



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**ANALISIS KEGAGALAN REAR AXLE SHAFT TRUCK  
KAPASITAS 7.5 TON**

**SKRIPSI**

**NOEL ROLANDO OROSA**

**0806368774**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
DEPOK  
JANUARI 2012**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**ANALISIS KEGAGALAN REAR AXLE SHAFT TRUCK  
KAPASITAS 7.5 TON**

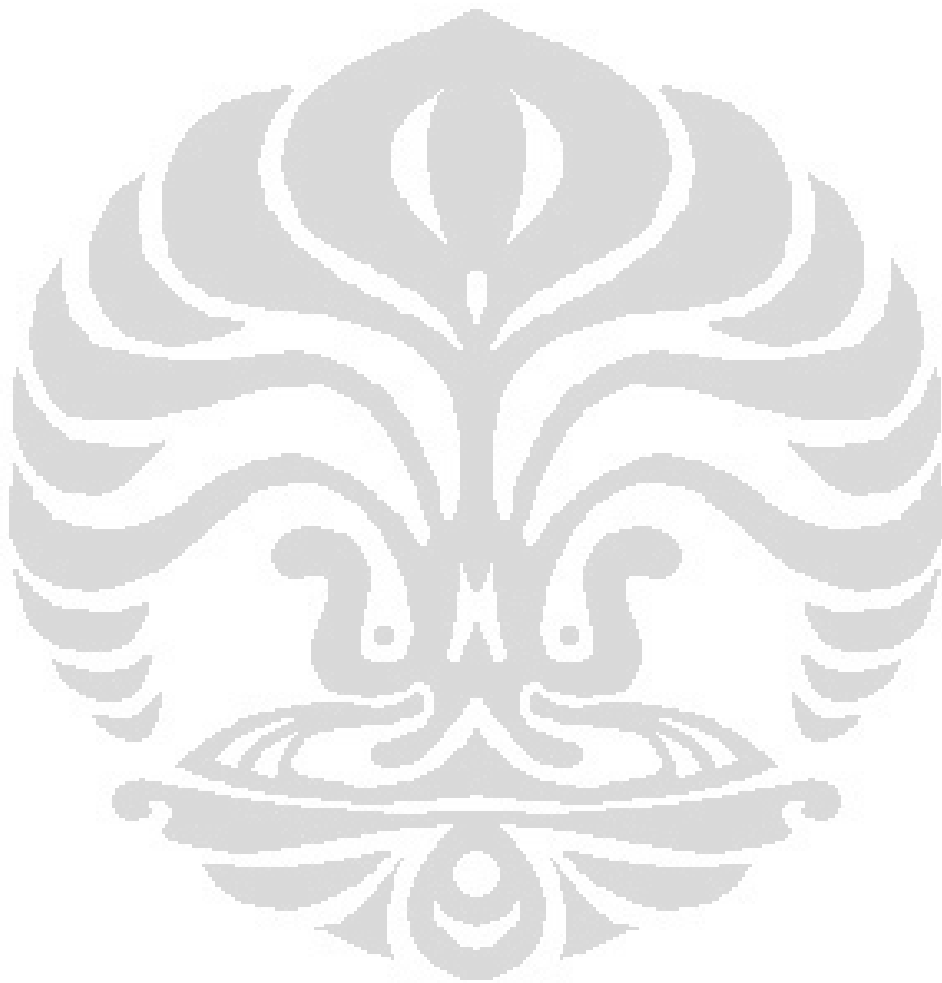
**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik**

**NOEL ROLANDO OROSA**

**0806368774**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
DEPOK  
JANUARI 2012**



## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul:

### **ANALISIS KEGAGALAN REAR AXLE SHAFT TRUCK KAPASITAS 7.5 TON**

yang dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia, sejauh yang saya ketahui bukan merupakan tiruan atau duplikasi dari skripsi yang sudah dipublikasikan dan atau pernah dipakai untuk mendapatkan gelar kesarjanaan di lingkungan Universitas Indonesia maupun di Perguruan Tinggi atau instansi manapun, kecuali bagian yang sumber informasinya dicantumkan sebagaimana mestinya.

Nama : Noel Rolando Orosa

NPM : 0806368774

Tanda Tangan : 

Tanggal : 11 Januari 2012

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh


Nama : Noel Rolando Orosa  
NPM : 0806368774  
Program Studi : Teknik Mesin  
Judul Skripsi : ANALISIS KEGAGALAN REAR AXLE SHAFT TRUCK  
KAPASITAS 7.5 TON

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.


### DEWAN PENGUJI



Pembimbing : Dr. Ir. Gatot Prayogo M.Eng  
NIP : 195903281986031002



Penguji : Dr. Ir. R. Danardono Agus Sumarsono DEA. PE  
NIP : 195903071985031001



Penguji : Dr. Ario Sunar Baskoro S.T. M.T. M.Eng  
NIP : 197604261999031002

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 11 Januari 2012

## UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yesus Kristus, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu saya mengucapkan terima kasih kepada :

1. Orang tua dan keluarga yang telah memberikan doa dan dukungannya kepada saya untuk tetap semangat.
2. Dr. Ir Gatot Prayogo M.Eng , atas segala waktu, tenaga dan kesabaran dalam membimbing dan mengarahkan.
3. Ruth Novita yang memberikan semangat dan dorongan dalam menyelesaikan skripsi ini.
4. Bapak Wawan S, Ibu Ariana, Bapak Yani, Bapak Koko, Bapak Hermawan, Bapak Jeffry, Bapak Helmi, Bapak Hendro dan Bapak Roifan yang memberikan bantuan dan semangat selama skripsi.
5. Teman – teman PT. Inti Ganda Perdana atas kebersamaannya selama menjalani skripsi.
6. Teman – teman teknik mesin ekstensi 2008 yang telah membantu dan mendukung skripsi ini.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan untuk membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini dapat membawa manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi.

Depok, 11 Januari 2012



Penulis

## **ABSTRAK**

Nama : Noel Rolando Orosa  
Program Studi : Teknik Mesin  
Judul : **ANALISIS KEGAGALAN REAR AXLE SHAFT TRUCK KAPASITAS 7.5 TON**

*Dengan meningkatnya kenaikan produksi dalam suatu industri pada umumnya akan diikuti penurunan kualitas suatu produk dimana akan meningkatkan claim dari customer yaitu kegagalan mekanik pada rear axle shaft yang patah pada bagian flange. Untuk itu dilakukan pengujian agar diketahui akar penyebab kegagalan rear axle shaft truk model X dan memberikan solusi klaim patah. Pengujian yang dilakukan mencakup pengamatan fracture surface secara makroskopik dan mikroskopik, pengujian mekanikal properti seperti uji tarik, pengujian komposisi kimia, pengujian kekasaran permukaan, uji Vickers / uji kekerasan, dan perhitungan shear stress maximal. Dari pengamatan fracture surface tidak ditemukan crack awal yang menyebabkan kegagalan rear axle shaft, hasil untuk uji tarik material didapat  $s_{ult}$  843 (N/mm<sup>2</sup>)  $s_{yield}$  588 (N/mm<sup>2</sup>)  $e = 16.30\%$ , untuk pengujian komposisi kimia bahan didapat hasil yaitu C (0.42-0.48), Si (0.15-0.35), S (0.03) max, P (0.03) max, Mn( 1.35-1.65), Ni( 0.25 max), Cr (0.35 max), Cu( 0.3 max), dari hasil perhitungan shear stress maximal memakai persamaan  $\tau_{max} \geq \frac{s_{ult}}{2}$  sehingga hasil yang didapat  $\tau_{max} 45.96 \times 10^7 \text{ N/mm}^2 \geq s_{ult} 42.15 \times 10^7 \text{ N/m}^2$  pada Konsentrasi tegangan Kt 1,406 dan nilai Torsi 7550 Nm, pada pengujian kekasaran permukaan hasil yang didapat semua ada dalam nilai standard yaitu 3.2 RZ, pada pengujian kekerasan didapat nilai kekerasan 610 HV dimana standard kekerasan adalah 620HV–800HV, Dari semua pengujian tidak ditemukan penyebab kegagalan pada rear axle shaft kecuali pada nilai kekerasan sehingga disimpulkan penyebab patah pada poros dikarenakan nilai kekerasan kurang sehingga dilakukan perubahan parameter untuk proses hardening*

**Kata Kunci : fatigue, poros, pengujian, kekerasan, tegangan**

## **ABSTRACT**

Name : Noel Rolando Orosa  
Majoring : Teknik Mesin  
Title : **FAILURE ANALYSIS OF REAR AXLE SHAFT CAPACITY 7.5 TON TRUCK**

*Increasing volume production in an industry in general will be followed by decline in quality product which enhance their customer's claim such a mechanical failure on Rear Axle shaft which fracture at the flange. The examination was done in order to know the root cause of the failure of the truck rear axle shafts X model and provide solutions fracture claims Tests performed include observation of fracture surface in macroscopic and microscopic, testing of mechanical properties such as tensile test, the testing of chemical composition, surface roughness testing, test Vickers / hardness test, and calculation of maximum shear stress. From the observation of fracture surface was not found crack that caused the initial failure of rear axle shafts, the result for material tensile test sult obtained 843 (N/mm<sup>2</sup>) syield 588 (N/mm<sup>2</sup>) e = 16:30%, for testing the chemical composition of the material we got the result that C ( 0:42 to 0:48), Si (0:15 to 0:35), S (0.03) max, P (0.03) max, Mn (1.35-1.65), Ni (0.25 max), Cr (0:35 max), Cu (0.3 max). Tests performed include testing fracture surface, which is done by macroscopic and microscopic,the result can not find crack test results early, mechanical property testing sult obtained 843 (N/mm<sup>2</sup>) syield 588 (N/mm<sup>2</sup>) e = 16:30%, testing the chemical composition of materials obtained results as the standard C (0:42 to 0:48), Si (0:15 to 0:35), S (0.03) max, P (0.03) max, Mn (1.35-1.65), Ni (0.25 max), Cr (0:35 max), Cu (0.3 max), the results of calculations based on the simulated shear stress values from the equation  $\tau_{max} \geq \frac{S_{ult}}{2}$  that is  $\tau_{max} 45.96 \times 10^7 N/mm^2 \geq S_{ult} 42.15 N/m^2$  obtained maximal torque in the shaft, with a value of 1.406 Kt stress concentration results, value of hardness testing got result 610 HV hardness but the standard 620HV-800HV, thus found to be less than the standard. From testing concluded the cause of shaft fractures due to the lack of hardness, so that changes the process of hardening parameters*

*Key words: fatigue, shaft, shear stress, torque*



## HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

---

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Noel Rolando Orosa

NPM : 0806368774

Program Studi : Teknik Mesin

Departemen : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

Jenis karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

### **ANALISIS KEGAGALAN REAR AXLE SHAFT TRUCK KAPASITAS 7.5 TON**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 11 Januari 2012

Yang menyatakan :



( Noel Rolando Orosa )

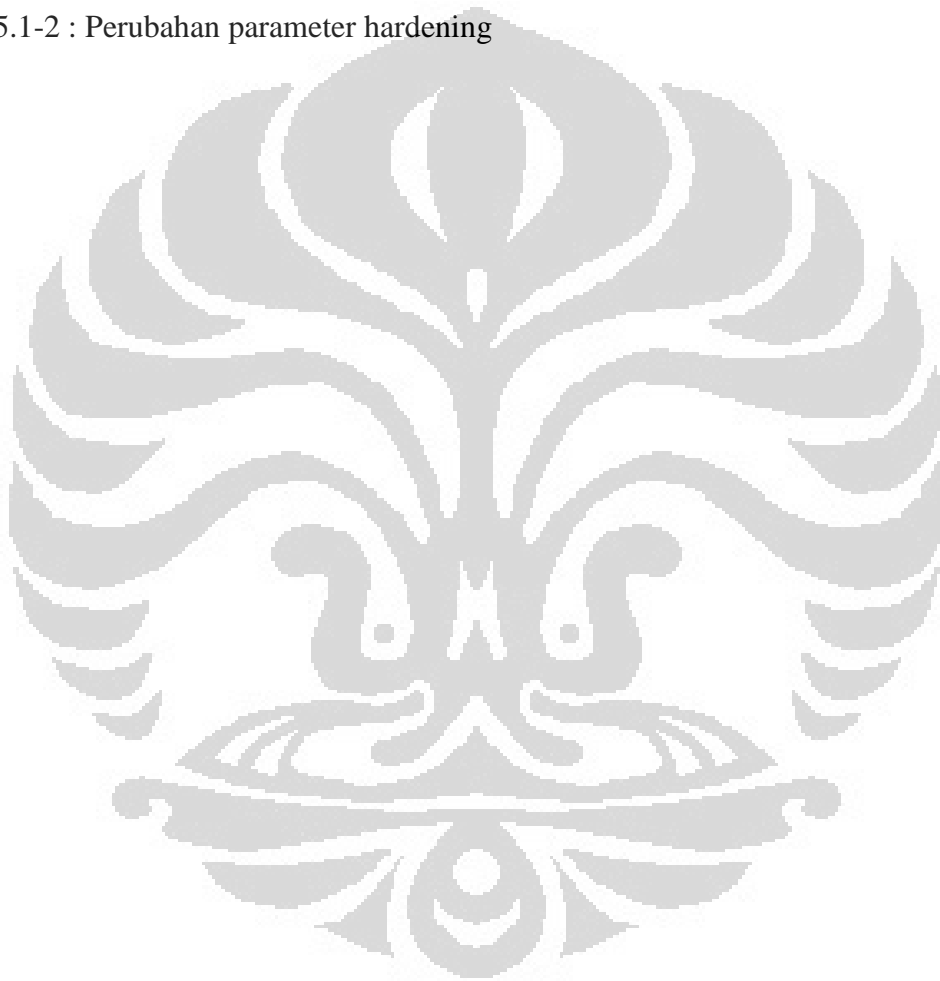
# DAFTAR ISI

<b>HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS .....</b>	<b>IV</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN .....</b>	<b>ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.</b>
<b>DEWAN PENGUJI .....</b>	<b>ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.</b>
<b>UCAPAN TERIMA KASIH.....</b>	<b>VI</b>
<b>ABSTRAK.....</b>	<b>VII</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>VI</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI .....</b>	<b>VIII</b>
<b>TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS .....</b>	<b>IX</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>X</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>IX</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>X</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>XI</b>
<b>BAB 1 PENDAHULUAN.....</b>	<b>ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.</b>
1.1 LATAR BELAKANG .....	1
1.2 PERUMUSAN MASALAH.....	4
1.3 TUJUAN PENULISAN .....	4
1.4 MANFAAT .....	4
1.5 PEMBATAAN MASALAH .....	5
1.6 SISTEMATIKA PENULISAN .....	5
<b>BAB 2 DASAR TEORI .....</b>	<b>7</b>
2.1 DEFINISI KEGAGALAN .....	7
2.2 MODE KEGAGALAN .....	7
2.3 FATIGUE (KELELAHAN) .....	9
2.4 KURVA TEGANGAN SIKLUS S-N.....	10
2.4.1 KARAKTERISTIK KELELAHAN LOGAM.....	12
2.4.2 KARAKTERISTIK MAKROSKOPIK.....	12
2.4.3 KARAKTERISTIK MIKROSKOPIK.....	14
2.5 DEFINISI AXLE SHAFT .....	16
2.6 INDUCTION HARDENING.....	16
2.7 KONSTRUKSI PENGGERAK RODA BELAKANG.....	17
2.8 JENIS AXLE SHAFT.....	18
2.9 DESIGN UNTUK POROS.....	18

2.10	BEBAN YANG DIKENAKAN PADA POROS.....	.19
<b>BAB 3</b>	<b>METODA PENELITIAN.....</b>	<b>20</b>
3.1	DIAGRAM ALIR ANALISIS KEGAGALAN.....	20
3.2	FAILURE ANALIS DENGAN FISHBONE DIAGRAM.....	21
3.3	TRACEABILITY ANALISIS.....	22
<b>BAB 4</b>	<b>ANALISA DATA.....</b>	<b>24</b>
4.1	FRACTURE SURFACE PADA POROS.....	24
4.2	HARDNES TESTER.....	27
4.3	KOMPOSISI KIMIA.....	30
4.4	MEKANIKAL PROPERTI.....	32
4.5	STRESS ANALISIS.....	34
<b>BAB 5</b>	<b>PEMBAHASAN.....</b>	<b>35</b>
5.1	ANALISA PROBLEM PENYEBAB PATAH PADA POROS.....	39
<b>BAB 6</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>44</b>
	<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>46</b>
	<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>51</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 : Konfigurasi permukaan	22
Tabel 3.1 : Data klaim PT Y	24
Tabel 3.2 : Traceability Kegagalan	24
Tabel 4.1 : Distribution Tes Harden Area dan Non Harden Area	31
Tabel 4.2 : Komposisi kimia	33
Tabel 4.3 : Mekanikal Properties	33
Tabel 5.1-2 : Perubahan parameter hardening	43



