ESTIMASI DIMENSI OPTIMUM DAN RASIO TULANGAN GEDUNG HOTEL YOGYAKARTA DENGAN ARTIFICIAL NEURAL NETWORK

Kinanti Faradiba Harahap[1], Akhmad Aminullah[2] dan Henricus Priyosulistyo[3]

[1]Mahasiswa / Magister / Teknik Sipil / Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan / Universitas Gadjah Mada

[2]Dosen / Teknik Sipil / Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan / Universitas Gadjah Mada

[3] Dosen / Teknik Sipil / Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan / Universitas Gadjah Mada

ABSTRACT

Cost estimation at the conceptual design stage of a building is necessary because it is considered as a fundamental input in further decision making. This paper presented a neural network method in approximating the optimum dimension and the minimum reinforcement ratio of beams and columns at the conceptual design stage of hotel buildings in Yogyakarta. A group of 27 building variations were prepared as the training data for the set up neural network model. Fourteen empirical formulas were obtained which could be used to estimate the optimum dimension and minimum reinforcement ratio of beams and columns with 5 parameters which consist of soil sites class, beam spans, number of floors, concrete strengths and diameters of the reinforcing bar.

Keyword*:* *building, estimation, neural network, optimum dimension, reinforcement ratio*

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Yogyakarta adalah salah satu provinsi di Indonesia yang memiliki tempat pariwisata yang diminati oleh wisatawan lokal maupun mancanegara sehingga pembangunan hotel sebagai salah satu fasilitas penunjang kegiatan pariwisata cukup pesat di daerah tersebut. Namun, di sisi lain Yogyakarta merupakan daerah rawan gempa yang memiki beberapa sesar aktif serta Pantai Selatan Yogyakarta pun menghadap *megathrust* selatan Pulau Jawa.

Beberapa syarat yang harus dipenuhi dalam mendesain struktur yang andal adalah *safety*, *serviceability*, *durability* dan juga *affordability*. Syarat-syarat tersebut dapat terpenuhi apabila pemilihan konfigurasi struktur tepat. Konfigurasi tersebut antara lain seperti sistem struktur, perletakan, dimensi dan mutu material yang digunakan. Biaya komputasi yang tinggi membuat sulit untuk mengimplementasikan proses pengoptimalan desain bangunan terlebih ketika berhadapan dengan dinamik, seperti beban seismik, dan bangunan berskala besar, *overload* dan inelastik [1]. Selain itu, saat ini metode langsung dalam perancangan dimensi balok dan kolom belum tersedia sehingga biasanya perencana menggunakan asumsi-asumsi awal [2]. Dalam asumsi tersebut itupun diperlukan *engineer* yang memiliki kemampuan dalam menilai secara intuitif yang didasarkan pada disiplin ilmu rekayasa (*engineering)*.

Artificial Neural Network (ANN) adalah salah satu metode yang dapat mempermudah dan mempercepat pemecahan masalah dalam perencanaan awal suatu struktur. ANN memungkinkan untuk mendapatkan estimasi yang akurat meskipun dengan keterbatasan informasi yang diberikan. Pendekatan ini mendorong proses masukan yang dapat membantu perencana untuk mencapai solusi yang optimal.

Manfaat penelitian ini adalah untuk membantu perencana mendapatkan gambaran awal dimensi optimum serta rasio tulangan minimum balok dan kolom gedung hotel di Yogyakarta pada tahap konseptual desain sebelum melakukan perhitungan detail struktur.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Estimasi dan Optimasi

Estimasi konseptual dapat digunakan untuk meninjau alternatif-altenatif yang dibuat perihal konstruksi proyek pada tahap awal sehingga dapat memberikan gambaran

keperluan biaya konstruksi proyek secara umum yang dapat dijadikan salah satu masukan bagi studi kelayakan [3].

Tahap desain konseptual adalah peluang terbesar untuk memaksimalkan kinerja suatu bangunan. Selain itu, keputusan desain sering mempengaruhi berbagai aspek kinerja bangunan, yang sering kontras satu sama lain. Dalam hal ini, teknik *building performance optimization* (BPO) dapat berguna bagi perencana guna mempertimbangkan berbagai variabel desain secara bersamaan [4]

Desain struktural yang optimal adalah desain yang meminimalkan atau memaksimalkan fungsi tertentu namun masih memenuhi persyaratan desain yang ada. Biasanya optimasi dilakukan pada ukuran struktur dimana persyaratan yang harus dipenuhi adalah kekuatan dan kekakuannya [5].

