

ANALISIS SIFAT MEKANIS BAJA KARBON AKIBAT PEMBEBANAN DINAMIS

Ahmad Seng

Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Khairun
Kampus II Unkhair Gambesi Ternate, Telp : 0921-3121356 Fax : 0921-3121356

E-mail : ahmadseng@yahoo.com, ahmadseng@unkhair.ac.id

Abstrak

Baja merupakan logam yang banyak dipergunakan dalam bidang teknik. Bahan yang dibutuhkan menurut kualitas yang sesuai dengan penggunaannya yang menyangkut sifat – sifat yang diinginkan. Seringkali perlu juga dipertimbangkan factor lainnya, mulai dari factor pembuatan, seperti kemampuan bentuk, hingga factor metalurgi yang dapat ditentukan dengan jelas (antara lain ketahanan fatik atau keausan) Identifikasi penyebab kegagalan sangat penting, sebab menghindari kegagalan melalui desain berlebih dengan menggunakan faktor keselamatan yang besar merupakan pemborosan. Desain kurang tepat sudah barang tentu akan menimbulkan kegagalan dini. Penggunaan bahan logam dan paduannya tersebut tentunya disesuaikan dengan kondisi material yang akan diproses, jenis proses, efek dari produk yang telah mengalami proses perubahan serta pengaruh pembebanan akan berakibat pada perubahan sifat fisis dan sifat mekanis serta faktor – faktor lain yang dapat mempengaruhi kualitas dari suatu produk. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh pembebanan terhadap kekuatan tarik dan mengetahui pengaruh waktu pembebanan terhadap kekuatan tarik. Karena banyaknya variable yang berpengaruh terhadap kekuatan tarik maka penulis membatasi pada beberapa hal, yaitu: a) Material yang digunakan adalah Baja Karbon HQ 760, b) Beban 10, 15, dan 20 kg, c) Waktu pembebanan 3, 6 dan 9 jam, d) Putaran konstan, e) Pengujian Rotary Bending dan Uji Tarik. Dari hasil penelitian, maka disimpulkan bahwa sebagai akibat dari pembebanan yang diberikan yakni beban 10, 15 dan 20 kg dengan variasi waktu terhadap material, maka akan terjadi penurunan kekuatan tarik dan besarnya penurunan kekuatan tarik tergantung besarnya beban yang diberikan.

Kata kunci : “Pembebanan Dinamis”, “Kekuatan Fatigue”

1. Pendahuluan

Dewasa ini perkembangan kemajuan berbagai bidang telah sangat dirasakan, terutama disebabkan oleh penggunaan sarana teknologi mutakhir pada berbagai bidang keperluan. Pengadaan sarana dan prasarana tertentu, misalnya penyajian bahan baku untuk suatu jenis produk dalam rangka penunjang hasil teknologi dewasa ini maka diperlukan bahan baku yang cukup memadai untuk melayani kebutuhan berbagai industri.

Baja merupakan logam yang banyak dipergunakan dalam bidang teknik. Bahan yang dibutuhkan menurut kualitas yang sesuai dengan penggunaannya yang menyangkut sifat- sifat yang diinginkan.

Seringkali perlu juga dipertimbangkan factor lainnya, mulai dari factor pembuatan, seperti kemampuan bentuk, hingga factor metalurgi

yang dapat ditentukan dengan jelas (antara lain ketahanan fatik atau keausan). Umumnya, penyebab kegagalan pada komponen teknik dapat dikelompokkan kedalam tiga bagian:

- Kegagalan yang disebabkan oleh desain yang salah atau pemilihan bahan yang tidak tepat
- kegagalan akibat pemrosesan yang salah
- Kegagalan akibat keausan selama pemakaian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh pembebanan terhadap kekuatan tarik dan mengetahui pengaruh waktu pembebanan terhadap kekuatan tarik

