

OPTIMASI DIMENSI BALOK STRUKTUR PORTAL BETON 3D BANGUNAN KANTOR TIGA LANTAI DENGAN METODE ARTIFICIAL NEURAL NETWORK

Jauhari Prasetiawan

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Islam Al-Azhar, Mataram
Jln. Unizar No. 20 Turida, Mataram
Email: jauhariprasetiawan@gmail.com

ABSTRAK

Optimasi struktur merupakan salah satu tantangan bagi para *engineer* teknik sipil dalam menyediakan desain struktur yang optimal. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan dimensi dan luas tulangan balok serta rumus empirisnya. Metode optimasi yang digunakan adalah dengan pemodelan *Artificial Neural Network* (ANN) menggunakan program MATLAB. Data yang digunakan dalam penelitian ini sebanyak 12 buah dari setiap group dan lantai, yang didapatkan dari hasil pemodelan SAP 2000. Data ini kemudian dimasukkan ke dalam ANN guna mendapatkan rumus empiris. Rumus empiris yang didapatkan kemudian digunakan untuk mendapatkan dimensi dan luas tulangan balok pada portal beton. Didapatkan dua puluh empat rumus empiris yang digunakan untuk mendapatkan prediksi dimensi balok yang optimum dengan variasi bentang balok, bentang kolom, serta parameter percepatan gempa. Semakin meningkatnya parameter percepatan gempa, bentang balok, dan bentang kolom maka luas dimensi beton dan luas tulangan balok akan meningkat.

Kata kunci : optimasi dimensi, balok dan kolom, *Artificial Neural Network*

ABSTRACT

Structure optimization is one of the challenges for civil engineering engineers in providing optimal structure design. The purpose of this study is to obtain dimensions and extent of beam reinforcement and empirical formulas. The optimization method used is modeling Artificial Neural Network (ANN) using the MATLAB program. The data used in this study were 12 pieces from each group and floor, which were obtained from the results of SAP 2000 modeling. This data was then entered into the ANN to obtain the empirical formula. The empirical formula obtained is then used to obtain the dimensions and area of reinforced beams on concrete portals. Obtained twenty-four empirical formulas used to obtain optimum predictions of beam dimensions with variations in beam span, column span, and earthquake acceleration parameters. The increasing parameters of earthquake acceleration, beam span, and column spans will increase the dimensions of concrete and the area of beam reinforcement.

Keywords: dimension optimization, beam and column, Artificial Neural Network

PENDAHULUAN

Saat ini masih belum ada metode langsung untuk mendesain balok maupun kolom struktur, sehingga untuk melakukan perencanaan seorang perencana menggunakan asumsi awal dalam menentukan dimensi struktur tersebut. Salah satu metode untuk mempercepat

proses perhitungan perencanaan struktur bangunan adalah dengan memanfaatkan *Artificial Neural Network* (ANN). Penelitian ini memfokuskan pada bagaimana metode perhitungan struktur bangunan yakni metode ANN dengan tujuan untuk mempermudah daerah yang memiliki keterbatasan SDM, sehingga

diharapkan dapat membantu pemerataan pembangunan di Indonesia. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Bagaimana persamaan empiris untuk masing-masing optimasi pada struktur portal gedung kantor dengan variasi bentang balok, tinggi kolom, jumlah lantai dan resiko gempa.
2. Bagaimana dimensi beton balok yang optimum dengan variasi bentang balok, tinggi kolom, jumlah lantai dan resiko gempa.
3. Bagaimana luas tulangan balok yang optimum dengan variasi bentang balok, tinggi kolom, jumlah lantai dan resiko gempa.
4. Bagaimana pengaruh variasi bentang balok, tinggi kolom, jumlah lantai dan resiko gempa terhadap dimensi beton dan luas tulangan balok.

METODE

Bahan penelitian diperoleh dari hasil optimasi struktur dengan menggunakan software SAP 2000 dan Microsoft Excel.

Alat yang digunakan dalam penelitian ini merupakan beberapa program komputer yang membantu, yaitu Microsoft Excel, SAP 2000 serta MATLAB.

