

PERANCANGAN MESIN UJI LELAH BAJA POROS DENGAN PEMBEBANAN PUNTIR DINAMIS

Udur Januari Hutabarat, Melvin Bismark H. Sitorus
Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Medan, Medan
E-mail: udur.htbarat@gmail.com

Abstrak--Kegagalan lelah pada suatu komponen dalam struktur mekanik akibat beban dinamis menjadi dominan ketika dalam pengoperasiannya tidak memperhatikan daerah pembebanan. Dalam sistem pengujian lelah dengan beban puntir dinamis, kekuatan lelah material dipengaruhi oleh faktor konsentrasi tegangan, kondisi permukaan, dimensi material dan temperatur pengoperasian. Kondisi kegagalan tersebut mendorong penulis melakukan penelitian dengan terlebih dahulu melakukan perancangan alat untuk menguji karakteristik lelah spesimen poros yang dikenai beban putar dinamis. Perancangan dilakukan meliputi konstruksi mesin uji, motor penggerak 1450 Rpm dengan daya $\frac{1}{4}$ Hp, kopling penghubung, bantalan duduk, control on-off, counter hour, desain specimen standar ASTM E466 dan variasi pembebanan maksimum 10 Kg. Dari hasil perancangan ini dilanjutkan dengan uji coba pengujian specimen baja poros dengan variasi beban putar dinamis dengan putaran konstan.

Kata kunci: Perancangan, Pengujian lelah, Puntir dinamis, Poros.

1. PENDAHULUAN

Baja merupakan logam yang banyak dipakai di bidang teknik, karena kekuatan tarik yang tinggi dan keuletan yang baik. Paduan ini mempunyai sifat mampu bentuk yang baik dan sifat-sifat mekaniknya dapat diperbaiki dengan jalan perlakuan panas. Perlakuan panas dapat menjadikan bahan mampu bentuk, dapat meredakan tegangan, meningkatkan kekerasan, ketahanan terhadap fatik, tahan aus dan ketahanan terhadap korosi. Pemakaian baja merupakan jenis logam yang paling banyak dijumpai pada berbagai bidang teknik, terutama untuk keperluan industri, bidang konstruksi, pembuatan alat-alat perkakas, poros mesin-mesin dan lain-lain.

Pada beberapa jenis komponen dalam suatu struktur mekanik yang mengalami bentuk pembebanan dinamis, seperti pada komponen gandar dan sejenisnya, kegagalan karena lelah merupakan penyebab utama atas kerusakan yang terjadi. Menurut Dieter (1986), kegagalan lelah (*fatigue failure*) adalah kegagalan yang terjadi pada keadaan beban dinamik setelah periode pemakaian cukup lama. Tahapan kelelahan material terdiri atas *crack initiation* yang bermula pada daerah dengan konsentrasi tegangan yang tinggi, *crack growth* dan *final fracture*. Kerusakan pada mesin atau struktur dimulai dari lokasi yang mempunyai konsentrasi tegangan. Munculnya konsentrasi tegangan dapat disebabkan lubang, kekasaran permukaan, cacat material, porositas, inklusi, pemanasan lebih lokal pada saat pemesinan, dekarburasi dan sebagainya.

Sebagian besar kegagalan tidak terdeteksi, sehingga menyebabkan perpatahan pada suatu komponen atau struktur secara tiba-tiba. Ini merupakan suatu tantangan bagi para insinyer untuk dapat mengantisipasi kegagalan yang disebabkan oleh fatik tersebut dengan

memperkecil resiko terjadinya kegagalan fatik mulai dari tahap-tahap desain, fabrikasi sampai pada inspeksi melalui penelitian-penelitian yang berkelanjutan. Penelitian yang diusulkan ini merupakan tindak lanjut untuk mengetahui atau menganalisis salah satu bahan logam. Diharapkan luaran dari penelitian ini dapat digunakan sebagai acuan dalam perancangan komponen-komponen mesin terutama komponen-komponen yang terkena beban puntir dinamis.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Pada sistem pembebanan berulang (bervariasi), terdapat beberapa faktor yang berpengaruh terhadap kekuatan lelah suatu material. Faktor-faktor tersebut diantaranya: faktor konsentrasi tegangan, kondisi permukaan, dimensi material, temperatur operasi dan jenis variasi pembebanan yang diterima. Karena efek konsentrasi tegangan, kegagalan lelah dapat terjadi dengan tegangan kerja yang besarnya jauh dibawah dari sepertiga kekuatan tarik statiknya (Surdia, 1992). Sedangkan terutama pada material baja, karena efek kondisi permukaan, dimensi material dan temperatur operasi besarnya harga-harga tersebut harus dimasukkan sebagai faktor pereduksi yang harus dikalikan dengan harga kekuatan lelah dari material yang digunakan (Darmawan, 1997).

