

## POLA REGANGAN DINAMIS PADA BALOK KANTILEVER AKIBAT GETARAN BERFREKUENSI RENDAH

*(Dynamic Strain Pattern Along Cantilevered Beams Due to  
Low Frequency Vibration)*

Sudarisman<sup>1</sup>

### ABSTRACT

*The purpose of this study is to find out the relation between the magnitude of load in one hand, and natural frequency, strain pattern and decay rate of dynamic strain due to low frequency vibration along a cantilevered beam, in the other hand. The specimen was made of structural steel which has 16.5" length, 1.5" width, and 0.25" thickness. Two strain gages installed 16" far from its free end were used as sensing devices. The data were recorded using Sanborn machine as oscillograph. The result shows that the magnitudes of dynamic strain are cubically related to the magnitudes of load, so that their decay rate are squared function of the load magnitudes.*

### A. PENDAHULUAN

#### Latar Belakang

Elemen mesin atau bagian konstruksi sering menerima beban berulang akibat getaran, misalnya pegas pada suspensi kendaraan bermotor, serta tertentu pada poros pemindah daya dengan beban lentur, dan lengan alat pengangkat akibat adanya ayunan beban. Walaupun besar tegangan dan regangan yang terjadi masih jauh di bawah tegangan dan regangan patah bahan, namun akibat pengulangan dapat menimbulkan retak-retak halus yang makin lama makin besar dan akhirnya menyebabkan kegagalan lelah.

Gelombang regangan dinamis terjadi pada setiap elemen mesin yang menerima beban bergetar, Pola regangan, baik frekuensi, amplitudo maupun terjadinya peluruhan atau tidak, berbeda antara satu dengan lainnya tergantung pada pola pembebanannya. Poros pemindah daya menerima beban bergetar dengan frekuensi yang tergantung pada tinggi rendahnya putaran poros. Berbeda dengan yang terjadi pada poros pemindah daya, pada pegas peredam getaran dan atau tumbukan, di awal pembebanan terjadi beban maksimum yang mengejut adanya impak. Selanjutnya simpangan dan regangan tersebut akan mengalami peluruhan, sedangkan frekuensi getarannya juga hanya rendah bahkan kadang-kadang dapat diamati langsung tanpa alat bantu.

Proses rusak akibat lelah tersebut akan makin cepat apabila terkombinasi dengan beban statis yang cukup besar (Dowling, 1993). Itulah sebabnya factor keamanan untuk pembebanan bergetar selalu diambil lebih besar dari pada untuk pembebanan dinamis apalagi statis. Kondisi pembebanan model balok kantilever semacam ini dapat ditemui pada pegas daun poros kendaraan. Beban statisnya berupa gaya berat kendaraan dan muatan, sedangkan beban dinamisnya berupa gaya dari getaran akibat adanya tumbukan pada roda kendaraan yang dipindahkan ke pegas melalui poros.

---

<sup>1</sup> Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Univ. Muhammadiyah Yogyakarta

Pada fenomena semacam ini, getaran-getaran yang terjadi berfrekuensi tetap dengan amplitudo yang makin lama makin kecil seiring dengan bertambahnya waktu (Harris, 1988). Pada percobaan ini, balok kantilever dianalogikan sebagai pegas daun, beban yang dipasang pada ujung balok dianalogikan sebagai berat kendaraan dan muatan, sedangkan simpangan awalyang diberikan pada balok kantilever dianalogikan sebagai simpangan yang terjadi pada pegas daun akibat adanya tumbukan pada roda. Dengan diketahuinya pola regangan yang terjadi maka dengan menerapkan hukum Hooke pola regangan juga akan dapat diperoleh.

### Identifikasi Masalah

Dari uraian tentang latar belakang di depan, terdapat dua kelompok besar elemen mesin yang terbebani secara bergetar, yakni kelompok pertama dengan karakteristik beban yang berfluktuasi menyerupai grafik sinus dengan frekuensi dan amplitudo yang relatif konstan. Peningkatan frekuensi dan besar beban hanya terjadi pada awal kerja, sedangkan peluruhan frekuensi dan amplitudo terjadi pada akhir kerja saja. Termasuk dalam kelompok ini adalah serat tertentu pada poros-poros pemindah daya yang juga terbebani dengan beban lentur, dan gandar-gandar yang ikut berputar bersama dengan rodanya.

Kelompok kedua dengan karakteristik beban yang befluktuasi menyerupai grafik sinus, namun dengan frekuensi dan atau amplitudo yang mengalami peluruhan selama terjadi bekerja. Hal ini disebabkan pembebanannya hanya sesaat menyerupai beban impak. Dengan pola pembebanan tersebut, akibat dampak redaman maka terjadilah peluruhan amplitudonya. Pegas sebagai elemen peredam getaran merupakan contoh dari kelompok ini, baik pegas pilin maupun pegas daun yang banyak digunakan.

### Perumusan dan Pembatasan Masalah

Permasalahan yang dipilih untuk diteliti adalah yang kedua. Dari permasalahan tersebut, peneliti membatasi hanya untuk elemen peredam getaran berbentuk pegas daun yang direpresentasikan oleh balok kantilever. Pada penelitian ini terdapat satu variable bebas, yakni delapan variasi besar beban statis anatar nol sampai dengan 10 (lb) atau 4,536 (kg). Yang akan diteliti adalah:

1. Besar frekuensi natural regangan-regangan yang terjadi.
2. Besar regangan statis dan regangan dinamis yang terjadi.
3. Besar peluruhan (*decay rate*) regangan dinamis yang terjadi.

