

Published September 2018

Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi<http://jurnal.umsu.ac.id/index.php/RMME>**Analisa Pengujian Lelah Material *Stainless Steel* 304 Dengan Menggunakan *Rotary Bending Fatigue Machine*****Muharnif M^{*)} dan Randy Septiawan**Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
Jalan Kapten Muchtar Basri No.3 Medan 20238, Indonesia*Email: muharnifm@umsu.ac.id**ABSTRAK**

Rotary Bending Fatigue adalah alat uji untuk mengetahui batas kelelahan yang terjadi pada material, di mana fatigue terjadi akibat adanya pembebanan. Perpatahan terjadi karena ketika material telah mengalami siklus tegangan yang menghasilkan kerusakan permanen sebagai proses perubahan struktur permanen pada satu titik menjadi retak (crack) yang di lakukan dengan cara pembebanan yang bervariasi yaitu :beban 10kg menghasilkan Tegangan 34,226 Mpa, Siklus 125321 dalam waktu 123, 37menit. Pada beban 15kg mengasilkkan Tegangan 51,339 Mpa, Siklus 110597 dalam waktu 125,54 menit. Pada beban 20kg mengasilkkan Tegangan 68,452 Mpa, Siklus 54527 dalam waktu 32,37 menit. Pada beban 25kg mengasilkkan Tegangan 85,565 Mpa, Siklus 28638 dalam waktu 22,01. Pada beban 30kg mengasilkkan Tegangan 102,6786 Mpa, Siklus 19711 dalam waktu 17,57 menit. Dengan kesimpulan sebagai berikut ketahanan lelah pada *Stainless Steel* 304 menurun seiring bertambahnya tegangan yang di berikan.

Kata Kunci : Fatik, Rotary Bending, *Stainless Steel* 304***Tired Test Analysis of 304 Stainless Steel Material Using the Rotary Bending Fatigue Machine*****ABSTRACT**

Rotary Bending Fatigue is a test tool to determine the limits of fatigue that occur in material, where fatigue occurs due to loading. Fracture occurs because when the material has undergone a stress cycle that produces permanent damage as a process of changing the permanent structure at one point crack (crack) is done by varying loading, namely: 10kg load produces a voltage of 34.226 Mpa, Cycle 125321 within 123, 37 minutes . At 15kg load produces a voltage of 51.333 Mpa, Cycle 110597 in 125.54 minutes. At 20kg load produces a voltage of 68.452 Mpa, Cycle 54527 in 32.37 minutes. At 25kg load produces a voltage of 85.565 Mpa, Cycle 28638 in time of 22.01. At 30kg load produces a 102.6786 Mpa Voltage, 19711 Cycle in 17.57 minutes. With the following conclusions, fatigue resistance in 304 Stainless Steel decreases with increasing voltage given.

Keywords: Fatik, Rotary Bending, *Stainless Steel* 304**PENDAHULUAN**

Stainless steel 304 sangat memiliki peranan yang penting dalam dunia industri di mana banyak rancangan komponen dalam mesin pabrik menggunakan material tersebut . Sifat mekanik

Published September 2018

Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi<http://jurnal.umsu.ac.id/index.php/RMME>

yang di miliki material ini cukup untuk berbagai aplikasi efisiensi dan efektifitas dari *stainless steel* sendiri dalam pemilihan material sesuai dengan pemakaiannya.

Pada kasus rancang bangun suatu konstruksi mesin, selalu di perlukan sifat bahan dengan tujuan agar komponen *stainless steel* dapat bekerja optimal dan dapat memenuhi persyaratan fungsi dari konstruksi maupun kekuatan dalam menerima beban.

Sifat yang di kenal dengan kelelahan bahan, perlu di teliti karena sangat penting untuk menentukan konstruksi berdasarkan kelelahan. Poros berfungsi untuk meneruskan tenaga baik berupa puntiran, maupun bending dari suatu bagian ke bagian yang lain. akibat beban tersebut poros mengalami pembebanan yang berulang.

