Analisa Kegagalan Poros Spindel Pada Mesin Discontinue Centrifugal

Eko Edy Susanto, Budiyanto, Stevanus
Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional Malang
Telp. (0341) 417636 – Pes. 516, Fax. (0341) 417634
E-mail : ekoedys@yahoo.co.id

ABSTRAK

Pabrik gula merupakan salah satu industri yang sangat vital di Indonesia namun belum dapat memenuhi kebutuhan dalam negeri karena mesinmsin pengolahnya belum optimal, salah satunya pada mesin-mesin molasses. Kerusakan yang terjadi ada pada poros spindel pada mesin tersebut. Tujuan penelitian untuk mengetahui penyebab kerusakan psda pros spindel pada mesin molasses. Dari bentuk patahan pada poros tersebut dianalisa penyebabnya dengan demikian perlu data untuk pembahasan dari hasil uji tentang bahan poros, beban poros, pengoperasian dan perawatan. Hail pengujian aboratoriu tentang kekuatan tarik bahan poros, puntir, metallografi dan proses pembuatan poros. Dari hasil pembahasan dapat disimpulkan dikarenakan banyaknya konsentrasi tegangan yang terjadi pada poros, khususnya pada bagian akar seplain. Poros mengalami kelelahan karena fluktuasi beban yang berulang-ulang, bukan dikarenakan kesalahan dalam level tegangan disain. Pembuatan poros, khususnya pembuatan seplain banyak meninggalkan retak-retak kecil yang menjadi awal terjadinya retak dan merambat menjadi patah menyeluruh. Kondisi ini diperparah dengan tidak adanya proses perlakuan panas lanjut untuk menghilangkan tegangan sisa permesinan pada pembuatan seplain

Kata kunci: Kegagalan poros spindel, Patahan poros, Pengujian, Kelelahan, Patah

PENDAHULUAN

Industri pemrosesan gula merupakan salah satu industri yang sangat vital di Indonesia. Pabrik-pabrik pembuatan gula di Indonesia cukup banyak. Tetapi kebutuhan akan gula belum dapat dipenuhi oleh pabrik-pabrik gula yang ada, sehingga Indonesia harus mengimpor gula dari luar negeri. Salah penybabnya kemungkinan karena kurangnya optimalisasi proses produksi gula, seperti halnya optimalisasi pemakaian mesin-mesin pembuatan gula. Salah satu tahapan dalam proses pembuatan gula adalah tahap pemisahan antara kristal gula dan sirup gula (molasses). Pemisahan tersebut dilakukan di stasiun puteran. Pada stasiun puteran terjadi proses sentrifugasi kristal gula dengan menggunakan mesin diskontinu sentrifugal

Poros spindel pada mesin diskontinu sentrifugal tersebut bekerja pada siklus pembebanan yang tinggi. Mesin tersebut beroperasi 24 jam sehari dengan proses perawatan overhaul setiap 6 bulan sekali. Poros spindel yang melakukan gaya sentrifugal sering mengalami kegagalan berupa patah. Periode patahan poros spindel terjadi 2-3 bulan. Kegagalan poros yang berkesinambungan tersebut perlu ditelaah penyebabnya karena dapat mengganggu proses produksi gula. Penelitian tentang penyebab kegagalan

poros spindel tersebut diperlukan untuk menentukan langkah-Langkah Perbaikan Yang Akan Diambil Dalam Rangka Upaya Optimalisasi Proses Produksi Pada Pabrik Gula.

Tujuan Penelitian

Kerusakan pada sebuah kontruksi dari komponen mesin disebabkan oleh berbagai macam penyebab dan sebagai peneliti ingin mencari jawaban penyebab kerusakan yang terjadi dengan demikian tujuan penelitian adalah sebagai berikut ;

1. Mengetahui mekanisme dan mode perpatahan yang terjadi
2. Mengetahui sifat-sifat karakteristik bahan dari sampel patahan
3. Mengetahui penyebab terjadinya kegagalan pada poros spindel
4. Mendapatkan langkah-langkah untuk proses perbaikan lebih lanjut