## B. LANDASAN TEORI

### Getaran Balok

Pada percobaan ini, getaran yang terjadi pada balok merupakan getaran bebas tanpa damping. Kecepatan sudut getaran bebas balok kantilever seperti pada Gambar 1 dinyatakan oleh (Harris, 1988)

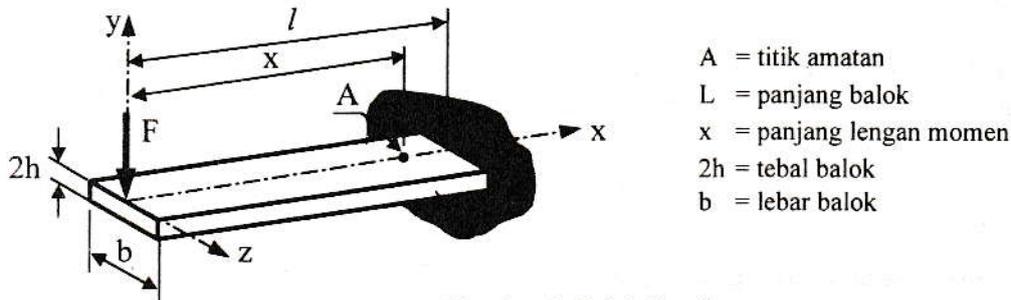
$$\omega_t = 2 \cdot \pi \cdot f_t \sqrt{\frac{3 \cdot E \cdot I}{M \cdot x^3 + 0,23 \cdot m \cdot l^3}} \quad (1)$$

atau

$$f_t = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \omega_t} \sqrt{\frac{3 \cdot E \cdot I}{M \cdot x^3 + 0,23 \cdot m \cdot l^3}} \quad (2)$$

dengan  $\omega_t$  = kecepatan sudut getaran (rad/s),  $f_t$  = frekuensi getaran teoritis, E = modulus elastisitas bahan (psi), I = inersia linier penampang lintang balok (in<sup>4</sup>), M = massa anak

timbangan dan penggantung, beban terpusat (lbf),  $x$  = jarak titik yang diamati dari ujung bebas (in), massa beban terbagi rata balok kantilever (lbf/in),  $l$  = panjang balok (in).



A = titik amatan  
L = panjang balok  
 $x$  = panjang lengan momen  
 $2h$  = tebal balok  
 $b$  = lebar balok

Gambar 1. Balok Kantilever

Harga  $I$ ,  $M$  dan  $m$  berturut-turut adalah

$$I = \frac{1}{12} \cdot b \cdot (2h)^3 = \frac{2}{3} \cdot b \cdot h^3 \quad (\text{in}^4); \quad M = \frac{W + W_h}{g}$$

$$m = \frac{l \cdot b \cdot 2h \cdot \gamma}{g} = \frac{2 \cdot l \cdot b \cdot h \cdot \gamma}{g} \quad (3)$$

dengan  $l$  = panjang balok (in),  $b$  = lebar penampang lintang balok (in),  $h$  = setengah tebal balok (in),  $W$  = gaya berat penggantung (lbf),  $W_h$  = gaya berat anak timbangan (lbf),  $\gamma$  = berat jenis bahan balok (lbf/in<sup>3</sup>),  $g$  = percepatan gravitasi bumi =  $32,174 \times 12$  (in/s<sup>2</sup>).

### Defleksi Ujung Bebas Balok Kantilever

Gambar 1 menunjukkan bahwa defleksi ujung balok disebabkan oleh beban terbagi rata berat sendiri balok, serta beban terpusat dari anak timbangan dan penggaitnya. Dengan menerapkan prinsip superposisi, nilai lendutan total dapat diperoleh. Akibat berat sendiri balok, besar defleksi pada ujung bebas adalah (Shigley dan Mischke, 1989)

$$\delta_1 = \frac{q \cdot l^4}{8 \cdot E \cdot I} \quad (\text{mm}); \quad q = 2 b h \gamma \quad (\text{lbf/in}) \quad (4a)$$

dengan  $q$  = beban terbagi rata (lbf/in),  $l$ ,  $E$ ,  $I$ ,  $b$ ,  $h$  dan  $\gamma$  seperti penjelasan terdahulu.

Defleksi ujung bebas balok akibat berat anak timbangan dan penggaitnya dapat dicari dengan teorema Castigliano (Shigley dan Mischke, 1989)

$$\delta_2 = \frac{F \cdot l^3}{3 \cdot E \cdot I} \quad (\text{mm}) \quad (4b)$$

dengan  $F = W + W_h$  = gaya berat total anak timbangan dan penggaitnya (lbf).

Dengan demikian defleksi total yang terjadi pada ujung bebas balok

$$\delta = \delta_1 + \delta_2 = \frac{q \cdot l^4}{8 \cdot E \cdot I} + \frac{F \cdot l^3}{3 \cdot E \cdot I} = \frac{3 \cdot b \cdot h \cdot \gamma \cdot l^4 + 8 \cdot (W + W_h) \cdot l^3}{24 \cdot E \cdot I} \quad (5)$$

Dengan memberikan simpangan tertentu pada ujung bebas balok, dapat diperoleh setara nilai gaya berat beban terpusat yang dikenakan pada ujung bebas tersebut, yaitu

$$F_t = \delta - \left\{ \delta - \frac{b \cdot h \cdot \gamma \cdot l^4}{8 \cdot E \cdot I} \right\} \cdot \frac{3 \cdot E \cdot I}{l^3} - W_h \text{ (lbf)} \quad (6)$$

### tegangan dan regangan

Menurut teori klasik balok (Higdon, 1985), besar tegangan normal yang terjadi pada titik A yang berjarak  $x$  (in) dari titik pembebanan seperti ditunjukkan pada Gambar 1 dinyatakan oleh

$$\sigma_{xx} = \frac{M_x \cdot y}{I} \text{ (psi);} \quad I = (1/12) b h^3 \text{ (in}^4\text{)} \quad (7)$$

dengan  $M_x$  = momen yang terjadi pada titik itu (lbf.in),  $y$  = jarak serat dari sumbu netral (in),  $I$  = inersia penampang lintang balok.

