

## **Analisis Pengaruh Diameter Terhadap Regangan pada Rangka Batang dengan Metode Elemen Hingga**

**ZULKIFLI DJAFAR**

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin  
Jalan Perintis Kemerdekaan KM. 10 Makassar, 90245, Makassar, Sulawesi Selatan  
Telp (0411) 588400, Fax (0411) 588 400

### **Abstrak**

*Desain struktur dengan tujuan penghematan material sering dijumpai dalam praktek perancangan konstruksi. Dalam penelitian ini dilakukan analisa diameter optimal dari suatu rangka batang pada berbagai kondisi pembebanan. Penyelesaian masalahnya dilakukan dengan metode Elemen Hingga dan hasilnya dianalisa dengan Metode Regresi Kuadrat Terkecil. Korelasi diameter, gaya dan regangan ditunjukkan dengan persamaan  $D = (0,2)(F_1)^{-0,118} (F_2)^{-0,084} \varepsilon^{-0,560}$ . Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi salah satu masukan dalam menganalisa rangka batang.*

*Kata Kunci: Tegangan, Metode Elemen Hingga, Rangka Batang.*

### **Pendahuluan**

Salah satu konstruksi sekarang banyak direncanakan adalah konstruksi rangka batang. Konstruksi ini merupakan pola struktur dua dimensi dimana menjadi dasar pengembangan untuk pola struktur tiga dimensi. Konstruksi rangka batang sangat banyak ditemukan misalnya pada bangunan gedung, jembatan, pesawat terbang, kapal, menara/ pemancar dan lain sebagainya.

Menurut beberapa peneliti (Farkas 1984, Haftka 1986, Hajela 1990, Kirsch 1981, Rajeev 1992, Wibowo 1996, Wu 1986) dalam perencanaan atau desain struktur dengan tujuan penghematan material dan meminimalisasi biaya sering kali digunakan material dengan bentuk, dimensi dari bahan yang bervariasi sehingga semakin mempersulit dalam menganalisa kekuatan dari struktur tersebut terutama dalam menentukan posisi batang kritis dan pembebanan maksimum terhadap struktur tersebut.

Untuk mengantisipasi permasalahan tersebut di atas maka perlu dicari suatu metode analisa yang lebih praktis dalam menganalisa secara tepat tanpa mengurangi unsur ketepatan dan ketelitiannya. Metode solusi numerik dengan tipe metode elemen hingga sering digunakan guna mempermudah pemecahan masalahnya dimana solusi ini merupakan suatu analisa pendekatan berdasarkan asumsi peralihan atau asumsi regangan, tegangan dan perpindahan dalam setiap elemennya.

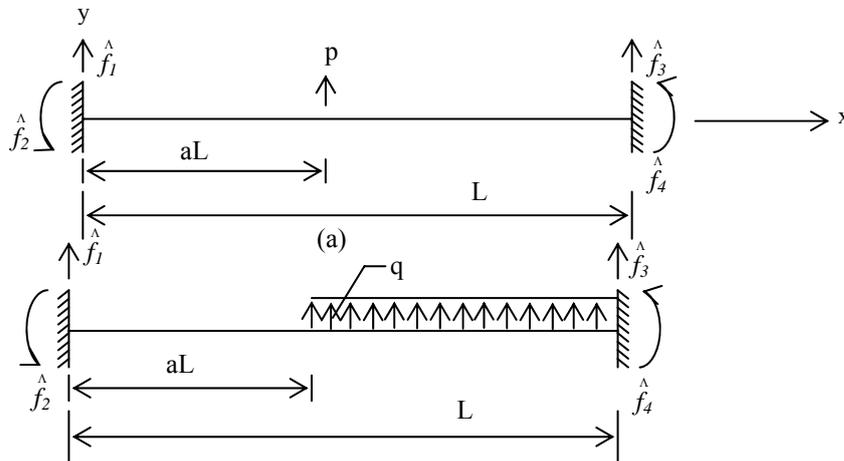
Berdasarkan latar belakang di atas maka beberapa permasalahan dapat dirumuskan sebagai berikut: bagaimana cara merumuskan persoalan tersebut agar supaya mudah dianalisa untuk proses perhitungan pada struktur rangka batang. Selain itu berapa besar pengaruh variable diameter rangka batang bidang untuk berbagai kondisi pembebanan.

