

RANCANG BANGUN ALAT PENGUJIAN LELAH POROS MODEL ROTATING BENDING SEBAGAI MEDIA PRAKTIKUM PENGUJIAN BAHAN UNTUK MENINGKATKAN PEMAHAMAN MAHASISWA DI POLITEKNIK KOTABARU

Asrul^{1*}, Muhammad Faisal²

^{1,2}Dosen Politeknik Kotabaru

Jl. Raya Stagen km. 9,5. Politeknik Kotabaru. Kalimantan-Selatan. Telp./Fax. (0518) 6076838

*E-mail: mesinasrul@gmail.com

ABSTRACT

Fatigue is a form of failure that occurs in structures that happen in dynamic and fluctuating stresses, as a result of working environmental conditions in the industry that do not pay much attention to component parts that can fail, in many cases causing work accidents due to the failure of a material. With the availability of testing tools that already exist and are easily obtained, prevention of a component failure can be avoided by fatigue testing tools that can overcome the fatigue life of a material, the results of this study will also be useful for Politeknik Kotabaru students and lecturers in understanding shaft testing materials. The test results of the tool show good results, using the ASTM E466 standard on the three specimens that has been tested, it can be seen in the number of cycles using a rotational sensor which immediately appears on the screen monitor by providing 3 types of loading with the results on third specimen with the lowest cycles on the fatigue test load of 22 kgf was 9418 cycles, while the most number of cycles occurred in the fatigue test on the first specimen with a fatigue test load of 14 kgf of 348677 cycles. The condition of the material and the resistance of the material have a very close relationship. Each additional load on the test specimen will shorten the cycle or fatigue resistance of the material. The addition of the load means that it also increases the stress on the specimen, the safe limit of the load can be known from calculations and tests (S-N curve) under a load of 14 kgf or a stress of 273.27 MPa.

Keywords: *Fatigue Testing, Shaft, Cycle, S-N Curve,*

PENDAHULUAN

Pesatnya perkembangan teknologi saat ini khususnya pada dunia industri, sering kita temukan komponen mesin yang mengalami suatu kegagalan karena tegangan yang berulang atau berfluktuasi. Prilaku yang paling istimewa dari kegagalan ini adalah tegangan tersebut terjadi berulang-ulang dalam waktu yang lama. Kegagalan ini disebut *fatigue allure* atau kegagalan lelah bila bagian mesin gagal secara statis, hal ini dapat terlihat dan memberi peringatan pendahuluan sebab biasanya bagian itu menghasilkan suatu lendutan yang besar, karena tegangan telah melampaui kekuatan lelah sehingga bagian tersebut biasa diganti sebelum patahan yang sebenarnya terjadi. Dengan merancang dan membuat alat pengujian lelah, mahasiswa bisa langsung praktek pengujian bahan sebagai modal dasar untuk bekerja di industri bahwa suatu bahan yang akan digunakan memiliki umur kelelahan tertentu dan bisa di cegah terjadinya kerusakan atau kecelakaan.

Ilmu logam adalah ilmu mengenai bahan-bahan logam dimana ilmu ini berkembang bukan berdasarkan teori saja melainkan atas dasar pengamatan, pengukuran dan pengujian. Alat pengujian saat ini adalah kebutuhan mendesak untuk kampus politeknik kotabaru yang belum memiliki alat pengujian lelah poros dalam pemahaman ilmu bahan sebagai penunjang praktek bagi mahasiswa maupun penelitian dosen, maka perlu merancang dan membuat alat tersebut dengan perencanaan dan perhitungan beberapa komponen agar layak digunakan dan aman dalam proses pengujian seperti pembaca siklus putaran yang terekam pada data logger, hasil rekayasa konsentrasi tegangan pembebanan puntir, perencanaan poros, bantalan dan motor listrik secara teliti untuk hasil penelitian dengan akurasi tinggi.

