

ANALISA PATAHAN PLANETARY PINION GEAR TRANSMISI DI UNIT EXCAVATOR PC 300 LC-7 KOMATSU

Saharil¹⁾, Achmad Kusairi Samlawi²⁾

^{1,2}Program Studi Tekniak Mesin

Fakultas Teknik Universita Lambung Mangkurat

Jl. Akmat Yani Km.36 Banjarbaru. Kalimantan Selatan, 70714

E-mail: Syahril695@gmail.com

Abstrak

Gears are one of the engine components in the transmission system which functions to forward power from the drive shaft to the shaft to be moved. The speed ratio of the driving gear with the gear that is driven depends on the number of gears of each gear. Fault (Fracture) is the separation of a component or material into two or more parts, Ductile and brittle are the relative terms of certain faults, one type or another depending on the situation, the ductile fracture surface has its own characteristic in the macroscopic. The ductile fracture in the specimen leads to a point. The brittle fracture does not have plastic deformation. Decohesive rupture is a fault that occurs due to environmental reactions Autodesk Inventor is software development from its predecessor software in the CAD field, such as AutoCad and Mechanical Desktop. This software is made with various advantages with its predecessor software. The fracture on the planetary pinion gear Transmission in the pc300lc-7 excavator unit occurs because of the severe load that occurs at the operation, based on von misses analysis can be known (15,57 Mpa), principal stress (9,046 Mpa), and von misses stress with moment twisting (3,088 Mpa) is much smaller than the material elasticity limit of 689 MPa so that there is no stress concentration. The mechanism of failure occurs starting from the shock load in the material without any elastic deformation.

Keywords: Gear, Simulation, Autodesk Inventor 2018

PENDAHULUAN

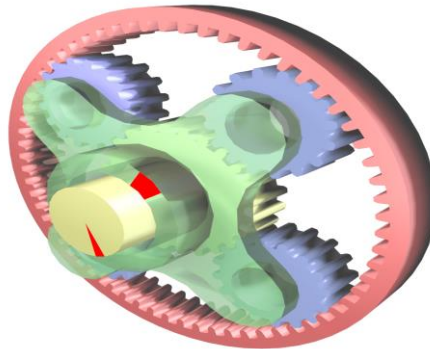
Roda gigi merupakan salah satu komponen mesin yang paling banyak digunakan dalam bidang industry maupun bidang otomotif. Dalam suatu proses permesinan, roda gigi mempunyai fungsi yang sangat penting yaitu untuk meneruskan kecepatan, daya atau torsi dari satu komponen mesin ke komponen lainnya dan dikenal sebagai penggerak mekanis. Ada beberapa jenis penggerak mekanis yang sering digunakan dalam kegiatan industri, seperti chain (rantai), belt (sabuk), dan friction wheel drive (roda gesek). Namun di antara jenis penggerak mekanis tersebut, roda gigi merupakan komponen yang paling banyak digunakan karena beberapa kelebihanannya, yaitu:

1. Tidak ada slip dalam pemindahan gaya (pada rasio putaran yang tetap, tanpa tergantung pada besarnya beban) sehingga efisiensi tinggi.
2. Umur dan reliabilitasnya tinggi.
3. Mampu untuk menahan beban lebih.
4. Perawatannya relatif mudah dan susunannya kompak.

Salah satu cara untuk mengetahui dan mendeteksi kerusakan pada roda gigi adalah dengan melakukan perawatan mesin berbasis pemantauan spectrum getaran yang lebih dikenal dengan predictive maintenance. Dalam perawatan ini, kerusakan roda gigi bisa diketahui berdasarkan ciri getaran tertentu yang ditimbulkannya tanpa harus membongkar roda gigi tersebut. Analisis spektrum getaran seringkali digunakan untuk mendeteksi gangguan atau kerusakan pada roda gigi. Tujuannya yaitu untuk mengetahui kondisi roda gigi dari data respon getaran yang diukur. Pada roda gigi fluktuasi gaya kontak gigi dan cacat roda gigi adalah dua masalah utama yang menyebabkan terjadinya getaran. mengandung informasi penting yang berhubungan dengan kondisi mesin tersebut.

Planetary Pinion Gear

Planetary gear adalah sebuah system gear yang terdiri dari lebih dari gear keluaran, dari planet gearnya. Planetary gear set menyediakan peningkatan kecepatan, pengurangan kecepatan, perubahan arah, netral, dan direct drive. Planetary gear set juga dapat menyediakan variasi kecepatan disetiap tingkatan operasi, dengan pengecualian netral dan direct drive.



