

# **PENGARUH SIFAT MEKANIK BAJA TERHADAP GEDUNG BERTINGKAT DENGAN ANALISIS *PUSHOVER***

**Christian Jaya Kusuma**  
**NRP : 1121019**

**Pembimbing : Ronald Simatupang, S.T.,M.T**

## **ABSTRAK**

Pesatnya pembangunan di Indonesia mengakibatkan banyaknya permintaan akan bahan bangunan khususnya baja tulangan. Persaingan yang ketat membuat beberapa produsen baja tulangan memproduksi tulangan yang tidak sesuai dengan standar yang berlaku dengan tujuan dapat dijual dengan harga murah dan laku di pasaran, penggunaan tulangan yang tidak sesuai standar tentunya ditujukan untuk pengurangan atau penghematan biaya pembangunan akan tetapi berdampak besar bagi struktur.

Tujuan dari penelitian ini adalah mempelajari pengaruh dari penggunaan tulangan yang sesuai standar dan yang tidak sesuai standar pada struktur dengan menggunakan perangkat lunak kemudian membandingkan kedua hasil analisis tersebut.

Dalam studi ini bangunan didesain sesuai Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung [SNI 1726-2002]. Kemudian perilaku struktur yang menggunakan tulangan standar dan yang tidak ini dievaluasi dengan menggunakan analisis statik beban dorong (*static nonlinier/pushover analysis*).

Hasil analisis menunjukkan bahwa penggunaan baja tulangan non-standar oleh pengaruh tegangan leleh ( $f_y$ ) lebih besar 8.5% dan tegangan putus ( $f_u$ ) lebih besar 0.83% adalah kapasitas gaya geser yang mampu diterima oleh struktur lebih besar 9.6%. Kapasitas momen leleh balok lebih besar berkisar antara 9.2-9.8% dan momen maksimum balok lebih besar berkisar antara 0.4-4%. Kapasitas aksial kolom lebih besar 3.6% dan momen maksimum kolom lebih besar 1.6%. Daktilitas struktur dengan baja tulangan standar adalah 6 dibandingkan daktilitas struktur dengan tulangan non-standar adalah 4.5. Daktilitas kurvatur balok dengan menggunakan tulangan standar berkisar antara 4-6 dibandingkan balok dengan tulangan non-standar berkisar antara 3.2-3.6. Daktilitas kurvatur kolom dengan tulangan standar 3.88 dibandingkan kolom dengan tulangan non-standar 3.22, penurunan daktilitas ini dipengaruhi oleh daktilitas dari baja tulangan dan perbedaan nilai modulus elastisitas tulangan.

Kata Kunci: Pushover, Kurva Kapasitas, Sendi Plastis, Kapasitas kolom, Tulangan Standar, Tulangan Non-Standar

# **EFFECT OF MECHANICAL PROPERTIES OF STEEL FOR MULTILEVEL BUILDING WITH *PUSHOVER* ANALYSIS**

**Christian Jaya Kusuma  
NRP: 1121019**

**Advisor: Ronald Simatupang, S.T., M.T**

## **ABSTRACT**

The rapid development in Indonesia resulted in many requests for building materials, especially steel reinforcement. Intense competition make some manufacturers produce reinforcing steel bars which are not in accordance with the standards applicable to the destination can be sold at a low price and sell at the market, the use of reinforcement that is not according to the standard course is intended for reduction or cost savings but the development will have a major impact for the structure.

The purpose of this research was to study the effect of reinforcing the use of appropriate standards and that does not conform to the standard structure using the software then compares the results of the analysis.

In this study, the building is designed based on that used in Indonesia (SNI 1726-2002). Then the behavior of structures using standard reinforcement and not standard reinforcement evaluated using nonlinear analysis (pushover analysis).