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 : Siklus Fatigue	7
Gambar 2.2 : Deformasi Plastis	7
Gambar 2.3 : Kurva S-N	12
Gambar 2.4 : Axle shaft Patah	13
Gambar 2.5 : Penampang Poros Patah	13
Gambar 2.6 : Fase Kegagalan lelah	14
Gambar 2.7 : kegagalan lelah tahap I dan II	14
Gambar 2.8 : Tahap Retak dan Tahap Retak makro	14
Gambar 2.9 : Striasi	15
Gambar 2.10: Semi floating	18
Gambar 2.11: Three quarter Floating	18
Gambar 2.12: Full Floating	20
Gambar 3.1 : Prosedur failure analisis	23
Gambar 4.1-3: Pengamatan Makroskopik	27
Gambar 4.4-7: Pengamatan Mikroskopik	29
Gambar 4.8 : Bagian Poros hardness tes	30
Gambar 4.9 : Grafik hardness tes	32
Gambar 4.10 : Grafik kekasaran permukaan	36
Gambar 4.11 : Dimensi poros	35
Gambar 4.12 : konsentrasi Tegangan	36
Gambar 4.13 : Full floating type	37
Gambar 5.1: Proses machining	40
Gambar 5.2 : gambar kerja Axle shaft	41
Gambar 5.3 : Grafik after perubahan parameter	42

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Di era globalisasi ini dunia industri di hadapkan pada persaingan global dimana tidak ada lagi batas-batas antar negara, sehingga salah satu konsekuensinya adalah produk dari negara luar bisa masuk bebas ke pasar dalam negeri karena itu perusahaan dalam negeri harus mampu bersaing dengan produk dari luar negeri agar mampu bersaing perusahaan dalam negeri di tuntutan bersaing dalam hal kualitas yang sesuai tuntutan pasar dengan harga murah, jumlah produk yang sesuai dengan permintaan dan ketepatan waktu pengiriman.

Menggeliatnya perekonomian nasional tak urung ikut mendorong pertumbuhan pasar truk domestik. Gabungan Industri Kendaraan Bermotor Indonesia (Gaikindo) memperkirakan pasar truk pada tahun 2010 akan tumbuh sekitar 10-12%, atau dua kali lipat dari prediksi pertumbuhan perekonomian nasional sebesar 5,5% (*Indonesia company news*, Desember 2008). Dengan meningkatnya kenaikan produksi dalam suatu industri pada umumnya akan diikuti penurunan kualitas suatu produk / kegagalan kualitas dimana akan meningkatkan *claim* dari *customer*. Salah satu penyebab *claim* adalah kegagalan mekanik pada poros gardan (*Differential Gear*). Salah satu contoh kegagalan mekanik yang terjadi pada poros gardan yaitu patah pada bagian *flange*, yang dapat berakibat fatal bagi pengendara.

Dalam hal kualitas perusahaan yang mampu bersaing di pasar global yaitu perusahaan yang mampu memberikan kepuasan kepada pelanggan dimana kasus klaim dari *customer* seminimal mungkin. Dari data klaim yang ada di PT. Y salah satunya adalah patah pada *axle shaft* model X di daerah Sumatera. Dari pertimbangan diatas maka perlu dilakukan penelitian terhadap *fatigue* dan kekuatan torsi pada *axle shaft* model X di PT. Y pada proses *induction hardening*.

*Axle shaft* atau poros penggerak roda adalah poros pemutar roda-roda penggerak yang berfungsi meneruskan tenaga gerak dari *differential* ke roda-roda (*Learning Center GKD group, Quality Level Up, 2004,*). *Axle shaft* pada kendaraan dibedakan menjadi dua yakni *front axle shaft* (poros

penggerak roda depan) dan *rear axle shaft* (poros penggerak roda belakang). Roda belakang umumnya menumpu beban lebih berat daripada roda depan, sehingga konstruksi poros penggerak rodanya juga relatif lebih kuat.

Poros pada umumnya meneruskan daya melalui sabuk, roda gigi atau rantai. Poros semacam ini selalu menderita beban puntir dan beban lentur. Beban puntir mengakibatkan terjadinya geseran dan mencapai harga maksimumnya pada sisi terluar poros. Sedangkan beban lentur mengakibatkan tegangan tarik dan tekanan maksimum juga pada permukaan poros namun pada sisi yang berseberangan. Pada *axle shaft* model X tersambung dengan roda gigi untuk meneruskan daya besar sehingga kejutan berat dalam bentuk torsi akan terjadi. Kejutan besar juga dapat terjadi apabila poros yang sedang berputar secara tiba-tiba mengalami kerusakan di sistem transmisi sehingga terjadi torsi akibat kelembaman daya.

Proses permesinan *axle shaft* model X dimulai dari proses *roughing*, *induction hardening* hingga proses *finishing*. Proses *induction hardening axle shaft* X menggunakan arus induksi dimana arus bolak balik frekuensi tinggi berasal dari pembangkit listrik dan arus trafo yang digunakan adalah 800 ampere. Proses *induction hardening* menggunakan *coil* sebagai media pemanasan. *Coil* tersebut akan memberikan efek pengerasan pada *axle shaft* dimulai dari bagian *spline* hingga *flange*.

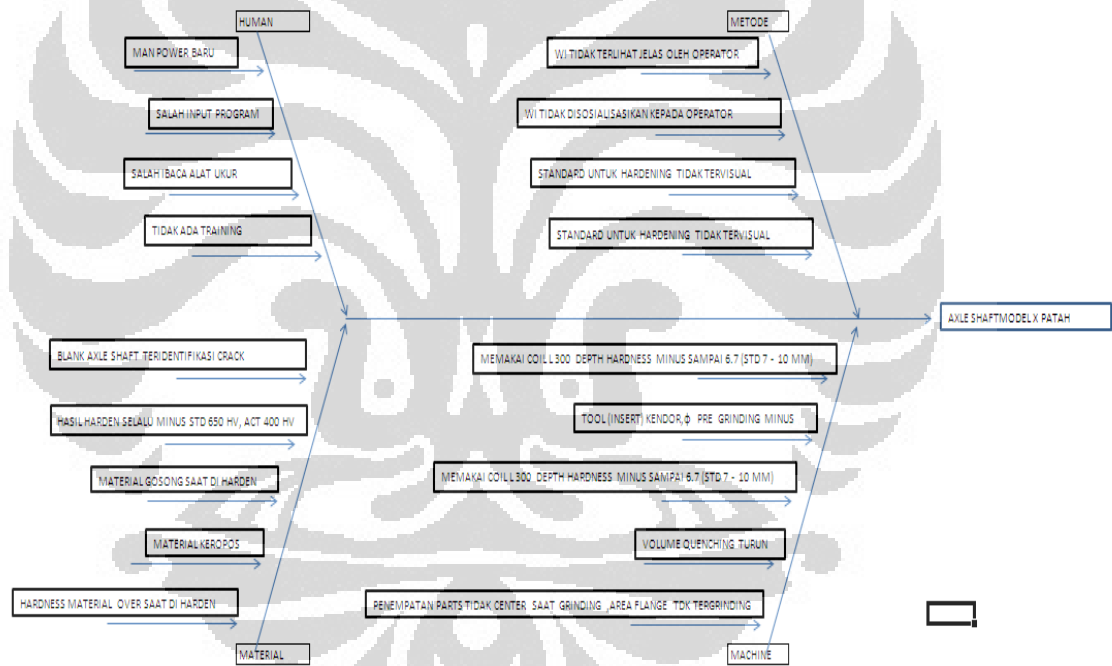
Dalam proses permesinan poros, didapati kesalahan pada proses *induction hardening*. Pada proses *hardening*, poros di *harden* dari area *flange* hingga *spline*, dan pada area *flange* di dapatkan *induction pattern* dengan diameter 42mm dimana standardnya adalah 47mm dengan hasil kekerasan 610HV–640 HV. Didapatkan nilai kekerasan yang standard namun hasil *induction pattern* tidak sesuai dengan standard dan merupakan salah satu penyebab patah poros.

Proses *hardening* pada *Axle shaft* X bertujuan untuk mengubah sifat fisis logam dari pearlite menjadi martensite juga meningkatkan kekerasan sehingga ketahanan terhadap aus meningkat, namun dengan proses tersebut masih terdapat *claim* dari beberapa customer di PT. Y salah satunya adalah patah pada *axle shaft* model X di bagian *flange* di daerah Sumatera. Untuk mengetahui sejauh mana

pengaruh proses *induction hardening* terhadap perubahan sifat-sifat bahan dan ketangguhan bahan dan hubungannya dengan *fatigue* dan torsi *axle shaft X* maka perlu dilakukan pengujian dan penelitian terhadap produk.

### Analisa Penyebab Masalah

*Fishbone diagram* adalah suatu diagram yang menunjukkan hubungan antara faktor-faktor penyebab masalah dan akibat yang ditimbulkan. (*R.Keith Mobley, Root Cause failure Analysis*). Manfaat dari *fishbone diagram* antara lain mengidentifikasi akar penyebab dari suatu masalah serta membangkitkan ide-ide untuk mengatasi permasalahan tersebut.



Dari *fishbone diagram* dapat dilihat bahwa faktor-faktor yang menyebabkan produk kotor adalah *material*, *man*, *environment*, *method*, *measurement* dan *machines*, yang dapat diuraikan sebagai berikut:

- Faktor *material* 19 Part : blank Axle Shaft teridentifikasi Crack, Hasil Harden selalu minus , Material Gosong, Material Keropos dll.
- Faktor *man*(16 part) : Supervisi dari atasan kurang, Man power tidak melakuakn pengecekan , Man Power tidak ada istirahat



- Faktor *environment* : penerangan di pabrik tidak terlalu baik sehingga produk cacat bisa lolos inspeksi karena kelalaian operator maupun bagian QC.
- Faktor *method(32part)* : Quality Chck sheet tidak tersosialisasi, Mesin tidak terpreventive, Metode pengukuran yang salah

Faktor *machines (440 Part)*: Area harden minus saat diharden, volume quenching turun

## 1.2 Perumusan Masalah

Adapun permasalahan yang diangkat dalam penelitian ini adalah:

1. Analisis kegagalan produk poros *differential gear* model X di PT Y
2. Mengetahui sejauh mana pengaruh proses *induction hardening* terhadap perubahan sifat-sifat bahan dan ketangguhan bahan dan hubungannya dengan *fatigue* dan torsi.

## 1.3 Tujuan Penulisan

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui akar penyebab kegagalan *axle shaft* (poros) *differential gear* kendaraan truk model X.
2. Memberikan solusi klaim patah di PT. Y untuk *axle shaft* model X

## 1.4 Manfaat

Hasil penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat dan menjadi masukan bagi perusahaan PT. Y, khususnya dalam menangani klaim patah pada *axle shaft* model X yaitu diperolehnya kualitas yang optimal terhadap kekuatan pada *axle shaft* X hasil perubahan parameter *induction hardening*.

Sedangkan untuk instansi kampus, diharapkan dapat bermanfaat sebagai sumbangan literatur atau bahan untuk penelitian selanjutnya. Serta untuk diri sendiri diharapkan dapat menambah wawasan tentang analisis kegagalan pada poros.

## 1.5 Pembatasan Masalah

Agar pembahasan lebih terfokus dan terarah maka batasan dari permasalahan yang akan dibahas sebagai berikut :

1. Model *axle shaft* yang diambil adalah *axle shaft* model X di PT. Y dengan komposisi material SMnB45
2. Standar yang digunakan adalah standar yang ada pada gambar kerja model *axle shaft* X di PT. Y.
3. Pembahasan dan pemecahan masalah yang dilakukan pada proses perakitan *axle shaft* model X hanya diarahkan pada fungsi kualitas dimana perbaikan proses terhadap produk harus dilakukan, sedangkan fungsi lain seperti waktu, biaya, dan jiwa dianggap telah dipertimbangkan dalam kajian lain untuk mendukung proses secara menyeluruh.
4. Pengujian kekerasan material dilakukan dengan metode *Vickers* di Laboratorium PT. Y dan pengujian *properties* material di Laboratorium Teknik Metalurgi UI.

### **1.6 Sistematika Penulisan**

Agar penulisan tugas akhir ini lebih sistematis maka gambaran isi dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

#### **BAB I. PENDAHULUAN**

Pada bab ini berisikan latar belakang permasalahan, tujuan penulisan, manfaat, pembatasan masalah, serta sistematika penulisan.

#### **BAB II DASAR TEORI**

Di bab ini di jelaskan teori-teori yang mendukung dalam pemecahan masalah dan analisis meliputi definisi kegagalan, mode kegagalan, *fatigue*, karakteristik kelelahan logam, definisi *axle shaft*, induction hardening, design pada poros dan spesifikasi alat angkut dimana semua teori tersebut menyangkut analisa kegagalan terhadap *axle shaft* X.

#### **BAB III METODA PENELITIAN**

Dalam bab ini menguraikan tahap atau langkah-langkah penelitian dan analisis sesuai dengan prosedur penelitian pada umumnya, *root cause failure analysis*

dengan *fish bone diagram*, *traceability analysis* yang mengarahkan penulis pada analisis dan pemecahan masalah dengan baik.

#### BAB IV HASIL PENGUJIAN

Di bab ini menguraikan hasil pengujian berupa gambar *fracture surface*, *hardness tester*, komposisi material, dan *stress* analisis pada poros.

#### BAB V ANALISA DATA

Merupakan bab pengolahan data dari hasil yang diperoleh selama melakukan pengujian, untuk selanjutnya dilakukan pembahasan dan analisis.

#### BAB IV KESIMPULAN DAN SARAN

Didalam bab ini berisikan kesimpulan dan saran atau rekomendasi sebagai bahan pertimbangan bagi perusahaan untuk mengurangi klaim akibat *axle shaft* patah dari customer.



## BAB II

### DASAR TEORI

#### 2.1 Definisi Kegagalan ( Failure Mechanichal)

Kegagalan mekanik dapat didefinisikan sebagai perubahan ukuran, bentuk atau struktur properti material, mesin, atau bagian part mesin itu sendiri yang berpengaruh pada fungsi mesin tersebut (*Jack A.Collins, Failure of Materials in*

*Mechanical Design*). Merupakan tanggung jawab utama dari perancang mesin untuk menjamin rancangan yang dibuat sesuai dengan kebutuhan pasar. Dalam analisa kegagalan sangat diperlukan pengetahuan mengenai kegagalan itu sendiri, prediksi kegagalan dan pencegahan akan kegagalan tersebut. Setiap rancangan dilakukan dengan tujuan untuk menciptakan dan optimasi apa yang manusia inginkan. Dalam pengertian mengenai perancangan mesin yang sempurna maka suatu rancangan mesin yang meskipun akan mengalami kegagalan diharapkan dapat memberikan *life time* yang terbaik. Oleh karena itu suatu perancangan mesin biasanya mengikuti beberapa factor sebagai berikut:

1. Setiap *part* mesin harus mampu menghasilkan suatu gaya dan *performance* yang efisien dan ekonomis
2. Kegagalan dari tiap *part* dapat ditentukan berdasarkan *life time* part tersebut.
3. Kritikal point dari suatu design diketahui saat perakitan, oleh karena itu kegagalan awal dapat terdeteksi sebelum menjadi bahaya.
4. Setiap part mesin harus sesuai fungsinya tanpa mengganggu fungsi dari part yang lain.
5. Harga dari rancangan sebanding dengan fungsi yang diharapkan..
6. Berat dan ukuran dari rancangan sesuai dengan fungsi yang diharapkan.
7. Rancangan dapat di *maintain* sesuai dengan design lifenya.
8. Mesin yang dihasilkan tidak hanya menghasilkan fungsi dan keamanan namun dapat dijual dipasaran.

