

**Analisis Perilaku Struktur Perkantoran Tahan Gempa
Menggunakan Metode *Pushover Analysis***

Rinda Fitri Nabhilla^{*1}, Gati Annisa Hayu²

^{1,2}Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Perencanaan Infrastruktur, Universitas Pertamina
Jl. Teuku Nyak Arief, Simprug, Jakarta Selatan, 12220

Submitted : 08 September, 2020;

Accepted: 16, September, 2020

Abstrak

Penelitian ini mengenai analisis struktur gedung perkantoran delapan lantai terhadap beban gempa dan mengetahui tingkat kinerja struktur dengan mengacu pada ATC-40. Konsep yang digunakan untuk rekayasa gempa yaitu *Performance Based Seismic Evaluation* (PBSE) dengan salah satu metode yang digunakan untuk melakukan evaluasi struktur adalah metode *Pushover Analysis*. Metode ini berupa pemberian beban lateral statik pada struktur yang ditingkatkan secara bertahap sampai terjadi keruntuhan pada elemen struktur dan menghasilkan suatu target perpindahan struktur. Acuan yang digunakan dalam menentukan target perpindahan adalah ATC 40, FEMA 356, dan FEMA 440. Hasil dari analisis berupa target perpindahan sebesar 0,015 m pada arah X dan arah Y serta didapatkan nilai maksimum total *drift* sebesar 0,0066 m pada arah X dan 0,00273 m pada arah Y. Berdasarkan deformasi struktur dan kriteria pada ATC 40 kondisi struktur berada pada tingkat kinerja *Immediately Occupancy* (IO).

Kata kunci : *Pushover analysis*; tingkat kinerja; target perpindahan

Abstract

A research about structural analysis of eight-story office building due to earthquake load and to identify the performance level of the structure referring to ATC-40. Performance Based Seismic Evaluation (PBSE) concept is used for earthquake engineering by using one of the method which is Pushover Analysis to evaluate the structure. This method is to purposely apply escalating static lateral load to the structure until failure occurs to the structural elements and targeted structural displacement was obtained. Determining the targeted displacement is referring to ATC-40, FEMA 365, and FEMA 440. Results show that targeted displacement value is 0,015 m for X direction and Y direction as well as the total drift was obtained as much as 0,0066 m for X direction and 0,00273 m for Y direction. According to the structural deformation and criteria from ATC-40 the performance level of the structure is at Immediately Occupancy (IO).

Key Words : *Pushover analysis*; performance level; displacement target

A. PENDAHULUAN

Wilayah Indonesia sering terjadi bencana alam, salah satunya adalah

gempa bumi. Hari Jumat, 02 Agustus 2019 pukul 19:03:25 WIB Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika

*Corresponding author: rindafrn14@gmail.com
Another author: Gati.hayu@universitaspertamina.ac.id

(BMKG) melaporkan terjadi gempa bumi tektonik dengan kekuatan M 6,9 di provinsi Banten. Berdasarkan Laporan Ulasan Guncangan Tanah Akibat Gempa bumi 02 Agustus 2019 yang diterbitkan oleh BMKG pada situs bmgk.go.id, menerangkan sebanyak 17 rumah mengalami kerusakan besar, 31 rumah mengalami kerusakan sedang, dan 178 rumah mengalami kerusakan ringan. (Bidang Seismologi Teknik BMKG, 2019).

Dengan besarnya angka kerusakan yang terjadi akibat gempa bumi, maka diperlukan perancangan struktur bangunan dengan baik sehingga dapat menahan beban gempa yang nantinya akan menjadi infrastruktur berkelanjutan. Dalam mengantisipasi terjadinya kerusakan fisik pada struktur bangunan, Indonesia mengatur perencanaan ketahanan gempa pada struktur bangunan gedung dalam SNI 1726:2012 (Kurniawan, Nurtanto, & Hayu, 2018). Untuk mengetahui kekuatan suatu struktur ketika gempa terjadi maka diperlukan suatu analisis struktur terhadap beban gempa. *Pushover Analysis* merupakan salah satu metode evaluasi struktur yang terdapat pada suatu konsep baru yang dapat digunakan untuk rekayasa gempa yaitu *Performance Based Seismic Evaluation* (PBSE). Evaluasi struktur terhadap beban gempa pada perencanaan struktur bangunan dalam penelitian ini menggunakan metode *Pushover Analysis*, yaitu dengan memberikan pola beban statik tertentu dalam arah lateral yang ditingkatkan secara bertahap sampai tercapai keruntuhan pada elemen struktur karena terdapat sendi plastis atau mencapai target perpindahan tertentu.

B. TINJAUAN PUSTAKA

Pushover analysis adalah suatu analisis statik nonlinear untuk mengetahui pola keruntuhan suatu

struktur bangunan. Analisis ini dilakukan dengan memberikan suatu pola pembebanan arah lateral pada struktur bangunan, yang kemudian beban tersebut ditingkatkan sampai mencapai target perpindahan atau keruntuhan yang ingin dicapai. Analisis ini digunakan untuk mengevaluasi suatu struktur bangunan ketika gempa terjadi di lokasi struktur bangunan tersebut dengan menggunakan tingkat kinerja sehingga struktur dapat direncanakan tahan gempa (Oktopianto & Andayani, 2013). Analisis *pushover* akan menghasilkan kurva kapasitas. Kurva kapasitas menggambarkan hubungan antara gaya geser (V) dengan perpindahan (D) yang terjadi akibat gempa pada struktur.

1. Tingkat Kinerja Struktur

Tingkat kerusakan dari struktur dapat dilihat berdasarkan tingkat kinerja dari struktur. Tingkat kinerja adalah tingkat atau derajat kerusakan yang ditentukan berdasarkan kerusakan struktur dan elemen struktur. FEMA 273 dan ATC 40 mengatur mengenai tingkat kinerja suatu struktur sebagai berikut:

- Immediate Occupancy* (IO), dimana bila terjadi gempa struktur dapat menahan gempa sehingga tidak terjadi kerusakan pada struktur baik pada elemen struktural maupun non-struktural.
- Damage Control*, ketika gempa terjadi tingkat kerusakan struktur berada diantara IO dan LS.
- Life Safety* (LS), kerusakan yang dialami pada elemen struktur hanya sedikit sehingga manusia yang tinggal atau berada pada struktur bangunan keselamatannya terjaga.
- Collapse Prevention*, ketika gempa terjadi elemen struktural pada bangunan mengalami kerusakan parah, namun belum runtuh.
- Not-considered*, ketika gempa terjadi struktur mengalami kondisi runtuh hingga tidak dapat digunakan kembali.