The analysis showed that the use of non-standard steel reinforcement by the influence of yield stress ( $f_y$ ) is greater 8.5% and tensile strength ( $f_u$ ) greater 0.83% are shear force structures capacity is 9.6% larger. Moment yield capacity of beam range between 9.2-9.8% and a maximum moment of beam range between 0.4-4%. Axial Capacity column is 3.6% greater and maximum moment is 1.6% greater. Ductility structure with standard reinforcement steel is 6 compared ductility reinforcement structure with non-standard is 4.5. Curvature ductility beam using standard reinforcement beams ranged between 4-6 compared with the reinforcement of non-standard ranges between 3.2-3.6. Curvature ductility column with standard reinforcement is 3.88 compared with the column of non-standard reinforcement is 3.22, decrease in ductility is influenced by the reinforcing steel ductility and difference of elasticity modulus value reinforcement.

**Keywords:** Pushover, capacity curve, Hinge, Capacity column, Standard Reinforcement, Non-Standard Reinforcement

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
PERNYATAAN ORISINALITAS LAPORAN PENELITIAN.....	iii
PERNYATAAN PUBLIKASI LAPORAN PENELITIAN.....	iv
SURAT KETERANGAN TUGAS AKHIR.....	v
SURAT KETERANGAN SELESAI TUGAS AKHIR.....	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
ABSTRAK.....	ix
<i>ABSTRACT</i> .....	x
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR TABEL.....	xx
DAFTAR NOTASI.....	xxi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xxiii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	2
1.3 Pembatasan Masalah.....	2
1.4 Ruang Lingkup Penelitian.....	3
1.5 Sistematika Penelitian.....	3
1.6 Lisensi Perangkat Lunak.....	3

## BAB II STUDI PUSTAKA

2.1 Beton Bertulang.....	4
2.1.1 Sifat Mekanis Beton Bertulang.....	4
2.1.2 Hubungan Momen-Kurvatur Penampang.....	13
2.2 Baja Tulangan.....	15
2.3 Teori Gedung Tahan Gempa.....	18
2.4 <i>Pushover</i> Analisis.....	19
2.5 Peraturan.....	30
2.5.1 SNI 1726-2002 Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung.....	30

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Properties Material.....	38
3.2 Denah Struktur.....	39
3.3 Diagram Alir Penelitian.....	41
3.4 Input SAP2000.....	42
3.5 Pemodelan Analisis Balok Dan Kolom.....	51

## BAB IV ANALISA DATA

4.1 Analisis Pemodelan.....	52
4.1.1 Pembatasan Waktu Getar Alami Fundamental.....	52
4.1.2 Distribusi Gaya Geser Dasar Horizontal.....	53
4.1.3 Kinerja Batas Layan.....	56
4.2 Analisis <i>Pushover</i> .....	57
4.3 Analisis Balok.....	62
4.4 Analisis Kolom.....	66

## BAB V SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan.....	70
5.2 Saran.....	72

DAFTAR PUSTAKA.....	73
LAMPIRAN.....	75

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Pengaruh nilai perbandingan air-semen pada kekuatan tekan 28 hari. Nilai rata-rata untuk beton yang mempunyai kandungan 1,5 sampai 2% udara untuk non <i>air-entrained</i> beton dan tidak lebih dari 5 sampai 6% untuk <i>air-entrained</i> beton.....	5
Gambar 2.2	Kurva-kurva tegangan-regangan tipikal untuk beton dalam tekan dibawah pembebanan jangka pendek.....	6
Gambar 2.3	Kurva-kurva tegangan-regangan untuk tingkat-tingkat kecepatan regangan dari pembebanan konsentris.....	6
Gambar 2.4	Perbandingan dari hasil-hasil percobaan untuk modulus keruntuhan dengan rumus peraturan ACI.....	7
Gambar 2.5	Kurva tegangan-regangan untuk beton dalam tekan.....	8
Gambar 2.6	Perubahan dalam regangan dari suatu spesimen kering yang dibebani; $t_0$ adalah waktu penerapan beban.....	10
Gambar 2.7	Variasi dari koefisien rangkak sesuai dengan lamanya beban (untuk slump 10cm atau kurang, kelembaban 40%, pengeringan lengas dan beban pada umur 7 hari).....	11
Gambar 2.8	Hubungan cirian antara rangkak dan pemulihan.....	12
Gambar 2.9	Variasi dari regangan susut standar sesuai dengan waktu setelah pengeringan lengas (untuk slump 4 inci atau kurang, 40% kelembaban relatif disekitarnya dan tebal terkecil dari batang 6 inci atau kurang setelah 7 hari pengeringan lengas).....	13
Gambar 2.10	Deformasi Elemen Struktur akibat Pembebanan Lentur.....	14