Akibatnya suatu poros sering mengalami kegagalan dalam operasinya. Kegagalan ini dapat berupa *crack* yang trus berkembang hingga terjadi perambatan *crack* yang kemudian menjadi patah. Sejak tahun 1830 telah diketahui bahwa logam yang dikenai tegangan berulang akan rusak pada tegangan yang lebih rendah dibanding yang di butuhkan untuk menimbulkan perpatahan pada beban tunggal. Kegagalan yang terjadi pada keadaan beban dinamik dinamakan kegagalan lelah (*fatigue failures*), barangkali karena pada umumnya kegagalan tersebut hanya terjadi setelah periode pemakaian yang cukup lama. Kegagalan fatik semakin menonjol sejalan dengan pengembangan teknologi seperti : pesawat, mobil, kompresor, pompa, dan lain-lainnya. Kesemuanya mengalami beban berulang dan getaran. Hingga kini sering dinyatakan bahwa kelelahan meliputi paling tidak 90% dari seluruh kegagalan yang disebabkan oleh hal-hal yang bersifat mekanis.

Definisifatigue

Fatigue atau kelelahan adalah kerusakan material yang diakibatkan oleh adanya tegangan yang berfluktuasi yang besarnya lebih kecil dari tegangan tarik maksimum (*ultimate tensile strength*) (σ_u) maupun tegangan luluh (*yield*) material yang diberikan beban konstan.

Terdapat tiga fase dalam perpatahan fatik yaitu :

1. Permulaan retak ; Mekanisme fatik umumnya dimulai dari *crack initiation* yang terjadi dipermukaan material yang lemah atau daerah dimana terjadi konsentrasitegangan di permukaan (seperti goresan, notch, lubang-pits dll) akibat adanya pembebanan berulang.
2. Penyebaran retak ; *Crack initiation* ini berkembang menjadi *microcracks*. Perambatan atau perpaduan *microcracks* ini kemudian membentuk *macrocracks* yang akan berujung pada *failure*.
3. Patah ; Perpatahan terjadi ketika material telah mengalami siklus tegangan dan regangan yang menghasilkan kerusakan yang permanen. *Fatigue* atau kelelahan menurut ASM (1975) didefinisikan sebagai proses perubahan struktur permanen *progressive localized* pada kondisi yang menghasilkan fluktuasi regangan dan tegangan dibawah kekuatan tariknya dan pada satu titik atau banyak titik yang dapat memuncak menjadi retak (*crack*) atau patahan (*fracture*) secara keseluruhan sesudah fluktuasi tertentu. *Progressive* mengandung pengertian proses *fatigue* terjadi selama jangka waktu tertentu atau selama pemakaian, sejak komponen atau struktur digunakan. *Localized* berarti proses *fatigue* beroperasi pada luasan lokal yang mempunyai tegangan dan regangan yang tinggi karena pengaruh beban luar, perubahan geometri, perbedaan temperatur, tegangan sisa dan tidak kesempurnaan diri. *Crack* merupakan awal terjadinya kegagalan *fatigue* dimana kemudian *crack* merambat karena adanya beban berulang.

Fracture merupakan tahap akhir dari proses *fatigue* dimana bahan tidak dapat menahan tegangan dan regangan yang ada sehingga patah menjadi dua bagian atau lebih. Kegagalan akibat

Published September 2018

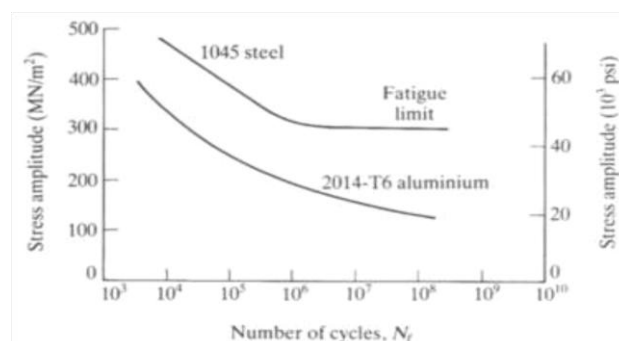
Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi<http://jurnal.umsu.ac.id/index.php/RMME>

fatigue telah diteliti lebih dari 150 tahun lalu. Salah satu studi paling awal dilakukan W.A.J. Albert, dengan menguji beban siklik pada rantaipengangkat di Jerman tahun 1828. Istilah *fatigue* digunakan pertama tahun 1839 pada mekanika oleh J.V Poncelet dari Prancis. A. Wohler dari Jerman, mulaimeneliti *fatigue* tahun 1850 dan menguji beberapa besi baja dan logam lain.dengan beban aksial, lentur dan torsi.

