

ANALISA KEGAGALAN POROS INPUT *GEARBOX* *SCREW* DECANter PADA UNIT PENGOLAH LIMBAH KELAPA SAWIT

Adi Febrianton¹, Sepfitrah², Romiyadi³, Purnama Irwan⁴, Hazra Yuvendius⁵

¹Program Studi Perawatan dan Perbaikan Mesin, Politeknik Kampar, ²Program Studi Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknologi Pekanbaru, ³Program Studi Perawatan dan Perbaikan Mesin, Politeknik Kampar, ⁴Program Studi Perawatan dan Perbaikan Mesin, Politeknik Kampar, ⁵Program Studi Teknik Mekatronika, Lancang Kuning Jl. Tengku Muhammad KM.2, Batu Belah, Bangkinang, Kabupaten Kampar, Riau 28463.

Email: adifebrianton@gmail.com, sepfitrh@gmail.com, romiyadi.nawir@gmail.com, hazra_yuvendius@unilak.ac.id

ABSTRAK

Penggunaan *Centrifuge Decanter* sebagai pengolah limbah di industri sudah banyak digunakan. *Centrifuge Decanter* memisahkan limbah yang berupa campuran padatan dan cairan (*slury*) dengan memanfaatkan gaya sentrifugal yang dihasilkan oleh perbedaan putaran tabung (*bowl*) dan *screw conveyor*. Putaran *screw conveyor* direduksi melalui sebuah *cycloidal gearbox*. Poros yang berada pada *cycloid* mengalami patah saat beroperasi, untuk itu perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui penyebab patahnya poros ini. Penelitian ini dimulai dari studi literatur khususnya yang membahas tentang mekanisme kerja *decanter* dan penyebab kegagalan poros *cycloidal gearbox*. Untuk kelengkapan analisis dilakukan pengumpulan data yang meliputi data operasi mesin, sifat fisis dan mekanik material poros, mfraktografi poros serta tegangan yang bekerja pada poros. Dari hasil analisis data diketahui poros mengalami patah ulet akibat beban berlebih (*overload*). Beban yang mengakibatkan patahnya poros adalah beban puntir yang berasal dari putaran tabung *decanter* pada saat start awal mesin. Torsi akibat putaran tabung menghasilkan tegangan geser yang melebihi tegangan luluh material poros ditambah lagi adanya faktor konsentrasi tegangan pada daerah *fillet* poros yang patah.

Kata kunci : *Decanter*, Poros, *overload*, analisa kegagalan

ABSTRACT

The use of *Centrifuge Decanter* as a waste treatment in industry has been widely used. *Centrifuge Decanter* separates waste in the form of a mixture of solids and liquids (*slury*) by utilizing the centrifugal force generated by the difference in the rotation of the tube (*bowl*) and *screw conveyor*. The rotation of the *screw conveyor* is reduced through a *cycloidal gearbox*. The shaft in the *cycloid* breaks during operation, for that it is necessary to conduct research to determine the cause of this shaft fracture. This research starts from a literature study that discusses the working mechanism of the *decanter* and the causes of the failure of the *cycloidal gearbox* shaft. For completeness of the analysis, data collection includes data on engine operation, physical and mechanical properties of the shaft material, fractography of the shaft and the stresses acting on the shaft. From the results of data analysis, it is known that the shaft has ductile fracture due to overload. The load that causes the shaft to break is the torsional load that comes from the rotation of the *decanter* tube at the initial start of the engine. Torque due to the rotation of the tube produces a shear stress that exceeds the yield stress of the shaft material plus a stress concentration factor in the fractured shaft *fillet* area.

Keywords : *Decanter*, Shaft, *overload*, failure analysis

1. PENDAHULUAN

Unit Pengolahan Limbah Politeknik Kampar yang merupakan Hibah dari Pemerintah Korea Selatan kepada Pemerintah Indonesia melalui KOICA (Korea International Cooperation Agency). Unit Pengolahan Limbah ini selain mengolah Limbah cair Kelapa Sawit, juga dapat menghasilkan energy terbarukan yaitu *Bio-Energy* berupa gas metan, *Bio-Diesel* dan *Bio-Fertilizer*.