Persamaan (7) menunjukkan bahwa tegangan normal berdistribusi secara linier sepanjang tinggi balok. Besar tegangan normal di sepanjang sumbu netral adalah nol, sedangkan pada serat di permukaan atas dan bawah berturut-turut terjadi tegangan tarik dan tekan atau desak maksimum. Karena *strain gage* dipasang pada permukaan atas dan bawah balok, maka harga  $y = \pm h$ . Besar momen yang terjadi di titik A adalah

$$M_x = (1/2) q x^2 + F x \text{ (lbf.in)} \quad (8)$$

dengan  $q$  = besar beban terbagi rata yaitu gaya berat balok persatuan panjang (lbf/in),  $F$  = beban terpusat yaitu gaya berat anak timbangan dan pengaitnya (lbf).

Persamaan (8) menyatakan bahwa besar momen di sepanjang sumbu  $x$  horizontal bervariasi secara parabolik tergantung pada jaraknya dari ujung bebas. Sehingga besar tegangan dan regangan yang terjadi pada titik pemasangan *strain gage* dinyatakan oleh

$$\sigma_{xx} = \frac{\{(1/2) \cdot q \cdot x^2 + F_t \cdot x\} \cdot y}{I} \text{ (psi);} \quad \epsilon_{xx} = \frac{\sigma_{xx}}{E} = \frac{\{(1/2) \cdot q \cdot x^2 + F_t \cdot x\} \cdot y}{E \cdot I} \quad (9)$$

dengan  $E$  = modulus elastisitas Young (psi).

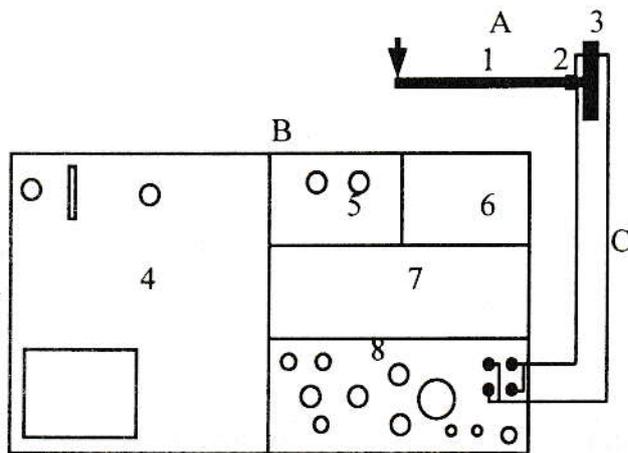
## C. METODE PENELITIAN

### spesimen

Spesimen dibuat dari baja konstruksi berukuran 16,5" x 1,5" x 0,25" atau 419 (mm) x 38 (mm) x 6,35 (mm). Sedangkan sifat bahan tersebut secara teoritis adalah modulus Young  $E = 2.10^5$  (MPa) dan massa jenis  $\rho = 7,83.10^{-6}$  (kg/mm<sup>3</sup>) (Dowling, 13).

### Peralatan Dan Rangkaiannya

Sebagai beban digunakan anak timbangan dengan massa 1 (lb), 2 (lb), 3 (lb), 5 (lb) dan 10 (lb) yang diletakkan pada pengait beban yang digantungkan dekat ujung bebas balok. Berat pengait beban juga diperhitungkan dalam menghitung besar regangan. Sebagai alat pengindera (*sensing device*) digunakan *strain gage* yang telah teruji keandalan dan kecermatannya sebagai alat pengindera baik untuk sinyal regangan statis (Sudarisman, 1997) maupun untuk sinyal regangan yang tidak statis (Sudarisman, 1999).

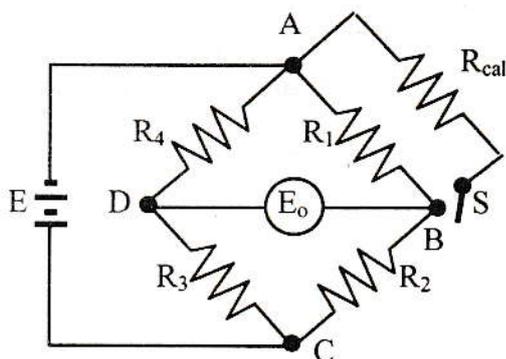


- A. Spesimen dan kelengkapannya:
1. Balok baja
  2. Dua buah *strain gage*
  3. Tumpuan jepit.
- B. Penguat dan perekam 'SANBORN'
4. Panel *output* dan operasi
  5. Panel selektor.
  6. Panel penguat muka DC
  7. Panel penguat DC
  8. Panel kalibrasi.
- C. Kawat penghantar.

Gambar 2. Rangkaian Peralatan

Dalam penelitian ini digunakan dua *strain gage* dengan faktor *gage*,  $F_g = 2,07$ , yang masing-masing dipasang pada permukaan atas dan permukaan bawah dari spesimen. Sedangkan sebagai alat penguat dan perekam data digunakan penguat dan perekam 'SANBORN'. Rangkaian dan bagian-bagian pentingnya ditunjukkan pada Gambar 2.