2.2 Pemodelan dan Analisis Struktur

Respon gempa terhadap struktur sangat dipengaruhi oleh bentuk bangunan itu sendiri. Bangunan dengan bentuk yang beraturan, sederhana dan simetris akan berperilaku lebih baik dibanding bangunan yang tidak beraturan [6]. Penggunaan parameter desain dari kode seismik yang berbeda-beda dapat meningkatkan kinerja struktur untuk mencapai tingkat keamanan yang memadai di bawah eksitasi gempa yang diperkirakan akan terjadi selama masa efektif struktur. Pada struktur rangka beton bertulang, dimensi dan rasio penulangan masing-masing dirancang berdasarkan *drift ratio* dan kriteria kekuatan [8].

Arah getaran gedung pada mode 1 dan 2 tidak boleh mengalami torsional karna hal ini tidak baik untuk keamanan gedung. Pada SNI Gempa 03-1726-2019 Pasal 7.9.1.1 disebutkan bahwa analisis harus menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar 100% dari massa struktur. Namun sebagai alternatif, analisis diizinkan untuk memasukkan jumlah ragam minumum yakni 90% dari massa aktual dari masing-masing arah horizontal ortogonal dari respons yang ditinjau oleh model [7]. Sistem struktur yang digunakan pada penelitian ini adalah Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Sesuai peraturan SNI 03-2847-2019 bahwa mendesain bangunan dengan kategori SRPMK harus memenuhi beberapa persyaratan yang terdapat pada 18.6. dan 18.7 [9].

2.3 Pembebanan

Pada penelitian ini dinding dimodelkan menggunakan beban merata sepanjang balok. Beban merata dari berat dinding bata akan ditambahkan dengan cara sebagai berikut.

$$q_{beam} = (H_i - H_b) \cdot q_{wall} \qquad (2.1)$$

Sesuai peraturan RSNI2:1727:2018 bahwa mendesain gedung dan struktur lainnya harus menggunakan ketentuan pasal terkait kombinasi pembebanan [10]. Pada penelitian ini peneliti menggunakan 7 kombinasi pembebanan yang terdapat pada Pasal 2.3.

2.4 Artificial Neural Network

Artificial Neural network (ANN) dianggap teknik yang tepat untuk digunakan dalam menyederhanakan masalah kompleks dan memakan waktu. Hal tersebut ditunjukkan dari kemampuannya untuk memproses dan mempetakan data dan informasi eksternal berdasarkan pengalaman masa lalu [11].

Tingkat akurasi perkiraan ANN tergantung dari tingkat korelasi antara parameter *input* dan *output*. Dengan kata lain, kinerja ANN sangat tergantung pada pilihan parameter *input*nya. Selain itu hal yang dapat mempengaruhi kinerja ANN adalah dari parameter konfigurasi ANN itu sendiri seperti jumlah neuron pada lapisan tersembunyi, fungsi aktivasi neuron, algoritma pelatihan dan metode yang digunakan untuk klasifikasi [12].

Fungsi matematis yang diperoleh dari hasil *training* di MATLAB dapat dievaluasi dengan 2 metode yakni MSE (*Mean Square Error*) dan MMRE (*Mean Magnitude of Relative Error*) [13]. Berikut adalah penjabaran rumusnya.

$$MSE = \frac{1}{n} \Sigma_{t=1}^{n} (aktual - estimasi)^2 \qquad (2.2)$$

$$MMRE = \frac{1}{n} \Sigma_{t=1}^{n} \frac{aktual - estimasi}{aktual} \qquad (2.3)$$

3. METODE PENELITIAN

3.1 Parameter Penelitian

Pada penelitian ini parameter yang dipilih adalah sebagai berikut.

a. Kelas situs tanah SC, SD dan SE.
b. Bentang balok 4m, 6m dan 8m.
c. Jumlah lantai 3, 5 dan 7.
d. Mutu beton fc’ 25, 30 dan 35 MPa.
e. Diameter baja tulangan D16 – D25.

3.2 Prosedur Penelitian

Secara umum prosedur penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut.

