

PENGARUH PENGHILANGAN KEKASARAN PERMUKAAN TERHADAP KEKUATAN FATIK

EFFECT OF SURFACE ROUGHNESS REMOVAL TO FATIGUE STRENGTH

H. Agus Suhartono
UPT Laboratorium Uji Konstruksi BPPT
UPT LUK BPPT, Kawasan PUSPIPTEK Serpong Tangerang 15310 Indonesia
Agus.suhartono@bppt.go.id

Abstrak

Tujuan penelitian ini adalah untuk menyelidiki dan membuktikan bahwa kegagalan kelelahan baja dimulai dari permukaan. Oleh karena itu tindakan pencegahan dengan memperhalus permukaan sangat penting untuk mencegah beban kelelahan baja. Spesimen dari AISI 1045 Steel dimuat dengan cara uji kelelahan lentur putar. Kelelahan pemuatan akan disela sebagai umur kelelahan mencapai 50% dari umur kelelahan dan 75% dari umur kelelahan. Selama gangguan lainnya yang spesimen akan digiling dan dipoles, sebelum diuji benar-benar sampai patah akibat kelelahan yang terjadi. Umur kelelahan dari setiap kelompok specimen diuji berdasarkan beban akan dibandingkan dengan spesimen oleh kelelahan bongkar tanpa aturan. *The Miner rule* digunakan untuk mengevaluasi hasil tes. Pengaruh gangguan lainnya dan perlakuan permukaan dievaluasi dan dianalisis.

Kata kunci : Fatik, kurva S-N, Kualitas permukaan

Abstract

The aim of the study is to investigate and to prove that the fatigue failure of steel is initiated from the surface. Hence the preventif action of smoothing the surface that has been loaded by fatigue loading is very important. The specimen of AISI 1045 Steel is loaded by means of rotary bending fatigue. The fatigue loading will be interrupted as the fatigue life reaching 50% of fatigue life and 75 % of fatigue life. During the interruption the specimen will be grinded and polished, before tested completely until fatigue fracture occurred. The fatigue life of each group of specimen based on the art of loading will be compared to the specimen tested by fatigue loading without interruption. The Miner rule is used to evaluated the test result. The influence of interruption and surface treatment is evaluated and analyzed.

Keywords : fatigue failure, S –N curve, surface quality.

Diterima (received) : 30 Oktober 2015, Direvisi (reviewed) : 14 Nopember 2015, Disetujui (accepted) : 25 Nopember 2015

PENDAHULUAN

Ketahanan fatik suatu komponen dipengaruhi oleh kualitas permukaan. Kegagalan fatik umumnya bermula dari retak awal yang terjadi pada permukaan komponen. Kualitas permukaan yang baik memiliki pengaruh yang positif terhadap ketahanan fatik. Umur kerja suatu komponen akan berkurang dengan timbulnya retak.

Awal retakan dapat berasal dari cacat yang terjadi pada proses fabrikasi, transportasi, perakitan dan pemasangan mesin, maupun akibat beban operasi.

Proses kegagalan fatik dimulai dari nukleasi retak (awal keretakan) sampai pada kondisi akhir yaitu patah (final fracture). Pada komponen yang mengalami beban fatik (beban berulang), maka nukleasi retak lelah dapat saja terjadi diawali dengan skala

mikroskopis yang kecil dilanjutkan dengan pertumbuhan retak ke skala yang lebih besar dan akhirnya mengalami kegagalan¹⁾.

Kegagalan fatik yang umumnya berawal dari permukaan dapat dihindari dengan menghilangkan retak mikro yang ada di permukaan dan menjaga kehalusan permukaan komponen. Penelitian ini dilakukan untuk membuktikan bahwa dengan selalu menghilangkan kekasaran permukaan dan retak mikro pada komponen maka kegagalan akibat beban fatik dapat dihindari²⁾.

Pengujian dinamis diperlukan terutama pada validasi dan evaluasi konstruksi struktur peralatan transportasi dan struktur mesin. Tes fatik secara konvensional yang sering dilakukan yaitu dengan cara pemberian beban amplitudo tegangan yang tetap spesimen sampai spesimen itu patah. Pengujian dapat dibuat dalam berbagai tingkat tegangan untuk menentukan kurva S – N, namun setiap kali pengujian, tegangan maksimum dijaga konstan sampai pengujian selesai.

