

ANALISA KEGAGALAN PADA *Spindle* MESIN *Batch Centrifugal*

Anindito Purnowidodo, Ari Wahjudi, Riza Prawira

Teknik Mesin, Universitas Brawijaya

Jl. MT. Haryono 167 Malang 65145

Telp. (0341) - 571147

E-mail : Anindito@ub.ac.id

Abstract

Failure analysis was conducted on the failure shaft of batch centrifugal. In the analysis the stress analysis was used to know the stress distribution, and in conjunction with stress analysis the life time of the component can be estimated. In addition, the fractography analysis together with mechanical properties test were carried out to understand the mechanism of the failure. With respect to the result of analysis shows that the failure was caused by fatigue crack initiated on the surface of shaft due to the inhomogeneous mechanical properties, in this case, the hardness is lower than that on sub surface of the shaft. Besides that, the stress concentration was found take place on the surface of shaft on which the crack was initiated. Further, it was known that during machining process, the material of shaft was heated on elevated temperature on the surface to ease the process. The heating reduced the hardness as well as the strength of the material.

Keywords : Failure, Fatigue, Crack.

PENDAHULUAN

Kegagalan (*failure*) pada struktur bisa terjadi mulai dari struktur yang sederhana sampai dengan struktur yang sangat kompleks, hal ini dapat mengakibatkan kerugian yang besar dan bahkan sampai mengakibatkan korban [1,2,3,4,5,6]. Analisa kegagalan (*failure analysis*) adalah metode yang sering digunakan untuk mengungkap kegagalan dari suatu struktur. Tujuan dari analisa ini adalah untuk mengetahui penyebab *failure* yang ditimbulkan pada proses disain, proses pemilihan bahan dan prosedur perawatan sehingga kejadian kegagalan yang serupa tidak terulang lagi [4]. Ada beberapa cara digunakan untuk mengungkap kegagalan yaitu, *fractography*, *metallorgaphy*, *stress analysis*, *laboratory simulation* dll. Sering kali dalam setiap kasus kegagalan struktur, cara-cara tersebut digunakan semuanya kecuali *laboratory simulation*. *Laboratory simulation* jarang digunakan karena memerlukan biaya yang mahal. Dipakainya beberapa cara dalam *failure analysis* dimaksudkan untuk memperoleh hasil yang akurat karena *failure analysis* pada struktur bisa mempunyai aspek [5].

Batch centrifugal merupakan mesin yang banyak digunakan oleh industri-industri gula di Indonesia pada umumnya, termasuk juga di Pabrik Gula (PG). Salah satu komponen yang sangat penting pada *batch centrifugal* adalah poros. Poros tersebut merupakan komponen mesin yang berfungsi menghasilkan putaran bolak balik. Berdasarkan fungsi poros tersebut, maka beban yang diterima pada sepanjang bagian poros akan berbeda. Pada bagian-bagian kritisnya tidak hanya menerima beban tunggal melainkan beban kombinasi dengan sifat-sifat pembebanan dinamis yang berfluktuasi. Adanya beban dinamis ini akan menyebabkan terjadinya kelelahan (*fatigue failure*), sehingga kerusakan akibat beban yang berfluktuasi sering terjadi meskipun beban maksimum yang terjadi masih dibawah *ultimate strength* bahan.

Komponen poros tersebut ada sebagian yang difabrikasi sendiri oleh bagian perbengkelan pada PG, hal ini dimaksudkan untuk ahli teknologi dan karena komponen tersebut harus diimpor dalam bentuk jadi yang memerlukan biaya mahal. Dalam proses fabrikasinya PG menggunakan bahan poros yang ada dipasaran lokal yang

berbeda dengan bahan pada poros yang asli (hasil impor). Dalam penggunaan poros hasil fabrikasi sendiri ini sering terjadi kegagalan (*failure*), dalam satu proses giling bisa terjadi kegagalan (poros patah) sebanyak dua kali sehingga menghambat proses produksi. Dari hasil diskusi dengan pihak PG, ternyata dalam perencanaan proses pembuatan poros tidak pernah dilakukan analisa tegangan (*stress analysis*) sebelumnya, dan pemilihan bahan hanya didasarkan pada kegunaan bahan, misal baja tertentu yang sering digunakan untuk poros. Oleh karena itu, untuk mengetahui penyebab kegagalan, maka diperlukan analisa kegagalan poros mesin *batch centrifugal* sehingga dapat diketahui faktor-faktor yang menyebabkan kegagalan dan memberikan rekomendasi agar supaya kegagalan sejenis tidak terulang lagi.