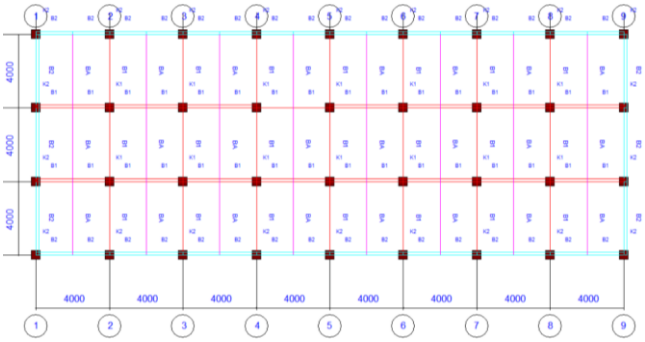
a. Membuat variasi pemodelan gedung sesuai dengan parameter yang sudah ditentukan.
b. Menganalisa struktur gedung sesuai dengan SNI 2847:2019 dan SNI 1726:2019.
c. Hasil permodelan berupa dimensi, penulangan balok dan kolom diolah terlebih dahulu ke dalam Microsoft Excel dalam berbagai variasi.
d. Hasil olahan data pada Microsoft Excel di*input* ke dalam MATLAB dengan metode ANN untuk dilatih guna mendapatkan persamaan empiris.
e. Untuk mendapatkan rumus empiris dimensi balok dan kolom, data *input* yang akan dimasukkan ke dalam MATLAB adalah kelas situs tanah, bentang balok, jumlah lantai dan mutu beton.
f. Sedangkan untuk rumus empiris rasio tulangan minimum *input* nya adalah kelas situs tanah, bentang balok, jumlah lantai, mutu beton, dimensi balok dan kolom serta diameter tulangan. Khusus untuk estimasi rasio penulangan, target di estimasi persatu lantai, sehingga *output* yang didapatkan pada lantai 1 nanti akan menjadi *input* di estimasi penulangan lantai 2 dan begitu seterusnya.
g. Sebelum melakukan pembelajaran, data *input* dan target di normalisasi terlebih dahulu dengan cara membagi semua data dengan nilai data maksimumnya.
h. Dari beberapa rumus empiris yang didapatkan, kemudian digunakan untuk mendapatkan dimensi optimum dan rasio tulangan minimum dengan model gedung yang lainnya.
i. Melakukan validasi dengan cara menganalisis kembali dimensi optimum dan rasio tulangan minimum yang didapatkan menggunakan rumus empiris tersebut secara acak ke dalam SANSPRO.

4. HASIL PENELITIAN

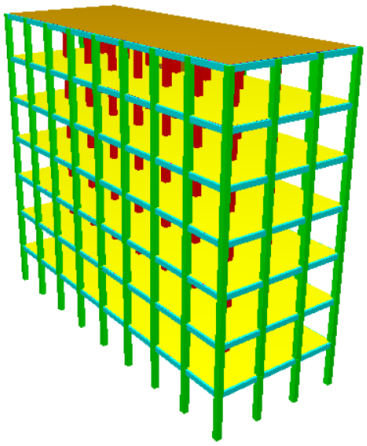
Total variasi gedung dari penelitian ini adalah 27. Hasil analisis yang dijabarkan merupakan salah satu contoh permodelan gedung 7 lantai.

4.1 Pemodelan Struktur

Pemodelan struktur dibuat secara tipikal dengan menggunakan 2 jenis kolom dan 3 jenis balok. Kolom terdiri dari kolom interior dan eksterior, sedangkan balok terdiri dari balok interior, eksterior dan anak.



Gambar 1. Denah pemodelan gedung variasi 1



Gambar 2. Tampak pemodelan gedung variasi 1

4.2 Pembebanan

4.2.1 Beban mati

a. Pelat
   1) *Ceiling + hanger* = 18 kg/m^2
   2) Mortar (5 cm) = 100 kg/m^2
   3) Spesi dan keramik = 15 kg/m^2
   4) ME = 50 kg/m^2
b. Balok
   1) Balok B_1 = 5.25 kg/m^2
   2) Balok B_2 = 5.33 kg/m^2

4.2.2 Beban hidup

Berdasarkan SNI 1727;2019 beban hidup untuk lantai kamar hotel sebesar 200 kg/m^2, pada pelat tangga 480 kg/m^2 serta pada pelat atap *deck* sebesar 250 kg/m^2.

4.2.3 Beban Gempa (*Earthquake Load*, EL)

Pada penelitian ini sistem struktur yang digunakan adalah sistem rangka pemikul momen khusus yang mana nilai R = 8, C_d = 5,5 dan Ω_0 = 3. Dalam analisis dinamik perlu

dilakukan verifikasi terhadap periode fundamental, arah getaran, partisipasi massa, skala terhadap gaya geser dasar. Hal tersebut dilakukan agar terpenuhinya beberapa persyaratan yang sudah ditetapkan. Setelah melakukan verifikasi pada analisis dinamik maka dapat dilakukan desain. Dari hasil desain ini didapatkan rasio tulangan balok dan kolom.