Karena banyaknya variable yang berpengaruh terhadap kekuatan tarik maka penulis membatasi pada beberapa hal, yaitu:

- Material yang digunakan adalah Baja Karbon HQ 760

- b. Beban 10, 15, dan 20 kg
- c. Waktu pembebanan 3, 6 dan 9 jam
- d. Putaran konstan
- e. Pengujian Rotary Bending dan Uji Tarik

Penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat pada:

- a. Dunia industri dapat dijadikan sebagai bahan informasi dalam meningkatkan kualitas dan material
- b. Para akademisi dapat dijadikan sebagai pembanding dalam menganalisis pengaruh, pembebanan dinamis pada material baja karbon sedang.
- c. Bagi para peneliti dapat dijadikan sebagai acuan dan perbandingan untuk penelitian selanjutnya yang berhubungan dengan obyek ini.

2. Tinjauan Pustaka

Logam adalah unsur-unsur yang mempunyai sifat kuat, liat, keras, getas dan penghantar listrik atau panas. Karena sifat-sifat tersebut maka logam dipergunakan manusia untuk berbagai macam keperluannya sehingga kehidupan kini tidak bisa lepas dari logam.

2.1. Sifat mekanik

Sifat mekanik dari logam adalah kekakuan dan ketahanan logam terhadap beban – beban tarikan, puntiran, geseran, tekanan dan goresan baik pada beban-beban statis atau dinamis pada temperature biasa, atau temperatur tinggi ataupun temperatur dibawah nol. Sedangkan sifat fisis dari logam adalah mempunyai massa jenis, titik cair, panas jenis, konduktivitas panas, koefisien kumai dan tahanan listrik.

2.2. Sifat teknologi

Sifat teknologi suatu bahan didefinisikan sebagai kemampuan suatu bahan untuk

dibentuk. Sifat ini mencakup sifat mampu las, mampu tempa, mampu mesin dan sifat pengerjaan panas atau pengerjaan dingin.

2.3. Baja Karbon

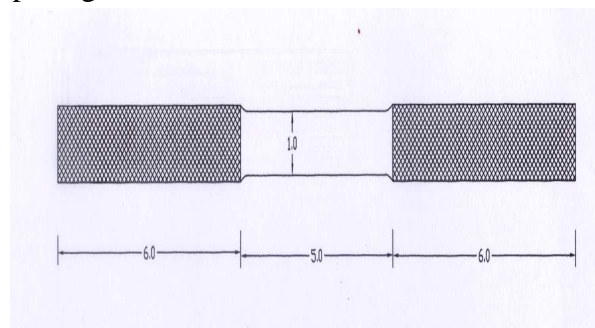
Baja karbon merupakan paduan antara besi (Fe) dan Karbon (C), Silicon (Si), Mangan (Mn), Pospor (P), dan unsur Sulfur (S) sering pula ditambah unsur-unsur lain dalam jumlah relatif lebih sedikit ditambah dengan proses pembuatan dengan maksud mendapatkan sifat-sifat khusus dari baja karbon tersebut, (Sudjamanto. 1994).

Secara garis besarnya baja dapat dikelompokkan menurut kadar karbonnya sebagai berikut:

- a. Baja karbon rendah (0,10 – 0,30 %)
- b. Baja karbon sedang (0,30 – 0,70 %)
- c. Baja karbon tinggi (0,70 – 1,40 %)

2.4. Pengujian tarik

Batang uji yang merupakan sebuah batang yang berbentuk bulat, dengan ujung – ujung yang besar untuk pemangan pada mesin uji tarik dan ditengah – tengah batangnya (bagian yang lebih kecil) yaitu terdapat bagian pengukurannya dinyatakan dengan dua tanda pengenalan. Panjang L_0 dari ukuran daerah ini mempunyai perbandingan tertentu, dengan diameter dari batang uji itu. Seperti pada gambar dibawah ini:



Gambar 1. Spesimen uji tarik dengan standar DIN 50125

Bentuk batang uji yang banyak dipakai pada pengujian tarik adalah perbandingan $L_0/d_0 = 5$ atau 10 untuk pengujian yang penyusun uji dipilih 10 .