Pada sistem pengolahan limbah cair ini terdapat mesin *Cetrifuge Decanter* yang berfungsi

sebagai pemisah antara minyak (*Palm Oil*), lumpur (bahan baku pembuatan pupuk kompos), dan limbah cair (*wastewater*). Komponen utama mesin ini adalah sebuah *screw conveyor* yang berada didalam sebuah tabung terpisah. *Screw conveyor* dan tabung saling berotasi dengan arah yang berlawanan dan digerakkan oleh dua buah motor listrik. Mekanisme mesin dalam memisahkan limbah dengan menggunakan gaya sentrifugal yang dihasilkan akibat perbedaan arah dan kecepatan putaran antara *screw conveyor* dan tabung. Putaran tabung lebih tinggi dibanding putaran *screw*, hal ini menyebabkan

limbah terlempar dan menempel pada dinding tabung. Melalui sistem pengeluaran limbah pada mesin, dapat dipisahkan antara padatan, minyak dan air yang terkandung dalam limbah.

Pada tahun 2014 dan 2015 terjadi kegagalan pada poros input *gearbox* mesin *decanter* yang menyebabkan terhentinya proses produksi pengolahan limbah cair. Kegagalan poros *gearbox decanter* ini mempunyai dampak yang cukup besar terhadap unit pengolah limbah yaitu terhentinya proses pengolahan limbah.

Berdasarkan kegagalan poros input *gearbox* mesin *decanter* tersebut diatas maka penulis melakukan penelitian tentang penyebab dari patahnya poros input *gearbox decanter DONG SEO DSD185LT*, sehingga kedepan dapat diantisipasi agar kejadian serupa tidak terulang kembali. Penelitian ini dilaksanakan dilaboratorium pengujian bahan Politeknik Kampar. dan Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) Serpong.

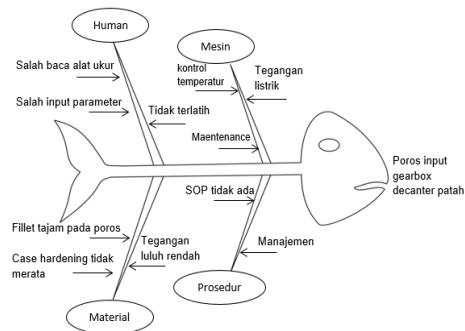
2. METODE PENELITIAN

Dalam analisis terjadinya kegagalan patah pada poros *screw decanter* ada beberapa prosedur penelitian yang dilakukan sebagai berikut:

1. Informasi awal dari terjadinya kegagalan, (kegagalan poros input *decanter* yang terdokumentasikan. Informasi berkaitan seperti disain komponen, manufaktur, jenis material, fungsi dari komponen).
2. Pemeriksaan visual, (melakukan dokumentasi serta pengamatan ditempat kejadian).
3. Analisis tegangan, (pada saat komponen yang sedang bekerja dengan adanya beban, maka diperlukan adanya analisis tegangan agar diketahui bahwa tegangan kerja berada dibawah sifat mekanik material).
4. Fraktografi, (pemeriksaan permukaan patahan dengan menggunakan mikroskop optik serta elektron untuk melihat mekanisme patahan).
5. Metalografi.
6. Sifat-sifat material, (untuk mengetahui sifat-sifat mekanik dari material sudah cukup dengan uji kekerasan yang dilakukan tanpa merusak sampel).
7. Simulasi berguna untuk melihat distribusi tegangan dan gaya yang bekerja pada komponen.

Akar Permasalahan Pada Poros Input Gearbox Decanter

Metode yang akan digunakan untuk melihat akar dari suatu permasalahan adalah menggunakan *fishbone* diagram. Faktor-faktor yang menyebabkan kegagalan dan efek dari kegagalan tersebut diidentifikasi berdasarkan kategori serumpun. Dari hasil identifikasi penyebab kegagalan dapat diambil suatu tindakan untuk mencegah terjadinya kegagalan serupa.



