

STUDI BANDING TEGANGAN AKTUAL DENGAN TEGANGAN EKUIVALEN PADA STRUKTUR BETON

Suhendar, Nurul Chayati

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, UIKA Bogor

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan membandingkan tegangan aktual dan tegangan ekuivalen pada perhitungan besaran kapasitas balok dengan program MATLAB. Dan dari hasil penelitian diperoleh nilai persentase perbandingan yang cukup kecil antara 0,65 % sampai dengan 1,27 % untuk mutu baja 240 MPa sedangkan mutu baja 400 MPa sebesar 1,03% sampai dengan 2,16 %. Sehingga tegangan ekuivalen layak digunakan sebagai pendekatan tegangan aktual karena hasil persentase kapasitas balok yang didapat tidak terlalu jauh.

Kata-kata kunci : Tegangan Aktual, Tegangan Ekuivalen, Kapasitas Balok.

ABSTRACT

This study aims to compare the actual voltage and the voltage equivalent to the calculation of the amount of capacity of the beam with the program MATLAB. And from the research results obtained values are quite small percentage of the comparison between 0.65% to 1.27% for steel quality 240 MPa 400 MPa while the quality of steel by 1.03% to 2.16%. So that the equivalent voltage is used as a viable approach to the actual voltage because the percentage of the capacity of the beam is obtained is not too far away.

Key words: Voltage Current, Voltage Equivalent, Capacity of Beams.

1. PENDAHULUAN

1.2 Latar Belakang Penelitian

Peraturan masih membuka peluang untuk menggunakan distribusi tegangan beton yang tidak hanya berbentuk persegi saja. Meskipun sebenarnya bentuk persegi merupakan satu-satunya bentuk distribusi yang diusulkan oleh peraturan dan diberikan petunjuk yang lengkap mengenai spesifikasinya, yaitu seperti yang terdapat pada SNI 03-2847-2002 pasal 12.2.7 atau ACI 318-99 pasal 10.2.7. Selain ada bukti-bukti yang mendukung bahwa bentuk persegi mempunyai kesesuaian secara statistik dengan hasil eksperimen yang didapatkan parameter β_1 dan $0.85f_c'$ dari kuat tekan silinder. Akan tetapi sebenarnya yang menyebabkan sangat populer adalah kesederhanaannya, sehingga perhitungan manual dapat mudah dipahami dan dilakukan karena pada riset *Whitney* (1937) belum adanya komputer. Sedangkan untuk bentuk distribusi parabola tidak sesuai bila dipakai dalam perhitungan manual, jika dipaksakan maka ketelitiannya tidak lebih baik jika dibandingkan dengan model beton persegi.

1.2 Tujuan Penelitian

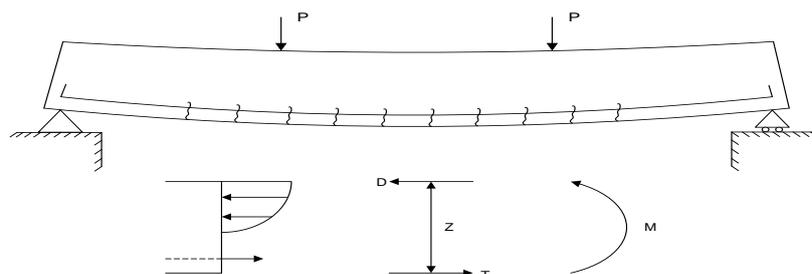
Adapun tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini, adalah untuk membandingkan tegangan ekuivalen dan tegangan aktual pada perhitungan besaran kapasitas balok.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Struktur Beton Bertulang

Beton bertulang merupakan, beton yang ditulangi dengan luas dan jumlah tulangan yang tidak kurang dari nilai minimum ($\rho_{min} > 1,4/f_y$), yang disyaratkan dengan atau tanpa prategang, dan direncanakan berdasarkan asumsi bahwa kedua material bekerja bersama-sama dalam menahan gaya yang bekerja (SKSNI 2002).

Pada struktur beton bertulang, tegangan tekan diterima oleh beton dan tegangan tarik diterima oleh tulangan. Dalam gambar 2.1 dibawah ini terlihat balok yang dibebani oleh dua buah beban terpusat P yang menghasilkan momen lentur M pada suatu penampang. Momen M ini diimbangi oleh gaya tekan dalam (D) dan gaya tarik dalam (T) dengan lengan Z .



Gambar1 Balok yang Dibebani oleh 2 Buah Beban Terpusat P yang Menghasilkan Momen Lentur M pada suatu Penampang
Sumber: Sebelas Maret University Press (Ir. Mukahar, MSCE)

Dan pada daerah tarik terlihat adanya retak-retak, biarpun sudah dipasang tulangan, maka disini perlu diperhatikan kontrol lendutan dan lebar retak yang terjadi (Mukahar 1992).

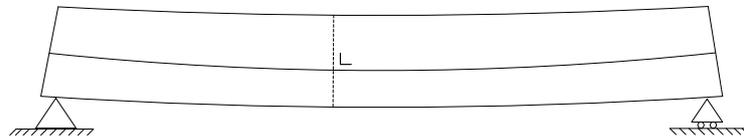
2.2 Analisis Kapasitas Penampang dengan Kekuatan Batas

Struktur beton merupakan struktur yang direncanakan untuk kuat menerima beban yang besar atau kecil, untuk mempunyai daktilitas yang besar setelah retak atau runtuh mendadak. Karena itu perlu dibahas perilakunya tegangan regangan pada suatu penampang dengan keadaan batas (Mukahar 1992).

Maksud dari analisis pada beban batas ultimit atau maksimum, adalah untuk menentukan

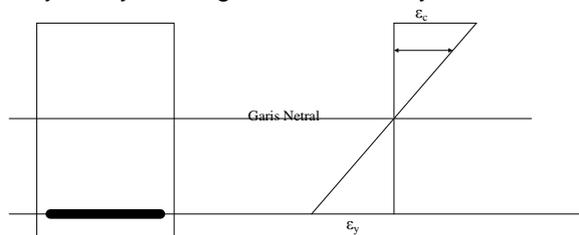
momen ketahanan nominal pada suatu penampang dengan asumsi bahwa dimensi penampang, sifat beban, dan jumlah penulangan sudah diketahui. Dengan asumsi yang disederhanakan, akan didapat evaluasi yang cukup teliti. Asumsi yang sudah diterima dalam metode kekuatan batas adalah sebagai berikut (Gunawan dan Margaret 1993):

1) Prinsip *Bernoulli*, menurut prinsip ini regangan yang terjadi pada suatu penampang terdistribusi secara linier, yaitu penampang yang datar sebelum mengalami lentur akan tetap datar dan tegak lurus terhadap sumbu netral setelah mengalami lentur, hal ini dapat dilihat pada gambar 2:



Gambar 2 Penampang secara linier
Sumber: *Konstruksi Beton I Jilid 1*

2) Prinsip *Navier*, menurut prinsip ini regangan yang terjadi pada suatu penampang berbanding lurus terhadap jaraknya dari garis netral artinya semakin