Adapun tujuan penulisan yang hendak dicapai dalam penulisan ini adalah untuk membuat satu paket program dasar yang sederhana untuk menghitung aplikasi struktur rangka batang tersebut dan Menentukan pengaruh variable diameter rangka batang terhadap regangan untuk berbagai kondisi pembebanan.

Manfaat pada penelitian bagi kalangan peneliti, dapat dijadikan sebagai acuan dan bahan perbandingan untuk penelitian selanjutnya yang berhubungan dengan objek masalah ini. Bagi kalangan akademisi, dapat dijadikan dasar sebagai contoh dan bahan perbandingan dalam mengkaji kekuatan-kekuatan material khususnya bahan yang dipakai dalam penelitian ini. Bagi kalangan

industri, dapat dijadikan dasar sebagai bahan informasi dan digunakan dalam menentukan kebijakan pemakaian bahan dalam struktur rangka batang.

**TINJAUAN PUSTAKA**



Gambar 1. konstruksi pembebanan  
 (a). Beban terpusat (b). Beban terbagi rata

Suatu konstruksi bangunan yang menerima beban luar, baik itu beban titik maupun beban terbagi merata pada batang, maka konstruksi tersebut akan mengalami deformasi, contoh kasus seperti pada gambar diatas tersebut dan persamaan yang dapat diberikan sebagai berikut :

**a. Persamaan untuk beban terpusat :**

$$f = p \begin{bmatrix} -1 - a^2(2a - 3) \\ -La(1 - a)^2 \\ a^2(2a - 3) \\ La^2(1 - a) \end{bmatrix} \dots\dots\dots(1)$$

**b. Persamaan beban terbagi rata :**

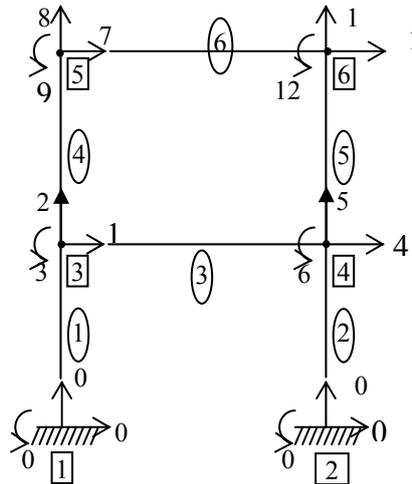
$$f = q L \begin{bmatrix} -\frac{1}{2}(1 - a^4 + 2a^3 - 2a) \\ -\frac{L}{12}(1 - 3a^4 + 8a^3 - 6a^2) \\ -\frac{1}{2}(1 + a^4 - 2a^3) \\ \frac{L}{12}(1 + 3a^4 - 4a^3) \end{bmatrix} \dots\dots\dots(2)$$

**METODE PENELITIAN**

Hasil penelitian ini dapat mengungkapkan besarnya regangan-regangan yang terjadi pada suatu struktur rangka batang akibat variasi diameter dan pembebanan serta bahan yang merupakan data primer yang diperlukan dalam penelitian ini adalah suatu konstruksi rangka batang dan jenis

pembebanan yang mendukung dari penelitian ini serta jenis pipa yang diproduksi oleh PT. Dharma Niaga (LTD) yaitu pipa baja lapis seng S.I.I.0161-81 (*Galvanized Welded Steel Pipe*).

Di dalam penelitian ini khususnya untuk pengolahan data menggunakan seperangkat komputer dan konstruksi rangka batang dibuat dalam suatu model tumpuan yang mendukung rangka batang dalam menerima beban-beban seperti pada konstruksi pada gambar 2 yaitu dengan cara mengekang atau dijepit, dan didalam menganalisa perhitungan dibuat model rangka batang dengan perubahan diameter sebanyak 4 jenis yaitu diameter 2", 2,5", 3" dan 4".