Metode dasar untuk penyajian data rekayasa kelelahan adalah menggunakan kurva S-N, yaitu pemetaan tegangan (S) terhadap jumlah siklus hingga terjadi kegagalan (N). Nilai tegangan yang diperoleh dapat berupa nilai tegangan maksimum, minimum atau nilai rata-rata. Harga tegangan biasanya adalah tegangan nominal, yang paling banyak cara penentuan sifat-sifat Fatik material dibuat dalam lenturan balik penuh, dimana tegangan rata-ratanya bernilai nol. Pada baja, siklus S-N yang melampaui batas lelah ($N > 10^7$), baja dianggap mempunyai umur yang tak berhingga atau kegagalan diprediksi tidak akan terjadi, sedangkan untuk logam bukan besi (*non ferrous*) tidak terdapat batas lelah yang signifikan, memiliki kurva S-N dengan gradien yang turun sedikit demi sedikit sejalan dengan bertambahnya jumlah siklus[8]. Metode penelitian yang akan dirujuk dalam penelitian ini adalah merancang bangun alat pengujian lelah (*fatigue testing*) model rotary bending. Penelitian ini dimulai dengan pengkajian literatur tentang pengujian lelah bahan, baik itu kajian untuk bahan logam bukan besi (*non ferrous*) maupun logam besi (*ferrous*). Selanjutnya dilakukan perancangan alat uji lelah kemudian diteruskan ke proses pembuatan alat, setelah alat uji lelah ini selesai dibuat akan dilanjutkan untuk proses pengujian alat untuk mengetahui kekuatan lelah suatu bahan dan mengevaluasi kelayakan dan keamanan alat uji lelah model rotary bending tersebut. Hasil dari informasi pengujian lelah suatu bahan tersebut akan diperoleh data tentang kurva S-N dan mengetahui umur lelah suatu bahan hasil dari pengujian langsung dari rancangan alat yang sudah dibuat, sehingga dapat disimpulkan kelayakan dan keamanan alat yang sudah berhasil dibuat dan diuji sebagai ilmu pengetahuan baru terkini yang akan di rekomendasikan sebagai alat pengujian bahan untuk mencegah terjadinya kegagalan pada suatu bahan (poros).

Tujuan dan Tahapan Penelitian

Metode penelitian yang akan dirujuk dalam penelitian ini adalah merancang bangun alat pengujian lelah poros model rotary bending. Penelitian ini dimulai dengan pengkajian literatur tentang pengujian lelah bahan, baik itu kajian untuk bahan logam bukan besi maupun logam besi. Selanjutnya dilakukan perancangan alat uji lelah kemudian diteruskan pada proses pembuatan alat, setelah alat uji lelah ini selesai dibuat akan dilanjutkan untuk proses pengujian alat untuk mengetahui kekuatan lelah suatu bahan dan mengevaluasi kelayakan dan keamanan alat uji lelah model rotary bending tersebut. Hasil dari informasi pengujian lelah suatu bahan tersebut akan diperoleh data tentang kurva S-N dan mengetahui umur lelah suatu bahan hasil dari pengujian langsung dari rancangan alat yang akan dibuat, sehingga dapat disimpulkan kelayakan dan keamanan alat yang sudah berhasil dibuat dan diuji sebagai ilmu pengetahuan baru terkini yang akan direkomendasikan sebagai alat pengujian bahan untuk mencegah terjadinya kegagalan pada suatu bahan yang akan digunakan atau dipilih dalam dunia industri.

Pengujian Lelah (*fatigue testing*)

Kelelahan atau *fatigue* adalah kegagalan material atau mesin karena aksi tegangan yang berulang atau berfluktuasi pada material atau komponen mesin untuk beberapa kali. Banyak komponen mesin mengalami tegangan yang berulang atau berfluktuasi pada

frekuensi yang relatif tinggi dan dalam kondisi ini ditemukan kegagalan atau kelelahan yang kemudian mengarah pada penemuan mesin uji kelelahan [3]. Mesin uji lelah diklasifikasikan berdasarkan tujuan, jenis beban dan pembebanan sebagai faktor penting dalam desain dan sistem pembebanan kritis berdasarkan jenis gaya: pegas, gravitasi, sentrifugal, hidrolis, pneumatik, dan elektromagnetik. Kecelakaan dapat diakibatkan oleh pemakaian komponen yang melebihi umur lelah yang dapat diprediksi dengan uji lelah. Keterbatasan mesin uji fatik menjadikan industri jarang menguji umur lelah produknya, karena konsumen masih jarang untuk meminta itu [4].