Gambar 3 Penampang Berbanding Lurus
2.3 Keruntuhan Tarik, Tekan, dan Setimbang (Balanced)

Keruntuhan akibat lentur yang terjadi pada balok ternyata tidak semuanya sama. Hal itu tergantung dari banyak atau sedikitnya jumlah tulangan tarik yang ditempatkan pada penampang balok. Keruntuhan lentur tersebut dapat terjadi dalam tiga cara yang berbeda, yaitu (Edward G.Nawy 1990)

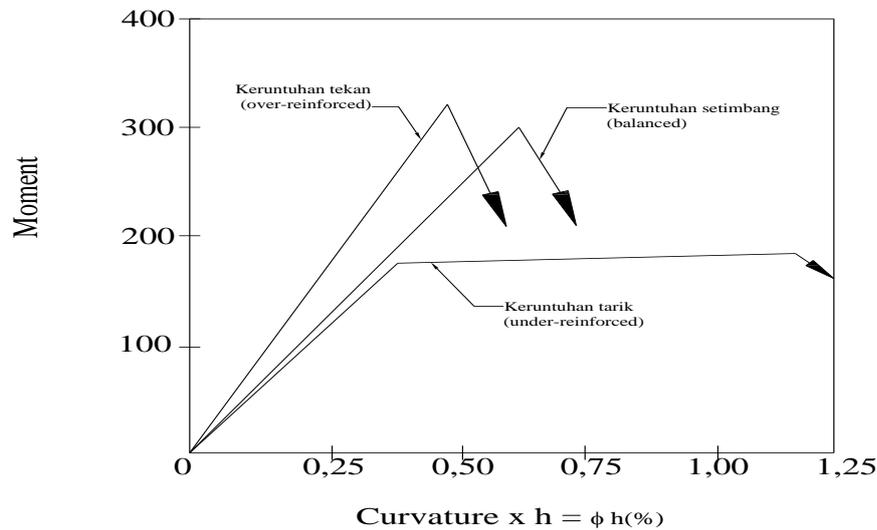
1) **Keruntuhan tarik**, terjadi bila jumlah tulangan baja relatif sedikit sehingga tulangan tersebut akan leleh terlebih dahulu sebelum betonnya pecah. Penampang seperti itu disebut penampang *under-reinforced*. Kondisi ini lebih disukai karena jika terjadi beban maksimum struktur beton akan mengalami goncangan terlebih dahulu baru setelah sekian lama

jauh dari garis netral akan semakin besar nilai regangan penampang tersebut, dapat dilihat pada gambar 3:

terhadap Garis Netral Sumber: *Konstruksi Beton I Jilid 1*

baru runtuh, hal ini terjadi karena tulangan baja bersifat liat dan ditandai dengan syarat rasio tulangan (ρ) lebih kecil dari rasio tulangan setimbang (ρ_b).

2) **Keruntuhan tekan**, karena jumlah tulangan baja relatif banyak maka keruntuhan dimulai dari beton sedangkan tulangan bajanya masih elastis. Penampang seperti itu disebut penampang *over-reinforced*. Kondisi ini tidak menguntungkan karena jika terjadi beban maksimum struktur beton akan runtuh secara fatal tanpa adanya peringatan terlebih dahulu dan ditandai dengan syarat rasio tulangan (ρ) lebih besar dari rasio tulangan setimbang (ρ_b).



Gambar 4 Perilaku Keruntuhan Balok

Sumber: Aplikasi Rekayasa Konstruksi Beton Bertulang (Fanella et al., 1999)

3) **Keruntuhan setimbang**, jika baja dan beton tepat mencapai kuat batasnya, yaitu baja $f_s = f_y$ dan betonnya $\epsilon_{cu} = 0,003$. jumlah tulangan yang menyebabkan keruntuhan balanced dapat dijadikan acuan untuk menentukan apakah tulangannya relatif sedikit atau tidak sehingga sifat keruntuhannya daktail atau sebaliknya. Kondisi ini sama dengan keruntuhan tekan yaitu tidak menguntungkan dan ditandai dengan syarat rasio tulangan (ρ) sama dengan rasio tulangan setimbang (ρ_b).

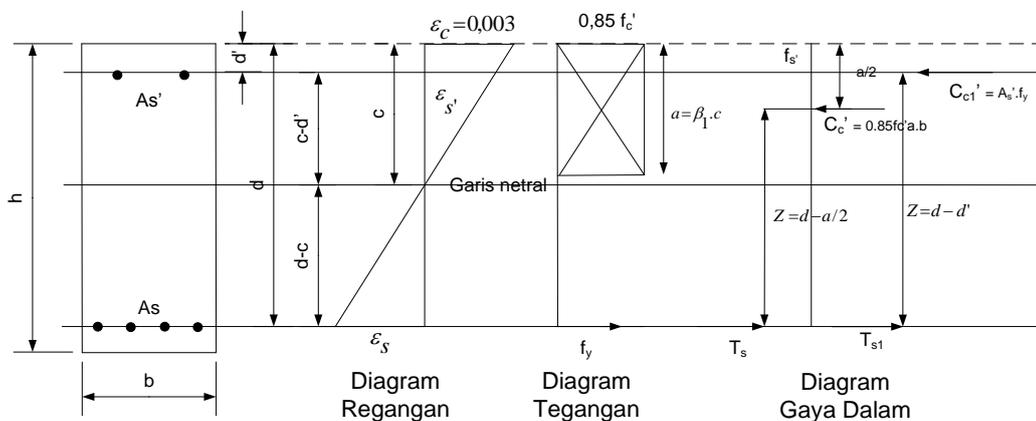
tunggal. Sampai pada beban lentur tertentu, penampang hanya memerlukan tulangan tarik saja. Tetapi pada beban lentur yang besar diperlukan tulangan tekan untuk memberikan tambahan momen dalam guna menahan momen akibat beban luar. Cara penulangan semacam ini dikenal dengan nama penulangan rangkap/ganda. (Eri Setia Romadhon 2003).

2.4 Desain dan Analisis Gelagar Tampang Balok Persegi

Penampang persegi merupakan bentuk yang paling sering dipakai dalam perencanaan balok. Suatu penampang balok yang menerima beban lentur maka didaerah tegangan tarik diperlukan baja tulangan untuk menahan tegangan tarik tersebut. Penulangan semacam ini disebut tulangan

2.5 Analisis Tampang Ekuivalen (Persegi) pada Balok Persegi

Untuk menganalisis tulangan ganda dengan menggunakan metode kuat ultimate pada balok penampang persegi, aspek yang sangat penting untuk diperhatikan adalah pemeriksaan tegangan tulangan tekan, dalam arti tulangan tekan telah leleh atau belum pada kekuatan nominal balok (belum leleh). Maka diagram tegangan-regangan suatu penampang akan diuraikan seperti terlihat pada gambar 2.15 sebagai berikut (Wiryanto Dewobroto 2003).

