

## **ANALISIS JUMLAH SIKLUS LELAH TERHADAP KEKUATAN *BUCKLING* MATERIAL**

**Sufiyanto\***

### **Abstrak**

Secara umum komponen yang mendapat beban dinamik akan lebih mudah mengalami kegagalan dibandingkan dengan komponen yang mendapat beban statik. Kegagalan akibat beban dinamik dikenal dengan istilah kegagalan lelah (*fatigue failures*), yang diawali dengan adanya retak lelah yang terus bertambah luas seiring dengan makin bertambahnya lama waktu pembebanan, dengan adanya retak lelah tersebut tentunya sisa luasan penampang yang menahan beban akan semakin berkurang sampai pada akhirnya luasan yang tersisa untuk menahan beban tidak mampu lagi menahan beban sampai akhirnya patah.

Tujuan penelitian ini adalah mengetahui sejauh mana pengaruh jumlah siklus lelah yang menyebabkan terjadinya retak lelah terhadap kekuatan tekuk suatu bahan. Proses pengujian yang pertama dilakukan adalah uji kekerasan, kemudian uji kelelahan (*fatig*), dan yang terakhir adalah uji tekuk. Proses pengambilan data dengan cara mencatat besarnya defleksi dari suatu poros yang terlebih dulu dikenai perlakuan *fatig* yang berbeda, dimana sebagai parameter uji kelelahan adalah perbedaan jumlah siklus kelelahan.

Dari penelitian ini dapatlah disimpulkan bahwa dengan semakin bertambahnya lama waktu siklus *fatig*, simpangan yang dihasilkan juga semakin besar, hal ini disebabkan karena luasan yang tersisa untuk menahan beban tekuk semakin berkurang karena adanya retak lelah, dengan semakin besarnya simpangan menunjukkan bahwa logam semakin lemah.

*Kata kunci* : *Siklus fatig, retak lelah, defleksi buckling.*

### **PENDAHULUAN**

Beban dinamis mempunyai pengaruh pada kekuatan lelah satu komponen sehingga menentukan umur dari suatu komponen. Sehingga pada perancangan suatu komponen harus mempertimbangkan kekuatan lelah dari komponen-komponen yang mengalami beban dinamis.

Umur suatu komponen dapat dinyatakan dengan jumlah siklus yang dapat dicapai sampai komponen tersebut mengalami kegagalan atau patah. Kegagalan lelah ditandai dengan putusnya komponen tersebut secara tiba-tiba tanpa disertai terjadinya deformasi. Untuk mengetahui pengaruh jumlah siklus yang telah dialami oleh suatu komponen terhadap kekuatannya maka dilakukan penelitian tentang “Analisis Jumlah Siklus Lelah Terhadap Kekuatan *Buckling* Material ST 42”

### **KAJIAN PUSTAKA**

Komponen mesin dikatakan gagal atau mengalami kegagalan jika komponen mesin tersebut menunjukkan gejala tidak mampu lagi melakukan fungsinya dengan baik. Kegagalan komponen mesin dapat disebabkan oleh beban statik maupun beban dinamik yang bekerja pada komponen tersebut. Komponen yang mengalami pembebanan dinamis dapat mengalami kegagalan walaupun tegangan kerja yang diterima jauh lebih kecil dari batas kekuatan ijin material.

Dalam analisa kekuatan lelah dikenal istilah:

1. Kekuatan lelah (  $S_n$  ), yaitu kekuatan maksimum suatu material yang akan mengalami kegagalan dalam siklus tertentu.

---

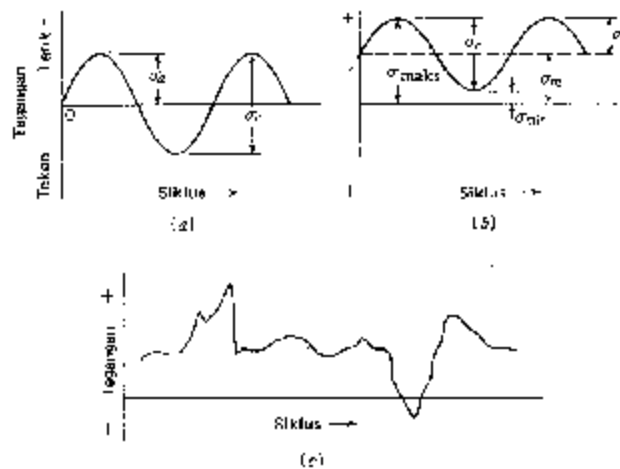
\* Dosen Jurusan Mesin Fak. Teknik Univ. Merdeka Malang

2. *Limit Fatig* ( $S_n$ ), batas tegangan maksimum dimana suatu material tidak akan gagal tanpa memperhatikan jumlah siklusnya.