Gambar 2.11	Momen – Kurvatur pada Balok Beton.....	14
Gambar 2.12	Parameter Waktu Getar Fundamental Efektif dari Kurva Pushover.....	21
Gambar 2.13	Perilaku Pasca Leleh Sistem Struktur.....	24
Gambar 2.14	Skematik Prosedur Metode Koefisien Perpindahan.....	25
Gambar 2.15	Titik Kinerja menurut Metode Spektrum Kapasitas.....	26
Gambar 2.16	Parameter data Respons Spektrum Rencana.....	26
Gambar 2.17	Variasi Pola Distribusi Pembebanan Lateral.....	28
Gambar 2.18	Properti Sendi Plastis.....	29
Gambar 2.19	Wilayah gempa indonesia dengan percepatan puncak batuan dasar dengan periode ulang 500 tahun.....	34
Gambar 2.20	Respon Spektrum Gempa Rencana.....	34
Gambar 3.1	Grafik Tegangan-Regangan Tulangan Baja.....	38
Gambar 3.2	Denah Struktur.....	39
Gambar 3.3	Tampak Samping Struktur.....	40
Gambar 3.4	Portal As-3.....	40
Gambar 3.5	Diagram Alir Penelitian.....	41
Gambar 3.6	Input Koordinat.....	42
Gambar 3.7	Definisi Material Untuk Balok.....	43
Gambar 3.8	Definisi Material Untuk Kolom.....	43
Gambar 3.9	Modifikasi <i>Stress-Strain</i> Untuk Tulangan Tidak Sesuai Standar.....	44
Gambar 3.10	Modifikasi <i>Stress-Strain</i> Untuk Tulangan Standar.....	44

Gambar 3.11	Input Dimensi Penampang Untuk Balok.....	45
Gambar 3.12	Input Dimensi Penampang Untuk Kolom.....	45
Gambar 3.13	Input Dimensi Tebal Untuk Pelat.....	46
Gambar 3.14	Input Perletakan.....	46
Gambar 3.15	Input Beban SDL Pada Pelat.....	47
Gambar 3.16	Input Beban Hidup Pada Pelat.....	47
Gambar 3.17	Data Analisis Statik <i>Nonlinear</i> Untuk Beban Gravitasi.....	48
Gambar 3.18	Data Analisis Statik <i>Nonlinear</i> Untuk Beban Dorong.....	48
Gambar 3.19	Modifikasi Kontrol Beban.....	48
Gambar 3.20	Modifikasi <i>Result Saved</i> .....	49
Gambar 3.21	Parameter <i>Nonlinear</i> .....	49
Gambar 3.22	Data Penempatan <i>Hinge</i> untuk Balok.....	50
Gambar 3.23	<i>Hinge Assignment Data</i> untuk Balok.....	50
Gambar 3.24	Data Penempatan <i>Hinge</i> untuk Kolom.....	50
Gambar 3.25	<i>Hinge Assignment Data</i> untuk Kolom.....	51
Gambar 4.1	Kurva Kapasitas.....	58
Gambar 4.2	Step 17 Tulangan Standar.....	59
Gambar 4.3	Step 17 Tulangan Non-Standar.....	59
Gambar 4.4	Step 112 Tulangan Standar .....	59
Gambar 4.5	Step 112 Tulangan Non-Standar .....	59
Gambar 4.6	Step 543 Tulangan Standar .....	60
Gambar 4.7	Step 543 Tulangan Non-Standar .....	60