2. Sendi Plastis

Pemodelan sendi plastis salah satu yang dapat dilakukan untuk mendefinisikan perilaku nonlinear dan/atau momen rotasi yang dapat ditempatkan pada beberapa lokasi di sepanjang balok atau kolom. Sendi plastis adalah bentuk ketidakmampuan elemen struktur (balok dan kolom) menahan gaya dalam. Apabila terjadi suatu keruntuhan, maka ditargetkan agar struktur yang runtuh terdahulu adalah balok, karena apabila runtuh terdahulu adalah kolom, maka besar kemungkinan struktur langsung hancur.

3. Pembebanan

Pembebanan pada analisis pushover terdapat dua jenis peninjauan, yaitu:

- Force-controlled*, di gunakan apabila pembesaran beban yang akan diberikan kepada struktur yang di perkirakan dapat menahan beban tersebut diketahui. Dalam kasus ini beban yang diberikan berupa beban gravitasi, atau berupa berat sendiri struktur dan dikontrol oleh gaya. Semua beban akan ditambahkan dari nol hingga perbesaran yang diinginkan.
- Displacement-controlled*, digunakan apabila mengetahui sejauh mana struktur akan bergerak, namun tidak mengetahui beban yang harus dimasukkan. Dalam kasus ini *joint control* digunakan untuk menganalisis target perpindahan.

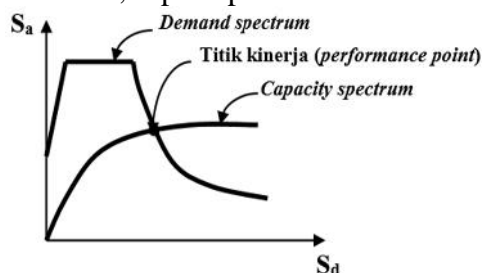
4. Target Peralihan

Dalam penentuan target peralihan atau *performance point*, terdapat 2 acuan yang digunakan, yaitu metode spektrum kapasitas yang diatur oleh ATC 40 dan metode koefisien perpindahan yang diatur oleh FEMA 356.

a. Metode spektrum kapasitas

Dalam metode spektrum kapasitas menyajikan dua buah grafik, yaitu

spektrum kapasitas dan spektrum demand, seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Performance Point pada Metode Spektrum Kapasitas

Kurva spektrum *demand* didapatkan dengan mengubah spektrum respons yang menggunakan spektral kecepatan dan periode menjadi *Acceleration-Displacement Response Spectral* (ADRS) yaitu menggunakan spektral percepatan, S_a , dan spektral perpindahan, S_d . Pertemuan antara kurva *demand spectrum* dan *capacity spectrum* merupakan titik kinerja struktur bangunan.

b. Metode koefisien perpindahan

Metode koefisien perpindahan dilakukan dengan memodifikasi respons elastis linier dari sistem SDOF (*Single Degree of Freedom*) ekuivalen dengan faktor koefisien, sehingga diperoleh perpindahan global maksimum atau yang disebut target perpindahan. Untuk mendapatkan nilai target perpindahan dapat menggunakan acuan FEMA 356 dan FEMA 440 yang merupakan perbaikan dari FEMA 356.

C. METODE PENELITIAN

Perencanaan merujuk pada SNI 1726:2012, ATC-40, FEMA 356, dan FEMA 440. Struktur bangunan 8 lantai yang difungsikan sebagai gedung perkantoran yang masuk kedalam kategori risiko gempa II. Spesifikasi struktur:

- 1) Fungsi : Gedung Perkantoran
- 2) Lokasi : Kota Serang

- 3) Jumlah lantai : 8 lantai
- 4) Tinggi : 33 m

Struktur bangunan dirancang menggunakan beton bertulang dengan mutu bahan/material struktur yang digunakan:

- 1) Mutu beton : 35 MPa
- 2) Mutu baja tulangan polos : 240 Mpa
- 3) Mutu baja tulangan ulir : 400 MPa

Hasil dari perencanaan gedung perkantoran berupa perilaku linier dari struktur. Untuk mengetahui pola keruntuhan dari struktur menggunakan metode pushover analysis.

1. Analisis Pushover

Analisis *pushover* menggunakan program bantu analisis struktur yang sama dengan analisis struktur. Hasil yang didapat dari analisis pushover adalah kurva kapasitas yang menunjukkan perilaku struktur saat dikenai gaya geser pada level tertentu. Dalam melakukan *pushover analysis* terdapat beberapa tahapan yang dilakukan, yaitu:

- a. Pemodelan properti sendi plastis.
 Dalam program bantu analisis struktur penentuan sendi plastis sudah terdapat *default* yang dapat digunakan, dimana *default* sendi plastis ini mengacu pada FEMA 356. Untuk elemen balok, menggunakan *Defult-M3* dengan *relative distance* 0,05 dan 0,95. Pemilihan *Defult-M3* pada elemen balok karena balok efektif dalam

menahan momen dalam arah sumbu kuat. Untuk elemen kolom, menggunakan *Default-PMM* dengan *relative distance* 0,05 dan 0,95. Pemilihan *Default-PMM* pada elemen kolom karena pada elemen kolom terdapat hubungan antara gaya aksial dengan momen.

- b. Penentuan tipe pembebanan.
- c. Analisis beban dorong.
 Beban dorong dapat diberikan berdasarkan dua arah, yaitu arah-x dan arah-y. Hasil dari penambahan beban dorong yaitu kurva kapasitas struktur yang menunjukkan hubungan gaya geser dasar terhadap perpindahannya. Pada kurva ini memperlihatkan perubahan perilaku struktur dari linier menjadi struktur yang non-linier.
- d. Evaluasi kinerja.