## **2.2 Mode Kegagalan**

Mode kegagalan merupakan proses fisik atau kombinasi proses yang berpengaruh terhadap prosedur kegagalan (*Jack A.Collins, Failure of Materials in Mechanical Design*). Mode kegagalan dapat dikatakan suatu klasifikasi yang sistematis yang memungkinkan untuk memprediksi kegagalan seperti :

1. Bentuk dari kegagalan.
  - a. *Elastic deformation*
  - b. *Plastic deformation*

- c. *Rupture atau fracture*
  - d. Perubahan material ( metalurgi, Kimia, *Nuclear*)
2. *Failure inducing agents*
- a. *Force ( Steady, transient, cyclic, random)*
  - b. Waktu ( Sangat pendek, pendek, panjang)
  - c. *Temperature ( Low, room, elevated, Steady, transient, cyclic, random)*
  - d. *Reactive environment (chemichal, nuclear)*
3. Lokasi Kegagalan
- a. *Body type*
  - b. *Surface type*

Setiap klasifikasi dari kegagalan tersebut dapat diidentifikasi dan dikombinasikan satu sama lain atau dapat dipakai semua sebagai suatu prosedur dari kegagalan tersebut. Contoh dari mode kegagalan yang dapat saling berkombinasi :

- 1. Elastic deformation
- 2. Yielding
- 3. Brinelling
- 4. Ductile rupture
- 5. Brittle Fracture
- 6. Fatigue
  - a. High Cycle fatigue
  - b. Low Cycle fatigue
  - c. Thermal Fatigue
  - d. Surface fatigue
  - e. Impact fatigue
  - f. Corrosion fatigue
  - g. Fretting fatigue
- 7. Corrothion
- 8. Wear
- 9. Impact
- 10. Fretting

11. Creep

12. Thermal relaxation

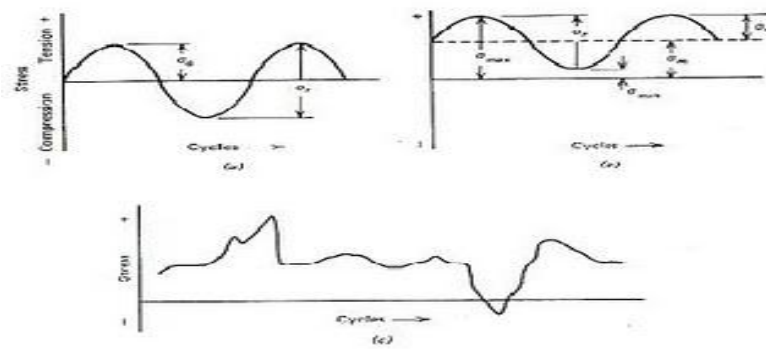
Contoh diatas merupakan sebagian kecil kombinasi kegagalan yang saling terkait dan dapat diobservasi. Dari contoh diatas penulis mengambil analisa mengenai kegagalan yaitu mengenai *Fatigue* ( Kelelahan ).

### 2.3 Fatigue (Kelelahan)

Fatigue adalah salah satu jenis kerusakan/kegagalan yang diakibatkan oleh beban berulang (*Donald J Wuppy, Understanding How Component Fail*). Ada 3 fase didalam kerusakan akibat fatigue yaitu ; pengintian retak (*crack initiation*), perambatan retak (*crack propagation*) dan patah static (*fracture*). Formasi dipicu oleh inti retak yang dapat berawal dari lokasi yang paling lemah kemudian terjadi pembebanan bolak balik yang menyebabkan local plastisitas sehingga terjadi perambatan retak hingga mencapai ukuran retak kritis dan akhirnya gagal. Kerusakan jenis ini paling banyak terjadi didunia teknik yaitu kira-kira 90% dari semua kerusakan/kegagalan yang sering terjadi.

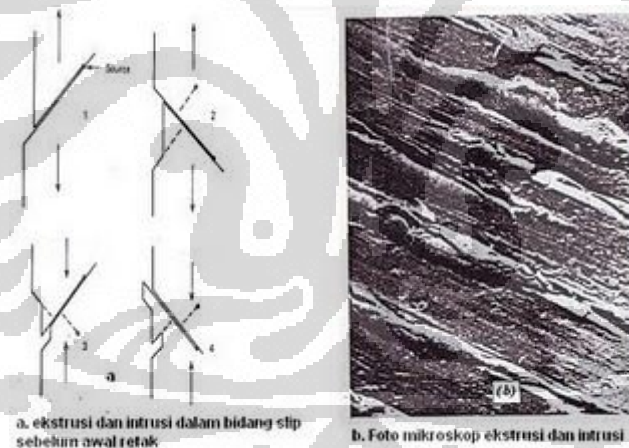
Suatu komponen mesin/konstruksi dapat mengalami pembebanan dalam beberapa variasi beban seperti fluktuasi beban, fluktuasi regangan atau fluktuasi temperatur. Bahkan tidak jarang konstruksi mengalami tegangan gabungan maupun kontaminasi dengan lingkungan yang korosif yang tentunya akan menyebabkan suatu konstruksi akan lebih terancam keamanannya.

Tiga siklus umum yang dapat menunjukkan suatu siklus tegangan fatigue yaitu yang pertama adalah fluktuasi tegangan terjadi mulai dari tegangan rata-rata nol dengan amplitude yang konstan. Yang kedua yaitu fluktuasi tegangan dimulai diatas garis rata-rata nol dengan amplitude konstan. Dan yang ketiga fluktuasi tegangan yang acak/random. Tiga siklus tersebut ditunjukkan pada Gambar.1



Gambar 2.1 Siklus Fatigue

Kerusakan atau kegagalan akibat fatigue berawal pada pengintian retak dengan beban yang bolak balik, yang menyebabkan deformasi plastis local berupa slip yang ditunjukkan dengan terbentuknya intrusi dan ekstrusi sebagai ciri terjadinya slip yang menyebabkan local deformasi. Kejadian ini ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Deformasi Plastis

Awal retak terbentuk pada daerah slip. Pertumbuhan retak secara kristalografi terorientasi sepanjang bidang slip dalam jarak yang pendek. Waktu yang pendek tersebut ditunjukkan sebagai pertumbuhan retak tahap pertama. Arah dari pertumbuhan retak secara makroskopik menjadi normal atau tegak lurus terhadap tegangan tarik. Hal ini ditunjukkan sebagai perambatan retak tahap kedua, yang dinyatakan sebagai umur perambatan retak.

Siklus relatif selama pengintian dan perambatan retak bergantung pada tegangan yang dialami. Bila tegangan menjadi naik maka fase pengintian retak menjadi turun. Fatigue dapat dibagi menjadi dua katagori yaitu fatigue siklus tinggi dan siklus rendah. Pada fatigue siklus rendah retak terjadi sangat lama sedangkan pada fatigue siklus tinggi retak terbentuk lebih awal.

Ada perbedaan yang tampak secara visual antara fatigue siklus rendah (*high stress*) dan fatigue siklus tinggi (*low stress*). Pada fatigue siklus rendah slip bands yang terbentuk akan lebih kasar sedangkan pada fatigue siklus tinggi slip bands yang terbentuk lebih halus.

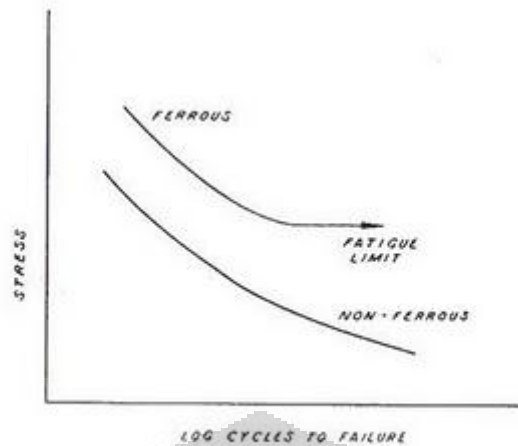
#### 2.4 KURVA TEGANGAN – SIKLUS ( S – N )

Data fatigue biasanya disajikan dalam kurva tegangan dan siklus, dimana tegangan adalah S dan siklus adalah N. Jumlah siklus adalah siklus mulai dari pengintian retak sampai perambatan retak.

Bila tegangan turun maka jumlah siklus untuk terjadi kegagalan menjadi naik, sedangkan bila tegangan naik maka jumlah siklus menjadi berkurang. Pada baja sebagai *ferrous alloy*, terdapat batas tegangan dimana kegagalan fatigue tidak terjadi atau terjadi pada siklus yang amat panjang (*infinite*). Nilai batas tersebut terlihat sebagai suatu aimptotik yang menunjukkan nilai *fatiguelimit* atau *endurance limit*. *Endurance limit* adalah tegangan dimana tidak terjadinya kegagalan atau fracture didalam range  $10^7$  cycles. Berbeda dengan material nonferrous seperti paduan aluminium dan lainnya tidak memiliki fatigue limit. Untuk melihat perbedaan antara kedua paduan tersebut dapat ditunjukkan pada Gambar.3.

Dengan memahami karakteristik suatu konstruksi atau komponen mesin yang mengalami fatigue, maka suatu perencanaan atau desain perlu dipertimbangkan dari aspek endurance limit suatu material





Gambar.3. Kurva S-N untuk paduan fero dan nonferro

### Gambar 2.3 Kurva S-N

#### 2.4.1 Karakteristik Kelelahan Logam

Didalam static tensile test, kelelahan terjadi sewaktu nilai stress melebihi nilai yield stress. Karakteristik kelelahan logam dibedakan menjadi dua yaitu :

1. Karakteristik makro, merupakan ciri – ciri kelelahan yang dapat diamati secara visual (dengan mata telanjang atau dengan kaca pembesar)
2. Karakteristik mikro, hanya dapat diamati dengan menggunakan mikroskop.

#### 2.4.2 Karakteristik Makroskopis

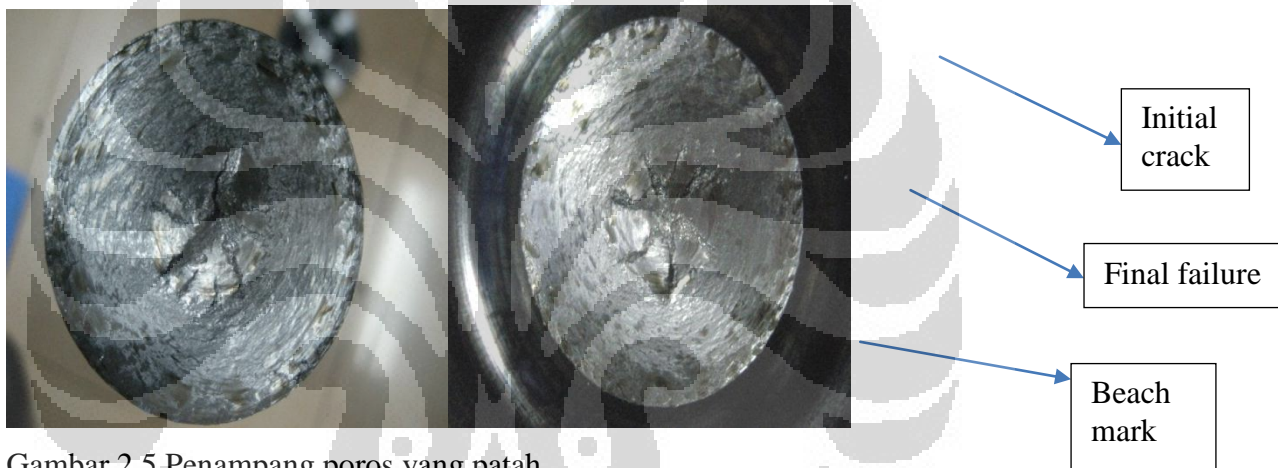
Karakteristik makroskopis dari kelelahan logam adalah sebagai berikut :

1. Tidak adanya deformasi plastis secara makro
2. Terdapat tanda' garis – garis pantai (beach marks) atau clam shell. Garis pantai disini merupakan tanda penjarangan retakan, yang mengarah tegak lurus dengan tegangan tarik dan setelah menjalar sedemikian hingga penampang yang tersisa tidak mampu lagi menahan beban yang bekerja, maka akhirnya terjadilah patah akhir atau patah statik.



Gambar 2.4 Axle Shaft patah

3. Terdapat ‘Ratchet marks’ yang merupakan tanda penjalaran retakan yang terjadi bila terdapat lebih dari satu lokasi awal retak , ratches mark merupakan pertemuan beach marks dari satu lokasi awal retak dengan beach marks dari lokasi lainnya. seperti pada gambar

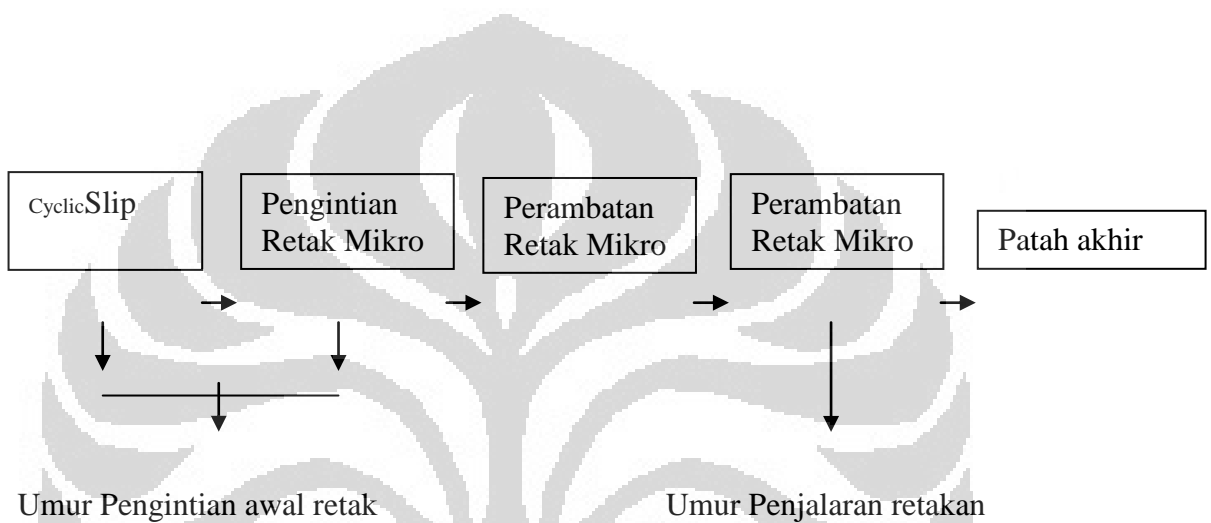


Gambar 2.5 Penampang poros yang patah

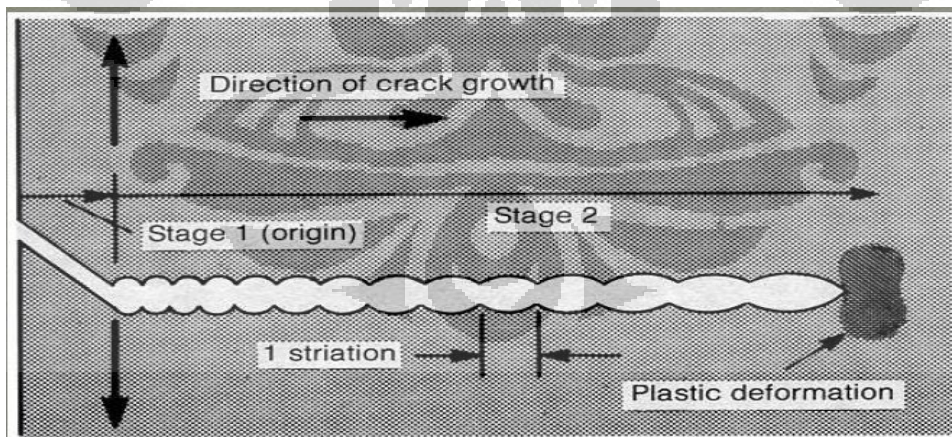
Luas daerah antara tahap penjalaran retakan dan tahap akhir secara kuantitatif dapat menunjukkan besarnya tegangan yang bekerja. Jika luas daerah tahap penjalaran retakan lebih besar daripada luas patah akhir maka tegangan yang bekerja relatif rendah, demikian sebaliknya. Tahap I terjadinya kelelahan logam yaitu tahap pembentukan awal retak, lebih mudah terjadi pada logam yang bersifat lunak dan ulet tetapi akan lebih sukar dalam tahap penjalaran retakannya (Tahap II), artinya logam – logam ulet akan lebih tahan terhadap penjalaran retakan. Demikian sebaliknya logam yang keras dan getas, akan tahan terhadap pembentukan awal retak tetapi kurang tahan terhadap penjalaran retakan. Tahapan pembentukan awal retak dan penjalaran retakan dalam mekanisme kelelahan logam, membutuhkan waktu sehingga umur lelah dari komponen atau logam ditentukan dari ke dua tahap tersebut.