Gambar 1. Fishbone diagram

Simulasi Tegangan Kerja

Elemen hingga digunakan untuk menganalisis gaya-gaya yang bekerja pada poros screw decanter dilakukan dengan program *Nastran4d for windows*. Model tiga dimensi dibuat dengan menggunakan program CAD (*Computer Aided Design*). Setelah selesai pemodelan maka dilakukan simulasi secara linier statik untuk gaya-gaya yang bekerja pada poros. Pada elemen hingga terdapat 6 tahapan proses simulasinya.



Gambar 2. Prosedur analisis elemen hingga

Peralatan Penelitian

Mesin pengujian kekerasan



Gambar 3. Mesin pengujian kekerasan

Tabletop Microscope



Gambar 4. Tabletop microscope

Streomicroscope



Gambar 5. Streomicroscope

Mesin Uji Metallografi.



Gambar 6. Mesin uji metallografi.

Mesin Uji komposisi kimia.



Gambar 7. Mesin uji komposisi kimia

Vernier caliper

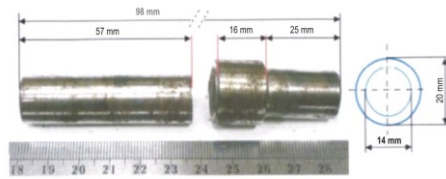


Gambar 8. Vernier caliper

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Fraktografi Patahan

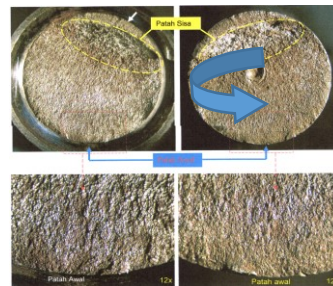
Permukaan patahan poros screw decanter bisa dijadikan sebagai informasi awal dalam menentukan modus terjadinya kegagalan. Berikut adalah gambar-gambar dari patahan poros *screw decanter*;



Gambar 9. Dimensi poros gearbox screw decanter



Gambar 10. Pada foto makro Kerusakan/patah pada poros gearbox yang terjadi didaerah radius. Disekitar area lubang pasak terlihat mengalami aus dan begitu juga di area sekitar radius (lihat panah).



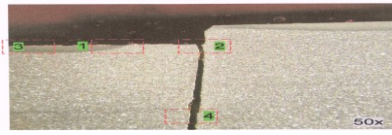
Gambar 11. Detail patahan poros gearbox decanter

Pada Foto makro menunjukkan bahwa permukaan patahan *poros gearbox decanter* merupakan patah ulet yang dimulai dari sisi yang berlawanan dengan patah sisa. area bidang awal retak sangatlah sedikit jika dibandingkan dengan rambatan penjalaran retak yang mencapai hingga 70%. Beban bending yang terjadi pada *poros screw decanter* pada awal mulanya hanya satu sisi, namun demikian terdapat juga indikasi patah awal pada area patah sisa (*secondary fracture*). Pada permukaan patahan yang halus dan rata menunjukkan bahwa patah awal, sedangkan patah sisa terlihat permukaan yang kasar dan menyudut (lihat lingkaran).

Struktur Mikro Material Poros

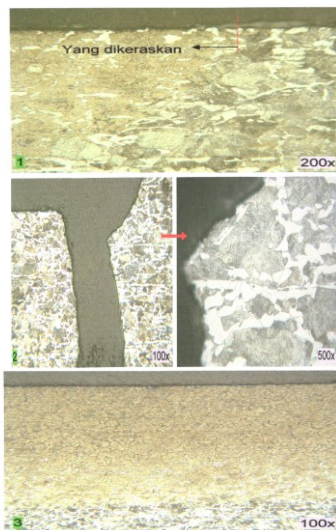
Spesimen metallografi diambil dari poros yang patah dengan posisi pemotongan melintang seperti terlihat pada gambar 12. Pengujian struktur mikro ini dilakukan dengan analisa metallografi memakai mikroskop optik dengan terlebih dahulu melalui proses pengampelasan dan pemolesan hingga didapat permukaan spesimen yang rata dan bebas goresan. Pengetsaan terhadap hasil pemolesan spesimen poros menggunakan nital 2 %, waktu pengetsaan pada permukaan selama 3-5 detik. Secara mikroskopik gambaran mikrostruktur

diperoleh dari hasil pembesaran pemotretan poros yang hasilnya dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 12. Posisi pengamatan mikrostruktur poros