Dalam mengevaluasi kinerja terdapat 2 metode yang beracuan pada ATC-40 dan FEMA 356, yaitu:

- 1) Metode spektrum kapasitas, yang mengacu pada ATC-40.
 Kinerja bangunan berdasarkan metode spektrum kapasitas, ATC-40 mengatur dengan melihat batas deformasi. Nilai *drift* digunakan sebagai indikator kinerja struktur, dengan menggunakan persamaan:

$$\text{maximum total drift} = \frac{D_t}{H} \quad (1)$$

Batasan *drift* untuk berbagai kategori tingkat kinerja terdapat pada tabel 1.

Tabel 1. Tingkat Kinerja Struktur Bangunan Berdasarkan Deformasi

<i>Interstory drift limit</i>	<i>Performance Level</i>			
	<i>Immediate occupancy</i>	<i>Damage control</i>	<i>Life safety</i>	<i>Structural stability</i>
<i>Maximum total drift</i>	0,01	0,01-0,02	0,02	0,33 V_i/P_i
<i>Maximum inelastic drift</i>	0,005	0,005-0,015	<i>No limit</i>	<i>No limit</i>

(sumber: ATC-40)

- 2) Metode Koefisien Perpindahan yang mengacu pada FEMA 356 dan FEMA 440.

Pada metode koefisien perpindahan dilakukan modifikasi pada respon elastis linier dari sistem SDOF ekuivalen dengan faktor koefisien,

sehingga diperoleh perpindahan global maksimum yang disebut target perpindahan, T .

$$\delta_t = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \left(\frac{T_e}{2\pi}\right)^2 g \quad (2)$$

Untuk nilai faktor-faktor pada persamaan 2 nilainya mengacu pada FEMA 356. Pada metode koefisien perpindahan yang diperbaiki oleh FEMA 440 perumusan yang digunakan dalam menentukan nilai dari target perpindahan sama dengan aturan FEMA 356, namun terdapat koefisien yang dimodifikasi dan diperbaiki diantaranya adalah dalam perhitungan faktor C_1 dan C_2 menjadi sebagai berikut:

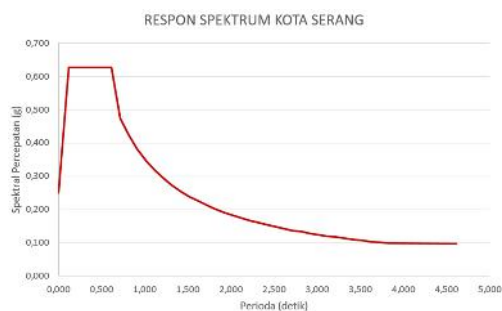
$$C_1 = 1 + \frac{R-1}{uT_e^2} \quad (3)$$

$$C_2 = 1 + \frac{1}{8} \left(\frac{R-1}{T}\right)^2 \quad (4)$$

D. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Beban Gempa

Beban gempa yang digunakan adalah beban gempa Kota Serang dengan jenis batuan adalah batuan sedang. Beban gempa yang dimasukkan dalam perhitungan berupa respon spektrum desain yang didapat melalui website puskim.go.id. Respon spektrum desain yang digunakan terdapat pada Gambar 2.



Gambar 2. Respon Spektrum Desain Kota Serang

2. Rasio Partisi Massa

SNI 1726:2012 Pasal 7.9.1 menerangkan bahwa jumlah ragam disertakan dalam analisis untuk mendapatkan partisi massa ragam terkombinasi yang nilainya paling sedikit

90% dari massa aktual dalam arah horizontal orthogonal yang berasal dari respon spektrum yang ditinjau oleh model. Pada SAP2000 didapatkan jumlah respon ragam pada Tabel 2.

Tabel 2. Rasio Partisi Massa

StepNum	SumUX	SumUY
1	0,85299	0,00029
2	0,85335	0,85588
3	0,85371	0,86398
4	0,93983	0,86403
5	0,93993	0,93095
6	0,93996	0,9417
7	0,94648	0,96305
8	0,97419	0,96859
9	0,97424	0,97528
10	0,97426	0,97528
11	0,9758	0,98316
12	0,98818	0,98443

Berdasarkan tabel 2 penjumlahan dari respon ragam total pada arah X dan arah Y telah mencapai 90%, sehingga syarat pada SNI 1726:2012 mengenai analisis jumlah partisi ragam terpenuhi.

3. Simpangan Antar Lantai

Simpangan antar lantai diperiksa untuk memastikan apakah simpangan antar lantai perancangan sudah sesuai dengan batas izinnnya atau belum, karena ketika struktur diberikan beban gempa akan menghasilkan simpangan struktur dalam arah lateral. Dalam perhitungan simpangan antai lantai () diperlukan perhitungan defleksi pusat massa () dengan menggunakan perumusan:

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_x}{I_e} \quad (5)$$

SNI 1726:2012 mensyaratkan simpangan antar lantai ijin (a) adalah 0.020hx dengan faktor redundansi sebesar 1,0. Hasil perhitungan kontrol simpangan pada struktur akibat gempa berada pada Tabel 3 untuk gempa arah X dan Tabel 4 untuk gempa arah Y.

Tabel 3. Kontrol Batas Ijin Simpangan Struktur Akibat Beban Gempa Arah X

	hx (mm)	xe (mm)	x (mm)	= xa - xb (mm)	a (mm)	a/ (mm)	< a/
1	0	0	0	0	0	0	Memenuhi
2	5000	3,178	17,479	17,479	100	100	Memenuhi
3	4000	6,474	35,607	18,128	80	80	Memenuhi
4	4000	9,694	53,317	17,71	80	80	Memenuhi
5	4000	12,614	69,377	16,06	80	80	Memenuhi
6	4000	15,08	82,94	13,563	80	80	Memenuhi
7	4000	17,063	93,8465	10,9065	80	80	Memenuhi
8	4000	18,502	101,761	7,9145	80	80	Memenuhi
Atap	4000	19,384	106,612	4,851	80	80	Memenuhi