### Kalibrasi Rangkaian



- $R_1$  = *strain gage* pada permukaan atas  
 $R_2$  = *strain gage* pada permukaan bawah  
 $R_3$  dan  $R_4$  = separuh jembatan Wheatstone  
 $R_{cal}$  = resistor kalibrasi  
 $S$  = saklar kalibrasi  
 $E_o$  = tegangan output  
 $E$  = sumber arus DC

Gambar 3. Rangkaian Transduser Mesin 'SANBORN'

Gambar di atas menunjukkan rangkaian jembatan Wheatstone yang digunakan pada mesin SANBORN. Besar regangan yang terjadi dapat dihitung berdasar pada nilai faktor kalibrasi yang harus dihitung terlebih dahulu. Dally, Riley dan McConnel (1993) menyatakan bahwa besarnya faktor *gage* adalah

$$F_g = \frac{\Delta R_{AB} / R_{AB}}{\epsilon} \quad (10)$$

dengan  $\Delta R_{AB}$  = perubahan tahanan resistor AB ( $\Omega$ ),  $R_{AB}$  = tahanan resistor AB ( $\Omega$ ),  $\epsilon$  = regangan yang terjadi pada balok ( $\mu\epsilon$ ).

Dalam keadaan tanpa beban dan saklar S terputus, jembatan Wheatstone di set pada keadaan setimbang dan diambil osilografnya. Kemudian saklar S dihubungkan sehingga akan terjadi perubahan

besar tahanan antara titik-titik A dan B, lalu diambil pula asilografnya. Bila besar perubahan tahanan antara titik-titik A dan B sebesar  $\Delta R_c$ , maka dari persamaan (10) akan diperoleh setara regangan sebesar

$$\varepsilon_c = \frac{\Delta R_c / R_{AB}}{F_g} \quad \text{dengan} \quad \Delta R_c = R_1 - \frac{R_1 \cdot R_{cal}}{R_1 + R_{cal}} \quad (11)$$

Apabila jarak garis osilograf antara posisi saklar S terputus dan terhubung sebesar  $h_c$  (mm), maka besarnya faktor kalibrasi adalah

$$C = \frac{\Delta R_c / R_{AB}}{h_c \cdot F_g} \times 10^6 \quad (\mu\epsilon/\text{mm}) \quad (12)$$

dengan  $C$  = faktor kalibrasi ( $\mu\epsilon/\text{mm}$ ),  $h_c$  = simpangan garis osilograf (mm)

Persamaan (9.b) menunjukkan bahwa untuk balok tertentu dan letak pemasangan *strain gage* tertentu, besaran-besarnya merupakan konstanta kecuali besar beban,  $F$ . Dengan perkataan lain, bahwa besar regangan yang terjadi merupakan fungsi linier dari besar beban yang diberikan. Oleh karena itu, linieritas respon instrumentasi pengukurannya haruslah terpercaya. Untuk itu diambil data regangan statis akibat beberapa variasi besar beban statis dengan cara memutus hubungan saklar S dan mengambil osilografnya. Data tersebut kemudian secara statistik diuji linieritas hubungannya dengan perubahan besar beban.

Hubungan linier antara besar regangan dengan besar beban dapat direpresentasikan oleh persamaan garis regresi sederhana

$$\varepsilon_{xx} = a + b \cdot F \quad (13)$$

dengan  $\varepsilon_{xx}$  = besar regangan normal ( $\mu\epsilon$ ),  $a$  dan  $b$  = konstanta,  $F$  = besar beban (lb).

Besarnya konstanta-konstanta  $a$  dan  $b$  diberikan oleh persamaan-persamaan (Sudjana, 1983: 7; dengan penyesuaian notasi)

$$a = \frac{\sum(\varepsilon_{xx}) \cdot \sum(F^2) - \sum(F) \cdot \sum(F \cdot \varepsilon_{xx})}{n \cdot \sum(F^2) - (\sum F)^2} \quad (14)$$

$$b = \frac{n \cdot \sum(F \cdot \varepsilon_{xx}) - \sum(F) \cdot \sum(\varepsilon_{xx})}{n \cdot \sum(F^2) - (\sum F)^2}$$

dengan  $n$  = cacah kasus atau cacah pasangan data, dan  $k$  = cacah kelompok data.

Ringkasan analisis regresinya disajikan pada Tabel I. Regresi beban  $F$  atas regangan normal  $\varepsilon_{xx}$  signifikan dan linier apabila berturut-turut

$$F_{t(1-\alpha), (db_1, db_2)} \leq F_{reg}; \quad F_{t(1-\alpha), (db_1, db_2)} \leq F_{lin} \quad (15)$$

dengan  $\alpha$  = taraf signifikansi (diambil 1%),  $db_1$  = derajat kebebasan pembilang,  $db_2$  = derajat kebebasan penyebut.

Tabel I. Ringkasan Analisis Regresi

Sumber Variasi, db	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Rerata	F
Total, n	$\Sigma (\epsilon_{xx-i})^2$	$\Sigma (\epsilon_{xx-i})^2$	-
Regresi(F), 1	$SS(F) = \frac{\Sigma (\epsilon_{xx-i})^2}{n}$	$S(F) = \frac{\Sigma (\epsilon_{xx-i})^2}{n}$	$F_{reg} = \frac{s_{reg}^2}{s_{res}^2}$
Regresi(F/ε), 1	$SS(Reg) = b \cdot \left[ \Sigma (F_i \cdot \epsilon_{xx-i}) - \frac{\Sigma (F_i) \cdot \Sigma (\epsilon_{xx-i})}{n} \right]$	$s_{reg}^2 = SS(Reg)$	
Sisa, n-2	$SS(Res) = \Sigma (\epsilon_{xx-i})^2 - SS(Reg) - SS(F)$	$s_{res}^2 = \frac{SS(Res)}{n-2}$	
Kesalahan, n-k	$SS(E) = \sum_i^k \left[ \Sigma (\epsilon_{xx-i})^2 - \frac{(\Sigma \epsilon_{xx-i})^2}{n_i} \right]$	$s_E^2 = \frac{SS(E)}{n-k}$	$F_{lin} = \frac{s_{Fit}^2}{s_E^2}$
Suaian, k-2	$SS(Fit) = SS(Res) - SS(E)$	$s_{Fit}^2 = \frac{SS(Fit)}{k-2}$	

