

JURNAL TEKNIK SIPIL

SUSUNAN REDAKSI

PENANGGUNG JAWAB	: Rektor Universitas Bandar Lampung Dekan Fakultas Teknik Universitas Bandar Lampung
KETUA DEWAN PENYUNTING	: Dr. Any Nurhasanah, M.T.
DEWAN PENYUNTING	: Ronny Hasudungan Purba, Ph.D. (Univ. Bandar Lampung) : Sony Sulaksono Wibowo, Ph.D. (Inst. Teknologi Bandung) : Dr. Ir. Chairul Paotonan, S.T., M.T. (Univ. Hassanudin) : Dr. Dalino, S.T., M.T. (Universitas Andalas) : Siti Isnaini K. Djaha, S.T., M.Sc. (Akademi Teknik Kupang) : Andung Yunianta, S.T., M.T. (Universitas Yapis Papua)
DESAIN VISUAL DAN EDITOR	: Aditya Mahatidanar Hidayat, S.T., M.Sc.
SEKRETARIAT DAN SIRKULASI	: Titis Lukita Sari, S.T., M.T.
Email	: tekniksipil@ubl.ac.id
ALAMAT REDAKSI	: Jl. Hi. Z.A. PAGAR ALAM NO. 26 BANDAR LAMPUNG - 35142 Telp. 0721-701979 Fax. 0721 – 701467

Penerbit
Program Studi Teknik Sipil
Universitas Bandar Lampung

Jurnal Teknik Sipil Universitas Bandar Lampung (UBL) diterbitkan 2 (dua) kali dalam setahun yaitu pada bulan Oktober dan bulan April



Jurnal Teknik Sipil UBL

Volume 11, Nomor 2, Oktober 2020

ISSN (Cetak) 2087-2860

ISSN (Online) 2745-6110

DAFTAR ISI

Susunan Redaksi	ii
Daftar Isi.....	iii
1. Analisa Kinerja Ruas Jalan Ryacudu Sukarame Bandar Lampung Akibat COVID-19	
Yulfriwini, Rudi Rozali	1165-1171
2. Earned Value Concept Terhadap Biaya dan Waktu Menggunakan Metode Crashing Shift Kerja	
Rama Pratama, Adwitya Bhaskara	1172-1184
3. Analisa Debit Air Hujan Dengan Metode Rainwater Harvesting Untuk Kebutuhan Air Bersih di SDN 066656 Kecamatan Medan Selayang	
Azri Suud, Rizky Franchitika, Kuswandi	1185-1194
4. Analisa Debit Banjir Rencana Sungai Palu Dengan Menggunakan Hidrograf Satuan Sintetik (HSS) Nakayasu	
Ifiginia.....	1195-1199
5. Analisa Tingkat Robustness Sistem Struktur Beton Bertulang Tahan Gempa	
Titis Lukita Sari	1200-1209

Analisis Tingkat *Robustness* Sistem Struktur Beton Bertulang Tahan Gempa

Titis Lukita Sari

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik

Universitas Bandar Lampung, Jalan ZA. Pagar Alam No.29, Lampung 35142, Indonesia

Email : titis@ubl.ac.id

Abstrak

Kegagalan pada struktur bangunan erat kaitannya dengan kinerja sistem struktur yang buruk. Pengukuran dan evaluasi terhadap struktur dilakukan berdasarkan indikator-indikator robustness dengan meninjau beberapa indikator performance yaitu failure load, safety factor, robustness factor dan redundancy. Kinerja struktur untuk masing-masing pemodelan diukur melalui analisis pushover untuk menunjukkan konsekuensi yang diterima struktur sebagai akibat adanya gangguan yang bekerja pada struktur. Hasil pengujian menunjukkan bahwa dari beberapa parameter yang diujikan, struktur yang didesain sesuai dengan aturan desain yang standard akan memiliki tingkat robustness yang bervariasi dan memiliki toleransi hingga batas tertentu terhadap kemungkinan terjadinya kegagalan struktur.

Kata-kata Kunci: *Robustness, Pushover, Failure Load, Safety Faktor, Redundancy.*

Abstract

The failure of structural system is closely related to poor performance of the structure. Measurement and evaluation of the structure is based on robustness analysis by reviewing some of the performance indicators such as failure load, safety factor, robustness factor and redundancy factor. For each modeling, the performances of the structure was gained by pushover analysis to showing the consequences would be obtained by structure when there are disturbances that work on structure. The analysis results showed that some of the parameters tested on a structure that was designed based on design codes would have variations on the level of robustness and tolerance for the possibility of structural failure.

Keywords: *Robustness, Pushover, Failure Load, Safety Faktor, Redundancy.*

1. Pendahuluan

Konsep *robustness* dan *reliability* dalam desain mulai menjadi perhatian para engineer. Dikembangkan beberapa dekade silam setelah peristiwa tragis runtuhnya Ronan Point (London, UK -1968), world Trade Center (New York, USA -2001) dan I-35W jembatan sungai Mississippi (Minneapolis, USA – 2007), konsep ini diharapkan mampu membawa perubahan besar dalam desain untuk memenuhi permintaan akan bangunan yang aman dengan mengurangi resiko keruntuhan dengan penyebab yang tidak proporsional.

Banyak hal yang dapat mempengaruhi kejadian kegagalan pada struktur bangunan yang erat kaitannya dengan kinerja sistem struktur yang buruk. Faktor yang mempengaruhi, umumnya

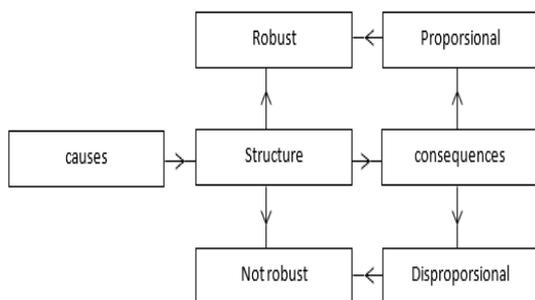
berasal dari kerusakan dan gangguan pada elemen struktur. Secara teknis dan menjadi alasan yang kuat perlunya peninjauan terhadap *robustness* adalah untuk memastikan tingkat keamanan bangunan, karena pada praktiknya elemen-elemen struktur yang didesain dengan suatu nilai yang pasti memiliki nilai yang acak pada pengaplikasian di lapangan. berbagai parameter yang bersifat acak atau tidak pasti ini misalnya dari material akan mempengaruhi mutu dan kualitas, kesalahan-kesalahan pengukuran yang merupakan human error dan sebagainya.