METODE PENELITIAN

Distribusi tegangan yang terjadi pada poros *spindle batch*. Material yang digunakan poros *spindle batch* adalah S45C atau setara dengan AISI 1045, dengan spesifikasi sebagai berikut :

- *Density* (ρ) : 7,7 – 8,03 (x 1000 kg/m³)
- *Poisson's Ratio* (ν) : 0,27 – 0,3
- *Elastic Modulus* (E) : 190 – 200 GPa
- *Tensile Strength* (σ) : 585 Mpa
- *Yield Strength* (σ_y) : 505 Mpa
- *Elongation* (e) : 12 %
- *Hardness* : 217 HB (*cold drawn, annealed- round* 19–32 mm)

Analisa tegangan dan prediksi umur *spindle* dilakukan menggunakan simulasi dengan alat bantu program komputer (*software*) berbasis metode elemen hingga yaitu *Ansys Workbench* (10.0). Analisa ini bertujuan untuk mengetahui distribusi tegangan dan besar tegangan maksimum, yang mana selanjutnya digunakan sebagai dasar untuk memprediksi umur komponen tersebut.

Dalam penelitian ini, urutan proses analisa yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Data spesifikasi

Data spesifikasi komponen mesin *batch type electrically driven centrifugals* dan

material yang digunakan diperoleh dari PG. Langkah pertama adalah identifikasi masalah yang terjadi di PG yaitu terhadap permasalahan mengenai tegangan yang bekerja pada mekanisme poros *spindle batch*. selanjutnya dilakukan pengambilan data mengenai spesifikasi mesin *batch type electrically driven centrifugals*, spesifikasi komponen peredam (bantalan) dan spesifikasi bahan poros *head spindle batch*.

2. Perhitungan beban pada poros *spindle batch*

Pada tahap ini dilakukan analisa pembebanan dan perhitungan beban yang terjadi pada poros *spindle batch* meliputi beban torsi (puntiran).

3. Pemodelan poros *head spindle batch*

4. Plot deformasi dan distribusi tegangan

Dari analisa dengan bantuan *software* berbasis metode elemen hingga yaitu *Ansys 10.0*. tersebut akan didapatkan pola deformasi total dan distribusi tegangan yang terjadi pada poros *spindle batch*.

5. Prediksi umur *spindle*

Prediksi umur *spindle* dilakukan dengan berdasarkan distribusi tegangan atau regangan yang terjadi pada *spindle* dengan bantuan *Ansys 10.0 Workbench*.

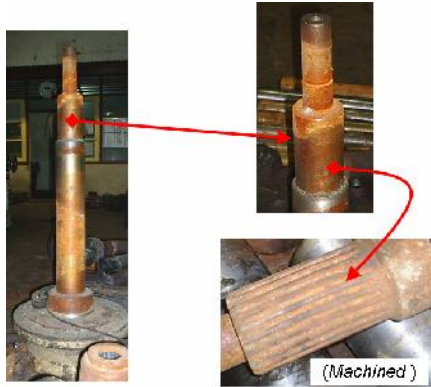
6. Analisa kegagalan dengan menggunakan metode Macro Fractography.

HASIL DAN PEMBAHASAN

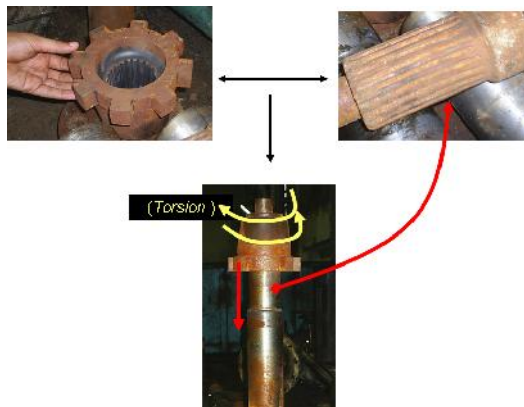
Fractography Analysis

Gambar 1 adalah contoh bentuk komponen *driven centrifugals shaft* pada saat tahapan diproses dengan proses *machining*. Panah warna merah menunjukkan kondisi sebelum di-*machining* dan pada pojok kanan bawah adalah contoh bentuk alur setelah dilakukan proses permesinan. Pada bagian tersebut poros ini mengalami patahan. Sedangkan pada Gambar 2 menunjukkan bahwa pada saat kerjanya poros (*shaft*) ini mengalami kontak dengan elemen mesin lain, yang ditunjukkan pada pojok kiri atas dan mengalami beban puntir. Disamping itu juga poros ini juga mengalami beban axial, paralel dengan

sumbu poros ayau searah dengan panah merah (mengarah ke bawah).