Gambar 1. Merupakan Visualisasi dari Planetary Gear dan Sebuah Gear Set

Teori Kegagalan Elemen Mesin

Elemen mesin dikatakan gagal atau mengalami kegagalan jika elemen-elemen mesin tersebut menunjukkan gejala yang menyebabkan tidak dapat lagi melakukan fungsinya. Kegagalan elemen mesin tersebut dapat disebabkan oleh beban statik ataupun beban dinamik yang melebihi kekuatan elemen mesin. Kegagalan suatu komponen atau bagian dari peralatan sewaktu dipergunakan biasanya dapat berakibat fatal. Pengurangan konsentrasi tegangan dapat dilakukan dengan menentukan ukuran radius belokan dan panjang transisi suatu desain pada daerah konsentasi tegangan. Selain resiko yang berkaitan dengan keselamatan manusia, mungkin pula menyangkut masalah ekonomi. Kegagalan elemen mesin dapat dikategorikan menjadi 3 kelompok yaitu.

1. Perubahan bentuk atau deformasi yang terlalu besar yang mungkin terjadi sebagai berikut:
 - a. Deformasi plastis atau deformasi permanen.
 - b. Buckling.
 - c. Deformasi elastisitas yang terlalu besar sehingga mengganggu kerja elemen mesin lainnya.

2. Patah atau fracture yang dapat berupa:
 - a. Patah akibat dilampauinya tegangan batas kekuatan.
 - b. Patah berkeping-keping akibat *impact*.
 - c. Retak, yaitu retak kecil merambat pada sebagian elemen mesin, jika dibiarkan terus akan mengakibatkan patah.

3. Kerusakan permukaan, yaitu dapat berupa:
 - a. Aus yang melebihi aus yang diijinkan
 - b. Permukaan terkelupas dan berlubang-lubang
 - c. Korosi yang menyebabkan patah atau kerusakan permukaan elemen mesin

Penyebab kegagalan mekanisme metalurgi kelelahan logam disebabkan oleh beban berulang. Kerusakan lokal progresif akibat tekanan dan berfluktuasi strain pada bahan. Retakan kelelahan logam dimulai dan menyebar ke daerah di mana tekanan yang paling parah. Proses kelelahan terdiri dari 3 (tiga) tahap yaitu:

1. Retak awal inisiasi.
2. Progresif pertumbuhan retak di bagian tersebut.
3. Final tiba-tiba fraktur penampang yang tersisa.

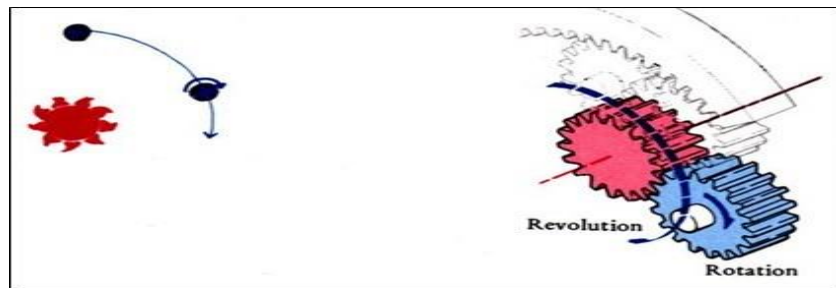
Logam yang sebagian besar mengandung bahan rekayasa diskontinuitas, maka kelelahan dan keretakan logam biasanya dimulai dari diskontinuitas di daerah yang sangat menekan komponen, kegagalan ini mungkin disebabkan oleh : diskontinuitas, desain, salah perawatan atau penyebab lain.

Metode yang paling efektif untuk meningkatkan kinerja dan mencegah kelelahan kegagalan adalah (Ralph, 2001) sebagai berikut:

1. Mendesain ulang produk yang gagal.
2. Menghilangkan atau mengurangi *stress* pengumpulan oleh perampingan bagian.
3. Hindari permukaan tajam akibat geser atau proses lain.
4. Mengurangi tegangan sisa tarik yang disebabkan oleh manufaktur.
5. Mencegah perkembangan diskontinuitas permukaan selama pemrosesan.
6. Meningkatkan rincian pabrikasi dan prosedur manufaktur.