Dalam perancangan suatu komponen atau elemen mesin tidak boleh melebihi “*Limit Fatig*” misal limit fatig baja dengan siklus  $10^6$ - $10^7$ , besi tuang pada siklus  $10^7$ - $10^8$ , dan alumunium dengan limit fatig pada siklus  $10^8$ . Untuk perancangan yang mana seringkali menghindari adanya hal tersebut diatas, maka digunakan perancangan berdasarkan kurva S – N.

### Siklus Tegangan

Gambar 1 menggambarkan jenis-jenis siklus tegangan yang dapat menyebabkan kelelahan. Gambar 1a menggambarkan suatu siklus sinusoidal yang dihasilkan mesin uji fatig balok putar R.R Moore dengan putaran poros konstan. Untuk siklus tegangan tipe demikian, tegangan maksimum dan minimum adalah sama besar. Tegangan tarik dianggap positif dan tegangan tekan dianggap negatif. Gambar 1b menggambarkan siklus tegangan berulang, dengan tegangan maksimum  $S_{maks}$  dan tegangan minimum  $S_{min}$  tidak sama dimana keduanya adalah tegangan tarik. Gambar 1c menggambarkan suatu siklus tegangan yang rumit, yang mungkin terdapat pada suatu bagian tertentu, seperti pada sayap pesawat yang menerima beban berlebih periodik yang tak terduga besarnya disebabkan oleh hembusan angin yang besar.

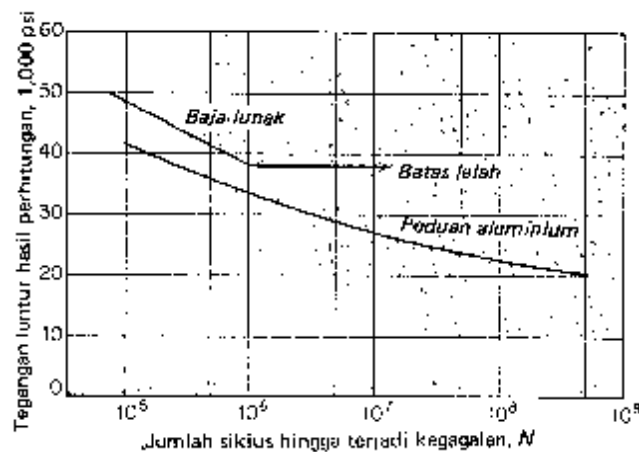


**Gambar 1: Siklus Tegangan Lelah**

(a) tegangan bolak-balik (b) tegangan berulang (c) tegangan acak atau tak teratur

### Kurva S - N

Metode dasar dalam penyajian data kelelahan rekayasa adalah menggunakan kurva S–N, yaitu pemetaan tegangan S terhadap jumlah siklus hingga terjadi kelelahan N. Tegangan yang dipetakan dapat berupa  $\sigma_a$ ,  $\sigma_{max}$ , atau  $\sigma_{min}$



**Gambar 2. Kurva kelelahan untuk logam besi dan bukan besi**

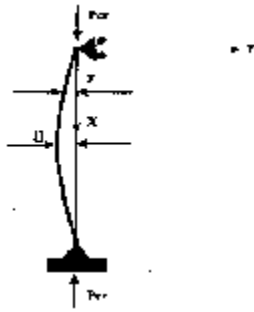
Dari kurva diatas dapat disimpulkan bahwa jumlah siklus logamnya dapat bertahan sebelum mengalami kelelahan jika tegangannya dibawah tegangan fatik. N adalah jumlah siklus tegangan yang menyebabkan terjadinya patah sempurna benda uji. Untuk beberapa bahan bahan teknik yang penting seperti baja dan titanium, kurva S – N untuk daerah tegangan batas tertentu berubah menjadi datar. Dibawah tegangan batas, yang dinamakan batas lelah atau batas ketahanan, nampaknya bahan tahan terhadap siklus pembebanan dengan jumlahnya tak hingga, tanpa terjadi kegagalan. Sebagian besar logam bukan besi seperti aluminium, magnesium dan paduan tidak mempunyai batas lelah yang sejati karena kurva S – N-nya tidak pernah horizontal.