Manfaat Penelitian

Langkah-langkah penelitian yang sistematis sesuai prosedure penelitian akan menghasilkan karya ilmiah yang bermanfaat, selain membantu memecahkan masalah yang diteliti juga prosedure penelitian, hasil penelitian dapat dijadikan refrensi untuk penelitian-peneltian yang sejenis atau dikembangkan lebih lanjut , dengan demikian manfaat penelitian yang dilakukan ini sebagai berikut:

a. Penelitian ini penulis dapat menjadi referensi untuk penelitian serupa mengenai analisa kegagalan material.
b. Metode peneluuran menegenai terjadinya perpataham pada poros
c. Penelitian ini dapat memberikan kontribusi terhadap langkah-langkah perbaikan yang dapat diambil dalam rangka optimalisasi proses produksi pada pabrik-pabrik gula yang ada
d. Mengembangkan bahan ajar mengenai perencanaan, pembuatan, penggunaan dan kerusakan yang terjadi pada poros

Analisa Kegagalan

Kegagalan dapat didefinisikan sebagai kejadian sewaktu komponen tidak lagi mampu memenuhi fungsi pemakaiannya dengan baik dikarenakan patahan atau deformasi berlebih ataupun deteriorasi. Mekanisme kegagalan umumnya merupakan kegagalan bahan yang ditentukan oleh riwayat termomekanis bahan selama pemrosesan dan kondisi pemakaian. Kegagalan merupakan semua perubahan dalam bagian mesin yang menyebabkannya tidak bisa melakukan fungsinya dengan baik. Tahap-tahap yang mendahului kegagalan akhir adalah kegagalan dini, kerusakan dini semua ini akan membuat bagian atau komponennya menjadi tidak aman untuk pemakaian berikutnya.

Penyebab kegagalan biasanya ditentukan dengan mengkaitkannya pada satu atau lebih bentuk kegagalan yang spesifik dan dari sini akan menjadi gagasan utama dari kegiatan analisa kegagalan. Penyebab kegagalan sering dimonitor dari perancangan, operasi dan pemeliharaan, pada bagian dalam operasi dan pemeliharaan secara tradisional ada penekanannya untuk analisa kegagalan dan pencegahan kegagalan. Pengurangan kegagalan jangka panjang dapat dicapai dengan spesifikasi dan modifikasi rancangan.

Penyebab kegagalan pada komponen teknik dapat dibagi menjadi tiga :

1. Kegagalan akibat dari disain dan pemilihan bahan yang tidak tepat.

2. Kegagalan akibat pemrosesan yang salah.
3. Kegagalan akibat keausan selama pemakaian.

Diagnosa terhadap mekanisme kegagalan memerlukan pengetahuan mengenai ciri mikroskopik dan makroskopik yang dikaitkan dengan berbagai mekanisme kegagalan yang mungkin terjadi. Dari beberapa penyebab kegagalan yang telah dibahas, mekanisme-mekanisme yang mungkin terjadi antara lain seperti patahan rapuh , patahan ulet, fatik (pada umur fatik atau dekat-dekat umur fatik), fatik siklus rendah, mulur, kegagalan akibat beban tekan, luluh total,dan korosi retak tegang.

Prosedur Analisa Kegagalan

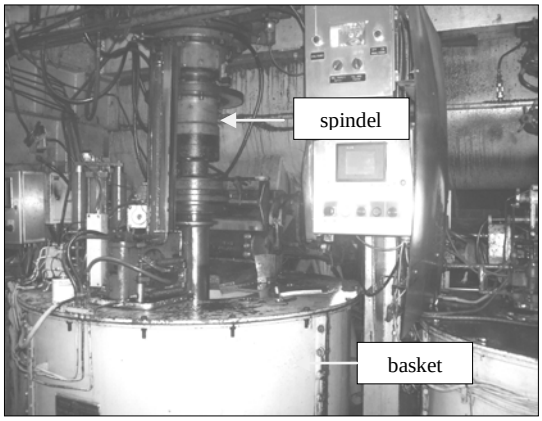
1. Pemeriksaan awal
2. Pengumpulan data informasi pendukung
3. Pengumpulan sampel
4. Pengujian makro & mikrofraktografi
5. Pengujian bahan
6. Analisa data dan sintesa kegagalan