Thermocreative deposition (TRD) untuk lapisan *vanadium carbida* dan *chromium carbida*, *chemical vapour deposition* (CVD) untuk *titanium carbida*, *physical vapour deposition* (PVD) untuk *titaniumnitrida* dan *chromium plating*. Secara alami logam berbentuk kristalin artinya atom-atom disusun berurutan. Kebanyakan struktur logam berbentuk poli kristalin yaitu terdiri atas sejumlah besar kristal-kristal yang tersusun individu. Tiap-tiap butir memiliki sifat mekanik yang khas, arah susunan dan susunan tiap arah, dimana beberapa butir diorientasikan sebagai bidang-bidang yang mudah slip atau meluncur dalam arah tegangan geser maksimum. Slip terjadi pada logam-logam liat dengan gerak dislokasi sepanjang bidang kristalografi. Slip terjadi disebabkan oleh beban siklik monotonik. Ketahanan *fatigue* suatu bahan tergantung dari perlakuan permukaan atau kondisi permukaan dan temperatur operasi. Perlakuan permukaan merubah kondisi permukaan dan tegangan sisa di permukaan. Perlakuan permukaan *shoot peening* menghasilkan tegangan sisa tekan yang mengakibatkan ketahanan lelah yang meningkat (Collins, 1981). Sedangkan perlakuan permukaan yang menghasilkan tegangan sisa tarik menurunkan ketahanan *fatigue*-nya (Hanshem and Aly, 1994, Hotta et al, 1995).

Hal itu terjadi karena pada permukaan terjadi konsentrasi tegangan tekan atau tarik yang paling tinggi. Pada kondisi permukaan sedang menerima tegangan tarik maka tegangan sisa tekan pada permukaan akan menghasilkan resultan tegangan tekan yang semakin besar. Tegangan tekan akan menghambat terjadinya *initial crack* atau laju perambatan retak. Sehingga ketahanan lelah meningkat, dan akan terjadi sebaliknya apabila terjadi tegangan sisa tarik di permukaan. Pada dasarnya kegagalan *fatigue* dimulai dengan terjadinya retakan pada permukaan benda uji.

Hal ini membuktikan bahwa sifat-sifat *fatigue* sangat peka terhadap kondisi permukaan, yang dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain kekasaran permukaan, perubahan sifat-sifat permukaan dan tegangan sisa permukaan (Dieter, 1992). Penyajian data *fatigue* rekayasa adalah menggunakan kurva S-N yaitu pemetaan tegangan (S) terhadap jumlah siklus sampai terjadi kegagalan (N). Kurva S-N ini lebih diutamakan menggunakan skala semi log seperti ditunjukkan pada gambar 2.1. Untuk beberapa bahan teknis yang penting. Lihat pada gambar 1 di bawah ini.



Gambar 1. kurva S-N

Kurva tersebut didapat dari pemetaan tegangan terhadap jumlah siklus sampai terjadi kegagalan pada benda uji. Pada kurva ini siklus menggunakan skala logaritma. Batas ketahanan *fatigue* (*endurance limit*) baja ditentukan pada jumlah siklus $N > 10^7$ (Dieter, 1992).