Adanya deviasi pada parameter desain menyebabkan tidak sesuainya suatu struktur terhadap spesifikasi desain. Hal ini akan

menyebabkan berkurangnya kapasitas kekuatan pada sistem. Sehingga upaya yang dapat dilakukan untuk mengurangi dampak yang ditimbulkan pada bangunan adalah dengan mempelajari dan memahami karakteristik resiko yang muncul akibat adanya faktor penyimpangan tersebut untuk selanjutnya informasi yang telah dikaji dapat memberikan evaluasi terhadap aturan-aturan standar yang telah baku. Dalam hal ini, konsep *robustness* menjadi wacana yang menarik untuk dikembangkan guna mewujudkan bangunan yang aman.

1.1 Konsep Robustness

Dalam masalah *engineering*, *robustness* didefinisikan sebagai kemampuan sistem untuk mempertahankan fungsi saat terjadi perubahan internal struktur maupun perubahan eksternal (Callaway et al., 2000). Pernyataan lain dari CEN (1994) pada Eurocode 1, bahwa *robustness* adalah kondisi di mana konsekuensi dari kerusakan struktural tidak disproportional dengan efek yang menyebabkan kegagalan. Gambar II.1 merupakan definisi *robustness* secara umum.



Gambar 1. Definisi *Robustness* – Sumber : Soares, E (2009)

Jika dianalogikan, maka *robustness* merupakan hubungan antara sebab, peristiwa, dan kerusakan dengan konsekuensi yang ditimbulkan dari fungsi struktural. Apabila hubungannya proporsional maka struktur dapat dikatakan *robust* dan sebaliknya apabila hubungannya disproportional maka struktur dianggap tidak *robust*.

2. Indikator Performance

Ada beberapa indikator yang dapat dijadikan parameter dalam menentukan sifat *robust* dari struktur tersebut. Untuk mengetahui karakteristik dari suatu bangunan sangat penting mengetahui respon struktur terhadap pembebanan, agar dapat digunakan dalam memprediksi hingga tahap apa struktur tersebut dapat bekerja dengan efektif.

2.1 Failure Loads

Pada struktur beton bertulang, kondisi batas yang terjadi saat kerusakan lokal pertama pada penampang kritis merupakan peringatan awal struktur saat mulai terjadi rambatan kerusakan dan lebih lanjut dapat menyebabkan keruntuhan global dari sistem struktur (Biondini dan Frangopol, 2015). Kerusakan yang terus bertambah disebabkan oleh beban yang bekerja pada struktur yang besarnya dapat berfluktuasi dan tidak dapat ditentukan secara pasti. Sehingga dalam analisis, besarnya beban yang mengakibatkan perubahan sifat mekanik elemen merupakan beban dinamis dengan faktor pengali yang besarnya λ . Besarnya beban pada setiap proses kerusakan dapat terlihat melalui besarnya nilai λ , karena semakin besar nilainya maka kerusakan elemen maupun sistem juga semakin besar hingga pada akhirnya mencapai batas *collapse*.

Dalam kajian ini faktor pengali beban (λ) merupakan bilangan skalar yang nilainya $\lambda \geq 0$. Dengan menggunakan faktor pengali beban ini dapat diidentifikasi batasan kerusakan struktur dengan meninjau faktor pengali beban dinamis pada saat terjadinya kerusakan lokal awal dan faktor pengali beban pada kondisi *collapse*, yang masing-masing dinotasikan dengan λ_1 dan λ_c .

Beban dinamis pada kajian *robustness* ini diasumsikan bekerja dalam arah lateral yang memberikan dorongan terhadap struktur pada arah lateral yang akan memberikan respon berupa deformasi struktur. Dengan pemodelan pembebanan statik, diberikanya beban pada batas tertentu akan menyebabkan material baja pada struktur beton bertulang mengalami kelelahan. Ketika material baja tulangan mencapai titik leleh, menandakan adanya kerusakan lokal pada elemen tersebut dan apabila pembebanan pada struktur terus

bertambah maka pada batas tertentu struktur akan mengalami *collapse*. Faktor pengali beban (λ) menunjukkan tingkatan penambahan beban diberbagai kondisi yang dialami struktur dari beban dinamis yang mampu dipikul oleh struktur.

2.2 Safety Factor

Faktor keamanan atau *safety factor* merupakan tujuan utama dilakukan desain struktur, yaitu untuk memastikan kecukupan tingkat keamanan terhadap batas *collapse* dari struktur. Struktur aman jika beban yang ditinjau tidak lebih besar dari nilai beban runtuhnya. Kriteria kamanan yang didesain oleh Biondini dan Frangopol (2015) ditunjukkan berdasarkan rumusan berikut:

$$\Theta(\lambda^*, \lambda_c) = \frac{\lambda_c(x)}{\lambda^*(x)} \geq 1 \quad (1)$$

Dengan $\Theta(\lambda^*, \lambda_c)$ adalah *safety factor*. Faktor keamanan elemen dan sistem struktur sangat tergantung pada kinerja struktur yang dipengaruhi oleh kekuatan bahan, geometri dan beban yang bekerja.

2.3 Robustness Indeks

Robustness factor merupakan indeks pengukur kemampuan sistem saat mengalami sejumlah kerusakan yang sifatnya tidak disproporsional untuk menyebabkan kerusakan.

