

PERENCANAAN STRUKTUR DENGAN METODE *DDBD* BESERTA TINGKAT KINERJANYA DAN IDEALISASINYA TERHADAP SNI 1726 : 2012

Nikko Rianto¹ dan Edison Leo²

¹Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
Email: nikko.rianto@gmail.com

²Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
Email: edisonl@ft.untar.ac.id

ABSTRAK

Perencanaan struktur bangunan gedung tinggi terhadap beban gempa umumnya dilakukan pendekatan desain berbasis gaya. Dalam desain berbasis gaya, biasanya akan dihitung nilai gaya geser dasar desain untuk meramalkan berapa besar nilai gaya yang diberikan pada bangunan pada saat gempa terjadi. Sedangkan dalam desain berbasis kinerja, untuk meramalkan berapa besar gaya geser desain yang diberikan pada bangunan saat terjadi gempa untuk mencapai kinerja struktur yang diinginkan, salah satunya adalah metode *Direct Displacement Based Design (DDBD)* Priestley et.al. 2007. Dalam metode ini perpindahan sebagai dasar penentuan beban gempa. Desain dengan metode *DDBD* diverifikasi apakah desain sudah sesuai dengan tingkat kinerja yang ingin dicapai dilakukan analisis *pushover*. Hasil dari analisis *pushover* berdasarkan pada prinsip desain balok lemah kolom kuat, sehingga sendi plastis tidak boleh terjadi pada kolom sebelum balok mengalami keruntuhan. Dari hasil analisis *pushover* akan didapatkan kurva kapasitas yang akan menjadi dasar penentuan tingkat kinerja dan sesuai dengan *ATC-40*, *FEMA 356*, dan *FEMA 440*. Kemudian kurva kapasitas tersebut diolah dengan pendekatan gaya untuk mendapatkan parameter-parameter respons struktur R , Ω , dan C_d dan dibandingkan dengan yang terdapat pada SNI 1726 : 2012. Tingkat kinerja struktur gedung yang didapat berada pada level *Damage Control*. Parameter respons struktur yang didapat lebih kecil daripada yang tercantum pada SNI 1726 : 2012.

Kata kunci: gaya geser dasar, analisis *pushover*, kurva kapasitas, tingkat kinerja, parameter respons struktur

1. PENDAHULUAN

Latar Belakang

Indonesia merupakan negara yang dikelilingi oleh tiga lempeng raksasa yaitu Lempeng Samudra Indo-Australia, Lempeng Eurasia dan Lempeng Samudra Pasifik. Oleh karena itu, Indonesia memiliki risiko yang tinggi terhadap beban gempa terhadap gempa bumi akibat interaksi antara ketiga lempeng tersebut. Dengan tingginya risiko terjadi gempa, maka tinggi pula risiko kerusakan pada bangunan. Sehingga perencanaan struktur gedung terhadap beban gempa menjadi penting. Pada umumnya, perencanaan struktur gedung terhadap beban gempa dilakukan dengan metode desain berbasis gaya yaitu analisis statik ekuivalen dan analisis dinamik (analisis respons spektrum dan analisis riwayat waktu). Untuk metode desain berbasis gaya, prosedur analisisnya tercantum dalam SNI 1726 : 2012. Kemudian berkembang trend terbaru untuk perencanaan bangunan tahan gempa yaitu metode desain berbasis kinerja. Untuk desain berbasis kinerja yaitu dengan menentukan tingkat kinerja sebagai acuan dasar perencanaan bangunan tahan gempa. Salah satu cara untuk melakukan desain berbasis kinerja yaitu dengan metode *Direct Displacement Based Design (DDBD)* yaitu dengan menekankan nilai perpindahan sebagai acuan untuk menentukan kekuatan yang diperlukan bangunan terhadap gempa desain. Kemudian untuk memverifikasi tingkat kinerja yang diinginkan, akan dilakukan analisis *pushover* terhadap hasil desain dengan *DDBD*. Biasanya digunakan *ATC-40*, *FEMA 356*, dan *FEMA 440* sebagai peraturan untuk menentukan tingkat kinerja.

Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan tingkat kinerja yang didesain berdasarkan asumsi awal dan mengetahui nilai parameter respons struktur.

Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah analisis struktur dilakukan dengan program ETABS v9.7.2, dibuat struktur yang beraturan, gedung perkantoran sepuluh lantai dengan struktur beton bertulang, bangunan terletak di Kota Jakarta dengan jenis tanah lunak (SE), beban yang ditinjau adalah beban gravitasi dan beban gempa, desian balok dan kolom pada satu lantai diambil gaya pada balok dan kolom tengah, tidak dilakukan penulangan geser, pengaruh torsi diabaikan, tidak dilakukan perhitungan struktur bawah, sistem struktur merupakan SRPMK, tidak memperhitungkan pengaruh gempa vertikal, dan metode untuk penentuan beban gempa yaitu *DDBD*.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Metode *Direct Displacement Based Design*

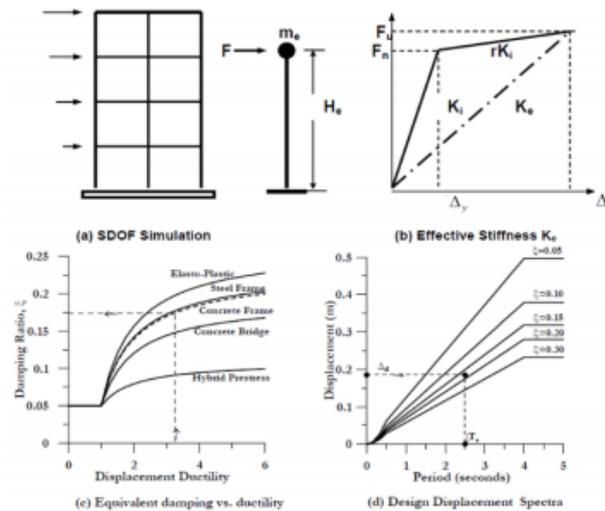
Konsep perencanaan struktur berbasis perpindahan (*direct displacement based design*) dengan metode Priestley [Priestley, 2007] menggunakan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Menentukan tingkat kinerja struktur

Tabel 1 Batasan Simpangan pada Tingkat Kinerja Struktur
Sumber : *ATC-40*, 1996

Batas Simpangan	Tingkat Kinerja Struktur			
	Immediate	Damage	Life	Structural
Antar Tingkat	Occupancy	Control	Safety	Stability
Simpangan Total	0,01	0,01-0,02	0,02	0,33 V_y/P_y
Maksimum Simpangan Inelastik	0,005	0,005-0,015	Tidak ada	Tidak ada
Maksimum			Batasan	Batasan

2. Menghitung gaya geser dasar desain yang secara umum diilustrasikan pada Gambar 1.



Gambar 1 Konsep *Direct Displacement Based Design*
Sumber : *Priestley et.al 2007* : 64

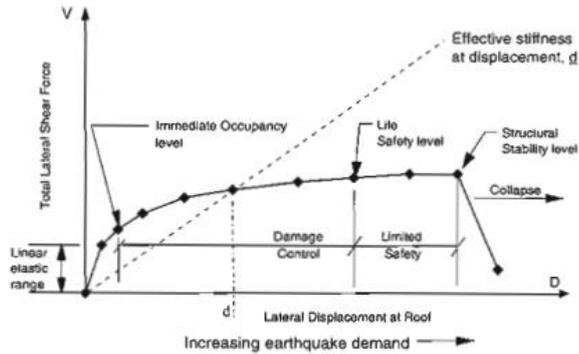
Gambar 1(a) menunjukkan pemodelan gedung sebagai suatu sistem *Single Degree of Freedom*(SDOF), dengan tinggi bangunan efektif (H_e) dan massa efektif (m_e). Gambar 1(b) menunjukkan hubungan gaya dan perpindahan yang menunjukkan adanya kekakuan awal elastis (K_i) kemudian diikuti oleh kekakuan plastis (rK_i). Gaya geser dasar desain metode *DDBD* menggunakan kekakuan efektif untuk suatu perpindahan rencana (Δ_d). Gambar 1(c) menunjukkan redaman efektif ekuivalen yang dihitung berdasarkan redaman elastik awal dan nilai *displacement ductility* dari suatu sistem struktur. Gambar 1(d) menunjukkan untuk mendapatkan periode efektif (T_e),

yang didapat dari plot antara perpindahan rencana (Δ_d) dan respons gempa pada saat redaman inelastik yang telah diubah ke dalam format spektra perpindahan.

Kinerja Struktur

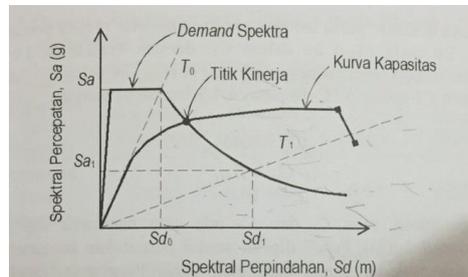
Kinerja struktur merupakan tingkatan perilaku suatu struktur terhadap gempa rencana. Pada umumnya, tingkat kinerja struktur dapat ditentukan sesuai dengan ketentuan yang tercantum pada *ATC-40*, *FEMA 356*, dan *FEMA 440*.