Selanjutnya, besar harga koefisien korelasi, R, antara besar beban F dengan besar regangan normal  $\epsilon_{xx}$  dinyatakan oleh persamaan

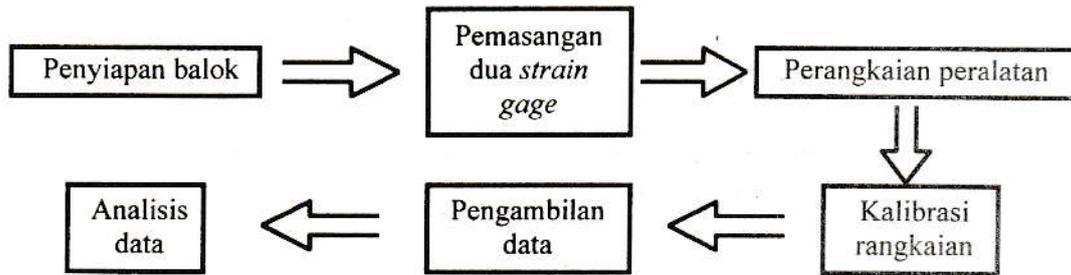
$$R^2 = \frac{b \cdot \{n \cdot \Sigma (F_i \cdot \epsilon_{xx-i}) - \Sigma (F_i) \cdot \Sigma (\epsilon_{xx-i})\}}{n \cdot \Sigma (\epsilon_{xx-i})^2 - \Sigma (\epsilon_{xx-i})^2} \quad (16)$$

### Pengambilan Data

Setelah rangkaian dikalibrasi, penggantung beban dipasang, jembatan Wheatstone disetimbangkan untuk menghilangkan pengaruh berat penggantung beban terhadap regangan yang akan diukur, dan waktunya diset pada skala tertentu serta posisi jarum osilografnya direkam pada kertas perekam yang terumpun secara otomatis. Selanjutnya pada penggantung beban ditaruh beban, dan besar simpangan jarum osilografnya untuk besar beban berturut-turut 1, 2, 3, 4, 5, 7 dan 10 (lb), dan besar simpangan jarum osilograf masing-masingnya direkam. Dengan demikian akan diperoleh beberapa osilograf untuk beberapa besar beban statis. Langkah berikutnya, untuk masing-masing besar beban berturut-turut 0, 1, 2, 3, 4, 5, 7 dan 10 (lb), ujung balok diberi simpangan tertentu dan dibiarkan bergetar bebas serta simpangan jarum osilografnya direkam. Dengan cara ini akan diperoleh besar regangan dinamis untuk beberapa besar beban tersebut.

### Alur Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan prosedur seperti pada Gambar 4 di bawah.



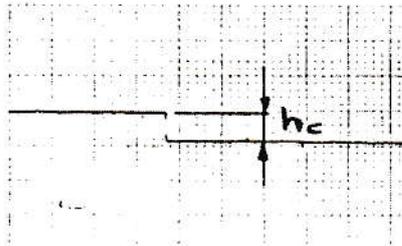
Gambar 4. Diagram Alur Prosedur Penelitian

**D, HASIL DAN PEMBAHASAN**

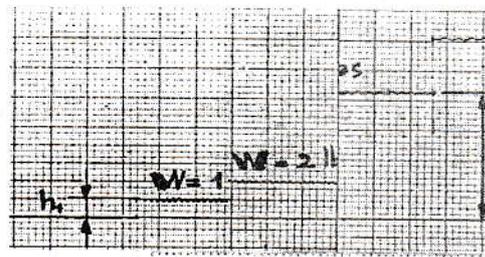
**Deskripsi Data**

**Kalibrasi Rangkaian**

Pada Gambar 3, ketika saklar S terhubung, maka salah satu strain gage,  $R_1$ , akan terangkai paralel dengan  $R_{cal}$ . Dalam penelitian ini nilai resistor  $R_1$ ,  $R_2$  dan  $R_{cal}$  berturut-turut adalah  $120\Omega$ ,  $20\Omega$ , dan  $10M\Omega$ , sehingga dari persamaan (11) akan didapat  $\Delta R_c = 0,0144\Omega$ . Data empirik didapat dari rekaman sinyal regangan balok dalam keadaan tanpa beban ketika saklar S tidak terhubung dan terhubung, yakni Gambar 5,  $h_c = 4$  (mm).