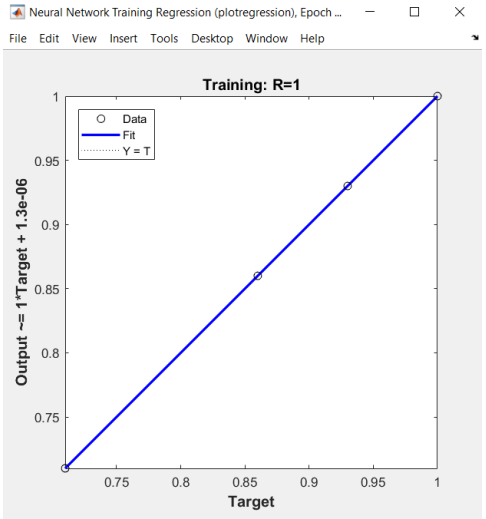
4.3 Pemodelan ANN

Sebelum memasukkan data-data kedalam MATLAB , perlu dilakukan normalisasi data agar *output* yang didapatkan mendekati target. Pada penelitian ini normalisasi dilakukan dengan cara membagi setiap data dengan data yang terbesar. Fungsi aktifasi yang digunakan adalah fungsi *sigmoid biner* (*logsig*) pada *input* dan *sigmoid tangent* (*tansig*) pada *output*. Selain itu metode pembelajaran yang digunakan adalah *Levenberg-Marquardt* (*trainlm*) dengan jumlah neuron pada *hidden layer* 6 pada estimasi dimensi dan 8 pada estimasi rasio tulangan. Rumus empiris didapatkan setelah melakukan *input* data yang sudah di normalisasi dan *coding* di MATLAB. Sebagai contoh pada kasus ini, peneliti mencari rumus empiris untuk mengestimasi dimensi B1. Berikut adalah *coding* dan juga rumus empiris yang didapatkan.

```
clear;
% Data input & target
Data=[...
0.33    1.00    0.50    0.71    0.71    0.71
0.67    1.00    0.50    0.71    0.71    0.71
1.00    1.00    0.50    0.71    0.71    0.71
0.33    1.00    0.75    0.86    0.86    0.71
0.67    1.00    0.75    0.86    0.86    0.86
1.00    1.00    0.75    0.86    0.86    0.86
0.33    1.00    1.00    0.86    1.00    0.86
0.67    1.00    1.00    1.00    1.00    0.93
1.00    1.00    1.00    1.00    1.00    1.00
0.33    0.71    0.50    0.71    0.71    0.71
0.67    0.71    0.50    0.71    0.71    0.71
1.00    0.71    0.50    0.71    0.71    0.71
0.33    0.71    0.75    0.86    0.86    0.71
0.67    0.71    0.75    0.86    0.86    0.71
1.00    0.71    0.75    0.86    0.86    0.86
0.33    0.71    1.00    0.86    1.00    0.86
0.67    0.71    1.00    0.86    1.00    0.86
1.00    0.71    1.00    1.00    1.00    0.93
0.33    0.43    0.50    0.71    0.71    0.71
0.67    0.43    0.50    0.71    0.71    0.71
1.00    0.43    0.50    0.71    0.71    0.71
0.33    0.43    0.75    0.71    0.86    0.71
0.67    0.43    0.75    0.71    0.86    0.71
1.00    0.43    0.75    0.71    0.86    0.71
0.33    0.43    1.00    0.86    1.00    0.86
0.67    0.43    1.00    0.86    1.00    0.86
1.00    0.43    1.00    0.86    1.00    0.86];

P = Data(:,1:4)';
T = Data(:,5:6)';
% Membangun jaringan syaraf feedforward
net = newff (minmax(P),[6 2],{'logsig' 'purelin'}, 'trainlm');
% Set max epoch, goal, learning rate, momentum, show step
net.trainParam.epochs =150;
net.trainParam.goal = 1e-10;
net.trainParam.lr = 0.09;
net.trainParam.mc = 0.9;
net.trainParam.show = 100;
net.trainParam.min_grad = 1e-20;
% Melakukan pembelajaran
net = train(net,P,T);
```

Selanjutnya dilakukan r*unning* untuk mengetahui nilai regresi antara target dengan *output*, serta mendapatkan konstanta untuk rumus empiris yang akan digunakan untuk memperoleh dimensi balok di luar data permodelan ANN. Berikut adalah Gambar 5.2 yang didapatkan dari hasil *running* ANN pada *software* MATLAB.