1. Kinerja menurut *ATC-40*



Gambar 2 Tipikal Kurva Kapasitas Pada Berbagai Tingkat Kinerja
 Sumber : *ATC-40*, 1996 : 6-6

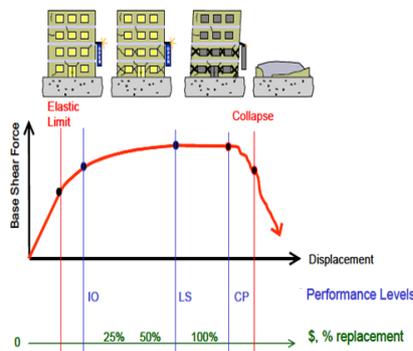
Gambar 2 menunjukkan beberapa tingkatan kinerja, dimana tingkatan kinerja digambarkan kurva hubungan antara perpindahan lateral dan besar gaya yang bekerja. Simbol “◆” menunjukkan tingkat kinerja pada suatu struktur. Dalam metode ini digunakan metode spektrum kapasitas dengan memplotkan *demand* spektra dan kurva kapasitas sehingga didapatkan tingkat kinerjanya atau dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Plot antara *Demand* Spektra dan Kurva Kapasitas
 Sumber : Tavio dan Wijaya, 2018

2. Kinerja menurut *FEMA 356*

Secara garis besar, tingkat kinerjan pada *FEMA 356* sama dengan tingkat kinerja pada *ATC-40*. Berdasarkan *FEMA 356* maka kinerja struktur saat terjadi gempa dibagi menjadi beberapa kategori dan dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4 Tingkat Kinerja Struktur
 Sumber : *FEMA 356*

Dalam metode ini, metode yang digunakan merupakan suatu pendekatan untuk menentukan tingkat kinerja dari struktur disebut dengan dengan metode target perpindahan (δ_T). Prosedur penyelesaiannya dilakukan dengan cara memodifikasi respons elastik dari sistem *SDOF* ekuivalen dengan faktor koefisien C_0 , C_1 , C_2 , dan C_3 .

$$\delta_T = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \frac{T_e^2}{4\pi^2} g$$

Keterangan :

T_e = waktu getar efektif

g = percepatan gravitasi 9,81 m/detik²

δ_T = target perpindahan

C_0 = faktor modifikasi untuk perpindahan spektral menjadi perpindahan atap/puncak

C_1 = faktor modifikasi untuk menghubungkan perpindahan inelastik dengan perpindahan respons elastik linier

C_2 = faktor modifikasi yang mewakili efek dari bentuk histeretik perpindahan maksimum

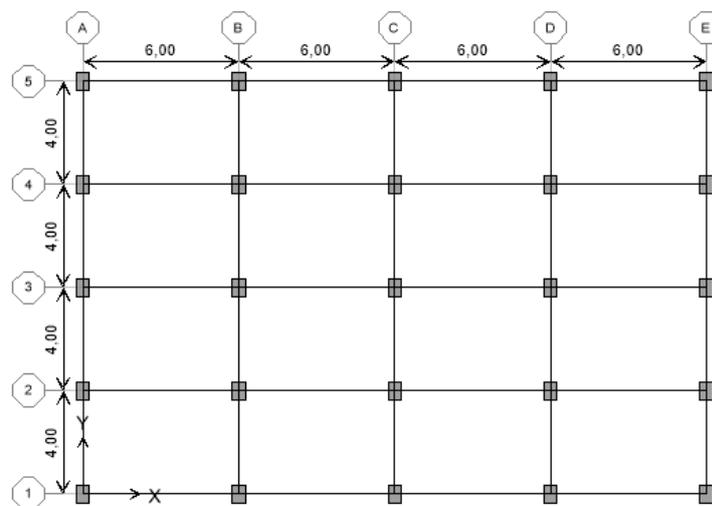
C_3 = koefisien untuk memperhitungkan pembesaran lateral akibat efek P-Delta