Kegagalan kelelahan material diperoleh penyebabnya yaitu > 75% kegagalan terdokumentasi yang sebagian besar terjadi secara tiba-tiba. Umur fatik suatu komponen dapat diperoleh dari mesin uji fatik berdasarkan kondisi pembebanan. Biaya rendah empat titik model rotari bending pada mesin uji fatik. Prinsip desain didasarkan pada adaptasi teori teknis lentur balok elastis. Performa mesin dievaluasi dengan memodifikasi spesimen uji. Teramati bahwa mesin memiliki potensi menghasilkan tegangan lentur dan torsi yang bervariasi [5]. Terdapat tiga fase dalam perpatahan lelah (*fatik*) yaitu [6]:

1. Permulaan retak

Mekanisme fatik umumnya dimulai dari *crack initiation* yang terjadi di permukaan material yang lemah atau daerah dimana terjadi konsentrasi tegangan di permukaan (seperti goresan, notch, lubang-pits) akibat adanya pembebanan berulang.

2. Penyebaran retak

Crack initiation ini berkembang menjadi perpatahan terjadi ketika material telah mengalami siklus tegangan dan regangan yang menghasilkan kerusakan yang permanen. microcracks. Perambatan atau perpaduan *microcracks* ini kemudian membentuk *macrocracks* yang akan berujung pada failure.

3. Perpatahan Akhir

Perpatahan terjadi ketika material telah mengalami siklus tegangan dan regangan yang menghasilkan kerusakan yang permanen.

Pengamatan pertumbuhan retakan dan penampilan permukaan dari perpatahan tergantung pada bentuk benda uji dan jenis pembebanan yang ada. Penggunaan teknik ini sering dijumpai pada poros propeller, poros roda gigi atau poros kendaraan bermotor dan lain-lain. Dari hasil pengujian ini akan diperoleh informasi mengenai kekuatan Fatik dari bahan, dan pada benda uji yang berputar diberikan beban di ujung spesimen maka akan terjadi momen lentur sebesar (M).

Tinjauan Pustaka

Pengujian Lelah (*fatigue testing*)

Kelelahan atau *fatigue* adalah kegagalan material atau mesin karena aksi tegangan yang berulang atau berfluktuasi pada material atau komponen mesin untuk beberapa kali. Banyak komponen mesin mengalami tegangan yang berulang atau berfluktuasi pada frekuensi yang relatif tinggi dan dalam kondisi ini ditemukan kegagalan atau kelelahan yang kemudian mengarah pada penemuan mesin uji kelelahan [2]. Mesin uji lelah diklasifikasikan berdasarkan tujuan, jenis beban dan pembebanan sebagai faktor penting dalam desain dan sistem pembebanan kritis berdasarkan jenis gaya: pegas, gravitasi, sentrifugal, hidrolis, pneumatik, dan elektromagnetik. Kecelakaan dapat diakibatkan oleh pemakaian komponen yang melebihi umur lelah yang dapat diprediksi dengan uji lelah.

Keterbatasan mesin uji fatik menjadikan industri jarang menguji umur lelah produknya, karena konsumen masih jarang untuk meminta itu [3].

Kegagalan kelelahan material diperoleh penyebabnya yaitu > 75% kegagalan terdokumentasi yang sebagian besar terjadi secara tiba-tiba. Umur fatik suatu komponen dapat diperoleh dari mesin uji fatik berdasarkan kondisi pembebanan. Biaya rendah empat titik model rotari bending pada mesin uji fatik. Prinsip desain didasarkan pada adaptasi teori teknis lentur balok elastis. Performa mesin dievaluasi dengan memodifikasi spesimen uji. Teramati bahwa mesin memiliki potensi menghasilkan tegangan lentur dan torsi yang bervariasi [4]. Terdapat tiga fase dalam perpatahan lelah (*fatik*) yaitu [5]:

4. Permulaan retak

Mekanisme fatik umumnya dimulai dari *crack initiation* yang terjadi di permukaan material yang lemah atau daerah dimana terjadi konsentrasi tegangan di permukaan (seperti goresan, notch, lubang-pits) akibat adanya pembebanan berulang.

5. Penyebaran retak

Crack initiation ini berkembang menjadi perpatahan terjadi ketika material telah mengalami siklus tegangan dan regangan yang menghasilkan kerusakan yang permanen. microcracks. Perambatan atau perpaduan *microcracks* ini kemudian membentuk *macrocracks* yang akan berujung pada failure.

