

PREDIKSI TINGKAT KERUNTUHAN KOLOM BETON BERTULANG AKIBAT PEMBEBANAN STATIK MENGGUNAKAN JARINGAN SARAF TIRUAN (JST)

Nopember Toni¹⁾, Reni Suryanita²⁾, Ismeddiyanto²⁾

¹⁾Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

²⁾Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

Kampus Bina Widya J. HR Soebrantas KM 12,5 Pekanbaru, Kode Pos 28293

Email : nopember.toni@student.unri.ac.id

Abstract

Column failure is one of failure condition in building that most anticipated in civil engineering world, so in designing column required more accurate calculation. One of solution in order to calculating column failure faster and more accurate is using Artificial Neural Network (ANN). ANN imitate how brain working and used to predict column failure. In this research, ANN used to predict reinforced concrete column damage level (DL) that loaded by static load with variation in: column section dimension, concrete ultimate capacity, longitudinal reinforcement, and steel ultimate capacity. With all variation, total data used in this research is 10962 data. In this research, training and testing composition used is 70:30, hence total data for training data is 7673 data and for testing is 3289 data. Damage level calculated by dividing column strain from finite element software analysis with strain limit from SNI 2847-2013. In this research, column damage level noted as 0 if DL less than 1 and that mean column do not reach failure level, while column damage level noted as 1 if DL more equal than 1 and that mean column reach failure level. Result from testing show that ANN accuracy in predicting damage level reach 98%. This results show ANN can be used for predicting damage level faster and accurate, as well can be used as reference for designing column.

Key Words: Artificial Neural Network, ANN, damage level, column, reinforced concrete, static load.

PENDAHULUAN

Dalam dunia teknik sipil khususnya dalam perencanaan struktur gedung, perencanaan struktur kolom merupakan salah satu faktor terpenting yang harus diperhatikan. Hal ini dikarenakan keruntuhan pada kolom dapat menyebabkan bangunan tersebut akan ikut runtuh. Selain itu, keruntuhan kolom terjadi tanpa adanya peringatan dini untuk kasus kolom getas.

Keruntuhan kolom yang menyebabkan runtuhnya suatu bangunan bukan merupakan suatu kasus yang langka. Sejarah mencatat pada tahun 1973, terjadi keruntuhan bangunan *Skyline Plaza* yang berada di Virginia karena runtuhnya salah satu kolom pada lantai 23 (Leyendecker &

Fattal, 1977; Schellhammer, Delatte, & Bosela, 2012). Kolom pada lantai 22 tersebut tidak dapat menahan beban tambahan yang terjadi karena runtuhnya pelat pada lantai 24 yang menimpa pelat pada lantai 23. Keruntuhan kolom pada lantai 22 menyebabkan runtuhnya pelat pada lantai 23 dan seterusnya sampai ke lantai dasar. Keruntuhan bangunan *Skyline Plaza* dapat dilihat pada Gambar 1.

Selain keruntuhan bangunan *Skyline Plaza*, penambahan beban statik pada kolom yang menyebabkan keruntuhan bangunan juga terjadi pada *Sampoong Department Store* di Seoul pada tahun 1995 (Dyrud, 2011; Gardner, Huh, & Chung, 2002; Park, 2012). Keruntuhan bangunan *Sampoong Department Store* dimulai dengan runtuhnya kolom pada

lantai 5, yaitu lantai yang difungsikan sebagai restoran. Penyebab runtuhnya kolom pada lantai 5 yaitu perubahan fungsi bangunan yang menyebabkan bertambahnya beban yang diterima oleh kolom.



Gambar 1 Bangunan *Skyline Plaza* Setelah Keruntuhan (Leyendecker & Fattal, 1977)