Gambar 2. Model tumpuan rangka batang

Analisa terhadap besaran beban-beban yang bekerja pada struktur rangka tersebut adalah Beban Titik yaitu : pada diameter 2 inch adalah  $F_1 = 0 \text{ kg}, 2000 \text{ kg}, \dots, 20000 \text{ kg}$  dan  $F_2 = 0 \text{ kg}, 2000 \text{ kg}, \dots, 20000 \text{ kg}$ , pada diameter 2,5 inch adalah  $F_1 = 0 \text{ kg}, 3000 \text{ kg}, \dots, 30000 \text{ kg}$  dan  $F_2 = 0 \text{ kg}, 3000 \text{ kg}, \dots, 30000 \text{ kg}$ , pada diameter 3 inch adalah  $F_1 = 0 \text{ kg}, 4000 \text{ kg}, \dots, 40000 \text{ kg}$  dan  $F_2 = 0 \text{ kg}, 4000 \text{ kg}, \dots, 40000 \text{ kg}$ , pada diameter 4 inch adalah  $F_1 = 0 \text{ kg}, 5000 \text{ kg}, \dots, 50000 \text{ kg}$  dan  $F_2 = 0 \text{ kg}, 5000 \text{ kg}, \dots, 50000 \text{ kg}$ . Serta beban angin (beban merata) yaitu :  $q' = 40 \text{ kg/m}^2$  atau  $0,004 \text{ kg/cm}^2$ . atau  $q = q'/L = 0,004 \text{ kg/cm}$

**Metoda Analisis**

Model yang telah berhasil dikembangkan oleh para peneliti (*Canale, 1999*), dengan model matematika yang disesuaikan pada masalah, yaitu respon diameter batang elemen terhadap regangan dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$D = a_0 F_1^{a_1} F_2^{a_2} \varepsilon^{a_3} \dots\dots\dots(3)$$

dimana: D = respon diameter batang,  $a_0, a_1, a_2,$  dan  $a_3$  = konstanta pengaruh,  $F_1$  = gaya luar 1,  $F_2$  = gaya luar 2 dan  $\varepsilon$  = regangan

Persamaan di atas ditransformasikan ke dalam bentuk model logaritma, guna memudahkan untuk mengestimasi parameter-parameter  $a_0, a_1, a_2,$  dan  $a_3,$  sehingga persamaan menjadi :

$$\ln D = \ln a_0 + a_1 \ln F_1 + a_2 \ln F_2 + a_3 \ln \varepsilon \dots\dots\dots(4)$$

Model persamaan ini, kebanyakan dituliskan dalam bentuk linier sebagai berikut:

$$\ln D = Y, \ln F_1 = X_1, \ln F_2 = X_2, \ln \varepsilon = X_3, \ln a_0 = A_0, a_1 = A_1, a_2 = A_2 \text{ dan } a_3 = A_3$$

maka persamaan menjadi :

$$Y = A_0 + A_1 X_1 + A_2 X_2 + A_3 X_3 \dots\dots\dots(5)$$

dimana :  $Y$  = respon diameter batang,  $A_0, A_1, A_2,$  dan  $A_3$  = konstanta pengaruh,  $X_1$  = gaya luar 1,  $X_2$  = gaya luar 2 dan  $X_3$  = regangan.

Langkah berikutnya adalah melakukan anti-logaritma natural pada persamaan tersebut sehingga persamaan pengaruh diameter terhadap gaya luar 1, gaya luar 2 dan regangan yang terjadi dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$D = a_0 F_1^{a_1} F_2^{a_2} \varepsilon^{a_3} \dots\dots\dots(6)$$

dimana :  $D$  = respon diameter batang,  $a_0, a_1, a_2,$  dan  $a_3$  = konstanta pengaruh,  $F_1$  = gaya luar 1,  $F_2$  = gaya luar 2 dan  $\varepsilon$  = regangan