Selain dari ukuran batang uji tersebut diatas juga masih ada yang lainnya. Batang yang memenuhi syarat perbandingan – perbandingan tetap yang disebut batang uji proporsional. Untuk melaksanakan pengujian tarik, antara dua kepala pengikat bangku tarik. Dengan memberikan gaya yang makin besar akan bertambah panjang dan bertambah kecil dan akhirnya putus.

Agar percobaan dapat dibandingkan, dengan tegangan dapat diartikan gaya tiap satuan luas.

$$\text{Tegangan} = \frac{\text{Gaya}}{\text{Luas Penampang semula}} \text{ atau}$$

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \quad \dots (\text{N/mm}^2)$$

Agar diperhatikan, bahwa untuk luas penampang diambil luas penampang mula – mula, tegangan yang dihitung yaitu kita sebut tegangan nominal. Sedangkan regangan diartikan sebagai perpanjangan yang dinyatakan dalam suatu persen.

Untuk menghitung regangan, perpanjangan dibagi dengan ukuran panjang yang semula dan angka ini dikalikan dengan persen (100%).

$$\text{Regangan} = \frac{\text{Perpanjangan}}{\text{Panjang semula}} \times 100\% \text{ atau}$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\% \quad \dots\dots(\%)$$

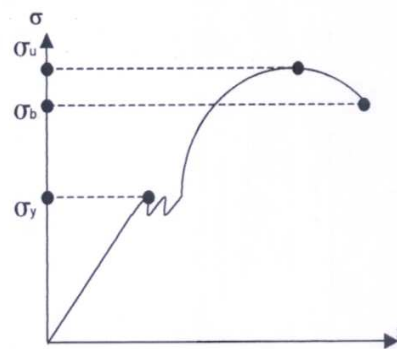
Pada percobaan ini hubungan antara tegangan dengan regangan dapat digambarkan dalam diagram tegangan dan regangan. Diagram ini sangat penting karena dapat dibaca berbagai sifat dari bahan yang bersangkutan.

2.5. Modulus Elastis

$$\text{Modulus Elastis} = \text{tg } \alpha = \frac{\text{tegangan}}{\text{regangan}} \quad \text{atau}$$

$$E = \text{tg } \alpha = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

Besarnya sudut α adalah ukuran untuk kekenyalan. Kekenyalan ini dinyatakan dalam modulus kenyal (E), yang sama dengan $\text{tg } \alpha$ (dapat dilihat pada Gambar 2.). Dalam hal ini adalah perpanjangan yang dinyatakan dalam satuan persen.



Gambar 2. Diagram Tegangan dan Regangan

Tegangan Yielding

$$\sigma_y = \frac{\text{Beban saat vielding}}{\text{penampang semula}}$$

$$\sigma_y = \frac{P_y}{A_0} \quad (\text{kg/mm}^2)$$

Tegangan Ultimate

$$\sigma_u = \frac{\text{Beban maksimum}}{\text{penampang semula}}$$

$$\sigma_u = \frac{P_u}{A_0} \quad (\text{kg/mm}^2)$$

Tegangan sesungguhnya, dengan batang putus kita sebut dengan kekuatan patah (σ_b).

$$\text{Kekuatan Patah} = \frac{\text{Gaya pada saat putus}}{\text{penampang Setelah putus}} \text{ atau}$$

$$\sigma_b = \frac{P_b}{A_0} \quad (\text{kg/mm}^2)$$

2.6. Regangan Patah

Perpanjangan batang pada percobaan ini setelah putus dinyatakan dalam persen dan dari panjang semula kita sebut regangan patah (δ atau A).

$$\text{Regangan} = \frac{\text{Panjang setelah putus}}{\text{Panjang semula}} \times 100\% \text{ atau}$$

$$\varepsilon \text{ atau } A = \frac{L_u - L_o}{L_o} \times 100\%$$

Ini sama dengan jumlah regangan tetap atau regangan plastik.

