

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### A. Tinjauan Pustaka

Dalam penelitian ini, peneliti menggali informasi dari beberapa penelitian terdahulu sebagai bahan perbandingan, mengenai kekurangan atau kelebihan yang sudah ada. Beberapa penelitian yang berhubungan dan yang sudah pernah dibuat adalah :

**Tabel 1. Penelitian Terdahulu**

No.	Nama	Judul penelitian	Hasil Penelitian
1	Nishant Rana, Siddhant Rana (2015)	<i>Non-Linear Static Analysis (Pushover Analysis) A Review</i>	Menurut tinjauan beberapa karya sastra terpilih, analisis statistik non-linear (juga dikenal sebagai analisis <i>pushover</i> ) adalah alat yang berguna untuk mengajarkan analisis struktural di domain non-linear. Analisis <i>pushover</i> membuat mode kegagalan struktur akibat aksi seismik lebih jelas. Ada ruang untuk penelitian lebih lanjut di bidang ini di masa depan.
2	Trevor E Kelly And Jonathan D Chambers (2000)	<i>Analysis Procedures for Performance Based Design</i>	Perbandingan antara NSP dan NDP telah menunjukkan bahwa prosedur statistik dapat

**Berlanjut**

Lanjutan Tabel 1.

No.	Nama	Judul penelitian	Hasil Penelitian
			<p>memberikan informasi yang berharga tentang kondisi kerja di industri konstruksi. Namun, proses pengurangan viskositas harus dilakukan dengan cara konservatif karena didasarkan pada rentang dan oleh batas. Meskipun saat ini NSP direkomendasikan untuk desain berdasarkan kerja, kami percaya bahwa para profesional dalam rekayasa gempa harus berusaha untuk bergabung dengan NDP. Ini lebih akurat dalam menggambarkan sifat dinamis konstruksi dan memerlukan usaha yang lebih sederhana, meskipun menggunakan lebih banyak kekuatan komputer.</p>
3	Dimpleben P. Sonwane, Prof. Dr. Kiran B. Ladhane (2015)	<i>Seismic Performance based Design of Reinforced Concrete Buildings using Nonlinear Pushover Analysis</i>	<p>Dalam penelitian ini, desain seismik bangunan asimetris setinggi G+4 telah dilakukan berdasarkan kinerjanya dengan menggunakan analisis <i>pushover</i>. Berbagai kombinasi kekuatan elemen struktur, seperti balok dan kolom, ditingkatkan, dan dampaknya terhadap kinerja struktur dipelajari. Alat perangkat lunak nonlinier <i>SAP200</i> digunakan untuk</p>

Berlanjut

Lanjutan Tabel 1.

No.	Nama	Judul penelitian	Hasil Penelitian
			merancang penguatan, dan <i>STAAD Pro</i> digunakan untuk melakukan analisis. Karya ini juga menyelidiki pengaruh dinding geser terhadap kinerja struktur.
4	Tatya Putri Utami, Niken Warastuti (2017)	Analisis Kekuatan Bangunan Terhadap Gempa Dengan Metode Pushover Studi Kasus Gedung Asrama PUSDIKLAT PPATK, Depok	Berdasarkan hasil analisis statik non-linear pada gedung asrama Pusdiklat PPATK, Depok dengan menggunakan program <i>SAP2000</i> diperoleh kesimpulan yang pertama adalah berdasarkan kurva kapasitas, saat gaya ( <i>base force</i> ) diberikan kepada bangunan maka terjadilah perpindahan ( <i>displacement</i> ). Semakin besar gaya yang diberikan maka semakin besar juga perpindahan yang terjadi pada bangunan. Kedua adalah beban gempa maksimum yang mampu diterima oleh gedung asrama Pusdiklat PPATK, Depok sebesar 730,383kN. Ketiga, distribusi sendi plastis terdiri dari 14 step di mana saat step 3 sendi plastis mulai bekerja dan saat step 14 sendi plastis sudah mencapai tahap leleh. Keempat, batas kinerja bangunan gedung asrama pusdiklat
5	Maheswari Dinda Radito, Shelvy	Analisis Perbandingan Biaya Perencanaan Gedung Menggunakan Metode <i>Strength Based</i>	Hasil perhitungan dan analisis menunjukkan bahwa metode <i>Strength Based Design</i> (SBD)

Berlanjut

Lanjutan Tabel 1.