**Tekuk (*Buckling*)**

Efek *buckling* terjadi pada sebuah kolom yang mendapat beban tekan dalam arah aksial terhadap sumbu batang. Beban aksial tersebut apabila sudah mencapai beban kritis dari kolom akan mengakibatkan defleksi lateral. Beban kritis adalah beban kerja terkecil yang diterima kolom sehingga terjadi defleksi lateral tersebut. Beban kritis nilainya lebih kecil dari beban yang dibutuhkan kolom untuk rusak akibat pecah.

Beban kritis suatu kolom besarnya berbanding lurus dengan momen inersia kolom, yang berarti semakin besar momen inersia penampang kolom maka beban kritisnya akan semakin besar. Beban kritis sebuah kolom juga dipengaruhi oleh kondisi tumpuan. Ada tiga alternatif kondisi tumpuan yang dapat terjadi pada suatu kolom, yaitu tumpuan engsel-engsel, jepit-jepit dan engsel-jepit. Beban kritis yangmapu diterima oleh kolom dapat ditentukan dengan menggunakan **rumus Euler**.

Rumus Euler dapat diturunkan dengan cara berikut berdasarkan gambar 3. Pada gambar dibawah, sebuah kolom mendapat beban tekan aksial sehingga kolom akan akan mengalami defleksi lateral (*d*) dan beban aksial tekan ini disebut dengan beban kritis / beban *buckling*.



**Gambar 3. Defleksi Lateral Kolom**

Dari ketiga kasus kondisi ujung tumpuan untuk kolom, maka dapat diperoleh besarnya beban kritis buckling sebagai berikut :

Untuk kondisi kedua ujung kolom engsel besarnya beban kritis kolom :

$$P_{\text{engsel-engsel}} = \frac{E.I.p^2}{L^2}$$

Untuk kondisi kedua ujung jepit, beban kritisnya :

$$P_{\text{jepit-jepit}} = 4 \cdot \frac{E.I.p^2}{L^2}$$

Sedangkan untuk kondisi ujung jepit engsel :

$$P_{\text{engsel-jepit}} = 2,04 \cdot \frac{E.I.p^2}{L^2}$$

dimana E : Modulus elastisitas bahan ( $\text{kg/mm}^2$ )

I : momen inersia penampang ( $\text{mm}^4$ )

L : panjang kolom (mm)

Karena rumus Euler untuk menentukan beban kritis kolom hanya berlaku apabila tegangan lentur yang terjadi selama terjadinya tekuk tidak melebihi batas tegangan proporsional bahan sehingga deformasi yang terjadi masih dalam batas elastis. Tegangan lentur yang terjadi pada kolom dapat diperoleh dengan menggantikan momen inersia penampang dari rumus Euler diatas dengan  $A.r^2$ , dimana A adalah luas penampang dan r adalah jari-jari girasi terkecil dari penampang. Tegangan lentur ini kemudian dinyatakan dengan tegangan kritis *buckling* sebagai berikut:

Untuk kondisi ujung engsel-engsel

$$\sigma_{\text{kritis buckling}} = \frac{P}{A} = \frac{p^2 E}{\left(\frac{L}{r}\right)^2}$$

Untuk kondisi ujung engsel-jepit

$$\sigma_{\text{kritis buckling}} = \frac{P}{A} = \frac{p^2 E}{\left(\frac{0,7L}{r}\right)^2} \approx \frac{2,05 p^2 E}{\left(\frac{L}{r}\right)^2}$$

Untuk kondisi ujung jepit-jepit

$$\sigma_{\text{kritis buckling}} = \frac{P}{A} = \frac{p^2 E}{\left(\frac{0,5.L}{r}\right)^2} \approx \frac{4.p^2 E}{\left(\frac{L}{r}\right)^2}$$

Disini  $P/A$  adalah tegangan rata rata yang terjadi pada kolom saat menerima beban kritis, dimana batasnya adalah tegangan proporsional bahan.