Gambar 2. Grafik regresi hasil pemodelan ANN

4.4 Validasi Rumus Empiris

Validasi dilakukan guna mengetahui keakuratan rumus empiris yang diperoleh dari pemodelan ANN. Validasi dilakukan 2 kali yakni pada data pelatihan itu sendiri dan juga

data uji. Diisyaratkan 10 variasi pemodelan gedung sebagai data uji. Dari nilai *error* yang diperoleh, dilakukan kontrol lagi untuk melihat ada atau tidaknya perubahan dimensi ataupun jumlah tulangan pada balok dan kolom.

4.4.1 Validasi rumus empiris terhadap data pelatihan

Error yang terjadi pada tahap pelatihan sangat menentukan validitas dari rumus empiris. Semakin kecil *error* maka semakin baik performanya.

a. Dimensi balok dan kolom optimum
   Validasi rumus empiris hasil estimasi dimensi optimum B_1 pada data pelatihan memperoleh *error* maksimum B dan H masing-masing sebesar 0.02% dan 0.11%. Sedangkan pada K_1 sebesar 0.30% dan 0.34%. *Error* yang diperoleh tidak mengakibatkan terjadinya perubahan dimensi.
b. Rasio tulangan minimum balok dan kolom
   Validasi rumus empiris hasil estimasi rasio tulangan minimum balok lantai 1 pada data pelatihan memperoleh *error* maksimum B_1, B_2 dan B_A masing-masing sebesar 0.00%, 0.00% dan 0.00%. Sedangkan pada K_1 dan K_2 sebesar 0.02% dan 0.01%. *Error* yang diperoleh tidak mengakibatkan terjadinya perubahan jumlah tulangan.

4.4.2 Validasi rumus empiris terhadap data uji

Data uji merupakan data acak yang digunakan untuk menguji keakuratan rumus empiris namun data tersebut masih berada di dalam rentang data pelatihan.

a. Dimensi balok dan kolom optimum
   Validasi rumus empiris hasil estimasi dimensi optimum B_1 pada data pelatihan memperoleh *error* maksimum B dan H masing-masing sebesar 2.96% dan 3.02%. Sedangkan pada K_1 sebesar 8.23% dan 1.07%. *Error* yang diperoleh tidak mengakibatkan terjadinya perubahan dimensi.

Tabel 1. Validasi rumus empiris dimensi optimum B_1 pada data uji

Variasi	Jenis Tanah	Jumlah Lantai	L Balok	fc'	Dimensi Balok				*Error* (MMRE)	
					SANSPRO		ANN			
					B	H	B	H	B	H
1	SC	6	8	30	35	60	35.00	59.99	0.00	0.02
2	SC	6	4	25	25	50	25.00	50.00	0.00	0.00
3	SE	4	8	35	35	60	35.00	59.99	0.00	0.01
4	SD	5	5.5	30	30	50	29.00	50.00	3.33	0.00
5	SC	7	5.5	30	30	50	29.00	50.00	3.33	0.00
6	SD	5	4.5	25	25	50	26.02	50.54	4.08	1.07
7	SC	6	5.5	30	30	50	29.00	50.00	3.33	0.00
8	SE	4	7.5	35	35	60	34.71	59.41	0.82	0.99
9	SD	3	4.5	25	25	50	26.02	50.00	4.08	0.00
10	SC	7	5	35	30	50	27.53	50.09	8.23	0.18

Tabel 2. Validasi rumus empiris dimensi optimum K_1 pada data uji

Variasi	Jenis Tanah	Jumlah Lantai	L Balok	fc'	Dimensi Kolom				*Error* (MMRE)	
					SANSPRO		ANN			
					B	H	B	H	B	H
1	SC	6	8	30	55	70	54.38	69.32	1.13	0.97
2	SC	6	4	25	45	45	45.00	45.03	0.00	0.07
3	SE	4	8	35	60	70	59.91	69.71	0.16	0.42
4	SD	5	5.5	30	45	45	46.02	46.07	2.27	2.37
5	SC	7	5.5	30	55	55	53.86	53.83	2.07	2.13
6	SD	5	4.5	25	45	45	45.00	45.03	0.00	0.07
7	SC	6	5.5	30	45	45	45.67	45.70	1.48	1.56
8	SE	4	7.5	35	60	70	59.73	69.34	0.46	0.95
9	SD	3	4.5	25	45	45	45.00	45.03	0.00	0.07
10	SC	7	5	35	55	55	53.37	53.34	2.96	3.02

b. Rasio tulangan minimum balok dan kolom
Validasi rumus empiris hasil estimasi rasio tulangan minimum balok lantai 1 pada data pelatihan memperoleh *error* maksimum B_1, B_2 dan B_A masing-masing sebesar 2.92%, 1.69% dan 3.14%. Sedangkan pada K_1 dan K_2 sebesar 9.00% dan 3.08%. *Error* yang diperoleh mengakibatkan terjadinya beberapa perubahan pada jumlah tulangan.