Total fatigue life ( $N_T$ ) = Fatigue initiation ( $N_i$ ) + Fatigue propagation ( $N_p$ )

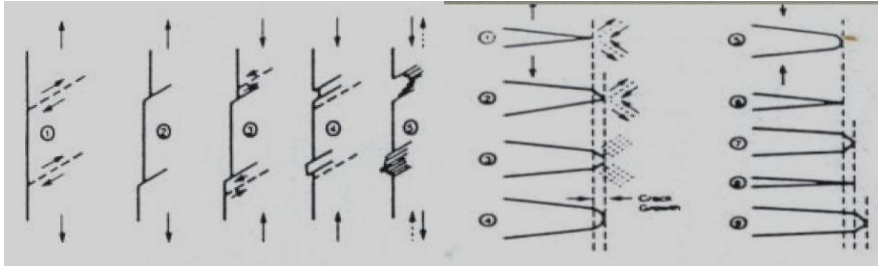
Fase – fase yang terjadi selama kejadian kelelahan logam tersebut adalah sebagai berikut :



Gambar. 2.6 Fase kegagalan lelah (fatigue)



Gambar 2.7 Skematis penampang melintang dari kegagalan lelah tahap I dan II  
Tahap I merupakan pembentukan awal retak dan tahap II pada mekanisme kegagalan patah lelah tersebut, dapat dijelaskan lagi dengan penggambaran sebagai berikut :



Gambar 2.8 Tahap Retak Mikro (Tahap I) Tahap Retak makro (Tahap II)

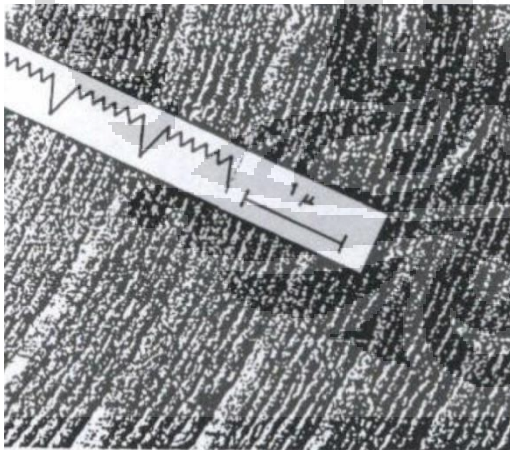
### 2.4.3 Karakteristik Mikroskopis

Karakteristik mikroskopis dari kelelahan logam adalah sebagai berikut :

1. Pada permukaan patahan terdapat striasi (striations)
2. Permukaan patahan memperlihatkan jenis patahan transgranular(memotong butir) tidak seperti jenis patah intergranular seperti yang terjadi pada kasus SCC (stress corrosion cracking) atau mulur (creep)

Striasi dan beach mark memiliki persamaan yaitu :

1. Sama – sama menunjukkan posisi ujung retak yang terjadi setiap saat sebagai fungsi dari waktu siklik
2. Sama – sama berasal dari lokasi awal retak yang sama.
3. Sama – sama memiliki arah yang sama (parrarel ridges)
4. Sama – sama tidak ada pada logam yang terlalu keras atau lunak.



Gambar 2.9 Striasi

Perbedaan striasi dan beach marks adalah sebagai berikut :

1. Ukuran striasi adalah mikroskopis ( $1: 100\mu$ ) dan hanya dapat dilihat dengan menggunakan mikroskop elektron.

2. Ukuran beach marks adalah makrokopis ( $> 1000\mu$  atau 1 mm) dapat dilihat dengan mata telanjang.
3. Striasi mewakili majunya ujung retakan yang bergerak setiap satu siklus pembebanan, sedangkan beach marks mewakili posisi dari ujung retakan ketika beban siklik berhenti untuk satu periode tertentu (satu beach marks dapat terdiri atas ratusan bahkan ribuan striasi).

Kelelahan logam diawali dengan pembentukan awal retak dan dilanjutkan dengan penjarangan retakan hingga komponen mengalami patah. Lokasi awal retak pada komponen atau logam yang mengalami pembebanan dinamis atau siklik adalah pada titik daerah dimana memiliki kekuatan yang paling minimum atau pada titik daerah dimana mengalami tegangan yang paling maksimum. Oleh karena itu untuk memperkirakan umur lelah merupakan hal yang cukup sulit, hal ini disebabkan banyak faktor.

## 2.5 Definisi Axle Shaft

*Axle shaft* atau poros penggerak roda adalah poros pemutar roda-roda penggerak yang berfungsi meneruskan tenaga gerak dari *differential* keroda-roda. *Axle shaft* pada kendaraan dibedakan menjadi dua yakni *front axle shaft* (poros penggerak roda depan) dan *rear axle shaft* (poros penggerak roda belakang). Poros atau *axle shaft* adalah penggerak mesin yang digunakan untuk mentransfer energi dari energi mesin ke energi gerak. Daya / Power diperoleh dari gaya tengensial dan resultan torsi atau torsi momen yang tersambung dengan *axle shaft (Differential gear)*, atau dengan kata lain dapat dikatakan bahwa poros digunakan untuk menghasilkan torsi dan momen bending. Roda belakang umumnya menumpu beban lebih berat daripada roda depan, sehingga konstruksi poros penggerak rodanya juga relative lebih kuat.

### a. Induction Hardening

Pengerasan Induksi adalah suatu bentuk perlakuan panas di mana bagian logam dipanaskan oleh pemanasan induksi dan kemudian *quenching*. Logam yang didinginkan mengalami transformasi martensit, dan akan meningkatkan kekerasan dan kerapuhan dari bagian tersebut. Induksi pengerasan digunakan untuk

pengerasan tanpa mempengaruhi sifat-sifat bagian secara keseluruhan. Dalam pengerasan induksi, bagian baja tersebut diletakkan di dalam kumparan listrik arus bolak balik. Ini memberikan energi pada bagian baja dan memanaskannya. *Induction hardening* Tergantung pada frekuensi dan arus listrik, laju pemanasan serta kedalaman pemanasan dapat dikontrol.

Proses pemanasan Induksi adalah proses pemanasan non kontak yang memanfaatkan prinsip elektromagnetik induksi untuk menghasilkan panas di dalam lapisan permukaan benda kerja. Dengan menempatkan sebuah konduktif bahan menjadi kuat, medan magnet arus listrik dapat dibuat mengalir dalam baja sehingga menciptakan panas. Bahan magnetik, panas lebih lanjut yang dihasilkan di bawah titik curie karena histeresis kerugian. Arus yang dihasilkan terutama di lapisan permukaan, kedalaman lapisan ini yang ditentukan oleh frekuensi medan, kekuatan permukaan densitas, permeabilitas bahan, waktu panas dan diameter atau bahan ketebalan bar. Dengan quenching lapisan ini dipanaskan dalam air, minyak atau polimer lapisan permukaan diubah untuk membentuk martensit dimana struktur yang lebih keras daripada logam dasar. Dalam sistem pengerasan coil melintasi benda kerja dilewatkan melalui kumparan induksi secara progresif. Traverse pengerasan digunakan secara luas dalam produksi komponen tipe poros seperti poros gardan. Dengan memvariasikan kecepatan dan kekuatan adalah mungkin untuk membuat poros yang dikeraskan keseluruhan panjangnya atau hanya di daerah tertentu dan juga untuk mengeras poros dengan langkah diameter atau splines

## **2.8 Konstruksi Penggerak Roda belakang**

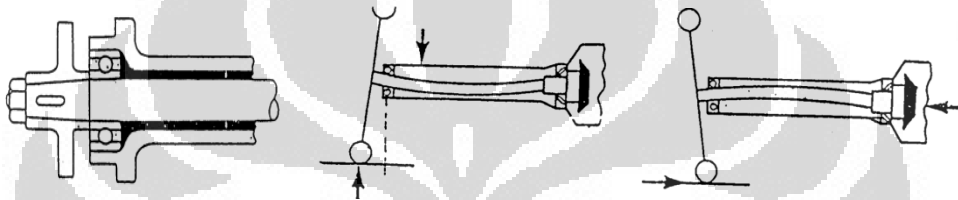
Roda belakang umumnya menumpu beban lebih berat daripada roda depan, sehingga konstruksi poros penggerak rodanya juga relatif lebih kuat. Pemasangan poros akan dipengaruhi oleh tipe/ jenis suspensi yang digunakan. Secara umum tipe suspense yang digunakan ada dua kelompok yaitu suspensi bebas (independent) dan suspensi kaku (rigid). Pada tipe suspensi independent, jenis axle shaft yang digunakan umumnya adalah tipe melayang (floating shaft type), dimana poros bebas dari menumpu beban dan bebas bergerak mengikuti pergerakan roda akibat suspensi kendaraan. Pada suspensi rigid pada umumnya

menggunakan tipe poros memikul dimana axle shaft diletakkan di dalam axle housing, yang dipasangkan berkaitan melalui bantalan. Poros memikul terdiri dari 3 tipe, yaitu : full floating, three-quarter floating dan semi-floating. Nama tipe poros tersebut mencerminkan kebebasan poros untuk tidak menyangga beban kendaraan.

Berikut konstruksi poros tipe memikul :

**a. Setengah bebas memikul (Semi Floating)**

Bantalan dipasang antara pipa aksel dengan poros penggerak aksel dan roda langsung dipasang pada ujung poros. Poros penggerak aksel menjadi bengkok oleh berat kendaraan langsung.

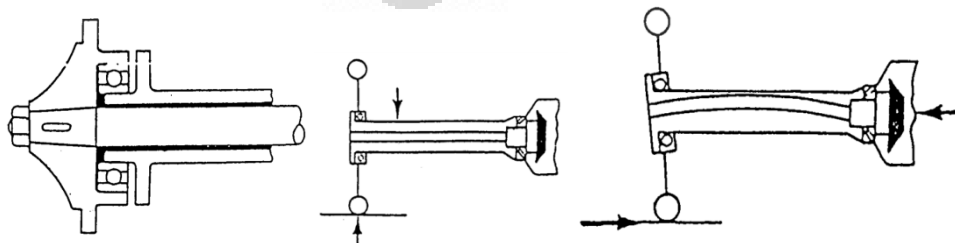


Gambar 2.10 Semi Floating

Jika ada gaya kesamping maka akan sangat berbahaya dikarenakan jika poros potoh roda tidak ada yang menahan, konstruksi sederhana dan murah, jenis ini biasanya sering digunakan pada mobil sedan, station dan jeep.

**b. Tiga perempat bebas memikul (Three quarter floating)**

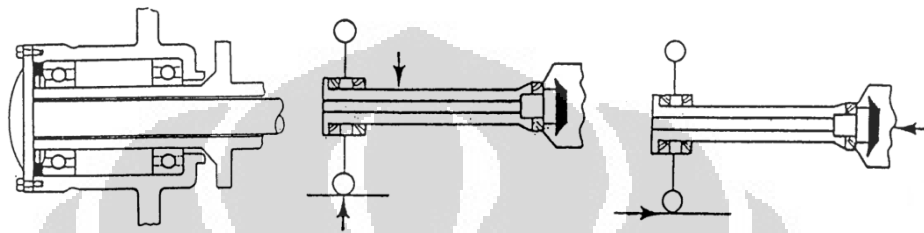
Bantalan dipasang antara pipa axle dengan roda dan poros penggerak axle tidak langsung memikul berat kendaraan, maka berat kendaraan tidak diteruskan ke poros. Poros tidak menjadi bengkok oleh berat kendaraan tetapi gaya kesamping tetap membuat poros menjadi bengkok dan bila poros patah roda masih ditahan oleh bantalan. Jenis ini biasanya digunakan pada truk ringan dan jarang digunakan.



Gambar 2.11 Three quarter Floating

**c. Bebas memikul (Full floating)**

Naf roda terpasang kokoh pada pipa axle melalui dua buah bantalan dan poros penggerak axle hanya berfungsi menggerakkan/memutar roda sehingga berat kendaraan seluruhnya dipikul oleh pipa axle tidak diteruskan ke poros penggerak axle sama halnya gaya kesamping. Konstruksi jenis ini paling aman/baik karena poros penggerak tidak menahan berat dan gaya kesamping kendaraan, biasanya tipe ini mahal dan banyak digunakan pada mobil berat, misalnya truck dan bus.



Gambar 2.12 Full Floating

## 2.9 Jenis Axle Shaft

Ada dua (2) jenis axle shaft yang penting untuk diketahui yaitu :

1. Shaft transmisi  
Poros ini sebagai penyambung daya (Power) antara sumber daya/ tenaga (mesin) dan yang akan digerakkan (roda, pulley, gear dan lain – lain )
2. Shaft mesin  
Poros ini merupakan bagian part dari mesin yang berdiri sendiri contohnya adalah crank shaft.

Dan shaft yang menjadi bahan penelitian ini adalah shaft transmisi.

## 2.10 Shear Stress pada Poros

Shear stress

Shear stress pada shaft merupakan transmisi daya dari sumber daya ke penggerak yang disebut torsi. Gaya gesek, dibagi dengan luasan  $A$  dimana gaya bekerja disebut tegangan geser (*shearing stress*). Disimbolkan dengan  $\tau$ . Dengan demikian,



$$\tau = \frac{F_s}{A} \quad (1)$$

## 2.11 Design untuk Poros

Suatu poros di design didasarkan pada

### 1. Kekuatan (strength)

Merupakan kemampuan suatu material untuk menerima tegangan tanpa menyebabkan material menjadi patah. Berdasarkan pada jenis beban yang bekerja, kekuatan dibagi dalam beberapa macam yaitu kekuatan tarik, kekuatan geser, kekuatan tekan, kekuatan torsi, dan kekuatan lengkung.

#### Kelelahan (fatigue)

Merupakan kecenderungan dari logam untuk menjadi patah bila menerima beban bolak-balik (dynamic load) yang besarnya masih jauh di bawah batas kekakuan elastiknya.

### 2. Kekerasan (hardness)

Merupakan ketahanan material terhadap penekanan atau indentasi / penetrasi. Sifat ini berkaitan dengan sifat tahan aus (wear resistance) yaitu ketahanan material terhadap penggoresan atau pengikisan.

## 2.12 Load (beban yang akan dikenakan pada poros)

Didefinisikan sebagai kekuatan eksternal yang mendukung bagian dari suatu mesin. Beban ini terdiri dari 3 tipe, yaitu: Beban tetap (steady load), dikatakan beban tetap apabila beban dalam keadaan diam dimana benda tersebut tidak dapat berubah arah. Beban gerak (varying load), apabila beban dapat dipindahkan secara kontinyu. Beban kejut (shock load), apabila beban digunakan dan dipindahkan secara tiba-tiba.

Kondisi hanya pada moment yang berputar (twisting moment), Saat poros dikondisikan hanya pada momen yang berputar (torsi), maka diameter dari shaft akan menghasilkan persamaan torsi.