6. Perpatahan Akhir

Perpatahan terjadi ketika material telah mengalami siklus tegangan dan regangan yang menghasilkan kerusakan yang permanen.

Pengamatan pertumbuhan retakan dan penampilan permukaan dari perpatahan tergantung pada bentuk benda uji dan jenis pembebanan yang ada. Penggunaan teknik ini sering dijumpai pada poros propeller, poros roda gigi atau poros kendaraan bermotor dan lain-lain. Dari hasil pengujian ini akan diperoleh informasi mengenai kekuatan Fatik dari bahan, dan pada benda uji yang berputar diberikan beban di ujung spesimen maka akan terjadi momen lentur sebesar (M). Tegangan lentur yang terjadi pada permukaan bahan dapat ditentukan dengan menggunakan momen inersia dan jarak melintang benda uji dengan persamaan sebagai berikut :

$$\sigma = \frac{M.y}{I} \quad (1)$$

$$M = WL \quad (2)$$

$$y = \frac{d}{2} \quad (3)$$

$$I = \frac{\pi.d^4}{64} \quad (4)$$

Sehingga diperoleh :

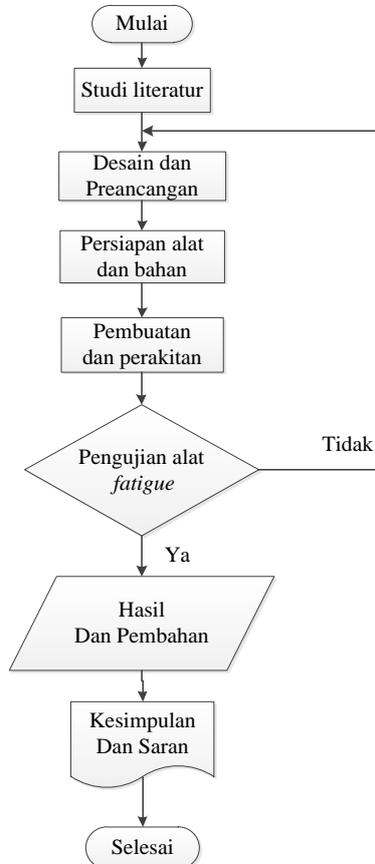
$$\sigma = \frac{32WL}{\pi.d^3} \quad (5)$$

Dimana :

- σ = Tegangan Lentur (kgf / mm²)
- W = Beban yang digunakan
- L = Jarak titik area pengujian (mm)
- d = Diameter spesimen (mm)

METODE PENELITIAN

Diagram alir metode penelitian yang dilakukan dalam pemecahan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut:



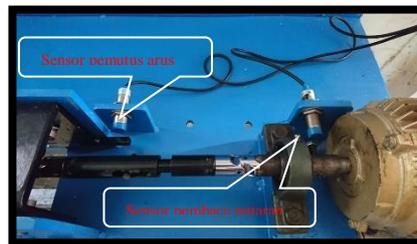
Gambar 1 Diagram alir metode penelitian

Proses perancangan alat dilakukan menggunakan gambar teknik pada AutoCAD dengan memperhatikan prinsip estetika alat untuk kenyamanan penggunaannya saat melakukan pengujian bahan dan memperhatikan dimensi alat sesuai kebutuhan. Pemilihan bahan dilakukan dengan prinsip faktor keamanan dengan melakukan pendekatan secara matematis berdasarkan standar yang sudah ditentukan dalam pemilihan bahan yang sesuai dengan hasil rancangan seperti motor listrik, poros, bantalan dan sensor pembaca putaran. Proses pembuatan alat harus mengikuti rancangan dan hasil pemilihan bahan yang sudah direncanakan berdasarkan hasil perhitungan.



Gambar 2 Instalasi motor, sensor menggunakan mikrokontroler.

Instalasi pada gambar 2 digunakan mikrokontroller arduino yang terhubung langsung pada motor listrik, sensor putaran dan sensor pemutus arus dengan tujuan bila spesimen patah maka arus ke motor akan terputus dan pembaca putaran otomatis tersimpan.