Tabel 3. Validasi rumus empiris rasio tulangan balok lantai 1 pada data uji

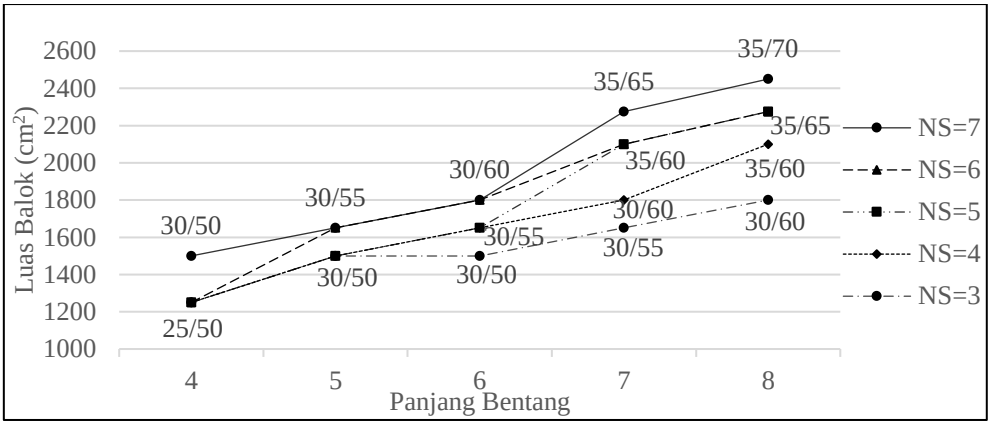
Variasi	D tul	Rasio Tulangan Balok						*Error* (MSE)			Jumlah Tulangan					
		SANSPRO			ANN						SANSPRO			ANN		
		B_1	B_2	B_A	B_1	B_2	B_A	B_1	B_2	B_A	B_1	B_2	B_A	B_1	B_2	B_A
1	19	1.22	0.79	1.36	1.25	0.81	1.36	0.08	0.06	0.00	9	5	6	9	5	6
2	16	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.00	0.00	0.00	5	5	5	5	5	5
3	19	1.35	0.79	1.36	1.34	0.78	1.36	1.49	0.01	0.00	10	5	6	10	5	6
4	16	0.80	0.67	0.80	0.87	0.73	0.80	0.42	0.34	0.00	6	5	5	6	5	5
5	16	0.80	0.67	0.80	0.86	0.72	0.80	0.41	0.23	0.00	6	5	5	6	5	5
6	16	0.80	0.80	0.80	0.82	0.80	0.80	0.05	0.00	0.00	5	5	5	5	5	5
7	16	0.80	0.80	0.80	0.76	0.75	0.80	0.17	0.29	0.00	6	6	5	6	6	5
8	19	0.95	0.79	1.36	0.98	0.77	1.31	0.12	0.06	3.13	7	5	6	7	5	6
9	16	0.80	0.80	0.80	0.72	0.79	0.80	0.59	0.02	0.00	5	5	5	5	5	5
10	16	0.80	0.80	0.80	0.75	0.67	0.80	0.26	1.69	0.00	6	5	5	6	4	5