Kita ketahu bahwa :

$$\frac{T}{J} = \frac{\tau}{r} \quad \tau = T / \frac{\pi}{16} d^3 J \quad (2)$$

Dimana :

T = Torsi

J = Polar moment inersia

$\tau$  = Torsi shear stress

$r$  = Jarak dari axis 0 ke diameter luar yang paling jauh dimana  $d/2$ ,  $d$  merupakan diameter shaft

Untuk momen inersia benda padat didapatkan persamaan :

$$J = \frac{\pi}{32} \times d^4 \quad (3)$$

Persamaan ini dapat ditulis :

$$\frac{T}{\frac{\pi}{32} \times d^4} = \frac{\tau}{d/2} \quad (4) \quad \text{atau} \quad T = \left(\frac{\pi}{16}\right) \times \tau \times d^3 \quad (5)$$

Jika torsi berhubungan dengan daya (Power) yang ditransmisikan maka persamaannya :

$$P = (2\pi N \times T)/60 \quad (6) \quad \text{atau} \quad T = \frac{P \times 60}{2\pi N} \quad (P \times 60)/(2\pi N) \quad (7)$$

Dimana :

T = Torsi momen (N.m)

N = Kecepatan poros (rpm)

### 2.13 Konfigurasi Permukaan

Permukaan adalah batas yang memisahkan benda padat dengan sekelilingnya (*Taufik Rochim, Spesifikasi, Metrologi,, dan control Kualitas Geometrik hal 52*). Benda padat dengan banyak lubang kecil (porous), seperti kayu, dalam hal ini tidak termasuk. Jika ditinjau dengan skala kecil pada dasarnya konfigurasi permukaan suatu elemen mesin (produk) juga merupakan suatu karakteristik geometrik, yang dalam hal ini termasuk golongan mikrogeometrik. Sementara itu yang termasuk makrogeometrik adalah permukaan secara keseluruhan yang membuat bentuk atau rupa yang spesifik misalnya permukaan poros, lubang, sisi, dsb. Yang dalam hal ini perancangannya toleransinya telah tercakup dalam elemen geometric ukuran, bentuk dan posisi.

Karakteristik suatu permukaan memegang peranan penting dalam perancangan komponen mesin / peralatan. Banyak hal dimana karakteristik

permukaan perlu dinyatakan dengan jelas misalnya dalam kaitannya dengan gesekan, keausan, tahanan kelelahan, perekatan dua atau lebih komponen – komponen mesin dan sebagainya.

Ketidakteraturan konfigurasi suatu permukaan bila ditinjau dari profilnya dapat diuraikan menjadi beberapa tingkat dapat dilihat pada table ketidakteraturan suatu profil dibawah.

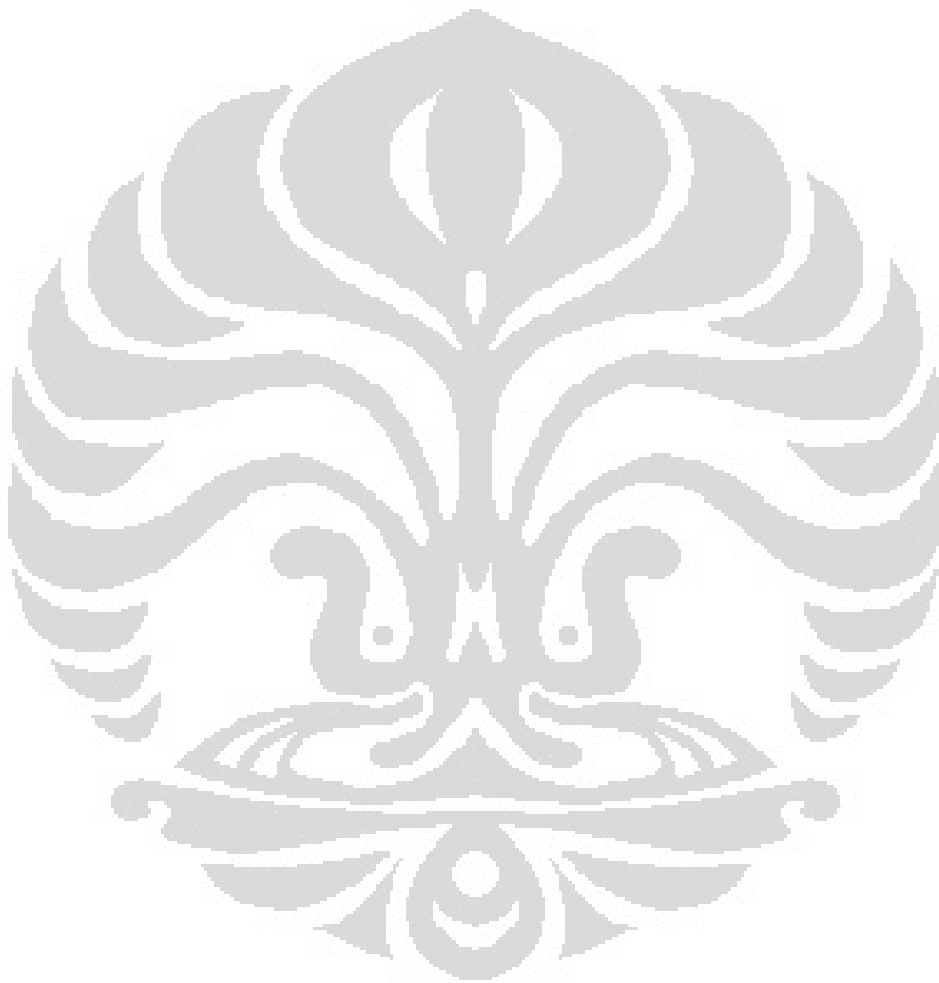
Tingkat	Profil Terukur	Istilah	Penyebab
1		Kesalahan Bentuk (Form Error)	Kesalahan bidang mesin perkakas dan benda kerja. Kesalahan posisi pencekaman benda kerja
2		Gelombang (Waviness)	Kesalahan bentuk perkakas, kesalahan penyenteran perkakas, getaran dalam permesinan.
3		Alur (Grooves)	Jejak/bekas pemotong (bentuk ujung pahat, gerak makan)
4		Serpihan (Flakes)	Proses pembentukan geram, deformasi akibat proses pancar pasir, pembentukan module pada proses electroplating.
5			Kombinasi ketidakteraturan dari tingkat 1 – 4

Tabel 2.1 Konfigurasi Penampang Permukaan

Pengukuran suatu kekasaran permukaan dengan cara mengukur kekasaran total rata - rata, Rz ( $\mu\text{m}$ ) merupakan jarak rata – rata profil alas ke profil terukur

pada lima puncak tertinggi dikurangi jarak rata – rata profil alas ke profil terukur pada lima lembah terendah, persamaannya

$$R_z = \frac{\sum(R_1 + R_2 + \dots + R_5 - R_6 - \dots - R_{10})}{5} \quad (1)$$



### **BAB III**

#### **METODA PENELITIAN**

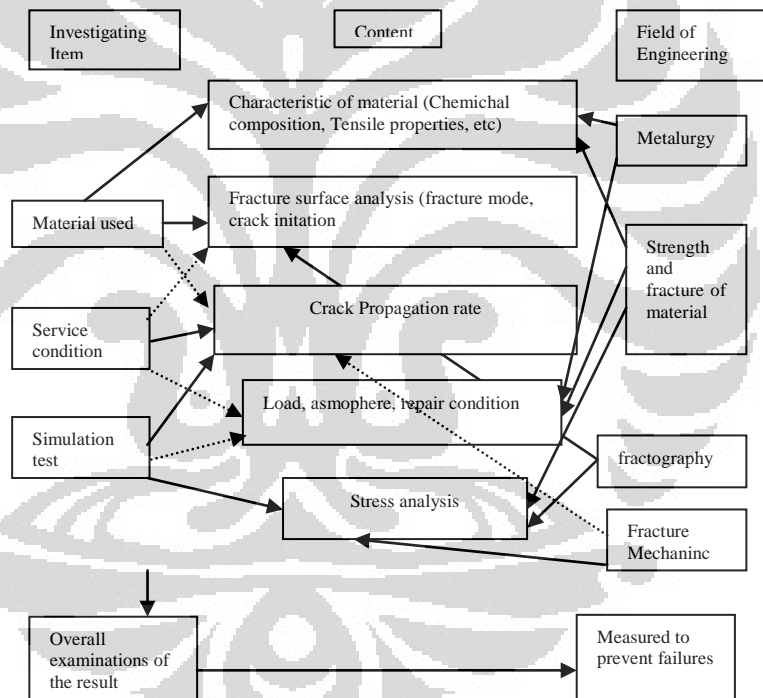
##### **3.1 Diagram alir analisis kegagalan**

Sewaktu kegagalan atau *crack* terjadi dalam suatu stuktur material, maka ada nilai yang harus diambil untuk menganalisa kegagalan tersebut. Item – item yang diperlukan untuk menganalisa mengikuti diagram alir prosedur untuk

menganalisa kegagalan (S.Nichida, C.Urashimadan H Masumoto. 1976, 1979, dan 1980).

Item yang diperlukan untuk investigasi *failure analisis* yaitu :

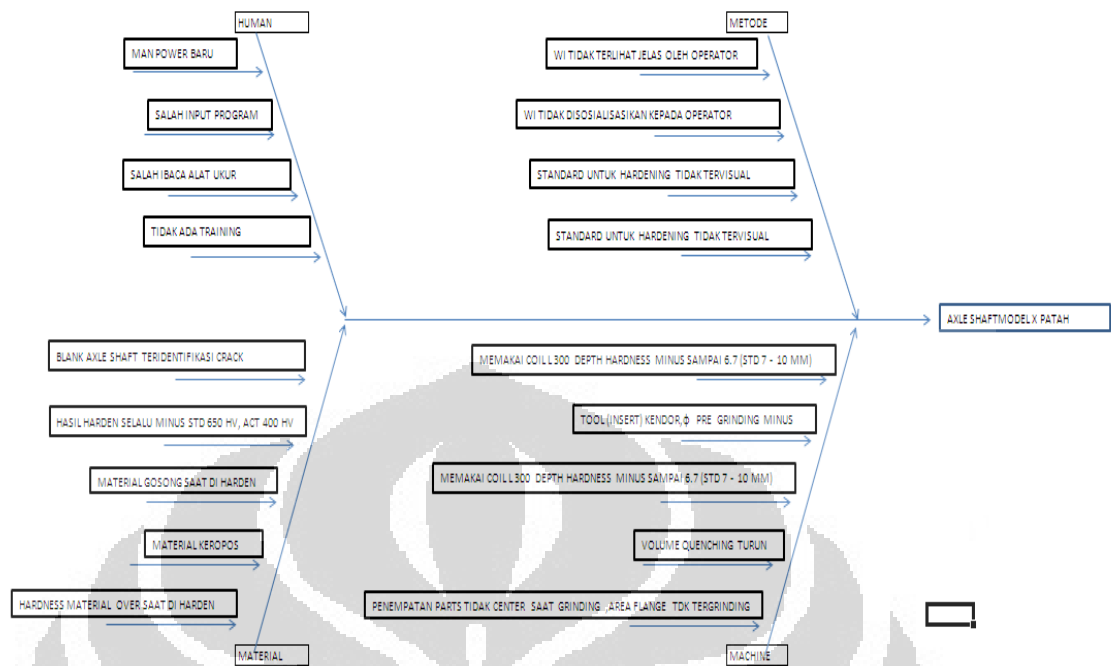
- Material yang digunakan, data produksi (proses permesinan, induction hardening, heat threathment)
- Komposisi material , (distribution pattern)
- Mekanikal properties, Hardeness tester
- Uji Mekanik
- Analisa mekanik (Design stress, asumsi perhitungan)
- Analisa Fracture surface



Gambar 3.1 Prosedur failure analisis

### 3.2 Failure analisis pada poros gardan (data claim pt x)

*Fishbone diagram* adalah suatu diagram yang menunjukkan hubungan antara faktor-faktor penyebab masalah dan akibat yang ditimbulkan. Manfaat dari *fishbone diagram* antara lain mengidentifikasi akar penyebab dari suatu masalah serta membangkitkan ide-ide untuk mengatasi permasalahan tersebut.



Dari *fishbone diagram* dapat dilihat bahwa faktor-faktor yang menyebabkan produk kotor adalah *material, man, environment, method, measurement* dan *machines*, yang dapat diuraikan sebagai berikut:

- Faktor *material* (19 Part) : blank Axle Shaft teridentifikasi Crack, Hasil Harden selalu minus, Material Gosong, Material Keropos dll.
- Faktor *man* (16 part) : Supervisi dari atasan kurang, Man power tidak melakukan pengecekan, Man Power tidak ada istirahat
- Faktor *environment* : penerangan di pabrik tidak terlalu baik sehingga produk cacat bisa lolos inspeksi karena kelalaian operator maupun bagian QC.
- Faktor *method* (32 part) : Quality Chk sheet tidak tersosialisasi, Mesin tidak terpreventive, Metode pengukuran yang salah
- Faktor *machines* (440 Part): Area harden minus saat dihardening, volume quenching turun.

### 3.3 Traceability analisis

Untuk mengidentifikasi failure poros gardan yang patah dilakukan traceability analisis, traceability analisis merupakan kegiatan mampu telusur di mana poros yang patah dicari kapan proses assemblingnya, kapan proses

machiningnya hingga ditemukan problem yang terjadi saat produksi yang pertama kali.

NO	Lokasi	Kode Produksi Rear axle(gardan) Assy	machining Date	Mesin Problem	Problem proses	Induction pattern
1	lampung	09L17A	14 Des 2009 Shift 1	Tidak ada	Tidak ada	Setting dia 62 mm
			14 Des 2009 Shift 2	Tidak ada	Coil touch akhir shift	idem
		Assy 17 Des 2009 Group A	14 Des 2009 Shift 3	Tidak ada	Tidak ada	setting dia 60 mm
			16 Des 2009 Shift 1	Tidak ada	Tidak ada	setting dia 57 mm
2	Surabaya	10A23B	22 Jan 2010 Shift 3	Tidak ada	Tidak ada	setting dia 67 mm depth spline 7,6 (717 HV)
		Assy 23 Jan 2010 Group A	23 Jan 2010 Shift 1	Tidak ada	Tidak ada	
3	Bengkulu	10A27B	24 Jan 2010 Shift 3	Tidak ada	Tidak ada	setting dia 60 mm depth spline 7,3 (730 HV)
		Assy 27 Jan 2010 Group A	25 Jan 2010, Shift 1	Tidak ada	Tidak ada	

Tabel 3.1 Data klaim dari PT

Dilakukan torsi statik tes untuk simulasi failure, merupakan tes torsional pada poros sehingga diketahui nilai kerusakan torsi maksimum.