3. Tingkat Kinerja Menurut *FEMA* 440

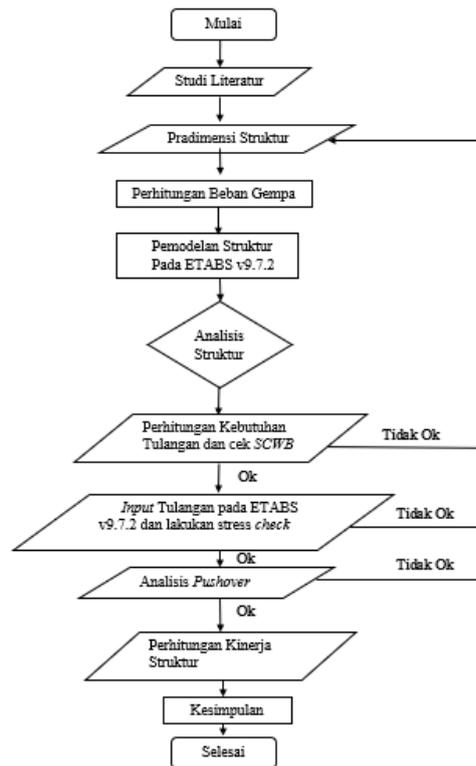
Metode *FEMA* 440 merupakan pengembangan dari metode koefisien perpindahan *FEMA* 356 atau biasa juga disebut metode perpindahan yang diperbaiki. Secara garis besar dasar dalam perhitungan *FEMA* 440 ini sama dengan *FEMA* 356, yaitu dengan hasil akhir menentukan target perpindahan (δ_T). Perbaikan diberikan untuk menentukan parameter C_1 dan C_2 .

3. METODE PENELITIAN

Langkah pertama yang dilakukan dalam penelitian ini adalah dengan melakukan studi literatur tentang perencanaan struktur berbasis kinerja. Kemudian dilakukan modelisasi struktur yang akan dianalisis dengan membuat denah, tinggi struktur, dimensi elemen struktur, dan juga beban yang akan bekerja. Setelah itu dilakukan perhitungan beban gempa dengan metode *DDBD* sehingga didapat gaya geser dasar desain dan beban gempa didistribusikan ketiap tingkat. Lalu dilakukan perhitungan kebutuhan tulangan longitudinal untuk balok dan kolom untuk di-*input* ke program ETABS. Dengan demikian didapatkan model struktur aktual untuk dilakukan verifikasi tingkat kinerjanya apakah sesuai dengan desain awal atau tidak. Denah struktur dibuat tipikal dan terlihat seperti pada Gambar 5. Langkah-langkah pengerjaan secara umum dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 5 Denah Struktur Rencana



Gambar 6 Diagram Alir

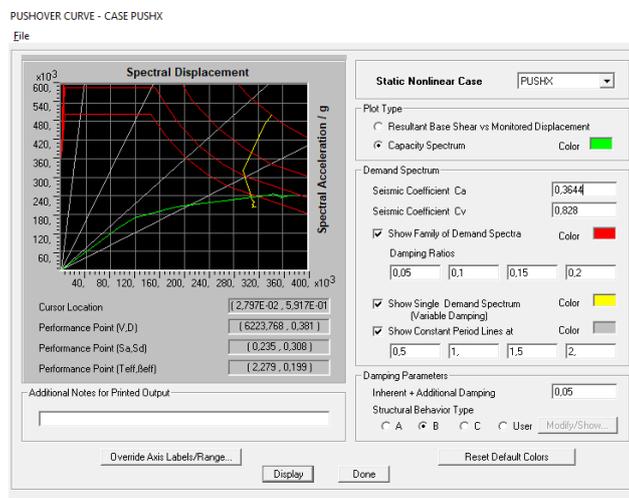
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Evaluasi Tingkat Kinerja

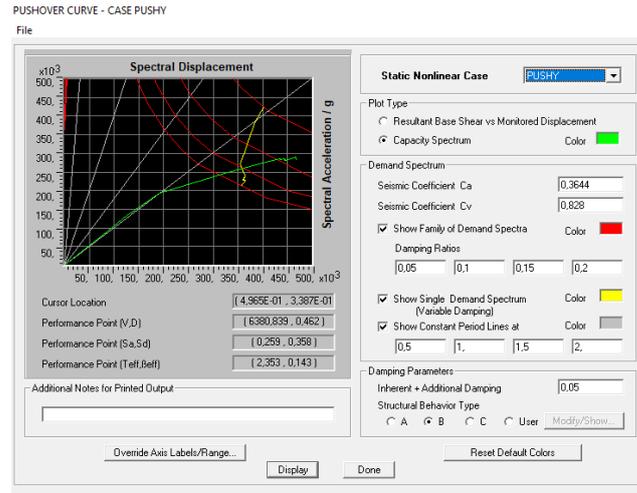
Evaluasi tingkat kinerja struktur digunakan untuk menentukan tingkat kinerja struktur yang didesain. Dari hasil evaluasi kinerja struktur ini nantinya akan didapatkan nilai kinerja struktur berdasarkan *ATC-40*, *FEMA 356* dan *FEMA 440*. Nilai kinerja struktur hasil yang didesain akan dibandingkan dengan kinerja struktur yang didesain di awal saat perhitungan *DDBD*.