Pada berbagai penelitian yang telah dilakukan untuk memperbaiki sifat lelah material membuktikan bahwa pada pembebanan statik yang berupa tekanan internal pada struktur tabung gas (dengan material paduan 6351-T6) dapat menyebabkan terbentuknya retak pada lokasi lipatan dan goresan. Retakan ini dapat menyebabkan terjadinya kebocoran bahkan ledakan (Iam, dkk, 1994). Untuk itu dari hasil penelitian tersebut merekomendasikan perlu

dilakukannya proses perlakuan permukaan yang dihubungkan dengan geometri takik yang terjadi. Suhartono (2002) menyatakan lelah adalah kerusakan karena beban berulang atau perubahan struktur, dan progresif yang terjadi pada bahan yang dibebani dengan tegangan/regangan fluktuatif yang dapat mengakibatkan retak atau patahan setelah jumlah siklus tertentu. Kondisi pembebanan yang menyebabkan lelah adalah fluktuasi tegangan, getaran (*vibrasi*), regangan, temperatur atau salah satu unsur diatas di dalam lingkungan korosif atau pada suhu tinggi (Dieter, 1986).

Kerusakan karena lelah mulai terjadi sebelum terbentuknya suatu retak. Akibat beban siklus maka terjadi deformasi plastik (*slip*) secara lokal. Bila *slip* terjadi maka *slip* tersebut dapat terlihat pada permukaan logam sebagai suatu tangga (*step*) yang disebabkan oleh pergerakan logam sepanjang bidang *slip*. Demikian seterusnya maka lama kelamaan akan terjadi suatu retak. Siklus untuk menimbulkan awal retak dan penjaralan retak tergantung pada tegangan yang bekerja. Bila tegangan yang bekerja tinggi maka waktu terbentuknya awal retak akan lebih pendek. Bila tegangan yang sangat rendah maka hampir seluruh umur lelah digunakan untuk membentuk retak awal. Pada tegangan yang tinggi sekali retak terbentuk sangat cepat (Dieter, 1986).

Faktor dasar agar terjadi kegagalan lelah adalah tegangan tarik maksimum yang cukup tinggi, variasi atau fluktuasi tegangan yang cukup besar dan siklus penerapan tegangan yang cukup besar. Faktor yang cenderung mengubah kondisi kelelahan yaitu konsentrasi tegangan, korosi, suhu, kelelahan bahan, struktur metalurgis, tegangan sisa dan tegangan kombinasi (Dieter, 1986).

Faktor penyebab kerusakan atau kegagalan ditinjau dari bahan antara lain oleh kesalahan spesifikasi bahan/komposisi kimia, cacat pengecoran (porositas, inklusi, segregasi, retak, sobekan panas), cacat proses pembentukan (*lamnasi, seams, stringers, lap cracks*) salah manufaktur dan laku panas (*casting, metalworking, heat treatment, machining, joining/welding*), pengerjaan akhir (*coating, surface treatment, mechanical finishing*) dan terjadinya penurunan sifat mekanis (Suhartono, 2002).

Kerusakan akibat kelelahan secara makro tidak terlihat namun pertumbuhannya cepat dan sangat berbahaya. Penanggulangan kerusakan dapat dilakukan dengan menurunkan gaya/tegangan kerja melalui perbaikan disain (bentuk, geometri, dimensi), meningkatkan ketahanan bahan melalui pemilihan bahan yang sesuai, perbaikan proses manufaktur, perlakuan panas dan mengendalikan lingkungan seperti temperatur kerja, kotaminasi, dan lingkungan korosif