Reduksi Penampang

Pengurangan terbatas dari luas penampang setelah putus dinyatakan dengan persen (%) dari luas penampang semula. Kita sebut penggungtingan (Z).

$$Z = \frac{\text{Penampang semula} - \text{Penampang setelah putus}}{\text{Penampang semula}} \times 100\%$$

$$Z = \frac{A_o - A_u}{A_o} \times 100\%$$

2.7. Kelelahan Logam (fasik logam)

Kegagalan lelah adalah hal yang sangat membahayakan, karena terjadi tanpa petunjuk awal. Kelelahan mengakibatkan patah yang terlihat rapuh, tanpa deformasi pada patahan tersebut. Pada skala makroskopik, permukaan patahan biasanya dikenal dari bentuk bidang perpatahan, ada bagian yang halus akibat gesekan yang terjadi sewaktu retak merambat dan daerah kasar, perpatahan juga terjadi pada waktu penampang tidak dapat menerima beban. Seringkali perkembangan retakan ditandai oleh sejumlah cincin atau garis pantai (beach mark), bergerak kedalam dari titik dimana kegagalan mulai terjadi.

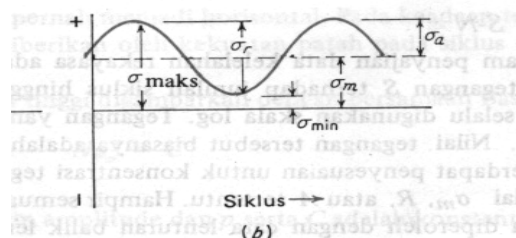
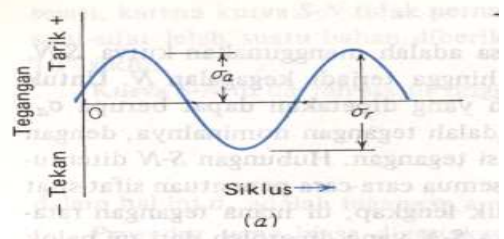
Terdapat tiga faktor dasar yang diperlukan agar terjadi kegagalan – lelah. Ketiga hal tersebut adalah:

- 1) Tegangan tarik maksimum yang cukup tinggi
- 2) Variasi atau fluktuasi tegangan yang cukup besar
- 3) Siklus penerapan tegangan cukup besar.

Selain itu, masih terdapat sejumlah variabel – variabel lain, yakni : konsentrasi tegangan, korosi suhu, kelebihan bahan, struktur metalurgi, tegangan – tegangan sisa, dan tegangan kombinasi yang cenderung untuk mengubah kondisi kelelahan. Karena belum memiliki pengetahuan dasar yang kuat mengenai sebab – sebab terjadinya kelelahan pada logam, maka diperlukan pembahasan mengenai faktor – faktor diatas dari segi empiris. Karena banyaknya data seperti ini, maka hanya terdapat kemungkinan untuk menggambarkan hubungan faktor tersebut diatas dengan kelelahan.

2.8. Siklus Tegangan

Sebagai langkah awal, sebaiknya diberikan definisi singkat mengenai tegangan berfluktuasi yang dapat menyebabkan kelelahan.