1. Metode Kapasitas Spektrum (*ATC-40*)

Penentuan tingkat kinerja dengan metode ini sudah *built-in* dalam program ETABS, sehingga hanya perlu mengkonversi parameter gempa ke dalam C_a dan C_v serta menentukan *Structural Behavior Type*. Untuk hasil tingkat kinerja dengan metode kapasitas spektrum dapat dilihat pada Gambar 7 dan Gambar 8.



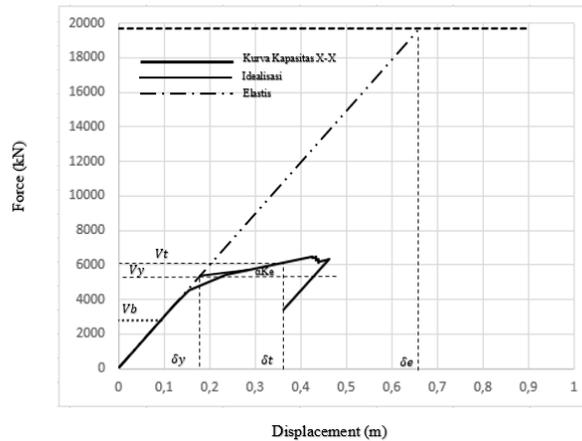
Gambar 7 Spektrum Kapasitas Arah X-X



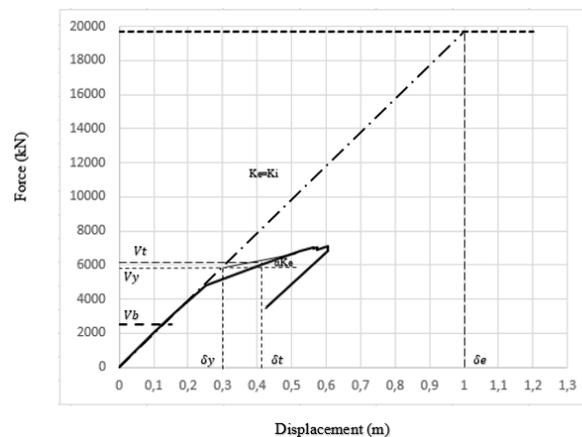
Gambar 8 Spektrum Kapasitas Arah Y-Y

2. Metode Target Perpindahan (*FEMA 356*)

Pada metode ini dilakukan dengan membuat kurva idealisasi bilinear yang diambil dari kurva kapasitas yang dapat dilihat pada Gambar 9 dan Gambar 10.



Gambar 9 Kurva Bilinear *Pushover* Arah X-X



Gambar 10 Kurva Bilinear *Pushover* Arah Y-Y

3. Metode Target Perpindahan yang Diperbaiki (*FEMA 440*)

Nilai faktor modifikasi C_1 dan C_2 pada analisis ini sama, sehingga hasil tingkat kinerja *FEMA 440* sama dengan hasil tingkat kinerja pada *FEMA 356*.

4. Resume

Dari hasil perhitungan dengan 3 metode di atas, dapat ditabelkan target perpindahan atau nilai *performance point* untuk masing-masing metode dengan nilai target kerjanya, dan dapat dilihat pada Tabel 2.