Prinsip Kerja Planetary Gear

Mari kita lihat bagaimana system roda gigi planetary berfungsi. Ketika salah satu dari komponen utama ditahan (diam) dan komponen lainnya diputar. Jika pinion diputar sementara sun gear ditahan, maka pinion akan berputar bebas pada shaftnya dan pada waktu yang bersamaan juga akan berputar mengelilingi sun gear. Dinamakan sistem roda gigi planetary berdasarkan kenyataan bahwa planet pinion berputar mengelilingi sun gear (revolusi) dan sekaligus berputar pada masing-masing shaft-nya (rotasi) seperti halnya system tata surya.



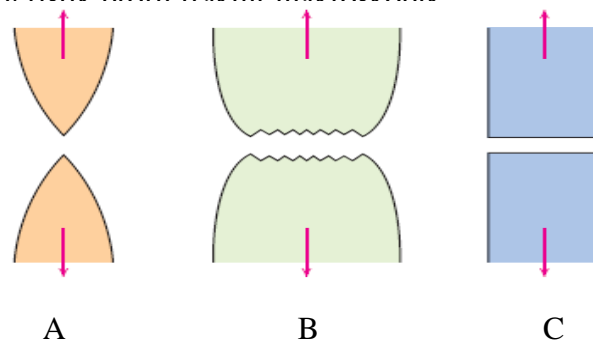
Gambar 2. Cara Kerja System Roda Gigi Planetary

Pengertian Dasar Patahan

Patahan (*Fracture*) adalah pemisahan suatu komponen atau material menjadi dua bagian atau lebih sebagai respon tegangan statis yang dipaksakan (yaitu, konstan atau perlahan berubah seiring waktu) dan pada suhu yang rendah (yaitu, konstan atau perlahan berubah seiring waktu) dan pada suhu yang rendah relatif terhadap suhu leleh material, tegangan yang terjadi bisa berupa *tensile*, *compressive*, *shear*, ataupun *torsional*, untuk rekayasa bahan, jenis patahan yang paling mungkin terjadi adalah *ductile* dan *brittle*, klasifikasinya berbasis pada kemampuan material mengalami deformasi plastis. Bahan *ductile* biasanya menunjukkan deformasi plastis substansial dengan penyerapan energi tinggi sebelumnya patah, disisi lain, biasanya ada sedikit atau tanpa deformasi plastis penyerapan energi rendah disertai pada bahan patahan *brittle*.

Patahan *Ductile* (Ulet)

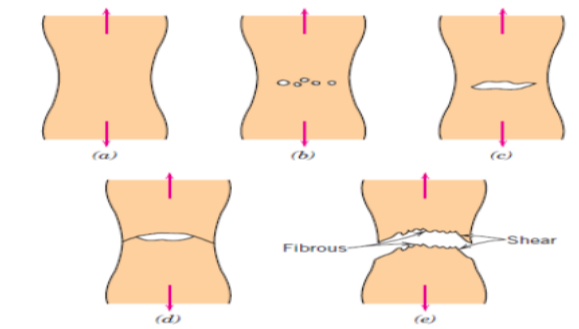
Permukaan rekahan *ductile* akan memiliki ciri khas tersendiri pada makroskopik dan tingkat mikroskopik, Gambar 3. Menunjukkan representasi skematik untuk dua karakteristik profil fraktur makroskopik



Gambar 3. Bentuk Patahan

Bentuk patahan Gambar 3 terdiri dari:

- Patahan ductile pada yang specimen mengarah kesebuah titik.
- Patahan susul moderat setelah beberapa berneck.
- Patahan brittle tanpa ada deformasi plastis.



Gambar 4. Tahapan Dalam Cup dan Cone Patah

Tahapan dalam cup dan cone patah dalam Gambar 4 adalah sebagai berikut:

- Neck awal.
- Kecil pembentukan rongga.
- Koalesensi dari rongga untuk membentuk celah.
- Perambatan patah.
- Patahan akhir pada sebuah sudut relatif 45^o terhadap arah tarik.

Jenis profil patahan tarik yang paling umum untuk logam ductile adalah yang terlihat pada Gambar 4. Dimana patahan didahului dengan jumlah necking yang cukup.