Gambar 3 Sensor pemutus arus dan pembaca putaran

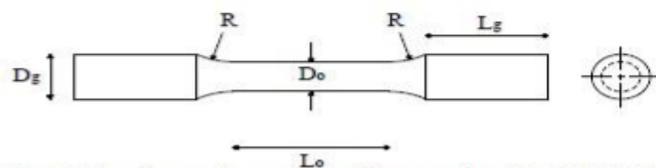
Dalam gambar 3 diperlihatkan posisi penempatan sensor untuk memutus arus dan sensor pembaca putaran motor yang bertujuan untuk memberikan informasi data hasil pengukuran secara langsung dan muncul pada layar monitor seperti pada gambar 4.



Gambar 4 Hasil pembuatan alat uji lelah

Analisa dan Pembahasan

Dalam proses pengujian alat menggunakan standar spesimen ASTM E466 seperti pada gambar 5 dibawah ini:



Gambar 5 Spesimen standar ASTM E466

Tabel 5 Spesimen standar ASTM E466

Standar	Dimensi Spesimen (mm)				
	Diameter (D _g)	Diameter (D _o)	Radius (R)	Panjang (L _o)	Panjang (L _g)
ASTM E466	10	8	15	32	29

1. Proses Pengujian Alat

- 1) Memasang spesimen uji pada *collet* mesin uji lelah *rotary bending*. Pemasangan spesimen perlu dilakukan dengan baik dan erat untuk meminimalisir terjadinya gagal pengujian dikarenakan terlepasnya spesimen uji pada *collet*. Dalam pemasangan spesimen perlu memperhatikan kelurusan pada spesimen uji dan memastikan erat pemasangan dengan menggunakan kunci 30 dan kunci inggris. Pemasangan spesimen dapat dilihat pada Gambar 6 dibawah ini.



Gambar 6 Spesimen terpasang pada mesin uji lelah

- 2) Memasang beban pengujian lelah pada mesin uji lelah *rotary bending* perlu dilakukan perhitungan untuk menentukan pembebanan pada spesimen uji yang akan diberikan. Pemasangan beban pada pengujian ini adalah 14 kgf, 18 kgf, dan 22 kgf. Pemasangan beban dapat dilihat pada Gambar 8 dibawah ini.
- 3) Setelah pemasangan spesimen uji dan pembebanan maka selanjutnya adalah menjalankan mesin uji dengan menekan tombol *start* pada *counter* putaran yang diperlihatkan pada Gambar 7, dan mulai menjalankan *stopwath* untuk mengukur waktu berapa lama spesimen uji akan patah akibat lelah.



Gambar 7 Menekan tombol start

- 4). Ketika spesimen uji patah, mesin akan secara otomatis berhenti dan selanjutnya melakukan pencatatan hasil putaran pada layar alat ukur *counter* putaran.



Gambar 8 Spesimen uji lelah patah

2. Data Hasil Penelitian

Adapun data hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 1 dibawah ini.

Tabel 1 Data Hasil pengujian Lelah

<i>Material</i>	d (mm)	Beban (kgf)	Siklus
Spesimen 1	8	14	348677
Spesimen 2	8	18	14924
Spesimen 3	8	22	9418

1) Tegangan Lentur

Tegangan lentur yang bekerja pada spesimen uji lelah dapat dihitung menggunakan persamaan (5) sebagai berikut :

$$\sigma = \frac{32WL}{\pi.d^3}$$

Dimana :

σ = Tegangan Lentur (kgf / mm²)

W = Beban yang digunakan

L = Jarak antara beban dan titik area pengujian (mm)

D = Diameter spesimen (mm)

Diketahui :

W = 14 kgf

L = 100 mm

d = 8 mm

π = 3,14

Penyelesaian :

$$\sigma = \frac{32WL}{\pi \cdot d^3}$$

$$\sigma = \frac{32 \cdot 14 \cdot 100}{3,14 \cdot 8^3}$$

$$\sigma = \frac{44800}{1607,68}$$

$$\sigma = 27,87 \text{ kgf/mm}^2 = 273,27 \text{ MPa}$$

Dengan menggunakan persamaan di atas, nilai tegangan dari masing-masing spesimen dapat dihitung dengan hasil sebagai berikut :

Tabel 1 Perhitungan Tegangan Lentur

32.W.L (kgf/mm)	$\pi \cdot (d)^3$ (mm)	$\sigma = \frac{32WL}{\pi \cdot d^3}$ (kgf/mm ²)	σ (MPa)
44800	1607,68	27,87	273,27
57600	1607,68	35,83	351,35
70400	1607,68	43,79	429,43

