

PENGARUH VARIASI PERHITUNGAN TEGANGAN DAN REGANGAN KOLOM BETON BERTULANG TERHADAP DAKTILITAS PENAMPANG TAKTERKEKANG

Partogi H. Simatupang¹ (partogihsimatupang@gmail.com)
Gisella D. Siallagan² (gigisella10@gmail.com)
Jusuf J. S. Pah³ (yuserpbdaniel@yahoo.co.id)

ABSTRAK

Salah satu parameter penting dalam perencanaan suatu kolom adalah daktilitas. Nilai daktilitas suatu kolom dapat ditentukan dari kurva hubungan antara momen dan kurvatur. Nilai momen dan kurvatur didapat dari perhitungan tegangan dan regangan beton. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi tegangan dan regangan kolom beton bertulang terhadap daktilitas penampang tak terkekang. Dalam analisis ini hubungan tegangan dan regangan menggunakan 4 metode yaitu Kent and Park, Popovics, Thorenfeldt dan Hognestad yang kemudian dilakukan analisis momen dan kurvatur secara manual dari hubungan tegangan dan regangan. Selain menghitung secara manual juga digunakan program bantu *Response 2000*. Output *Response 2000* digunakan sebagai pembandingan dengan cara perhitungan manual. Hasil analisis secara manual maupun menggunakan *Response 2000* menunjukkan luas tulangan longitudinal dan mutu tulangan longitudinal yang meningkat dapat menurunkan nilai daktilitas kolom sedangkan mutu beton yang meningkat maka daktilitas juga meningkat. Selain itu, konfigurasi tulangan longitudinal juga dapat mempengaruhi nilai daktilitas suatu kolom dengan nilai daktilitas paling kecil terdapat pada sampel UC3-01.

Kata Kunci : Kolom Beton Bertulang; Hubungan Tegangan-Regangan; Daktilitas

ABSTRACT

One of the important parameter in a column planning is ductility. Ductility of a column can determined from relation curve between moment and curvature. Moment and curvature value is obtained from the calculation of concrete stress and strain. This research aims is to know the effect of stress and strain variation of reinforced concrete column on unconfined section ductility. In this research, stress and strain relation use 4 methods such as Kent and Park, Popovics, Thorenfeldt and Hognestad and then moment-curvature analysis is done manually by Ms. Excel 2013 from stress-strain relation. Besides counting manually also used the Response 2000 program. Output of Response 2000 is used as a comparison by manual calculation. The results of manual analysis or using Response 2000 indicates that an increase in the area of longitudinal reinforcement and the steel yield strength can decreases the ductility while an increase in the concrete strength increases the ductility. In addition, the configuration of longitudinal reinforcement also affects the ductility of a column with the smallest ductility value in the UC3-01.

Keywords : Reinforcement Concrete Column; Stress-Strain Relation; Ductility

PENDAHULUAN

Kolom adalah komponen struktur bangunan yang fungsi utamanya menyangga beban aksial tekan vertikal. Kolom juga berfungsi sebagai penerus beban seluruh bangunan ke pondasi. Kolom berfungsi sangat penting agar bangunan tidak mudah roboh. Kegagalan struktural dapat terjadi pada kolom yang menyebabkan keruntuhan bangunan. Tipe keruntuhan bangunan yang dapat terjadi diharapkan adalah keruntuhan yang daktil (*ductile failure*) yang menjamin adanya

¹ Jurusan Teknik Sipil, FST Undana – Kupang;

² Jurusan Teknik Sipil, FST Undana – Kupang;

³ Jurusan Teknik Sipil, FST Undana – Kupang.

peringatan dini bagi pengguna bangunan berupa deformasi yang besar pada struktur sebelum terjadi keruntuhan. Oleh karena itu, dalam perencanaan kolom beton bertulang selain perhitungan kekuatan juga harus menghitung tingkat daktilitas. Perhitungan daktilitas kolom beton bertulang yang terkekang maupun tidak terkekang dapat menggunakan hubungan tegangan regangan beton. Perhitungan ini dilakukan pada penampang kolom tak terkekang sebagai penampang dasar untuk melihat tingkat daktilitas akibat variasi tegangan dan regangan dengan metode Kent dan Park, Popovics, Thorenfeldt dan Hognestad. Berdasarkan uraian diatas, maka dilakukanlah penelitian dengan judul “**Studi Pengaruh Variasi Perhitungan Tegangan dan Regangan Kolom Beton Bertulang Terhadap Daktilitas Penampang Tak Terkekang**”.