Indeks kinerja diperoleh dengan membandingkan kinerja sistem pada kondisi awal (*initial*) dengan struktur yang masih sepenuhnya utuh terhadap struktur pada kondisi limit state atau dalam keadaan terganggu sesuai dengan skenario yang telah ditetapkan. Rasio λ *collapse* pada kondisi terganggu, yaitu $\lambda_c = \lambda_c(x)$ terhadap nilai λ *collapse* pada desain awal, $\lambda_{c0} = \lambda_c(0)$ diasumsikan sebagai indeks kinerja struktur dari varian *local damage* yang telah diskenariokan (x) dalam kisaran $[0;1]$.

$$\rho(x) = \frac{\lambda_c(x)}{\lambda_{c0}} \quad (2)$$

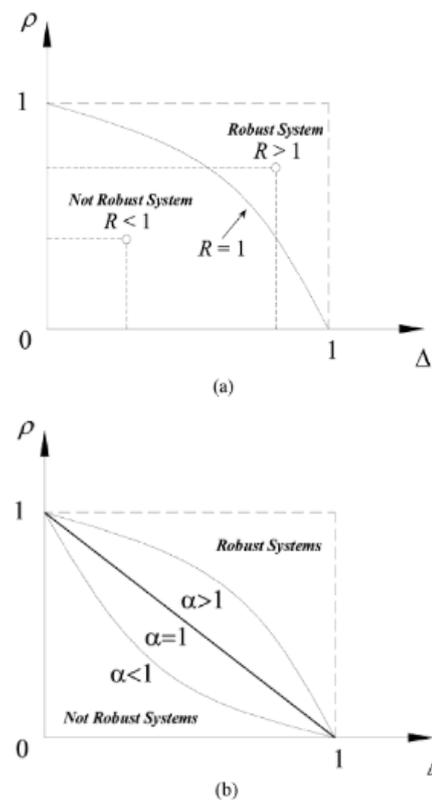
Untuk mendapatkan nilai indeks *robustness*, indeks kinerja bangunan yang dinotasikan dengan $\rho = \rho(x)$ dijumlahkan dengan indeks *global damage* yang dinyatakan dengan $\Delta =$

$\Delta_s = \Delta_s(x)$, yaitu yang menyatakan jumlah *damage* yang diderita oleh struktur dalam rentang $[0;1]$. Dengan beberapa penyesuaian, kriteria ketahanan ini diusulkan Biondini (2009), sebagai berikut.

$$R(\rho, \Delta) = \rho(x)^\alpha + \Delta(x)^\alpha \geq 1 \quad (3)$$

Dengan $R = R(\rho, \Delta)$ merupakan *robustness* faktor, dan α adalah parameter bentuk untuk batas $R = R(\rho, \Delta) = 1$.

Nilai $\alpha = 1$ menunjukkan proporsionalitas antara hilangnya kinerja dan kerusakan (Gambar II.10). Sistem struktur yang *robust* ditunjukkan berdasarkan nilai $R \geq 1$ dan tidak *robust* jika $R < 1$.



Gambar 2. Indeks kinerja (ρ) vs indeks *damage* (Δ) : (a) Karakteristik indeks *robustness* $R = R(\rho, \Delta)$; (b) Karakteristik nilai α

2.4 Redundancy

Redundancy struktur menunjukkan kemampuan sistem untuk mendistribusikan beban dari elemen yang sudah tidak dapat lagi memberikan dukungan kekuatan ke elemen-

elemen lain yang masih berfungsi setelah terjadi kegagalan lokal (Frangopol dan Curley, 1987). Redistribusi beban setelah terjadinya kegagalan lokal hingga mencapai batas runtuh, dipengaruhi oleh selisih atau jarak antara beban *collapse*, $\lambda_c = \lambda_c(x)$ dan beban yang menyebabkan kegagalan lokal pada elemen struktur, $\lambda_l = \lambda_l(x)$. Berdasarkan pendapat tersebut, Biondini dan Frangopol (2014) menggunakan parameter *redundancy* sebagai parameter *performance* dalam kajian *robustness*. Indeks *redundancy* diperoleh berdasarkan rumusan berikut pada rentang [0; 1] :

$$\Lambda(\lambda_l, \lambda_c) = \frac{\lambda_c(x) - \lambda_l(x)}{\lambda_c(x)} \quad (4)$$

Indeks *redundancy*, $\Lambda = \Lambda(x)$ bernilai nol ketika tidak ada cadangan kapasitas setelah struktur mengalami kegagalan pertama ($\lambda_l = \lambda_c$), dan apabila hingga kegagalan pertama sistem struktur masih dapat bertahan hingga mencapai pada batas *collapsenya*, maka nilai indeks redundansi $\Lambda(x) > 0$.

3. Model Kerusakan

Efek kerusakan pada bangunan akan mempengaruhi kinerja baik pada level lokal struktur maupun global.

3.1 Local Damage

Kerusakan pada elemen struktur secara umum akan memberikan pengaruh pada nilai *robustness*. Persentase kerusakan elemen secara efektif dapat dipresentasikan dengan suatu *indeks* kerusakan $\Delta(x)$ yang nilainya berada pada rentang [0,1]. Kerusakan lokal yang terjadi akan mempengaruhi kinerja elemen pada sistem, sehingga efek ini dalam analisis *robustness* dianggap sebagai suatu fungsi kerusakan yang besarnya kecilnya sesuai dengan tingkat *damage* elemen.

3.2 Global Damage

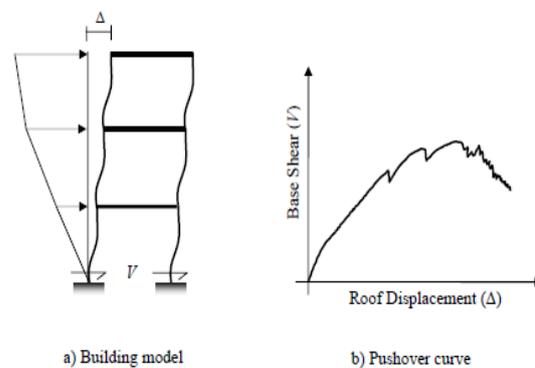
Kerusakan global (*global damage*) merupakan kerusakan pada tingkat sistem. Kerusakan ini berpengaruh pada kinerja sistem secara keseluruhan yang merupakan akumulasi dari kerusakan-kerusakan pada tingkat elemen yang kemudian berpengaruh pada kinerja sistem struktur secara global.