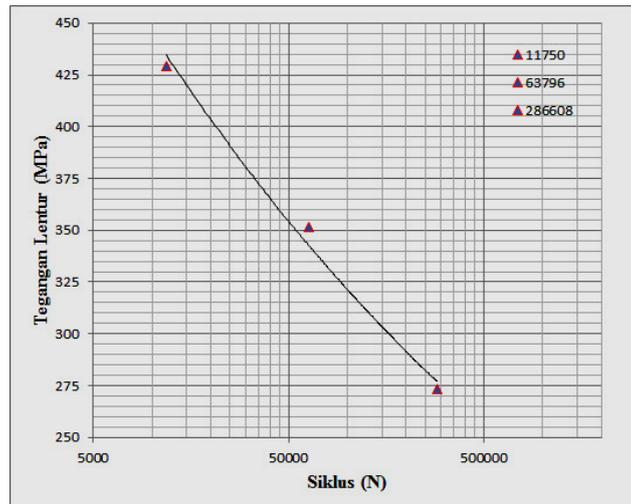
2) Pembahasan Pengujian Lelah

Dari data hasil pengujian lelah dan perhitungan tegangan lentur didapatkan nilai sebagai berikut:

Tabel 2 Nilai Tegangan Lentur dan Siklus

Beban (kgf)	Tegangan Lentur (MPa)	Siklus / N (Putaran)
14	273,27	286608
18	351,35	63796
22	429,43	11750

Setelah didapatkan nilai *stress* (S) dan *Natural Frequency* (N) atau siklus, diagram S-N dapat dibuat dari nilai yang diperlihatkan pada Tabel 3.



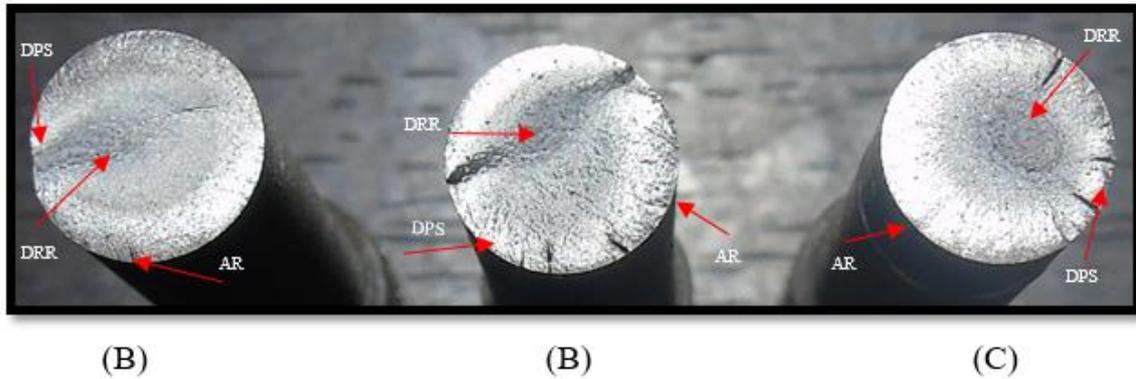
Gambar 9 Kurva S-N

Dari hasil pengujian bahwa besar pembebanan, kondisi material dan sifat ketahanan lelah material memiliki hubungan yang sangat erat. Setiap penambahan beban pada spesimen uji yang akan memperpendek siklus atau ketahanan lelah material. Penambahan beban berarti juga menambah tegangan pada spesimen, batas aman beban dapat diketahui dari perhitungan dan pengujian (Kurva S-N) berada pada daerah dibawah beban sebesar 14 kgf atau tegangan sebesar 273,27 Mpa.

Dari pengujian diketahui kecenderungan pengaruh pembebanan alat uji lelah terhadap jumlah siklus yang dihasilkan hingga spesimen patah. Perbedaan antara ketiga spesimen dapat dilihat pada jumlah siklus pada ketiga spesimen dengan variasi beban untuk pengujian lelah diperoleh siklus yang paling sedikit terjadi pada spesimen 3 dengan beban pengujian lelah 22 kgf sebesar 9418 siklus. Sedangkan jumlah siklus yang paling banyak, terjadi pada pengujian kelelahan pada spesimen 1 dengan pembebanan pengujian lelah 14 kgf sebesar 348677 siklus.