Gambar 4.8	Step 586 Tulangan Standar .....	61
Gambar 4.9	Step 543 Tulangan Non-Standar .....	61
Gambar 4.10	Balok B32.....	62
Gambar 4.11	Luas Tulangan Longitudinal Yang Dibutuhkan Untuk Balok B32.....	62
Gambar 4.12	Nilai $A_v/s$ untuk balok B32.....	62
Gambar 4.13	Perbandingan Momen Kurvatur.....	63
Gambar 4.14	Perbandingan Momen Kurvatur .....	64
Gambar 4.15	Perbandingan Momen Kurvatur .....	65
Gambar 4.16	Perbandingan Momen Kurvatur .....	65
Gambar 4.17	Kolom K11.....	66
Gambar 4.18	Luas Tulangan Longitudinal Yang Dibutuhkan Untuk Kolom K11.....	67
Gambar 4.19	Nilai $A_v/s$ Untuk Kolom K11.....	67
Gambar 4.20	Perbandingan Momen Kurvatur Kolom.....	68
Gambar 4.21	Perbandingan Kapasitas Kolom.....	69
Gambar L1.1	Model Portal Verifikasi.....	75
Gambar L1.2	Reaksi Perletakan Pemodelan SAP2000.....	84
Gambar L2.1	<i>Step 1</i> .....	85
Gambar L2.2	<i>Step 30</i> .....	85
Gambar L2.3	<i>Step 60</i> .....	86
Gambar L2.4	<i>Step 90</i> .....	86
Gambar L2.5	<i>Step 120</i> .....	87

Gambar L2.6 <i>Step</i> 150 .....	87
Gambar L2.7 <i>Step</i> 180 .....	88
Gambar L2.8 <i>Step</i> 210 .....	88
Gambar L2.9 <i>Step</i> 240 .....	89
Gambar L2.10 <i>Step</i> 270 .....	89
Gambar L2.11 <i>Step</i> 300 .....	90
Gambar L2.12 <i>Step</i> 330 .....	90
Gambar L2.13 <i>Step</i> 360 .....	91
Gambar L2.14 <i>Step</i> 390 .....	91
Gambar L2.15 <i>Step</i> 420 .....	92
Gambar L2.16 <i>Step</i> 450 .....	92
Gambar L2.17 <i>Step</i> 480 .....	93
Gambar L2.18 <i>Step</i> 510 .....	93
Gambar L2.19 <i>Step</i> 540 .....	94
Gambar L2.20 <i>Step</i> 570 .....	94
Gambar L2.21 <i>Step</i> 586 .....	95
Gambar L3.1 <i>Step</i> 1 .....	96
Gambar L3.2 <i>Step</i> 25 .....	96
Gambar L3.3 <i>Step</i> 50 .....	97
Gambar L3.4 <i>Step</i> 75 .....	97
Gambar L3.5 <i>Step</i> 100 .....	98
Gambar L3.6 <i>Step</i> 125 .....	98

Gambar L3.7 <i>Step</i> 150 .....	99
Gambar L3.8 <i>Step</i> 175 .....	99
Gambar L3.9 <i>Step</i> 200 .....	100
Gambar L3.10 <i>Step</i> 225 .....	100
Gambar L3.11 <i>Step</i> 250 .....	101
Gambar L3.12 <i>Step</i> 275 .....	101
Gambar L3.13 <i>Step</i> 300 .....	102
Gambar L3.14 <i>Step</i> 325 .....	102
Gambar L3.15 <i>Step</i> 350 .....	103
Gambar L3.16 <i>Step</i> 375 .....	103
Gambar L3.17 <i>Step</i> 400 .....	104
Gambar L3.18 <i>Step</i> 425 .....	104
Gambar L3.19 <i>Step</i> 450 .....	105
Gambar L3.20 <i>Step</i> 475 .....	105
Gambar L3.21 <i>Step</i> 543 .....	106