4. Respon Struktur

Langkah awal yang dilakukan dalam kajian *robustness* terhadap struktur *frame* beton bertulang ini adalah melakukan analisis terhadap respon struktur menggunakan analisis statik pushover. Analisis pushover dilakukan berdasarkan petunjuk FEMA 356 dan dengan menggunakan bantuan program SAP2000 untuk melakukan perhitungan.

Analisis pushover menilai kinerja struktur dengan memperkirakan kekuatan dan kapasitas deformasi dengan kebutuhan tahanan gempa berdasarkan analisa beban statik hingga titik kontrol pada bangunan mencapai target *displacement* atau batas *collapse*.

Hasil analisis pushover adalah berupa kurva *performance* yang merupakan hubungan antara gaya geser dengan roof displacement. Kurva *pushover* dipengaruhi oleh pola distribusi gaya lateral yang digunakan sebagai beban dorong.. Nilai-nilai yang berkaitan dengan pengukuran *robustness* struktur berdasarkan analisis pushover ini akan digunakan untuk memperhitungkan nilai *robustness* sistem struktur.



Gambar 3. Prosedur Analisis Pushover –
Sumber : Jan, et al. (2004)

Analisa *pushover* dapat digunakan sebagai alat bantu perencanaan struktur tahan gempa. Dari hasil analisa *pushover* akan didapat informasi mengenai lokasi elemen-elemen yang kritis dan memerlukan perlakuan khusus sehingga antisipasi kegagalan struktur dapat diprediksi pada tahap perencanaan struktur.

5. Skenario Damage

Dalam kajian ini, parameter penyimpangan dianggap sebagai suatu gangguan atau *damage* pada elemen karena sifatnya dianggap mengurangi kapasitas dari elemen struktur tersebut. Parameter penyimpangan pada kajian ini dianggap sebagai deviasi yang nilainya ditetapkan untuk masing-masing parameter. Gambar 4. menunjukkan model kerusakan struktur dalam kajian *robustness* ini.

Parameter mutu baja, f_y , mutu beton, f_c' , diameter tulangan, d_s , dan panjang sisi penampang kolom, S_c , adalah parameter yang dimodelkan mengalami penyimpangan (deviasi). Skenario pertama, kolom lantai dasar dipilih sebagai elemen yang mengalami deviasi, karena dianggap dapat memberikan pengaruh paling besar akibat adanya deviasi tersebut. Dan skenario kedua, deviasi dianggap terjadi pada kolom dan balok di lantai 1.

Akibat adanya deviasi tersebut masing-masing parameter akan dimodelkan sebagai berikut:

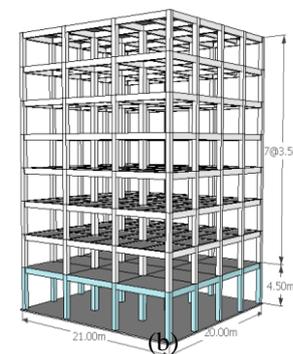
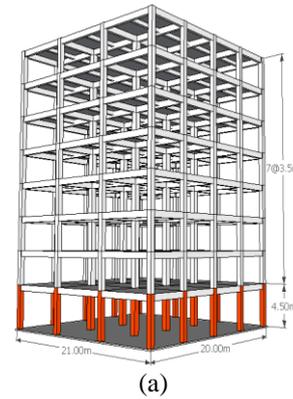
$$f_y = f_{y0} - \Delta f_y \quad (5)$$

$$f_c' = f_{c0}' - \Delta f_c' \quad (6)$$

$$S_c = S_{c0} - \Delta S_c \quad (7)$$

$$d_s = d_{s0} - \Delta d_s \quad (8)$$

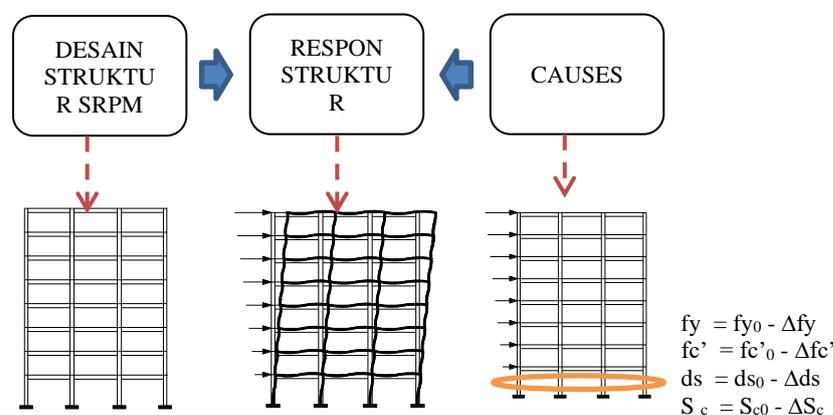
Indeks kerusakan disimbolkan sebagai $\Delta = \Delta(D)$ dengan besarnya deviasi (D) untuk masing-masing parameter yaitu 5% untuk semua parameter, yaitu f_y , f_c' , d_s dan S_c .