Tabel 4. Kontrol Batas Ijin Simpangan Struktur Akibat Beban Gempa Arah Y

	hx (mm)	xe (mm)	x (mm)	= xa - xb (mm)	a (mm)	a/ (mm)	< a/
1	0	0	0	0	0	0	Memenuhi
2	5000	2,922	16,071	16,071	100	100	Memenuhi
3	4000	6,207	34,1385	18,0675	80	80	Memenuhi
4	4000	9,447	51,9585	17,82	80	80	Memenuhi
5	4000	12,258	67,419	15,4605	80	80	Memenuhi
6	4000	14,462	79,541	12,122	80	80	Memenuhi
7	4000	16,152	88,836	9,295	80	80	Memenuhi
8	4000	17,356	95,458	6,622	80	80	Memenuhi
Atap	4000	18,085	99,4675	4,0095	80	80	Memenuhi

Pada tabel 3 dan 4 didapatkan nilai simpang antar lantai pada struktur semakin ke atas nilainya semakin kecil, hal ini disebabkan semakin ke atas beban yang dipikul struktur semakin kecil. Namun pada lantai 2 didapatkan nilai simpang lebih kecil dibandingkan dengan lantai 3, hal ini disebabkan tinggi pada lantai 1 dan 2 lebih tinggi dibandingkan tinggi lantai 3 keatas, yang mengakibatkan nilai simpangan pada lantai 2 lebih kecil dari lantai 3. Selain itu pada tabel 3 dan 4 didapatkan hasil perhitungan kontrol simpangan struktur terhadap beban gempa bahwa simpangan setiap lantai pada struktur bangunan perkantoran dalam perencanaan sudah memenuhi persyaratan pada SNI 1726:2012 Pasal 7.12, dimana nilai dari simpangan antar lantai pada struktur tidak melebihi nilai batas ijin simpangan antar lantai struktur.

4. Analisis Pushover

Analisis pushover dalam perancangan ini digunakan untuk mengetahui tingkat kinerja struktur dan pola keruntuhan struktur bangunan.

a. Pembebanan pushover

Dalam perancangan ini beban *pushover* didefinisikan oleh beban lateral, yaitu beban gempa pada Kota Serang. Pembebanan diberi dalam 2 arah, yaitu pembebanan arah X dan pembebanan arah Y dengan tipe analisis adalah nonlinear. Aplikasi pembebanan dikontrol oleh perpindahan.

b. Pemodelan sendi plastis

Sendi plastis diletakkan pada struktur balok dan kolom yang telah dirancang menggunakan program bantu analisis SAP2000. Dalam penentuan sendi plastis menggunakan *default* yang tersedia pada program yang mengacu pada FEMA 356. Pada elemen blok setiap framenya diletakkan 2 sendi

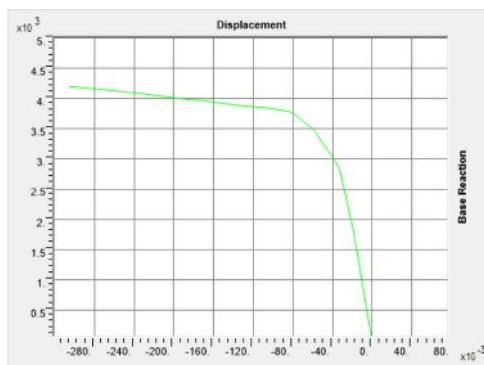
plastis dengan *relative distance* 0,05 dan 0,95 serta *degree of freedom* M3. Sedangkan untuk elemen balok menggunakan *relative distance* yang sama dengan balok, namun untuk *degree of freedom* menggunakan P-M2-M3. Pada elemen balok dan kolom menggunakan pembebanan pushover arah X dan arah Y.

c. Analisis beban dorong

Setelah beban pushover arah X dan Y serta pemodelan sendi plastis dilakukan, kemudian pada program bantu analisis struktur dilakukan *running pushover analysis*. Hasil dari *running pushover analysis* berupa kurva kapasitas, yang merupakan kurva hubungan gaya geser (*base reaction*) terhadap perpindahannya (*displacement*). Berikut merupakan hasil analisis pushover pada arah X dan arah Y.

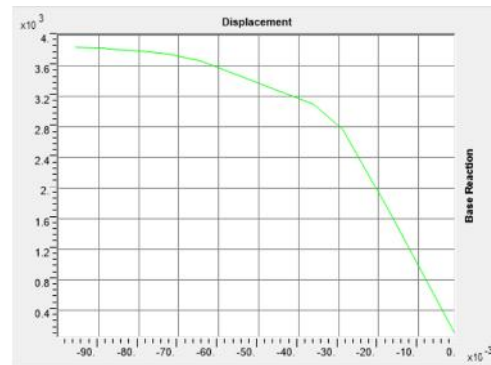
1) Kurva Kapasitas Arah X

Berdasarkan Gambar 3 didapatkan hasil *pushover* pada arah X berhenti pada step ke-18 dengan gaya geser dasar maksimum adalah 4201,288 kN dengan perpindahan maksimum sebesar 0,30491 m.



Gambar 3. Kurva Kapasitas Pushover Arah X

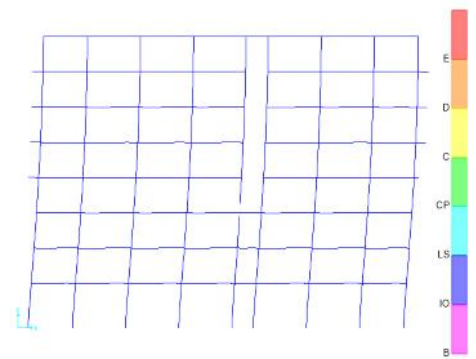
2) Kurva Kapasitas Arah Y



Gambar 4. Kurva Kapasitas Pushover Arah Y

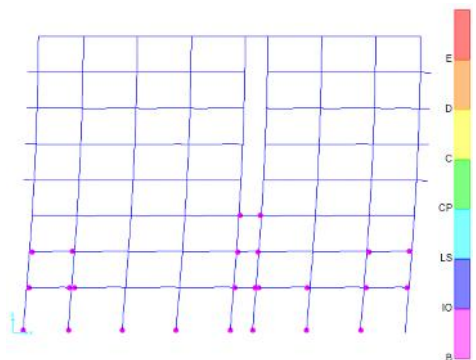
Berdasarkan Gambar 4 didapatkan hasil pushover pada arah Y berhenti pada Step-23 dengan gaya geser maksimum adalah 3846,226 kN dan perpindahan maksimum sebesar 0,009582 m.

d. Distribusi sendi plastis



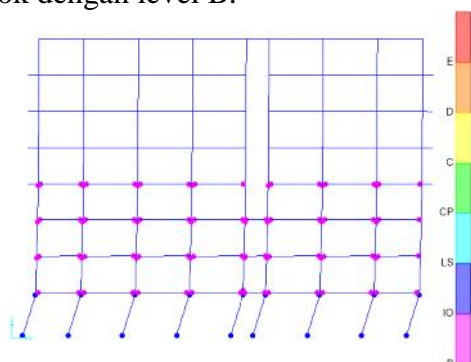
Gambar 5. Distribusi Sendi Plastis Step 1 Pushover Arah X

Pada step satu dapat dilihat bahwa sendi plastis belum terjadi pada elemen struktur.