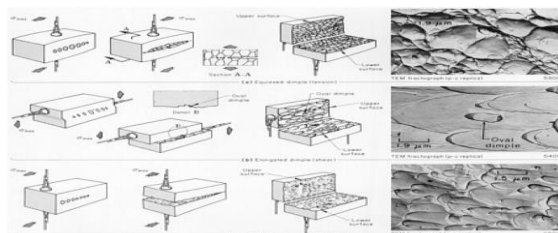
Patahan *Brittle* (Getas)

Patahan *brittle* terjadi tanpa deformasi yang cukup besar, dan retak cepat perambatan, arah gerakan retak sangat tegak lurus terhadap arah dari tegangan tarik yang diterapkan dan menghasilkan permukaan rekahan yang relatif datar, seperti ditunjukkan pada gambar 2.5c. permukaan retak dari bahan yang gagal dengan cara yang *brittle* akan memilikinya sendiri pola khas; tanda-tanda deformasi plastis yang cukup besar tidak akan ada. Untuk misalnya, pada beberapa potongan baja, serangkaian tanda "chevron" berbentuk V bisa terbentuk dekat bagian tengah penampang patahan yang mengarah kembali ke arah inisiasi retak. Permukaan rekahan *brittle* lainnya mengandung garis atau punggung yang itu memancar dari asal retakan dengan pola seperti kipas.

Jenis-Jenis Patahan

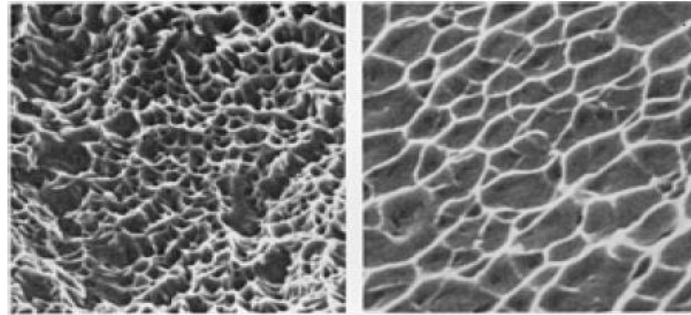
Patahan yang terjadi pada logam pada skala mikro adalah terjadi pada butir logam (*transgranular*) atau terjadi pada batas butir (*Intergranular*) yang satu dengan lainnya. Model patahan pada logam ada 4 yaitu:

- Dimple rupture* (untuk jenis material yang ulet)



Gambar 5. Bentuk Patahan *Dimple Rupture*

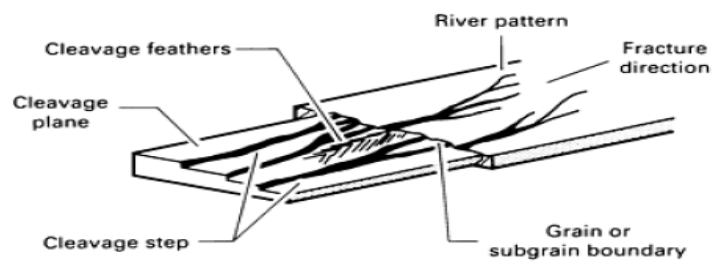
Ukuran jenis patahan yang pada model *dimple* dapat menentukan jumlah dan distribusi *void* (rongga) yang ditimbulkan. Selain itu bentuk patahan model *dimple* juga dipengaruhi tegangan yang terjadi pada *void* dalam skala mikro dalam waktu bersamaan. Patahan Dimple dibedakan menjadi dua yaitu pada Gambar 6.



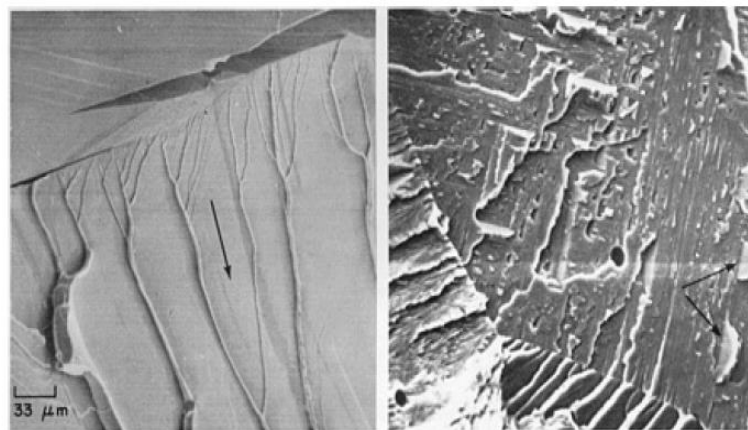
Conical equiaxed (A) Swallow dimple (B)
Gambar 6. Bentuk Patahan Dimpel

2. *Cleavage*

Patahan jenis *cleavage* biasanya berawal kumpulan bidang patahan yang sejajar, kemudian kumpulan patahan tadi menyatu menjadi *cleavage step*. Jaringan dari *cleavage step* dinamakan *river pattern* seperti pada Gambar 7.