Pada pengujian lelah terdapat suatu poros yang berputar, diberi beban lentur, akan mengalami tegangan tarik dan tekan pada setiap putaran dari poros tersebut. Kalau poros merupakan suatu bagian dari sebuah motor listrik yang berputar 800 rpm, poros tersebut mendapat tegangan tarik dan tekan 800 kali setiap menit. Kalau kondisi ini poros juga menerima beban aksial dari tegangan akan saling menambah dengan komponen tegangan lentur. Ini menghasilkan suatu tegangan pada setiap satu serat yang masih berubah-ubah, tetapi berubah antara harga yang berbeda. Beban-beban ini dan jenis beban lainnya yang terjadi dalam anggota-anggota mesin menghasilkan tegangan yang disebut tegangan yang berulang, bolak-balik atau tegangan berfluktuasi (Shigley, 1989).

Suatu kegagalan lelah bermula dengan sebuah retak kecil. Retak permulaan ini begitu kecil sehingga tidak bisa dilihat oleh mata telanjang dan bahkan agak sulit ditemukan melalui pemeriksaan sinar X. Retak tersebut akan timbul pada titik ketidak mulusan pada bahan. Titik yang kurang jelas dimana kegagalan lelah mungkin timbul adalah pada tanda-tanda pemeriksaan atau cap, retak dalam atau bahkan ketidakberaturan karena pengerjaan mesin. Sekali waktu retak muncul, pengaruh pemusatan tegangan menjadi bertambah besar dan retak tersebut akan maju lebih cepat. Begitu ukuran luas yang menerima tegangan berkurang, tegangan bertambah besar sampai akhirnya luas yang tersisa tiba-tiba gagal menahan tegangan tersebut. Karena itu kegagalan lelah ditandai dari perkembangan retak yang ada dan kepatahan mendadak dengan daerah yang mirip perpatahan bahan rapuh (Shigley, 1989).

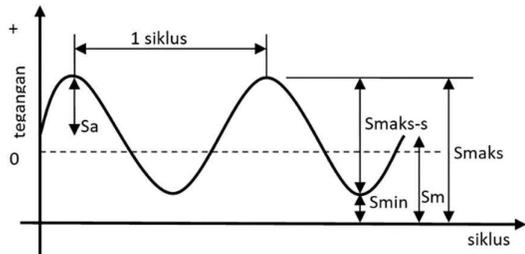
Pada pengujian lelah dengan pembebanan lentur putar membuktikan bahwa pada spesimen dengan berbagai bentuk dan dimensi takik, retak lelah diawali pada lokasi terjadinya efek konsentrasi tegangan. Adapun besarnya harga faktor konsentrasi tegangan (K_t) bergantung pada geometri takik. Semakin tajam sudut takik, harga faktor konsentrasi tegangan akan semakin tinggi. Semakin besar harga K_t , kekuatan lelah spesimen akan semakin turun (Collins, 1980).

Secara umum, hubungan tegangan geser terhadap siklus pembebanan pada pengujian lelah dengan beban lentur putar dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan sebagai berikut:

$$N.S^P = C$$

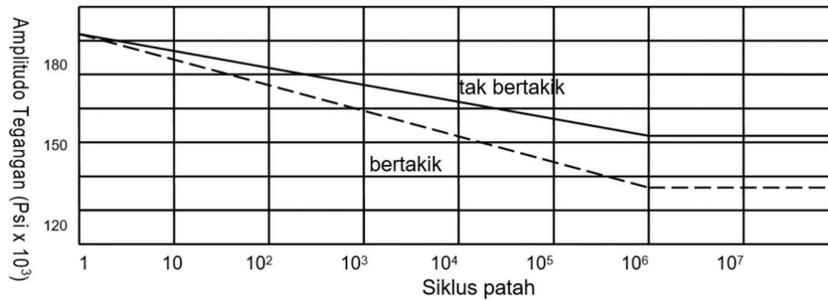
dengan N : siklus pembebanan
 S : tegangan geser yang bekerja
 P dan C : Konstanta empiris bahan

Pada jenis pembebanan lentur-putar (*rotary bending*), bentuk beban dapat digambarkan dalam pola sebagai berikut:



Gambar 1. Konfigurasi amplitudo tegangan konstan

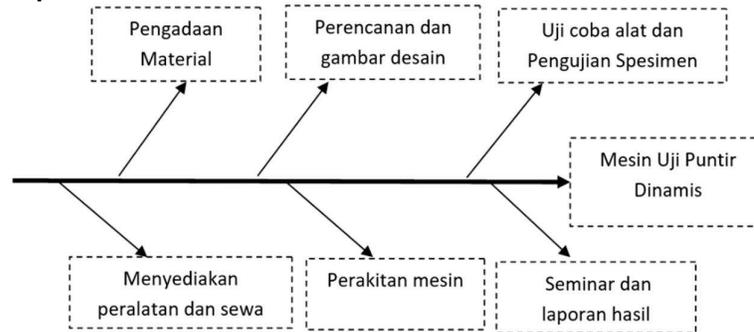
Dari hasil pengujian lelah material dengan beban lentur putar menunjukkan, bahwa ketidak-kontinuan geometri takik terhadap kekuatan lelah material memberikan pengaruh yang cukup besar. Dari data hasil penelitian yang sudah dilakukan menunjukkan bahwa spesimen dengan takik V memiliki ketahanan lelah yang lebih rendah dibandingkan dengan spesimen tanpa takik (Sagaf, 2002). Data penelitian tersebut dinyatakan dalam bentuk grafik S – N (beban terhadap siklus pembebanan) sebagai berikut:



Gambar 2. Grafik S-N hasil pengujian lelah dengan beban lentur putar untuk spesimen tanpa takik dan spesimen bertakik-V

3. METODE PELAKSANAAN

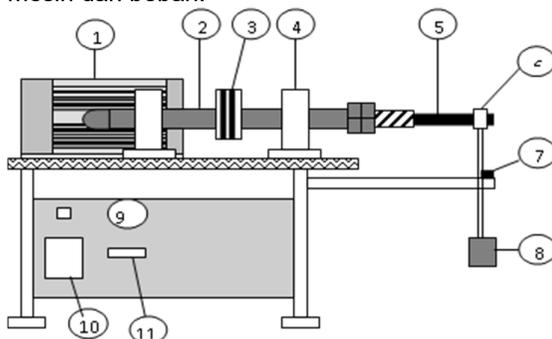
3.1 Tahapan-Tahapan Penelitian



Gambar 3. Skema tahapan penelitian

3.2 Rancangan Penelitian

Peralatan uji lelah didesain seperti diperlihatkan pada Gambar 4. Bahan yang digunakan untuk memproduksi peralatan uji adalah baja struktur St 40 dan St 50 masing-masing untuk konstruksi mesin dan beban.



Gambar 4. Mesin Uji Lelah Poros dengan Puntir Dinamis

Keterangan:

1. Motor Listrik
2. Poros
3. Pulley dan Belt
4. Bantalan Poros
5. Spesimen
6. Bantalan Beban
7. Limit Switch
8. Beban
9. Switch On-Off
10. Magnetik Kontraktor
11. Counter Hour

Komponen-komponen utama mesin uji lelah dikerjakan pada workshop mesin. Sedangkan perlengkapan pendukung lainnya dibeli. Adapun komponen dan peralatan yang digunakan antara lain:

- a. Mesin bubut untuk membuat poros dan beban
- b. Mesin las untuk merakit dudukan mesin

Pada mesin ini terdapat empat unit utama, yaitu:

1. Unit penggerak (*driver unit*)

Unit penggerak (*driver unit*) merupakan sebuah motor listrik 1-fasa dengan daya 1/4 HP, putaran 1450Rpm dan tegangan sebesar 220 V. pertimbangan spesifikasi motor penggerak adalah dengan pertimbangan standar specimen yang diuji yaitu maksimum pada diameter 10 mm dengan pembebanan 20 kg. Spesimen diputar melalui poros penggerak yang dihubungkan dengan kopling fleksibel untuk mengatasi perubahan yang terjadi pada saat spesimen membengkok.

2. Komponen pembebanan beban bending (*bending loading component*)

Momen bending diberikan pada sebuah batang yang digantung pada ujung spesimen. Rumah bantalan yang ada pada ujung spesimen sisi menyebabkan momen bending yang diberikan terhadap spesimen uji lelah seragam. Beban dapat diberikan atau dilepaskan tanpa mengakibatkan kejutan tambahan terhadap spesimen. Komponen pembebanan dapat di variasikan dari 5-20 Kg.