Foto makro etsa sampel dipotong secara memanjang (dibelah pada posisi satu garis dengan patah awal dan patah sisa), pada lokasi 1 terlihat bahwa permukaan poros *screw decanter* mengalami pengerasan permukaan / *case hardening*, namun pada area sekitar radius tidak terlihat adanya pengerasan permukaan (lokasi 2).



Gambar 13. Mikrostruktur poros

Struktur mikro pada (lokasi 1) terlihat perbedaan antara daerah yang mengalami pengerasan dengan yang tidak. Pada daerah patahan (lokasi 2) struktur mikro berupa ferit dan perlit. Sedangkan struktur mikro permukaan yang mengalami pengerasan permukaan/*case hardening* (lokasi 3) berupa martensit, dan terlihat juga masih ada martensit yang didalamnya terperangkap austenite.

Hasil Pengujian Komposisi Kimia

Tabel 1. Data uji komposisi kimia screw decanter

Screw Decanter Shaft		Equivalen Material AISI 4047
Unsur	Nilai Kandungan Unsur (%)	
Fe	98.3	97.87 – 98.51
C	0.484	0.45 – 0.50
Si	0.249	0.15 –

		0.35
Mn	0.718	0.70 – 0.90
Cr	0.0835	–
Ni	0.0456	–
Mo	0.0157	–
Cu	0.0710	–
Al	0.0028	–
V	0.0066	–
W	< 0.0250	–
Ti	0.0026	–
Nb	< 0.0030	–
B	< 0.0010	–
S	0.0304	<= 0.04
P	0.0086	<= 0.035

Dari data hasil pengujian komposisi kimia dengan menggunakan *spectrometer analyzer* diketahui bahwa komposisi kimia material poros *screw decanter* identik dengan komposisi kimia *low alloy steel*. Komposisi kimia material *screw decanter* ekuivalen dengan material standar AISI 4047.

Hasil Pengujian Kekerasan Poros

Pengujian kekerasan material poros ini dilakukan untuk mengetahui distribusi nilai kekerasan material poros *screw decanter* yang digunakan. Hasil pengujian kekerasan adalah sebagai berikut:



Gambar 14. Posisi pengujian kekerasan

Tabel 2. Data uji kekerasan vickers

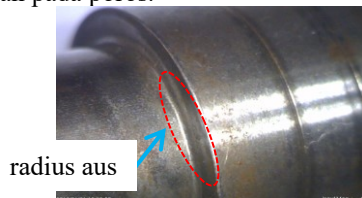
Posisi Pengujian	Nilai Kekerasan Vickers (HV)
1	699
2	277
3	550
4	265
5	271
6	257
7	712
8	286
9	653
10	712

Pada pengujian kekerasan poros *screw decanter* didapatkan hasil uji kekerasan berada pada range 257-286 HV. Sedangkan pada area poros *screw decanter* yang mengalami pengerasan permukaan/*case hardening* berada pada range 550-712 HV.

Analisis Tegangan Menggunakan Metoda Elemen Hingga

Analisa tegangan ataupun gaya yang bekerja pada poros berdasarkan perhitungan manual tidak memperlihatkan distribusi tegangan yang bekerja secara detail pada setiap segmen poros screw decanter. Untuk melihat detail distribusi tegangan tersebut maka digunakan metode elemen hingga atau simulasi menggunakan perangkat lunak komputer. Dalam hal ini perangkat lunak yang digunakan adalah program *Nastran4D for Windows*.

Berdasarkan hasil pengamatan pada bagian radius *poros gearbox* mengalami keausan seperti terlihat pada gambar 14. Hal ini dapat diakibatkan oleh gesekan antara bearing dengan radius poros. Kondisi seperti ini akan menghasilkan konsentrasi tegangan pada poros.