Published September 2018

Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi<http://jurnal.umsu.ac.id/index.php/RMME>

Fatigue life dapat ditingkatkan dengan :

1. Mengontrol tegangan ; Peningkatan tegangan menurunkan umur fatik. Pemicunya dapat secara mekanis (*fillet* atau alur pasak) maupun metalurgi (porositas atau inklusi). Kegagalan fatik selalu dimulai pada peningkatan tegangan.
2. Mengontrol struktur mikro ; Meningkatnya ukuran benda uji, umur fatik kadang-kadang menurun. Kegagalan fatik biasanya dimulai pada permukaan.
3. Mengontrol penyelesaian permukaan ; Dalam banyak pengujian dan aplikasi pemakaian, tegangan maksimum terjadi pada permukaan. Umur fatik sensitif terhadap kondisi permukaan. Faktor lain yang harus dipertimbangkan adalah tegangan sisa permukaan

Kegagalan fatik semakin menonjol sejalan dengan pengembangan teknologi seperti; pesawat, mobil, kompresor, pompa, dan lain-lainnya. Kesemuanya mengalami beban berulang dan getaran. Hingga kini sering dinyatakan bahwa kelelahan meliputi paling tidak 90% dari seluruh kegagalan yang disebabkan oleh hal-hal yang bersifat mekanis.

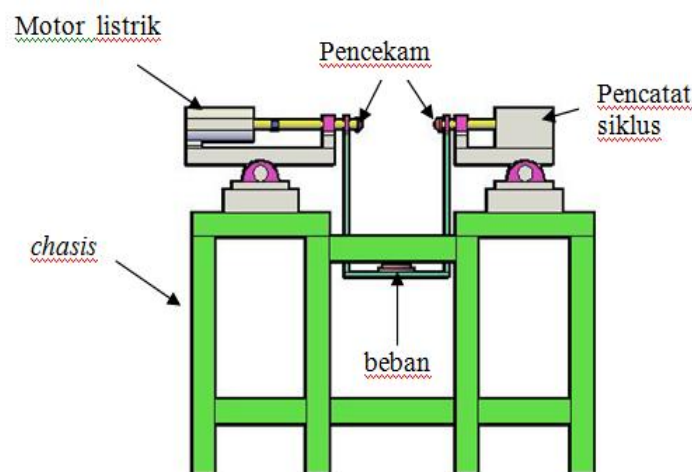
Terdapat tiga faktor dasar yang diperlukan agar terjadi kegagalan lelah. Ketiga faktor tersebut adalah:

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

Selain tiga faktor diatas terdapat sejumlah variable lain, yakni; konsentrasi tegangan, korosi, suhu, kelebihan bahan, struktur metalurgis, tegangan sisa, dan tegangan kombinasi yang cenderung untuk mengubah kondisi kelelahan

Klasifikasi Mesin Uji Fatik**Alat Uji Fatik**

terlihat pada gambar 2. di bawah ini :



Gambar 2. Skema alat uji fatig Machine

Published September 2018

Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi<http://jurnal.umsu.ac.id/index.php/RMME>**Special Purpose Fatigue Testing Machines**

Dirancang khusus untuk tujuan tertentu. Kadang-kadang merupakan modifikasi dari mesin pengujian fatik yang sudah ada. Pengujian kawat adalah modifikasi dari “*Rotating Beam Machines*”.

Multiaxial Fatigue Testing Machines

Dirancang untuk pembebanan atau lebih dengan maksud untuk menentukan sifat logam dibawah tegangan *biaxial/triaxial*.

Kadar stainless steel 304

Stainless steel adalah perpaduan atau kombinasi beberapa jenis logam seperti besi dasar, *chromium*, *nikel* dan unsur lain seperti *karbon*, *silicon* dan *mangan*. *kromium* dan *nikel* terutama berfungsi untuk menambah ketahanan logam terhadap korosi atau karat. Dapat di lihat pada gambar 3 di bawah ini

Gambar 3. *stainless steel 304***Jenis – Jenis Stainless Steel 304**

Tabel 1. Komposisi Kimia Stainless Steel 304

Komposisi	Kandungan (%)
Karbon	0,07
Mangan	2,00
Fosfor	0,045
Sulfur	0,030
Silikon	0,75
Kromium	18,00-20,00
Nikel	8,00-12,00
Nitrogen	0,10
Iron	Seimbang

Kegunaan stainless steel

Stainless steel juga merupakan bahan yang sangat serbaguna sehingga benar-benar bisa di gunakan selama bertahun – tahun. Produk *stainless steel* juga memiliki umur jauh lebih lama di bandingkan produk yang terbuat dari bahan lain. Misalnya konstruksi pagar rumah yang terbuat dari *stainless steel* pasti lebih baik dibandingkan pagar rumah yang terbuat dari besi biasa. *Stainless steel* di buat dengan menggunakan lapisan *kromium* dengan jumlah minimum yang di gunakan adalah

Published September 2018

Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi<http://jurnal.umsu.ac.id/index.php/RMME>

10,5%. *kromium* berguna untuk meningkatkan ketahanan dari korosi dengan cara membentuk lapisan oksida *kromium* pada baja.