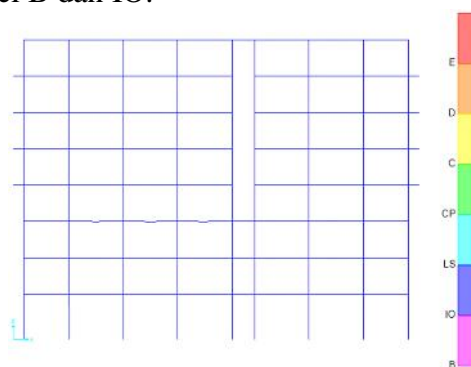
Gambar 6. Distribusi Sendi Plastis Step 2 Pushover Arah X

Pada step ke-dua mulai muncul sendi plastis pada elemen struktur kolom dan balok dengan level B.



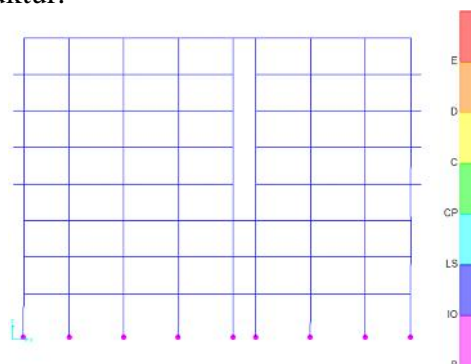
Gambar 7. Distribusi Sendi Plastis Step 18 *Pushover* Arah X

Pada step ke-18 sendi plastis sudah mulai menyebar pada elemen struktur balok dan kolom hingga lantai 4 dengan level B dan IO.



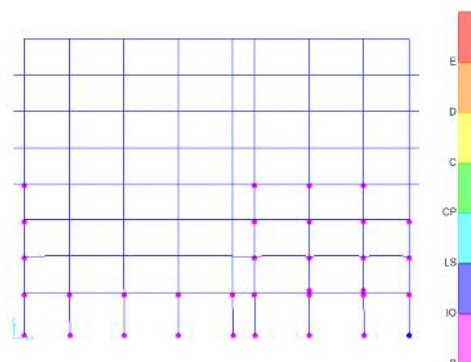
Gambar 8. Distribusi Sendi Plastis Step 1 *Pushover* Arah Y

Dapat dilihat bahwa pada step satu belum terjadi sendi plastis pada elemen struktur.



Gambar 9. Distribusi Sendi Plastis Step 2 *Pushover* Arah Y

Pada step ke-dua mulai muncul sendi plastis pada elemen kolom dengan level B.



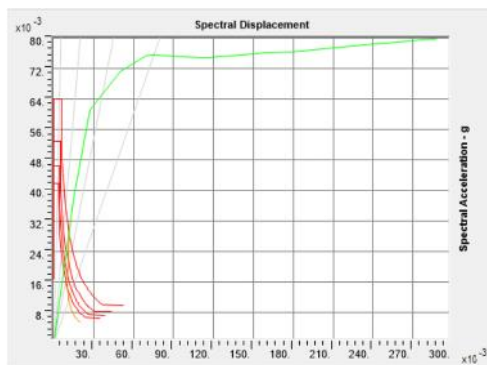
Gambar 10. Distribusi Sendi Plastis Step 23 *Pushover* Arah Y

Pada step ke-23 sendi plastis muncul pada elemen struktur hingga lantai 4 dengan level B dan IO.

Berdasarkan pada gambar mekanisme distribusi sendi plastis yang terjadi pada struktur bangunan didapatkan sendi plastis mulai muncul pada step kedua pada area kolom bawah yang selanjutnya menyebar keatas dan keseluruhan elemen struktur bangunan hingga step ke 18 untuk sumbu X dan step ke 23 pada sumbu Y. Step pada distribusi sendi plastis menunjukkan bentuk struktur atau perilaku struktur ketika diberi beban. Pada step pertama pada elemen struktur belum terjadi pelelehan ketika diberi beban dorong, lalu pelelehan pertama terjadi pada step kedua akibat beban dorong yang diberikan dengan munculnya sendi plastis pertama pada elemen kolom dilantai dasar dengan level B. Pada step ke-18 pada arah X dan step ke-23 pada arah Y sendi plastis mulai berubah menjadi level IO pada beberapa elemen struktur.

e. Evaluasi Struktur

- 1) Metode Spektrum Kapasitas (ATC-40)



Gambar 11. Kurva Spektrum Kapasitas Arah X

Gambar 11 menunjukkan hasil dari *pushover analysis* arah X pada SAP2000 yang mengacu pada ATC-40. Kurva yang berwarna merah merupakan kurva *demand* yang berasal dari respon spektrum Kota Serang sedangkan kurva yang berwarna hijau merupakan kurva *capacity* dari struktur yang didapatkan setelah diberikan beban dorong pada struktur.

Tabel 5. Nilai *Performance Point* ATC-40 Arah X

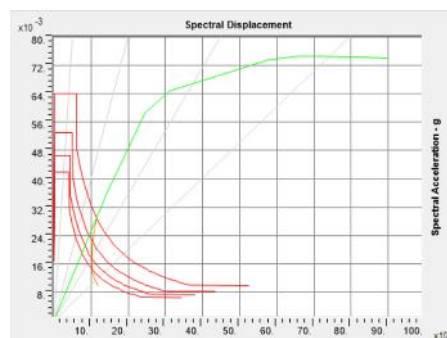
<i>Performance Point</i>	Nilai
V (kN)	1340,086
D (m)	0,014
Sa	0,029
Sd	0,011
Teff	1,264
Beff	0,05

Berdasarkan Tabel 5 didapatkan nilai perpindahan sebesar 0,014 m dengan gaya geser dasar 1340,086 kN yang didapatkan dari pertemuan antara kurva *demand* dan kurva *capacity* pada Gambar 11.