Proses pengujian dimana sebuah spesimen untuk dibebani dengan sejumlah siklus di bawah tegangan batas umur fatik, dan sesudah itu pengujian diteruskan hingga spesimen patah pada tegangan yang lain. Perbandingan antara jumlah siklus pada tegangan tertentu dengan umur fatik pada tegangan yang sama dinamakan perbandingan siklus. Kerusakan yang diakibatkan oleh perbandingan siklus tegangan akan dievaluasi dengan melihat pada pengurangan umur fatik.

Rumus untuk menghitung hubungan linear kerusakan secara kumulatif sering disebut dengan aturan *Miner (Miner's rule)*, Miner mengasumsikan bahwa umur total dari suatu komponen dapat diestimasi dengan menambahkan persentase umur lelah dari setiap siklus pembebanan berlebih^{1,3,4)}. Jika n_1, n_2, \dots, n_k mewakili jumlah dari siklus yang dioperasikan pada berbagai tingkat tegangan dan N_1, N_2, \dots, N_k mewakili umur (dalam siklus) pada tingkat tegangan yang sama, maka

$$\frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_2} + \dots + \frac{n_k}{N_k} = 1 \text{ atau}$$

$$\sum_{j=1}^k \frac{n_j}{N_j} = 1 \quad (1)$$

siklus pembebanan yang dapat diterima bahan. Di bawah batas fatik (S_{ad}) tidak akan terjadi perpatahan atau siklus pembebanan yang dapat diterima bahan tidak terhingga.

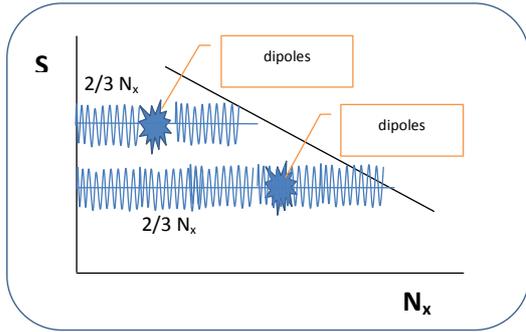
Karena retak fatik secara umum berawal di permukaan, kondisi permukaan dari komponen yang diberi beban juga mempengaruhi umur fatik. Kekasaran permukaan menjadi penting karena langsung berhubungan dengan tingkat dan nilai konsentrasi tegangan di permukaan. Semakin tinggi nilai konsentrasi tegangan, semakin mudah nukleasi retak terjadi. Permukaan yang halus meningkatkan waktu untuk awal nukleasi retak. Lubang, goresan, dan faktor lain sejenis itu akan mengurangi umur fatik.

BAHAN DAN METODE

Material yang diteliti adalah baja C 45. Baja ini adalah baja perlit ferit dengan kandungan perlit lebih besar. Tegangan mulur dan tegangan tarik maksimum dilakukan pengujian dengan standard^{5,6)} dan memberikan hasil uji titik luluh dan tegangan tarik maksimum adalah 400 MPa dan 600 Mpa dan kekerasan 200 BHN. Bahan yang diteliti adalah baja permesinan (machinary steel) kelas AISI 1045, berbentuk batang dengan diameter 14 mm yang memiliki komposisi kimia yang terdiri dari: C : 0,444, Si = 0,198, Mn = 0,641, P = 0,016 S= 0,022 dan Cr =0,279

Metode penelitian untuk membuktikan fenomena bahwa patahan fatik berawal dari permukaan dilakukan dengan prosedur sebagai berikut:

1. Melakukan pengujian fatik dengan beberapa specimen untuk mendapatkan Kurva Woehler (Kurva S-N)
2. Benda uji dibebani dengan satu tingkat tegangan yang berada pada bagian miring dari kurva S – N. misalnya diambil tingkat tegangan, S_x . maka dengan menggunakan persamaan garis yang telah dibuat, didapat jumlah siklus sebesar saat benda uji mengalami patah pada umur fatiknya (siklus N_x)
3. Pengujian dilakukan hingga sepertiga umur fatik pada tingkat tegangan S_x yaitu: $2/3 N_x$ siklus (lihat Gambar 1)
4. Pengujian dihentikan, kemudian permukaan spesimen dihaluskan untuk menghilangkan retak mikro yang terjadi selama pengujian.
5. Lalu pengujian dilakukan kembali sampai terjadi perpatahan
6. Prosedur diulangi langkah (1) sampai (5) untuk tingkat tegangan yang berbeda.