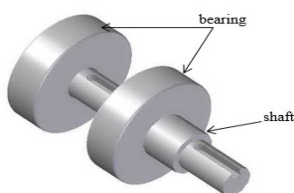
Gambar 15. Keausan pada fillet poros

Simulasi Tegangan pada Poros Screw Decanter

Simulasi dilakukan pada poros dengan kondisi tegangan kerja aktual. Tahapan analisis menggunakan simulasi ini adalah sebagai berikut :

1. Modeling (Permodelan)

Permodelan merupakan langkah awal dalam membuat simulasi, yaitu membuat gambar yang mendekati kondisi lapangan sesuai dengan dimensi poros *screw decanter* sebenarnya. Bentuk permodelan batang poros adalah sebagai berikut:



Gambar 16. Model poros screw decanter

Tegangan Pada Poros Screw Decanter

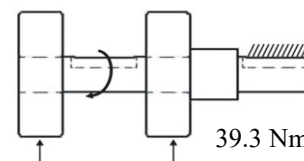
- Tegangan yang bekerja pada poros diakibatkan oleh torsi yang dihasilkan dari putaran motor penggerak. Berdasarkan kondisi operasionalnya, motor yang pertama dihidupkan atau menghasilkan torsi adalah motor centrifuge yang menggerakkan tabung.
- Pada saat operasional sering terjadi mesin terhenti secara tiba-tiba akibat terputusnya listrik yang bersumber dari PLN

(Perusahaan Listrik Negara). Pada saat mesin decanter mati maka limbah padat yang menempel pada dinding tabung akan mengeras, hal ini menyebabkan menempelnya tabung dengan ulir screw conveyor. Pada saat mesin kembali di start maka screw conveyor akan menerima efek torsi berlawanan arah putaran conveyor. Torsi ini turut memutar poros input *Cycloid gearbox*, namun putaran akan tertahan karena sistem gearbox tidak dapat berputar berlawanan arah.

- Berdasarkan persamaan:

$$\begin{aligned} T. \text{ tabung decanter} &= \frac{(3700 \times 60)}{2\pi \times 900} \\ &= \frac{222000}{5652} \\ &= 39.3 \text{ N.m} \end{aligned}$$

- Poros *gearbox* bertumpu pada kedua bearing, dengan berat poros yang tidak signifikan maka beban yang bekerja pada poros murni hanya akibat gaya puntiran.



Gambar 17. Torsi pada poros screw decanter

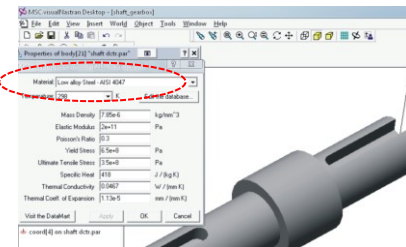
2. Penentuan material model

Berdasarkan hasil pengujian komposisi kimia, material poros adalah AISI 4047 (*Low Alloy Steel*). Struktur mikro poros mengalami pengerasan permukaan yang menghasilkan fasa martensit. Namun pada bagian fillet tidak terkena pengerasan permukaan sehingga struktur mikronya tetap sama dengan kondisi awal material yang terdiri dari ferit dan perlit. Karena kondisi patah terdapat pada bagian fillet poros maka sifat mekanik material diinput pada simulasi adalah sifat mekanik AISI 4047 (*ascast*). Dibawah ini tabel sifat mekanik material AISI 4047 ;

Tabel 3. Sifat mekanik material AISI 4047

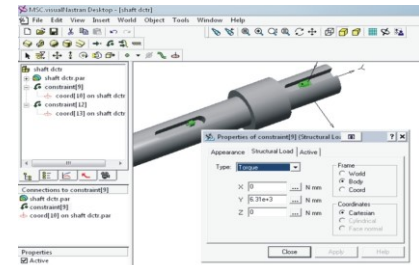
Sifat mekanik aisi 4047	Besaran (metrik)
Kekerasan, Vickers	214 HV