TINJAUAN PUSTAKA

Kolom Beton Bertulang

Kolom beton bertulang merupakan elemen struktur vertikal yang terbuat dari beton dan baja tulangan yang tahan terhadap gaya tekan dan gaya tarik. Kolom beton bertulang berfungsi untuk menyalurkan beban aksial tekan, dengan atau tanpa adanya momen, dari struktur di atasnya hingga ke tanah melalui pondasi (Muin, 2011). Kolom beton bertulang juga dapat mengalami ragam kegagalan material yang dijelaskan sebagai berikut :

a. Keruntuhan tarik (*under-reinforced*)

Keruntuhan tarik terjadi pada saat regangan tulangan tarik melebihi batas leleh ($\epsilon_s > \epsilon_y$) sehingga kekuatan penampang kolom ditentukan oleh kuat leleh tulangan tarik.

b. Keruntuhan berimbang (*balanced*)

Pada kondisi ini, tulangan tarik mencapai leleh ($\epsilon_s = \epsilon_y$) bersamaan dengan regangan beton tekan mencapai batas retak atau batas ultimit ($\epsilon_c' = \epsilon_{cu}' = 0,003$).

c. Keruntuhan tekan (*over-reinforced*)

Keruntuhan tekan terjadi apabila regangan tekan beton telah mencapai batas ultimit ($\epsilon_{cu}' = 0,003$), tulangan tekan telah mencapai leleh tetapi tulangan tarik belum leleh.

Metode Perhitungan Tegangan dan Regangan Kent dan Park

Model persamaan Kent dan Park (Park dan Paulay, 1975) untuk beton tidak terkekang dijelaskan sebagai berikut :

$$f_c = f'_c \left[\frac{2\epsilon_c}{\epsilon_{co}} - \left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon_{co}} \right)^2 \right] \tag{1}$$

Dimana :

- f_c = tegangan beton (psi)
- f'_c = kuat tekan beton (psi)
- ϵ_c = regangan beton
- ϵ_{co} = regangan batas = 0,002

Setelah cabang puncak diasumsikan sebagai garis lurus yang kemiringannya digambarkan terutama sebagai fungsi kekuatan beton

$$f_c = f'_c [1 - Z(\epsilon_c - \epsilon_{co})] \tag{2}$$

$$Z = \frac{0.5}{\epsilon_{50u} - \epsilon_{co}} \tag{3}$$

$$\epsilon_{50u} = \frac{3 + 0.002 f'_c}{f'_c - 1000} \tag{4}$$

Dimana :

Z : kemiringan kurva

ϵ_{50u} : persamaan hubungan tegangan regangan untuk 50% kekuatanbeton maksimum untuk beton tak terkekang
 $f'c$: kuat tekan beton dalam satuan *psi*.

Metode Perhitungan Tegangan dan Regangan Popovics

Abisetyo (2010) dalam penelitian berjudul *Studi Pengaruh Pengekangan Pada Balok Beton Bertulangan Rangkap dengan Unified Theory* oleh Abisetyo (2010) menjelaskan mengenai persamaan tegangan-regangan metode Popovics (1973) pada beton tak terkekang sebagai berikut:

$$\frac{f_c}{f'c} = \frac{n \left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon_{co}} \right)}{(n-1) + \left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon_{co}} \right)^n} \tag{5}$$

$$\epsilon_{co} = 0,0005 (f'_c)^{0,4} \tag{6}$$

$$n = 0,8 + \frac{f'c}{17} \tag{7}$$

Dimana :

f_c = tegangan beton (MPa)

f'_c = kuat tekan beton (MPa)

ϵ_c = regangan beton

ϵ_{co} = regangan puncak

n = fungsi yang mendekati kuat tekan beton normal

Persamaan Popovics digunakan lebih banyak untuk beton normal (<55 MPa).