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

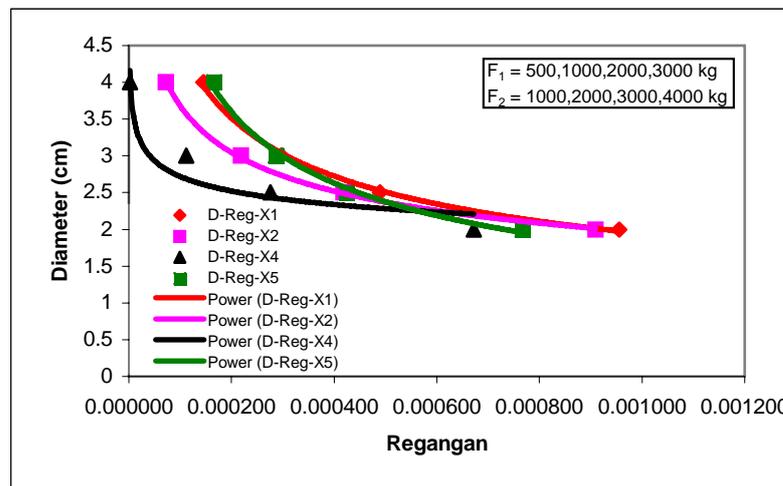
**HASIL**

**Pengaruh Variasi diameter rangka batang terhadap regangan pada berbagai kondisi pembebanan.**

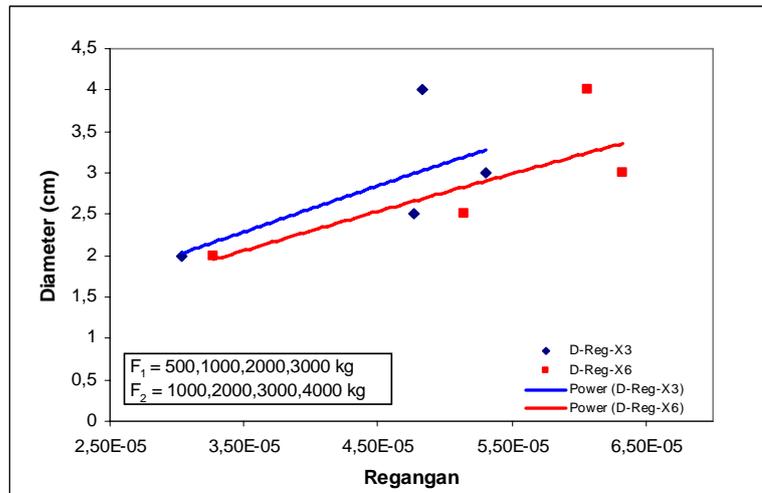
Output program komputer dengan data masukan diameter pipa masing-masing: 2", 2,5", 3", dan 4" , beban  $F_1$  masing-masing 500 kg, 1000 kg, 2000 kg dan 3000 kg, dan beban  $F_2$  masing-masing sebesar 1000 kg, 2000 kg, 3000 kg dan 4000 kg. Dengan data masukan ini diperoleh regangan masing-masing sebesar 0,000955, 0,000489, 0,000297 dan 0,000145. Data output regangan, untuk titik simpul 2, 3, 4, 5 dan 6 pada arah X diperlihatkan pada (Tabel III). Dengan hal yang serupa untuk arah Y dan  $\theta$  diperlihatkan masing-masing pada (Tabel IV dan Tabel V).

**a. Variasi Diameter terhadap Regangan Pada Arah X**

Pada titik simpul 1, 2, 4 dan 5 memperlihatkan bahwa pada penggunaan diameter pipa yang besar diperoleh regangan yang lebih kecil seperti diperlihatkan pada gambar 3. Sedangkan pada titik simpul 3 dan 6 memperlihatkan trend yaitu penggunaan diameter pipa yang besar diperoleh regangan yang lebih besar seperti diperlihatkan pada gambar 4.



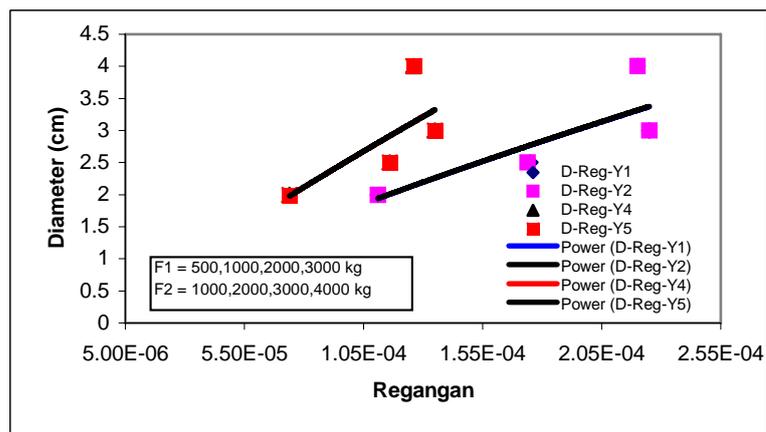
Gambar 3. Hubungan antara diameter terhadap regangan pada titik simpul 1,2,4 dan 5 arah X



Gambar 4. Hubungan antara diameter terhadap regangan pada titik simpul 3 dan 6 arah X