Menurut Izzuddin, Vlassis, Elghazouli, dan Nethercot (2008), ketika suatu gedung bertingkat mengalami kegagalan pada salah satu kolomnya, terjadi suatu respons dinamik pada elemen di sekitarnya, yang umumnya memiliki karakteristik yang ditandai dengan adanya *nonlinearity* pada geometrik dan material bangunan tersebut. Kegagalan pada kolom menyebabkan terjadinya deformasi pada sambungan struktur di atasnya, dengan mengasumsikan struktur kolom lainnya dapat menahan beban gravitasi dari kolom yang gagal. Kegagalan kolom pada bagian bawah struktur, yaitu awal kegagalan suatu bangunan sangat dipengaruhi oleh deformasi pada sambungan yang mengalami respons dinamik maksimum. Batasan tersebut dievaluasi dengan menghitung respons dinamik maksimum akibat beban gravitasi yang diikuti dengan kegagalan kolom secara tiba-tiba dan juga memperhitungkan daktilitas pada sambungan sehingga mampu dalam

menahan deformasi yang terjadi. Perhitungan yang paling akurat adalah dengan menggunakan analisis elemen hingga *nonlinear* dinamik.

Hal di atas juga diutarakan oleh Tsai dan Lin (2008). Ketika suatu bangunan yang memiliki mekanisme *strong column-weak beam*, mengalami kegagalan di salah satu kolom interior pada lantai dasar, kedua bentang balok akan mendistribusi beban pada kolom yang gagal tersebut ke kolom lainnya. Dalam kondisi elastis, lentur akan terjadi pada bagian sambungan balok-kolom ketika tidak dapat menahan lagi beban yang terjadi. Jika tahanan plastis sambungan balok-kolom tersebut tidak dapat menahan beban, defleksi pada balok akan menghasilkan aksi tarik beruntun yang merupakan proteksi terakhir dalam mencegah keruntuhan bangunan.

Kolom merupakan elemen penting pada suatu struktur, baik itu bangunan gedung maupun bangunan lainnya. Kolom memiliki fungsi utama untuk menyalurkan beban dari struktur menuju fondasi untuk kemudian disalurkan ke tanah. Sehingga suatu kolom harus mampu menahan beban-beban dari balok, pelat lantai, dan kolom itu sendiri. Kolom terbagi atas dua jenis, yaitu kolom pendek dan kolom langsing. Kolom pendek memiliki sifat dimana keruntuhan kolom diakibatkan kegagalan material kolom tersebut. Sedangkan untuk kolom langsing tipe keagalannya ditentukan oleh tekuk (*buckling*) yang terjadi. Dalam dunia konstruksi, pada umumnya kolom langsing jarang digunakan. Hal ini dikarenakan kolom langsing akan mengalami tekuk pada arah lateral akibat beban aksial yang terjadi. Hal ini akan meningkatkan momen yang terjadi pada kolom sehingga memperlemah kekuatan kolom terhadap gaya aksial yang dapat diterimanya (McCormac & Brown, 2013; Wight & MacGregor, 2012).

Salah satu upaya yang dapat dijadikan solusi dalam memprediksi kekuatan kolom dengan cepat dan akurat adalah dengan bantuan metode Jaringan

Saraf Tiruan (JST). Jaringan Saraf Tiruan merupakan salah satu metode yang meniru cara kerja otak manusia. Seperti cara kerja otak manusia yang dapat mengingat suatu hal, metode Jaringan Saraf Tiruan akan mengingat suatu hubungan antara *input* dan *output* sehingga akan dapat memprediksi suatu *output* dengan data *input* yang diberikan. Jaringan Saraf Tiruan dalam penulisan ini akan digunakan dalam memprediksi keruntuhan kolom akibat beban yang diketahui.

Oleh karena itu, dengan melihat buruknya dampak keruntuhan kolom bagi penghuni bangunan yang diakibatkan oleh kelebihan pembebanan statik pada bangunan tersebut maka diperlukan perhitungan yang akurat dan cepat dalam desain kolom bangunan. Sehingga fokus penulisan ini ditujukan untuk memprediksi keruntuhan kolom menggunakan metode Jaringan Saraf Tiruan.