Kelebihan *stainless steel*

Stainless steel tahan korosi yang tinggi, yang memungkinkan untuk di gunakan dalam lingkungan yang ketat. api dan tahan panas memungkinkan untuk melawan *scaling* dan mempertahankan kekuatan pada temperature tinggi. higienis tidak berpori permukaan di tambah dengan kemampuan membersihkan dengan mudah memberikan penampilan yang modern dan menarik untuk aplikasi logam yang paling arsitektur kemudahan fabrikasi karena penggunaan modern pembuatan baja teknik yang memungkinkan *stainless steel* yang akan di potong, dibuat, di las dan di bentuk sama mudahnya seperti baja tradisional. nilai jangka panjang yang di buat oleh siklus hidup panjang manfaatnya sering menghasilkan pilihan yang sering menghasilkan pilihan bahan yang paling murah jika di bandingkan dengan logam lainnya.

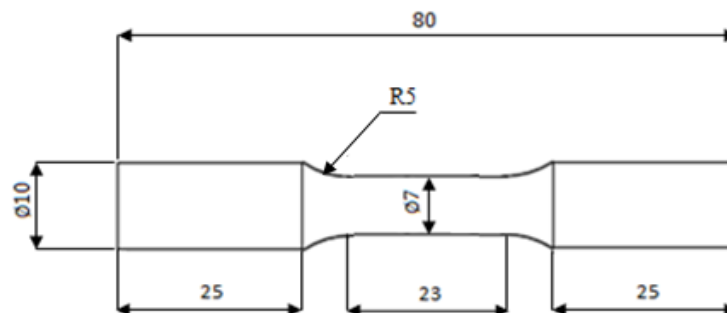
Kekurangan *stainless steel*

Stainless steel tinggi biaya awal, terutama ketika logam alternative yang di pertimbangkan. kesulitan dalam fabrikasi, ketika mencoba untuk membuat *stainless steel* tanpa menggunakan mesin teknologi tinggi dan teknik yang tepat, dapat menjadi logam sulit untuk di tangani. hal ini ini sering dapat menghasilkan limbah mahal dan kembali bekerja.

METODOLOGI PENELITIAN**Spesimen jenis *Stainless Steel 304***

Skema benda Uji berikut ini.

Skema benda uji untuk pengujian *fatigue* dengan menggunakan *Rotary Bending Fatigue Machine*.



Gambar 4 Skema benda uji

HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah selesai melakukan pengujian *fatigue* dengan menggunakan *rotary bending fatigue machine*, pada bab ini akan dilanjutkan dengan membahas hasil percobaan yang telah dilakukan di Laboratorium Fakultas Teknik UMSU (Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara) Jl. Kapten mukhtar basri, No. 3 Medan. Dapat dilihat pada tabel 2.

Published September 2018

Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi<http://jurnal.umsu.ac.id/index.php/RMME>**Analisa dan Hasil Pengujian**

Tabel 2. Data Nilai Pembebanan

No.	W (Kg)	D (mm)	L (mm)
1.	10 Kg	7	80
2.	15 Kg	7	80
3.	20 Kg	7	80
4.	25 Kg	7	80
5.	30 Kg	7	80

.Percobaan 1 : Siklus dengan 125321 dengan waktu 123,37 Menit diberi beban 10 Kg, Dengan perhitungan sebagai berikut :