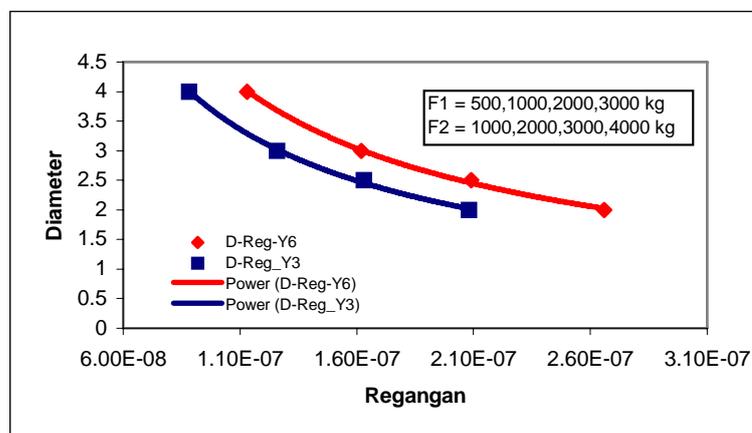
**b. Variasi Diameter terhadap Regangan Pada Arah Y**

Pada titik simpul 1,2, 4 dan 5 memperlihatkan trend yaitu penggunaan diameter pipa yang besar diperoleh regangan yang lebih besar seperti diperlihatkan pada gambar 5.



Gambar 5. Hubungan antara diameter terhadap regangan pada titik simpul 1, 2, 4 dan 5 arah Y

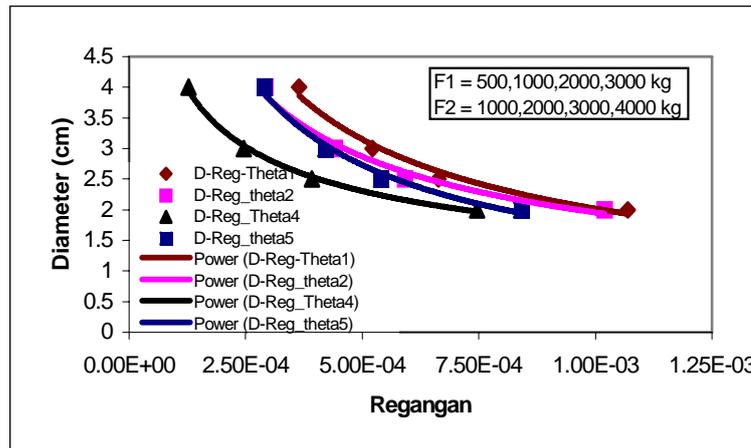
Sedangkan pada titik simpul 3 dan 6 memperlihatkan trend yaitu penggunaan diameter pipa yang besar diperoleh regangan yang lebih besar seperti diperlihatkan pada gambar 6.



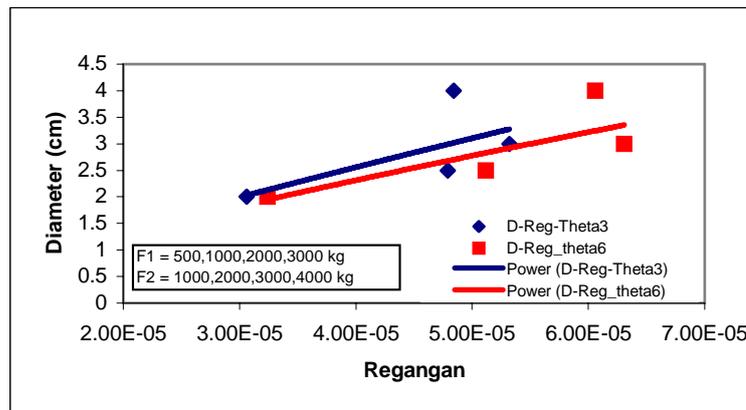
Gambar 6. Hubungan antara diameter terhadap regangan pada titik simpul 3 dan 6 arah Y

**c. Variasi Diameter terhadap Regangan Pada Arah Sudut  $\theta$**

Pada titik simpul 1,2, 4 dan 5 memperlihatkan trend yaitu penggunaan diameter pipa yang besar diperoleh regangan yang lebih kecil seperti diperlihatkan pada gambar 7. Sedangkan pada titik simpul 3 dan 6 memperlihatkan trend yaitu penggunaan diameter pipa yang besar diperoleh regangan yang lebih besar seperti diperlihatkan pada gambar 8.