Kekuatan tarik, Ultimate	650 MPa
Kekuatan tarik, Yield	350 MPa
Modulus elastisitas	200 GPa



Gambar 18. Penentuan material model poros

3. Menentukan *constraint* pada poros gearbox decanter

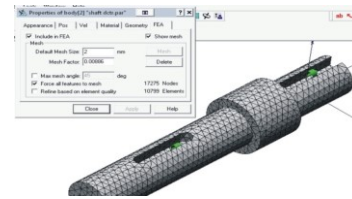


Gambar 19. Penentuan constrain atau gaya-gaya pada poros (Torsi pada alur pasak motor penggerak sebesar 15.78 Nm)

Penerapan gaya-gaya yang terjadi pada model simulasi diposisikan secara cermat yang mendekati kondisi sebenarnya pada saat poros *screw decanter* beroperasi. Poros digerakan oleh motor listrik dengan sistem belting yang terhubung pada puli poros. Puli meneruskan daya motor listrik ke poros melalui pasak. Selanjutnya torsi yang dihasilkan digunakan untuk memutar pereduksi putaran didalam kotak roda gigi (gearbox). Putaran awal poros dari motor listrik sebesar 5600 rpm direduksi hingga mencapai putaran 40 rpm. Hasil putaran reduksi digunakan untuk menggerakkan poros *screw decanter*.

4. Meshing

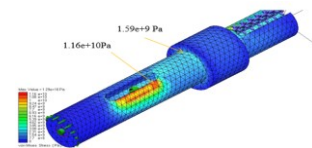
Proses meshing adalah proses penentuan elemen deskrit pada objek simulasi. Bentuk dan ukuran elemen dapat ditentukan sesuai dengan tingkat ketelitian hasil perhitungan simulasi yang diinginkan. Pada software Nastran ini bentuk elemen sudah ditentukan secara otomatis (*triangle*), dan dimensi ukuran dapat ditentukan sendiri. Ukuran mesh yang akan dipergunakan adalah 2 mm, serta faktor toleransi 0,00886.



Gambar 20. Meshing model

5. *Runing* simulasi dan hasil

Setelah tahapan penentuan kondisi batas dilakukan meliputi penentuan material, gaya-gaya yang bekerja, meshing, setelahnya adalah menjalankan (*run*) simulasi. Tegangan geser yang terjadi akan dihitung oleh komputer dengan metoda iterasi.



Gambar 21. Distribusi tegangan geser hasil simulasi kriteria von mises

Pada gambar 21 merupakan hasil simulasi, menunjukkan terjadinya distribusi tegangan pada poros gearbox *screw decanter*. Perbedaan warna yang terjadi saat simulasi menggambarkan tingkat tegangan pada poros, tegangan geser maksimal diwakili oleh warna merah dan tegangan geser minimum berwarna biru.

Tegangan geser maksimum (σ_{max}) terjadi pada bagian radius pasak, sebesar 11600 MPa. Besarnya tegangan geser pada radius alur pasak lebih besar dari tegangan putus material AISI 4047 (650 MPa). Begitu juga pada bagian radius poros input gearbox, tegangan geser yang bekerja sebesar 1590 MPa. Nilai tegangan ini melewati tegangan putus material poros, hal inilah yang menyebabkan poros mengalami patah.

4. KESIMPULAN

Dari serangkaian kegiatan pengujian dan analisa terhadap patahnya poros input gearbox cycloid pada mesin decanter maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut; Patahnya poros berupa patah ulet diakibatkan oleh kondisi beban berlebih (*overload*), hal ini terlihat dari bentuk permukaan patahan poros yang halus dan menyudut. Disamping itu tidak ada tanda-tanda terjadi patah lelah yang memiliki pola patahan yang membentuk garis pantai (*beachmark*). Material poros yang digunakan adalah baja paduan rendah AISI 4047, yang mengalami proses pengerasan permukaan. Dari hasil pengujian struktur mikro, pengerasan permukaan tidak merata keseluruhan permukaan poros. Pada bagian poros