Penyelesaian percobaan 1 :

$$\begin{aligned}\sigma &= \frac{WL/2}{\pi/32d^3} \\ &= \frac{10kg \cdot 2,3cm / 2}{3,14 / 32 \cdot 0,7^3 cm} = \frac{10kg \cdot 1,15cm}{0,0981 \cdot 0,343cm} = \frac{11,5kg \cdot cm}{0,0336cm} = 342,26kg / cm^2 \\ &= 34,226Mpa\end{aligned}$$

Percobaan 2 Pada Uji Fatigue

Percobaan 2 : Siklus dengan 110597 dengan waktu 125,54Menit diberi beban 15 Kg, Dengan perhitungan sebagai berikut :

Penyelesaian percobaan 2 :

$$\begin{aligned}\sigma &= \frac{WL/2}{\pi/32d^3} \\ &= \frac{15kg \cdot 2,3cm / 2}{3,14 / 32 \cdot 0,7^3 cm} = \frac{15kg \cdot 1,15cm}{0,0981 \cdot 0,343cm} = \frac{17,25kg \cdot cm}{0,0336cm} = 513,39kg / cm^2 \\ &= 51,339Mpa\end{aligned}$$

Percobaan 3 Pada beban 20kg

Percobaan 3: Siklus dengan 54527 dengan waktu 32,37 Menit diberi beban 20 Kg, Dengan perhitungan sebagai berikut :

Penyelesaian percobaan 3 :

Published September 2018

Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi<http://jurnal.umsu.ac.id/index.php/RMME>

$$\begin{aligned}\sigma &= \frac{WL/2}{\pi/32d^3} \\ &= \frac{20\text{kg}.2,3\text{cm}/2}{3,14/32.0,7^3\text{cm}} = \frac{20\text{kg}.1,15\text{cm}}{0,0981.0,343\text{cm}} = \frac{23\text{kg.cm}}{0,0336\text{cm}} = 684,52\text{kg/cm}^2 \\ &= 68,452\text{Mpa}\end{aligned}$$

Percobaan 4 Pada Uji Fatigue

Percobaan 4 : Siklus dengan 28638 dengan waktu 22,01 Menit diberi beban 25 Kg, Dengan perhitungan sebagai berikut :

Penyelesaian percobaan 4 :

$$\begin{aligned}\sigma &= \frac{WL/2}{\pi/32d^3} \\ &= \frac{25\text{kg}.2,3\text{cm}/2}{3,14/32.0,7^3\text{cm}} = \frac{25\text{kg}.1,15\text{cm}}{0,0981.0,343\text{cm}} = \frac{28,75\text{kg.cm}}{0,0336\text{cm}} = 855,65\text{kg/cm}^2 \\ &= 85,565\text{Mpa}\end{aligned}$$

Percobaan 5 Pada Uji Fatigue

Percobaan 5 : Siklus dengan 19711 dengan waktu 17,57 Menit diberi beban 30 Kg, Dengan perhitungan sebagai berikut :

Penyelesaian percobaan 5 :

$$\begin{aligned}\sigma &= \frac{WL/2}{\pi/32d^3} \\ &= \frac{30\text{kg}.2,3\text{cm}/2}{3,14/32.0,7^3\text{cm}} = \frac{30\text{kg}.1,15\text{cm}}{0,0981.0,343\text{cm}} = \frac{34,5\text{kg.cm}}{0,0336\text{cm}} = 1026,786\text{kg/cm}^2 \\ &= 102,6786\text{Mpa}\end{aligned}$$

Data Hasil Pengujian Kelelahan

Hasil pengujian *fatigue* pada material Stainless Steel 304 telah dilakukan percobaan analisa pengujian *fatigue* material Stainless Steel 304 dengan menggunakan *rotary bending fatigue machine*. Data hasil pengujian kelelahan ditunjukkan pada tabel 3