Penelitian ini membahas tentang bagaimana metode Jaringan Saraf Tiruan dapat memprediksi keruntuhan yang dialami oleh kolom akibat beban aksial dan momen. Keruntuhan dari kolom dapat terjadi tanpa adanya peringatan dini (kasus kolom yang getas) dan akan menyebabkan runtuhnya suatu bangunan (balok tidak dapat menahan beban tambahan yang terjadi sehingga terjadi keruntuhan secara beruntun). Sehingga apabila kolom mengalami kegagalan, maka bangunan tersebut tidak dapat digunakan lagi. Oleh karena itu, dalam perencanaan suatu kolom diperlukan perencanaan yang teliti dan memerlukan waktu yang cukup lama bila dikerjakan secara manual tanpa menggunakan bantuan *software*. Salah satu upaya dalam mengatasi kerumitan hubungan *nonlinear* antara parameter kolom dengan regangan yang terjadi akibat beban statik adalah dengan menggunakan bantuan metode Jaringan Saraf Tiruan yang prinsip kerjanya meniru saraf manusia. Tingkat keakuratan metode Jaringan Saraf Tiruan akan diuji dengan cara membandingkan hasil regangan yang didapatkan menggunakan metode Jaringan

Saraf Tiruan dengan hasil regangan menggunakan *software* elemen hingga. Sehingga dapat diketahui seberapa akuratnya metode Jaringan Saraf Tiruan dapat memprediksi keruntuhan kolom secara singkat.

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

Keruntuhan Kolom

Berdasarkan SNI 2847-2013, kolom merupakan komponen struktur dengan rasio tinggi terhadap dimensi lateral terkecil melampaui 3 yang dominan digunakan untuk menumpu beban tekan aksial. Kolom dirancang agar dapat menahan seluruh beban dari lantai maupun beban momen yang berasal dari satu bentang lantai. Menurut tipe keruntuhan materialnya, kolom terbagi atas 2 tipe, yaitu kolom pendek dan kolom langsing.

Kolom pendek merupakan kolom yang tipe keruntuhannya diakibatkan oleh kegagalan material. Beban yang dapat ditahan oleh kolom sangat ditentukan berdasarkan dimensi dari potongan melintang dan material kolom yang digunakan (McCormac & Brown, 2013).

Kolom langsing merupakan kolom yang tipe keruntuhannya ditentukan oleh lentur (*buckling*) yang terjadi.

Kolom yang materialnya berupa beton bertulang, batas regangan maksimum yang dapat dimanfaatkan pada serat tekan beton terluar harus diasumsikan sama dengan 0,003 (SNI 2847-2013). Sehingga dalam perencanaan suatu struktur dengan material utamanya berupa beton, regangan yang dialami oleh material beton tidak boleh melampaui 0,003.

Teori Keruntuhan Kolom

Pada kolom ikat (*tied column*) kekangan pada arah lateral lebih kecil dibandingkan dengan kolom spiral (*spiral column*). Sehingga pada dasarnya

senggang pada *tied column* tidak memiliki dampak yang besar dalam memperkuat inti kolom. Namun, sengkang tersebut berfungsi dalam mengurangi bahaya lentur pada tulangan (Wight & MacGregor, 2012).

Tied column maupun *spiral column* saat pertama kali diberikan beban aksial, memiliki suatu hubungan beban vs defleksi yang mirip. Ketika beban maksimum tercapai, terjadi retak arah vertikal (*vertical cracks*) dan keruntuhan (*crushing*) terjadi pada selimut beton, kemudian beton mengalami *spalling*.

Ketika hal ini terjadi pada *tied column*, kapasitas dari inti kolom yang tersisa lebih kecil dibandingkan beban. Inti dari kolom akan hancur dan tulangan akan melentur. Hal ini terjadi secara mendadak tanpa adanya peringatan dalam kondisi getas (Wight & MacGregor, 2012). Kasus pada *tied column* terjadi juga untuk kolom yang tanpa menggunakan tulangan sengkang.

Teori Keruntuhan Kolom Berdasarkan Tingkat Kelangsingan

Menurut Mishra (2014), berdasarkan rasio kelangsingan suatu kolom, ada tiga mode keruntuhan yang terjadi pada kolom, yaitu:

1. Mode 1 - Keruntuhan kolom akibat beban aksial

Ketika suatu kolom mengalami beban aksial, beton dan tulangan mengalami tegangan. Ketika beban mencapai titik maksimal yang mampu ditahan kolom, beton dan tulangan akan mengalami kegagalan leleh tanpa adanya deformasi arah lateral. Kolom hancur dan mengalami kegagalan material. Mode ini tidak terjadi pada kolom langsing karena kolom langsing akan mengalami tekuk ketika mengalami beban aksial.