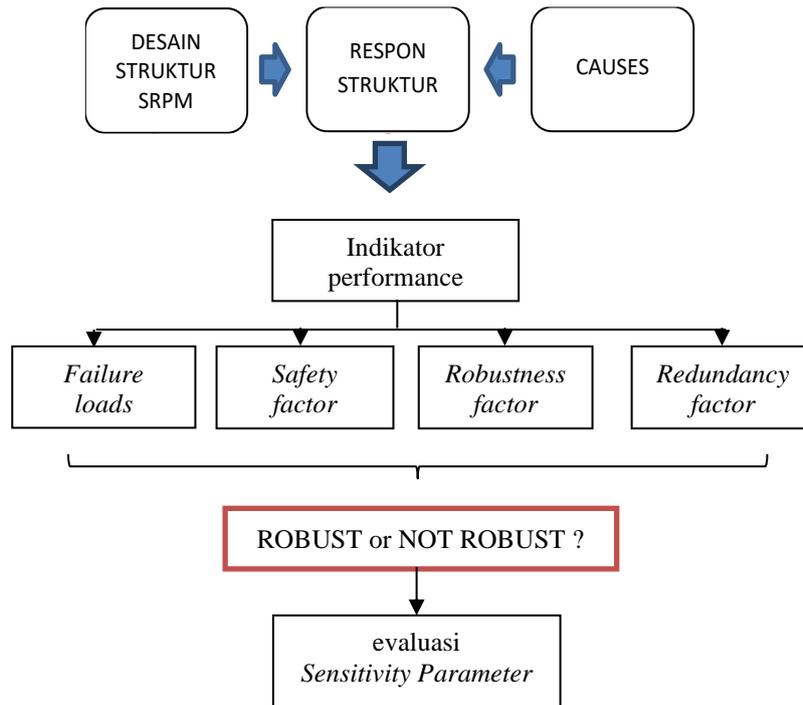
Gambar 4. Skenario Kerusakan pada Elemen: (a) Pada Kolom dasar, (b) Pada Kolom+Balok lantai 1.

6. Metode Analisis

Penelitian ini secara garis besar dilakukan berdasarkan beberapa tahapan yang bertujuan untuk memberi arahan dan panduan dalam melakukan analisis. Dalam penelitian ini kajian dilakukan menggunakan metode pendekatan secara analitik menggunakan *software* SAP2000 versi 14. Adapun tahapan-tahapan yang dimaksud adalah sebagai berikut:



Gambar 5. Skema Analisa Respon Struktur



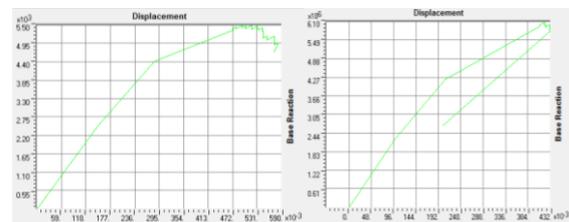
Gambar 6. Skema Analisa *Robustness*

7. Hasil Pengujian

Seperti dikatakan di awal bahwa *robustness* pada analisis ini ditunjukkan oleh beberapa indikator yang dapat mempresentasikan sifat robust pada sistem. Untuk mendapatkan nilai dari indikator-indikator tersebut sebelumnya telah dilakukan analisis terhadap respons bangunan terhadap kemungkinan gempa desain yang akan terjadi melalui analisis pushover.

7.1 Analisis Pushover

Berdasarkan analisis pushover pada sistem yang sebelumnya telah didesain sesuai dengan aturan-aturan bangunan tahan gempa Indonesia (SNI), diketahui bahwa sistem mampu mengembangkan kemampuannya terhadap gaya gempa statik yang diterima struktur yang dinyatakan oleh base reaction dari struktur hingga pada batas 5377.42 KN dengan displacement sebesar 473.36 mm pada pembebanan arah Barat-Timur, dan 5930.313 KN dengan displacement sebesar 409.036 mm.



Gambar 7. Kurva Pushover (a) Pembebanan Arah Barat-Timur (b) Pembebanan Arah Utara-Selatan

7.2 Performance Struktur

Berdasarkan kurva ADRS yang diperoleh dengan metode ATC-40 performance point dari struktur adalah 3646.44 kN untuk arah pembebanan Barat – Timur dan 3896.441 kN untuk arah pembebanan gempa Utara – Selatan. Nilai tersebut merupakan besarnya gaya geser yang dicapai bangunan pada saat beban gempa desain terjadi.

Dengan cara yang sama dilakukan peninjauan terhadap struktur yang divariasikan terhadap damage elemen untuk mengetahui titik leleh, titik collapse, dan performance point.

7.3 Analisis Robustness Struktur

1) Failure Load

Dari gambar terlihat bahwa deviasi parameter mutu baja (f_{yn}) dan mutu beton (f_c') panjang sisi muka kolom (S_c) dan diameter tulangan (d_s) berpengaruh terhadap penurunan nilai *failure load* yang berbanding lurus dengan besaran deviasi yang terjadi.

Untuk masing-masing pengujian deviasi parameter desain, besarnya $V_{failure}$ yang terjadi pada kombinasi elemen balok lantai 1 dan kolom dasar menunjukkan nilai yang lebih kecil jika dibandingkan dengan deviasi yang terjadi hanya pada elemen kolom dasar saja (lihat Gambar 8 (1)).

2) Safety Factor

Dari hasil analisis terhadap nilai *safety factor* terlihat bahwa nilai *safety factor* untuk deviasi panjang sisi-sisi penampang kolom (S) merupakan parameter yang menyebabkan penurunan nilai *safety factor* paling besar dibandingkan parameter mutu tulangan (f_y), mutu beton (f_c') dan diameter tulangan (d_s) (lihat Gambar 8 (2)).