NO	Max torque	Remark	Induction Pattern
1	10.863 Nm	 <p data-bbox="483 526 746 560">Rusak di area flange</p>	 <p data-bbox="1069 533 1540 678">           -Dimensi Induction Harden Ø 43mm            -Surface hardness 634 HV            -Efektif depth induction 8.2 mm         </p>
2	10.560 Nm	 <p data-bbox="483 936 746 969">Rusak di area flange</p>	 <p data-bbox="1069 943 1564 1088">           -Dimensi Induction Harden Ø 41,5mm            -Surface hardness 630 HV            -Efektif depth induction 8.3 mm         </p>
3	12.107 Nm	 <p data-bbox="483 1346 746 1379">Rusak di area flange</p>	 <p data-bbox="1069 1352 1540 1498">           -Dimensi Induction Harden Ø 45mm            -Surface hardness 620 HV            -Efektif depth induction 7,6 mm         </p>
4	114.902 Nm		 <p data-bbox="1069 1742 1540 1821">           -Dimensi Induction Harden Ø 48mm            -Surface hardness 617 HV         </p>



**BAB IV**  
**HASIL PENGUJIAN**

**4.1 Fracture Surface Pada Poros**

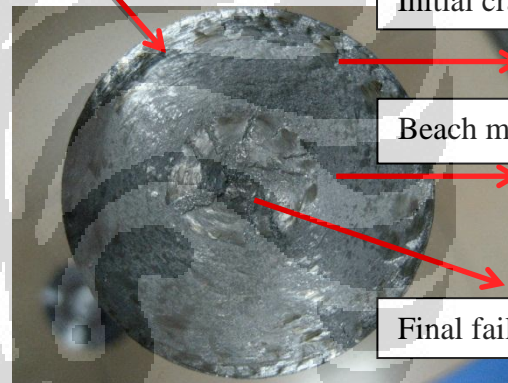
**4.1.1 Observasi Makroskopik**



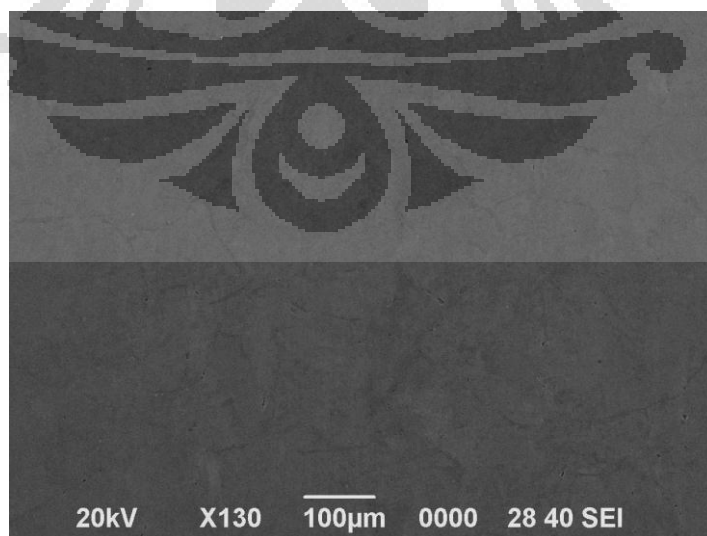
Gambar 4.1 Poros Patah



Gambar 4.2 Bagian Flange Poros



Gambar 4.3 Bagian Poros

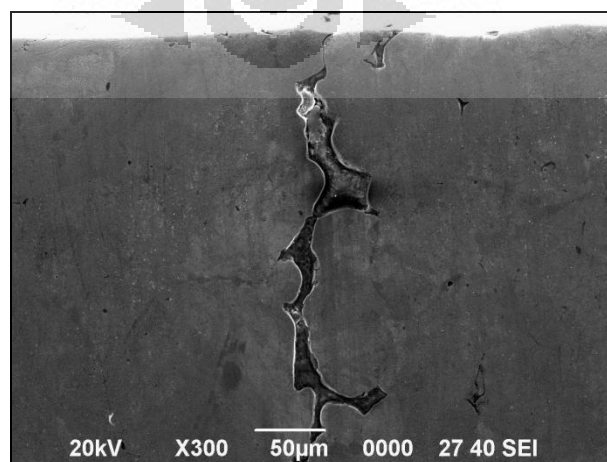


Gambar 4.4 Pembesaran poros 130 X

Dari hasil makroskopik observasi diputuskan bahwa kegagalan pada poros dikarenakan torsi yang terjadi pada poros. Diputuskan demikian karena *fracture surface* terdiri dari bagian bagian yang halus di sekelilingnya dan pada bagian tengah poros meyerupai krisan. Pembentukan awal merupakan *surface failure* yang kemudian menjadi *surface failure* dikarenakan torsi. Poin utama dari *failure initiation* yaitu pada bagian *step* poros kemudian pada sekeliling *step* tersebut.

*Initial crack* ditunjukkan dengan garis melingkar disekitar tepian patahan dan nampak lebih kasar, sedangkan *beach mark* ditunjukkan dengan garis – garis melingkar halus di daerah *initial crack* dan *final failure*. *Beach mark* lebih sering dikatakan sebagai tahapan perambatan retak. Luas daerah antara tahap penjalaran retakan dan tahap akhir secara kuantitatif dapat menunjukkan besarnya tegangan yang bekerja. Jika luas daerah tahap penjalaran retakan lebih besar daripada luas patah akhir maka tegangan yang bekerja relatif rendah, demikian sebaliknya. Tahap I terjadinya kelelahan logam yaitu tahap pembentukan awal retak, lebih mudah terjadi pada logam yang bersifat lunak dan ulet tetapi akan lebih sukar dalam tahap penjalaran retakannya (Tahap II), artinya logam – logam ulet akan lebih tahan terhadap penjalaran retakan. Demikian sebaliknya logam yang keras dan getas, akan tahan terhadap pembentukan awal retak tetapi kurang tahan terhadap penjalaran retakan. Tahapan pembentukan awal retak dan penjalaran retakan dalam mekanisme kelelahan logam, membutuhkan waktu sehingga umur lelah dari komponen atau logam ditentukan dari ke dua tahap tersebut.

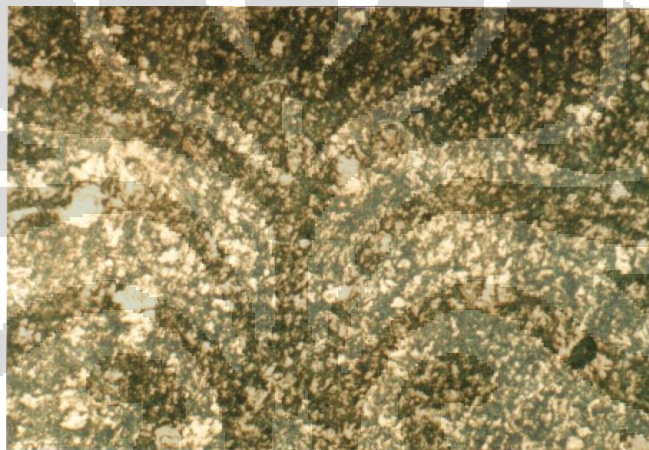
#### 4.1.2 Observasi Mikroskopik



Gambar 4.5 Pembesaran surface poros 300 X



Gambar 4.6 Pembesaran surface poros 2000 X



Gambar 4.7 Matrik ferrite, pearlite, and martensite



Gambar 4.7 Matrikmartensite

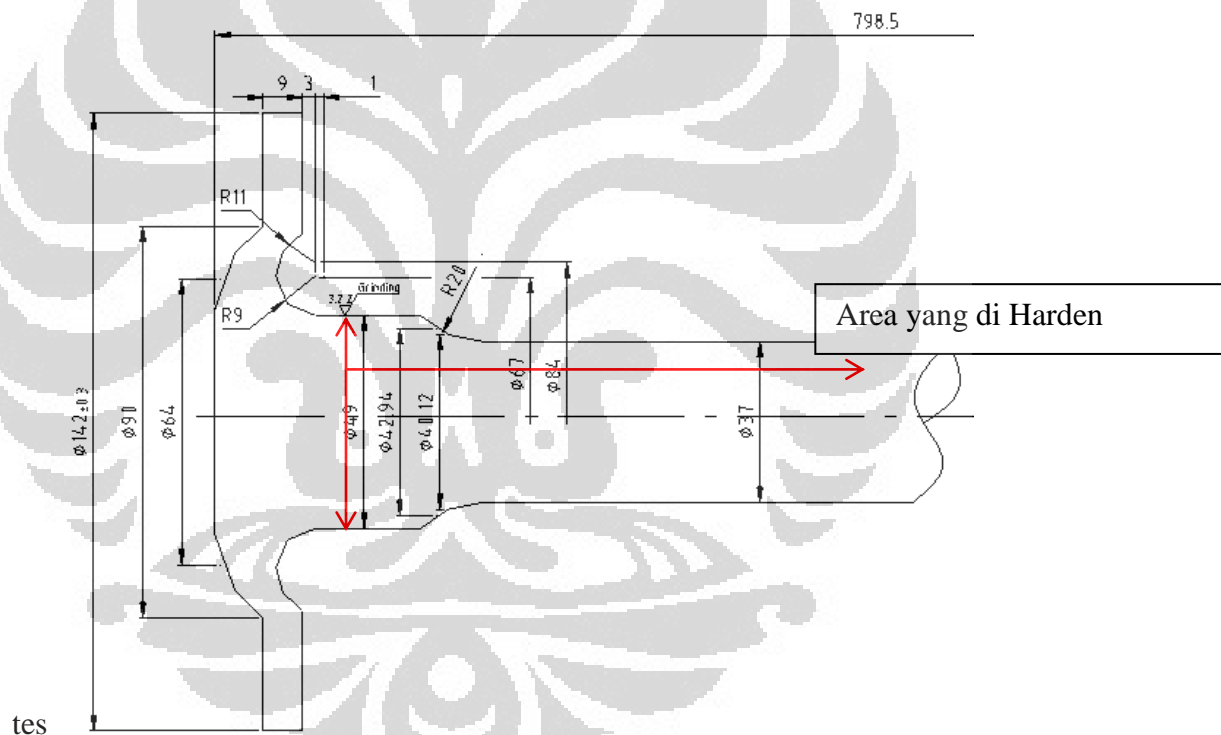
Karakteristik mikroskopis dari kelelahan logam adalah sebagai berikut: Pada permukaan patahan terdapat striasi (striations). Permukaan patahan memperlihatkan jenis patahan transgranular (memotong butir). Pada pembesaran

300X sudah terlihat permukaan yang menjadi *crack awal*. Daerah matrik memperlihatkan bahwa sementit tidak dominan dan bentuk sementit tidak dominan tajam sehingga dapat disimpulkan bahwa kekerasan poros yang rusak tidak maksimal.

#### 4.2 Hardness Tester

Analisa hardness dengan mesin uji vickers yang dilakukan terdapat pada titik 1 dan 2 dimana pada titik 1 merupakan area non harden dan pada titik 2 merupakan area yang di harden. Kedalaman distribution harden dari 0.5 mm – 19 mm, dengan variasi nilai HV yang berbeda. Standard HV untuk material SMnB45 yaitu 600 HV – 800 HV.

Gambar 4.8 Bagian Hardness



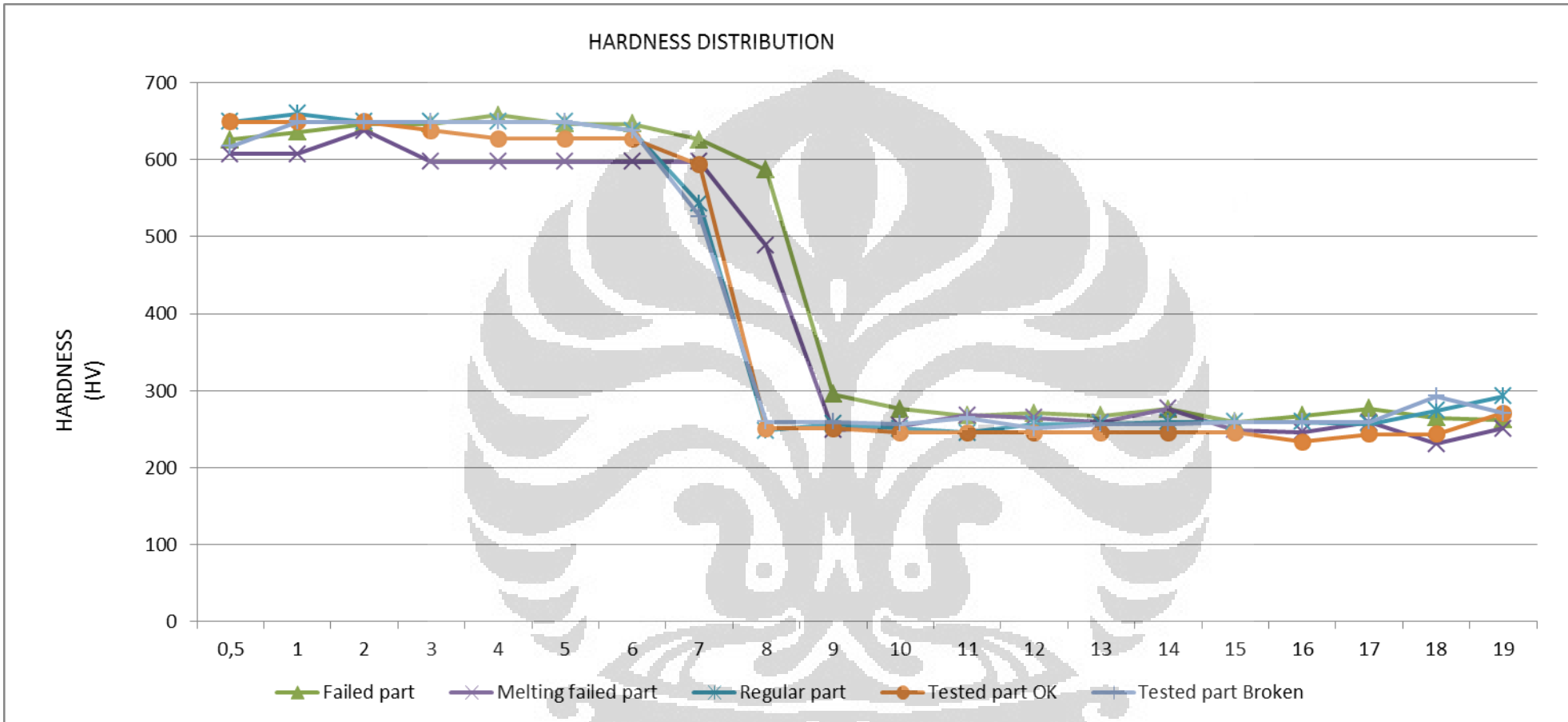
Dari hasil distribution tes hardness diameter area yang di harden 47 mm, didapat untuk area non harden titik 1 nilai HV rata – rata 278.7HV, dan area non harden titik 2 rata – rata 272.1HV. Untuk area harden pada titik 2 nilai HV rata – rata 627.3HV. Nilai HV masih di dalam range standard yaitu 600 – 800HV namun nilai yang didapat merupakan angka minimum. Dari grafik distribution tes

hardness didapat bahwa poros kembali ke nilai kekerasan tanpa harden pada kedalaman 7mm, sehingga keuletan bahan kembali ke diameter tersebut.

Area	Standard	Check					Judgement	average
		1	2	3	4	5		
1	Hardened Area	-	-	-	-	-	-	-

	Non Hardened area	-	283.2	276.5	276.5				278.7
2	Hardened Area	600-800 HV	627.3	627.3	627.3	627.3	627.3	OK	627.3
	Non Hardened area		273.9	259.3	283.2				272.1

Tabel 4.1 Distribution Tes Harden Area dan Non Harden Area



Grafik 4.1 Hardness distribution tes

### 4.3 Komposisi Kimia

Komposisi kimia poros menggunakan standard TSG 3210G, material yang digunakan SMnB45, dimana kandungan C (0.42-0.48)%, Si

Item	Standard TSG 3210G	Failed Part	Remark
C (%)	0.42-0.48	0,4550	-
Si (%)	0.15-0.35	0,2460	-
S (%)	0.030 max.	0,0039	Spectrometer can't detect S percentage < 0.003
P (%)	0.030 max.	0,0141	-
Mn (%)	1.35-1.65	1,4300	-
Ni (%)	0.25 max.	0,0244	Spectrometer can't detect Ni percentage < 0.005
Cr (%)	0.35 max.	0,1050	-
Mo (%)	-	<0.005	Spectrometer can't detect Mo percentage < 0.005
Ti (%)	-	0,0239	-
Cu (%)	0.30 max.	<0.0020	Spectrometer can't detect Cu percentage < 0.002
Nb (%)	-	<0.0020	Spectrometer can't detect Nb percentage < 0.002
V (%)	-	<0.0020	Spectrometer can't detect V percentage < 0.002
Al (%)	-	0,0535	-
Fe (%)	-	97,5880	-

Tabel 4.2 Komposisi kimia material

Dari komposisi kimia dapat dikatakan bahwa kimia tidak bermasalah karena komposisinya masuk dalam standard yang telah ditentukan yaitu standard TSG 3210G.

#### 4.4 Mekanikal Properti

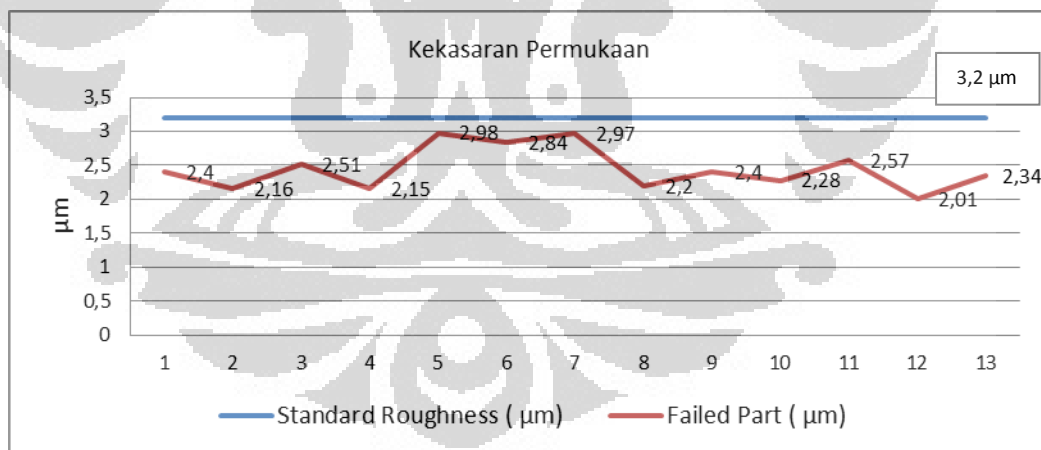
Data mekanikal diambil dari data pengujian yang telah dilakukan di laboratorium metalurgi Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Hasil mekanikal properti :

Specimen no.	$s_{ult}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$s_{yield}$ (N/mm <sup>2</sup> )	e (%)
Failed Part	843	588	16,30

Tabel 4.3 Mekanikal Properti

#### 4.5 Kekasaran Permukaan

Data kekasaran permukaan diambil dari data pengujian yang telah dilakukan di laboratorium PT. Y. Hasil dari kekasaran permukaan ditunjukkan dengan satuan  $\mu\text{m}$  dan dihitung dengan rumus  $R_z = \sum(R_1 + R_2 + \dots + R_5 - R_6 - \dots - R_{10})/5$ . Hasil dari pengukuran kekasaran permukaan sebagai berikut :



Gambar 4.