Gambar 3. Siklus tegangan lelah. (a) Tegangan balik; (b) Tegangan berulang; (c) Tegangan acak atau tak teratur)

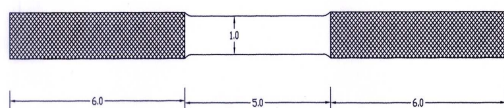
ambar 3. diatas menggambarkan jenis – jenis siklus tegangan yang dapat menyebabkan kelelahan. (Gambar a) menggambarkan suatu siklus tegangan lengkap yang berbentuk sinusoidal. Gambar tersebut adalah keadaan ideal yang dihasilkan oleh mesin fatik balok putar. R.R Moore dianggap sebagai putaran poros dengan kecepatan konstan tanpa beban lebih. Untuk siklus tegangan demikian tegangan maksimum dan minimum sama besarnya. Dimana tegangan minimum adalah tegangan terendah aljabar pada suatu siklus. Tegangan tarik dianggap positif, dan tegangan tekan dianggap negative. (Gambar b) menggambarkan suatu siklus tegangan berulang, dengan tegangan maksimum σ_{maks} dan tegangan minimum σ_{min} tidak sama. Keduanya adalah tegangan tarik.

3. Metode Penelitian

Bahan atau specimen yang digunakan dalam penelitian ini adalah HQ 760.dengan bentuk batang yang berdiameter 25,4 mm (1 inci) dengan panjang 200 mm sebanyak sepuluh (10 buah).

3.1. Spesimen uji tarik.

Spesimen uji tarik dibuat dengan Standar Dutch Industrie Norm (DIN 50125) Gambar 1.



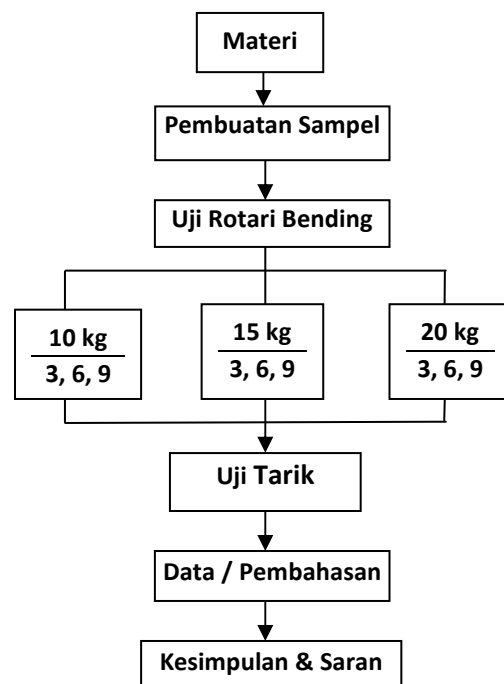
Gambar 4. Standar Dutch Industrie Norm (DIN 50125)

Pengujian Tarik

Pengujian tarik ini dapat dilakukan setelah proses Rotari Bending dengan variasi waktu dan beban,tujuan dari pada pengujian tarik

yaitu mengetahui sifat mekanik dari baja HQ 760 setelah mengalami pembebanan dinamis.

3.2. Tahapan Penelitian



Gambar 5. Diagram Alir Penelitian

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Analisa Data

Data hasil pengujian yang diperoleh dari material Baja Karbon HQ 760, selanjutnya diolah dan dihitung berdasarkan persamaan - persamaan yang telah ada yang selanjutnya dapat dijelaskan sebagai berikut

4.2. Pengujian Rotari Bending

Sebelum dilakukan pengujian Tarik, maka terlebih dahulu dilakukan pengujian Rotari Bending dengan beban dan waktu yang telah ditentukan. Pengujian ini dilakukan dengan tujuan untuk memberikan perlakuan atau pembebanan dinamis terhadap material. Data dari mesin uji rotary bending adalah sebagai berikut :

Daya motor : 1 hp
Putaran Maksimum (n) : 1450 rpm

4.3. Pengujian Tarik

Data hasil pengujian digunakan untuk menghitung kekuatan tarik, regangan dan besarnya reduksi penampang, dengan menggunakan rumus masing-masing sebagai berikut :

Menghitung Kekuatan

Dalam menghitung kekuatan bahan atau besarnya tegangan yang terjadi akibat penarikan digunakan rumus sebagai berikut :