Metode Perhitungan Tegangan dan Regangan Thorenfeldt

Perumusan Thorenfeldt merupakan modifikasi dari usulan Popovics. Persamaannya adalah sebagai berikut (Abisetyo,2010):

$$n = 0,8 + \frac{f'c}{17} \tag{8}$$

$$E_c = 3.320 \sqrt{f'c} + 6.900 \tag{9}$$

$$\epsilon_{co} = \frac{f'c}{E_c} \left(\frac{n}{n-1} \right) \tag{10}$$

$$f_c = f'c \left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon_{co}} \right) \left[\frac{n}{n-1 + \left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon_{co}} \right)^{nk}} \right] \tag{11}$$

Nilai k bisa dibedakan

Untuk $\frac{\epsilon_c}{\epsilon_{co}} \leq 1$, $k = 1$

Untuk $\frac{\epsilon_c}{\epsilon_{co}} > 1$, $k = 0,67 + \frac{f'c}{62}$ (12)

Dimana :

f_c = tegangan beton (MPa)

f'_c = kuat tekan beton (MPa)

E_c = Modulus elastisitas beton (MPa)

ϵ_c = regangan beton

ϵ_{co} = regangan puncak

n = fungsi yang mendekati kuat tekan beton normal

Metode Perhitungan Tegangan dan Regangan Hognestad

Model Hognestad (Sudarsana, 2010) ini terdiri atas dua bagian kurva yaitu *ascending branch* dan *descending branch* dengan persamaan sebagai berikut :

- *Ascending branch*

$$f_c = f'_c \left[\frac{2\varepsilon_c}{\varepsilon_{co}} - \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{co}} \right)^2 \right] \tag{13}$$

- *Descending branch*

$$f_c = f'_c [1 - 100(\varepsilon_c - \varepsilon_{co})] \tag{14}$$

Dimana :

- f'_c = tegangan beton (MPa)
- f_c = kuat tekan beton (MPa)
- ε_c = regangan beton
- ε_{co} = regangan puncak

Daktilitas kelengkungan (*curvature ductility*, μ_ϕ)

Daktilitas kelengkungan merupakan perbandingan sudut lengkungan (*angle of curvature*) maksimum dengan sudut kelengkungan leleh elemen struktur akibat momen lentur (Nur, 2009).

$$\mu_\phi = \frac{\phi_{u,max}}{\phi_y} \tag{15}$$

Response 2000

Response 2000 adalah program analisis yang dapat digunakan untuk memprediksi lengkap respon beban-deformasi dari penampang beton bertulang atau pratekan yang dikenai gaya geser, momen, dan beban aksial (Bentz, dkk. 2001)

Response 2000 mudah digunakan untuk analisis penampang yang akan menghitung kekuatan dan daktilitas dari penampang beton yang mengalami geser, momen, dan beban aksial. Metode perhitungan yang digunakan dalam program ini adalah metode Popovics dan Thorenfeldt. Program ini dikembangkan di University of Toronto oleh Evan Bentz dan diawasi oleh Profesor Michael P. Collins.

Uji t

Salah satu cara analisa dalam statistika adalah uji t. Uji t digunakan untuk menguji apakah rata-rata suatu populasi sama dengan suatu harga tertentu atau apakah rata-rata dua populasi sama/berbeda secara signifikan (Sudjana, 1984). Persamaan untuk uji t adalah sebagai berikut :

$$t = \frac{\bar{x} - \bar{y}}{S_{\bar{x} - \bar{y}}} \tag{16}$$

$$S_{\bar{x} - \bar{y}} = \sqrt{\frac{(\Sigma x^2 + \Sigma y^2) \left(\frac{1}{n_x} + \frac{1}{n_y} \right)}{(n_x + n_y - 2)}} \tag{17}$$

Dimana :

- n_x = jumlah sampel x
- n_y = jumlah sampel y
- Σx^2 = jumlah nilai x yang telah dikuadratkan
- Σy^2 = jumlah nilai y yang telah dikuadratkan
- $S_{\bar{x} - \bar{y}}$ = standar deviasi

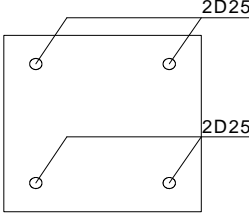
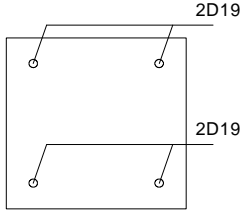
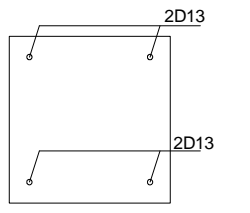
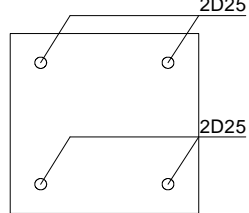
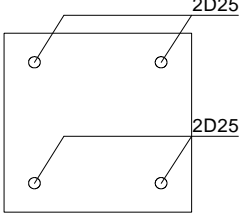
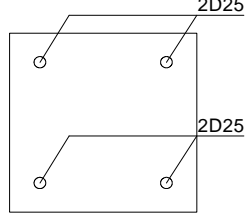
METODE PENELITIAN

Adapun langkah-langkah penelitian yang dilakukan adalah:

1. Melakukan studi literatur untuk mengumpulkan teori-teori yang akan digunakan dalam penelitian.
2. Menentukan dimensi kolom, variasi mutu beton, variasi mutu tulangan dan letak atau konfigurasi tulangan longitudinal.