Gambar 1.
Metode Pengujian

Benda uji dibuat sesuai dengan standar JIS Z 2274. Kekasaran permukaan benda uji diukur dengan alat Surf-test M-211 hasil pengukuran adalah 1,21 -1,57 mikro meter. Pengujian fatik dilakukan pada mesin uji fatik Schenk, jenis PUPN SIMPLEX (4 point bending) berkekuatan max 900 Mpa, dengan kecepatan putar 50 putaran/ detik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian dan perhitungan umur di perlihatkan pada Tabel 1 dan Tabel 2, serta kurva S-N pada Gambar 2. Prosedur pengujian dan perhitungan yang ditetapkan dalam metode penelitian dilakukan dan dijelaskan hasilnya pada uraian berikut:

1. Pengujian fatik dilakukan untuk mendapatkan kurva Woehler (kurva S-N). Yaitu hubungan antara tegangan (MPa) dan jumlah siklus (N). Hasil pengujian disajikan pada Wöhler diagram pada

Gambar 2. Dari diagram tersebut didapatkan persamaan Wöhler diagram pada fatik siklus terbatas sebagai

$$\log N = \log C - k \cdot \log S_a \quad (2)$$

atau

$$\log S_a = \log C - \frac{1}{k} \log N \quad (3)$$

N = jumlah siklus

K = konstanta

S_a = Amplitudo tegangan

Dari 8 buah benda uji didapatkan grafik kurva S-N yang ditunjukkan pada Gambar 2., dengan persamaan kurva :

$$\log S = \log 705,9 - 0,077 \cdot \log N \quad (4)$$

2. Memilih suatu nilai tegangan yang berada kurva S-N (kurva Woehler), yaitu pada tegangan 270 MPa, 240 MPa dan 210 MPa. Untuk menghitung umur fatik bahan diambil sebagai contoh adalah tegangan $S = 240$ MPa. Dengan persamaan garis miring kurva S-N (kurva Woehler) yang ada dapat diperoleh umur fatik:

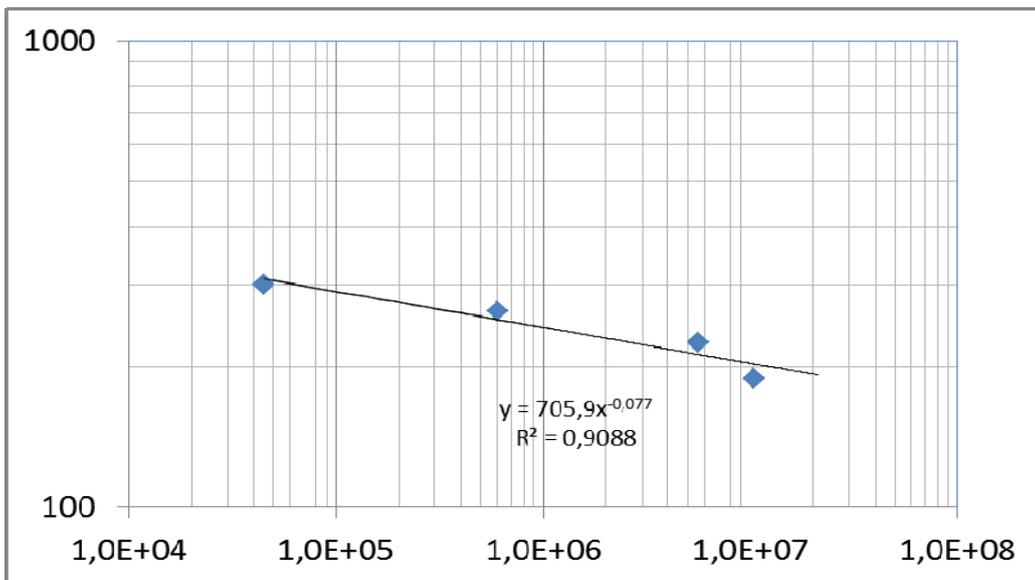
$$\log S = \log 705,9 - 0,077 \log N$$

$$\log N = (\log 705,9 - \log S) / 0,077$$

$$\log N = 6,068$$

$$N = 1169500$$

Hasil perhitungan ini selanjutnya dituangkan pada Tabel 1 dan Tabel 2 dengan nama hasil pengujian I.



Gambar 2.
Diagram Wöhler hasil pengujian

3. Pengujian dilakukan dengan beban 240 MPa. Setelah pengujian hingga nilai siklus 2/3 dari siklus patah yaitu $N = 1/2 \times 1169500$ yaitu hingga siklus $N = 5894250$, setelah siklus tersebut tercapai pengujian dihentikan kemudian dilakukan pengamplasan permukaan dengan amplas grid 400 sampai specimen halus kembali. Pengujian dilanjutkan dengan nilai tegangan 240 MPa pada spesimen tersebut hingga patah.
4. Selanjutnya prosedur pengujian yang sama dilakukan pada 3 tingkat tegangan yang berbeda, yaitu selain pada tingkat tegangan 240 MPa, juga tingkat tegangan 270 MPa, dan 210 MPa. Hasil pengujian ini selanjutnya dituangkan pada Tabel 1 dengan nama Pengujian II.
5. Langkah No 3 hingga langkah No 5 dilakukan dengan pemberhentian uji pada siklus pembebanan 75 % untuk dihaluskan kembali, untuk tingkat

tegangan 240 MPa, juga tingkat tegangan 270 MPa, dan 210 MPa. Hasil pengujian ini selanjutnya dituangkan pada Tabel 2 dengan nama Pengujian III .

Hasil pengujian dan perhitungan umur 100% di perlihatkan pada Tabel 1 dan Tabel 2 dengan nama hasil pengujian I.

Pengujian pada siklus pembebanan 50 % yang dilakukan pada 3 tingkat tegangan yang berbeda, yaitu pada tingkat tegangan 210 Mpa, 240 MPa, dan tingkat tegangan 270 MPa. Hasil pengujian ini selanjutnya dituangkan pada Tabel 1 dengan nama Pengujian II.

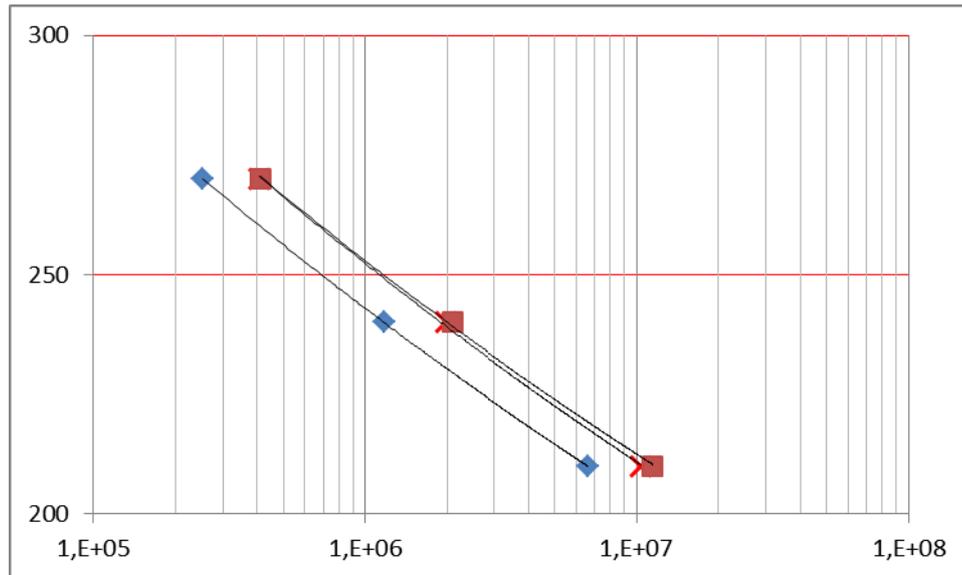
Sedangkan pada siklus pembebanan 75 % untuk dihaluskan kembali, untuk tingkat tegangan 210 MPa, 240 MPa, dan tingkat tegangan 270 MPa. Hasil pengujian ini selanjutnya dituangkan pada Tabel 2 dengan nama Pengujian III .