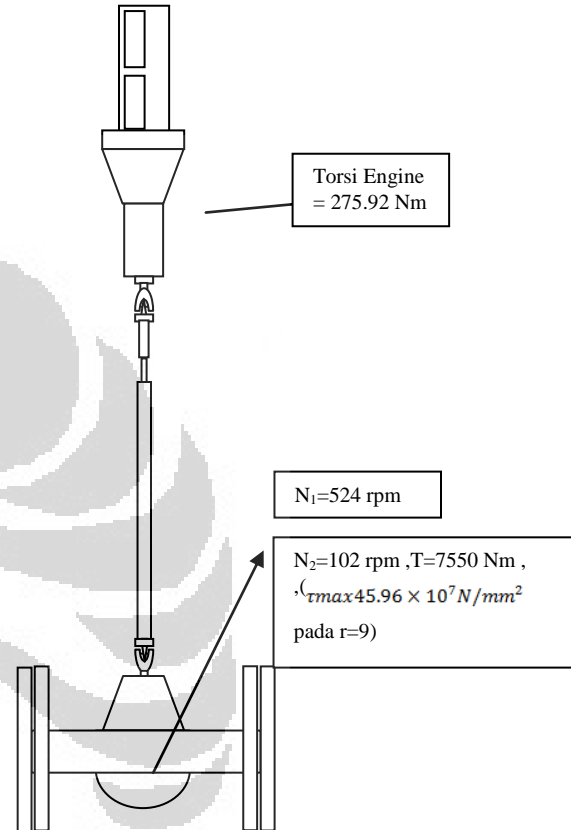


#### 4.6 Stress Analysis

Simulasi perhitungan untuk nilai torsi dan shear stress pada axle shaft.

Mesin Truck diesel 4 stroke, direct injection, turbo charger intercooler

Tenaga max (PS/rpm)	110/2800
Momen Puntir Maks (Kgm/rpm)	29/1800
Jumlah silinder	4
Diameter langkah piston (mm)	104 x 118
Isi silinder	4009
Transmisi	
Perbandingan gigi Ke-1	5.339
Perbandingan gigi Ke-2	2.792
Perbandingan gigi ke-3	1.593
Perbandingan gigi ke-4	1
Perbandingan gig ke-5	0.788
Perbandingan gigi mundur	5.339
Sumbu belakang Full floating, single reduction, single speed by hypod gearings	
Perbandingan gigi akhir	5.125



Dari data diatas dapat dicari :

1. Torsi di Engine

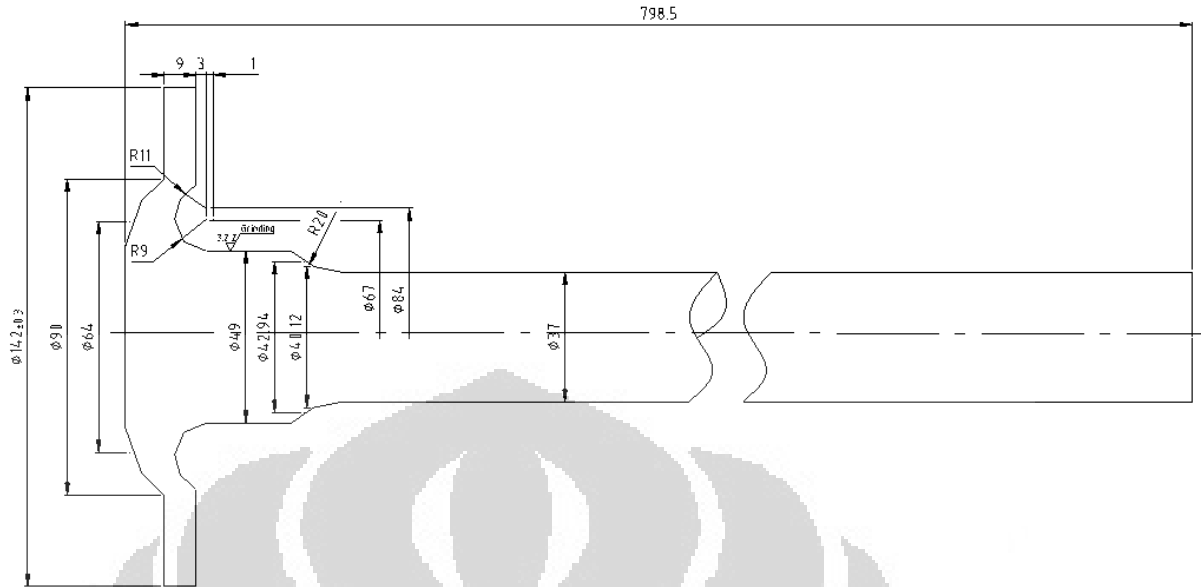
$$T = \frac{P \times 60}{2\pi \times N} \quad (8) \quad P = 110 \text{ ps}$$

$$P = \frac{110}{1.01387 \text{ HP}} = 108.49 \text{ HP}$$

$$P = 108.49 \text{ HP} \times 0.7457 \text{ Kw}$$

$$P = 80.90 \text{ Kw}$$

$$T. \text{ engine} = \frac{80.90 \text{ w} \times 10^3 \times 60}{2\pi \times 2800} \quad T = \frac{4854291}{17592.91} \text{ maka } T = 275.92 \text{ Nm}$$



Gambar 4.13 Dimensi Poros

Shear stress di shaft R9

- $\tau = T / \frac{\pi}{16} d^3$
- $\tau = 7550 \text{ Nm} / \frac{\pi}{16} 0.049^3$
- $\tau = 32.68 \times 10^7 \text{ N/m}^2$
- $K_t = 1,406 \rightarrow K_t = r/d = 9/67 = 0.13 ; D/d = 84 / 67 = 1.25$   
Dari interpolasi pada Tabel dibawah didapatkan  $K_t = 1.406$
- $\tau_{max} = K_t \times \tau_{nom} = 1.406 \times (32.68 \times 10^7) \text{ N/m}^2 = 45.96 \times 10^7 \text{ N/mm}^2$

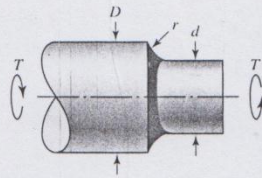
• Jika  $\tau_{max} \geq \frac{S_y}{2}$  (*Mechanical Design Applications Rice University Dr.*

*M.K.O'Malley*), maka

- $\tau_{max} 45.96 \times 10^7 \text{ N/mm}^2 \geq S_{ult} 84,3 \times 10^7 \text{ N/m}^2 / 2$
- $\tau_{max} 45.96 \times 10^7 \text{ N/mm}^2 \geq S_{ult} 42.15 \times 10^7 \text{ N/m}^2$

**Figure E-15-8**

Round shaft with shoulder fillet in torsion,  $\tau_0 = Tc/J$  where  $c = d/2$  and  $J = \pi d^4/32$ .\*

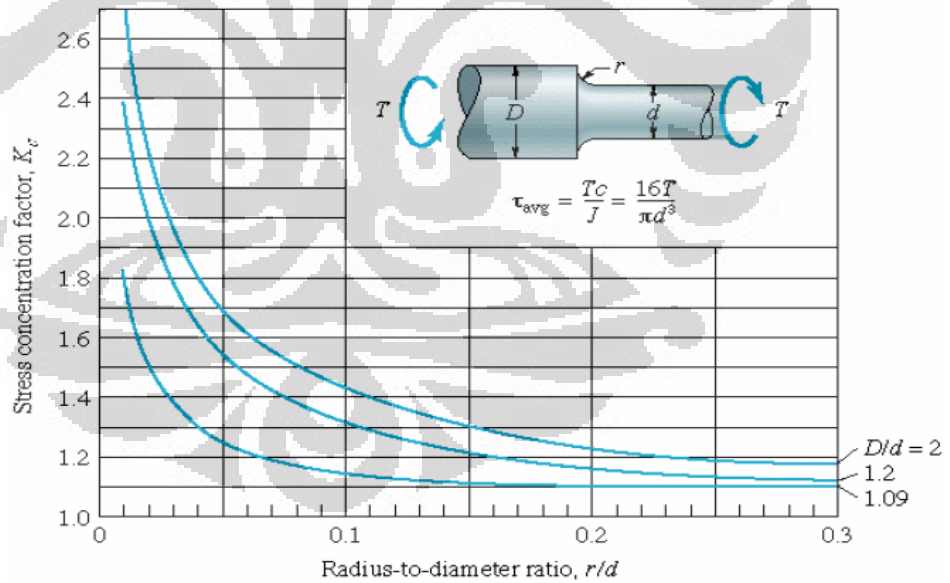


The stress-concentration factor  $K_{ts}$  is related to either the maximum ordered prin stress  $(\sigma_1)_{\max} = K_{ts}\tau_0$  or the von Mises stress  $(\sigma')_{\max} = K_{ts}\sigma_0 = \sqrt{3}K_{ts}\tau_0$ ,

$$K_{ts} = 0.78 + 0.2\left(\frac{D}{d}\right)^{-10} + \left(\frac{r}{d}\right)^{-0.46} \sqrt{\frac{0.002 - 0.125(D/d)^2 + 0.123(D/d)^4}{1 - 2.75(D/d)^2 + 2.55(D/d)^4}}$$

D/d	r/d						
	0.02	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30
1.01	1.288	1.176	1.117	1.091	1.074	1.063	1.055
1.05	1.588	1.352	1.229	1.174	1.140	1.117	1.100
1.10	1.753	1.445	1.284	1.212	1.168	1.137	1.115
1.50	2.059	1.620	1.392	1.288	1.226	1.183	1.150
2.00	2.101	1.647	1.410	1.303	1.238	1.194	1.160
6.00	2.109	1.652	1.414	1.306	1.241	1.196	1.162

\*R. D. Rolovic, S. M. Tipton, and J. R. Sorem, Jr., "Multiaxial Stress Concentration in Filleted Shafts," submitted to ASME Journal of Mechanical Design, March 2000 (In review).

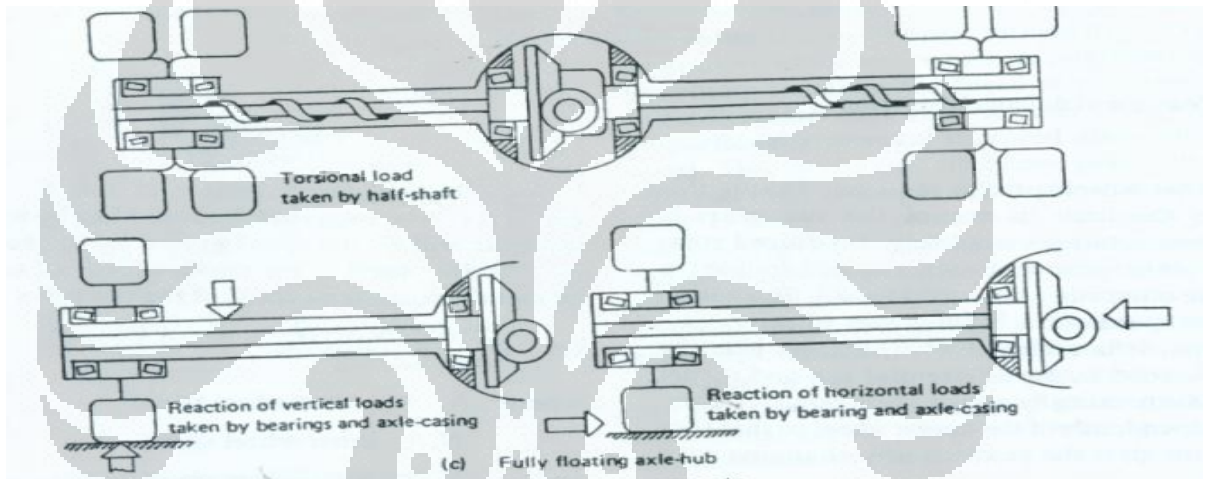


Stress concentration factor for round bar with fillet. (c) Torsion. [Adapted from Collins (1981).]

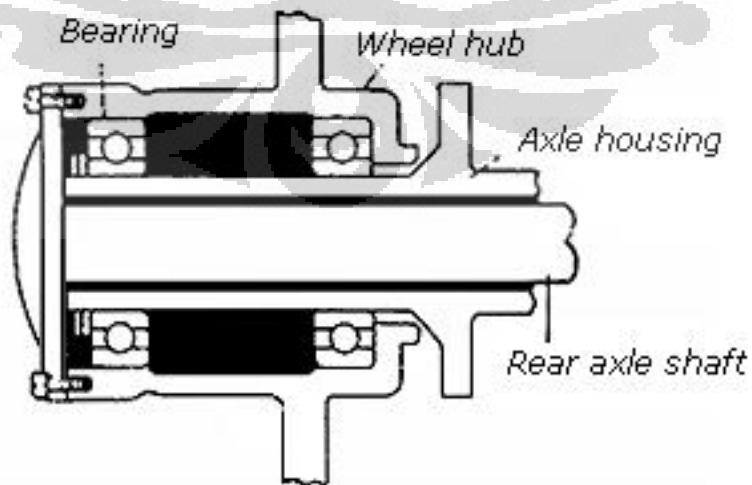
Dari hasil perhitungan berdasarkan simulasi shear stress maximal didapat nilai Torsi di poros **7550 Nm**, dengan nilai Konsentrasi tegangan  $K_t$  1,406 sehingga

didapat hasil  $\tau_{\max} \geq \frac{S_y}{2}$ ,  $\tau_{\max} 45.96 \times 10^7 \text{ N/mm}^2 \geq S_{\text{ult}} 42.15 \times 10^7 \text{ N/m}^2$ .

Sehingga dapat disimpulkan kelelahan yang berlaku adalah murni torsi dikarenakan konstruksi pada gardan merupakan full floating type. Pada tipe ini poros axle sepenuhnya tidak menyangga beban. Beban sepenuhnya ditumpu oleh *axle housing* dan *axle shaft* hanya menggerakkan roda. Konstruksi poros memikul model full floating. Pada tipe ini bantalan-bantalan dipasang diantara housing dan wheel hub, sedangkan roda dipasang pada hub. Beban kendaraan sepenuhnya ditumpu oleh axle housing, sedangkan poros roda tidak memikul beban, hanya berfungsi menggerakkan roda.