Published September 2018

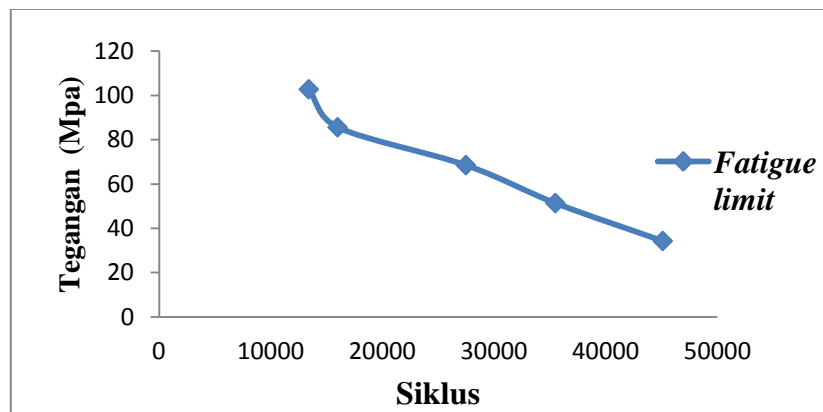
Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi<http://jurnal.umsu.ac.id/index.php/RMME>

Tabel 3. Data Hasil Pengujian Kelelahan

No.	W (kg)	σ	Siklus	T
1.	10 kg	34,226	125321	123,37
2.	15 kg	51,339	110597	125,54
3.	20 kg	68,452	54527	32,37
4.	25 kg	85,565	28638	22,01
5.	30 kg	102,6786	19711	17,57

Kurva S-N

Kurva S-N adalah karakteristik *fatigue* yang umum digunakan dari suatu bahan yang mengalami tegangan berulang dengan besar yang sama. Kurva tersebut diperoleh dari tes spesimen Stainless Steel 304 yang diberi beban berulang dengan jumlah N sampai terjadi kegagalan. Besarnya N berbanding terbalik dengan rentang tegangan S (tegangan maksimum-tegangan minimum). Kurva ini menyediakan informasi karakteristik *Fatigue* dengan amplitudo pembebanan yang konstan.

Gambar 5. Karakteristik *Fatigue* dengan amplitudo pembebanan yang konstan**KESIMPULAN**

Setelah dilakukannya pengujian *fatigue* pada spesimen Stainless Steel 304 dengan menggunakan *rotary bending fatigue machine* maka didapat kesimpulan sebagai berikut :

Dari hasil pengujian kelelahan (*fatigue*) yang di lakukan di Laboratorium Fakultas Teknik UMSU (Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara) Jl. Kapten mukhtar basri, No. 3 Medan maka dapat di simpulkan, variasi beban 10kg menghasilkan Tegangan 34,226, *Cycles*125321 dalam waktu 123, 37menit. Pada beban 15kg menghasilkan Tegangan 51,339, *Cycles*110597 dalam waktu 125,54 menit. Pada beban 20kg menghasilkan Tegangan 68,452, *Cycles*54527 dalam waktu 32,37 menit. Pada beban 25kg menghasilkan Tegangan 85,565, *Cycles*28638 dalam waktu 22,01. Pada beban 30kg menghasilkan Tegangan 102,6786, *Cycles* 19711 dalam waktu 17,57 menit.

DAFTAR PUSTAKA

Published September 2018

Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi

<http://jurnal.umsu.ac.id/index.php/RMME>

- ◆—————→
- Dowling, N.E, 1991, Mechanical Behaviour of Material, prentice, New jersey
Dieter, Gorge E, 1992, Metalurgi mekanik, jilid 1, edisi ketiga, ahli bahasa oleh Sriati Djafrie, Erlangga, Jakarta.
Dieter, G.E, “ Mechanical Metalurgy”, Mc Graw-Hill book co id
Sisworo dan Sudjito, 2009, Ketahanan Fatik Rotary Bending.
Sriati Djafrie, Ilmu Bahan, Erlangga, Jakarta, 1992.
Tata Surdia, Shinroku, pengetahuan Bahan Teknik, Jakarta.
Van, V, 2005 Ilmu dan teknologi bahan erlangga, Jakarta.
<http://aguskreatif.blogspot.com> Diakses pada 29 juli 2016 jam : 14:55
http://www.academia.edu/10304254/karakteristik_mekanik_proses_Stainless_Steel
Diakses pada 24 agustus 2016 jam : 11:50
<http://www.scribd.com/doc/53921508/kelelahan-logam-fatigue> Diakses pada 25 september 2016 jam : 15:35