2. Mode 2 - Keruntuhan kolom akibat kombinasi pembebanan dan kegagalan lentur

Pada saat kolom pendek mengalami pembebanan aksial, lateral, dan momen, pada saat tertentu beton dan tulangan akan mengalami titik leleh dan mengalami kegagalan. Untuk kolom langsing, kolom akan mengalami defleksi arah lateral dan lentur hanya saat diberikan beban aksial.

3. Mode 3 - Keruntuhan kolom akibat ketidakstabilan elastik

Kolom langsing yang memiliki rasio panjang dibandingkan dimensi lateral yang besar, pada saat diberikan beban aksial yang kecil akan menjadi tidak stabil dan mengalami *buckling* (tekuk). Sehingga beton dan tulangan mengalami titik leleh pada beban yang kecil dan gagal akibat tekuk elastik arah lateral. Mode ini tidak terjadi pada kolom pendek, karena kolom pendek tidak memiliki resiko terhadap tekuk.

Perhitungan Regangan

Perhitungan regangan yang dialami kolom dapat dilakukan secara matematis, apabila regangan tersebut masih berada dalam kondisi elastis. Perhitungan dapat dilakukan dengan perbandingan tegangan terhadap modulus elastisitas maupun dengan menggunakan formula lentur (*flexure formula*)

Metode Elemen Hingga

Metode Elemen Hingga merupakan salah satu metode yang digunakan dalam melakukan suatu analisis *nonlinear*. Dalam penelitian ini, digunakan *software* elemen hingga yang menggunakan metode Newton-Raphson sebagai dasar perhitungan elemen hingganya.

Jaringan Saraf Tiruan

Menurut Jatmiko et al. (2011), Jaringan Saraf Tiruan (JST) atau *Artificial Neural Network (ANN)* adalah teknik kecerdasan buatan yang dibuat dengan meniru cara kerja sel-sel saraf di otak.

Pengenalan JST dimulai pada tahun 1943 oleh McCulloch dan Pitts. Setelah itu muncul berbagai peneliti yang ikut melakukan penelitian mengenai JST. Pada tahun 1980-an, algoritma propagasi-balik (*Backpropagation*) dikenalkan oleh Rumelhart, Hinton, dan Williams.

Jaringan Saraf Tiruan (JST) memiliki cara kerja yang mirip dengan jaringan saraf di otak. Setiap neuron menerima *input* dari neuron lainnya yang tersambung. Setiap *input* dikalikan dengan sebuah bobot (*weight*) (Jatmiko et al., 2011).

Jaringan Saraf Tiruan Propagasi Balik (*Backpropagation Neural Network*)

Propagasi Balik (*Backpropagation*) pertama kali ditemukan oleh Arthur E. Bryson dan Yu-Chi Ho pada 1969. Algoritma Propagasi Balik memiliki kelemahan yaitu membutuhkan waktu yang lama dalam pembelajarannya. Kelebihannya yaitu apabila pembelajaran telah selesai, maka *output* dapat diperoleh dengan cepat.

Karakteristik Jaringan Saraf Tiruan Propagasi Balik

1. Arsitektur

Algoritma Jaringan Saraf Tiruan Propagasi Balik menggunakan arsitektur jaringan *perceptron* lapis banyak (*multi-layer perceptrons*) yaitu terdiri dari suatu lapisan *input*, lapisan tersembunyi, dan lapisan *output*. Khusus untuk lapisan tersembunyi, jumlah lapisan yang dimiliki bisa melebihi satu lapis. Prinsip kerjanya yaitu setiap neuron pada suatu lapisan mendapatkan sinyal *input* dari neuron pada lapisan sebelumnya (Jatmiko et al., 2011).

2. Fungsi Aktivasi

Karakteristik fungsi aktivasi dari Jaringan Saraf Tiruan Propagasi Balik adalah harus kontinu, dapat didiferensiasikan, dan monoton tidak turun (Jatmiko et al., 2011). Fungsi yang sering

digunakan adalah fungsi *sigmoid* biner (*range* : [0,1]) yaitu:

$$f(x) = 1/(1 + e^{-x})$$

dengan turunannya,

$$f'(x) = f(x)[1 - f(x)]$$

3. Algoritma

Algoritma dari Propagasi Balik menggunakan aturan *error-correction learning rule*. Menurut Jatmiko et al. (2011), fase dari algoritma propagasi balik antara lain:

1. fase *Feedforward* pola *input* pembelajaran,
2. fase kalkulasi dan *Backpropagation of error* yang didapat, dan
3. fase penyesuaian bobot.