No.	Nama	Judul penelitian	Hasil Penelitian
	Surya, Data Iranata, Endah Wahyuni	<i>Design</i> dengan <i>Performance Based Design</i> pada Berbagai Variasi Ketinggian	menghasilkan gaya gempa yang lebih besar sehingga membutuhkan tulangan lebih banyak dibandingkan <i>Performance Based Design</i> (PBD). Pada SBD, dimensi kolom tidak dapat divariasikan tiap 4 lantai karena momen kolom hampir sama berdasarkan prinsip <i>strong column weak beam</i> , sedangkan dimensi balok dibuat seragam. Studi ini juga mengungkapkan bahwa PBD kurang efektif untuk gedung dengan tinggi 8 lantai dan sumbu pendek berbanding sekitar 1:1 terhadap tinggi gedung, namun menetapkan bahwa PBD lebih efektif dibandingkan SBD pada gedung tinggi seperti 12 dan 16 lantai. Dengan demikian, PBD lebih sesuai untuk perencanaan gedung tinggi ( <i>high rise building</i> ) guna meningkatkan efisiensi struktur.

## **B. Landasan Teori**

Kajian teori dalam penelitian akan di bahas pada bagian ini mengenai beberapa pengertian secara konseptual yang mendukung dan berkenaan dengan penelitian yang dilakukan

### **1. Beton**

Beton adalah material yang digunakan dalam pembuatan suatu rangka struktur. Pentingnya rangka struktur dalam angka kekuatan struktur menjadikan material beton menjadi salah satu faktor penting dalam kekuatan struktur tersebut. Sehingga dari hal tersebut sangat ditekankan dalam pembuatan struktur bangunan, material beton harus sesuai Standar Nasional Indonesia (SNI) yang di mana telah diatur dalam SNI 2847:2019 Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung.

### **2. Elemen Struktur**

Struktur memiliki beberapa elemen yang terhubung satu sama lain sehingga membentuk satu kesatuan, diantaranya terbagi dari beberapa elemen yaitu kolom, balok, dan plat lantai. Masing-masing elemen struktur memiliki fungsi masing-masing di mana kolom berfungsi sebagai tumpuan yang menahan beban gaya axial (gravitasi) dan menyalurkan gaya tersebut sampai ke pondasi struktur bangunan, balok yaitu elemen horizontal yang berfungsi menyalurkan beban plat lantai dan dinding ke kolom, dan plat lantai berfungsi menyalurkan seluruh beban mati dan hidup yang berada di area permukaan lantai ke balok. Dalam pemodelan setiap elemen harus

memerhatikan SNI. SNI 2847:2019 menjadi acuan dalam pemberian dimensi, dan perhitungan penulangan dari setiap elemen.

### 3. *Ultimate Strength*

*Ultimate Strength* adalah kekuatan tegangan maksimal yang mampu di pikul oleh suatu komponen material elemen struktur. Sehingga apabila kekuatan yang terjadi melebihi kekuatan maksimal dari struktur akan mengakibatkan kegagalan bangunan. Dalam penerapan analisa ini menggunakan SNI 1726:2019 sebagai dasar pemberian kombinasi beban dalam perhitungannya.