## METODOLOGI PENELITIAN

### Diagram alir penelitian



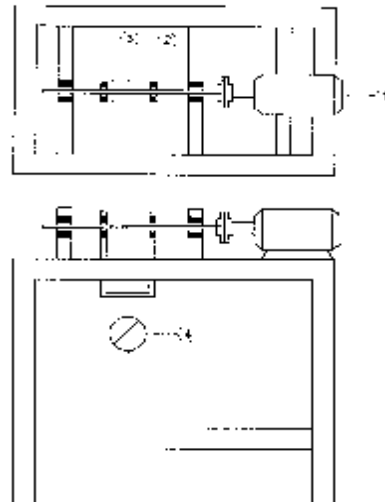
### Variablel Penelitian

Pada pengujian fatik digunakan variasi jumlah siklus pengujian pada spesimen yaitu siklus 2 jam, 3 jam dan 4 jam.

### Alat dan bahan yang digunakan

Adapun peralatan yang digunakan dalam pengujian ini antara lain :

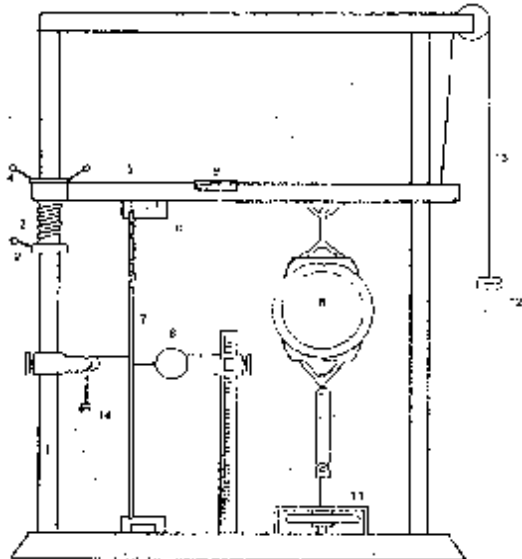
A. Alat uji fatig



1. Motor penggerak
2. Bantalan
3. Spesimen uji
4. Beban

**Gambar 4. Alat Uji Lelah**

**B. Alat uji buckling**



- |                        |                         |
|------------------------|-------------------------|
| 1. Kaki.               | 8. Jam ukur             |
| 2. Selongsong.         | 9. Water pas            |
| 3. Pegas               | 10. Alat ukur           |
| 4. Selongsong pengatur | 11. Roda tangan berulir |
| 5. Batang pembebanan   | 12. Pemberat            |
| 6. Tumpuan             | 13. Tali                |
| 7. batang uji          | 14. Pemberat            |

**Gambar 5. Alat Uji Tekuk (*Buckling*)**

**Analisis Data**

Kekuatan lelah teoritis bahan dapat ditentukan dengan rumus :

$$\sigma_n = C_1 \cdot C_D \cdot C_s \cdot \sigma_n' \left( \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} \right)$$

Dimana :

$$\sigma_n = \text{kekuatan lelah } \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_n' = \text{Kekuatan lelah spesimen } \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$$

$C_1$  = Faktor beban ( 0,75 – 1,0), diambil 0,9 karena tidak ada eksentrisitas

$C_D$  = faktor ukuran, untuk  $d \leq 0,4$  Inchi;  $C_D = 1,0$

$0,4 < d > 2,0$  inch;  $C_D = 0,9$

$C_s$  = factor kekasaran permukaan

$$\sigma_n = 0,5 \sigma_u \cdot (\text{Darmawan, 1996})$$

$$\sigma_n = 0,5 \cdot 49,25 = 24,625 \text{ kg/mm}^2$$

Sehingga kekutan lelahnya adalah;

$$S_n = 0,9 \cdot 1 \cdot 1,0 \cdot 24,625 \text{ kg/mm}^2 = 22,1625 \text{ kg/mm}^2$$

Berdasarkan jenis tumpuan pada ujungnya, besarnya beban kritis yang mampu diterima dengan modulus elastisitas  $E = 20,4 \cdot 10^3 \text{ kg/mm}^2$  (Timoshenko, 2000) dan  $I_p = \frac{p \cdot d^4}{32}$

$$\frac{3 \cdot 14 \cdot 7 \cdot 5^4 \text{ mm}}{32} = 310,4736 \text{ mm}^4 :$$

$$P_{cr \text{ jepit-jepit}} = 4 \cdot \frac{20,4 \cdot 10^3 \text{ kg/mm}^2 \cdot 310,4736 \text{ mm}^4 \cdot 3,14^2}{(526 \text{ mm})^2} = 902,8232 \text{ kg}$$