METODOLOGI PENELITIAN

Hasil pengamatan di lapangan didapatkan dari studi literatur buku manual mesin discontinue centrifugal, dan proses wawancara dengan karyawan mengenai operasional mesin, waktu terjadi patah pada poros spindle, informasi pembuatan poros spindle, informasi perawatan mesin dan fungsi mesin

Mesin Discontinue Centrifugal

Mesin discontinue centrifugal digunakan untuk proses sentrifugasi atau proses afinasi kristal gula dan sirup (molasses).



Gbr 1 Mesin Discontinue Centrifugal

Mesin diskontinu sentrifugal beroperasi selama 24 jam per hari. Mesin ini berfungsi untuk melakukan proses sentrifugasi molasses gula,sehingga cairan-cairan (sirup) terpisah dari kristal-kristal gula. Proses sentrifugasi ini dilakukan oleh poros spindel yang digerakkan oleh motor servo. Pada ujung poros spindel dikople dengan sirip-sirip pemisahan cairan,dan poros berputar didalam basket.

Perawatan Mesin

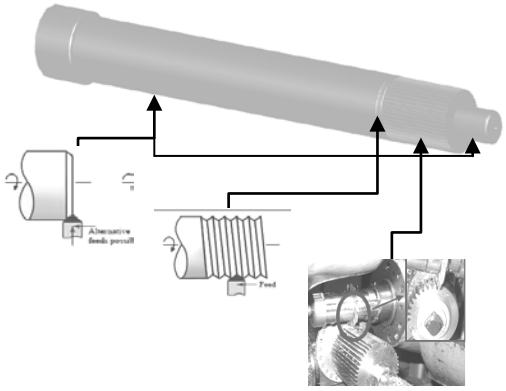
Proses perawatan mesin dilakukan dengan overhaul mesin secara rutin setiap 6 bulan sekali. Pada saat proses penggantian spindel, terjadi ketidaklurusan pemasangan (misalignment) poros. Hal ini disebabkan karena suaian toleransi pembuatan poros spindel tidak presisi dengan disain mesin awal.

Kondisi Lingkungan

Pada stasiun sentrifugasi gula,terdapat 5 buah mesin discontinue sentrifugal yang disusun pararel dengan jarak antar mesin sekitar 30 cm. Setiap mesin mengalami getaran,sehingga kondisi lingkungan memiliki frekuensi getaran yang tinggi. Suhu lingkungan diatas suhu kamar.

Proses Pembuatan Poros Spindel

Poros spindel merupakan komponen utama mesin yang berfungsi untuk melakukan proses sentrifugasi. Poros tersebut terbuat dari baja round bar pejal

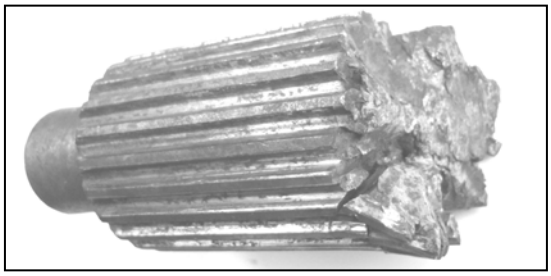


Gbr 2 Sketsa proses pembuatan poros

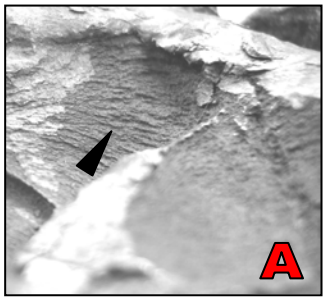
Gbr.3 Poros spindel sebelum dan setelah proses hobbing

Pengujian komposisi material sampel poros yang patah menunjukkan bahwa poros terbuat dari jenis baja karbon menengah yang sesuai dengan standar AISI 1045

Pengamatan Visual (Makro)