### 4. *Performance Based Design*

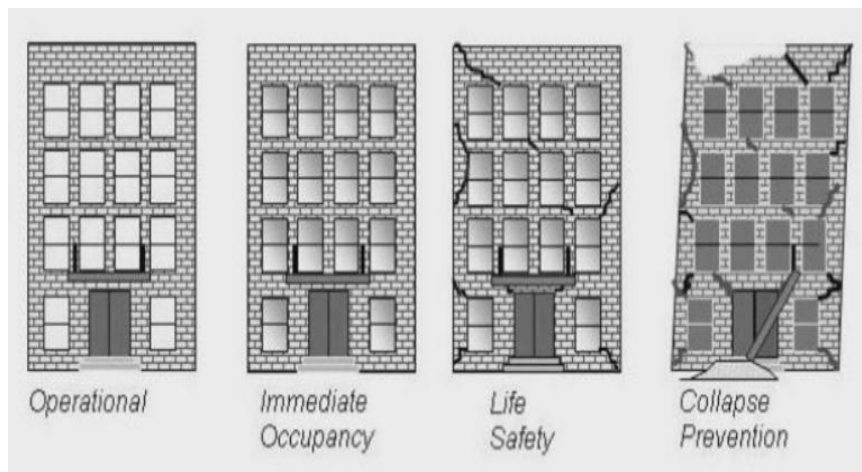
PBD (*Performance Based Design*) menjadi salah satu metode perhitungan struktur yang memiliki pendekatan menggunakan *Pushover Analysis*. Dalam PBD terbagi menjadi 4 tingkat kinerja menu yaitu *Operational (OP)*, *Immediate Occupancy (IO)*, *Life Safety (LS)*, dan *Collapse Prevention (CP)*. Dengan memerhatikan aturan pada ATC-40 dan SNI 1726:2019 Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dalam analisis data dalam metode ini.

Level Desain Gempa		Level Kinerja Bangunan			
		OP	IO	LS	CP
Frekuensi Gempa	Sering	■	x	x	x
	sese kali	▲	■	x	x
	Jarang	●	▲	■	x
	Sangat Jarang		●	▲	■

**Gambar 2. Level Desain Gempa PBD (Khoeri, H, 2019)**

Berdasarkan Gambar 2, menunjukkan tingkatan level desain gempa yang dapat di rencanakan dari awal dengan memerhatikan aturan dari SNI 1726:2019 di mana :

- ■ Fasilitas dasar (kantor, apartemen) I dan II
- ▲ Fasilitas penting (Rumah sakit) III
- ● Fasilitas kritis keselamatan (istana negara) IV



**Gambar 3. Tingkat Level Kinerja**

Dan dapat juga dilihat dari gambar diatas perkiraan kondisi bangunan ketika terjadi gempa sesuai kriteria kinerja *Performance Based Design*

## 5. ETABS

*ETABS* adalah singkatan dari *Extended Three Dimensional Analysis of Building Systems*. *ETABS v20* adalah perangkat lunak (*software*) rekayasa struktur yang dirancang khusus untuk analisis dan desain struktur bangunan Gedung. Dalam *software* ini penggunaan metode *Ultimate Strength* dan analisis *pushover* dapat dilakukan untuk mencari hasil kinerja sesuai dengan kategori dari *Performance Based Design*.

## 6. Pushover Analysis

*Pushover Analysis* adalah metode analisis nonlinear statis dalam suatu perhitungan struktur di mana diberikan beban bertahap untuk mencapai kondisi keruntuhan suatu struktur, yang bertujuan untuk mengetahui perilaku *inelastic* bangunan bertingkat. Selain itu untuk mengetahui kapasitas beban maksimum, perpindahan maksimum, dan ketahanan struktur dari suatu gempa. Hasil utama dari perhitungan *Pushover Analysis* adalah kurva kapasistas yang di pengaruhi oleh gaya geser dan *displacemet* dari gempa yang terjadi. Disamping itu hasil dari *Pushover Analysis* juga berkaitan dengan *Performance Based Design* yaitu level kinerja struktur (*Operational (OP)*, *Immediate Occupancy (IO)*, *Life Safety (LS)*, dan *Collapse Prevention (CP)*). ATC-40, FEMA 356, dan ASCE 41-17 adalah acuan aturan dalam menjalankan analisis ini. Dalam FEMA 356 mendeskripsikan level kinerja di bagi seperti pada Tabel 2.