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

Dimana: P = Beban (kg)

A = Luas penampang terbebani (mm)

Dalam hal ini digunakan $A = A_0 =$ Luas penampang awal spesimen sebagai luas penampang terbebani.

$$\text{Tegangan yield } (\sigma) = \frac{P_y}{A_0} \left[\frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} \right]$$

$$\text{Teg maksimum } (\sigma) = \frac{P_{\max}}{A_0} \left[\frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} \right]$$

$$\text{Tegangan patah } (\sigma) = \frac{P_{\text{patah}}}{A_0} \left[\frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} \right]$$

Contoh Perhitungan untuk Material Normal

a. Regangan (ϵ)

$$\begin{aligned} \text{Regangan} &= \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\% \\ &= \frac{62 - 50}{50} \times 100\% = 4\% \end{aligned}$$

b. Reduksi Penampang (A_r)

$$A_r = \frac{A_0 - A_p}{A_0} \times 100\%$$

$A_0 =$ Luas penampang mula – mula

$$\begin{aligned} &= \frac{\pi}{4} \times d_0^2 = \frac{3,14}{4} \times (10)^2 \\ &= 78.5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$A_p =$ luas penampang setelah patah

$$= \frac{\pi}{4} \times d_p^2 = \frac{3,14}{4} \times (7)^2 = 38.5 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jadi } A_r = \frac{A_0 - A_p}{A_0} \times 100\%$$

$$\frac{78.5 - 38.5}{78.5} \times 100\% = 51\%$$

c. Tegangan Tarik Maximum (σ_m)

$$\sigma_m = \frac{P_{\max}}{A_0}$$

Dimana: $P_{\max} = 6000 \text{ kg}$

$$A_0 = 78.5 \text{ mm}^2 \quad \sigma_m = \frac{6000 \text{ kg}}{78.5 \text{ mm}^2}$$

$$= 6.43 \text{ kg/mm}^2$$

Contoh Perhitungan untuk Waktu 6 Jam dengan Beban 15 kg

Regangan (ϵ)

$$\begin{aligned} \text{Regangan} &= \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\% \\ &= \frac{64 - 50}{50} \times 100\% = 28\% \end{aligned}$$

Reduksi Penampang (A_r)

$$A_r = \frac{A_0 - A_p}{A_0} \times 100\%$$

Dimana:

$A_0 =$ Luas penampang mula – mula

$$= \frac{\pi}{4} \times d_0^2 = \frac{3,14}{4} \times (10)^2 = 78.5$$

mm^2

$A_p =$ luas penampang setelah patah

$$= \frac{\pi}{4} \times d_p^2 = \frac{3,14}{4} \times (7.2)^2 = 40.7 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jadi } A_r = \frac{A_0 - A_p}{A_0} \times 100\%$$

$$= \frac{78.5 - 40.7}{78.5} \times 100\% = 48.2\%$$

Tegangan Tarik Maximum (σ_m)

$$\sigma_m = \frac{P_{\max}}{A_0} \quad \text{Dimana: } P_{\max} = 5400 \text{ kg}$$

$$A_0 = 78.5 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_m = \frac{5400 \text{ kg}}{78.5 \text{ mm}^2} = 68.79 \text{ kg/mm}^2$$

Data hasil perhitungan selanjutnya dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Hasil Pengujian Tarik

No	Kondisi Pengujian	L0 (mm)	L1 (mm)	d0 (mm)	d1 (mm)	P Yield (kg)	P Max (kg)	P Patah (kg)	Ket
1	Normal	50	62	10	7	3850	6000	5750	
2	3 – 10	50	61	10	7	4000	5500	5250	
3	3 – 15	50	60	10	7	3250	5300	5100	
4	3 – 20	50	58	10	7.5	2000	2500	2250	
5	6 – 10	50	60	10	7	3250	5550	5350	
6	6 – 15	50	64	10	7.2	3000	5400	5250	
7	6 – 20	50	60	10	6	2500	5100	5000	
8	9 – 10	50	62	10	7	3250	5500	5250	
9	9 – 15	50	60	10	7	3000	4750	4500	
10	9 – 20	50	59	10	7.5	2750	4500	4250	