Tabel 4. Validasi rumus empiris rasio tulangan kolom lantai 1 pada data uji

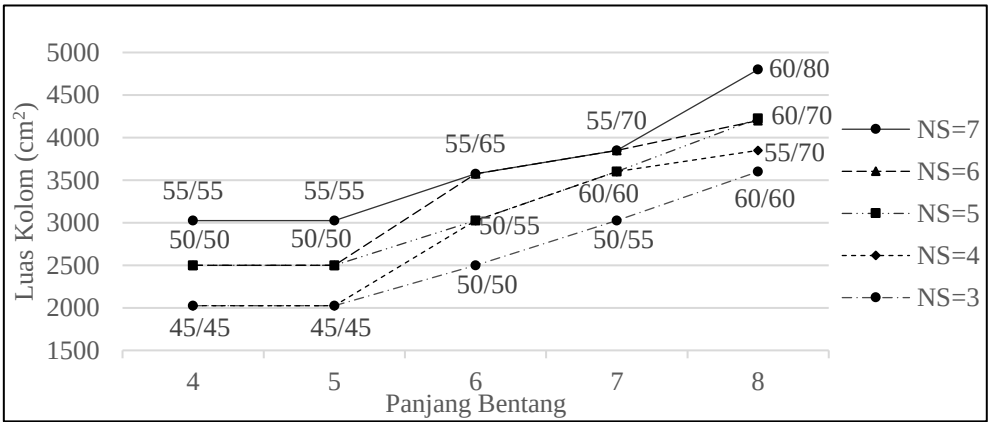
Variasi	D tul	Rasio Tulangan Kolom				*Error* (MSE)		Jumlah Tulangan			
		SANSPRO		ANN				SANSPRO		ANN	
		K_1	K_2	K_1	K_2	K_1	K_2	K_1	K_2	K_1	K_2
1	22	1.97	1.51	2.13	1.51	2.60	0.00	20	12	24	12
2	19	1.68	1.68	1.64	1.68	0.13	0.00	12	12	12	12
3	22	2.53	2.51	2.40	2.35	1.80	2.63	28	20	28	20
4	19	2.8	2.24	2.80	2.16	0.00	0.60	20	16	20	16
5	22	2.01	1.5	1.97	1.52	0.19	0.03	16	8	16	8
6	19	1.68	1.68	1.74	1.63	0.31	0.27	12	12	12	12
7	19	1.68	1.68	1.96	1.71	7.58	0.09	12	12	16	12
8	22	2.17	2.51	2.14	2.41	0.12	0.90	24	20	24	20
9	19	2.24	1.68	2.30	1.64	0.32	0.17	16	12	16	12
10	19	1.50	1.68	1.63	1.50	1.66	3.08	16	12	20	12

4.5 Hubungan Berbagai Parameter

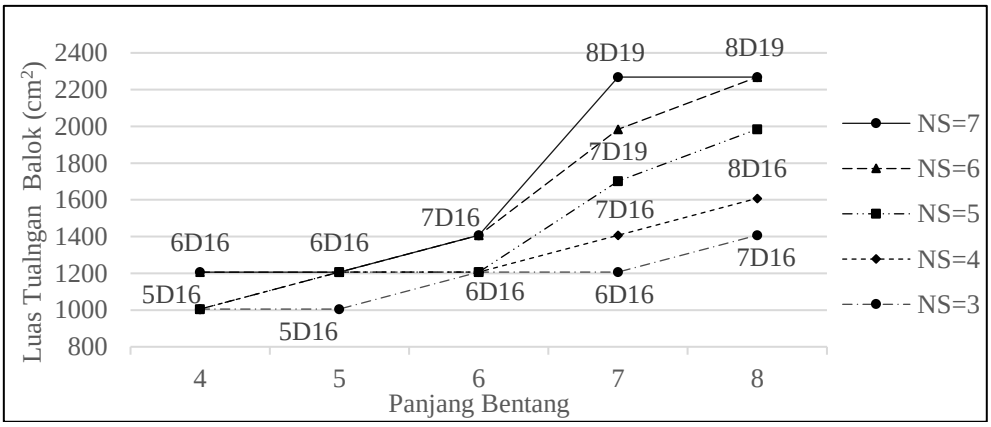
Setelah melakukan estimasi menggunakan metode ANN dan divalidasi oleh SANSPRO diambil kesimpulan bahwa rumus empiris dapat digunakan untuk mengestimasi dimensi optimum serta kebutuhan rasio tulangan balok dan kolom pada tahap konseptual desain. Pada Gambar 4.4 - Gambar 4.7 ditampilkan hubungan berbagai parameter terhadap dimensi optimum serta rasio tulangan balok dan kolom yang sudah di konversi menjadi jumlah tulangan.



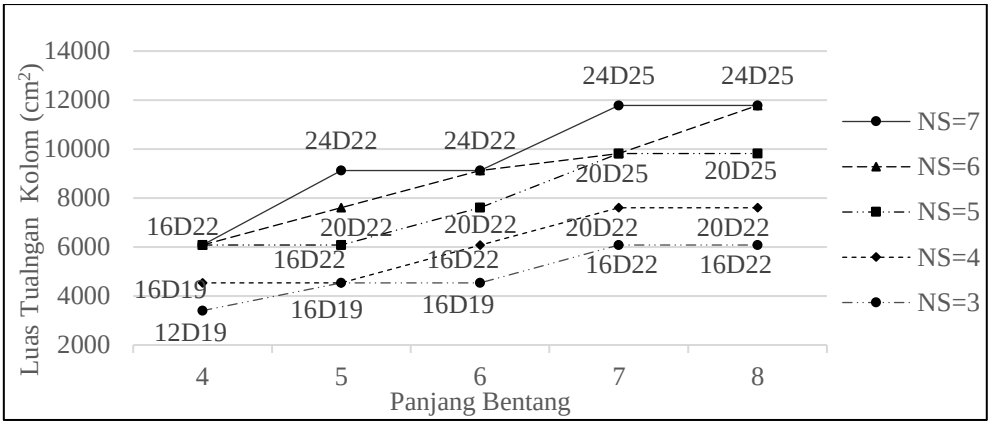
Gambar 3. Hubungan panjang bentang dan jumlah lantai terhadap luas balok pada jenis tanah SE