**Tabel 2. Level Performa Struktur, FEMA 356**

Table C1-3 Structural Performance Levels and Damage <sup>1, 2, 3</sup> —Vertical Elements				
Elements	Type	Structural Performance Levels		
		Collapse Prevention S-5	Life Safety S-3	Immediate Occupancy S-1
Concrete Frames	Primary	Extensive cracking and hinge formation in ductile elements. Limited cracking and/or splice failure in some nonductile columns. Severe damage in short columns.	Extensive damage to beams. Spalling of cover and shear cracking (<1/8" width) for ductile columns. Minor spalling in nonductile columns. Joint cracks <1/8" wide.	Minor hairline cracking. Limited yielding possible at a few locations. No crushing (strains below 0.003).
	Secondary	Extensive spalling in columns (limited shortening) and beams. Severe joint damage. Some reinforcing buckled.	Extensive cracking and hinge formation in ductile elements. Limited cracking and/or splice failure in some nonductile columns. Severe damage in short columns.	Minor spalling in a few places in ductile columns and beams. Flexural cracking in beams and columns. Shear cracking in joints <1/16" width.
	Drift	4% transient or permanent	2% transient; 1% permanent	1% transient; negligible permanent

## 7. *Load Combination*

*Load combination* adalah kombinasi pembebanan yang dilakukan dalam metode kekuatan maksimal (*Ultimate Strength*) dengan memerhatikan SNI 1726:2019 dan SNI 1727:2019. Pembebanan dalam suatu bangunan tidak hanya secara tunggal, namun ada juga beban yang bekerja dalam suatu waktu yang sama, dan ini penting dalam perhitungan untuk mencari dan mengetahui kemampuan maksimal dari suatu struktur bangunan. Dalam kombinasi pembebanan untuk gempa terdiri dari beban mati/*dead load* (DL), beban hidup/*live load* (LL), beban mati tambahan/*super dead load* (SIDL), dan beban gempa/*earthquake* (E).

## 8. *Performance Point*

Titik performa dapat dilihat ketika kurva kapasitas dan kurva demand saling berpotongan. Dititik tersebut *performance point* dari struktur tahan gempa dapat dilihat. Indikator utama dari hasil perpotongan adalah nilai perpindahan yang terjadi. Dari nilai perpindahan, *drift ratio* dapat dihitung dengan rumus perpindahan yang dialami struktur berbanding total tinggi bangunan. *Drift ratio* tersebut dideskripsikan dengan melihat tabel C1-3 pada FEMA 356, di mana yang akan menentukan bangunan struktur tersebut masuk kedalam kategori *performance Operational* (OP), *Immediate Occupancy* (IO), *Life Safety* (LS), dan *Collapse Prevention* (CP).

## 9. Kriteria Peneremian Kategori *Performance*

Dalam *pushover analysis* diberikan ketentuan perilaku pada tiap sendi agar perilaku struktur dapat dikontrol dengan melihat keadaan elastis,

plastis, maupun keruntuhan pada struktur bangunan tahan gempa yang diatur dalam ASCE 41-17 pada Gambar 4 dan Gambar 5.