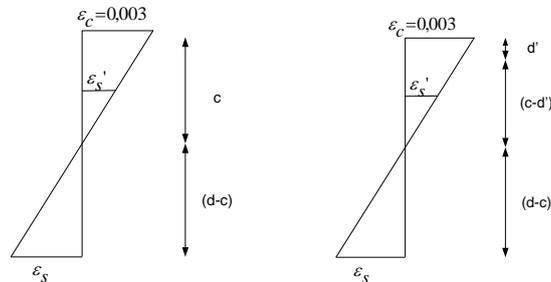


Gambar 5 Diagram Tegangan Regangan pada suatu Penampang (Metode Kekuatan Batas)
 Sumber: Aplikasi Rekayasa Konstruksi Beton Bertulang (Fanella et al., 1999)

2.6 Menentukan Tegangan Tekan Baja (fs') dan Tegangan Tarik Baja (fs)

Dalam diagram regangan perbandingan antara (c-d') dengan c sama dengan perbandingan antara regangan baja tekan leleh (εs') dengan regangan beton (εc'), sedangkan perbandingan (d-c) dengan c

sama dengan perbandingan antara regangan baja tarik leleh (εs) dengan regangan beton (εc). Dari kondisi ini dengan menyelesaikan persamaan matematis akan diperoleh besarnya rasio tulangan setimbang dan regangan baja tekan leleh (Eri Setia Romadhon 2003).



Gambar 6 Diagram Regangan Tulangan Setimbang dan Regangan Baja Tekan Leleh

Persamaan matematis untuk memperoleh besarnya rasio tulangan setimbang, yaitu:

$$\frac{d - c}{c} = \frac{\epsilon_s}{\epsilon_c} \dots\dots\dots(1)$$

Dengan mengalikan pembilang dan penyebut dari persamaan (2.28), maka diperoleh persamaan:

$$d \cdot \epsilon_c - c \cdot \epsilon_c = c \cdot \epsilon_s \dots\dots\dots(2)$$

$$d \cdot \epsilon_c = c (\epsilon_c + \epsilon_s)$$

$$\frac{\epsilon_c}{\epsilon_c + \epsilon_s} = \frac{c}{d}$$

$$\frac{c}{d} = \frac{\epsilon_c}{\epsilon_c + \epsilon_s} \dots\dots\dots(3)$$

Dengan memasukkan besaran εc = 0,003 dan εs = $\frac{fy}{Es}$ atau εs = $\frac{fy}{2.10^5}$, serta Es = 2.10⁵ Mpa,

maka persamaan (2.30) menjadi:

$$\frac{c}{d} = \frac{0,003}{0,003 + \frac{fy}{2.10^5}} \times \frac{2.10^5}{2.10^5} = \frac{600}{600 + fy} \text{ (fy dalam satuan Mpa)} \dots\dots\dots(4)$$

Dalam kondisi setimbang gaya dalam bagian tarik sama dengan gaya dalam bagian tekan atau bisa ditulis dengan persamaan, yaitu:

$$T = C \dots\dots\dots(5)$$

$$As \cdot fy = 0,85 \cdot fc' \cdot a \cdot b$$

$$pb \cdot b \cdot d \cdot fy = 0,85 \cdot fc' \cdot a \cdot b$$

$$pb = \frac{0,85 \cdot fc' \cdot a \cdot b}{b \cdot d \cdot fy}$$

$$pb = \left(\frac{0,85 \cdot fc'}{fy} \right) \left(\frac{a}{d} \right), \text{ karena } a = \beta_1 \cdot c$$

$$pb = \left(\frac{0,85 \cdot fc'}{fy} \right) \left(\frac{\beta_1 \cdot c}{d} \right), \text{ karena } \frac{c}{d} = \frac{600}{600 + fy} \text{ maka persamaan menjadi, } pb =$$

$$\left(\frac{0,85 \cdot fc' \cdot \beta_1}{fy} \right) \left(\frac{600}{600 + fy} \right) \dots\dots\dots(6)$$

Dan persamaan matematis untuk memperoleh besarnya regangan baja tekan leleh serta tarik leleh, yaitu:

$$\frac{c-d'}{c} = \frac{\varepsilon_s'}{\varepsilon_c'}, \text{ dan} \dots\dots\dots (7)$$

$$\frac{d-c}{c} = \frac{\varepsilon_s}{\varepsilon_c} \dots\dots\dots (8)$$

Dengan mengalikan pembilang dan penyebut pada persamaan (2.34 & 2.35), maka diperoleh:

$$\varepsilon_s' = \varepsilon_c' \left(\frac{c-d'}{c} \right), \text{ dan} \dots\dots\dots (9)$$

$$\varepsilon_s = \varepsilon_c \left(\frac{d-c}{c} \right) \dots\dots\dots (10)$$

Dengan memasukkan besaran $\varepsilon_c = 0,003$ regangan baja tekan persamaan (2.36 & 2.37) menjadi:

$$\varepsilon_s' = 0,003 \left(1 - \frac{d'}{c} \right), \text{ dan}$$

$$\varepsilon_s = 0,003 \left(\frac{d}{c} - 1 \right) \text{ atau}$$

Dengan memasukkan besaran $c = \frac{(\rho - \rho') \cdot d \cdot fy}{0,85 \cdot fc' \cdot \beta_1}$ maka regangan baja tekan menjadi:

$$\varepsilon_s' = 0,003 \left(1 - \frac{0,85 \cdot fc' \cdot d' \cdot \beta_1}{(\rho - \rho') \cdot d \cdot fy} \right), \text{ dan} \dots\dots\dots (11)$$

$$\varepsilon_s = 0,003 \left(\frac{0,85 \cdot fc' \cdot d \cdot \beta_1}{(\rho - \rho') \cdot d \cdot fy} - 1 \right) \dots\dots\dots (12)$$

Dengan memasukkan besaran $fs' = Es' \cdot \varepsilon_s'$, serta $fs = Es \cdot \varepsilon_s$ dan $Es = 2.10^5$ Mpa, maka besaran regangan tekan dan tarik baja sebesar:

$$fs' = 2.10^5 \cdot 0,003 \left(1 - \frac{0,85 \cdot fc' \cdot d' \cdot \beta_1}{(\rho - \rho') \cdot d \cdot fy} \right) \text{ atau menjadi:}$$