Gambar 7. Hubungan antara diameter terhadap regangan pada titik simpul 1, 2, 4 dan 5 arah  $\theta$



Gambar 8. Hubungan antara diameter terhadap regangan pada titik simpul 3 dan 6 arah  $\theta$

**Pembahasan**

**1. Desain Program Komputer Metode Perpindahan (PKMP)**

Data masukan dalam Program Komputer PKMP meliputi : Jumlah elemen 6 buah, Jumlah titik simpul 6 buah, Modulus elastis  $2 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ , Tegangan maksimum bahan  $3450 \text{ kg/cm}^2$ , Pembebanan dan Diameter pipa (lihat tabel I dan II)

Tabel I. Variasi pembebanan

Pembebanan	Variasi beban (kg)	Diameter (inch)
Gaya $F_1$	0, 2000, 4000 s/d 20000	2
	0, 3000, 6000 s/d 30000	2,5
	0, 4000, 8000 s/d 40000	3
	0, 5000, 10000 s/d 50000	4
Gaya $F_2$	0, 2000, 4000 s/d 20000	2
	0, 3000, 6000 s/d 20000	2,5

	0, 4000, 8000 s/d 40000	3
	0, 5000, 10000 s/d 50000	4

Tabel II. Variasi diameter batang

No.	Diameter Nominal (Inch)	Diammeter Dalam (cm)	Diameter Luar (cm)
1	2	6,08	5,715
2	2,5	7,68	7,315
3	3	8,95	8,54
4	4	11,49	11,04

Di samping input yang dikemukakan di atas juga diberikan input  $F_1$  dan  $F_2$  yang berbeda untuk tujuan analisis, dengan output program ini seperti regangan pada titik simpul. Data Input dan output yang disusun dalam variasi diameter, beban luar, regangan yang dihasilkan, data ini disusun dalam tiga kelompok yaitu : *Variasi diameter,  $F_1, F_2$ , regangan pada arah X, Variasi diameter,  $F_1, F_2$ , regangan pada arah Y, Variasi diameter,  $F_1, F_2$ , regangan pada arah  $\theta$ .*

## 2. Pengaruh Diameter terhadap Kondisi Pembebanan

Pengaruh diameter batang terhadap kondisi pembebanan yang dimaksudkan adalah pengaruh diameter batang terhadap beban luar 1 ( $F_1$ ), beban luar 2 ( $F_2$ ), regangan yang terjadi.

### Pengaruh diameter batang terhadap $F_1, F_2$ dan Regangan

Diameter dapat dikorelasikan dengan regangan yang terjadi, hal ini memungkinkan karena hasil penelitian/simulasi memperlihatkan plot diameter batang terhadap regangan (*pada gambar 3*), memiliki kecenderungan yang sama untuk titik simpul 1, 2, 4 dan 5 serta ada kesamaan trend untuk titik simpul 3 dan 6. Untuk mengestimasi hubungan maka digunakan multiregresi pada setiap kondisi pembebanan. Pengaruh diameter batang yang dihasilkan dengan prediktor masing-masing ( $F_1$ ), ( $F_2$ ) dan regangan untuk titik simpul 1 pada arah X dengan faktor pengaruh pada hasil perhitungan (Tabel 3) diperoleh  $\ln a_0 = -1,889$ ,  $a_1 = -0,118$ ,  $a_2 = -0,084$ ,  $a_3 = -0,560$ . Maka persamaan pengaruh dituliskan sebagai berikut :

$$D = \frac{0,2}{F_1^{0,118} F_2^{0,084} \varepsilon^{0,560}} \dots\dots\dots(7)$$

dimana :  $D$  = diameter batang (cm),  $F_1$  = gaya luar 1 (kg),  $F_2$  = gaya luar 2 (kg),  $\varepsilon$  = regangan dan  $a_0 = e^{-1,889} = 0,2$ . Selisih yang dihasilkan antara output program dengan persamaan estimasi (7) adalah antara -0,07 s/d 0,09. Kesalahan ini dianggap cukup kecil sehingga persamaan (7) dapat digunakan untuk tujuan estimasi penggunaan batang. Ditinjau dari data input yaitu data ini tidak dipengaruhi (diabaikan) oleh kondisi seperti temperatur ruang, waktu dan lainnya, maka analisis variansi tidak diuraikan pada bahasan ini, akan tetapi nilai-nilai hitungan hanya dituliskan dalam lampiran (Tabel 3 s/d 5). Hubungan keterkaitan antara diameter batang terhadap  $F_1, F_2$  dan regangan yang terjadi diperoleh sebesar 0.998. Pada bahasan ini, faktor-faktor pengaruh untuk titik-titik simpul 1 s/d 6 diperlihatkan pada tabel di bawah ini :