Table 10-7. Modeling Parameters and Numerical Acceptance Criteria for Nonlinear Procedures—Reinforced Concrete Beams

Conditions	Modeling Parameters <sup>a</sup>			Acceptance Criteria <sup>a</sup>				
	Plastic Rotation Angle (radians)		Residual Strength Ratio	Plastic Rotation Angle (radians)				
	a	b		IO	LS	CP		
Condition i. Beams controlled by flexure <sup>b</sup>								
$\frac{V_u}{A_g f_c E}$	Transverse reinforcement <sup>c</sup>	$\frac{V_u}{d_w d \sqrt{f_c E}}$						
≤0.0	C	≤3 (0.25)	0.025	0.05	0.2	0.010	0.025	0.05
≤0.0	C	≥6 (0.5)	0.02	0.04	0.2	0.005	0.02	0.04
≥0.5	C	≤3 (0.25)	0.02	0.03	0.2	0.005	0.02	0.03
≥0.5	C	≥6 (0.5)	0.015	0.02	0.2	0.005	0.015	0.02
≤0.0	NC	≤3 (0.25)	0.02	0.03	0.2	0.005	0.02	0.03
≤0.0	NC	≥6 (0.5)	0.01	0.015	0.2	0.0015	0.01	0.015
≥0.5	NC	≤3 (0.25)	0.01	0.015	0.2	0.005	0.01	0.015
≥0.5	NC	≥6 (0.5)	0.005	0.01	0.2	0.0015	0.005	0.01
Condition ii. Beams controlled by shear <sup>b</sup>								
Stirrup spacing ≤ d/2			0.0030	0.02	0.2	0.0015	0.01	0.02
Stirrup spacing > d/2			0.0030	0.01	0.2	0.0015	0.005	0.01
Condition iii. Beams controlled by inadequate development or splicing along the span <sup>b</sup>								
Stirrup spacing ≤ d/2			0.0030	0.02	0.0	0.0015	0.01	0.02
Stirrup spacing > d/2			0.0030	0.01	0.0	0.0015	0.005	0.01
Condition iv. Beams controlled by inadequate embedment into beam-column joint <sup>b</sup>								
			0.015	0.03	0.2	0.01	0.02	0.03

Note:  $f_c E$  in lb/in.<sup>2</sup> (MPa) units.

<sup>a</sup> Values between those listed in the table should be determined by linear interpolation.

<sup>b</sup> Where more than one of conditions i, ii, iii, and iv occur for a given component, use the minimum appropriate numerical value from the table.

<sup>c</sup> "C" and "NC" are abbreviations for conforming and nonconforming transverse reinforcement, respectively. Transverse reinforcement is conforming if, within the flexural plastic hinge region, hoops are spaced at ≤ d/3, and if, for components of moderate and high ductility demand, the strength provided by the hoops ( $V_u$ ) is at least 3/4 of the design shear. Otherwise, the transverse reinforcement is considered nonconforming.

<sup>d</sup>  $V$  is the design shear force from NSP or NDP.

#### Gambar 4. Modeling Parameter dan Acceptance Criteria untuk Nonlinear Concrete Beams

Table 10-11. Modeling Parameters and Numerical Acceptance Criteria for Nonlinear Procedures—Reinforced Concrete Beam-Column Joints

Conditions	Modeling Parameters <sup>a</sup>			Acceptance Criteria <sup>a</sup>				
	Plastic Rotation Angle (radians)		Residual Strength Ratio	Plastic Rotation Angle (radians)				
	a	b		IO	LS	CP		
Condition i. Interior joints (Note: For classification of joints, refer to Fig. 10-3)								
$\frac{P_u}{A_g f_c E}$	Transverse reinforcement <sup>c</sup>	$\frac{V_u}{V_j}$						
≤0.1	C	≤1.2	0.015	0.03	0.2	0.0	0.02	0.03
≤0.1	C	≥1.5	0.015	0.03	0.2	0.0	0.015	0.02
≥0.4	C	≤1.2	0.015	0.025	0.2	0.0	0.015	0.025
≥0.4	C	≥1.5	0.015	0.2	0.2	0.0	0.015	0.02
≤0.1	NC	≤1.2	0.005	0.2	0.2	0.0	0.015	0.02
≤0.1	NC	≥1.5	0.005	0.015	0.2	0.0	0.01	0.015
≥0.4	NC	≤1.2	0.005	0.015	0.2	0.0	0.01	0.015
≥0.4	NC	≥1.5	0.005	0.015	0.2	0.0	0.01	0.015
Condition ii. Other joints (Note: For classification for joints, refer to Fig. 10-3)								
$\frac{P_u}{A_g f_c E}$	Transverse reinforcement <sup>c</sup>	$\frac{V_u}{V_j}$						
≤0.1	C	≤1.2	0.01	0.02	0.2	0.0	0.015	0.02
≤0.1	C	≥1.5	0.01	0.015	0.2	0.0	0.01	0.015
≥0.4	C	≤1.2	0.01	0.02	0.2	0.0	0.015	0.02
≥0.4	C	≥1.5	0.01	0.015	0.2	0.0	0.01	0.015
≤0.1	NC	≤1.2	0.005	0.01	0.2	0.0	0.0075	0.01
≤0.1	NC	≥1.5	0.005	0.01	0.2	0.0	0.0075	0.01
≥0.4	NC	≤1.2	0.0	0.0075	0.0	0.0	0.005	0.0075
≥0.4	NC	≥1.5	0.0	0.0075	0.0	0.0	0.005	0.0075