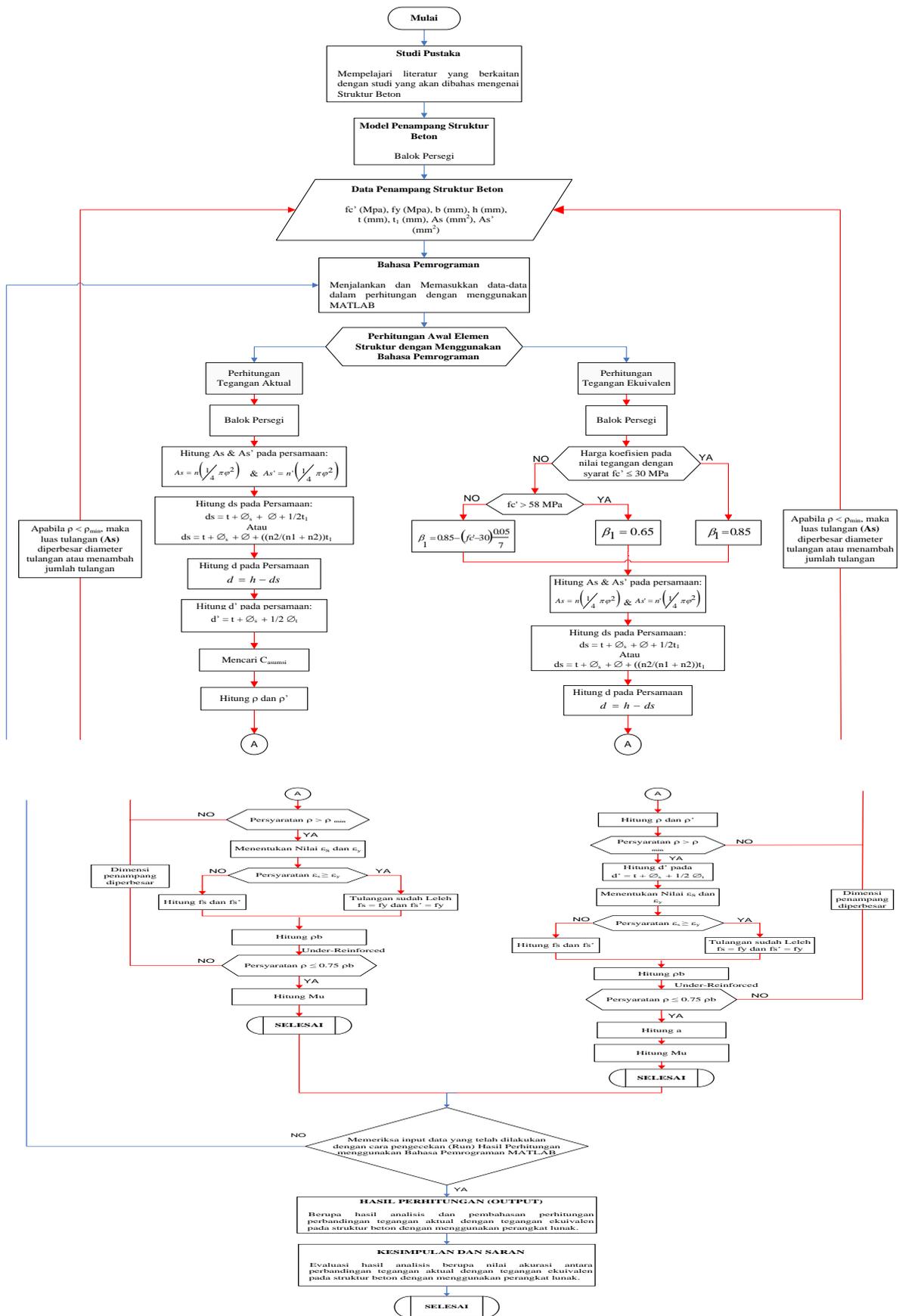
$$fs' = 600 \left(1 - \frac{0,85 \cdot fc' \cdot d' \cdot \beta_1}{(\rho - \rho') \cdot d \cdot fy} \right), \text{ dan} \dots\dots\dots (13)$$

$$fs = 2.10^5 \cdot 0,003 \left(\frac{0,85 \cdot fc' \cdot d \cdot \beta_1}{(\rho - \rho') \cdot d \cdot fy} - 1 \right) \text{ atau menjadi:}$$

$$fs = 600 \left(\frac{0,85 \cdot fc' \cdot d \cdot \beta_1}{(\rho - \rho') \cdot d \cdot fy} - 1 \right) \dots\dots\dots (14)$$

