

ANALISIS TINGKAT KERUNTUHAN ELEMEN KOLOM BETON BERTULANG AKIBAT PEMBEBANAN STATIK MENGGUNAKAN SOFTWARE ELEMEN HINGGA

Nopember Toni¹, Reni Suryanita², dan Ismeddiyanto³

^{1,2, dan 3} Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau
nopember.toni@gmail.com

ABSTRAK

Column failure is one of failure conditions in building where column cannot receive any more load from beam or another element. Therefore in designing column required more accurate calculation which need more time with manual calculation. The solution in designing column with accurate calculation and faster is using finite element software. Finite element software can calculate column strain with high precision result. In this paper, column failure determined with the result of column strain. Column used in this paper using 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 paper, 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 finite element software analysis shows that column strain increase with the increase of column parameter such as column section dimension. And column strain results from finite element software have similar result with analysis using flexure method. This results shows finite element software can be used in column failure analysis.

Kata kunci: *Damage level, finite element, reinforced concrete column.*

1. PENDAHULUAN

Latar Belakang

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 22 (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* (Gambar 2) 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.



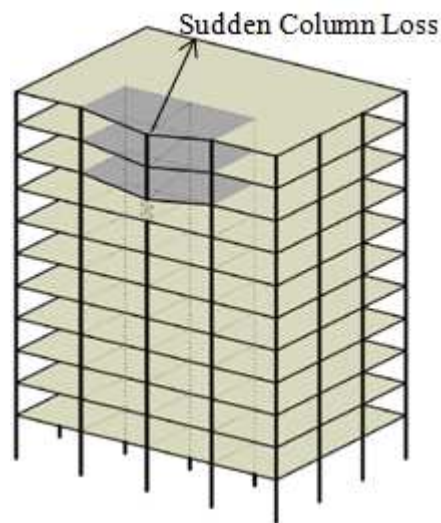
Gambar 1 Bangunan *Skyline Plaza* Setelah Keruntuhan
(Leyendecker & Fattal, 1977)



Gambar 2 *Sampoong Department Store*
(Park, 2012)

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 (Gambar 3), 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.



Gambar 3 Gedung Bertingkat yang Mengalami Kegagalan Kolom
(Izzuddin et al., 2008)

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 kegagalannya 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).

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 dalam mendesain kolom bangunan. Sehingga fokus penulisan ini ditujukan untuk menganalisis keruntuhan kolom menggunakan *software* elemen hingga dalam hal ini keruntuhan kolom akan dinotasikan kedalam tingkat keruntuhan kolom.

Landasan Teori

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. 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*).

2. METODOLOGI

Metodologi pada tulisan ini dimulai dengan memodelkan kolom yang akan dianalisis. Dilanjutkan dengan pemodelan pembebanan, analisis kolom menggunakan *software* elemen hingga, dan diakhiri dengan perhitungan tingkat keruntuhan kolom.

Pemodelan Kolom

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

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 Kolom

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

Pemodelan Pembebanan

Pembebanan yang diaplikasikan pada model kolom ini berupa beban aksial dan momen. Beban tersebut divariasikan sebanyak 200 data pada *software* elemen hingga untuk mendapatkan variasi regangan pada kombinasi beban yang berbeda-beda. Batas dari besarnya beban:

Tabel 3. Variasi Pembebanan

Beban	Minimum	Maksimum
Aksial (kN)	0	2000
Momen (kN.m)	0	60

Analisis Kolom menggunakan *Software* Elemen Hingga

Setelah semua model siap, dilakukan analisis kolom menggunakan *software* elemen hingga yang menggunakan prinsip perhitungan metode elemen hingga Newton-Raphson.

Perhitungan Tingkat Keruntuhan Kolom

Setelah mendapatkan nilai regangan yang terjadi pada kolom dari hasil analisis *software* elemen hingga, dilakukan perhitungan tingkat keruntuhan kolom. Perhitungan dilakukan dengan cara membandingkan hasil regangan yang diperoleh dengan regangan batas yang disyaratkan di SNI, yaitu 0,003.