Penggunaan Jaringan Saraf Tiruan yang Berhubungan dengan Kolom

Beberapa penelitian terdahulu telah menggunakan Jaringan Saraf Tiruan dalam memprediksi salah satu karakteristik yang berhubungan dengan kolom. Salah satu penelitian yang dilakukan yaitu memprediksi tingkat kerusakan pada kolom jembatan (Suryanita & Adnan, 2013). Selain itu terdapat penelitian lain yang menggunakan Jaringan Saraf Tiruan untuk memprediksi besarnya deformasi pada kolom beton bertulang (Inel, 2007), kuat tekan dan regangan yang terjadi pada tegangan puncak (Oreta & Kawashima, 2003), kuat tekan kolom (Oztekin, 2012), hingga untuk memprediksi momen kurvatur dari kolom (Jadid & Fairbairn, 1996). Namun untuk penelitian yang membahas mengenai prediksi tingkat keruntuhan kolom menggunakan Jaringan Saraf Tiruan sulit untuk ditemukan.

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dimulai dengan memodelkan kolom pada *software* elemen hingga. Model dan variasi kolom dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2. Kemudian dilakukan analisis regangan dengan menggunakan *software* elemen

hingga. Dilanjutkan dengan perhitungan tingkat kolom. Penelitian ini diakhiri dengan dilakukannya prediksi tingkat keruntuhan kolom dengan metode Jaringan Saraf Tiruan dan dilakukannya suatu validasi terhadap nilai hasil prediksi tingkat keruntuhan kolom dengan menggunakan Jaringan Saraf Tiruan.

Tabel 1. Model Kolom

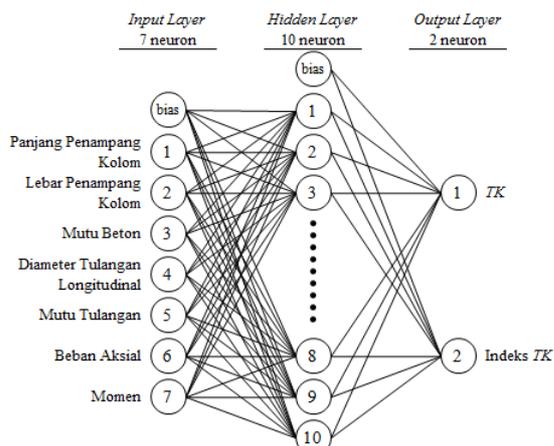
Kombinasi	Model 1	Model 2
Panjang Penampang Kolom (cm)	30	40
Lebar Penampang Kolom (cm)	30	20
Tinggi Kolom (cm)	300	300
Tebal Selimut Beton (cm)	3	3
Jumlah Tulangan Longitudinal	8	8

Tabel 2. Variasi Model

Variasi	Mutu Beton (MPa)	Diameter Tulangan Longitudinal (mm)	Mutu Tulangan (BJ)
1	23	19	34
2	24	22	37
3	25	25	41

Tingkat keruntuhan dihitung dengan cara membandingkan nilai regangan yang diperoleh dengan nilai regangan yang disyaratkan pada SNI, yaitu sebesar 0,003.

JST yang digunakan adalah JST propagansi balik (*backpropagation*) dengan arsitektur seperti pada Gambar 2.



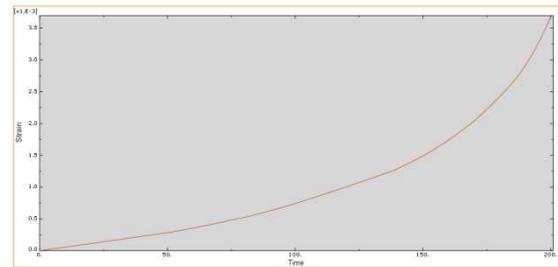
Gambar 2. Arsitektur JST yang Digunakan

Validasi dilakukan dengan membandingkan hasil analisis elemen hingga, dengan perhitungan matematis.