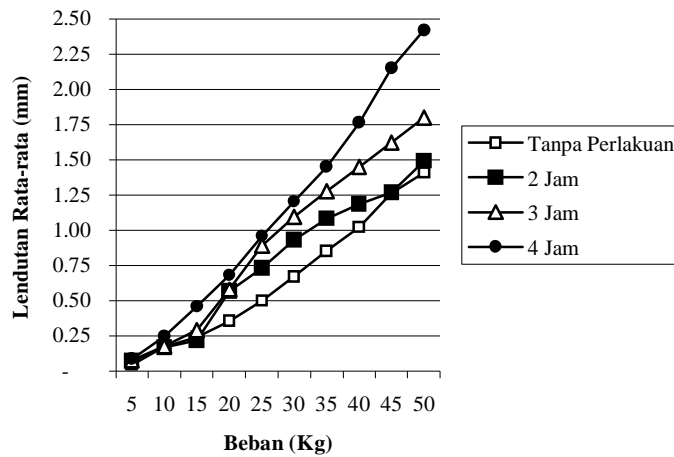
$$P_{cr \text{ engsel-jepit}} = 2,04 \cdot \frac{20,4 \cdot 10^3 \text{ kg/mm}^2 \cdot 310,4736 \text{ mm}^4 \cdot 3,14^2}{526 \text{ mm}^2} = 460,4398 \text{ kg}$$

$$P_{cr \text{ engsel-engsel}} = \frac{20,4 \cdot 10^3 \text{ kg/mm}^2 \cdot 310,4736 \text{ mm}^4 \cdot 3,14^2}{(526 \text{ mm})^2} = 225,7508 \text{ kg}$$

### Data Pengujian *Buckling*

Tabel 1. Data Defleksi Pengujian *Buckling*

No	Beban	Defleksi Rata-rata			
		Tanpa Perlakuan	2 Jam	3 Jam	4 Jam
1	5	0.05	0.07	0.08	0.09
2	10	0.17	0.17	0.18	0.25
3	15	0.24	0.22	0.29	0.46
4	20	0.36	0.57	0.58	0.68
5	25	0.50	0.73	0.89	0.96
6	30	0.67	0.93	1.09	1.20
7	35	0.85	1.08	1.28	1.45
8	40	1.02	1.19	1.45	1.77
9	45	1.27	1.27	1.62	2.15
10	50	1.41	1.49	1.80	2.42



**Grafik 1. Defleksi Yang Terjadi Pada Pengujian *Buckling***

Untuk menghitung momen yang terjadi pada batang uji digunakan rumus :

$$M = \frac{H}{2} \left( \frac{Le}{2} \right) + P.d \dots\dots\dots$$

Dimana H = Beban = 650 gr = 0,65 kg

P = Beban pengujian buckling = 5, 10, ..., 50 kg

Le = Panjang efektif spesimen = L/2 = 526 mm / 2 = 261mm

d = Simpangan (mm)

Jadi momen untuk spesimen tanpa pengujian fatik dengan d = 0,035mm

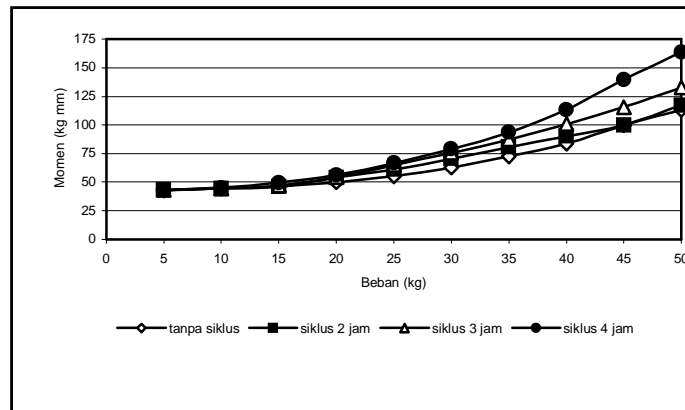
$$M = \frac{0,65kg}{2} \left( \frac{26mm}{2} \right) + 5kg \cdot 0,035mm = 42,963 \text{ kgmm}$$

dengan cara yang sama dapat ditabelkan sebagai berikut :