Langkah-langkah penelitian yang dilakukan, secara umum dapat dijabarkan sebagai berikut:

1. Membuat model numeris struktur atap menggunakan program SAP 2000 guna mendapatkan gaya-gaya dalam;
2. Melakukan variasi model dalam beberapa parameter seperti dimensi profil, bentang balok dan tinggi kolom dalam SAP 2000;
3. Menghitung pembebanan struktur dengan acuan PPUG 1983;
4. Menginputkan dimensi balok kolom dan melakukan *trial* menggunakan program SAP 2000 sampai mendapatkan dimensi balok yang optimal.
5. Menganalisa struktur portal sesuai dengan SNI 2847:2013;
6. Hasil pemodelan SAP 2000 berupa dimensi dan luas tulangan diolah terlebih dahulu ke dalam Microsoft Excel untuk mendapatkan nilai dimensi dan luas tulangan yang optimum untuk berbagai variasi.
7. Hasil olahan data pada Microsoft Excel diinputkan ke dalam program MATLAB dengan metode ANN untuk dilatih guna mendapatkan persamaan empiris;
8. Untuk data *input* yang akan dimasukkan ke dalam MATLAB adalah resiko gempa, jenis tanah, bentang balok, tinggi bangunan dan jumlah lantai, sedangkan untuk *input*

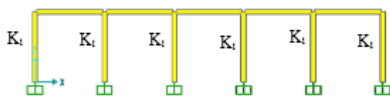
target adalah dimensi balok dan luas tulangan;

9. Dari beberapa rumus empiris yang didapatkan, kemudian digunakan untuk mendapatkan dimensi dan luas tulangan dengan variasi struktur yang lainnya;
10. Melakukan validasi dengan cara menganalisis kembali dimensi yang didapatkan menggunakan rumus empiris tersebut secara random ke dalam SAP 2000.

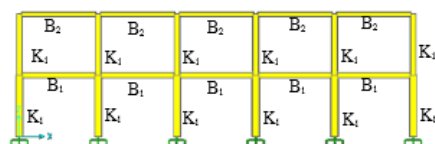
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemodelan Struktur

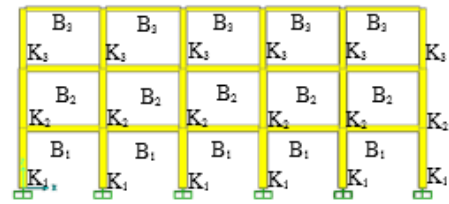
Pada penelitian ini, dilakukan pemodelan struktur dengan menggunakan software SAP 2000, Microsoft Excel, dan MATLAB. SAP 2000 digunakan untuk memodelkan struktur bangunan secara grafis, Microsoft excel untuk memperhitungkan beban-beban yang akan diinputkan pada permodelan bangunan di SAP 2000, data-data output yang diperoleh dalam pemodelan SAP 2000 diinputkan ke dalam program MATLAB untuk mendapatkan rumus empiris.



(a) Variasi 1 lantai



(b) Variasi 1 lantai



(c) Variasi 1 lantai

Pembebanan

Pembebanan yang diberikan pada model struktur bangunan mengacu pada peraturan pembebanan 2013. Untuk beban gempa mengacu pada SNI 03-1726-2012. Untuk penjelasan disini peneliti menggunakan contoh kasus 5.1.

Daerah gempa : Jayapura

Jenis tanah : Lunak

Bentang : 5 m

Tinggi kolom : 4.5 m

Jumlah lantai : 3 lantai

A. Beban mati (*Dead Load, DL*)

Pada penelitian ini pembebanan yang diinputkan pada model struktur akan berubah-ubah sesuai dengan variasi dari model bangunan. Berat sendiri seluruh struktur telah diperhitungkan otomatis pada software SAP 2000.

1. beban plat atap

beban mati pada atap

$$\text{Spesi + Water Proofing} = 50,00 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Plafon dan Penggantung} = 18,00 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{ME dan AC} = 25,00 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Tot. Beban Mati (DL}_{\text{atap}}) = 93,00 \text{ kg/m}^2$$

2. Beban mati beton

Pasir urug	= 36 kg/m ²
Spesi	= 21 kg/m ²
Keramik	= 24 kg/m ²
plafond dan penggantung	= 18 kg/m ²
<u>ME dan AC</u>	<u>= 18 kg/m²</u>
	= 117 kg/m ²
Dinding 1/2 batu bata	= 250 kg/m ²