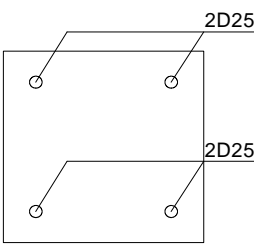
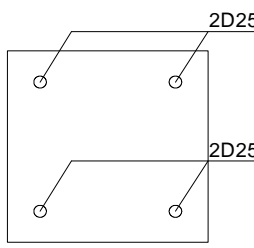
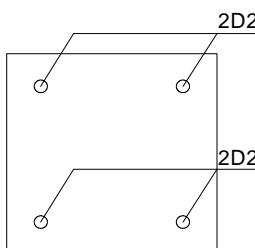
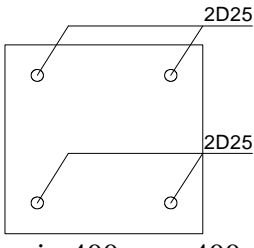
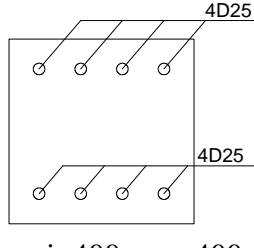
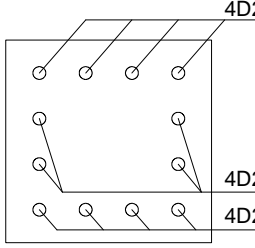
3. Perhitungan tegangan dan regangan penampang berdasarkan metode dari beberapa ahli seperti Kent and Park, Popovics, Thorenfeldt dan Hognestad dengan bantuan *Ms. Excel 2013*.
4. Input data penampang seperti dimensi penampang, diameter tulangan, mutu beton, mutu tulangan dan letak atau konfigurasi tulangan longitudinal yang digunakan untuk menghitung momen dan kurvatur baik secara manual menggunakan *Ms.Excel 2013* maupun menggunakan program *Response 2000*.
5. Perhitungan momen dan kurvatur secara manual menggunakan *Ms.Excel 2013* dan menggunakan program *Response 2000*.
6. Hasil perhitungan momen dan kurvatur ditampilkan dalam bentuk diagram momen kurvatur untuk menghitung nilai daktilitas.
7. Membandingkan nilai daktilitas akibat variasi nilai tegangan dan regangan yang telah dihitung dari masing-masing metode. Nilai daktilitas hasil perhitungan secara manual dibandingkan lagi dengan program *Response 2000* namun hanya 2 metode yaitu Popovics dan Thorenfeldt saja yang digunakan sebagai pembanding.
8. Validasi nilai daktilitas antara perhitungan secara manual (metode Popovics dan Thorenfeldt) dengan program *Response 2000*.

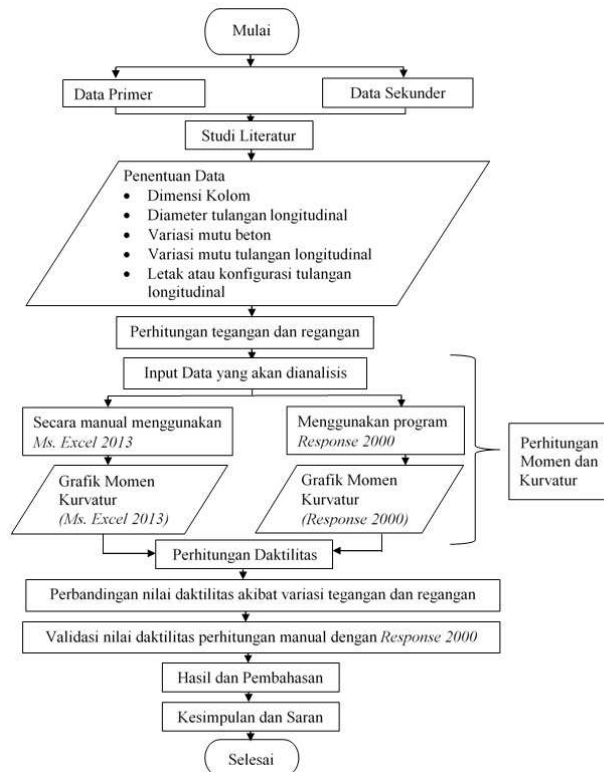
Tabel 1 Pemodelan Sampel Penelitian Penampang Kolom Beton Bertulang