ANALISA HASIL PENELITIAN

Analisis Regangan Menggunakan Software Elemen Hingga

Hasil analisis elemen hingga dengan menggunakan *software* elemen hingga menghasilkan nilai regangan untuk setiap variasi kolom dan pembebanan yang diberikan. Salah satu hasil analisis elemen hingga dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik Regangan Salah Satu Model

Hasil Perhitungan Tingkat Keruntuhan Kolom

Setelah semua variasi kolom dianalisis nilai regangannya, dengan menggunakan *software* elemen hingga, dilakukan perhitungan tingkat keruntuhan kolom. Hasil perhitungan divisualisasi kedalam bentuk tabel yang dapat dilihat pada Tabel 3.

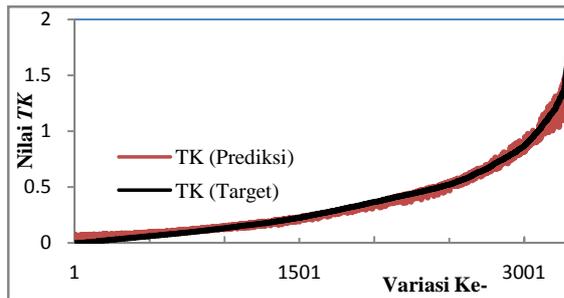
Tabel 3. Perhitungan Tingkat Keruntuhan

Variasi	Beban Aksial (kN)	Momen (kN.m)	TK	Indeks
Model 1	0	0	0	0
Variasi	⋮	⋮	⋮	⋮
1-1-1	1797.75	53.9325	1.21	1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
Model 2	0	0	0	0
Variasi	⋮	⋮	⋮	⋮
3-3-3	1800	50	0.93	0

Hasil Prediksi Jaringan Saraf Tiruan

Setelah semua data tingkat keruntuhan diperoleh, dilakukan *training* pada metode Jaringan Saraf Tiruan. Data yang digunakan untuk *training* sebanyak 7673 data. Setelah melakukan *training*, dilakukan suatu *testing* untuk melihat

seberapa akurat JST dalam memprediksi suatu nilai. Dalam penelitian ini data *testing* yang digunakan sebanyak 3289 data. Hasil dari prediksi tingkat keruntuhan kolom menggunakan JST mencapai akurasi 98%. Untuk melihat hubungan antara prediksi JST dengan nilai yang ingin dicapai, dilakukan suatu penggambaran hubungan grafik nilai *TK* yang dapat dilihat pada Gambar 4.

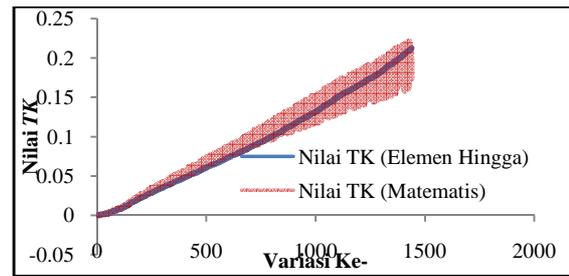


Gambar 4. Grafik Nilai *TK*

Berdasarkan Gambar 4, dapat dilihat bahwa JST kurang akurat dalam memprediksi nilai *TK* yang sangat kecil maupun yang sangat besar.

Validasi Hasil Prediksi Jaringan Saraf Tiruan

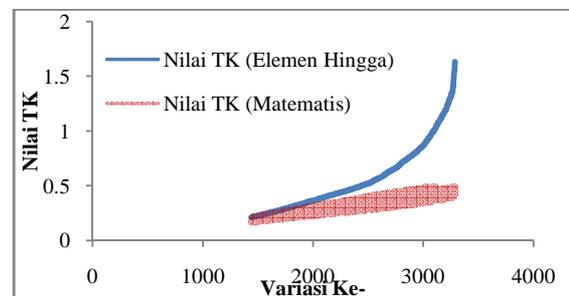
Validasi hasil prediksi Jaringan Saraf Tiruan dilakukan untuk melihat apakah hasil dari analisis elemen hingga yang merupakan dasar dari prediksi Jaringan Saraf Tiruan telah benar atau tidak. Oleh karena itu dilakukan validasi hitungan matematis terhadap hasil analisis elemen hingga. Untuk validasi, dibagi atas dua bagian, yaitu validasi terhadap kondisi elastis kolom dan validasi terhadap kondisi plastis kolom. Validasi dimulai dengan melakukan perhitungan regangan secara matematis, kemudian dilakukan perhitungan tingkat keruntuhan kolom beserta indeks tingkat keruntuhan kolom. Untuk mempermudah dalam melihat perbandingan validasi nilai tingkat keruntuhan akan disajikan pada dalam bentuk grafik yang dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5 Perbandingan Nilai *TK* (Elastis)