B. Beban hidup (Live Load, LL)

1. Beban hidup yang diberikan pada model besarnya mengacu besaran pada PPUG 03-1727-1989 pasal 2.1.2 sebagai berikut ini.
2. Beban hidup pada atap
Khusus beban hidup pada atap, beban diambil yang paling menentukan, yaitu beban hujan engan nilai maksimal 20 kg/m² dan beban hidup berupa beban manusia senilai 100 kg/m², sehingga diambil nilai sebesar 100 kg/m²
3. Beban hidup pada lantai
Lantai sekolah, ruang kuliah, kantor, toko, toserba, restoran, hotel, dan asrama sebesar 250 kg/m²

C. Beban angin (Wind Load, WL)

P yang nilainya minimum sebesar 25 kg/m². Beban ini distribusikan pada *joint* struktur berdasarkan arah angin, dengan pendistribusian beban sebagai berikut.

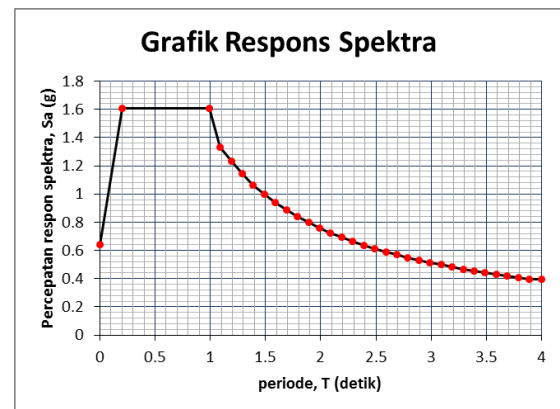
Beban angin tekan = 22,5 kg/m²

Beban angin hisap = -10 kg/m²

D. Beban gempa

Beban gempa yang diberikan pada model mengacu pada SNI 03-1726-2012. Berikut akan dijelaskan bagaimana perhitungan berat struktur dan perhitungan beban gempa.

Dengan menggunakan bantuan software dari situs *puskim.pu.go.id* didapatkan nilai periode, T (detik) dan nilai percepatan respon spektrum, Sa (g) sebagai berikut:



Gambar 1. Grafik respon spektrum Koefisien respon seismik yang akan digunakan adalah 0.301.

$$V = C_s W \quad (5.6)$$

Tabel 1. Berat struktur pertingkat

Lt	W
3	73116
2	101232
1	110934
W _{tot}	285282

$$V = 0,301 \times 285282 = 85884,1461 \text{ kg}$$

Tabel 2. Perhitungan beban gempa

Lt	W _i (Kg)	Tinggi per lt (m)	H _i (m)	H _i ^k (m)	W _i .H _i ^k	C _{vx}	F _x	V _x	M _s	E-W (EQy)	N-S (EQx)
3	73116	4,5	13,5	13,5	987066	0,412	35361	89110	801997	17822	14851
2	101232	4,5	9	9	911088	0,38	30693	53749	241873	10749	8958
1	110934	4,5	4,5	4,5	499203	0,29	23056	23056	0	4611	3842
W _{tot}	285282				2397357						

Desain struktur menggunakan SAP 2000

Setelah mendapatkan beban gempa, data tersebut diinputkan ke dalam SAP 2000. Dari output SAP 2000 diperoleh dimensi balok yang optimal.

Optimasi struktur menggunakan ANN

Data yang didapat dari hasil pemodelan SAP 2000 seperti dalam tabel di atas, kemudian digunakan sebagai *input* dalam pemodelan *Artificial neural network*.

Pemodelan *Artificial neural network* menggunakan bantuan program MATLAB untuk mendapatkan rumus empiris untuk dimensi dan luasan tulangan balok yang optimum untuk masing-masing group.

Untuk memasukkan data-data tersebut ke dalam ANN, perlu dilakukan normalisasi data agar error yang dihasilkan ANN relatif kecil.