Tabel III. Faktor pengaruh diameter batang terhadap  $F_1, F_2$  dan regangan pada arah X

Titik Simpul	$a_0$	$A_1$	$A_2$	$a_3$	$R_{y(1,2,3)}$
1	0,2	0,118	0,084	0,560	0.998
2	0,3	0,449	-0,210	-0,071	0.994
3	3,9E-07	-0,335	1,228	-0,870	0.999
4	0,3	0,847	-0,454	0,026	0.978
5	0,1	-0,033	-0,333	-0,854	0.992
6	3,02E-07	-0,034	0,952	0,904	0.999

Tabel IV. Faktor pengaruh diameter batang terhadap  $F_1$ ,  $F_2$  dan regangan pada arah Y

Titik Simpul	$a_0$	$A_1$	$A_2$	$a_3$	$R_{y(1,2,3)}$
1	8,3E-07	0,093	0,836	-0,916	0.999
2	9,2E-07	0,120	0,799	-0,913	0.999
3	1,6E-07	-0,213	0,225	-0,897	0.999
4	8,1E-07	-0,194	1,092	-0,880	0.999
5	8,2E-07	-0,195	1,094	-0,879	0.999
6	2,4E-06	-0,208	0,228	-0,882	0.999

Tabel V. Faktor pengaruh diameter batang terhadap  $F_1$ ,  $F_2$  dan regangan pada arah  $\theta$

Titik Simpul	$a_0$	$A_1$	$A_2$	$a_3$	$R_{y(1,2,3)}$
1	0,03	0,486	-0,671	-0,834	0.979
2	0,06	0,341	-0,642	-0,763	0.979
3	4,1E-07	0,333	1,222	-0,869	0.999
4	0,1	-0,129	-0,144	-0,667	0.996
5	0,01	0,277	-0,549	-1,028	0.983
6	3,0E-07	-0,039	0,961	-0,900	0.999

## KESIMPULAN

Pengaruh diameter terhadap beban luar 1 ( $F_1$ ), beban luar 2 ( $F_2$ ), dan regangan adalah sangat berpengaruh dimana besar pengaruh diameter terhadap  $F_1$ ,  $F_2$  dan tegangan dapat dinyatakan dengan koefisien pengaruh, masing-masing  $a_0$ ,  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$ . Nilai tersebut untuk arah X diperlihatkan pada (Tabel 3), untuk arah Y diperlihatkan pada (Tabel 4) dan untuk arah  $\theta$  diperlihatkan pada (Tabel 5).

## DAFTAR PUSTAKA

1. Anonim, "Data Pipa Baja Lapis Seng S.II.0161-81", PT. Dharma Niaga (Ltd).
2. Bathe Jorgen, Klaus , "Finite Element Procedures in Engineering Analysis" Prentice-Hall, Inc, Englewood Cliffs, New Jersey 1982.
3. Bassin, M.G, Brodsky, S.M, Wolkoff, H, "Static and Strength of Materials", Fourth Edition, McGraw-Hill, New york 1988.
4. Bhirud, L.L , "Matrix Operations On The Computer", Oxford & IBH Publishing Co, New Delhi, 1875.
5. Canale , "Numerical Methode for Engineering". Second Edition, McGraw-Hill, New york 1999.
6. Cook, Robert D , "Concepts And Applications Of Finite Element Analysis", Third Edition, John Wiley & Sons, Inc, New York,1982.
7. Hariandja, B, "Analisis Lanjut Sistem Struktur Berbentuk Rangka", Erlangga, Jakarta, 1996.
8. Huebner, Kennet H And Thorton, Earl A , "The Finite Element Method For Engineers", Second Edition, John Wiley & Sons, Inc, New York, 1982.
9. William Weaver, Jr- Paul R. J , "Elemen Hingga Untuk Analisis Rangka ", Edisi Kedua, PT. Eresco Bandung 1993.