Gambar 5. Sinyal Kalibrasi



Gambar 6. Contoh Sinyal Regangan Statis

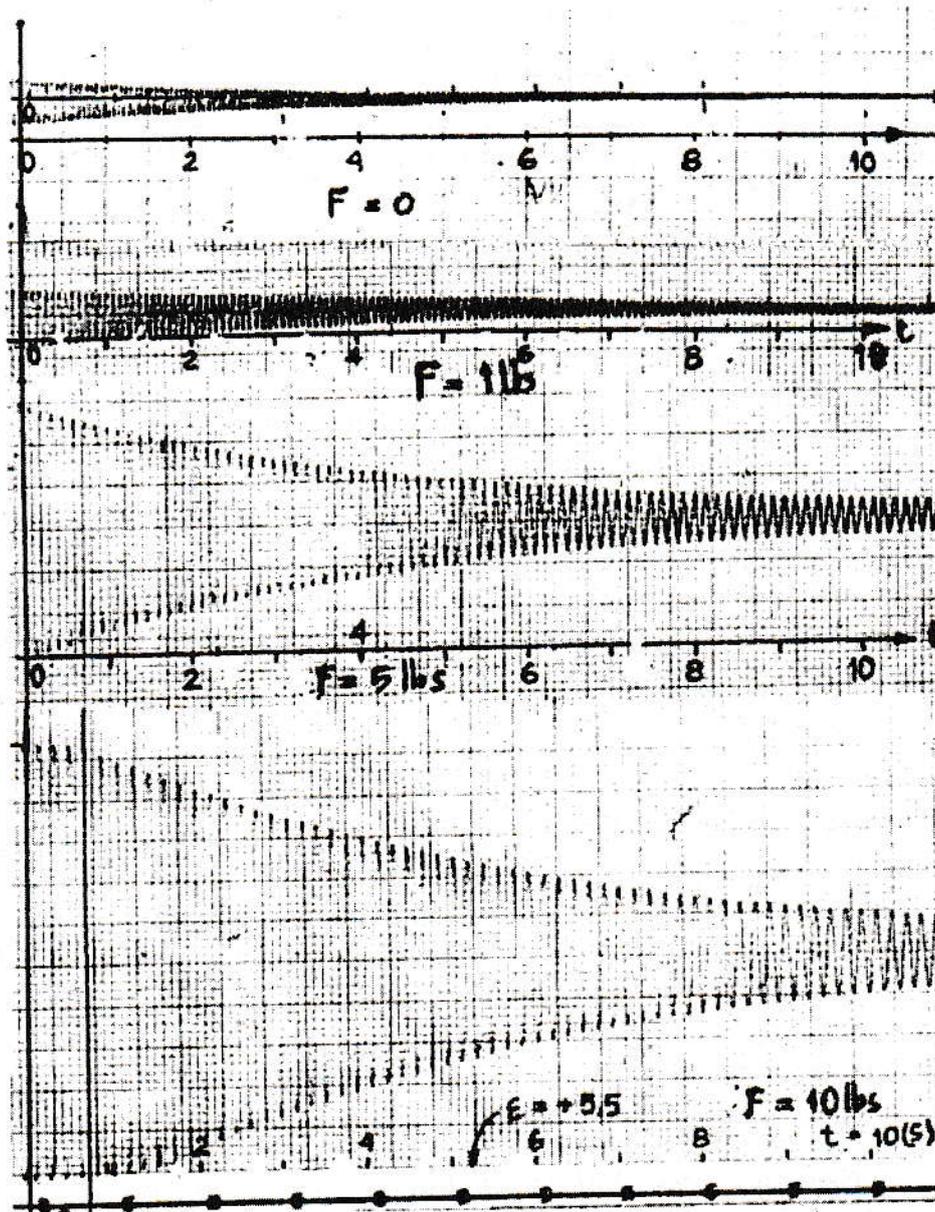
Dengan demikian, perubahan resistansi  $\Delta R_c = 0,0144\Omega$  dinyatakan oleh pergeseran sinyal regangan  $h_c = 4$  (mm). Dengan faktor gage sebesar 2,07 akan diperoleh nilai konstanta kalibrasi menurut persamaan (12) sebesar  $C = 14,493$  ( $\mu\epsilon/mm$ ).

Persamaan (9) menyatakan bahwa respon sinyal adalah linier terhadap perubahan besar beban terpusat, maka garis nol sinyal diset ketika balok telah dibebani dengan penggantung beban. Respon yang diperoleh seperti pada Gambar 6. Dari pengukuran dan penghitungan diperoleh data seperti pada Tabel II.

**Tabel II.** Regangan Statis pada Variasi Besar Beban

$F_t$ (lb)	$h$ (mm)	$\epsilon$ ( $\mu m$ )	$F_t$ (lb)	$h$ (mm)	$\epsilon$ ( $\mu m$ )	$F_t$ (lb)	$h$ (mm)	$\epsilon$ ( $\mu m$ )	$F_t$ (lb)	$h$ (mm)	$\epsilon$ ( $\mu m$ )
0	0	0	2	6,1	88,4	4	12,3	178,3	7	21,4	310,2
1	3	43,5	3	9,2	133,3	5	15,1	218,8	10	30,6	443,5

## Frekuensi Getaran Regangan Dinamis



Gambar 7. Contoh Sinyal Regangan Dinamis

Dari persamaan-persamaan (3) dan (4), dengan  $E = 2,9 \times 10^7$  (psi),  $\gamma = 0,284$  (lbf/in<sup>3</sup>) untuk baja struktur (Higdon, *et al.*, 1985),  $L = 16$  (in),  $l = 16,5$  (in),  $b = 1,5$  (in),  $h = 0,25$  (in), serta  $F_h = 0,8$  (lbf) dan  $g = 32,174 \times 12$  (in/s<sup>2</sup>) akan diperoleh  $I = 1,953 \times 10^{-3}$  (in<sup>4</sup>) dan  $m = 4,551 \times 10^{-3}$  (lbf) serta massa total,  $M$ , seperti pada kolom 2 Tabel III.