Keterangan :

Normal = Material tidak diberikan perlakuan Ratari Bending

3 – 10 = Waktu 3 Jam beban 10 kg

Tabel 2. Hasil Perhitungan

No	Kondisi Pengujian	ε (%)	σmax (kg/mm ²)	σyield (kg/mm ²)	σpatah (kg/mm ²)	Ket
1	Normal	24	76.43	49.04	73.25	
2	3 – 10	22	70.06	50.96	66.88	
3	3 – 15	20	67.52	41.40	64.97	
4	3 – 20	16	31.85	25.48	28.66	
5	6 – 10	20	70.70	41.40	68.15	
6	6 – 15	28	68.79	38.22	66.88	
7	6 – 20	20	64.97	31.85	63.69	
8	9 – 10	24	69.18	40.88	66.04	
9	9 – 15	20	59.01	37.27	55.90	
10	9 – 20	19	55.21	33.74	52.15	

Keterangan :

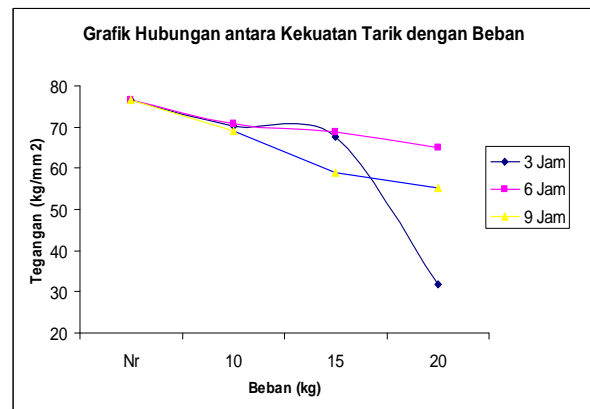
Normal = Material tidak diberikan perlakuan Ratari Bending

3 – 10 = Waktu 3 Jam beban 10 kg

4.4. Pembahasan

Untuk beban 10 kg dengan waktu 3, 6 dan 9 jam penurunan kekuatan tarik dari kondisi normal sebesar 6 - 7 kg/mm², untuk beban 15 kg dengan waktu 3 dan 6 jam penurunan berkisar antara 7 - 9 kg/mm². Akan tetapi pada beban 15 dan 20 kg dengan waktu pembebanan selama 9 jam terjadi penurunan kekuatan tarik yang sangat berarti yakni sebesar 17 - 21 kg/mm² penurunan kekuatan tarik yang sangat besar ini terjadi karena beban yang diberikan cukup besar dan waktu pembebanan yang lama sehingga mengakibatkan material tersebut menjadi lelah sehingga terjadi penurunan kekuatan tarik.

Pengaruh Pembabanan Terhadap kekuatan Tarik pada beberapa waktu pembebanan



Gambar 6. Grafik Pengaruh Pembabanan Terhadap kekuatan Tarik pada beberapa waktu pembebanan

Dari gambar grafik 6

Waktu 3 Jam

Penurunan kekuatan tarik dari kondisi normal sebesar 67,43 kg/mm² menjadi 70,06 kg/mm² untuk beban 10 kg, untuk beban 15 kg kekuatan tarik turun menjadi 67,52 kg/mm².