Selanjutnya adalah dengan memasukkan data tersebut ke dalam program MATLAB dengan metode *Artificial neural network*, berikut bahasa pemrograman yang digunakan.

```
clear;
% Data input & target
```

```
Data = [...
0.043 1.000 0.600 0.777 1.000 0.562
0.043 1.000 0.600 1.000 1.000 0.562
0.043 1.000 1.000 0.777 1.000 0.765
0.043 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000
0.682 1.000 0.600 0.777 1.000 0.562
0.682 1.000 0.600 1.000 1.000 0.562
0.682 1.000 1.000 0.778 1.000 1.000
0.682 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000
1.000 1.000 0.600 0.778 1.000 0.765
1.000 1.000 0.600 1.000 1.000 0.765
1.000 1.000 1.000 0.778 1.000 1.000
1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.00];
P = Data(:,1:5);
T = Data(:,6);
```

```
% Membangun jaringan syaraf
feedforward
net = newff(minmax(P),[2 1],{'logsig'
'purelin'},'trainscg');
% Set max epoch, goal, learning rate,
momentum, show step
net.trainParam.epochs = 35000;
net.trainParam.goal = 1e-11;
net.trainParam.lr = 0.05;
net.trainParam.mc = 0.75;
net.trainParam.show = 100;
net.trainParam.min_grad = 1e-9;
% Melakukan pembelajaran
net = train(net,P,T);
% Melihat bobot-bobot awal input, lapisan
dan bias
BobotAwal_Input = net.IW{1,1};
BobotAwal_Bias_Input = net.b{1,1};
BobotAwal_Lapisan = net.LW{2,1};
BobotAwal_Bias_Lapisan = net.b{2,1};
```

Selanjutnya dilakukan *running* untuk mengetahui berapa regresi antara *output* dengan target, serta mendapatkan konstanta untuk rumus empiris yang akan

digunakan untuk memperoleh dimensi balok selain data yang dimasukkan ke dalam permodelan *Artificial neural network*. Berikut adalah konstanta yang didapatkan dari hasil *running Artificial neural network* pada program MATLAB.

$$\begin{aligned} V_{[1,1]} &= 22,08 & V_{[2,4]} &= 3,82 \\ V_{[1,2]} &= -9,5498 & V_{[2,5]} &= 0,51 \\ V_{[1,3]} &= 36,78 & b_{[1,1]} &= -25,20 \\ V_{[1,4]} &= -2,1E-05 & b_{[1,2]} &= -24,11 \\ V_{[1,5]} &= -9,55 & W_{[1,1]} &= 0,44 \\ V_{[2,1]} &= -11,90 & W_{[2,1]} &= 3,23 \\ V_{[2,2]} &= 0,51 & b_{[2,1]} &= 0,56 \end{aligned}$$

Dimana:

X = data *input*

V_{ij} = bobot awal *input*

W_{ij} = bobot awal lapisan

b_{ij} = bobot bias

Y = *Output*

$Y = (Z_i \cdot W_{[i,j]}) + b_{[i,j]}$

$$Z_i = \frac{1}{1 + e^{-Z_{inj}}}$$

$$Z_{inj} = (X_i \cdot V_{[i,j]}) + b_{[i,j]}$$

Dari konstanta hasil *running* tersebut, dapat di bentuk menjadi rumus empiris seperti berikut:

$$\begin{aligned} Z_{in1} &= -25,20 + 22,08x_1 + -9,55x_2 + 36,78x_3 \\ &\quad + -2,1E-05x_4 + -9,55x_5 \\ Z_{in2} &= -24,11 + -11,89x_1 + 0,51x_2 + 17,94x_3 \\ &\quad + 3,82x_4 + 0,51x_5 \\ Y &= 4,36 + (-3,80Z_1) + (0,44Z_2) \end{aligned}$$

Sebagai contoh diambil 1 data yaitu data dengan bentang 5 m, tinggi kolom 4,5 m, terletak di daerah Jayapura group K₁.

Tabel 3. Data variabel *input* dan target

Data Asli		Data setelah normalisasi	
X1	= 2,67	X1	= 1
X2	= 356	X2	= 1
X3	= 3 m	X3	= 1
X4	= 4,5 m	X4	= 1
X5	= 3 m	X5	= 1
Y_{input}	= 160000 mm ²	Y_{input}	= 1