Gambar 1 – Bentuk Komponen *Driven Centrifugals*



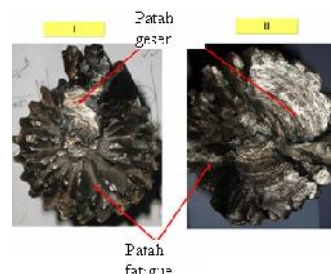
Gambar 2 – Komponen yang Kontak dengan Alur

Pada investigasi ini ditemukan dua type patahan pada poros, yaitu type I yang menindikasikan bahwa materialnya mempunyai sifat yang lebih keras atau kuat dibanding dengan jenis patahan II (beban yang diterima poros adalah sama besar). Gambar 3 menunjukkan jenis patahan-patahan tersebut. Pada Gambar 3 a dan b masing menunjukkan tampak samping dan atas dari daerah patahan. Karena poros ini didominasi beban puntir maka dari *macro fractography* ini dapat mengindikasikan bahwa patahan type I pada permukaan patahannya tidak didominasi patahan geser, akan tetapi pada jenis II menunjukkan sebaliknya, yaitu bahwa patahan geser mendominasi permukaan patahannya. Dari sini dapat dinyatakan bahwa jenis II,

mengalami patahan akibat beban *monotonic torsi* yang mendominasi, dengan kata lain material tidak mampu menerima beban single load atau beban yang diterima poros melebihi kekuatan material poros. Untuk patahan jenis I menunjukkan bahwa permukaan patahannya didominasi dengan patahan yang bergelombang, membentuk pola seperti permukaan pabrik. Pola ini mengindikasikan bahwa sebelum patah, poros mengalami retak dan selanjutnya merambat. Pada saat retak semakin panjang dan sisa material yang belum retak tidak kuat menerima beban, maka material akan mengalami patah. Seperti tampak pada gambar untuk jenis I, permukaan patahan geser (*monotonic load*) yang mengindikasikan patah ulet hanya sebagian kecil saja dibanding dengan patahan fatigue.



a. Tampak samping

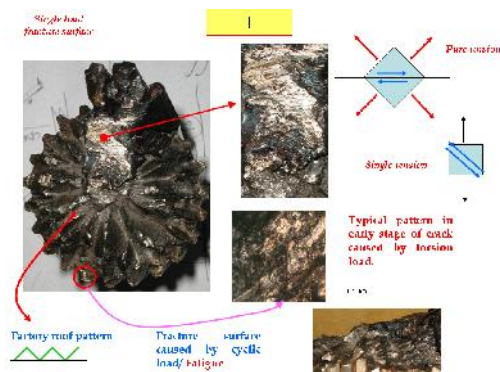


b. Tampak atas

Gambar 3 – Kondisi Permukaan Patahan

Gambar 4 menerangkan secara grafis mekanisme terbentuknya permukaan patahan jenis I pada masing-masing jenis permukaan patahan. Patahan ulet yang ditunjukkan patahan geser mempunyai arah patahan yang parallel dengan bidang geser, seperti ditunjukkan pada elemen bujursangkar yang mana panah biru adalah arah geser, dan warna merah adalah arah principal stress atau tegangan utama karena

beban torsi murni. Sedangkan permukaan patahan fatigue yang diindikasikan dengan pola permukaan patahan seperti atap pabrik yang dikenal dengan *factory roof pattern* mempunyai arah permukaan patahan yang tegak lurus dengan arah tegangan utama. Ini mengindikasikan bahwa terjadi perambatan retak pada permukaan tersebut. Terjadinya retak juga ditunjukkan bahwa ditemukan daerah di mana retak mulai terbentuk (*crack initiation zone*)



Gambar 4 – Mekanisme Pola Patahan I

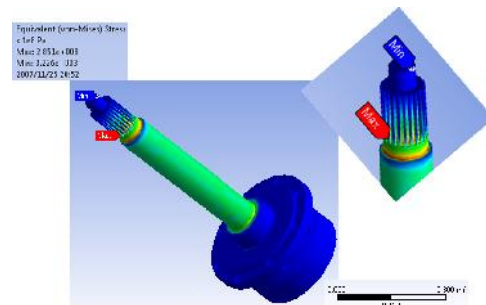


Gambar 5 – Mekanisme Pola Patahan II

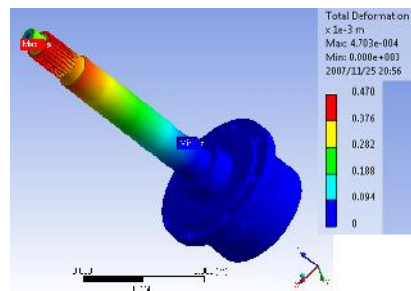
Meskipun diprediksi terjadi perambatan retak dahulu pada sebagian kecil permukaan patahannya, tetapi untuk permukaan patahan jenis II menunjukkan bahwa pada bagian yang tidak retak mengalami puntiran terlebih dahulu sebelum patah. Hal ini ditunjukkan pada Gambar 5.

