cm	Tinggi Balok cm	Dimensi kolom cm
1	450	5	4,25	SE	35	50	60
2	450	5	4,00	SD	30	50	60
3	450	4	4,00	SE	30	50	50
4	450	4	3,75	SD	30	50	50
5	450	3	3,75	SC	30	45	50
6	630	5	4,00	SE	35	55	70
7	630	5	4,00	SD	30	55	60
8	630	4	4,00	SE	30	55	60
9	630	4	3,75	SD	30	50	50
10	630	3	3,75	SC	30	50	50

Berdasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum, persentase pekerjaan struktur mencakup 25% sampai dengan 35% dari total nilai pekerjaan struktur sampai tahap *finishing*. Pada gedung rumah sakit yang termasuk bangunan gedung negara tidak sederhana, nilai standar harga satuan tertinggi rata-rata adalah sebesar Rp. 6.340.000 terhadap lantai dasar. Dalam penelitian ini, nilai pekerjaan struktur diambil dari persentase terkecil yaitu sebesar 25% sehingga acuan harga satuan tertinggi rata-rata per m² bangunan bertingkat terhadap lantai dasar sebesar Rp. 1.585.000.

Peraturan Bupati Sleman juga menetapkan nilai faktor pengali pada bangunan bertingkat terhadap lantai dasar. Nilai standar harga tersebut akan dibandingkan juga terhadap estimasi biaya pekerjaan struktur hasil persamaan empiris.



Gambar 4.4 Model gedung data uji (luas 1 lantai 450 m²)

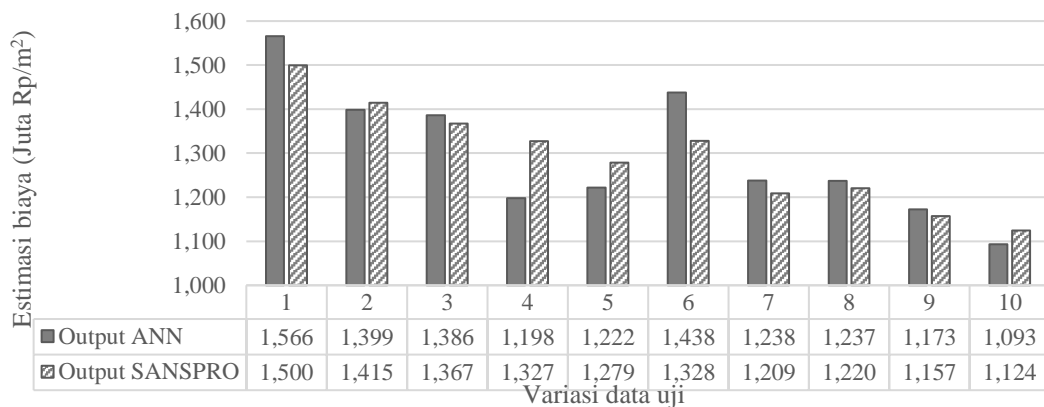


Gambar 4.5 Model gedung data uji (luas 1 lantai 630 m²)

Pada Tabel 4.4 dapat dilihat *output* estimasi biaya pekerjaan dari metode ANN dan hasil analisis *software* SANSPRO terhadap data uji. Dari 10 data uji pada tahap validasi, perbandingan antara data *output* ANN (hasil persamaan empiris) dengan data *output* SANSPRO (hasil perkalian volume pekerjaan dengan AHSP) diperoleh nilai MMRE sebesar $\pm 9,75\%$. Keseluruhan estimasi biaya pekerjaan struktur gedung rumah sakit yang terdiri dari pekerjaan kolom, balok dan pelat masih dibawah standar harga satuan tertinggi rata-rata Kabupaten Sleman.