yang terkena pengerasan memiliki struktur mikro martensit dan austenit sisa, sedangkan pada daerah yang tidak dikeraskan ferit dan perlit. Nilai kekerasan pada permukaan yang dikeraskan dapat mencapai 550 - 712 HV, sedangkan pada daerah yang tidak dikeraskan sebesar 257 – 265 HV. Mesin decanter beberapa kali mengalami *shutdown* secara mendadak akibat terputusnya arus listrik, hal ini mengakibatkan limbah didalam tabung decanter mengeras dan menempel pada dinding tabung dan *screw decanter*. Ketika mesin kembali di start, motor yang terlebih dahulu dijalankan adalah motor untuk menggerakkan tabung decanter, akibatnya *screw conveyor* menerima beban torsi yang diteruskan ke poros input *gearbox*. Besarnya tegangan geser pada bagian radius yang patah dihitung menggunakan program simulasi Nastran, tegangan geser yang bekerja sebesar 1590 MPa. Nilai tegangan ini lebih besar dari tegangan tarik material poros AISI 4047 sebesar 650 Mpa, sehingga dapat mengakibatkan poros patah.

Adapun saran dalam penelitian ini adalah sebagai berikut; Untuk menghindari terjadi beban torsi yang besar pada poros input pada saat start awal mesin, perlu dilakukan pembersihan terhadap padatan yang menempel diantara dinding tabung dan *screw conveyor decanter* dengan memasukkan air pembilas. Ketika mesin mengalami *shutdown* secara tiba-tiba, sebaiknya air tetap dimasukan kedalam mesin untuk menjaga limbah tidak mengeras pada permukaan tabung decanter. Desain poros input *gearbox* perlu diberi fillet untuk menghindari konsentrasi tegangan. Untuk meningkatkan tegangan tarik dan kekerasan material poros dapat dilakukan proses *quench hardening* agar kekerasan dan struktur mikro material poros lebih homogen. Perlu dilakukan perhitungan yang lebih mendalam terhadap tegangan yang bekerja pada poros.

4. DAFTAR PUSTAKA

1. ASM Handbook, 2005, Volume 1, Properties and Selection Irons, and High Performance Alloys.
2. ASM Handbook, 2005, Volume 9, Metallography and Micro structures, volume 12, Fractography.
3. Alan Records and Ken Sutherland "Centrifuge Handbook" First Edition, Elsevier advanced technology
4. Bernard. J. Hamrock, Steven .R.Schmid, 2nd Edition, "Fundamentals of Machine Elements, McGraw-Hill, Inc.
5. Dieter, GE. 1990. " *Metallurgi Mekanik* ", Edisi Ketiga Jilid I, Erlangga, Jakarta.
6. Jr. Callister, D. William, 1977, " *Materials Science And Engineering* " Forth Edition, Departement of Metallurgical Engineering The University of Utah, John Wiley & Sons, Inc.
7. Juvinall RC, Marshek KM, 1983, " *Fundamentals of Machine Component Design* ", Second Edition, John Wiley & Sons.
8. Krauss George, 1980, " *Principles of Heat Treatment of Steel* " , Departement of Metallurgical Engineering Colorado School of Mines. America Society For Metal Park, Ohio 44073.
9. Neville W. Sachs. PE, " *Practical Plant Failure Analysis*," CRC Tailor & Francis Group.
10. R.Keith Mobley 1999," *Root Cause Failure Analysis*," Newnes, USA.
11. Sandep V.Thube, Todd R. Bobak, 2011," *The Dynamic Simulation and Analysis of a Cycloidal Speed Reducer*", *Proceedings of the 11th ASME Confrence, USA*.
12. Smallman RE, Bishop RJ, Sriati Japri, 1989 " *Metallurgi Fisik Modern & Rekayasa Material* " , Edisi 6, Penerbit Erlangga Jakarta.
13. Timoshenko & Young, 1968. " *Elements of Strength of Materials* " 5th Edition, D Van Nostrand Company, New York.
14. Voort Vander, 1984, " *Materials Science And Engineering Seris* ", *Metallography Principles And Practice* ", McGraw-Hill, Inc.
15. www.21ds.co.kr