Gambar 7. Gambar Ilustrasi Patahan *Cleavage*



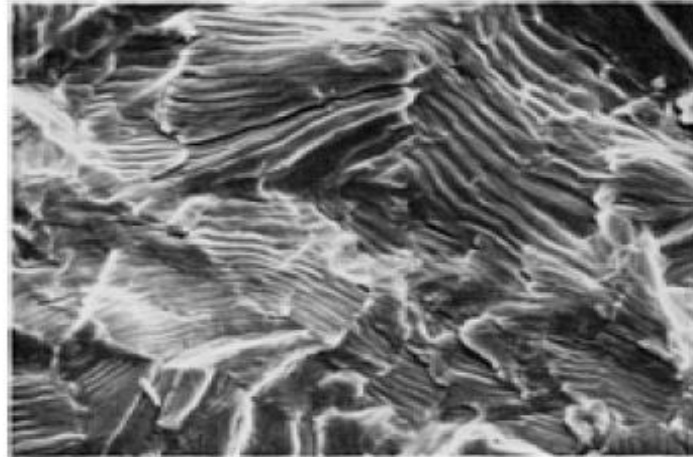
A B
Gambar 8. Bentuk Patahan *River Patern*

Gambar A disertai arah patahan (arah anak panah). Gambar patahan *cleavage* Gambar B sambungan las 30% Cr-baja disertai arah patahan (arah anak panah).

3. *Fatigue*

Patahan akibat pembebanan berulang (*cyclic*) pada suatu komponen, patahan fatigue ada 3 tahap yaitu dapat dilihat pada Gambar 9.

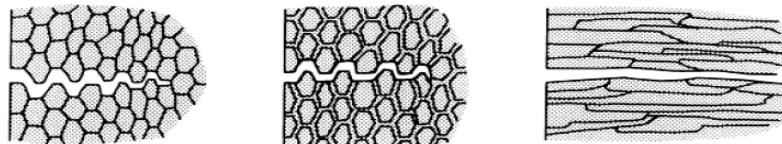
1. Inisiasi (*initiation*).
2. Perambatan (*propagation*).
3. Patahan akhir (*Catastrophic fracture*).



Gambar 9. *Fatigue Striation* Pada Permukaan Patahan Logam Titanium Murni

4. *Decohesive rupture*

Decohesive rupture adalah patahan yang terjadi karena reaksi lingkungan (unsur-unsur) terhadap satu mikrostruktur suatu material ataupun kumpulan mikrostruktur suatu material yang mengakibatkan patahan di sepanjang batas butir. Patahan terjadi pada batas butir karena titik cairnya paling rendah dalam sistem paduan. Unsur-unsur seperti :hidrogen, sulfur, fosfor, arsenic) masuk ke batas butir. Semakin banyak unsur-unsur yan masuk ke batas butir dapat mengakibatkan penurunan kekuatan ikatan kohesi.



Gambar 10. Bentuk patahan *Decohesive rupture*

Foto Mikro

Struktur mikro adalah gambaran dari kumpulan fasa-fasa yang dapat diamati melalui teknik metalografi. Struktur mikro suatu logam dapat dilihat dengan menggunakan mikroskop. Mikroskop yang dapat digunakan yaitu mikroskop optik dan mikroskop elektron. Sebelum dilihat dengan mikroskop, permukaan logam harus dibersihkan terlebih dahulu, kemudian reaksikan dengan reagen kimia untuk mempermudah pengamatan. Proses ini dinamakan *etching*.