Maka:

$$\begin{aligned} Z_{in1} &= -25,20 + 22,08x_1 + -9,55x_1 + 36,78x_1 + -2,1E-05x_1 + -9,55x_1 \\ &= 14,57 \\ Z_{in2} &= -24,11 + -11,89x_1 + 0,51x_2 + 17,94x_3 + 3,82x_4 + 0,51x_5 \\ &= -13,23 \\ Z_1 &= \frac{1}{1 + e^{-(14,57)}} = 1 \\ Z_2 &= \frac{1}{1 + e^{-(-13,23)}} = 1,79E-06 \\ Y &= 0,56 + (0,44x_1) + (3,23x_1,79E-06) \\ &= 1,0000270 \end{aligned}$$

Untuk membalikkan hasil normalisasi = $Y_{target} \times Y_{input}$ yang terbesar

$$\begin{aligned} &= 1,0000270 \times 160000 \\ &= 160004,316 \\ \text{Error} &= \frac{Y_{ANN} - Y_{target}}{Y_{target}} \times 100 \\ &= \frac{160004,316 - 160000}{160000} \times 100 = 0,00270\% \end{aligned}$$

Terlihat bahwa nilai kesalahan yang diperoleh di bawah 5%. Sehingga rumus empiris dapat digunakan untuk mencari dimensi optimum balok lainnya dengan variasi lokasi gempa, bentang balok, tinggi kolom dan jumlah lantai.

Luas tulangan optimum balok

Untuk mendapatkan luas tulangan yang optimum, peneliti menggunakan variabel *input* berupa daerah gempa yang diwakili oleh parameter percepatan respon

spektra MCE (S_s), jenis tanah, bentang balok, tinggi kolom, jumlah lantai dan dimensi balok yang diwakili oleh luas penampang.

Tabel 4. input Artificial Neural Network luas tulangan kolom

S_s	Jenis Tanah	Bentang Balok	Tinggi kolom	Jumlah Lantai	Luas Penampang (Ac) B1	Luas Tulangan (As) B1
X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	Y
0.0437	1.0000	0.6000	0.7778	1.0000	0.50000	0.29471
0.0437	1.0000	0.6000	1.0000	1.0000	0.50000	0.37047
0.0437	1.0000	1.0000	0.7778	1.0000	0.50000	0.43581
0.0437	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.77778	0.60251
0.6827	1.0000	0.6000	0.7778	1.0000	0.50000	0.37463
0.6827	1.0000	0.6000	1.0000	1.0000	0.77778	0.63156
0.6827	1.0000	1.0000	0.7778	1.0000	0.88889	0.69425
0.6827	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.88889	0.98306
1.0000	1.0000	0.6000	0.7778	1.0000	0.77778	0.59577
1.0000	1.0000	0.6000	1.0000	1.0000	0.88889	0.71014
1.0000	1.0000	1.0000	0.7778	1.0000	0.88889	0.83762
1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.00000	1.00000

Selanjutnya adalah dengan memasukkan data tersebut ke dalam program MATLAB untuk permodelan *Artificial neural network*, berikut bahasa pemrograman yang digunakan.

```
clear;
% Data input & target
Data = [...
0.0437 1.0000 0.6000 0.7778 1.0000
0.50000 0.29471
0.0437 1.0000 0.6000 1.0000 1.0000
0.50000 0.37047
0.0437 1.0000 1.0000 0.7778 1.0000
0.50000 0.43581
0.0437 1.0000 1.0000 1.0000 1.0000
0.77778 0.60251
0.6827 1.0000 0.6000 0.7778 1.0000
0.50000 0.37463
0.6827 1.0000 0.6000 1.0000 1.0000
0.77778 0.63156
```

```
0.6827 1.0000 1.0000 0.7778 1.0000
0.88889 0.69425
0.6827 1.0000 1.0000 1.0000 1.0000
0.88889 0.98306
1.0000 1.0000 0.6000 0.7778 1.0000
0.77778 0.59577
1.0000 1.0000 0.6000 1.0000 1.0000
0.88889 0.71014
1.0000 1.0000 1.0000 0.7778 1.0000
0.88889 0.83762
1.0000 1.0000 1.0000 1.0000 1.0000
1.00000 1.00000];
P = Data(:,1:6)';
T = Data(:,7)';
```

Selanjutnya dilakukan *running* untuk mengetahui berapa regresi antara *output* dengan target, serta mendapatkan konstanta untuk rumus empiris yang akan digunakan untuk memperoleh dimensi balok selain data yang dimasukkan ke

dalam permodelan *Artificial neural network*. Berikut adalah hasil *running Artificial neural network* pada program MATLAB.