3. Alat penghenti otomatis (*automatic stop device*)

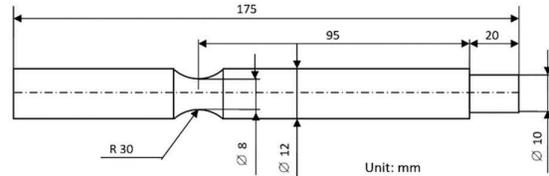
Alat ini adalah tombol pembatas yang beroperasi berdasarkan gerakan rumah bantalan. Pada saat terjadi kegagalan atau perpatahan pada spesimen uji, maka sumber tegangan dapat diputuskan secara otomatis. Fungsi alat ini mirip seperti tombol *stop engine* pada kendaraan bermotor.

4. Pencatat (*Counter*)

Pada sisi yang berlawanan dengan motor listrik terdapat sebuah pencatat putaran poros yang ditransmisikan ke pencatat putaran poros yang ditransmisikan ke pencatat melalui sebuah *wire ladder chain* dan melewati sebuah roda gigi cacing dengan perbandingan kecepatan 1000: 1. Angka terkecil pada pencatat dihitung sebagai 100 kali putaran spesimen, sehingga aktualnya pencatat tersebut menghitung hingga 10^7 putaran.

3.3 Teknik Pengumpulan dan Analisis Data

Setelah dilakukan perancangan, kemudian dilakukan uji coba dan kalibrasi. Pengujian dilakukan beberapa kali dengan menggunakan spesimen sesuai standar ASTM dalam pengujian lelah poros. Berikut ukuran specimen sesuai standar ASTM E-466.



Gambar 5. Ukuran Spesimen (sesuai ASTM E466)

4. HASIL DAN LUARAN YANG DICAPAI

Dari gambar rancangan dilakukan fabrikasi konstruksi rangka, kemudian pemasangan komponen mesin yaitu motor penggerak, bantalan, kopling, poros penghubung dan penekam specimen uji, lalu menyetel dudukan semua komponen serta mengunci dengan baik. Melakukan uji coba tanpa beban, setelah dinyatakan dalam keadaan aman, kemudian dilakukan pemasangan specimen uji seperti gambar di bawah ini.



Gambar 6. Hasil rancangan mesin uji puntir dinamis dan pemberat

5. KESIMPULAN

Mesin ini mempunyai dimensi 40 x 50 x 50 cm, menggunakan motor listrik 1 fasa 1450 Rpm, daya 1/4 HP dan tegangan 220V, dapat menguji spesimen baja poros maksimum diameter 10 mm dalam standar ASTM E 466 pada putaran konstan dan pembebanan mulai dari 5 -20 Kg.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. ASTM, Annual Book of ASTM Standarts, 1996, *Metal Test Methods and Analytical Procedures*, Section 3, Volume 03.01, USA
- [2]. Dieter, G, E., 1986, *Mechanical Metallurgy*, Third Edition, McGraw-Hill, NewYork

- [3]. Fuchs, H.O., 1980, *Metal Fatigue in Engineering*, John Wiley & Son, Singapore.
- [4]. Gibson, R.F. 1994, *Principles of Composite Material Mechanics*, McGraw-Hill, New York
- [5]. Shigley, J.E 1989, *Mechanical Engineering Design*, Fifth Edition, McGraw-Hill, New York
- [6]. Smith, F.W., 1990, *Principles of Metal Science and Engineering*, Ed.2, John Wiley & Son, Singapore
- [7]. Sadagopan, D & Pichumani, R. 1998, *Property Based Optimal Design of Composite materials and Their Internal Architectures*, J. Composite Material, 32 (19): 1741-1752
- [8]. Suhartono, A., 2002, *Failure Analysis and Prevention of Machinery and Structural Componen*, Yayasan Puncak Sari, Jakarta.
- [9]. Surdia., Saito S., 1992 " Pengetahuan Bahan Teknik", Cetakan Kedua, PT Pradna Paramita, Jakarta
- [10]. Hutabarat Udur, 2005" Studi Perambatan Retak Fatik Pada Pipa Baja Karbon Rendah", Thesis, Perpustakaan Universitas Gajah Mada, Yogyakarta
- [11]. Hutabarat Udur, 2015" Perambatan retak fatik tarik dinamis pada pipa baja karbon rendah", *Jurnal Flywheel*, Volume I Nomor 2, November 2015.