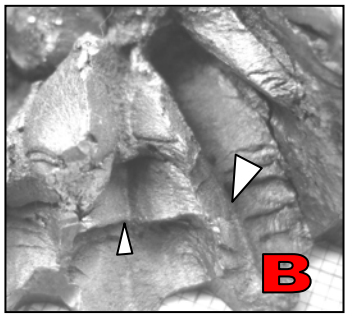


Gambar 4 Penampang melintang permukaan poros yang rusak



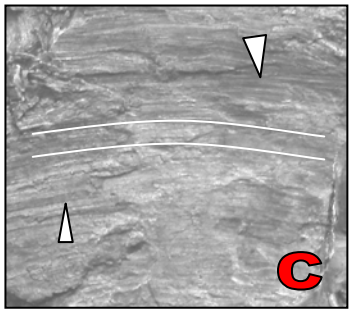
Gbr 4.a Pola Chevron

Gambar disamping menunjukkan lokasi dari permukaan patah yang membentuk pola chevron (ditunjukkan anak panah). Pada permukaan poros patah terdapat beberapa terdapat pola chevron (river marks) seperti gambar disamping.



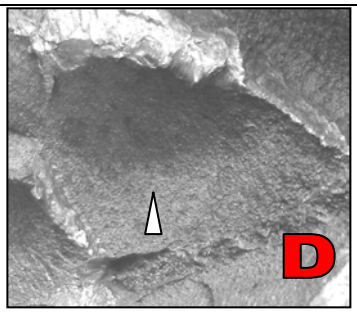
Gbr 4. b Pola ratchet

Gambar disamping menunjukkan lokasi dari permukaan patah yang membentuk pola ratchet (ditunjukkan anak panah). Pada permukaan poros patah terdapat beberapa terdapat pola ratchet seperti gambar disamping.



Gbr 4.c Pola radial

Gambar disamping menunjukkan lokasi dari permukaan patah yang membentuk pola radial (ditunjukkan anak panah). Pada permukaan poros patah terdapat terdapat pola radial pada akhir patahan poros



Gbr 4.d Patah getas

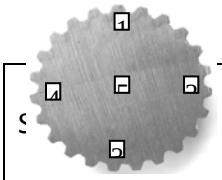
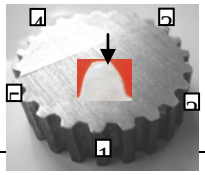
Gambar disamping menunjukkan lokasi dari permukaan patah yang menggambarkan lokasi patahan akhir poros yang bersifat getas (ditunjukkan anak panah). Pada permukaan poros patah terdapat beberapa terdapat pola seperti gambar disamping.

Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan pada penampang melintang spesimen dan pada permukaan gigi-gigi splain. Alat uji yang digunakan adalah *Rockwell Hardness Tester*.

Titik uji pada penampang melintang dan permukaan gigi-gigi splain masing-masing diambil sebanyak 5 titik. Hasil uji kekerasan yang diambil adalah nilai rata-rata kekerasan pada spesimen.

Tabel 1 Hasil Uji Kekerasan Poros Patah

S	Titik	Ø	HRB	Rata-rata HRB
	1	1,2	91	85.6
	2	1,2	80	
	3	1,2	81	
	4	1,2	87	
	5	1,2	89	
	1	1,2	82	76.6
	2	1,2	79	
	3	1,2	75	
	4	1,2	69	
	5	1,2	78	

Pengujian Tarik

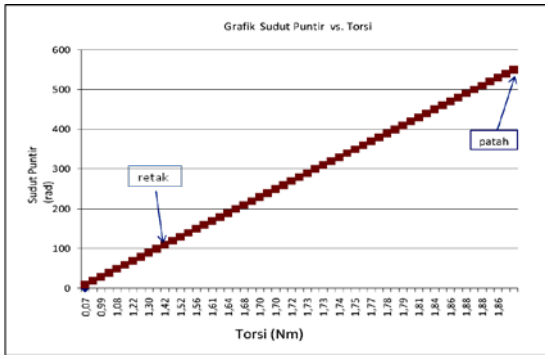
Pengujian tarik dilakukan pada spesimen untuk mengetahui kekuatan tarik, regangan, modulus elastisitas dan bentuk makrofraktografi perpatahan material