V[1,1] = 1.24	V[2,4] = -3.93
V[1,2] = 1.3079	V[2,5] = 1.62
V[1,3] = -3.93	V[2,6] = 5.92
V[1,4] = -15.00	b[1,1] = 3.33
V[1,5] = 1.31	b[1,2] = -5.44
V[1,6] = 12.82	W[1,1] = -1.14
V[2,1] = 1.50	W[2,1] = 2.01
V[2,2] = 1.62	b[2,1] = 0.29
V[2,3] = -0.05	

Dari konstanta hasil *running* tersebut, dapat di bentuk menjadi rumus empiris seperti berikut:

$$Z_{in1} = 3.33 + 1.24 x_1 + 1.31 x_2 + -3.92 x_3 + (-15.00 x_4) + 1.31 x_5 + 12.83 x_6$$

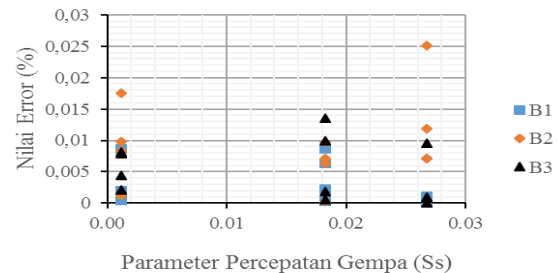
$$Z_{in2} = (-5.44) + 1.49x_1 + 1.62x_2 + (-0.05x_3) + (-3.93x_4) + 1.62x_5 + 5.92x_6$$

$$Y = -10,17 + 11,23 Z_1 + (-0,36 Z_2)$$

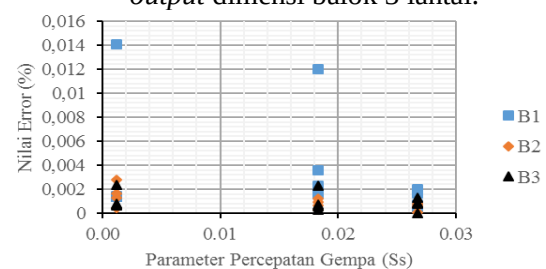
Sebaran nilai *error* rumus empiris

Sebaran nilai *error* hasil prediksi menggunakan metode *Artificial neural network* terhadap target *output* dimensi balok dan luas tulangan balok dengan variasi. Parameter percepatan gempa, bentang balok dan tinggi kolom dapat dilihat pada Gambar 2 dan Gambar 3. Dimana dapat terlihat nilai *error* atau beda terbesar antara perhitungan yang dilakukan menggunakan SAP 2000 dengan perhitungan menggunakan metode ANN adalah sebesar 4,2% untuk nilai *error* pada

target *output* dimensi kolom dan untuk nilai *error* pada target *output* luas tulangan sebesar 1,36%. Nilai *error* tersebut masih dalam toleransi karena kurang dari 5%.



Gambar 2. Sebaran nilai *error* hasil prediksi dari simulasi ANN terhadap target *output* dimensi balok 3 lantai.



Gambar 3. Sebaran nilai *error* hasil prediksi dari simulasi ANN terhadap target *output* luas tulangan balok 3 lantai

Hasil optimasi menggunakan metode ANN

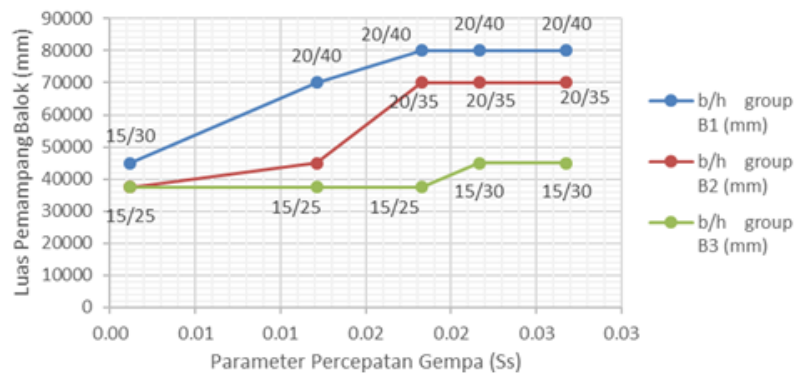
Setelah melakukan interpolasi menggunakan rumus empiris dari metode *Artificial Neural Network* didapatkan dimensi dan luas tulangan balok kolom yang optimum.