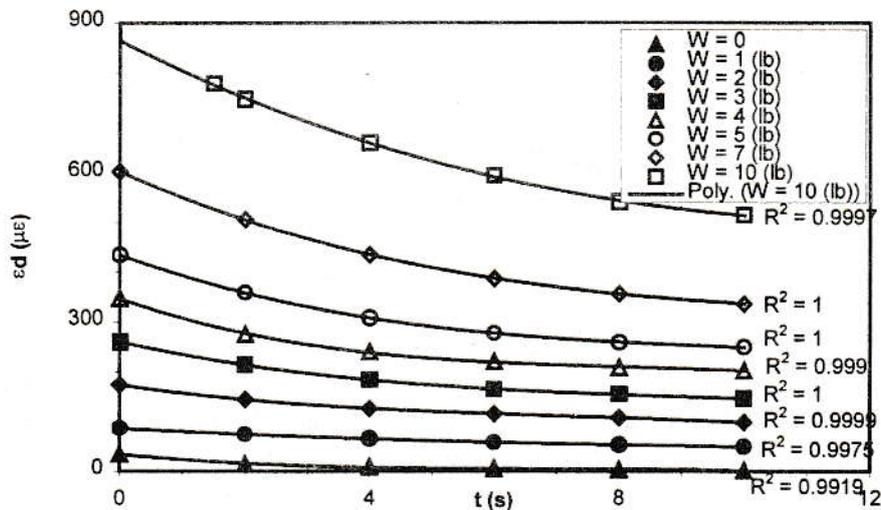
Dengan substitusi harga-harga  $E$ ,  $I$ ,  $M$ ,  $L$ ,  $m$  dan  $l$  ke persamaan (2) akan diperoleh harga-harga frekuensi natural teoritis getaran seperti pada kolom 3. Dan dengan cara menghitung cacah pulsa untuk selang waktu tertentu pada osilograf akan diperoleh harga-harga frekuensi natural eksperimen seperti pada kolom 4.

Tabel III. Frekuensi Natural Teoritis dan Eksperimen

Beban Terpusat		Frekuensi Natural		$\frac{f_i - f_e}{f_i} \times 100\%$
F (lbf)	M (lbm.s <sup>2</sup> /in)	f <sub>i</sub>	f <sub>e</sub>	(%)
(1)	2)	(3)	(4)	(5)
0	0,002072	18,064	16,80	6,997
1	0,004662	13,448	12,80	4,819
2	0,007252	11,184	10,53	5,848
3	0,009842	9,778	9,14	6,525
4	0,012430	8,796	8,08	8,140
5	0,015020	8,061	7,57	6,091
7	0,020200	7,015	6,52	7,056
10	0,027970	6,007	5,55	7,691

### Regangan Dinamis

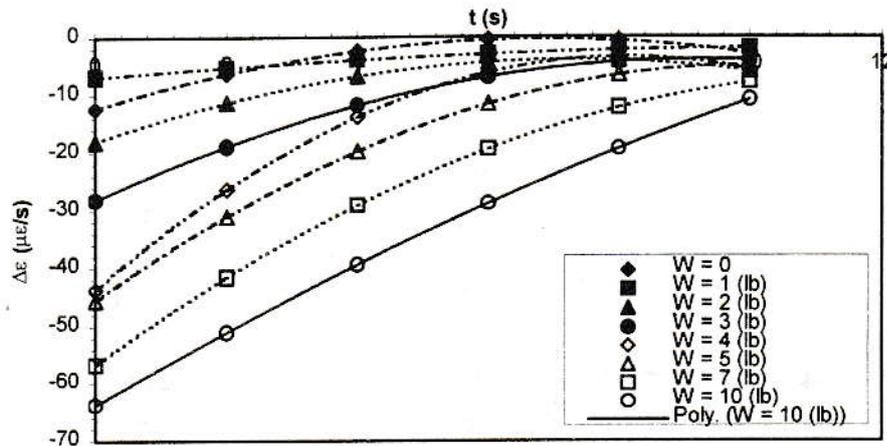
Dengan mengukur amplitudo pada titik maksimum dari osilograf Gambar 7, dan memperhatikan konstanta kalibrasi akhirnya didapat besar regangan dinamis untuk beberapa variasi besar beban dan beberapa saat pengamatan, seperti yang tersaji pada grafik Gambar 8 berikut.



Gambar 8. Regangan Dinamis

### Laju Peluruhan Regangan (Decay Rate of Strain)

Laju peluruhan regangan dapat didefinisikan sebagai perubahan besar regangan per satuan waktu, yang ditunjukkan oleh besar lereng atau *slope* untuk titik waktu tertentu pada grafik regangan dinamis. Dengan pengukuran pada grafik Gambar 8 diperoleh harga-harga peluruhan regangan pada saat-saat pengamatan, yang disajikan pada Gambar 9.

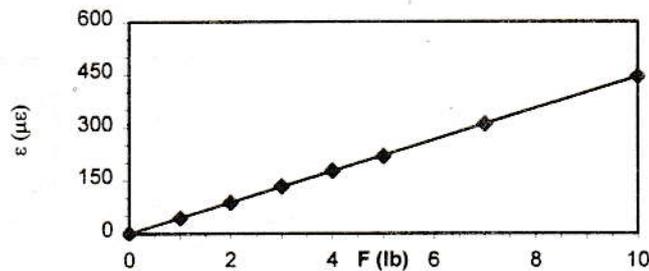


Gambar 9. Peluruhan Regangan

### Analisis dan Pembahasan

#### Kalibrasi Rangkaian Instrumentasi

Pola hubungan antara perubahan besar beban dengan respon peralatan ukur divisualisasikan dalam bentuk grafik pada gambar di bawah.

Gambar 10. Grafik F- $\epsilon_s$ 

Dari analisis regresi respon instrumentasi pengukuran terhadap besar beban statis diperoleh persamaan garis regresi linier sederhana  $\epsilon = -0,3579 + 44,3395 F$ . Sedangkan analisis varian menunjukkan bahwa untuk uji signifikansi garis regresi diperoleh harga distribusi persentil  $F_{reg} = 36,0474$ . Dari tabel distribusi persentil F untuk  $d_{b1} = 1$ ,  $d_{b2} = 6$  dan taraf kepercayaan 99 persen, diperoleh  $F_{t(0,99, (1,6))} = 13,74$ . Menurut kriteria persamaan (15) regresi regangan atas beban adalah signifikan pada taraf kepercayaan 99 persen yang ditunjukkan oleh  $F_{reg} > F_{t(0,99, (1,6))}$  yaitu  $36,0474 > 13,74$ .