Waktu 6 Jam

Pada kondisi ini penurunan kekuatan tarik dari kondisi normal sampai dengan beban 20 kg penurunannya relatif cukup kecil. Dimana pada kondisi normal kekuatan tarik sebesar 76,43 kg/mm² sedangkan pada beban 20 kg kekuatan tarik turun menjadi 64,97 kg/mm² (- 11,58 kg/mm²)

Waktu 9 Jam

Pada kondisi ini penurunan kekuatan tarik dari kondisi normal sampai beban 10 kg relative cukup kecil yakni 7,25 kg/mm² akan tetapi pada beban 10 sampai 20 kg penurunan kekuatan tarik terlihat sangat besar yakni sekitar 17 s/d 21 kg/mm² (kurang lebih 30 %). Penurunan kekuatan tarik yang sangat besar terjadi di disebabkan karena pada waktu 9 jam dengan beban 15 - 20 kg

material menjadi lelah sebagai akibat dari waktu yang cukup lama dan beban yang besar sehingga kekuatan material menjadi menurun. Penurunan kekuatan ini mungkin disebabkan karena adanya deformasi yang terjadi sebagai akibat pembebanan yang diberikan terhadap material.

4.5. Pembahasan khusus

Pada waktu 3 Jam dengan beban 20 kg terjadi penurunan kekuatan tarik yang sangat besar sekali yakni dari kondisi normal 76,43 kg/mm² menjadi 31,85 kg/mm² (60 %) penurunan yang sangat besar terjadi diduga diakibatkan karena adanya cacat pada material hal ini dapat dilihat pada beberapa material dengan beberapa perlakuan dimana penurunan kekuatan tarik cenderung hampir merata sekalipun ada beberapa perbedaan yang terjadi.

5. Kesimpulan dan Saran

5.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan pada berbagai perlakuan, maka penulis dapat mengambil kesimpulan sebagai berikut :

- a. Sebagai akibat dari pembebanan yang diberikan yakni beban 10, 15 dan 20 kg terhadap material, maka akan terjadi penurunan kekuatan tarik dan besarnya penurunan kekuatan tarik tergantung besarnya beban yang diberikan.
- b. Dari tiga waktu pembebanan yang diberikan yakni 3, 6 dan 9 jam, maka waktu 9 jam memperlihatkan penurunan kekuatan tarik yang sangat besar.

5.2. Saran

- a. Pada penelitian ini masih dapat dikembangkan lebih lanjut karena masih banyak parameter-parameter yang dapat diteliti yang berhubungan dengan proses pengujian rotari bending dan uji tarik.

- b. Perlunya kalibrasi ulang terhadap alat ukur rotari bending agar kondisi alat dalam keadaan layak pakai untuk menjamin keakuratan dalam hasil penelitian

6. Daftar Pustaka

- Alexander WO, 1991, *Essential Metallurgy for Engineers*, Alih Bahasa Sriati Djaprie. *Dasar Metalurgi Untuk Rekayasa*, PT. Gramedia Jakarta
- Amstead.B.H, Philip.F, Ostwald, Myronl, Begeman, 1985, *Manufacturing Processes*, Seven Edition, Jhon Wiley & Sons Inc Colorado, 1979, Terjemahan, Sriati Djaprie, *Teknologi Mekanik*, Erlangga, Jakarta.
- Anver, S. H, 1984, *Introduction To Physical Metalurgi*, Me. Graw Hill, Kogakusha L. D. Tokyo.
- Dieter. George E, *Mechanical Metallurgy*, Third Edition, McGraw-Hill, Inc, 1986, Alih Bahasa, Sriati Djaprie, *Metalurgi Mekanik*, Jilid 1-2, Erlangga Jakarta 1988.
- R.E. Smallman, CBE. DSc, FRS, FEng, FIM, ; R.J. Bishop, PhD, CEng, MIM, 2000, *Metalurgi Fisik Modern dan Rekayasa Material*, Diterjemahkan oleh Ir. Sriati Djaprie, M.Met Edisi Keenam, Erlangga Jakarta..
- Suardi, Amin, Adnyana, D. N, 1989. *Pengetahuan Logam UPT – LUK*, Metallurgical Transaction.