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Sifat mekanis baja tulangan.....	15
Tabel 2.2	Tingkat Kerusakan Struktur.....	29
Tabel 2.3	Faktor Keutamaan I untuk berbagai kategori gedung dan bangunan.....	30
Tabel 2.4	Faktor daktilitas maksimum, faktor reduksi gempa maksimum, faktor tahanan lebih struktur dan faktor tahanan lebih total beberapa jenis sistem dan subsistem struktur gedung.....	31
Tabel 2.5	Koefisien $\zeta$ yang membatasi waktu getar alami fundamental struktur gedung.....	35
Tabel 4.1	Periode Waktu Getar Struktur.....	55
Tabel 4.2	Berat dan Massa Struktur.....	53
Tabel 4.3	Verifikasi Berat Lantai 3.....	53
Tabel 4.4	Perhitungan Pembagian Gaya Gempa Tiap Lantai.....	54
Tabel 4.5	Perpindahan Lantai.....	55
Tabel 4.6	Perhitungan <i>T-Ray</i> untuk arah X.....	56
Tabel 4.7	Perhitungan <i>T-Ray</i> untuk arah Y.....	56
Tabel 4.8	Perhitungan Kinerja Batas Layan Bangunan untuk arah X.....	57
Tabel 4.9	Perhitungan Kinerja Batas Layan Bangunan untuk arah Y.....	57
Tabel L1.1	Verifikasi Reaksi Perletakan.....	84
Tabel L4.1	<i>Pre-Elementary Design</i> .....	109

## DAFTAR NOTASI

- $C_I$  Faktor Respons Gempa dinyatakan dalam percepatan gravitasi yang nilainya bergantung pada waktu getar alami struktur gedung dan kurvanya ditampilkan dalam Spektrum Respons Gempa Rencana
- $D$  Perpindahan titik acuan pada atap (meter)
- $E$  Modulus Elastisitas (MPa)
- $\zeta$  Koefisien yang membatasi waktu getar alami fundamental struktur gedung
- $F_y$  Tegangan Leleh Baja Tulangan (MPa)
- $F_u$  Tegangan Putus Baja Tulangan (MPa)
- $h_i$  Tinggi lantai gedung ke- $i$  (meter)
- $I$  Faktor keutamaan gedung, faktor pengali dari pengaruh Gempa Rencana pada berbagai kategori gedung, untuk menyesuaikan perioda ulang gempa yang berkaitan dengan penyesuaian probabilitas dilampauinya pengaruh tersebut selama umur gedung itu penyesuaian umur gedung itu
- $\gamma$  Berat jenis beton ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )
- $m$  Massa gedung ( $\text{kg}\cdot\text{det}^2/\text{meter}$ )
- $m_{total}$  Massa gedung total ( $\text{kg}\cdot\text{det}^2/\text{meter}$ )
- $R$  Faktor reduksi gempa, rasio antara beban gempa maksimum akibat pengaruh gempa rencana pada struktur gedung elastik penuh dan beban gempa nominal akibat pengaruh gempa rencana pada struktur gedung daktail, bergantung pada faktor daktilitas struktur gedung tersebut; faktor reduksi gempa representatif struktur gedung tidak beraturan

- $T$  Waktu getar alami struktur gedung dinyatakan dalam detik yang menentukan besarnya Faktor Respons Gempa struktur gedung yang kurvanya ditampilkan dalam Spektrum Respons gempa rencana (detik)
- $V$  Beban (gaya) geser dasar nominal statik ekuivalen akibat pengaruh Gempa Rencana yang bekerja di tingkat dasar struktur gedung beraturan dengan tingkat daktilitas umum, dihitung berdasarkan waktu getar alami fundamental struktur gedung beraturan tersebut (kg)
- $W_t$  Massa gedung dikalikan gravitasi (kg)
- $\Delta$  Perpindahan lantai (meter)
- $\delta_y$  Perpindahan atap saat leleh pertama (meter)
- $\delta_u$  Paerpindahan atap saat kondisi ultimit (meter)

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran I	Verifikasi <i>Software</i> .....	75
Lampiran II	<i>Step Analisis Pushover</i> Tulangan Sesuai Standar.....	85
Lampiran III	<i>Step Analisis Pushover</i> Tulangan Tidak Sesuai Standar.....	96
Lampiran IV	<i>Pre-Elementary Design</i> .....	107