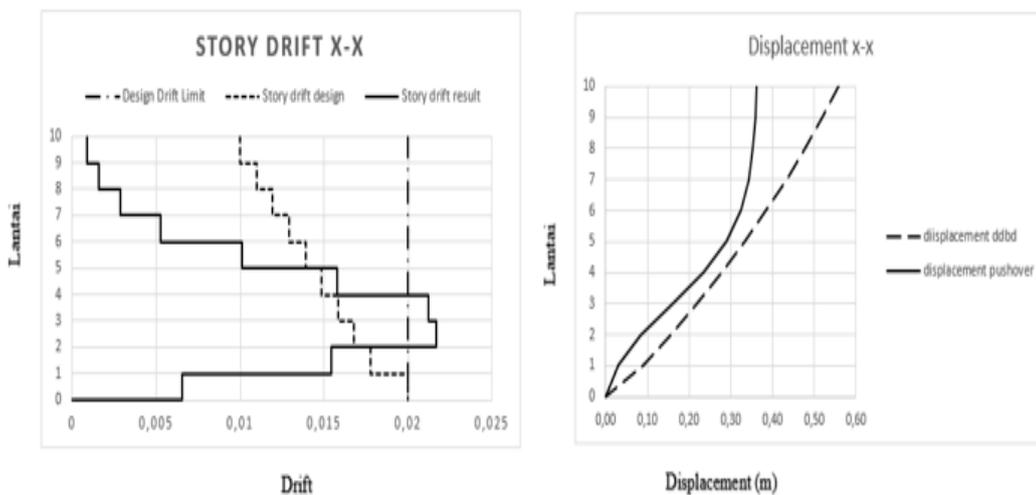
Tabel 2 *Performance Point*

Arah	Parameter	Rencana				Hasil analisis pushover	
		<i>DDBD</i>	<i>ATC-40</i>	<i>FEMA 356</i>	<i>FEMA 440</i>		
	target perpindahan, δ_t (m)	0,3929	0,381	0,36679	0,36679		
arah x-x	Drift aktual (δ_u/T_{tot})		0,01058333	0,010188611	0,0101886		
	Level Kinerja	<i>Life Safety</i>	<i>Damage</i>	<i>Damage</i>	<i>Damage</i>		
			<i>Control</i>	<i>Control</i>	<i>Control</i>		
	target perpindahan, δ_t (m)	0,3929	0,462	0,4131	0,4131		
arah y-y	Drift aktual (δ_u/T_{tot})		0,01283333	0,011475	0,011475		
	Level Kinerja	<i>Life Safety</i>	<i>Damage</i>	<i>Damage</i>	<i>Damage</i>		
			<i>Control</i>	<i>Control</i>	<i>Control</i>		

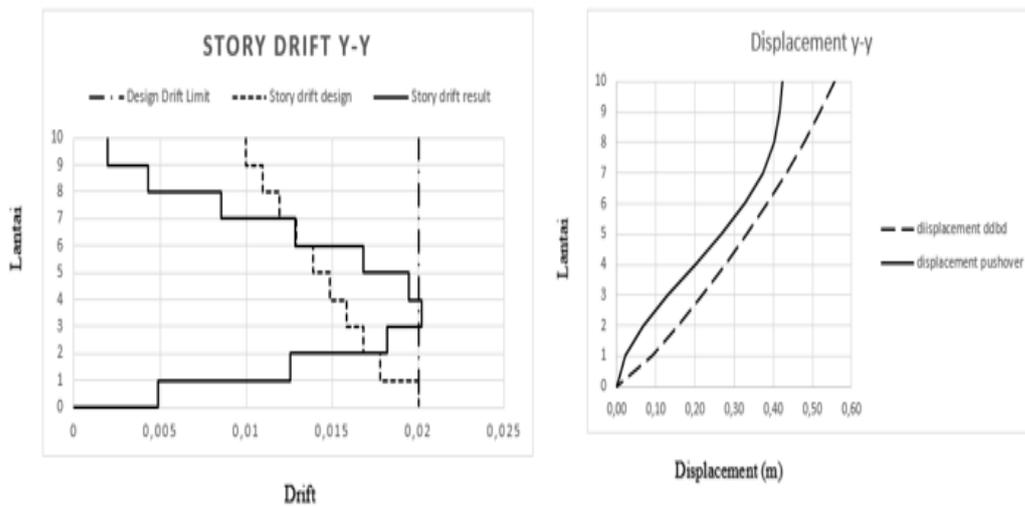
Dari Tabel 2 di atas dapat dilihat untuk masing-masing arah pada 3 metode menghasilkan nilai target perpindahan yang hampir mendekati nilai target perpindahan rencana dengan *DDBD*. Hal ini berarti secara keseluruhan struktur berada pada tingkat kinerja kategori *Damage Control*. Dengan level kinerja desain *Life Safety* maka struktur belum mencapai tingkat kinerja desain tetapi mendekati nilai kinerja desain.

5. Perbandingan nilai *displacement* dan *drift*

Dalam pembahasan ini *displacement* dan *drift* aktual hasil analisis *pushover* digunakan untuk mengetahui perilaku akhir dari struktur yang didesain dan dapat dilihat pada Gambar 11 dan Gambar 12.