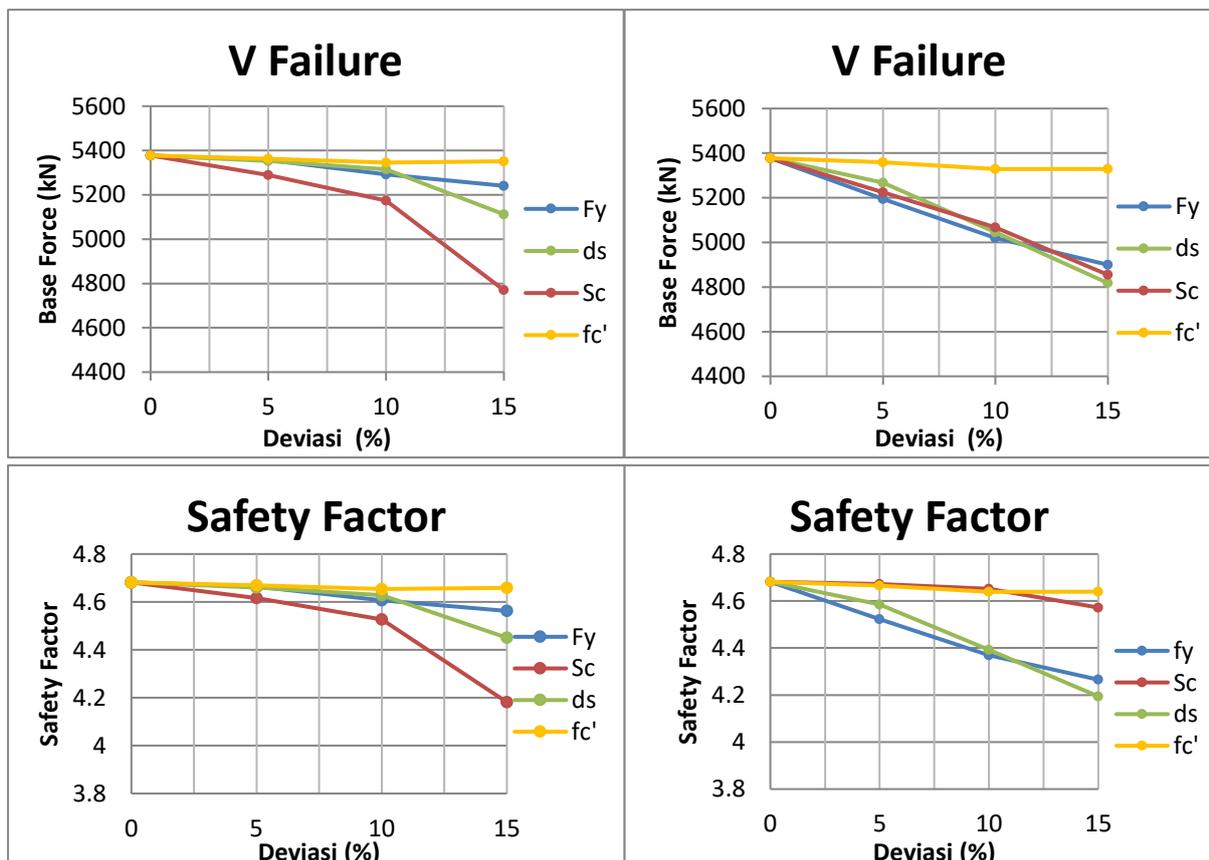
3) Robustness Indeks

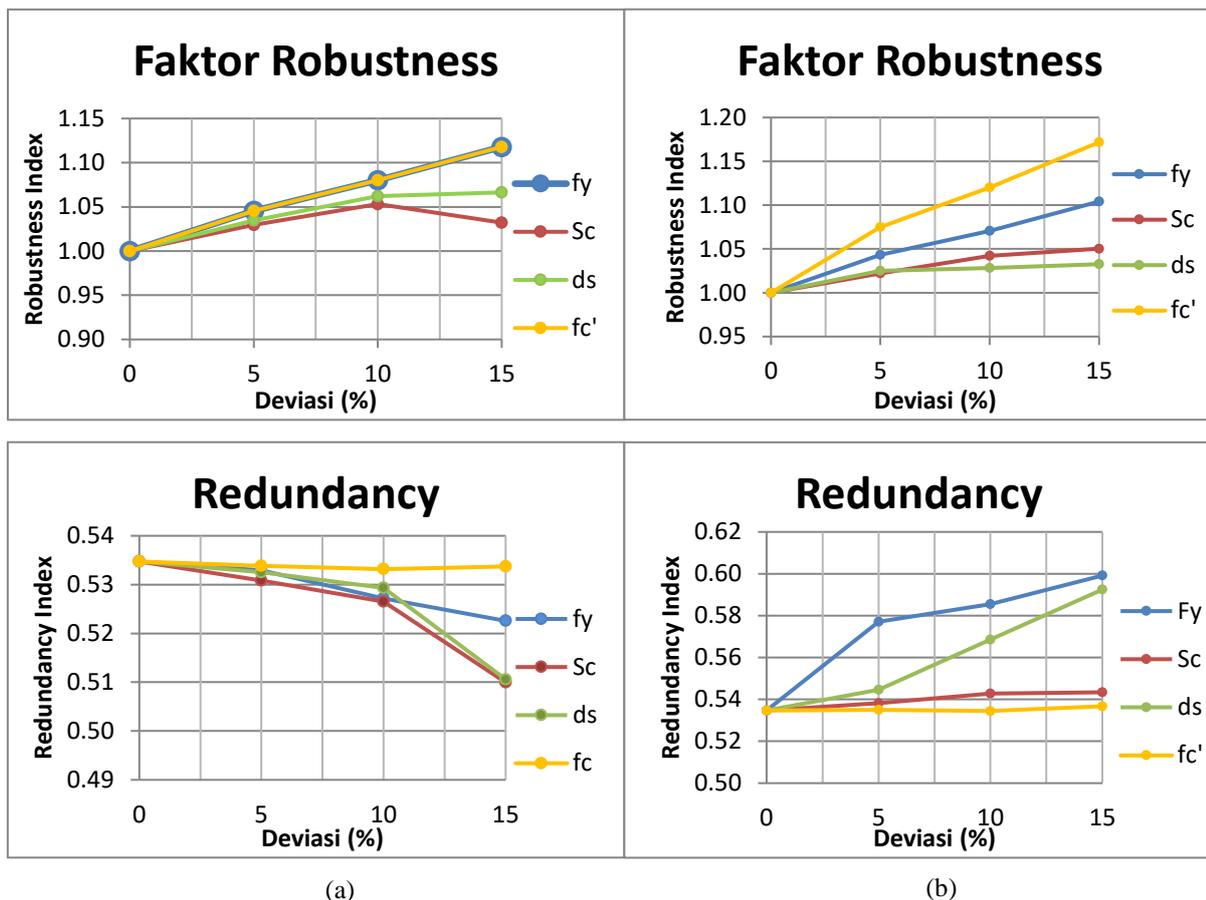
Dari grafik yang ditunjukkan pada Gambar 8 (3) terlihat bahwa parameter dengan deviasi panjang sisi penampang kolom dasar memiliki penurunan indeks *robustness* yang paling besar, sehingga dapat dikatakan parameter panjang sisi kolom merupakan parameter yang paling sensitif terhadap perubahan indeks *robustness*.