Gambar 5 menunjukkan bahwa analisis yang dilakukan *software* elemen hingga telah mendekati kondisi perhitungan matematis dengan perbedaan maksimal sebesar 29,62%. Hal ini dikarenakan perhitungan matematis maupun analisis elemen hingga masih berada pada kondisi elastis kolom. Sehingga untuk kasus dimana kolom masih dalam kondisi elastis, analisis elemen hingga dinyatakan valid dalam menghitung nilai regangan kolom.

Untuk kondisi plastis kolom, perbandingan validasi nilai tingkat keruntuhan akan disajikan pada dalam bentuk grafik pada Gambar 6.



Gambar 6 Perbandingan Nilai *TK* (Plastis)

Gambar 4.6 menunjukkan bahwa analisis yang dilakukan *software* elemen hingga jauh dari kondisi perhitungan matematis dengan persentase perbedaan mencapai 289,63%. Hal ini dikarenakan perhitungan matematis hanya mampu menghitung untuk kondisi elastis, sehingga tidak dapat menghitung penambahan regangan yang sudah *nonlinear* untuk kasus kolom yang mengalami kondisi plastis. Sehingga untuk kasus dimana kolom yang mengalami kondisi plastis, analisis elemen hingga

tidak dapat divalidasi dengan perhitungan matematis kondisi elastis.

KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini, yaitu:

1. Hasil analisis elemen hingga memberikan kesimpulan:
 - a. Regangan yang dialami kolom mengalami kenaikan secara *nonlinear* ketika beban terus bertambah. Hal ini dikarenakan kolom telah mengalami kondisi plastis.
 - b. Apabila mutu beton pada model kolom dinaikkan, akan menurunkan nilai regangan yang dialami oleh kolom. Hal ini juga berlaku apabila diameter tulangan longitudinal ataupun mutu baja dinaikkan.
2. Hasil analisis tingkat keruntuhan memberikan kesimpulan:
 - a. Sebagian besar data yang didapat memberikan nilai indeks keruntuhan 0, yaitu kolom tidak mengalami keruntuhan (mencapai 94% total data). Hal ini dikarenakan pembebanan yang diberikan hanya memberikan nilai regangan yang sedikit melebihi nilai 0,003.
3. Hasil analisis Jaringan Saraf Tiruan memberikan kesimpulan:
 - a. Hasil *testing* Jaringan Saraf Tiruan menunjukkan keakuratan metode ini dalam memprediksi indeks tingkat keruntuhan kolom. Hal ini dikarenakan prediksi tingkat keruntuhan kolom menggunakan Jaringan Saraf Tiruan mencapai akurasi 98,87%
 - b. Tingkat kesalahan prediksi Jaringan Saraf Tiruan (prediksi terhadap indeks tingkat keruntuhan kolom) hanya sekitar 1,13%.
4. Hasil validasi dengan perhitungan matematis memberikan kesimpulan:
 - a. Validasi yang dilakukan menunjukkan bahwa analisis elemen hingga telah mendekati nilai yang sebenarnya, untuk kasus dimana nilai regangan masih dalam kondisi elastis, namun tidak valid untuk kondisi dimana

kolom telah mengalami kondisi plastis (kondisi dimana penambahan regangan bersifat *nonlinear*).