Luas Tulangan Longitudinal		
UC1-01	UC1-02	UC1-03
		
Dimensi : 400 mmx400 mm $f_y = 420 \text{ MPa}$ $f_c' = 30 \text{ MPa}$	Dimensi : 400 mmx400 mm $f_y = 420 \text{ MPa}$ $f_c' = 30 \text{ MPa}$	Dimensi : 400 mmx400 mm $f_y = 420 \text{ MPa}$ $f_c' = 30 \text{ MPa}$
Mutu Beton (f_c')		
UC1-04	UC1-01	UC1-05
		
Dimensi : 400 mmx400 mm $f_y = 420 \text{ MPa}$ $f_c' = 20 \text{ MPa}$	Dimensi : 400 mmx400 mm $f_y = 420 \text{ MPa}$ $f_c' = 30 \text{ MPa}$	Dimensi : 400 mmx400 mm $f_y = 420 \text{ MPa}$ $f_c' = 40 \text{ MPa}$

Tabel 1 Pemodelan Sampel Penelitian Penampang Kolom Beton Bertulang (Lanjutan)

Mutu Tulangan Longitudinal (f_y)		
UC1-06	UC1-07	UC1-01

Mutu Tulangan Longitudinal (f_y)		
UC1-06	UC1-07	UC1-01
 <p>Dimensi : 400 mmx400 mm $f_y = 240$ MPa $f_c' = 30$ MPa</p>	 <p>Dimensi : 400 mmx400 mm $f_y = 400$ MPa $f_c' = 30$ MPa</p>	 <p>Dimensi : 400 mmx400 mm $f_y = 420$ MPa $f_c' = 30$ MPa</p>
Letak atau Konfigurasi Tulangan Longitudinal		
UC1-01	UC2-01	UC3-01
 <p>Dimensi : 400 mmx400 mm $f_y = 420$ MPa $f_c' = 30$ MPa</p>	 <p>Dimensi : 400 mmx400 mm $f_y = 420$ MPa $f_c' = 30$ MPa</p>	 <p>Dimensi : 400 mmx400 mm $f_y = 420$ MPa $f_c' = 30$ MPa</p>



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Diagram Alir

Diagram alir penelitian dari awal sampai selesai adalah sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 1.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Daktilitas Berdasarkan Metode Perhitungan Tegangan dan Regangan Secara Manual Menggunakan Ms.Excel 2013 dan Menggunakan Program Response 2000

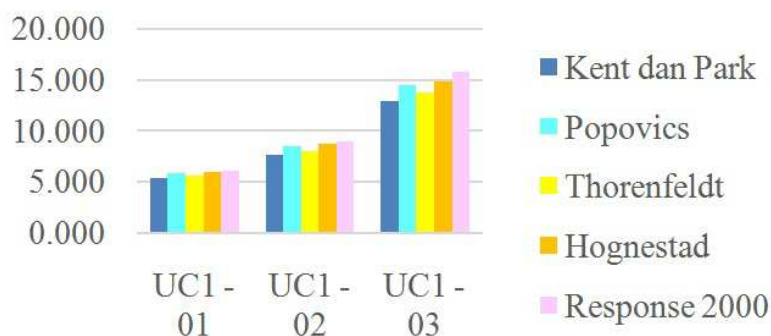
Hasil perhitungan daktilitas secara manual menggunakan Ms. Excel 2013 dan menggunakan program Response 2000 ditampilkan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Hasil perhitungan daktilitas secara manual menggunakan Ms. Excel 2013 dan menggunakan program Response 2000.