Tabel 2 Hasil uji tarik specimen

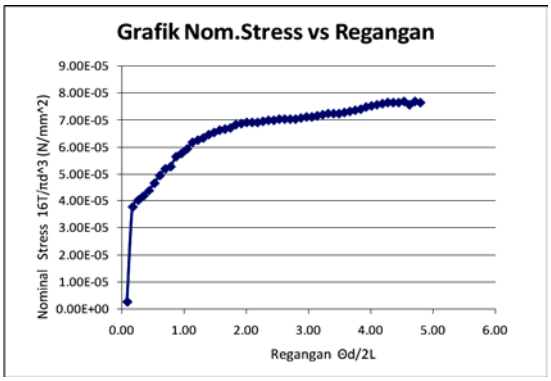
no	Tegangan Maksimum (Kgf)	Yield Strength (Kgf/mm^2)	Regangan (%)
1	4984,50	34,52	23,10
2	4373,00	34,00	22,95
3	4767,60	34,36	23,05
4	4876,00	34,44	23,10
5	4776,56	34,32	22,97
X	4755,41	34,37	23,04

Pengujian Puntir

Pengujian untuk mengetahui besar momen torsi yang dapat dikenakan pada bahan sampai terjadi patah. Pengujian untuk mengetahui regangan dan tegangan geser yang terjadi pada spesimen



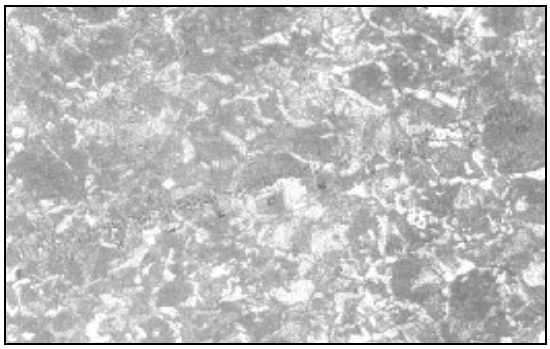
Gambar 1 Grafik Sudut Puntir terhadap Torsi



Gambar 2 Grafik Tegangan Nominal terhadap regangan specimen uji

Metalografi

Tujuan pengujian metalografi dilakukan untuk mempelajari mikrostruktur material dengan bantuan mikroskop optic (perbesaran maksimal 500 x) dengan bantuan mikroskop. Pengujian metalografi ini sangat diperlukan karena mekanisme dari material logam sangat ditentukan oleh komposisi mikrostruktur yang ada seperti terdapatny partikel endapan, inklusi, batas butir dan fasa kedua. ini diperlukan karena sifat mekanis dari material logam sangat ditentukan oleh mikrostruktur yang ada.



Gambar 5 Foto Metalografi Sampel Poros (perbesaran 500x)

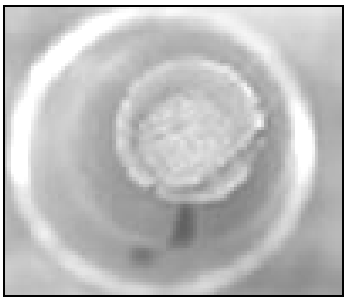
PEMBAHASAN

Pengujian Mekanis

Uji Kekerasan

Dari hasil pengujian kekerasan didapatkan kesimpulan bahwa kekerasan pada bagian dalam poros lebih besar dari pada kekerasan permukaan splain poros. Hal ini tidak lazim, karena dalam pemakaian roda gigi atau splain biasanya permukaan diberikan perlakuan panas agar permukaan roda gigi / splain lebih keras dari pada bagian dalam poros. Pada permukaan splain terjadi gesekan-gesekan dan tegangan kontak dengan seplain internal (kopling splain internal). Tegangan kontak tersebut dapat memberikan gaya impak yang besar pada permukaan splain apabila terjadi kesalahan pemasangan poros yang tidak lurus (*misalignment*). Gesekan-gesekan yang terjadi dan pemasangan poros yang tidak lurus dapat menurunkan umur lelah poros. Sehingga untuk mengantisipasi gesekan dan beban impak serta meningkatkan umur lelah dari poros tersebut, permukaan splain harus diberikan perlakuan panas berupa pengerasan permukaan