Gambar 11 Perbandingan *Drift* dan *Displacement* Arah X-X

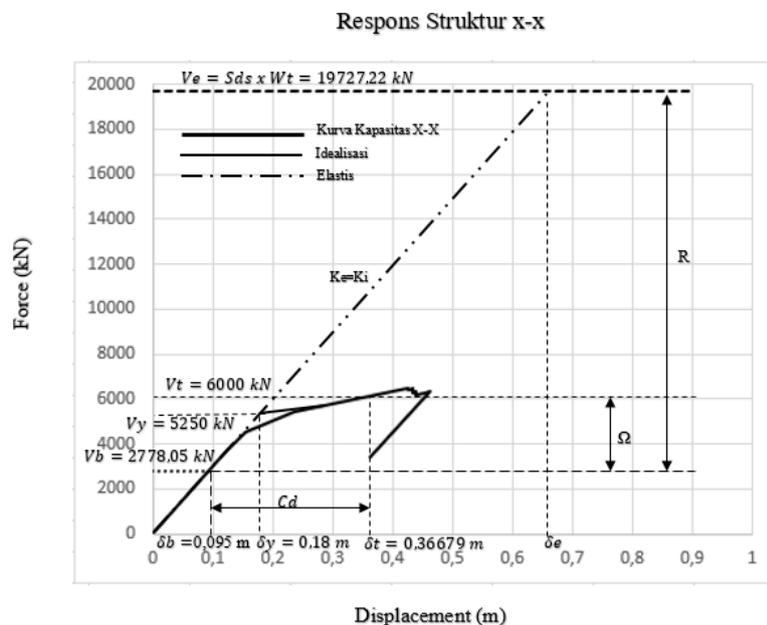


Gambar 12 Perbandingan *Displacement* dan *Drift* Arah Y-Y

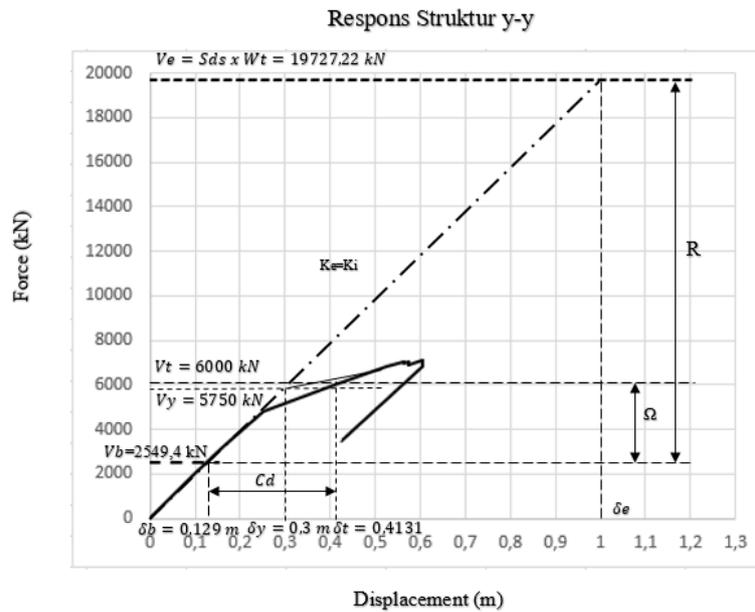
Dari Gambar 11 dan Gambar 12 di atas, dapat diketahui bahwa *drift ratio* hasil *pushover* ada yang melebihi nilai *Design Drift Limit* yang berarti tingkat kinerja melebihi batas *Life Safety*, sedangkan sebagian besar *drift ratio* tidak melebihi *Design Drift Limit*. Untuk nilai *displacement* hasil analisis *pushover* dan dengan rencana *DDBD* memiliki nilai yang hampir mendekati, tetapi mulai lantai 6 sampai 10 *displacement* hasil *pushover* menunjukkan nilai yang lebih kecil.

6. Idealisasi Respons Struktur Terhadap SNI 1726 : 2012

Dalam pembahasan ini akan dilakukan idealisasi kurva kapasitas dari hasil *pushover analysis* untuk mengetahui parameter-parameter respons struktur. Akan dilakukan idealisasi dengan pendekatan secara gaya dan kurva sesuai Gambar 12 dan Gambar 13.



Gambar 13 Respons Struktur Arah X-X



Gambar 14 Respons Struktur Arah Y-Y

Dari Gambar 13 dan Gambar 14 maka didapatkan parameter-parameter respons struktur yaitu, faktor reduksi R , faktor pembesaran defleksi, C_d , dan faktor kuat lebih Ω . Parameter-parameter tersebut akan dibandingkan dengan tabel yang tertera dalam SNI 1726 : 2012 untuk masing-masing arah pada Tabel 3.