<sup>a</sup> Values between those listed in the table should be determined by linear interpolation.

<sup>b</sup>  $P$  is the design axial force on the column above the joint calculated using limit-state analysis procedures in accordance with Section 10.4.2.4, and  $A_g$  is the gross cross-sectional area of the joint.

<sup>c</sup> "C" and "NC" are abbreviations for conforming and nonconforming transverse reinforcement. Joint transverse reinforcement is conforming if hoops are spaced at ≤  $h_c/2$  within the joint. Otherwise, the transverse reinforcement is considered nonconforming.

<sup>d</sup>  $V$  is the design shear force from NSP or NDP, and  $V_j$  is the shear strength for the joint. The shear strength should be calculated according to Section 10.4.2.3.

#### Gambar 5. Modeling Parameter dan Acceptance Criteria untuk Nonlinear Concrete Column

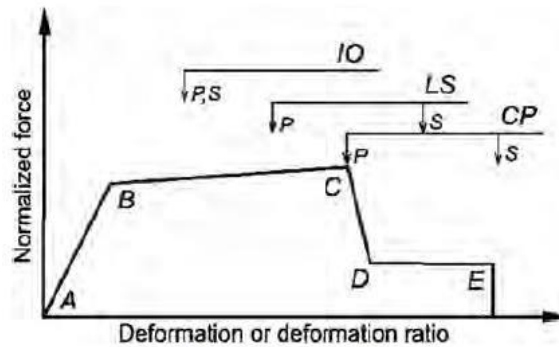


Figure 7-7. Acceptance Criteria Illustration

### Gambar 6. Kurva Kriteria Penerimaan

A adalah kondisi di mana struktur memiliki perilaku yang elastis. B adalah kondisi struktur pertama kali mengalami luluh atau mengalami perilaku plastis. Pada perilaku B ke C terdapat beberapa kategori di antaranya *Immediate Occupancy* (IO), *Life Safety* (LS), dan *Collapse Prevention* (CP). Pada masing-masing titik tersebut, ketentuan elemen mengalami gaya plastis sudah diatur dalam Gambar 4 (acceptance criteria for concrete beam) dan Gambar 5 (acceptance criteria for concrete coloumn) pada ASCE 41-17. C adalah titik luluh maksimum yang dapat diterima oleh elemen struktur, di mana elemen sudah tidak bisa menerima beban yang membuat gaya naik namun masih bisa mengalami perpindahan. D adalah titik di mana elemen sudah mengalami kerusakan yang signifikan namun masih memiliki sisa kekuatan. E adalah titik di mana elemen mengalami kegagalan total karena sepenuhnya kehilangan kekuatan sehingga struktur menjadi runtuh dan kehilangan stabilitas, pada kondisi ini bangunan benar-benar runtuh atau berada pada batas akhir (*Collapse*).