Dari tabel 5 sampai 7 dan gambar 4 sampai 6 dapat dilihat hubungan antara luas penampang balok dengan parameter percepatan gempa (S_s) dan luas tulangan balok dengan parameter percepatan gempa (S_s). Dimana terlihat semakin meningkatnya nilai parameter percepatan gempa (S_s) maka nilai luas penampang

balok dan luas tulangan balok cenderung mengalami peningkatan.

Tabel 5. Hasil optimasi dimensi balok bentang 4 m dan tinggi kolom 4 m dengan ANN pada model 3 lantai

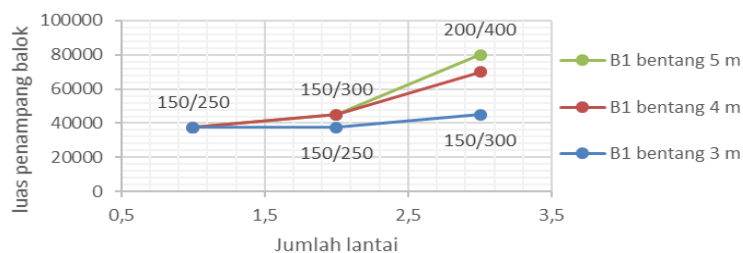
Ss	Daerah Resiko Gempa	Bentang	Tinggi Kolom	Jumlah lantai	b/h group B1 (cm)	b/h group B2 (cm)	b/h group B3 (cm)	b/h dengan L/12
0.12	Merauke	4	4	3	15/30	15/25	15/25	20/35
1.21	Yogyakarta	4	4	3	20/35	15/30	15/25	20/35
1.83	Aceh	4	4	3	20/40	20/35	15/25	20/35
2.16	Palu	4	4	3	20/40	20/35	15/30	20/35
2.68	Jayapura	4	4	3	20/40	20/35	15/30	20/35



Gambar 4 hubungan parameter percepatan tanah dengan luas penampang balok

Tabel 6. Hasil optimasi dimensi balok bentang 3 m dan tinggi kolom 4 m dengan ANN pada parameter percepatan gempa (Ss) 1,83

Ss	Daerah Resiko Gempa	Bentang	Tinggi Kolom	jumlah lantai	b/h group B1 (mm)
1.83	Aceh	3	4	3	15/30
1.83	Aceh	3	4	2	15/25
1.83	Aceh	3	4	1	15/25
1.83	Aceh	4	4	3	20/35
1.83	Aceh	4	4	2	15/30
1.83	Aceh	4	4	1	15/25
1.83	Aceh	5	4	3	20/40
1.83	Aceh	5	4	2	15/30
1.83	Aceh	5	4	1	15/25



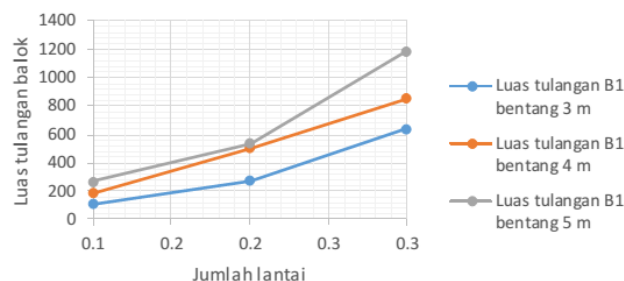
Gambar 5. Hubungan jumlah lantai dengan dimensi balok di daerah Aceh

Pada tabel 8 dan gambar 5 sampai 6 terlihat bahwa dengan meningkatnya jumlah lantai, maka dimensi kolom dan balok pada daerah Aceh cenderung meningkat tabel 5 hasil

optimasi luas tulangan kolom dan balok tinggi kolom 4 m dengan ANN pada parameter percepatan gempa (S_s) 1,83