Tabel 1.
Hasil Uji Fatik, pengujian diinterupsi pada umur fatik 50% dari umur total dan dilanjutkan hingga patah

Tegangan [MPa]	Pengujian I		Pengujian II	
	100% Nx	50% . Nx	Sisa umur	Total Umur
270	253.342 (100%)	168.895 (50%)	242.100 (96%)	278.677 (146%)
240	1.169.570 (100%)	779.713 (50%)	1.308.700 (112%)	1.438.571 (162%)
210	6.624.734 (100%)	4.416.489 (50%)	7.064.300 (107%)	9.274.627 (157%)

Tabel 2.
Hasil Uji Fatik, pengujian diinterupsi pada umur fatik 75% dari umur total dan dilanjutkan hingga patah

Tegangan [MPa]	Pengujian I		Pengujian III	
	100% Nx	75% . Nx	Sisa umur	Total Umur
270	253.342 (100%)	168.900 (75%)	240.300 (95%)	278.677 (170%)
240	1.169.570 (100%)	779.700 (75%)	1.205.800 (103%)	1.438.571 (178%)
210	6.624.734 (100%)	4.416.489 (75%)	5.909.400 (89%)	9.274.627 (164%)



Gambar 3.

Perbandingan kurva S-N antara pengujian tanpa interupsi, dengan interupsi pada saat umur fatik mencapai 50% dan umur fatik mencapai 75 %

Kurva S – log N yang diperoleh menunjukkan hubungan antara pembebanan dan jumlah siklus. Dengan menggunakan persamaan garis miring dari kurva S-N yang diperoleh hasil pengujian dapat diprediksi umur dari material AISI 1045 dengan terlebih dahulu mengetahui tegangan yang terjadi pada material tersebut.

Pada pembebanan fatik, retak dapat dipastikan berasal dari pembebanan atau tegangan yang diterima oleh material yang berawal dari permukaan yang kemudian bergerak perlahan-lahan menuju ke dalam dan terjadi pada suatu titik yang memiliki konsentrasi tegangan yang tinggi^{9,10)}..

Komponen yang tidak memiliki cacat yang mengalami pembebanan dinamis, tidak mengalami kerusakan pada keseluruhan penampang dari komponen tersebut tetapi kerusakan terjadi berawal dari permukaan, dengan berjalannya waktu dan pembebanan, retak tersebut merambat.

Karena retak-retak mikro awalnya terdi pada permukaan bahan, umur komponen yang telah mengalami beban dinamis dapat diperpanjang lagi dengan cara memberikan perlakuan pada permukaan komponen, berupa penghilangan awal retak pada permukaan baik dengan melakukan permesinan, pengamplasan, atau pemolesan. Hasil pengelasan yang dimuat pada Tabel I menunjukkan bahwa pengamplasan dan penghalusan permukaan specimen dapat meningkatkan umur fatik lebih dari 40%.

Perhitungan Miner menghitung umur fatik berdasarkan umur terjadinya retak awal.

Fatig merupakan proses kerusakan yang terlokalisasi yang melibatkan nukleasi dan perambatan retak hingga terjadi patah. Fatig disebabkan oleh deformasi plastik local umur fatik terbanyak dihabiskan dalam pertumbuhan retak mikro . Nukleasi retak mendominasi dalam umur fatik yang panjang. Dengan adanya pengamplasan/ penghalusan permukaan di benda uji membuat umur dari benda uji itu akan bertambah. Hal ini terjadi karena proses inisiasi retak/awal pertumbuhan retak bermula dari permukaan material dihilangkan, dengan adanya pengamplasan ini, daerah yang terkena inisiasi retak ini menjadi halus kembali, serta retak mikro dihilangkan sehingga, perambatan retak yang tadinya siap terjadi, harus mulai dari awal yaitu tahap nukleasi retak mikro lagi lagi.