Untuk linieritas garis regresi diperoleh distribusi persentil  $F_{lin} = \infty$ . Dari tabel distribus persentil F untuk  $d_{b1} = 6$ ,  $d_{b2} = 0$ , dan taraf kepercayaan 99 persen,  $F_{t(0,99, (6,0))}$  tidak diperoleh. Menurut kriteria yang diberikan pada persamaan (15) regresi regangan atas beban adalah linier pada taraf kepercayaan 99 persen, karena bilangan yang ada dalam tabel tersebut tidak akan mencapai  $\infty$ .

#### Frekuensi Gelombang Regangan Dinamis

Tabel III menunjukkan terdapat perbedaan frekuensi natural menurut prediksi teori dengan yang diperoleh dari eksperimen. Selisih tersebut, kolom (5), berkisar antara 4,819 persen untuk  $W = 1$  (lb), sampai dengan 8,140 persen untuk  $W = 4$  (lb). Hal ini diduga kuat disebabkan oleh hambatan udara yang berfungsi sebagai *damping*. Kemungkinan lain adalah karena pengaruh kondisi termal, mekanis dan

elektris di sekitar tempat pengujian. Ketiga kondisi terakhir ini akan dapat mempengaruhi nilai resistansi dan koefisien muai linier alat pengindra, pemrosesan sinyal dan data output.

### **Regangan Dinamis**

Gambar 8 yang diproses dengan program Excel menunjukkan bahwa hubungan antara besar gelombang regangan dengan waktu untuk semua variasi besar beban adalah dalam bentuk polinomial derajat tiga. Persamaan-persamaan tersebut kecermatannya yang sangat tinggi yang dinyatakan oleh harga-harga *least squares* yang sangat dekat dengan satu.

### **Peluruhan Regangan Dinamis**

Peluruhan regangan memiliki pola kuadratik terhadap waktu yang besar pada awal pembebanan dan peluruhan tersebut mengecil seiring dengan bertambahnya waktu. Hal lain yang ditunjukkan oleh grafik tersebut adalah bahwa antar variasi besar beban tidak terdapat pola keterkaitan tertentu. Hal ini mungkin terjadi karena sebab-sebab sebagaimana yang telah dikemukakan pada pembahasan tentang terjadinya simpangan harga frekuensi getaran natural teortik dengan eksperimen. Namun peneliti menduga hal ini lebih disebabkan oleh pola simpangan total setara dua kali simpangan akibat beban statis yang tidak tepat. Untuk itu perlu dikaji lebih lanjut pola simpangan total setara beban statis tertentu sehingga juga akan diperoleh pola keterkaitan antara besar beban dengan pola peluruhan regangan.

## **E. PENUTUP**

### **Kesimpulan**

Dari uraian dan pembahasan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Instrumentasi yang digunakan memberikan respon yang sangat linier regangan yang terjadi akibat adanya perubahan besar beban.
2. Frekuensi natural getaran sangat tergantung pada besar beban. Makin besar beban, maka frekuensinya juga makin tinggi walupun simpangannya juga makin besar.
3. Regangan statis yang terjadi berbanding lurus dengan besar beban yang diberikan. Hal ini ditunjukkan oleh hasil pengujian linieritas dan signifikansi regresi.
4. Besar regangan dinamis menurun seiring dengan bertambahnya waktu. Terdapat pola keterkaitan tertentu antar variasi besar beban.
5. Laju peluruhan regangan juga menurun seiring dengan bertambahnya waktu. Namun demikian, antar variasi besar beban tidak diperoleh pola hubungan tertentu.

### **Diskusi**

Sehubungan dengan kesimpulan yang kelima di atas, hal itu dapat disebabkan oleh beberapa faktor yang tidak terkontrol dengan saksama antara lain:

1. Kondisi sekeliling tempat pelaksanaan eksperimen, baik termal, mekanis maupun elektrik yang dapat mempengaruhi kinerja penginderaan dan pengolahan sinyalnya.
2. Pola pemberian simpangan awal yang tidak tepat pada setiap perubahan besar beban.

**Saran**

1. Diperlukan kajian lebih lanjut tentang pola peluruhan regangan dinamis yang terjadi untuk pemberian besar beban statis tertentu.
2. Diperlukan kajian lebih lanjut untuk mencari pola keterkaitan antara besar beban statis dengan simpangan awal yang seharusnya diberikan untuk memperoleh pola keterkaitan antar pola peluruhan regangan pada berbagai variasi besar beban.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Dally, J.W. dan Riley, F.W., 1988. *Experimental Stress Analysis*. McGraw-Hill, New York.
- Dally, J.W., Riley, F.W. dan McConnel, K.G., 1993. *Instrumentation for Engineering Measurement*. John Wiley and Sons, New York.
- Dowling, N.E., 1993. *Mechanical Behavior of Materials*. Prentice Hall, Englewood Cliff.
- Harris, C.M., 1988. *Schock and Vibration Handbook, 7-4*. McGraw-Hill, New York.
- Higdon, A., et. all., 1985. *Mechanics of Materials*. John Wiley and Sons, New York.
- Shigley, J.E. dan Mischke, C.R., 1989. *Mechanical Engineering Design*. McGraw-Hill, New Delhi.
- Sudarisman dan D. Liu. 1995. SEM's 1995 Conference Proceedings: *Photoelastic Study on Fully Stressed Orthotropic Beams*. SEM, Bethel.