**Tabel 2. Momen Yang Terjadi Pada Setiap Pembebanan.**

M1 (kg mm)	M2 (kg mm)	M3 (kg.mm)	M4 (kg.mm)
42.96	43.09	43.12	43.17
44.43	44.38	44.50	45.20
46.38	45.96	47.08	49.63
49.87	54.07	54.33	56.33
55.23	61.03	64.98	66.66
62.83	70.63	75.52	78.82
72.59	80.64	87.43	93.48
83.65	90.13	100.7	113.41
99.75	99.88	115.63	139.62
113.13	117.38	132.73	163.73





**Grafik 2. Grafik Hubungan Momen Dengan Beban**

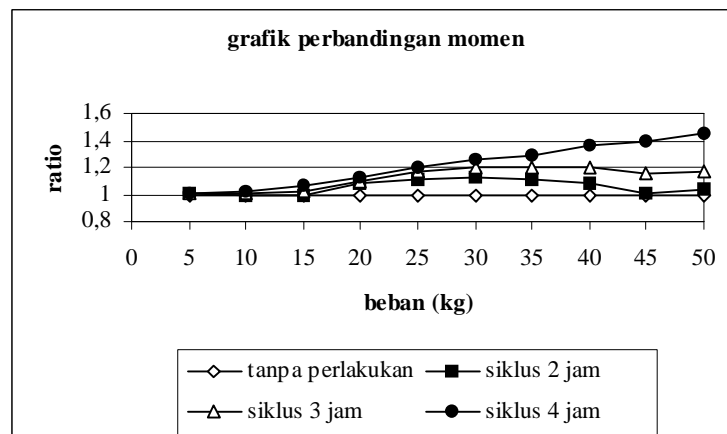
Pada saat menerima beban aksial tekan maka akan timbul tegangan tekan yang dapat ditentukan dengan persamaan  $\sigma = \frac{P}{A}$ . Akibat beban aksial tekan tersebut maka akan timbul momen yang

mengakibatkan kolom mengalami defleksi. Tegangan dan momen yang terjadi dipengaruhi oleh besarnya beban aksial tekan yang diterima oleh kolom, sehingga dapat diasumsikan bahwa perubahan momen yang terjadi juga menunjukkan perubahan tegangan yang terjadi pada kolom.

Hal ini berarti bahwa :  $\frac{M2}{M1} = \frac{s1}{s2}$

**Tabel 3. Perbandingan Momen**

M1/M1	M2/M1	M3/M1	M4/M1
1	1.00	1.00	1.00
1	0.99	1.00	1.01
1	0.99	1.01	1.07
1	1.08	1.08	1.12
1	1.10	1.17	1.24
1	1.12	1.20	1.25
1	1.11	1.20	1.28
1	1.07	1.20	1.35
1	1.00	1.15	1.39
1	1.03	1.17	1.44



**Grafik 3. Perbandingan Momen**

Pada pengujian fatik, spesimen akan mengalami perambatan retak sampai pada akhirnya luasan yang menahan beban yang bekerja semakin kecil sehingga tidak mampu lagi untuk menahan beban tersebut dan akhirnya terjadi patah. Dengan mengetahui nilai perbandingan tegangan yang terjadi, maka dapat ditentukan ukuran diameter kolom yang tersisa untuk menahan beban yang sedang bekerja.

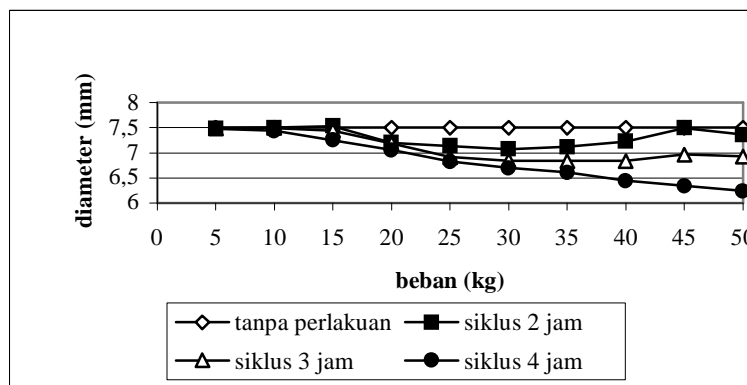
$$\frac{s_1}{s_2} = \frac{\frac{P}{4} d_1}{\frac{P}{4} d_2^2} \Rightarrow \frac{s_2}{s_1} = \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^2 \Rightarrow d_2 = \frac{d_1}{\sqrt{s_2}}$$