Dalam penentuan tingkat kinerja suatu struktur bangunan menggunakan metode spektrum kapasitas nilai drift rata-rata tiap lantai diperlukan sebagai indikator kinerja struktur. Perhitungan drift rata-rata menggunakan perumusan (1) dengan D atau nilai simpangan atap pada arah X yang dihasilkan oleh SAP2000 adalah 0,22 m dan H atau total ketinggian struktur adalah 33 m.

$$\begin{aligned} \text{maximum total drift} &= \frac{D}{H} \\ &= \frac{0,2}{3} \\ &= 0,0066 \text{ m} \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan nilai maximum total drift yang dihasilkan pada pushover arah X adalah 0,0066 dimana nilainya lebih kecil dari 0,01 yang artinya tingkat kinerja struktur berada pada level *Immediately Occupancy*.



Gambar 12. Kurva Spektrum Kapasitas Arah Y

Gambar 12 menunjukkan hasil dari *pushover analysis* arah Y pada SAP2000 yang mengacu pada ATC-40.

Tabel 6. Nilai *Performance Point* ATC-40 Arah Y

<i>Performance Point</i>	Nilai
V (kN)	1355,855
D (m)	0,014
Sa	0,029
Sd	0,011
Teff	1,264
Beff	0,05

Berdasarkan Tabel 6 didapatkan nilai perpindahan sebesar 0,014 m dengan gaya geser dasar 1355,855 kN yang didapatkan dari pertemuan antara kurva *demand* dan kurva *capacity* pada Gambar 12.

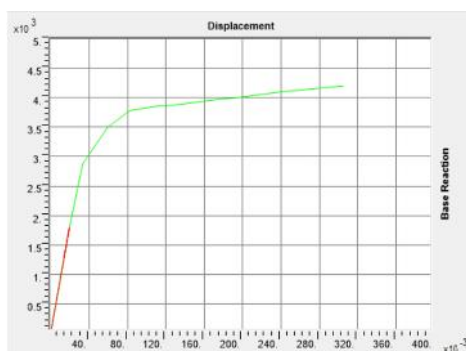
Perhitungan *drift* rata-rata untuk mendapatkan tingkat kinerja struktur menggunakan perumusan (1) dengan D atau nilai simpangan atap pada arah Y yang dihasilkan oleh SAP2000 adalah 0,09 m dan H atau total ketinggian struktur adalah 33 m.

$$\begin{aligned} \text{maximum total drift} &= \frac{D}{H} \\ &= \frac{0,09}{33} \\ &= 0,00273 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan nilai maximum total drift yang dihasilkan pada pushover arah Y adalah 0,00273 dimana nilainya lebih kecil dari 0,01 yang artinya tingkat kinerja struktur berada pada level *Immediately Occupancy*.

2) Metode Koefisien Perpindahan (FEMA 356)

Gambar 13 *analysis* arah X pada SAP2000 yang mengacu pada EMA 356. Hasil dari *pushover analysis* yang mengacu pada FEMA 356 berupa nilai target perpindahan dan gaya geser dasar pada struktur.



Gambar 13. Kurva Koefisien Perpindahan FEMA 356 Arah X

Berdasarkan Tabel 7 didapatkan nilai perpindahan sebesar 0,014 m dengan gaya geser dasar 1269,971 kN yang didapatkan dari hasil analisis koefisien perpindahan pada SAP2000.

Tabel 7. Nilai Koefisien Perpindahan FEMA 356 Arah X

	Nilai
V (kN)	1269,971
D (m)	0,014

Setelah didapatkan hasil dari SAP200 dilakukan perhitungan manual untuk mengetahui target perpindahan. Dalam metode koefisien perpindahan pada FEMA 356 dilakukan modifikasi

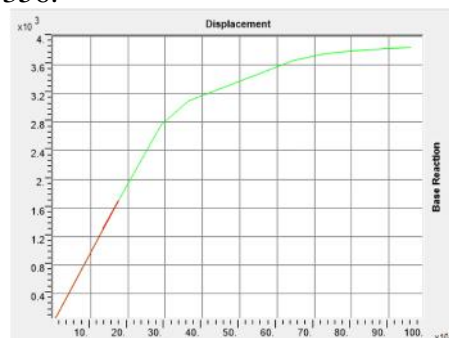
respons elastis linier dari sistem SDOF ekuivalen dengan faktor-faktor koefisien yang nantinya akan mendapatkan nilai perpindahan global maksimum. Perhitungan target perpindahan FEMA 356 menggunakan perumusan (2):

$$\begin{aligned} \delta_t &= C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \left(\frac{T_e}{2\pi}\right)^2 g \\ C_0 &= 1,3 \text{ (FEMA 356 Tabel 3-2 FEMA 356 untuk bangunan 8 lantai)} \\ T_s &= 0,617 \text{ s} \\ T_e &= 1,264 \text{ s} \\ C_1 &= 1,0 \text{ (FEMA 356 untuk } T_e > T_s) \\ C_2 &= 1,0 \text{ (FEMA 356 Tabel 3-3 untuk rangka Type 1 dan tingkat kinerja adalah IO)} \\ C_3 &= 1,0 \\ S_a &= 0,029 \end{aligned}$$

Maka,

$$\begin{aligned} \delta_t &= C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \left(\frac{T_e}{2\pi}\right)^2 g \\ &= 1,3 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 0,029 \times \left(\frac{1,2}{2\pi}\right)^2 \times 9,81 \\ &= 0,015 \text{ m} \end{aligned}$$

Gambar 14 merupakan hasil dari *pushover analysis* arah Y pada SAP2000 yang mengacu pada FEMA 356.



Gambar 14. Kurva Koefisien Perpindahan FEMA 356 Arah Y

Hasil dari *pushover analysis* yang mengacu pada FEMA 356 berupa nilai target perpindahan dan gaya geser dasar pada struktur.