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir (Flow Chart) Penelitian

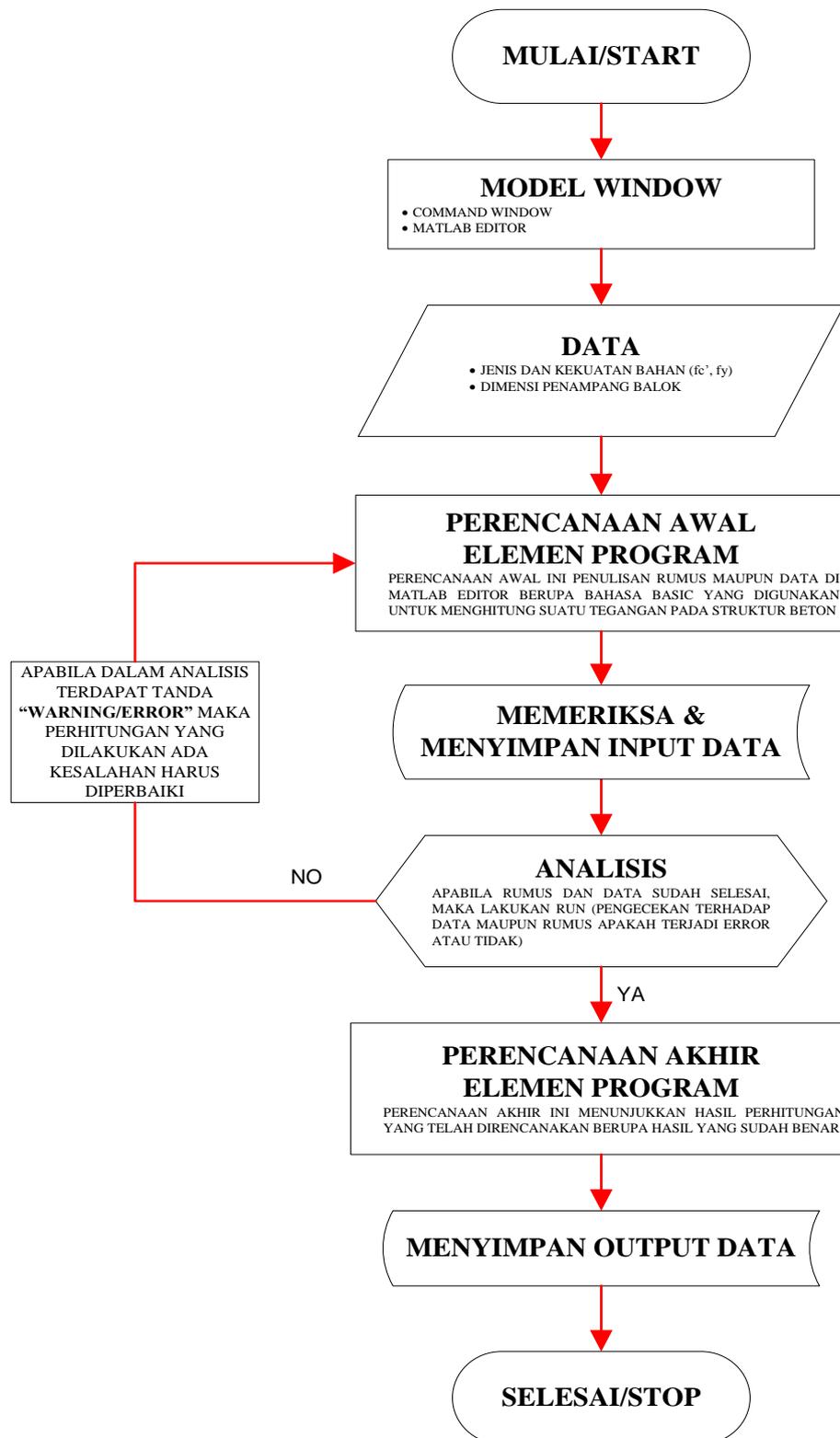


Gambar 7 Diagram Alir Penelitian Analisis dan Bahasa Pemrograman

3.2 Perencanaan Diagram Alir (*Flow Chat*) Program

Sebelum memulai membuat sebuah aplikasi dengan menggunakan bahasa pemrograman biasanya terlebih dahulu direncanakan :

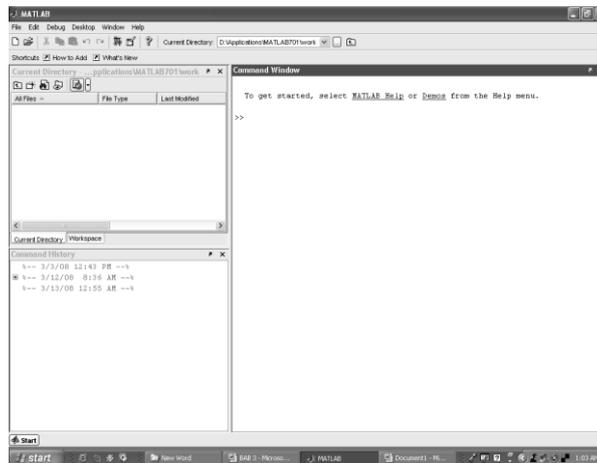
bentuk diagram alir (*flow chat*) dari program tersebut. Bentuk diagram alir (*flow chat*) program aplikasi ini dapat dilihat pada gambar 8, sebagai berikut.



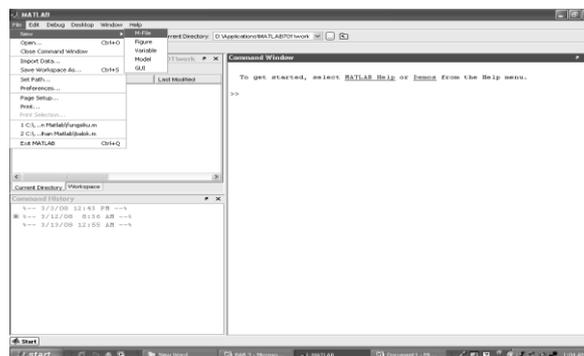
Gambar 8 Diagram Alir Bahasa Pemrograman MATLAB



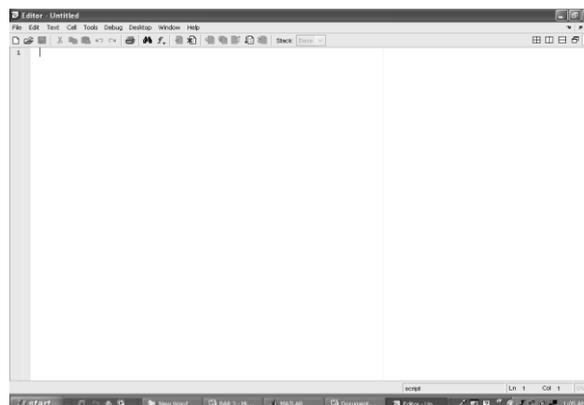
Gambar 9 Jendela Pembuka MATLAB



Gambar 10 Window Utama MATLAB



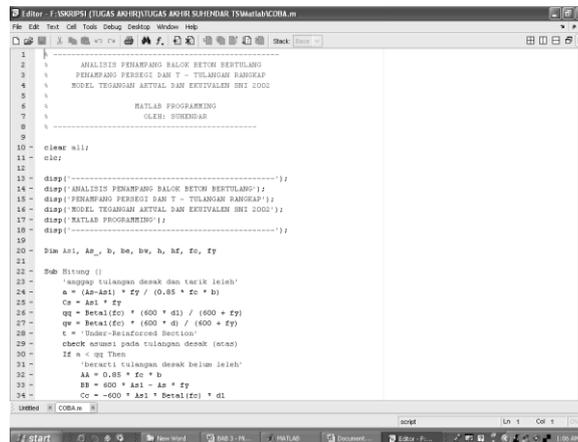
Gambar 11 Window MATLAB



Gambar 12 MATLAB Editor

1) Setelah membuka *M-File*, maka program siap digunakan untuk menulis suatu data dan rumus yang telah dibuat dengan

berbentuk *flow chart*. Seperti yang ditampilkan pada gambar 13 berikut:

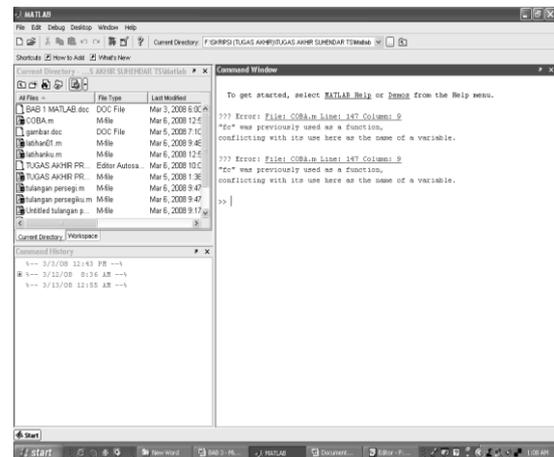
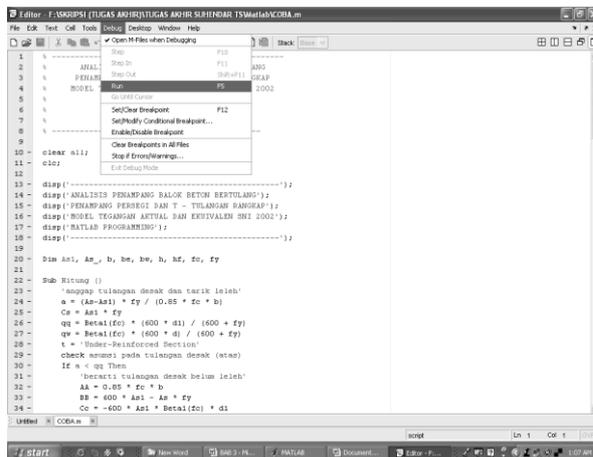


Gambar 13 Penulisan Rumus di MATLAB Editor

Pada saat memulai program, sebelumnya harus mengisikan data penampang balok beton kemudian rumus-rumus perhitungan setiap masing-masing tegangan untuk mencari tegangan tulangan baja pada saat leleh dengan tahapan perhitungan dapat dilihat pada gambar diatas. Setelah seluruhnya rumus sudah dicantumkan, maka secara otomatis MATLAB melakukan proses perhitungan terhadap data tersebut untuk memperoleh hasil yang diinginkan. Dan

langkah berikutnya dapat dilihat pada dibawah.