Gambar 4. Hubungan panjang bentang dan jumlah lantai terhadap luas kolom pada jenis tanah SE



Gambar 5. Hubungan panjang bentang dan jumlah lantai terhadap luas tulangan balok pada jenis tanah SE



Gambar 6. Hubungan panjang bentang dan jumlah lantai terhadap luas tulangan kolom pada jenis tanah SE

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat ditarik dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

a. Didapatkan 18 rumus empiris yang digunakan untuk mengestimasi dimensi balok dan kolom yang optimum serta rasio tulangan minimumnya dengan variasi kelas situs tanah, bentang balok, jumlah lantai, mutu beton dan diameter tulangan.
b. Semakin banyak jumlah neuron pada *hidden layer* maka pembelajaran akan cepat mencapai konvergen dan *error* yang didapatkan akan semakin kecil. Namun dilain hal, pembelajaran dan pengolahan data lebih kompleks.
c. Persentase *error* maksimum rumus empiris dari data pelatihan terjadi pada *output* dimensi K_1 sebesar 0.34% dan pada *output* rasio tulangan minimum K_1 lantai 1 sebesar 0.02%.
d. Persentase *error* maksimum rumus empiris dari data uji terjadi pada *output* dimensi B_1 sebesar 8.23% dan pada *output* rasio tulangan minimum K_1 lantai 2 sebesar 9.00%.

5.2 Saran

Saran bagi peneliti selanjutnya antara lain:

a. Dilakukan penelitian dengan parameter yang lebih kompleks.
b. Untuk penelitian selanjutnya diharapkan dapat melakukan estimasi hingga geser pada balok dan kolom.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Gudipati, V.K. dan Cha, E.J., A framework for optimization of target reliability index for a building class based on aggregated cost, *Structural Safety*, vol. 81, no. July, hal. 101873, 2019.

[2] Setiawan, J., Optimasi Dimensi Balok Dan Kolom Struktur Portal Beton 3D Bangunan Kantor 3 Lantai Dengan Metode Artificial Neural Network, 2016.

[3] Kesturi, L., Konstruksi Gedung Perkantoran Dengan Metode Artificial Neural Network Konstruksi Gedung Perkantoran Dengan Metode Artificial Neural Network, *Jurnal Sipil Stastik*, vol. 1, no. 2, hal. 13, 2013.

[4] Si, B., Wang, J., Yao, X., Shi, X., Jin, X. dan Zhou, X., Multi-objective optimization design of a complex building based on an artificial neural network and performance evaluation of algorithms, *Advanced Engineering Informatics*, vol. 40, no. March, hal. 93–109, 2019.

[5] Meon, M.S., Anuar, M.A., Ramli, M.H.M., Kuntjoro, W. dan Muhammad, Z., Frame Optimization using Neural Network, *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, vol. 2, no. 1, hal. 28, 2012.

[6] T.Paulay dan Priestley, M.J.N., *Seismic design of reinforced concrete and masonry buildings*, vol. 25, no. 4. 1992.

[7] Badan Standarisasi Nasional, RSNI3 1726:201X Tata Cara Perencanaan Ketahan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung.

[8] Asadi, P. dan Hajirasouliha, I., A practical methodology for optimum seismic design of RC frames for minimum damage and life-cycle cost, *Engineering Structures*, vol. 202, no. October 2019, hal. 109896, 2020.

[9] Badan Standarisasi Nasional, SNI 03-

2847:2019 Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung Dan Penjelasan, *Badan Standarisasi Nasional*, no. 8, hal. 1–695, 2019.

[10] Badan Standarisasi Nasional, RSNI2 1727:2018 Beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain, *Badan Standarisasi Nasional*, hal. 196, 2018.

[11] Kamyab Moghadas, R., Choong, K.K. dan Bin Mohd, S., Prediction of optimal design and deflection of space structures using neural networks, *Mathematical Problems in Engineering*, vol. 2012, 2012.

[12] Morfidis, K. dan Kostinakis, K., Seismic parameters' combinations for the optimum prediction of the damage state of R/C buildings using neural networks, *Advances in Engineering Software*, vol. 106, hal. 1–16, 2017.

[13] Ayed, A.S., Parametric Cost Estimating of Highway Projects using Neural Networks, hal. 102, 1997.