Stress Analysis

Dari analisis tegangan dan regangan (deformasi) pada Gambar 6 menunjukkan bahwa konsentrasi tegangan terjadi pada alur bagian bawah yang ditandai dengan "Max". demikian juga dengan total regangan maksimal terjadi pada daerah alur. Konsentrasi tegangan dan deformasi pada daerah tersebut menimbulkan potensi untuk terjadinya retak. Hal ini sesuai dengan permukaan patahan yang terjadi pada daerah alur tersebut. Meskipun tegangan maksimum pada daerah konsentrasi tegangan lebih rendah daripada kekuatan material yaitu 285 MPa pada daerah konsentrasi tegangan dibanding 505 MPa. Kekuatan yield strength material. Ini mengindikasikan bahwa material yang digunakan seharusnya mampu untuk menerima beban yang dikenakan pada poros. Gambar 4.7 menunjukkan hasil simulasi distribusi umur dari poros untuk masing-masing bagian. Dari gambar tersebut menunjukkan bahwa umur terpendek adalah terjadi pada daerah yang mempunyai konsentrasi tegangan tinggi.



a. Distribusi Tegangan

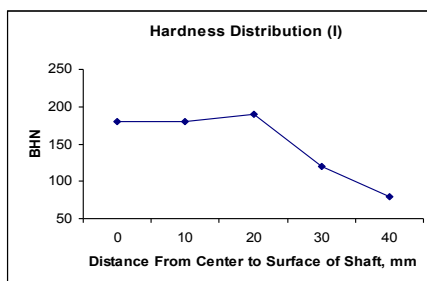


b. Distribusi Total Deformasi

Gambar 6 – Distribusi Tegangan dan Total Deformasi

Distribusi Kekerasan

Sudah diketahui bahwa retak fatigue terjadi dengan diawali pada daerah yang mudah mengalami slip atau terjadi deformasi plastis. Daerah yang mudah terjadi deformasi plastis adalah daerah yang menerima konsentrasi tegangan yang tinggi sehingga menyebabkan terjadinya deformasi plastis, atau pada daerah yang mempunyai kekuatan lebih rendah daripada daerah lain sehingga daerah tersebut akan relative mudah slip dan selanjutnya akan memicu retak mikro sebelum menjadi retak yang merambat (long crack). Gambar 8 menunjukkan distribusi kekerasan dari pusat poros ke permukaan poros yang mana harga nol pada absis menunjukkan daerah pada pusat poros. Dari gambar tersebut diketahui pada daerah permukaan mempunyai kekerasan yang lebih rendah dari daerah pusat poros. Ini mengindikasikan bahwa terjadi perbedaan kekuatan antara daerah permukaan dan pusat. Dari hasil wawancara diketahui bahwa pada saat proses permesinan, material sebelum di-machining dilunakkan dulu dengan cara memanaskan permukaannya material terlebih dahulu agar supaya dapat dikerjakan dengan pahat yang tersedia.



Gambar 6 – Distribusi Kekerasan

KESIMPULAN

Berdasarkan uji macro fractography, stress analysis dan hardness distribution diketahui bahwa patahan poros disebabkan oleh perambatan retak yang terinisiasi dari permukaan, dan daerah alur yang mana patahan terjadi mempunyai konsentrasi tege-

ngan yang maksimal atau lebih tinggi dibanding daerah lain sehingga mengakibatkan terjadinya deformasi plastis sehingga retak terinisiasi. Disamping itu, terjadi perlakuan material yang tidak tepat sebelum material poros dikerjakan, yaitu dengan cara memanaskan sehingga mengakibatkan kekerasan pada permukaan menurun, sehingga memudahkan slip dan retak terinisiasi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Jung-Kyu Kim, Dong-Suk Shim, "The variation in fatigue crack growth due to the thickness effect", *International Journal of Fatigue*, Vol. 22, 2000, pp. 611-618.
- [2] R. Kieselbach, "Curious cases of failure", *Engineering Failure Analysis*, Vol. 11, 2004, pp. 501-513.
- [3] Volker Esslinger, Rolf Kieselbach, Roland Koller, Bernhard Weisse, "The railway accident of Eschede – technical background", *Engineering Failure Analysis*, Vol. 11, 2004, pp. 515-535.
- [4] A.J. McEvily, " Failures in inspection procedures: case studies", *Engineering Failure Analysis*, Vol. 11, 2004, pp. 167-176.
- [5] F.S. Silva, " Analysis of a vehicle crankshaft failure", *Engineering Failure Analysis*, Vol. 10, 2003, pp. 605-616.
- [6] Tim J Carter, " Common failures in gas turbine blades", *Engineering Failure Analysis*, Vol. 12, 2005, pp. 237-247.