Tabel 8. Nilai Koefisien Perpindahan FEMA 356 Arah Y

	Nilai
V (kN)	1311,727
D (m)	0,014

Berdasarkan Tabel 8 didapatkan nilai perpindahan sebesar 0,014 m dengan gaya geser dasar 1311,727 kN yang didapatkan dari hasil analisis koefisien perpindahan pada SAP2000. Setelah didapatkan hasil dari SAP2000 dilakukan perhitungan manual untuk mengetahui target perpindahan. dengan nilai target perpindahan sesuai dengan perumusan

$$\delta_t = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \left(\frac{T_e}{2\pi}\right)^2 g$$

$C_0 = 1,3$ (FEMA 356 Tabel 3-2 FEMA 356 untuk bangunan 8 lantai)

$$T_s = 0,617 \text{ s}$$

$$T_e = 1,264 \text{ s}$$

$$C_1 = 1,0 \text{ (FEMA 356 untuk } T_e > T_s)$$

$C_2 = 1,0$ (FEMA 356 Tabel 3-3 untuk rangka Type 1 dan tingkat kinerja adalah IO)

$$C_3 = 1,0$$

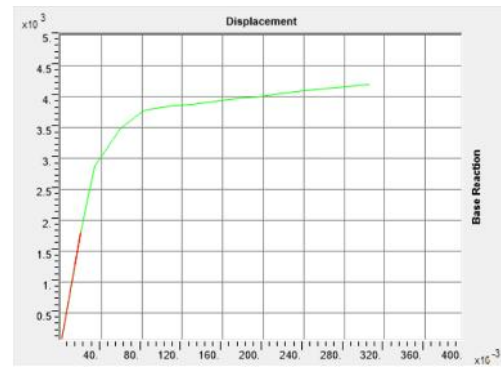
$$S_a = 0,029$$

Maka,

$$\begin{aligned} \delta_t &= C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \left(\frac{T_e}{2\pi}\right)^2 g \\ &= 1,3 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 0,029 \times \\ &\quad \left(\frac{1,2}{2\pi}\right)^2 \times 9,81 \\ &= 0,015 \text{ m} \end{aligned}$$

3) Metode Koefisien Perpindahan Yang Diperbaiki (FEMA 440)

Gambar 15 merupakan hasil dari *pushover analysis* arah X pada SAP2000 yang mengacu pada FEMA 440. Hasil dari *pushover analysis* mengacu pada FEMA 440 berupa nilai target perpindahan dan gaya geser dasar pada struktur.



Gambar 15. Kurva Koefisien Perpindahan yang diperbaiki FEMA 440 Arah X

Berdasarkan Tabel 9 didapatkan nilai perpindahan sebesar 0,014 m dengan gaya geser dasar 1269,971 kN yang didapatkan dari hasil analisis koefisien perpindahan yang diperbaiki pada SAP2000

Tabel 9. Nilai Koefisien Perpindahan FEMA 356 Arah X

	Nilai
V (kN)	1269,971
D (m)	0,014

Setelah didapatkan hasil dari SAP2000 dilakukan perhitungan manual target perpindahan FEMA 440 menggunakan perumusan 2 dengan faktor modifikasi C_1 dan C_2 dilakukan perbaikan menggunakan perumusan 3 dan 4

$$\delta_t = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \left(\frac{T_e}{2\pi}\right)^2 g$$

$$C_0 = 1,3$$

$$T_s = 0,617 \text{ s}$$

$$T_e = 1,264 \text{ s}$$

$$\begin{aligned} C_1 &= 1 + \frac{R-1}{\alpha T_e^2} \\ &= 1 + \frac{1-1}{9 \times 1,2^2} \\ &= 1,0 \end{aligned}$$

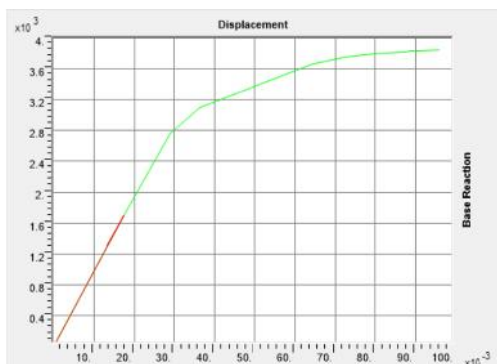
$$\begin{aligned} C_2 &= 1 + \frac{1}{8} \left(\frac{R-1}{T}\right)^2 \\ &= 1 + \frac{1}{8} \left(\frac{1-1}{1,2}\right)^2 \\ &= 1,0 \end{aligned}$$

$$C_3 = 1,0$$

$$S_a = 0,029$$

$$\delta_t = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \left(\frac{T_e}{2\pi}\right)^2 g$$

$$= 1,3 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 0,029 \times \left(\frac{1,2}{2\pi}\right)^2 \times 9,81 = 0,015 \text{ m}$$



Gambar 16. Kurva Koefisien Perpindahan yang diperbaiki FEMA 440 Arah Y

Gambar 16 merupakan hasil dari *pushover analysis* arah Y pada SAP2000 yang mengacu pada FEMA 440. Hasil dari *pushover analysis* mengacu pada FEMA 440 berupa nilai target perpindahan dan gaya geser dasar pada struktur.