2) Apabila data dan rumus sudah dimasukkan ke dalam MATLAB Editor, maka lakukan pengecekan (*Run*) pada data dan rumus tersebut. Apakah terjadi error atau tidak, kalau terjadi error maka MATLAB akan mengeluarkan baris ke berapa data/rumus yang mengalami kesalahan. Tetapi kalau tidak terjadi error maka program yang kita buat telah berhasil. Dapat dilihat pada gambar 16

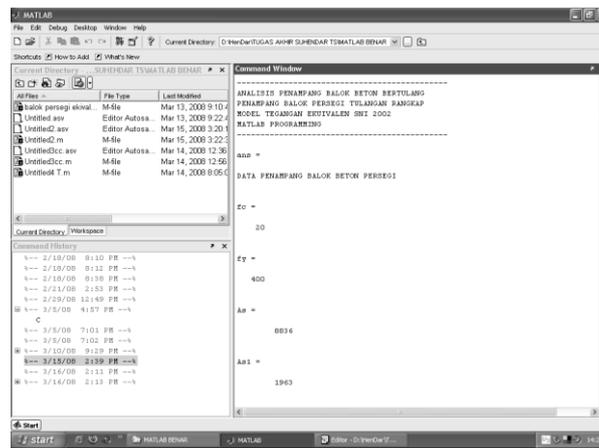


Gambar 14 Pengecekan Program Pada Saat Run

3.3 Analisis Data dan Pembahasan

Setelah data-data yang sudah dianalisis dengan menggunakan program komputer yaitu MATLAB sebagaimana tertera pada gambar 17, maka didapat hasil perhitungan yang dapat membandingkan tegangan aktual

dan tegangan ekuivalen terhadap penampang balok persegi dan balok T pada struktur beton bertulang dengan menggunakan metode kuat ultimate dan setelah itu, dilakukan suatu pembahasan pada hasil analisis.



Gambar 15 Hasil Analisis Program

4. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

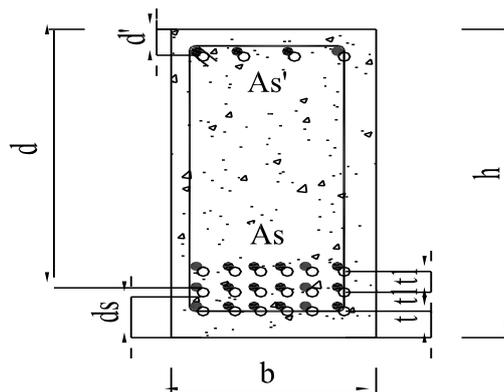
4.1 Pengumpulan Data Penelitian

Data yang akan digunakan untuk penelitian ini berupa data asumsi lapangan yang meliputi:

- 1) Data spesifikasi beton, meliputi:
Mutu beton f_c' adalah 28 MPa, 30 MPa, 44 MPa, 51 MPa, dan 58 MPa.
- 2) Data spesifikasi baja tulangan (tulangan polos dan tulangan ulir), meliputi:

Tulangan polos 240 MPa, dan tulangan ulir 400 MPa.

- 3) Data dimensi penampang balok beton berpenampang persegi, meliputi:
Tinggi (h), lebar (b), selimut beton (t), jarak tulangan (t_1), dan diameter tulangan (\emptyset),
Dari data-data diatas dapat dilihat pada gambar maupun tabel 1, yaitu:



Gambar 18 Struktur Beton Bertulang dengan Penampang Balok Persegi

Tabel 1 Data Struktur Beton Bertulang Penampang Persegi dengan Mutu Baja 240 Mpa

Struktur Beton	Simbol	Satuan	Data Beton Bertulang				
			Balok 1	Balok 2	Balok 3	Balok 4	Balok 5
Balok Persegi	f_c'	MPa	28	30	44	51	58
	f_y	MPa	240	240	240	240	240
	f_y'	MPa	240	240	240	240	240
	A_s	mm^2	18 \emptyset 25				
	A_s'	mm^2	4 \emptyset_t 25				
	b	mm	450				
	h	mm	1010				
	t	mm	30				
	t_1	mm	30				
	\emptyset_s	mm	10				
	\emptyset	mm	25				
	E_s	MPa	2.10^5				
E_s'	MPa	2.10^5					

Sumber: Data Asumsi dari Departemen Pekerjaan Umum Puslitbang Jalan dan Jembatan

Tabel 2 Data Struktur Beton Bertulang Penampang Persegi dengan Mutu Baja 400 MPa

Struktur Beton	Simbol	Satuan	Data Beton Bertulang				
			Balok 1	Balok 2	Balok 3	Balok 4	Balok 5
Balok Persegi	fc'	MPa	28	30	44	51	58
	fy	MPa	400	400	400	400	400
	fy'	MPa	400	400	400	400	400
	As	mm ²	18 Ø 25				
	As'	mm ²	4 Ø _t 25				
	b	mm	450				
	h	mm	1010				
	t	mm	30				
	t1	mm	30				
	Ø _s	mm	10				
	Ø	mm	25				
	Es	MPa	2.10 ⁵				
Es'	MPa	2.10 ⁵					

Sumber: Data Asumsi dari Departemen Pekerjaan Umum Puslitbang Jalan dan Jembatan

4.2 Analisis Hasil Program Aplikasi pada Struktur Beton

Setelah dilakukan proses pengujian baik dengan cara manual maupun program komputer, maka diperoleh data-data hasil analisis dalam membandingkan perilaku

hubungan tegangan aktual dengan tegangan ekuivalen pada struktur beton dan dapat dilihat dalam bentuk tabel masing-masing perhitungan, sebagai berikut (dalam bentuk listing program terlampir):

Tabel 3 Perbandingan Hasil Perhitungan Mu untuk Tegangan Aktual dan Tegangan Ekuivalen dengan

Mutu Baja 240 MPa

Struktur Beton	Mutu Material (MPa)		Mu (Nmm)		Selisih (%)
	fc'	fy	Ekuivalen	Aktual	
Balok Persegi	28	240	1455630118	1437327432	1.27
	30	240	1462396510	1445240904	1.19
	44	240	1492537711	1480254196	0.83
	51	240	1501402770	1490540137	0.73
	58	240	1508127988	1498387706	0.65