Tabel 3 Perbandingan Parameter Respons Struktur

Parameter	Sistem Rangka(x-x)		Sistem Rangka(y-y)	
	DDBD	SNI 2012	DDBD	SNI 2012
C_d	3,86	5,5	3,20	5,5
Ω	2,16	3	2,35	3
R	7,10	8	7,74	8

Dari Tabel 3 dapat dilihat bahwa parameter respons struktur hasil *DDBD* berbeda dengan nilai yang tercantum pada SNI 1726 : 2012, tetapi nilai-nilai tersebut hampir mendekati. Dengan demikian desain struktur berbasis kinerja dengan metode *DDBD* dapat menjadi alternatif ingin mengetahui performa struktur pada tingkat kerjanya.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pembahasan dapat disimpulkan bahwa :

1. Tingkat kinerja menurut *ATC-40, FEMA 356*, dan *FEMA 440* bahwa struktur berada pada tingkat kinerja *Damage Control*. Artinya bangunan masih mampu menahan gempa yang terjadi, risiko korban jiwa manusia sangat kecil. Tingkat kinerja yang terjadi belum mencapai desain awal yaitu *Life Safety*.
2. Nilai *displacement* yang didapat secara umum dapat dikatakan mendekati desain awal, tetapi mulai lantai 6-10 menunjukkan nilai *displacement* yang jauh lebih kecil.
3. Nilai *drift* yang didapat secara umum dapat dikatakan mendekati desain awal, tetapi pada lantai 2, 3, dan 4 nilai *drift* yang terjadi sedikit melebihi *design drift limit* atau *drift* desain awal.
4. Nilai parameter-parameter respons struktur hasil desain dengan *DDBD* lebih kecil daripada nilai parameter yang tercantum pada **SNI 1726 : 2012**.

5. Desain struktur gedung berbasis kinerja dengan metode *DDBD* akan menjadi suatu alternatif yang bisa digunakan jika ingin mengetahui performa struktur pada taraf kinerjanya.

6. SARAN

1. Untuk mengetahui keakuratan metode *DDBD* yang lebih baik, dapat dilakukan perbandingan dengan *Time History Analysis* baik linier maupun nonlinier.
2. Dapat dicoba untuk variasi ketinggian struktur dan juga sistem penahan gaya gempa.
3. Memperhitungkan pengaruh gempa vertikal.

DAFTAR PUSTAKA

- Agus S. 2016. "*Perancangan Struktur Beton Bertulang (Berdasarkan SNI 2847:2013)*". Jakarta: Erlangga.
- ASCE 7-10. 2010. "*Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*," Virginia: American Society of Civil Engineers.
- ATC-40. 1996. "*Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings*". Vol. 1. California: Applied Technology Council.
- Badan Standarisasi Nasional. 2002. "*Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung (SNI 03-1726-2002)*". Jakarta: BSN.
- Badan Standarisasi Nasional. 2012. "*Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan non Gedung (SNI 1726:2012)*". Jakarta: BSN.
- Badan Standarisasi Nasional. 2013. "*Persyaratan Beton Struktural untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur (SNI 2847:2013)*". Jakarta: BSN.
- Budiono, dan Supriatna. 2011. "*Studi Komparasi Desain Bangunan Tahan Gempa dengan menggunakan SNI 3-1726-2002 dan RSNI 03-1726-201X*". Bandung: ITB.
- Computer and Structures, Inc. 1999. "*Etabs User's Manual-Three-Dimensional Analysis and Design of Building System*". First Edition. California: Computers and Structure, Inc.
- FEMA 356. 2000. "*Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Building*". Washington, D.C.: Federal Emergency Management Agency.
- FEMA 440. 2005. "*Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures*". Washinton, D.C.: Federal Emergency Management Agency.
- Ghosh and Fanella. 2003. "*Seismic and Wind Design of Concrete Buildings*". USA: International Code Council, INC.
- Paulay, T.; dan Priestley, M. J. N; 1992. "*Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings*". Newyork: John Wiley & Sons, Inc.
- Priestley, M. J. N; Calvi, G. M.; dan Kowalsky, M. J.; 2007. "*Displacement-Based Seismic Design of Structures*". Pavia: IUSS Press.
- Tavio dan Wijaya. 2018. "*Desain Rekayasa Gempa Berbasis Kinerja*". Yogyakarta: ANDI.
- Untario, Edward. 2017. "*Perbandingan Analisis Statik Dan Dinamik Pada Struktur Dengan Variasi Ketidakteraturan Massa Berdasarkan SNI 03-1726-2012*". Skripsi. Jakarta: Untar.
- Widodo P. 2012. "*Seismologi Teknik dan Rekayasa Kegempaan*". Yogyakarta: Pustaka Belajar.
- Widodo P. 2017. "*Analisis Dinamik Struktur*". Yogyakarta: Pustaka Belajar.