Uji Tarik



Gambar 6 Permukaan patahan

Berdasarkan patahan specimen uji tarik menunjukkan bahwa baja tersebut bersifat ulet. Ciri-ciri bentuk patahan untuk baja yang bersifat ulet terlihat dari adanya penciutan (*necking*) pada ujung permukaan patah. Necking terjadi karena specimen mengalami deformasi plastis. Pada ujung patahan (necking) tersebut terjadi penumpukan dislokasi atom, sehingga kekerasan pada bagian tersebut lebih tinggi. Bentuk patahan pada pengujian tarik specimen baja tersebut disebut bentuk patahan *cup-and*-cone karena ujung patahan menyerupai kerucut. Bentuk patahan tersebut disebabkan oleh banyaknya patahan-patahan kecil internal yang disebut microvoid yang terletak di tengah penampang melintang yang mengalami reduksi pada diameternya.

Uji Puntir

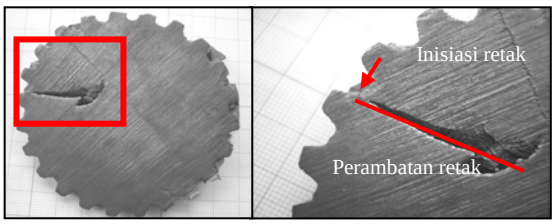
Berdasarkan hasil uji puntir dapat dimpulkan bentuk permukaan melintang spesimen uji puntir yang patah menunjukkan sifat patahan getas specimen ketika dikenakan beban torsi. Patahan getas ini terlihat dari bentuk permukaan melintang yang datar. Deformasi plastis yang terjadi pada permukaan patah sangat kecil. Deformasi plastis berupa retakan pada specimen yang menjadi awal atau inisiasi retak pada penampang yang patah. Awal retak tersebut menjadi sumber

takikan (*notch*) yang menimbulkan tegangan takik yang tinggi. Pola yang terlihat pada penampang specimen ketika dikenakan beban torsi berupa pola galur pantai (*beach marks*) yang menandakan beban yang dikenakan pada specimen adalah beban torsi. Patahan akhir dapat terlihat pada area dimana terjadi perambatan retak yang sangat cepat. Patahan getas yang sangat cepat ini terjadi karena penampang tidak dapat lagi menahan beban yang dikenakan pada specimen.

Makrofraktografi

Hasil analisa visual dan makrofraktografi patahan poros spindel menunjukkan karakteristik patah yang disebabkan oleh kelelahan torsi akibat beban dinamis pada saat dioperasikan.

Dari bentuk permukaan patahan, poros spindel memiliki banyak lokasi retak awal. Inisiasi retak terdapat pada akar-akar splain yang berupa takikan. Spesimen yang mengalami patah dipotong melintang pada batas patahan



Gambar 7 Potongan melintang specimen patah

Penampang melintang dari potongan tersebut menunjukkan dengan jelas salah satu lokasi retakan awal poros tersebut. Pada akar-akar splain terjadi konsentrasi tegangan yang tinggi. Hal ini terjadi karena proses permesinan splain tidak baik. Permukaan kasar hasil proses hobbing pada poros meninggalkan tegangan-tegangan sisa yang menimbulkan retak-retak awal yang berupa retak rambut. Konsentrasi tegangan yang tinggi bila digunakan pada beban dinamis dapat menimbulkan kegetasan, terutama terhadap beban impak dan beban tiba-tiba yang sangat sensitif terhadap takikan. Arah penjalaran retak pada patahan tersebut ditandai dengan adanya pola galur pantai (beach mark). Luas daerah penjalaran retak bervariasi, ada yang besar dan kecil. Hal ini menunjukkan bahwa proses perambatan hingga patah akhir berlangsung cepat.