SARAN

1. Pemodelan kolom dapat divariasikan lagi agar Jaringan Saraf Tiruan dapat memperoleh hasil prediksi yang lebih baik.
2. Parameter *input* dan *output* Jaringan Saraf Tiruan dapat divariasikan lagi untuk memperoleh kinerja yang lebih baik dalam memprediksi *output*. Jumlah lapisan dan neuron pada *hidden layer* dapat divariasikan lagi untuk meningkatkan kemampuan prediksi Jaringan Saraf Tiruan.
3. Validasi analisis elemen hingga sebaiknya dilakukan dengan perhitungan yang dapat mencapai batasan plastis kolom bukan hanya perhitungan elastis. Dalam hal ini validasi dapat dilakukan dengan menggunakan bantuan *software* elemen hingga lainnya.
4. Jaringan Saraf Tiruan ini dapat digunakan sebagai referensi awal bagi para perencana untuk mendesain suatu kolom, karena tingkat keakuratan dan cepatnya Jaringan Saraf Tiruan dalam memprediksi tingkat keruntuhan kolom.

DAFTAR PUSTAKA

- Caglar, N. (2009). Neural network based approach for determining the shear strength of circular reinforced concrete columns. *Construction and Building Materials*, 23(10), 3225-3232.
- Dyrud, M. A. (2011). AC 2011-32: Familiarizing The Unknown: Three Unusual Engineering Cases.
- Gardner, N., Huh, J., & Chung, L. (2002). Lessons from the Sampoong department store collapse. *Cement and Concrete Composites*, 24(6), 523-529.

- Inel, M. (2007). Modeling ultimate deformation capacity of RC columns using artificial neural networks. *Engineering structures*, 29(3), 329-335.
- Ismeddiyanto. (2014). *Analisis Eksperimen Lentur Kolom Dengan Bekisting Batatan Pracetak Akibat Beban Aksial Eksentris*. Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Izzuddin, B., Vlassis, A., Elghazouli, A., & Nethercot, D. (2008). Progressive collapse of multi-storey buildings due to sudden column loss—Part I: Simplified assessment framework. *Engineering structures*, 30(5), 1308-1318.
- Jadid, M. N., & Fairbairn, D. R. (1996). Neural-network applications in predicting moment-curvature parameters from experimental data. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 9(3), 309-319.
- Jatmiko, W., Mursanto, P., Fajar, M., Tawakal, M. I., Trianggono, W., Rambe, R. S., . . . Ramadhan, A. (2011). *Implementasi berbagai Algoritma Neural Network & Wavelet pada Field Programmable Gate Array (FPGA)*: Fakultas Ilmu Komputer Universitas Indonesia.
- Leyendecker, E., & Fattal, S. (1977). Investigation of the Skyline Plaza Collapse in Fairfax County, Virginia (NBS BSS 94).
- McCormac, J. C., & Brown, R. H. (2013). *Design of reinforced concrete*: Wiley Global Education.
- Mishra, G. (2014). The Constructor - Civil Engineering Home. Retrieved 05 Mei, 2015, from <http://theconstructor.org/structural-engg/failure-modes-of-concrete-columns/8933/>
- SNI 2847-2013 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung (2013).
- Oreta, A. W., & Kawashima, K. (2003). Neural Network Modeling of Confined Compressive Strength and Strain of Circular Concrete Columns. *Journal of Structural Engineering*© ASCE, 4, 554-561.
- Oztekin, E. (2012). Prediction of confined compressive strength of square concrete columns by Artificial Neural Networks. *International Journal of Engineering & Applied Sciences*, 4(3), 17-35.
- Park, T. W. (2012). Inspection of collapse cause of Sampoong Department Store. *Forensic science international*, 217(1), 119-126.
- Schellhammer, J., Delatte, N. J., & Bosela, P. A. (2012). Another Look at the Collapse of Skyline Plaza at Bailey's Crossroads, Virginia. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 27(3), 354-361.
- Suryanita, R., & Adnan, A. (2013). *Application of neural networks in bridge health prediction based on acceleration and displacement data domain*. Paper presented at the Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists.
- Tsai, M.-H., & Lin, B.-H. (2008). Investigation of progressive collapse resistance and inelastic response for an earthquake-resistant RC building subjected to column failure. *Engineering structures*, 30(12), 3619-3628.
- Tyau, J. S. (2009). *Finite Element Modeling Of Reinforced Concrete Using 3-Dimensional Solid Elements With Discrete Rebar*. (Master of Science), Brigham Young University.
- Wight, J. K., & MacGregor, J. G. (2012). *Reinforced Concrete Mechanics and Design Sixth Edition*: Pearson Education, Inc.