Sebagai contoh perhitungan,  $d_1$  adalah diameter awal dan  $d_2$  adalah diameter setelah mengalami jumlah siklus 2 jam dengan nilai  $\frac{s_2}{s_1} = 1,03$ , sehingga :  $d_2 = \frac{7,5mm}{\sqrt{1,03}} = 7,48 \text{ mm}$

dengan cara yang sama diperoleh :

**Tabel.4. Perubahan Diameter Spesimen Akibat Jumlah Siklus Fatik**

d1 (mm)	d2 (mm)	d3 (mm)	d4 (mm)
7.5	7.48	7.48	7.48
7.5	7.50	7.49	7.43
7.5	7.53	7.44	7.25
7.5	7.20	7.18	7.05
7.5	7.13	6.91	6.82
7.5	7.07	6.84	6.69
7.5	7.11	6.83	6.60
7.5	7.22	6.83	6.44
7.5	7.49	6.96	6.33
7.5	7.36	6.92	6.23



**Grafik 4. Grafik Perubahan Diameter Akibat Jumlah Siklus Fatik**

## PEMBAHASAN

Dari grafik 1 secara keseluruhan menunjukkan bahwa semakin besar beban yang diberikan pada spesimen maka simpangan yang terjadi juga semakin besar, hal ini terjadi karena

dengan semakin besarnya beban yang diberikan pada spesimen menyebabkan momen lentur yang semakin besar (grafik 2) sehingga defleksi yang terjadi pada spesimen juga semakin besar. Pada grafik ini juga terlihat adanya perbedaan pada spesimen dengan perlakuan lelah yang berbeda, dimana untuk spesimen yang tanpa perlakuan lelah mempunyai nilai simpangan yang paling rendah dan semakin tinggi jumlah siklus yang diberikan maka nilai simpangannya semakin besar.

Secara umum dapat ditarik kesimpulan bahwa kekuatan tekuk suatu logam akan menurun seiring dengan bertambahnya siklus lelah. Hal ini dikarenakan luasan yang tersisa untuk menahan beban juga semakin kecil karena adanya retak yang terbentuk.

Pada grafik 2 ada kondisi yang tidak seharusnya terjadi yaitu, pada saat beban naik maka seharusnya momen yang terjadi pada batang juga meningkat. Tetapi pada grafik 3 perbandingan momen, untuk spesimen dengan siklus 2 jam dan 3 jam menunjukkan bahwa momen yang terjadi tidak naik secara linear, bahkan cenderung ada penurunan. Hal ini disebabkan karena pada saat pengukuran defleksi yang terjadi pada siklus 2 jam dan 3 jam dimungkinkan terjadinya kesalahan pengukuran yang disebabkan oleh bergesernya spesimen uji dari posisi netral sehingga hasil pengukuran defleksi menjadi lebih kecil. Grafik.4 menjelaskan perlakuan lelah yang diberikan menunjukkan adanya penurunan diameter pada batang spesimen. Semakin besar siklus lelah maka diameter spesimen menjadi semakin kecil karena terjadi penurunan luas penampang ( $A$ ) yang menahan beban yang disebabkan oleh adanya retak lelah.

## **SIMPULAN**

Dari pengujian yang telah dilakukan maka dapatlah ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- Kekuatan lelah dipengaruhi oleh: faktor beban, faktor ukuran dan faktor kekasaran.
- Kegagalan fatiq ditandai dengan terjadinya retak fatiq.
- Semakin besar siklus fatiq, menyebabkan retak fatiq semakin besar sampai terjadi patah.
- Semakin besar siklus fatiq, defleksi pada pengujian buckling yang terjadi semakin besar.

## **DAFTAR PUSTAKA**

- Djaprie, Sriati, 1985, *Metalurgi Mekanik*, Jilid II, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Fedinand L.Singer, Andrew Pytel, 1985, *Kekuatan Bahan*, edisi ketiga Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Gere & Timoshenko, 2000, *Mekanika Bahan*, Jilid I, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Harsokoesoemo, Darmawan, 1996, *Kriteria Patah Lelah Untuk Perancangan Elemen Mesin*, Penerbit ITB Bandung.
- Mark S Lake and Martin M. Mikulas, 1991, *Buckling And Vibration Analysis Of A Simply Supported Column With A Piece Constant Cross Section*, NASA Technical Paper 3090, USA.
- Popov, E.P, 1984, *Mekanika Teknik*, Edisi Kedua, Penerbit Erlangga, Jakarta.