No	Parameter	Penampang	Perhitungan manual				Response 2000
			Kent dan Park	Popovics	Thorenfeldt	Hognestad	
1.	Luas Tulangan Longitudinal	UC1-01	5,330	5,906	5,640	6,040	6,116
		UC1-02	7,626	8,471	8,076	8,690	8,954
		UC1-03	12,978	14,472	13,773	14,864	15,863
2.	Mutu Beton (f _c ')	UC1-04	4,667	4,914	4,974	4,868	5,055
		UC1-01	5,330	5,906	5,640	6,040	6,116
		UC1-05	5,360	6,513	5,873	6,736	6,728
3.	Mutu Tulangan Longitudinal (f _y)	UC1-06	11,306	12,194	11,744	12,510	11,956
		UC1-07	5,720	6,626	6,040	6,465	6,727
		UC1-01	5,330	5,906	5,640	6,040	6,116
4.	Letak atau Konfigurasi Tulangan Longitudinal	UC1-0	5,330	5,906	5,640	6,040	6,116
		UC2-01	3,658	4,036	3,868	4,103	4,177
		UC3-01	2,297	2,539	2,434	2,576	3,138

Hasil perhitungan pada Tabel 2 kemudian ditampilkan dalam bentuk grafik untuk melihat perbedaan nilai daktilitas dari masing-masing parameter yang dihitung secara manual menggunakan Ms. Excel 2013 maupun dengan program Response 2000.

1. Variasi Luas Tulangan Longitudinal

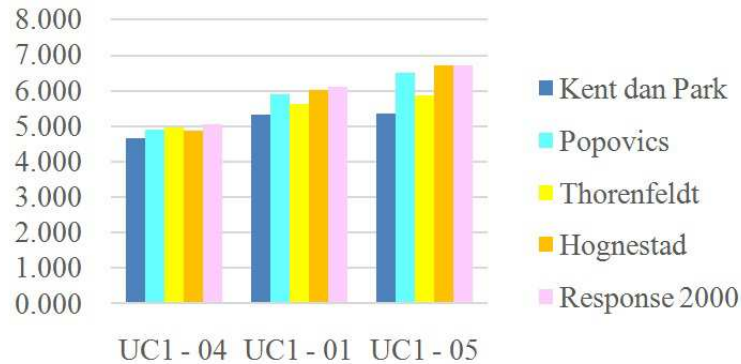


Gambar 2. Grafik Perbedaan Hasil Perhitungan Daktilitas Secara Manual Menggunakan Ms. Excel 2013 dengan Response 2000 Akibat Variasi Luas Tulangan Longitudinal

Gambar 2 menunjukkan bahwa perhitungan daktilitas secara manual menggunakan Ms.Excel 2013 berdasarkan keempat metode tegangan-regangan akibat variasi luas tulangan

longitudinal maupun menggunakan program *Response 2000* mengalami perbedaan nilai namun memiliki pola yang sama yaitu nilai daktilitas cenderung menurun jika luas tulangan longitudinal meningkat. Hal ini disebabkan oleh sifat getas penampang yang meningkat jika diameter tulangan longitudinal meningkat.

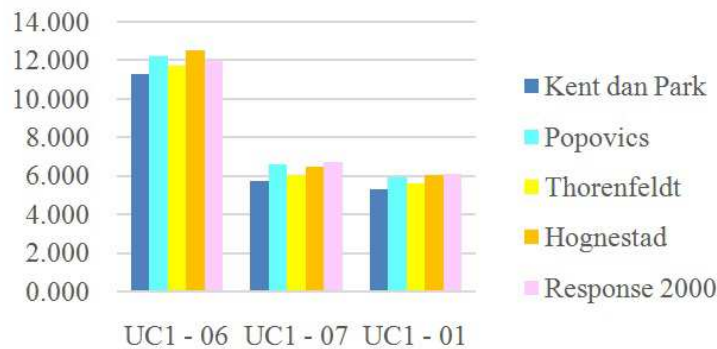
2. Variasi Mutu Beton (f_c')



Gambar 3. Grafik Perbedaan Hasil Perhitungan Daktilitas Secara Manual Menggunakan *Ms. Excel 2013* dengan *Response 2000* Akibat Variasi Mutu Beton (f_c')

Gambar 3 menunjukkan bahwa daktilitas yang dihitung secara manual maupun menggunakan program *Response 2000* memiliki hasil yang berbeda namun memiliki pola yang sama yaitu meningkat apabila mutu beton (f_c') meningkat.