Gambar 4.13 Full floating type



Gambar 4.14 Full floating type

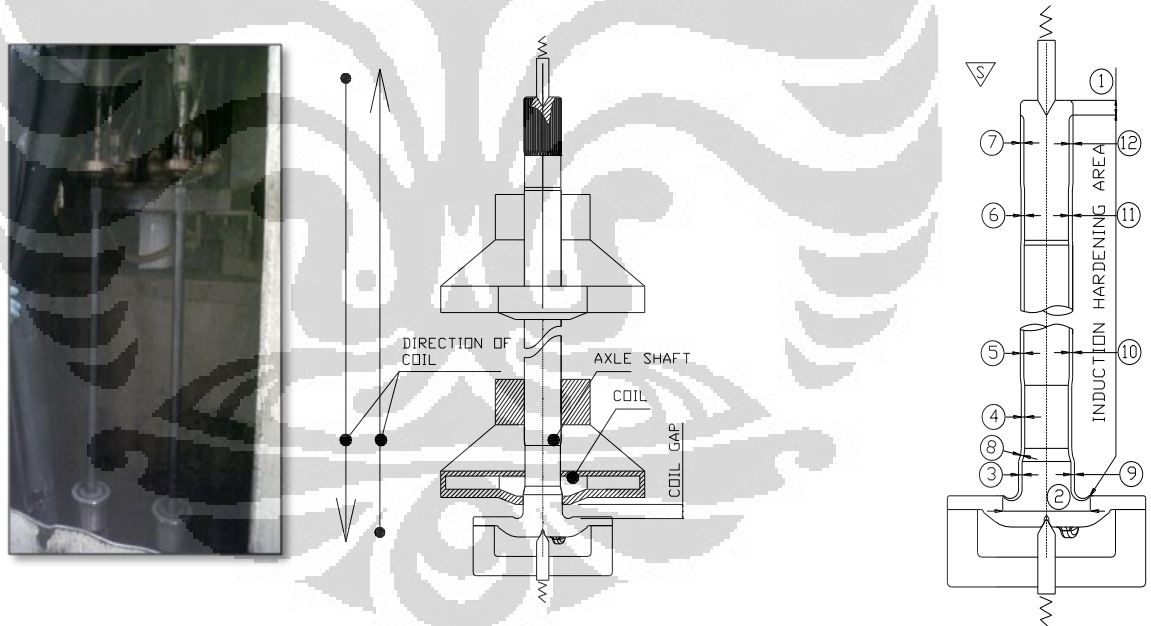
## BAB V PEMBAHASAN

### 5.1 Analisis Problem Penyebab Patah pada Poros

Dari Analisis data material yang ada dapat disimpulkan :

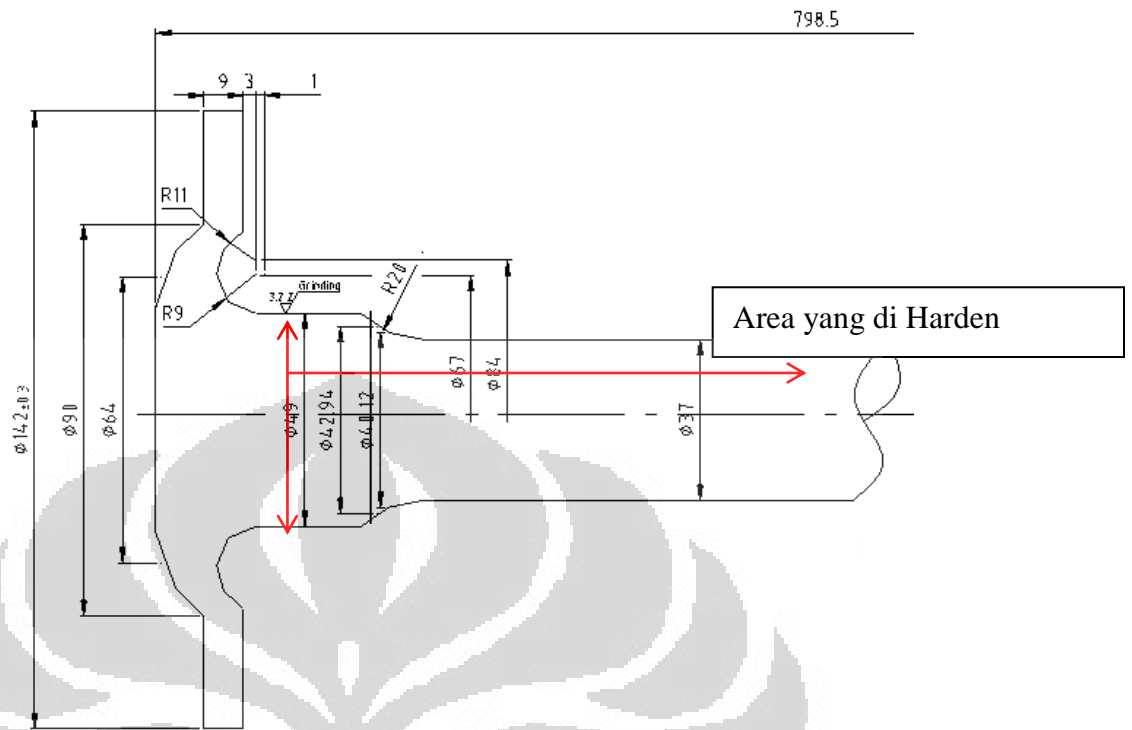
1. Berdasarkan investigasi untuk mekanikal properti  $s_{ult}$  843 (N/mm<sup>2</sup>)  $s_{yield}$  588 (N/mm<sup>2</sup>) sehingga  $e = 16.30\%$ , tidak dapat dijadikan acuan sebagai penyebab patah poros material
2. Berdasarkan investigasi untuk komposisi kimia bahan, semua hasil tes sesuai dengan standard. Standard C (0.42-0.48), Si (0.15-0.35), S (0.03) max, P (0.03) max, Mn( 1.35-1.65), Ni( 0.25 max), Cr (0.35 max), Cu( 0.3 max). Semua komposisi material masuk dalam range standard TSG3210G dapat diartikan kegagalan tidak disebabkan oleh komposisi kimia material.
3. Dari hasil perhitungan berdasarkan simulasi shear stress maximal didapat nilai Torsi di poros **7550 Nm**, dengan nilai Konsentrasi tegangan  $K_t$  1,406 sehingga didapat hasil  $\tau_{max} \geq \frac{S_y}{2}$ ,  $\tau_{max} 45.96 \times 10^7 N/mm^2 \geq S_{ult}$   $42.15 \times 10^7 N/m^2$ . Sehingga dapat disimpulkan kelelahan yang berlaku adalah murni torsi dikarenakan konstruksi pada gardan merupakan full floating type. Dimana beban kendaraan sepenuhnya ditumpu oleh axle housing, sedangkan poros roda tidak memikul beban, hanya berfungsi menggerakkan roda.
4. Investigasi mengenai tracebility analisis dimana yang menjadi masalah adalah patah poros di area flange di daerah lampung. Pada saat proses permesinan terjadi kesalahan coil touch pada proses hardening. Berdasarkan investigasi untuk induksi hardening ditemukan beberapa analisa kegagalan dimana dimensi diameter kurang dari standard, standard untuk induction hardening adalah  $\emptyset$  49 mm, tetapi rata – rata untuk part yang rusak ada di bawah standard yaitu diameter 41 – 45 mm. Pada proses induction hardening

menggunakan coil sebagai media pemanasan. Coil tersebut akan memberikan efek hardening pada axle shaft dimulai dari bagian spline hingga flange. Pada kondisi awal proses induction hardening axle shaft X memberikan heating selama 20 detik sehingga area flange yang terharden hanya bagian diameter 41 - 45mm saja dengan hasil kekerasan 610 HV dimana standard kekerasan adalah 620 HV–800HV, sehingga didapat kekerasan yang standard namun nilai yang didapat tidak maksimal. Dari peneitian diatas diketahui bahwa kekerasan untuk poros kurang sehingga dilakukan perubahan parameter untuk proses hardening. Proses induction hardening axle shaft dilakukan dengan cara axle shaft dihardening dari area flange hingga area spline. Coil di setting untuk mendapatkan hasil hardening yang maximal, biasanya pada jarak 2.5mm - 4.5mm namun hasil induction hardening yang didapat hanya 41mm – 45mm.



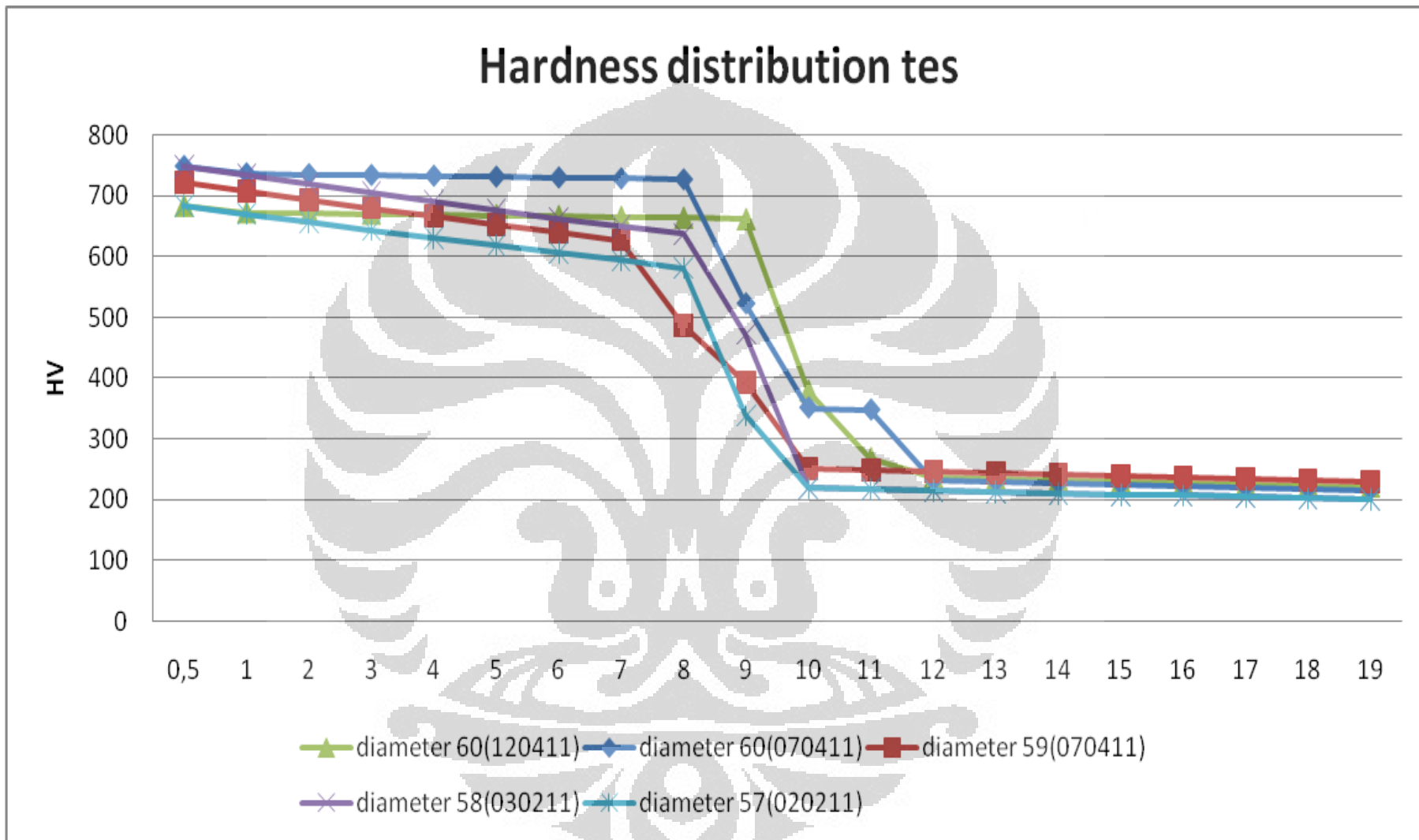
Gambar 5.1 Proses Machining 12-9

Dari kondisi tersebut dilakukan perubahan untuk proses permesinan, dilakukan perubahan parameter pada proses induksi hardening yaitu melebarkan area induksi hardening dari diameter 49 menjadi diameter 67 dan hasil yang didapat nilai kekerasan menjadi 650HV-750HV.



Gambar 5.2 Gambar Kerja Axle shaft

Hasil Hardness distribution tester setelah perubahan parameter induction hardening.





Perubahan parameter Induction hardening

Penyebab kegagalan patah pada axle shaft dimana area induction hardening kurang dari diameter standard. Dari data yang ada dilakukan perubahan parameter untuk menaikkan ke tingkat yang lebih standard. Parameter yang mempengaruhi dimensi diameter area induksi hardening :

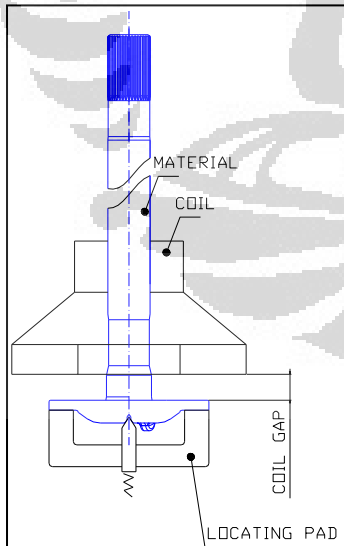
1. Time

Item	Perubahan parameter	Fail part
Ampere	Sesuai parameter mesin	Sesuai parameter mesin
Speed	Sesuai parameter mesin	Sesuai parameter mesin
Kondisi Quenching	Sesuai parameter mesin	Sesuai parameter mesin
Heat Only (second)	9	8
Heat + Quench (second)	2-3	0
Heat + Quench + Moving (second)	11-12	8
Result Induction hardening Pattern	Ø 62-67	Ø 49

Tabel 5.1 Parameter Hardening

Dari data diatas untuk mendapatkan pattern diameter yang sesuai dilakukan perubahan waktu pada hardening .

2. Coil Gap



Coil Gap (mm)	SamplePart	Flange width (cm)	Ø Induction hardening (mm)
1.0	A	10.19	69
1.5	B	10.17	61
2.0	C	10.16	48
2.5	D	10.19	45
3.5	E	10.19	44.5
3.0	F	10.19	44
3.5	G	10.19	43
4.5	H	10.19	42.5

Perubahan parameter

Tabel 5.2 Parameter Coil Gap

Dari data tabel diatas dilakukan perubahan pada jarak coil gap.

**BAB VI**

**KESIMPULAN DAN SARAN**

## 6.1 KESIMPULAN

Dari data material yang ada dapat disimpulkan :

- 1 Berdasarkan investigasi untuk mekanikal properti dan komposisi kimia bahan, semua hasil tes sesuai dengan standard, dapat diartikan kegagalan tidak disebabkan oleh material.
- 2 Hasil dari proses pengerasan (*Hardening*) kurang dari standard. Standard pengerasan 620 – 800 HV actual 610 HV. Diameter induction hardening untuk part yang gagal Ø 49 mm Standard 62 mm, disimpulkan salah satu penyebab kegagalan adanya kesalahan pada proses induction hardening.
- 3 Dari hasil perhitungan berdasarkan simulasi shear stress maximal didapat nilai Torsi di poros **7550 Nm**, dengan nilai Konsentrasi tegangan  $K_t = 1,406$  sehingga didapat hasil  $\tau_{max} \geq \frac{S_y}{2}$ ,  $\tau_{max} 45.96 \times 10^7 N/mm^2 \geq s_{ult} 42.15 \times 10^7 N/m^2$ . Sehingga dapat disimpulkan kelelahan yang berlaku adalah murni torsi dikarenakan konstruksi pada gardan merupakan full floating type

## 6.2 SARAN

Beberapa saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut :

1. Lakukan pengecekan untuk tiap part produksi ke 1, ke 50, ke 100 dan kelipatannya menggunakan check sheet
2. Lakukan pengecekan kekerasan part (Hardness) dan komposisi kimia pada blank material saat receiving part.
3. Lakukan perubahan parameter pada induction hardening dengan dengan mengubah standard parameter pattern induction hardening menjadi diameter 69 mm (awalnya adalah 49 mm ) sehingga area pengerasan pada flange menjadi lebih lebar.
4. Lakukan perubahan parameter pada waktu proses pengerasan, Standard pengerasan dan quenching 8 detik dirubah menjadi 12 detik sehingga didapatkan kekerasan maksimal 620 HV – 800 HV.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Dieter, G.E, 1988 “*Metalurgi Mekanik Jilid II*”,Erlangga,Jakarta
2. Henz Heisler, 1985 “*Vehicle and Engine Technology*”,Library Cataloguing,United Kingdom
3. Shin-Ichi Nisida Dr Eng,1992 “*Failure Analysis in Engineering Application*”,Nikkon Kogyo Shimbun,Japan
4. Khurmi RS &n Gupta,2002 “*Machine Design*”,SCH Had Company Ltd,New Delhi
5. Donald J Wulpi, 1985“*Understanding how Component Fail*”,American Society For Metal,Ohio