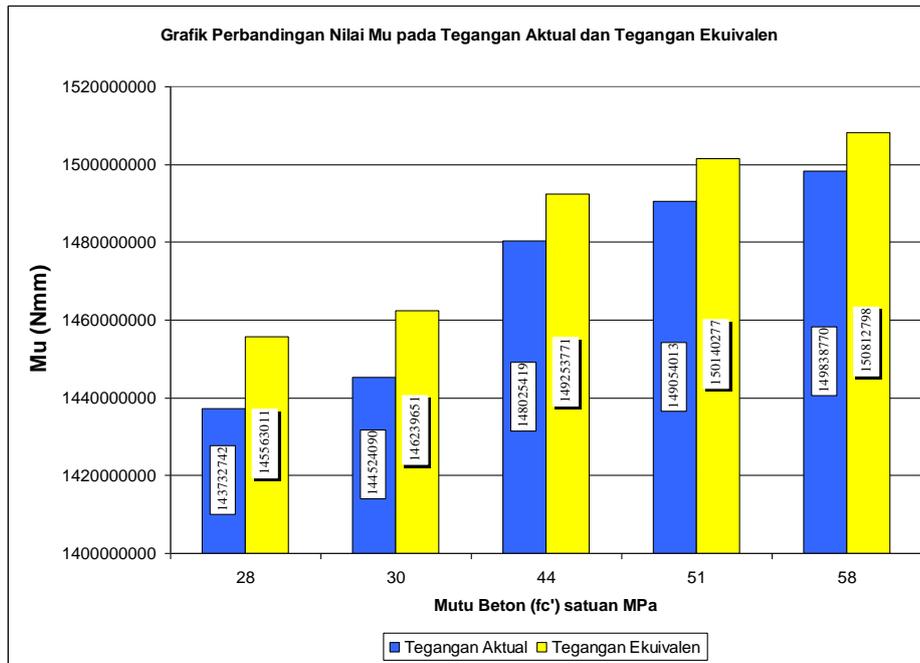
Sumber: Manual dan Program MATLAB

Tabel 4 Perbandingan Hasil Perhitungan Mu untuk Tegangan Aktual dan Tegangan Ekuivalen dengan

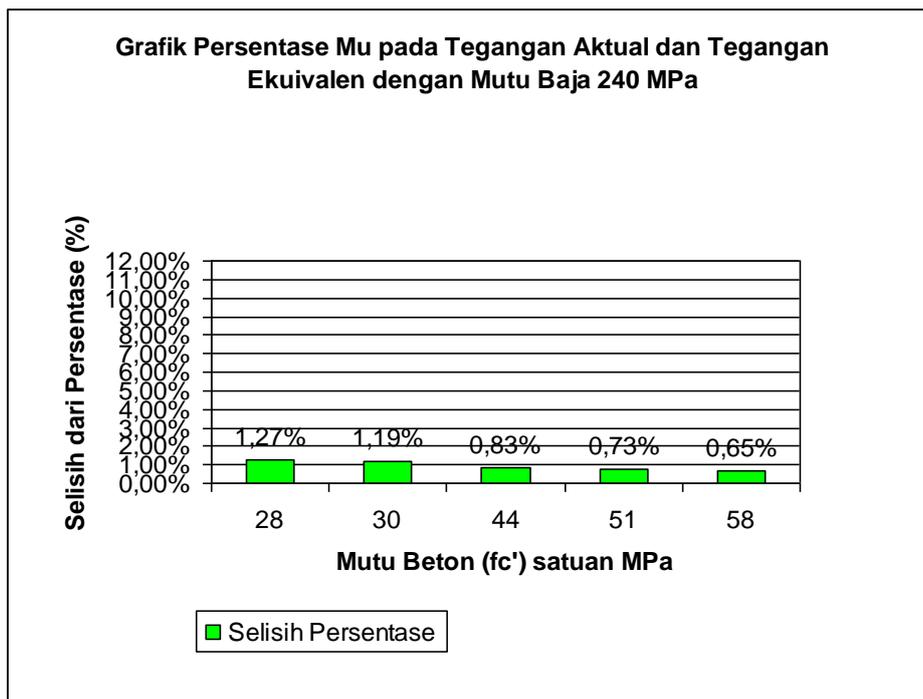
Mutu Baja 400 MPa

Struktur Beton	Mutu Material (MPa)		Mu (Nmm)		Selisih (%)
	fc'	fy	Ekuivalen	Aktual	
Balok Persegi	28	400	2313276993	2264436384	2.16
	30	400	2332072527	2286194512	2.01
	44	400	2415798087	2383565254	1.35
	51	400	2440423251	2412361447	1.16
	58	400	2459104411	2434010443	1.03