Dari nilai-nilai indeks *robustness* yang didapat, menunjukkan bahwa adanya perubahan atau deviasi parameter desain hingga batas yang diujikan memberikan dampak penurunan kapasitas struktur namun masih dalam batas-batas aman yang ditetapkan.

4) Indeks Redundancy

Gambar 8 (4) menunjukkan nilai redundancy struktur yang mengalami deviasi pada balok dan kolom lantai 1. Terlihat bahwa nilai redundancy struktur dengan parameter yang berhubungan dengan material yang dapat mengalami kelelahan, menunjukkan peningkatan nilai redundancy. Hal ini disebabkan terjadinya penurunan kapasitas dari balok sehingga *local failure* (kelelahan pertama) pada struktur terjadi lebih cepat, mengingat bahwa struktur didesain dengan kriteria *strong column – weak beam*.





Gambar 8. Pengaruh Deviasi Parameter Desain Terhadap: (1) Failure Load, (2) Safety Factor, (3) Faktor Robustness, dan (4) Redundancy. (a) Deviasi Pada Kolom Dasar; (b) Deviasi Pada Kolom Dasar + Balok Lantai 1.

8. Kesimpulan

- Berdasarkan parameter-parameter *robustness* yang diujikan, untuk setiap kenaikan nilai *damage* akibat adanya deviasi yang sifatnya mengurangi spesifikasi desain, menyebabkan nilai dari parameter-parameter *robustness*, yaitu dilihat dari *failure load*, *safety factor* yang dihasilkan berkurang sedangkan untuk indeks *robustness* terlihat mengalami kenaikan.
- Indeks *redundancy* dari hasil analisa terhadap deviasi parameter desain yang terjadi pada elemen kolom pada pengujian pertama dan elemen kolom + balok pada pengujian kedua, menunjukkan perbedaan yang mempengaruhi nilai *redundancy* yang disebabkan adanya penurunan kapasitas elemen yang menjadi indikator kelelahan awal (balok) pada skenario kedua yang tidak dilakukan pada skenario pertama.
- Dengan adanya deviasi negatif pada parameter-parameter desain yang diujikan, yaitu mutu baja tulangan, mutu beton, diameter tulangan dan panjang sisi penampang, kapasitas bangunan dalam menahan gaya geser akibat gempa masih masuk kedalam batas kriteria aman berdasarkan kontrol pada masing-masing pengujian *robustness*.
- Berdasarkan hasil yang didapat, deviasi pada mutu beton (f_c') menunjukkan penurunan paling kecil pada nilai *failure load*, *safety factor*, dan *indeks redundancy*. Sedangkan deviasi pada panjang sisi (S) penampang kolom menunjukkan penurunan paling signifikan pada nilai

tersebut. Dan pada indeks *robustness*, struktur yang mengalami deviasi panjang sisi penampang menunjukkan nilai indeks terendah. Dengan kata lain, deviasi pada panjang sisi penampang kolom merupakan parameter yang paling sensitif terhadap perubahan nilai *failure load*, *safety factor*, dan *redundancy*.

5. Desain struktur bangunan yang dilakukan sesuai dengan ketentuan-ketentuan SNI, memberikan tingkat keamanan yang baik terhadap adanya penyimpangan-penyimpangan nilai akibat adanya deviasi khususnya parameter yang telah diujikan yaitu mutu baja tulangan, diameter tulangan, dan panjang penampang berdasarkan indikator *robustness*.

Daftar Pustaka

- ACI Committee 318 (2011). “*Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-11) and Commentary (ACI 318R-99)*”, ACI, Farmington Hills, MI.
- ASCE 7-10 (2010), “*Minimum Design Loads for buildings and other structures*”. New York: American Society of civil engineers.
- Badan Standarisasi Nasional (2012). “Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Non Gedung (SNI 03-1726-2012)”, BSN, Jakarta, Indonesia.
- Badan Standarisasi Nasional (2013). “Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain (SNI 03-1727-2013)”, BSN, Jakarta, Indonesia
- Badan Standarisasi Nasional (2013). “Persyaratan Beton Bertulang untuk Bangunan Gedung (SNI 03-2847-2013)”, BSN, Jakarta, Indonesia.
- Biondini, F. (2009) “*A measure of lifetime structural robustness*”.*SEI/ASCE structures Congress 2009, L., Griffis, T. Helwig, M. Waggoner, and M. Hoit (Eds.)*, ASCE.
- Biondini, F., Restelli, S. (2008). “*Damage Propagation and Structural Robustness*”, *First International Symposium on Life-Cycle Civil Engineering (IALCCE’08)*, Varenna, Italy, June 10-14, 2008. In: *Life-Cycle Civil Engineering*, F. Biondini, D.M. Frangopol (Eds.), CRC Press/Balkema, Taylor & Francis Group, London, UK.
- Biondini, Fabio., Frangopol, D. M. (2015). “*Role of Uncertainty in Life-Cycle Design of Concrete Structures*”. *12th International Conference on Applications of Statistics and Probability in Civil Engineering, ICASP12. Vancouver, Canada*.
- Biondini, Fabio., Frangopol, D. M., Restelli, S. (2015). “*On Structural Robustness, Redundancy and Static Indeterminacy*”. Milan, Italy.
- Cavaco, Eduardo S. (2009). “*Robustness of Corroded Reinforced Concrete Structure*”. *COST ACTION TU-0601*.
- Callaway, D., Newman, M., Strogatz, S., and Watts, D. (2000). Network robustness and fragility: Percolation on random graphs. *Physicat Review Letters*, 85(25): 5468-5471.
- CEN (1994). Eurocode 1: basis of design.; *European Prestandard ENV 1991-1. Brussels (Belgium): Comite European de Normalization 250*.
- Computers and Structures, Inc. (2013). “*CSI Analysis Reference Manual, for SAP2000, ETABS, SAFE and CSiBridge*”. Berkeley, California 94704, USA.
- Dewobroto, W. (2013). “Komputer rekayasa struktur dengan SAP2000”. Dapur Buku. Indonesia.
- FEMA 356 (2000). “*Prestandard and Commentary for The Seismic*

Rehabilitatin of Buildings” Federal
Emergency Management Agency.