Fenomena menarik dapat ditemui pada specimen yang dilakukan interupsi pembebanan pada 75% umur fatik memiliki umur keseluruhan yang lebih tinggi dibandingkan specimen yang dilakukan interupsi pembebanan pada 50% umur fatik seperti diperlihatkan pada tabel 1 dan tabel 2. Pada interupsi tegangan pada 75% umur fatik mengalami peningkatan umur sisa dalam range 164%-178% untuk tegangan yang dipilih. Sedangkan untuk specimen yang dilakukan interupsi pembebanan 50% mengalami peningkatan umur fatik dalam range 146%-162% dari umur fatik.

Perbedaan ini memberikan satu petunjuk bahwa umur akibat beban fatik yang disebabkan oleh deformasi plastik local

terbanyak dihabiskan dalam nukleasi dan pertumbuhan retak mikro. Retak mikro yang terbentuk pada 50% dan 75% umur fatik tersebut pada saat interupsi dihilangkan dan dibersihkan kembali yang membuat umur dari benda uji itu akan ber laku seperti spesimen yang baru lagi. Sehingga pada pengujian selanjutnya benda uji memperlihatkan umur seperti benda uji semula dan memberikan hasil jumlah siklus (umur) fatik kurang lebih 100% dari umur fatik.

SIMPULAN

Dari hasil pengujian dan perhitungan dapat disimpulkan bahwa retak fatik berawal dari permukaan dan pembersihan retak permukaan baik dengan permesinan atau pengamplasan memperpanjang umur fatik suatu komponen.

Selain itu dari hasil penelitian ini dapat diambil manfaatnya dalam bidang perawatan mesin. Pada saat bagian yang berputar dan menerima beban fatik dilakukan perawatan atau dilakukan pemeliharaan, maka disarankan untuk dilakukan penghalusan permukaan baik dengan melakukan penggerindaan atau pengamplasan dengan tujuan menghilangkan inisiasi retak dan retak mikro yang terbentuk.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami ucapkan kepada seluruh karyawan B2TKS khususnya Bapak Triwibowo sebagai kepala B2TKS periode 2006-2011, sehingga pekerjaan ini dapat terlaksana.

DAFTAR PUSTAKA

1. Davoli, P., Principle of Current Methodologies in High Cycle Design of Metallic Structures, in Van, K Y D; I V Papadopoulos, High Cycle Metal Fatigue, From Theory to Application, pp.12-13, Springer Verlag, Wien, 2014
2. Gudehus, H., H. Zenner: Leitfaden für eine Betriebsfestigkeitsrechnung, VBFeh, VDEh, Düsseldorf 1995.
3. Grote, K.H., J. Feldhussen, Dubble, Taschenbuch fuer den Maschinenbaue, 24. Auflage, Springer Verlag, Heidelberg 2014.
4. Aid, A., A Amrouche, Fatigue life prediction under variable loading based on a new damage model, Materials & Design, Volume 32, Issue 1, Pp 183–191, 2011.
5. Feng S. Z., D.j Wang, X. Hao, Two-stage fatigue damage cumulative rule, International Journal of Fatigue, Volume 14, Issue 6, November 1992, Pages 395–398
6. ASTM Standard E8-04, “Standard test methods for tension testing of metallic materials,” Annual Book of ASTM Standards, Ohio, 2011.
7. JIS Z 2274, Method of rotating bending fatigue testing of metals. JIS Handbook, Ferrous Materials & Metallurgy I, Japanese Standards Association, Japan, 2012.
8. Radaj, D., Grundlage fuer leichtbau, Mascinen und Sthalbau, Ermuedung Festigkeit , Springer Verlag, Heidelberg 2013.
9. Socie, D. F., 1987, “Multiaxial fatigue damage models,” Journal of Engineering Materials and Technology, Vol. 109, pp. 293-298.
10. Vasudevan, A.K.K. Sadananda, N. Iyyer, Fatigue damage analysis: Issues and challenges, International Journal of Fatigue, Falls Church, VA 22043, USA September, 2015