$$\text{Tingkat Keruntuhan (TK)} = \epsilon / 0,003 \quad (1)$$

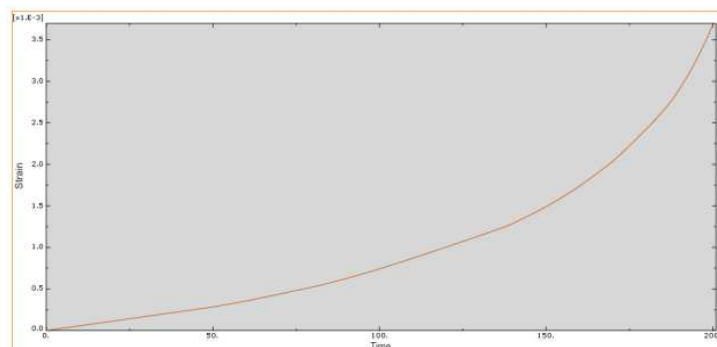
Jika nilai $TK \geq 1,00$, maka kolom diasumsi akan mengalami keruntuhan. Tingkat keruntuhan kolom dengan $TK \geq 1,00$ akan diindekskan dengan angka 1. Jika $TK < 1$ maka kolom tidak mengalami keruntuhan dan diindekskan dengan angka 0.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil yang akan dijabarkan pada makalah ini yaitu hasil analisis *software* elemen hingga yang berupa nilai regangan pada kolom untuk setiap beban yang bekerja dan hasil perhitungan tingkat keruntuhan kolom.

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 dan Tabel 4.



Gambar 3. Grafik Regangan Salah Satu Model

Tabel 4. Hasil Analisis Regangan menggunakan *Software* Elemen Hingga

Variasi	Beban Aksial (kN)	Momen (kN.m)	Regangan
Variasi 1-1-1	0	0	0
	4	0,095	0,00000300
	⋮	⋮	⋮
	1598	37,9525	0,00476511
	1600	38	0,00492768
Variasi 1-1-2	0	0	0
	4	0,095	0,00000301
	⋮	⋮	⋮
	1598	37,9525	0,00365742
	1600	38	0,00368451
⋮	⋮	⋮	⋮
Variasi 3-3-2	0	0	0
	4,5	0,125	0,00000314
	⋮	⋮	⋮
	1797,75	49,9375	0,00300212
	1800	50	0,00302715

Tabel 4. Lanjutan

Variasi	Beban Aksial (kN)	Momen (kN.m)	Regangan
Variasi 3-3-3	0	0	0
	4,5	0,125	0,00000315
	⋮	⋮	⋮
	1797,75	49,9375	0,00276699
	1800	50	0,00278201

Hasil Perhitungan Tingkat Keruntuhan Kolom

Setelah dilakukan analisis regangan pada kolom menggunakan *software* elemen hingga, dilakukan perhitungan tingkat keruntuhan kolom. Hasil perhitungan divisualisasikan dalam bentuk tabel yang dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Perhitungan Tingkat Keruntuhan Kolom

Variasi	Beban Aksial (kN)	Momen (kN.m)	TK	Indeks
Model 1 Variasi 1-1-1	0	0	0	0
	4,5	0,135	0,00095	0
	⋮	⋮	⋮	⋮
	1797,75	53,9325	1,21843	1
	1800	54	1,22629	1
Model 1 Variasi 1-1-2	0	0	0	0
	4,5	0,135	0,00095	0
	⋮	⋮	⋮	⋮
	1797,75	53,9325	1,10323	1
	1800	54	1,10966	1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
Model 2 Variasi 3-3-2	0	0	0	0
	4,5	0,125	0,00105	0
	⋮	⋮	⋮	⋮
	1797,75	49,9375	1,00071	1
	1800	50	1,00905	1
Model 2 Variasi 3-3-3	0	0	0	0
	4,5	0,125	0,00105	0
	⋮	⋮	⋮	⋮
	1797,75	49,9375	0,92233	0
	1800	50	0,92734	0

4. KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini, yaitu:

- Hasil analisis elemen hingga memberikan kesimpulan:
 - Regangan yang dialami kolom mengalami kenaikan secara nonlinear ketika beban terus bertambah. Hal ini dikarenakan kolom telah mengalami kondisi plastis.
 - 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.
- Hasil analisis tingkat keruntuhan memberikan kesimpulan:

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.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada keluarga maupun teman-teman yang selalu memberikan bantuan secara langsung maupun tidak langsung dalam menyempurnakan makalah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- 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.
- Ismeddiyanto. (2014). Analisis Eksperimen Lentur Kolom Dengan Bekisting Bataton 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.
- 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).
- 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.
- 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.