Tabel 4.4. Nilai persentase *error*/ MMRE data uji

Data Uji	Output ANN		Output SANSPRO		Standar Harga Satuan Tertinggi Rata-rata	MMRE
	Total biaya	Biaya per m ²	Total biaya	Biaya per m ²		
	Rp	Rp/m ²	Rp	Rp/m ²	Rp/m ²	%
1	3.522.710.598	1.565.649	3.373.932.234	1.499.525	1.841.770	± 4,41
2	3.147.187.725	1.398.750	3.182.897.645	1.414.621	1.841.770	± 1,12
3	2.495.567.574	1.386.426	2.460.791.262	1.367.106	1.798.975	± 1,41
4	2.156.066.305	1.197.815	2.389.068.343	1.327.260	1.798.975	± 9,75
5	1.649.279.497	1.221.689	1.726.358.504	1.278.784	1.775.200	± 4,46
6	4.528.997.953	1.437.777	4.183.227.803	1.328.009	1.841.770	± 8,27
7	3.899.843.354	1.238.046	3.808.025.908	1.208.897	1.841.770	± 2,41
8	3.117.455.974	1.237.086	3.074.588.315	1.220.075	1.798.975	± 1,39
9	2.955.127.480	1.172.670	2.916.303.242	1.157.263	1.798.975	± 1,33
10	2.065.522.986	1.092.869	2.124.592.927	1.124.123	1.775.200	± 2,78



Gambar 4.5 Grafik perbandingan estimasi biaya struktur terhadap 10 data *random*

5. Kesimpulan dan Saran

Kinerja model ANN pada estimasi biaya pekerjaan struktur sangat bergantung pada kualitas dan kuantitas data input dalam proses pelatihan. Semakin banyak variasi data input dari variabel penelitian dan semakin rapat rentang data mampu menghasilkan persentase *error* pada data *training* yang relatif kecil. Persamaan empiris estimasi pekerjaan struktur tahap konseptual diperoleh dengan konfigurasi ANN 7-10-1 (9 variabel *input*, 1 *hidden layer* dengan 10 *neuron* dan 1 *output*).

Data *output* pada permodelan ANN berupa estimasi biaya pekerjaan struktur hasil persamaan empiris. Sedangkan data target pada permodelan ANN berupa total biaya yang diperoleh dari perkalian volume pekerjaan hasil analisis *software* SANSPRO dengan AHSP Kabupaten Sleman. Estimasi biaya pekerjaan struktur dari permodelan gedung menghasilkan biaya pekerjaan struktur beton bertulang yang lebih signifikan terhadap dimensi balok dan kolom.

Persentase *error*/ MMRE terbesar antara data *output* dan data target dari 60 variasi data pada tahap *learning* adalah ±1,55%. Dilakukan juga pengujian terhadap persamaan empiris estimasi biaya pekerjaan struktur dengan 10 data *random* yang menghasilkan nilai persentase *error*/MMRE terbesar ±9,75%.

Penelitian ini meninjau estimasi biaya pekerjaan struktur tahap konseptual pada model gedung yang tipikal dengan mutu pekerjaan yang sama. Untuk penelitian lebih lanjut, dapat disarankan



menambah variabel data penelitian yang lebih bervariasi yang sesuai dengan kondisi lapangan. Penambahan variabel penelitian dapat juga mempertimbangkan mutu bahan, ataupun model gedung selain bentuk persegi panjang.

Daftar Pustaka

Jurnal

- [1] A.Y. Prathama, "Pendekatan ANN (*Artificial Neural Network*) untuk Penentuan Prosentase Bobot Pekerjaan dan Estimasi Nilai Pekerjaan Struktur pada Rumah Sakit Pratama," *Jurnal Teknosains*, vol. 7, pp.14-25, 2017.
- [2] G.K. Bekas dan G.E. Stavroulakis, "*Machine Learning and Optimality in Multi Storey Reinforced Concrete Frames*", *MDPI Infrastructures*, 2017

Prosiding Seminar

- [3] A.E.C. Pandelea, M.G. Budescu dan G.M Covatariu, "*Applications of Artificial Neural Networks in Civil Engineering*," pada *2nd International Conference for PhD students in Civil Engineering and Architecture*, pp. 221-229, 2014.

Buku

- [4] Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia Nomor 28/PRT/M/2016 tentang Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP).
- [5] Peraturan Kabupaten Sleman, Peraturan Bupati Nomor 25 Tahun 2019 tentang Standarisasi Harga Barang dan Jasa Tahun Anggaran 2020.
- [6] Peraturan SNI 1727:2018 tentang Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain, ICS BSN.
- [7] Peraturan SNI 2847:Tahun 2018 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan, ICS BSN.
- [8] S. Kusumadewi, *Membangun Jaringan Saraf Tiruan Menggunakan MATLAB & Excel Link*. Yogyakarta: Penerbit Graha Ilmu, 2004.