FEMA 440 (2005). “*Improvement of Nonlinier
Static Seismic Analysis Procedures*”.
Applied Technology Council.

FEMA 451 (2006). “*NEHRP Recommended
Provision: Design Example*” Federal
Emergency Management Agency.

Frangopol, D. M. and Curley, J. P. (1987).
Effects of damage and redundancy on
structural reliability. *Journal of
Structural Engineering*, 113 (7) : 1533-
1549.

Gkoumas, K., Bontempi, F. (2014). “*Structural
Robustness: Issues, Numerical
Modeling and Future Trends*”,
Sapienza Universita di Roma, Italy.

Imran, I., Hendrik, F. (2009) “*Perencanaan
Struktur Gedung Beton Bertulang
Tahan Gempa*”, ITB, Bandung,
Indonesia.

Izzuddin, Bassam A. (2012). “*Structural
System Analysis for Robustness
Assessment*”. Imperial Collage.
London.

Jan, T. S., Liu, M. W., Kao, Y. C. (2004), “*An
upper-bond pushover analysis
Procedure for estimating the seismic
demans of high-rise buildings*”.
Engineering structures. 117-128.

Strarossek, U., Haberland, M. (2009).
“*Evaluating Measures of Structural
Robustness*”. ASCE.

Zulkifli, Ediansjah (2014). “*Perencanaan
Bangunan Tahan Gempa*”, FTSL ITB,
Bandung, Indonesia.

INFORMASI UNTUK PENULISAN NASKAH

JURNAL TEKNIK SIPIL UBL

Persyaratan Penulisan Naskah

1. Tulisan/naskah terbuka untuk umum sesuai dengan bidang teknik sipil.
2. Naskah dapat berupa :
 - a. Hasil penelitian, atau
 - b. Kajian yang ditambah pemikiran penerapannya pada kasus tertentu, yang belum dipublikasikan,

Naskah ditulis dalam bahasa Indonesia atau Inggris. Naskah manuskrip yang sudah memenuhi petunjuk penulisan jurnal (dalam format MS Word, gunakan template artikel ini) . Naskah manuskrip harus ditulis sesuai template artikel ini dalam bentuk siap cetak (Camera ready). Artikel harus ditulis dengan ukuran bidang tulisan A4 (210 x 297 mm) dan dengan format margin kiri 25 mm, margin kanan 20 mm, margin bawah 20 mm, dan margin atas 30 mm. Naskah harus ditulis dengan jenis huruf Times New Roman dengan ukuran font 11 pt (kecuali judul artikel), berjarak satu spasi, dan dalam format dua kolom (kecuali bagian judul artikel, nama penulis, dan abstrak). Jarak antar kolom adalah sejauh 10 mm.

Tata Cara Penulisan Naskah

1. Sistematika penulisan disusun sebagai berikut :
 - a. Bagian Awal : judul, nama penulis, alamat penulis dan abstrak (dalam dua bahasa : Indonesia dan Inggris)
 - b. Bagian Utama : pendahuluan (latar belakang, permasalahan, tujuan) , tulisan pokok (tinjauan pustaka, metode, data dan pembahasan.), kesimpulan (dan saran)
 - c. Bagian Akhir : catatan kaki (kalau ada) dan daftar pustaka.

Judul tulisan sesingkat mungkin dan jelas, seluruhnya dengan huruf kapital dan ditulis secara simetris.

2. Nama penulis ditulis :
 - a. Di bawah judul tanpa gelar diawali huruf kapital, huruf simetris, jika penulis lebih dari satu orang, semua nama dicantumkan secara lengkap.
 - b. Di catatan kaki, nama lengkap dengan gelar (untuk memudahkan komunikasi formal) disertai keterangan pekerjaan/profesi/instansi (dan kotanya,); apabila penulis lebih dari satu orang, semua nama dicantumkan secara lengkap.
3. Abstrak memuat semua inti permasalahan, cara pemecahannya, dari hasil yang diperoleh dan memuat tidak lebih dari 200 kata, diketik satu spasi (font size 11).

4. Teknik penulisan :

Untuk kata asing dituskan huruf miring.

- a. Alenia baru dimulai pada ketikan kelima dari batas tepi kiri, antar alinea tidak diberi tambahan spasi.
 - b. Batas pengetikan : tepi atas tiga centimeter, tepi bawah dua centimeter, sisi kiri tiga centimeter dan sisi kanan dua centimeter.
 - c. Tabel dan gambar harus diberi keterangan yang jelas.
 - d. Gambar harus bisa dibaca dengan jelas jika diperkecil sampai dengan 50%.
 - e. Sumber pustaka dituliskan dalam bentuk uraian hanya terdiri dari nama penulis dan tahun penerbitan. Nama penulis tersebut harus tepat sama dengan nama yang tertulis dalam daftar pustaka.
5. Untuk penulisan keterangan pada gambar, ditulis seperti : gambar 1, demikian juga dengan Tabel 1., Grafik 1. dan sebagainya.
 6. Bila sumber gambar diambil dari buku atau sumber lain, maka di bawah keterangan gambar ditulis nama penulis dan tahun penerbitan.
 7. Daftar pustaka ditulis dalam urutan abjad nama penulisan dan secara kronologis : nama, tahun terbit, judul (diketik miring), jilid, edisi, nama penerbit, tempat terbit.