Keadaan demikian dapat disebabkan karena terjadi tingkat tegangan yang besar. Pola galur pantai tersebut menunjukkan patahan asli (*fracture origin*) dari permukaan patah. Retak lelah yang diakibatkan dari beberapa lokasi inisiasi retak yang berbeda terhadap arah aksial menimbulkan pola roda gigi (ratched mark) pada tinggi yang berbeda. Ratched mark berupa garis-garis pararel terhadap arah perambatan retak secara menyeluruh dan membentuk perpotongan retak lelah dari beberapa patahan asli. Permukaan patah juga menunjukkan bahwa poros spindel mengalami beban torsi bolak balik. Beban torsi bolak-balik menimbulkan perambatan retak yang terjadi dibawah kekuatan tarik material poros.

Patahan residual atau patahan akhir ditandai dengan adanya pola radial (radial mark) yang kasar. Hal ini terjadi karena sisa permukaan tidak dapat lagi menahan beban torsi yang berlebih. Pola radial ini berupa garis-garis pada permukaan patah yang melingkar menjauhi patahan asli dan terbentuk oleh perpotongan dari perambatan patah getas pada level yang berbeda .

Metallografi

Dari hasil pengujian metalografi didadapatkan struktur pearlite (berwarna gelap) dan ferrit (berwarna terang). Struktur ferrit lebih mendominasi sehingga struktur tersebut dapat dikatakan struktur martensit temper. Proses perlakuan panas yang dilakukan pada baja tersebut berupa proses tempering untuk mendapatkan struktur yang memiliki kekerasan yang sesuai untuk aplikasi poros.

Kegagalan Poros

Berdasarkan Pengujian Mekanis

Berdasarkan hasil dari uji kekerasan, poros memiliki tingkat kekerasan yang relatif sama pada setiap bagiannya, baik penampang dalam poros maupun permukaan seplain poros. Kekerasan tersebut dapat memberikan petunjuk bahwa poros mengalami laju perambatan retak yang sama dari setiap sumber retakan. Poros memiliki banyak sumber retakan akibat dari bentuk takikan pada permukaan akar seplain.

KESIMPULAN

Dari hasil data hasil pengujian dan analisa data dapat diambil beberapa kesimpulan, antara lain :

1. Bentuk patahan sampel patah poros spindel menunjukkan terjadinya mekanisme perpatahan transgranular cleavage dengan mode perpatahan berupa patah fatik. Material bahan berupa material ulet, tetapi terjadi transisi ulet ke rapuh dikarenakan banyaknya konsentrasi tegangan yang terjadi pada poros, khususnya pada bagian akar seplain.
2. Hasil pengujian bahan menunjukkan bahwa poros mengalami kelelahan karena fluktuasi beban yang berulang-ulang, bukan dikarenakan kesalahan dalam level tegangan disain.
3. Penyebab dari kegagalan adalah proses pembuatan poros yang tidak baik dan tidak memenuhi standar. Pembuatan poros, khususnya pembuatan seplain banyak meninggalkan retak-retak kecil yang menjadi awal terjadinya retak dan merambat menjadi patah menyeluruh. Kondisi ini diperparah dengan tidak adanya proses perlakuan panas lanjut untuk menghilangkan tegangan sisa permesinan pada pembuatan seplain

DAFTAR PUSTAKA

1. Dieter, George E., *Mechanical Metallurgy*, McGraw Hill, Singapore, 1988
2. Popov, Egor P., *Engineering Mechanical of Solids*, Prentice-Hall, Barkeley,1990
3. R,E. Smallman. 1999.*Metalurgi Fisik Modern dan Rekayasa Material*. Jakarta : Erlangga
4. Oberg, E., F.D. Jones, H.L. Horton, H.H. Ryffel, *Machinery's Handbook: 24th Edition*. Industrial Press Incorporated, 1992.
5. Norton L. Robert, *Machine Design an Integrated Approach, 4th ed*., Prentice-Hall Inc., Singapore, 1998
6. C.R. Brooks and A. Choudhury, *Failure Analysis of Engineering Materials*, McGraw-Hill Inc., New York , NY :., 2002.
7. TCR Engineering Service Technical Team,2004., *Investigating Material And Component Failure*
8. Manual Book, *Discontinue Centrifugal Machine BMA K 850*, PG. Kebon Agung, Malang