Tabel 7. Persentase kenaikan luas tulangan balok

Ss	Daerah Resiko Gempa	Bentang	Tinggi Kolom	jumlah lantai	b/h group B1 (mm)	Persentase kenaikan	
						Luas tulangan kolom	Luas tulangan balok
1.83	Aceh	3	4	3	641	43%	132%
1.83	Aceh	3	4	2	277	199%	151%
1.83	Aceh	3	4	1	110	85%	87%
1.83	Aceh	4	4	3	857	62%	70%
1.83	Aceh	4	4	2	504	171%	164%
1.83	Aceh	4	4	1	190	83%	84%
1.83	Aceh	5	4	3	1189	56%	121%
1.83	Aceh	5	4	2	539	148%	100%
1.83	Aceh	5	4	1	270	-	-



Gambar 6 Hubungan jumlah lantai dengan luas tulangan balok di daerah Aceh

Validasi dilakukan secara random terhadap data yang telah diperoleh melalui rumus empiris *Artificial neural network*. Hasil akhir dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan dimensi optimum balok dan luas tulangan balok. Sehingga data yang akan di validasi adalah dimensi dan luas tulangan yang diperoleh dari rumus empiris akan dibandingkan dengan dimensi dan luas tulangan yang didapatkan dari hasil desain SAP 2000.

Untuk validasi peneliti mengambil data secara *random* di luar data-data yang menjadi variabel *input*, tetapi masih dalam populasi.

Tabel 8. Data validasi

Ss	Daerah Resiko Gempa	Bentang	Tinggi kolom	jumlah lantai
1.21	Yogyakarta	3	3.5	3
2.16	Palu	5	4.0	3
2.68	Jayapura	4	4.5	3

Tabel 9. Validasi perbandingan luas tulangan balok *Output* SAP 2000 dengan *Output* ANN

S _s	Daerah Resiko Gempa	Output SAP 2000			Output ANN			Error		
		A _s B ₁	A _s B ₂	A _s B ₃	A _s B ₁	A _s B ₂	A _s B ₃	A _s B ₁	A _s B ₂	A _s B ₃
1.21	Yogyakarta	579	440	166	573	472	153	1 %	7 %	9 %
2.16	Palu	1199	1098	430	1142	1029	451	5 %	7 %	5 %
2.68	Jayapura	1591	1233	514	1528	1180	496	4 %	5 %	4 %

Dari tabel hasil validasi dapat dilihat perbandingan antara perencanaan menggunakan SAP 2000 dengan prediksi perencanaan balok yang menghasilkan nilai luas tulangan 166 mm² untuk perencanaan menggunakan SAP 2000 dan 153 mm² menggunakan prediksi perencanaan menggunakan metode ANN. Persentase *error* atau kesalahan yang paling besar adalah 9% yang terjadi pada data luas tulangan

KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat ditarik dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Didapatkan dua belas rumus empiris yang digunakan untuk mendapatkan prediksi dimensi balok dan kolom yang optimum dengan variasi bentang balok, bentang kolom, serta parameter percepatan gempa.
- Persentase *error* terbesar dari interpolasi rumus empiris terjadi pada data luas tulangan balok sebesar 9%, dengan variasi parameter percepatan gempa 1,21 yang terletak di daerah resiko gempa Yogyakarta.
- Semakin meningkatnya parameter percepatan gempa, jumlah lantai,

bentang balok, serta bentang kolom, maka luas penampang beton dan luas tulangan kolom maupun balok akan meningkat.

DAFTAR PUSTAKA

- Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan. 1983. *Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung*. Bandung.
- Kusumadewi, S. 2004. *Membangun Jaringan Saraf Tiruan Menggunakan MATLAB & Excel Link*. Yogyakarta: Penerbit Graha Ilmu.
- Muhtarom, A. 2012. *Penggunaan ANN untuk Prediksi Tegangan pada Balok Kastela Hexagonal Bentang 1 Meter*. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.
- Naftali, Y. 1999. *Optimasi Beton Bertulang Pada Struktur Portal Ruang*. Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
- Priyosulistyo, H. 2014. *Struktur Kolom*. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.
- Rao, S. 2007. Hybrid Neural Network Model for The Design of Beam Subjected to Bending and Shear, *Shadana* (32)5: 577-586.

SNI. 2012. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung dan non Gedung*. ICS BSN

SNI. 2013. *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung*. ICS BSN

Suhairil, M. 2012. Frame Optimization using Neural Network. *International journal on advanced Science Engineering Information Technology* 2(1).

Wiryanto D. 2007. *Komputer Rekayasa Struktur dengan SAP 2000*. Lumina-press