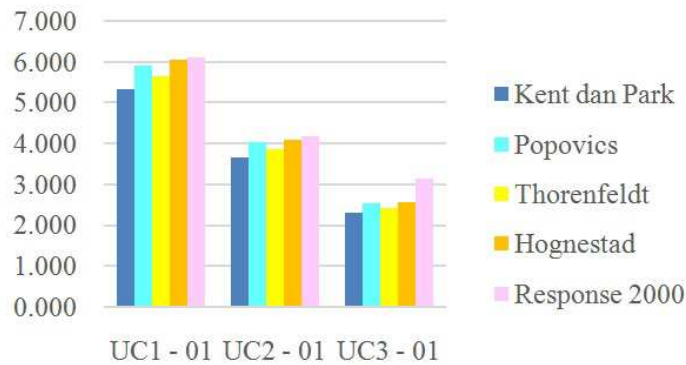
3. Variasi Mutu Tulangan Longitudinal (f_y)



Gambar 4. Grafik Perbedaan Hasil Perhitungan Daktilitas Secara Manual Menggunakan *Ms. Excel 2013* dengan *Response 2000* Akibat Variasi Mutu Tulangan Longitudinal (f_y)

Gambar 4 menunjukkan bahwa perhitungan daktilitas secara manual menggunakan *Ms. Excel 2013* berdasarkan keempat metode tegangan-regangan akibat variasi mutu tulangan longitudinal maupun menggunakan program *Response 2000* mengalami perbedaan nilai namun memiliki pola yang sama yaitu nilai daktilitas cenderung menurun apabila mutu tulangan longitudinal (f_y) meningkat.

4. Letak atau Konfigurasi Tulangan Longitudinal



Gambar 5. Grafik Perbedaan Hasil Perhitungan Daktilitas Secara Manual Menggunakan *Ms. Excel 2013* dengan *Response 2000* Akibat Variasi Letak atau Konfigurasi Tulangan Longitudinal

Gambar 5 menunjukkan bahwa daktilitas akibat variasi letak atau konfigurasi tulangan longitudinal yang dihitung secara manual menggunakan *Ms. Excel 2013* berdasarkan keempat metode tegangan-regangan maupun program *Response 2000* memiliki perbedaan namun memiliki pola yang sama yaitu sampel UC1-03 memiliki nilai daktilitas paling kecil. Hal ini disebabkan oleh jumlah tulangan yang banyak dan pemodelan tulangan longitudinal yang banyak juga sehingga sifat getas penampang meningkat yang mengakibatkan nilai daktilitas menurun. Perbedaan hasil perhitungan daktilitas secara manual dan menggunakan program *Response 2000* dianalisa menggunakan uji t menunjukkan perbedaan yang tidak signifikan antara perhitungan secara manual yang dibandingkan menggunakan program *Response 2000*.

Analisis Uji t

Analisis uji t dilakukan untuk mengetahui perbedaan hasil perhitungan daktilitas secara manual menggunakan *Ms. Excel 2013* dan menggunakan program *Response 2000* signifikan atau tidak signifikan. Contoh analisis uji t dilakukan pada sampel UC1-01 variasi luas tulangan longitudinal metode Kent dan Park sebagai berikut :

H_0 = Tidak ada perbedaan signifikan hasil perhitungan daktilitas secara manual akibat variasi tegangan regangan metode Kent dan Park dengan program *Response 2000*.

H_1 = Terdapat perbedaan signifikan hasil perhitungan daktilitas secara manual akibat variasi tegangan regangan metode Kent dan Park dengan program *Response 2000*.

$n_x = 3$

$n_y = 3$

$df = 3 + 3 - 2 = 4$

$\alpha = 0,05/2 = 0,025$

Dari Tabel 4.21 ditentukan x adalah nilai daktilitas sampel UC1-01 yang dihitung secara manual dengan metode Kent dan Park sedangkan y adalah nilai daktilitas yang dihitung dengan program *Response 2000*.

\bar{x} = nilai rata-rata x = 8,645

\bar{y} = nilai rata-rata y = 9,781

$\Sigma x^2 = 255,006$

$\Sigma y^2 = 322,916$

$$S_{\bar{x}-\bar{y}} = \sqrt{\frac{(255,006+322,916)\left(\frac{1}{3}+\frac{1}{3}\right)}{(3+3-2)}} = 9,814$$

$$t = \frac{8,645-9,781}{9,814} = -0,116$$

Dari Tabel distribusi t didapat nilai $t_{tabel} = 2,776445$, terlihat bahwa nilai $t_{hitung} < t_{tabel}$ sehingga H_0 diterima yang artinya tidak ada perbedaan signifikan hasil perhitungan daktilitas secara manual akibat variasi luas tulangan longitudinal metode Kent dan Park dengan program *Response 2000*. Hasil uji t untuk metode lainnya yang dihitung secara manual dan dibandingkan dengan program *Response 2000* ditampilkan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Uji t Perhitungan Daktilitas Secara Manual Menggunakan *Ms.Excel 2013* yang Dibandingkan dengan Program *Response 2000*