Secara teoritis, besar tegangan akibat pembebanan dan kecepatan putar pada alat uji lelah atau disebut juga frekuensi pembebanan. Tegangan yang semakin kecil akan mempengaruhi siklus, sehingga menghasilkan batas lelah yang semakin lama hingga akhirnya spesimen patah. Sebaliknya dengan pembebanan yang semakin berat pada pengujian lelah maka tegangan yang dihasilkan akan semakin meningkat, sehingga sedikit siklus cepat mengakibatkan patah.

Analisa mengenai penampang patahan yang terjadi pada spesimen dapat menjadi data tambahan untuk menarik kesimpulan akhir dari uji lelah. Penampang patahan memiliki tiga daerah utama yaitu : awal retak (inti *fatigue*), daerah perambatan retak (*beach mark*), dan daerah patahstatis (patah *ultimate*).



Gambar 10 Alur patah pada spesimen uji lelah

Keterangan :

AR = Awal Retak

DRR=Daerah Rambatan Retak

DPS = Daerah Patah Statis

Pada gambar 10 alur patah pada spesimen uji menunjukkan nilai beban yaitu (A) spesimen patah pada beban 14 kgf, (B) spesimen patah pada beban 18 kgf, dan (C) spesimen patah pada beban 22 kgf. Patahan spesimen pada Gambar 10 menunjukkan bahwa terjadi awal crack dan terus berkembang hingga penampang yang tersisa tidak kuat lagi menahan beban dan sehingga terjadi perpatahan akhir. Permukaan hasil dari pengujian lelah adalah tidak rata dan terjadi sobekan. Semakin tinggi beban yang digunakan maka patahan spesimen terlihat kasar pada uji lelah.

Dari ketiga penjelasan di atas bahwa yang termasuk patah getas yaitu pada Gambar 10 (A) yang terlihat patahan yang rata dan sedikit sobekan yang tidak terlalu jelas serta daerah rambatan retak terlihat halus, hal ini disebabkan karena sedikit penjarangan akibat getaran. Sedangkan untuk patah ulet yaitu pada Gambar 10 (B) dan (C) yang terlihat jelas daerah rambatan retak, hal ini disebabkan karena terjadi penjarangan getaran yang mengakibatkan patahan berbeda, menunjukkan permukaan / pola yang kasar.

Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil pengujian alat dengan membandingkan hasil penelitian yang sudah ada, diperoleh kelayakan alat untuk digunakan sebagai alat pengujian dengan dibantu mikrokontroler yang bisa memutus arus dan membaca siklus saat spesimen sudah patah. Hasil pengujian yang telah dilakukan sebanyak 3 pembebanan diperoleh hasil kemudian di masukan kedalam kurva S-N dan terlihat Penambahan beban berarti juga menambah tegangan pada spesimen dari beban 14 kgf atau tegangan sebesar 273,27 Mpa. Dengan pembebanan paling rendah dan pengujian lelah beban 22 kgf sebesar 9418 siklus dengan beban tertinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- G. E. Dieter, 2011, ” *Mechanical metallurgy*, doi: 10.5962/bhl.title.35895
- G. A. Ikechukwu, O. O. Clementina, and C. L. Onyebuchi, 2013, “*Design and characterization of a fatigue testing machine*,” *Lect. Notes Eng. Comput. Sci.*, vol. 1, pp. 412–418.
- S. Hadi, A. Murdani, and F. Rokhman, 2017, “*Design , Fabricated , and Trial on a Fatigue Test Machine*,” pp. 201–207.
- S. J. Chauhan et al., 2016, “*Design and Fabrication of Rotating Bending Fatigue Testing Machine – A Laboratory Development Project*,” *Int. Res. J. Eng. Technol.* e-ISSN, vol. 03, no. 04, pp. 816–819.
- S. Ali, M. Hamza Tahir, M. Asad Saeed, M. Kashif Khan, and N. Zaffar, 2019, “*Design and Development of Fatigue Machine: Rotating Bending Fatigue Testing on different Materials*,” *Int. J. Adv. Eng. Manag.*, vol. 4, no. 2, pp. 8 15.