Tabel 10. Koefisien perpindahan yang diperbaiki FEMA 440 arah Y

	Nilai
V (kN)	1311,727
D (m)	0,013

Berdasarkan Tabel 10 didapatkan nilai perpindahan sebesar 0,014 m dengan gaya geser dasar 1311,727 kN yang didapatkan dari hasil analisis koefisien perpindahan yang diperbaiki pada SAP2000. Setelah didapatkan hasil dari SAP200 dilakukan perhitungan manual target perpindahan FEMA 440

Tabel 11. Rangkuman Target Perpindahan

Arah		ATC-40	FEMA 356	FEMA 440	Batas Ijin
X	Target perpindahan (m)	0,014	0,015	0,015	0,66
	Gaya geser dasar (kN)	1340,086	1269,971	1269,971	0,66
Y	Target perpindahan (m)	0,014	0,015	0,015	0,66
	Gaya geser dasar (kN)	1355,855	1311,727	1311,727	0,66

menggunakan perumusan 2.45 dengan faktor modifikasi C_1 dan C_2 dilakukan perbaikan menggunakan perumusan 2.46 dan 2.47.

$$\delta_t = C_0 C_1 C_2 C_3 S_u \left(\frac{T_e}{2\pi}\right)^2 g$$

$$C_0 = 1,3$$

$$T_s = 0,617 \text{ s}$$

$$T_e = 1,264 \text{ s}$$

$$C_1 = 1 + \frac{R-1}{\alpha T_e^2} = 1 + \frac{1-1}{9 \times 1,2^2} = 1,0$$

$$C_2 = 1 + \frac{1}{8} \left(\frac{R-1}{T}\right)^2 = 1 + \frac{1}{8} \left(\frac{1-1}{1,2}\right)^2 = 1,0$$

$$C_3 = 1,0$$

$$S_a = 0,029$$

$$\delta_t = C_0 C_1 C_2 C_3 S_u \left(\frac{T_e}{2\pi}\right)^2 g = 1,3 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 0,029 \times \left(\frac{1,2}{2\pi}\right)^2 \times 9,81 = 0,015 \text{ m}$$

4) Nilai Batas

SNI-1726:2012 simpangan antar lantai desain tidak boleh melebihi simpangan antar lantai ijin. Pada SNI 1726:2012 Pasal 7.12.1 mengatur pada struktur bangunan perkantoran dengan kategori risiko II simpangan ijin antar lantai adalah $0,02H$, dimana:

$$\begin{aligned} \text{Simpangan ijin} &= 0,02H \\ &= 0,02 \times 33 \\ &= 0,66 \text{ m} \end{aligned}$$

f. Hasil Analisis *Pushover*

Setelah dilakukan analisis, dapat dirangkum target perpindahan dan gaya geser dasar pada Tabel 11

Berdasarkan Tabel 11 dapat dilihat bahwa target perpindahan maksimum pada arah X adalah 0,0015 dan untuk arah Y adalah 0,015. Serta nilai batas ijin perpindahan sesuai SNI 1726:2012 adalah 0,66 yang artinya nilai dari target perpindahan pada arah X dan arah Y tidak melebihi batas ijin struktur.

E. KESIMPULAN

1. Menentukan nilai dari target peralihan menggunakan 3 metode yaitu: metode spektrum kapasitas yang diatur oleh ATC-40, metode koefisien perpindahan yang mengacu pada FEMA 356, dan metode koefisien perpindahan yang diperbaiki yang mengacu pada FEMA 440. Setelah dilakukan analisis, didapatkan hasil target perpindahan maksimum sebesar 0.015 m pada arah X dan arah Y, nilai tersebut sudah memenuhi nilai batas ijin yang diatur oleh SNI-1726:2012 dimana dalam struktur bangunan ini memiliki simpangan ijin maksimum sebesar 0,66 m.
2. Pendistribusian sendi plastis sudah mulai muncul pada step ke dua yang berada di level B pada struktur kolom pada lantai dasar. Dapat disimpulkan bahwa keadaan kolom tidak memenuhi konsep desain *strong column weak beam* atau kolom pada struktur dalam keadaan lemah.
3. Hasil nilai *maximum total drift* 0,0066 m pada arah X dan 0,00273 m. Berdasarkan kriteria pada ATC-40 kondisi struktur bangunan berada pada tingkat *Immediately Occupancy* (IO), dimana struktur tidak mengalami kerusakan saat terjadi gempa.

DAFTAR PUSTAKA

Bidang Seismologi Teknik BMKG. (2019). *Ulasan Guncangan Tanah*

Akibat Gempa bumi Banten 02 Agustus 2019. Banten: Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG).

Federal Emergency Management Agency. (2000). *NEHRP Guidelines for The Seismic Rehabilitation of Buildings (FEMA 356)*. Washington, D.C: Federal Emergency Management Agency.

Federal Emergency Management Agency. (2000). *Prestandard and Commentary For The Seismic Rehabilitation of Buildings (FEMA 440)*. Washington, D.C.: Federal Emergency Management Agency.

Kurniawan, R., Nurtanto, D., & Hayu, G. A. (2018). Studi Perbandingan Perilaku Struktur Gedung Hotel Dafam Lotus Jember dengan Menggunakan Moment Resisting Frame dan Eccentrically Braced Frame Short Link. *Jurnal Rekayasa Sipil Dan Lingkungan*, 13-18.

Oktopianto, Y., & Andayani, R. (2013). Evaluasi Kinerja Struktur Beton Bertulang Dengan Pushover Analysis . *Proceeding PESAT (Psikologi, Ekonomi, Sastra, Arsitektur & Teknik Sipil)* , 64.

Redaksi Kumparan. (2019, Agustus 2). *Video: Pesantren Nurul Fikri Anyer Rusak Akibat Gempa Banten*. Retrieved from Kumparan: <https://kumparan.com/>

Reza, S. F., Suryanita, R., & Ismeddiyanto. (2013). Analisis Kinerja Struktur Bangunan Bertingkat di Wilayah Gempa Indonesia Intensitas Tinggi Menggunakan Analisis Statis Nonlinier. *Jom FTEKNIK* , 3.

Salim, M. A., & Siswanto, I. B. (2018). *Rekayasa Gempa*. Yogyakarta: K-Media.

Seismic Safety Commission. (1996). *Seismic Evaluation and Retrofit of*

Nabhilla, R. F., Hayu G. H.,/ Analisis Perilaku Struktur Perkantoran Tahan Gempa Menggunakan Metode Pushover Analysis
Siklus : Jurnal Teknik Sipil Vol 6, No. 2, Oktober 2020, pp 141 - 154

Concrete Buildings. California: Applied Technology Council (ATC 40). Jakarta: Penerbit Erlangga.
SNI 1726-2012. (2012). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.

Tesfamariam, S., & Goda, K. (2013). *Handbook of Seismic Risk Analysis and Management of Civil Infrastructure Systems*. Woodhead Publishing.



© 2020 Siklus Jurnal Teknik Sipil All rights reserved. This is an open access article distributed under the terms of the CC BY License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)