Parameter	Metode	t_{hitung}
Luas Tulangan Longitudinal	Kent dan Park	-0,116
	Popovics	-0,016
	Thorenfeldt	-0,061
	Hognestad	0,008
Mutu Beton (f_c')	Kent dan Park	-0,152
	Popovics	-0,032
	Thorenfeldt	-0,082
	Hognestad	-0,014
Mutu Tulangan Longitudinal (f_y)	Kent dan Park	-0,098
	Popovics	-0,003
	Thorenfeldt	-0,054
	Hognestad	0,008
Letak atau Konfigurasi Tulangan Longitudinal	Kent dan Park	-0,125
	Popovics	-0,030
	Thorenfeldt	-0,072
	Hognestad	-0,012

Tabel 3 menunjukkan nilai t_{hitung} dari keempat metode lebih kecil dari nilai $t_{tabel} = 2,776445$ yang artinya tidak ada perbedaan signifikan hasil perhitungan daktilitas secara manual akibat variasi mutu beton (f_c') dengan program *Response 2000*.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan yang dilakukan pada penelitian ini dapat disimpulkan bahwa:

1. Pengaruh variasi tegangan dan regangan berdasarkan 4 metode yang digunakan menghasilkan nilai daktilitas yang berbeda karena persamaan yang digunakan untuk mendapatkan nilai tegangan yang juga berbeda. Berdasarkan hasil analisa uji t nilai daktilitas antara perhitungan secara manual menggunakan *Ms.Excel 2013* dengan program *Response 2000* menunjukkan bahwa terdapat perbedaan nilai daktilitas namun tidak signifikan sehingga program *Response 2000* dapat digunakan sebagai program bantu untuk analisis daktilitas.
2. Berdasarkan parameter-parameter yang dianalisa dapat disimpulkan:
 - a. Nilai daktilitas berbanding terbalik dengan parameter luas tulangan longitudinal. Semakin besar luas tulangan longitudinal maka nilai daktilitas semakin menurun.
 - b. Untuk parameter variasi mutu beton daktilitas berbanding lurus dengan nilai daktilitas. Semakin besar mutu beton maka nilai daktilitas juga meningkat.
 - c. Peningkatan mutu tulangan longitudinal juga berbanding terbalik dengan nilai daktilitas.

Semakin besar mutu tulangan, maka semakin kecil nilai daktilitas.

- d. Letak atau konfigurasi tulangan longitudinal yang berbeda menyebabkan nilai daktilitas yang dihasilkan juga berbeda. Nilai daktilitas UC3-01 paling kecil dibandingkan nilai UC1-01 dan UC2-01.

SARAN

Berdasarkan hasil perhitungan yang dilakukan pada penelitian ini, penulis dapat memberikan saran sebagai berikut:

1. Analisis yang telah dilakukan dalam tugas akhir terbatas untuk mengetahui daktilitas kolom beton bertulang yang tak terkekang. Analisis dapat dilanjutkan untuk mengetahui daktilitas kolom beton bertulang terkekang.
2. Perlu dipelajari program bantu yang lain untuk mengetahui perbedaan hasil analisis.

DAFTAR PUSTAKA

- Abisetyo, Windunoto. 2010. *Studi Pengaruh Pengekangan Pada Balok Beton Bertulangan Rangkap Dengan Unified Theory*. Surabaya: Institut Teknologi Surabaya
- Bentz dkk. 2001. *Response 2000-User Manual*. Toronto: University of Toronto.
- Muin, 2011. Jenis-Jenis Kolom Beton Bertulang.
<http://www.ilmusipil.com/jenis-jenis-kolom-beton-bertulang>.
- Nur ,Oscar Fitrah. 2009. *Analisa Pengaruh Penambahan Tulangan Tekan Terhadap Daktilitas Kurvatur Balok Beton Bertulang*. Padang: Universitas Andalas.
- Park, R., dan T. Paulay. 1975. *Reinforced Concrete Structures*. Canada: John Wiley & Sons Inc.
- Sudarsana, I.K. 2010. *Analisis Pengaruh Konfigurasi Tulangan Terhadap Kekuatan dan Daktilitas Kolom Beton Bertulang*. Denpasar : Universitas Udayana.
- Sudjana, 1984; *Metoda Statistika*. Bandung: Tarsito