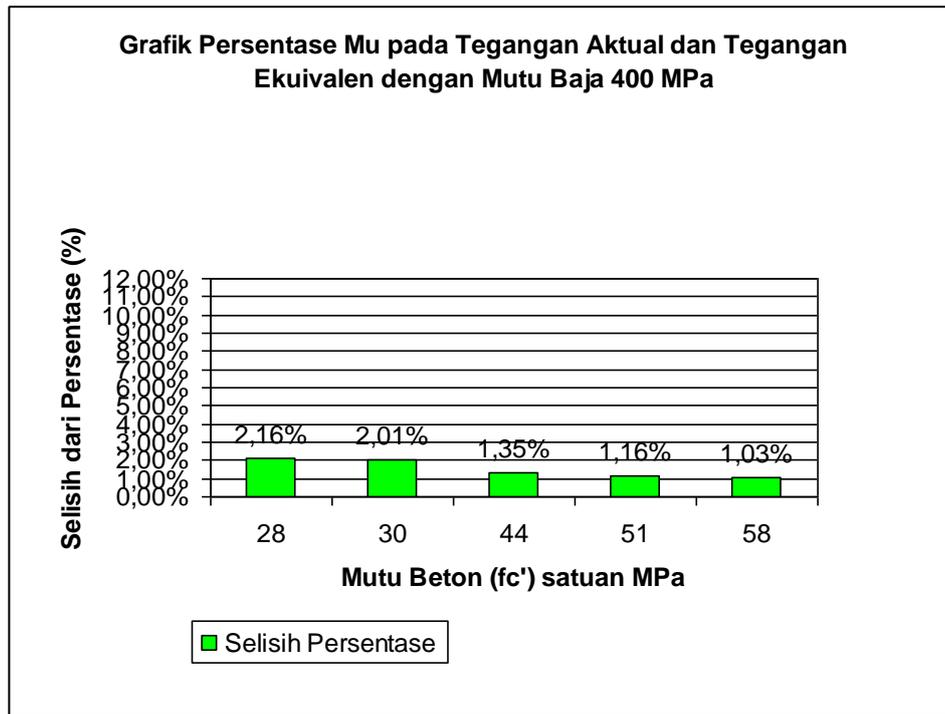
Sumber: Manual dan Program MATLAB



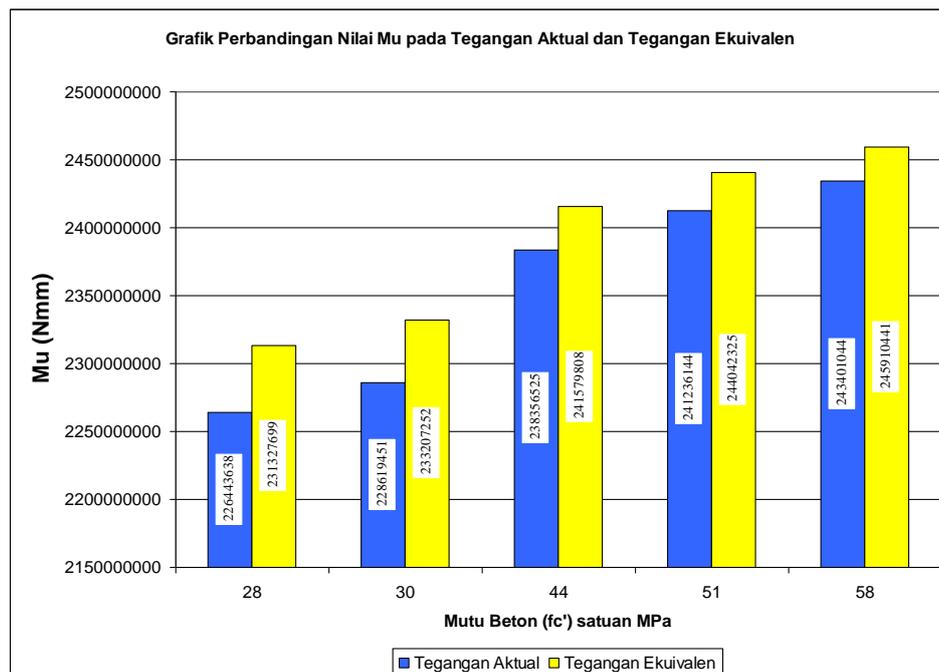
Grafik 19 Perbandingan Hasil Perhitungan Mu untuk Tegangan Aktual dan Tegangan Ekuivalen pada Mutu Baja 240 MPa



Grafik 20 Persentase Perhitungan Mu untuk Tegangan Aktual dan Tegangan Ekuivalen pada Mutu Baja 240 MPa



Grafik 21 Perbandingan Hasil Perhitungan Mu untuk Tegangan Aktual dan Tegangan Ekuivalen pada Mutu Baja 400 MPa



Grafik 22 Persentase Hasil Perhitungan Mu untuk Tegangan Aktual dan Tegangan Ekuivalen pada Mutu Baja 400 MPa

4.3 Pembahasan Hasil Penelitian

Penyelesaian pada model distribusi tegangan berbentuk parabola (aktual) hanya cocok diterapkan pada komputer melalui pemrograman komputer. Sebab tegangan aktual memprediksi momen terfaktor pada penampang beton bertulang balok persegi dengan cara penyelesaiannya numerik yang memerlukan proses yang sungguh-sungguh, semakin kecil unit pendekatan yang dipakai, maka semakin lama pula proses RUN yang

dilakukan dan untuk mengantisipasi hal tersebut dipergunakan prosesor komputer yang lebih cepat dan kapasitas memori yang besar.

Sedangkan penyelesaian pada model persegi (ekuivalen) Whitney yang diusulkan tahun 1937 sebelum era komputer, ternyata masih relevan digunakan sebagai cara pendekatan sederhana dalam memprediksi momen terfaktor pada penampang beton bertulang balok persegi.

Jadi, bila dibandingkan hubungannya hasil penyelesaian diatas berdasarkan model parabola maupun persegi didapatkan persentase yang sangat kecil antara 0,65 % sampai 2,16% baik itu untuk mutu baja 240 MPa maupun mutu baja 400 MPa. Walaupun tegangan aktual lebih rasional ketimbang persegi, akan tetapi untuk sebuah perencanaan perhitungan persegi lebih sederhana dan mudah dipahami serta pada analisis persegi menggunakan harga koefisien β_1 , sedangkan untuk parabola lebih dominan ke suatu penelitian karena proses perhitungannya secara *trial error*.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa dan pembahasan serta uraian diatas dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- 1) Dari hasil analisis diperoleh bahwa nilai M_u ekuivalen \geq nilai M_u aktual, dan sebaliknya. Karena pada tegangan ekuivalen merupakan pendekatan untuk perkiraan tegangan aktual yang terjadi dengan harga koefisien (β_1) yang didapat berdasarkan eksperimen.
- 2) Ditinjau dari grafik persentase serta selisih kapasitas balok (M_u) diperoleh bahwa tegangan aktual dengan tegangan ekuivalen untuk mutu baja tulangan 240 MPa antara 0,65% sampai 1,27%. Sedangkan untuk mutu baja tulangan 400 MPa antara 1,03% sampai 2,16%, sehingga tegangan ekuivalen dapat dipastikan adanya faktor keamanan yang cukup baik sebagai pendekatan tegangan aktual pada analisis kapasitas balok persegi struktur beton bertulang karena hasil selisih yang didapat tidak terlalu jauh.

5.2 Saran-saran

- 1) Sehubungan dengan hasil persentase/selisih yang cukup kecil, maka tegangan ekuivalen masih dapat digunakan karena hasil yang didapat tidak terlalu jauh dari hasil tegangan aktual sebagai nilai standar.

- 2) Strategi penyelesaian numerik berbasis komputer berbeda dengan cara-cara manual, meskipun demikian berlaku umum (*universal*), sehingga dapat digunakan untuk memodelkan distribusi beton bertulang lainnya yang bersifat non-linier. Sehingga disajikannya tulisan ini dapat menjadi pendorong untuk digunakannya teknologi komputer

DAFTAR PUSTAKA

- Dewobroto, W. 2003. *Aplikasi Rekayasa Konstruksi dengan Visul Basic 6.0*, Jakarta: PT. Elex Media Komputindo.
- Departemen Pekerjaan Umum. 2002. *SK SNI 03-2847-2002 Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*, Bandung: Yayasan LPMB.
- Dipohusodo, I. 1994. *Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SKSNI T-15-1991-03*, Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Gunaidi. 2006. *The Shortcut of MATLAB Programming*, Bandung: Informatika..
- Gunawan, & Margaret. 1993. *Diktat Konstruksi Beton I Jilid 1*, Jakarta: Delta Teknik Group Jakarta.
- Gunawan, & Margaret. 2006. *Diktat Struktur Beton Bertulang (Berdasarkan SKSNI T-15-1991-03) Jilid 1*, Jakarta: Delta Teknik Group Jakarta.
- G.Nawy, E. 1990. *Beton Bertulang suatu Pendekatan Dasar*, Bandung: PT. Eresco.
- Mukahar. 1992. *Konstruksi Beton Bertulang Elemen Lentur*, Surakarta: Sebelas Maret University Press.
- Marini, L. 2005. *Tesis: Finite Cross Section Analysis for Externally Prestressed Beams at Ultimate Flexure Limit State*, Malaysia: University Malaysia Sarawak.
- Setia Romadhon, E. 2003. *Diktat Struktur Beton*, Bogor: Universitas Ibn Khaldun.