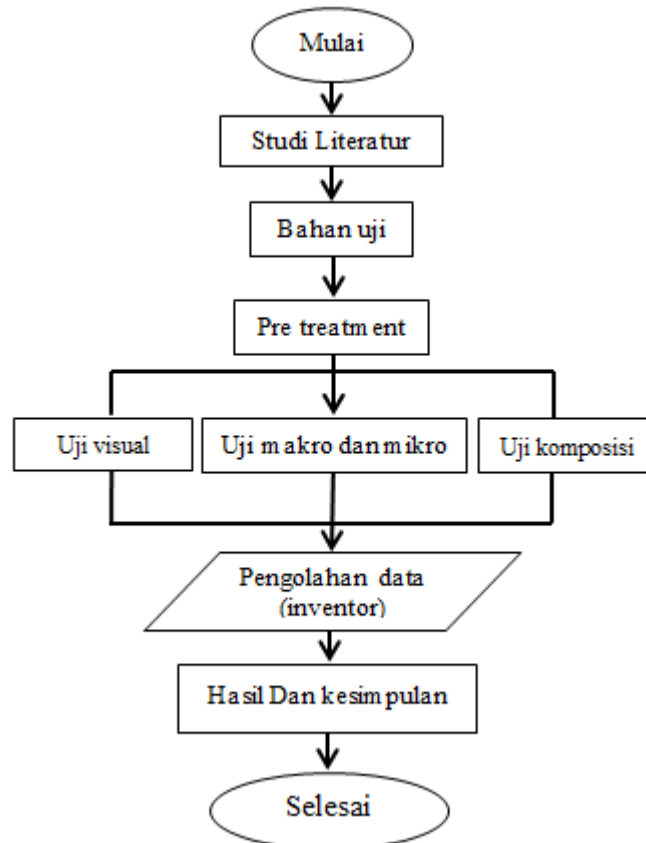
METODE PENELITIAN

Waktu dan Tempat Penelitian

Pelaksanaan penelitian ini dilaksanakan pada bulan Januari 2018 – bulan Mei 2018 dan penelitian ini dilakukan di laboratorium teknik mesin Universitas Lambung Mangkurat, dan PT. Mohusindo, Banjarbaru.

Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian dari analisa patahan *Planetary pinion gear* ditunjukkan dalam Gambar 11.



Gambar 11. Diagram Alir Penelitian

Tahapan Penelitian

Tahapan pada penelitian ini yaitu mengumpulkan metode dan juga teori-teori yang berkaitan dengan masalah mengenai analisa patahan *planetary pinion gear transmisi excavator pc 300 lc-7 komatsu* tahapan selanjutnya adalah mencari, memilah, dan mempelajari studi pustaka yang berkaitan dengan teori-teori dan metode penelitian sehingga tujuan penelitian dapat tercapai.

Langkah selanjutnya adalah memutuskan metode yang akan digunakan lalu mengumpulkan teori-teori yang diperlukan, kemudian mengumpulkan data-data yang ada dengan cara pengamatan secara langsung, kemudian dilakukan juga pengamatan menggunakan metode *fractography* yaitu pengujian makro, dan juga pengujian komposisi logam.

Dari hasil pengujian-pengujian yang telah dilakukan akan diperoleh suatu pembahasan mengenai faktor-faktor penyebab terjadinya patahan *planetary pinion*

gaer transmisi excavator pc 300 lc-7 komatsu, kemudian dilakukan pengolahan data menggunakan *Software Autodesk Inventor 2018* untuk memperkuat hasil pembahasan mengenai faktor penyebab terjadinya patahan pada *planetary pinion gaer* tersebut, dan langkah terakhir adalah membuat kesimpulan dari pembahasan yang telah dihasilkan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Dari penelitian dan pengujian yang akan dilakukan, pencarian informasi dilakukan untuk memperoleh bukti penyebab patahan *Planetary pinion gear* berupa metode photography (pengamatan secara makro), pengujian analisis komposisi logam, dan melakukan simulasi pembebanan menggunakan software Autodesk Inventor 2018.

Pengamatan Secara Makro

Pada Gambar 12. Menunjukkan patahan brittle tanpa ada deformasi elastis, patahan brittle biasanya terjadi pada logam bersifat *gettas*, bahkan bila pun ada sangat kecil, jikapun ada, deformasi plastic sangat terkait dengan patahan tersebut. Biasanya proses tersebut dengan inisiasi dan propagasi retak dan dilihat pada Gambar 12. Patahan permukaannya tegak lurus terhadap arah tegangan tarik yang di aplikasikan.



Gambar 12. Hasil Foto Makro

Pengujian Komposisi Kimia Bahan Material

Data tentang pengujian unsur material terdapat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian Kandungan Unsur Material *Planetary pinion gear*

Unsur	Hasil Uji Kandungan (%)
C	0.216
Si	0.205
Mn	0.803
P	0.100
Cr	0.319
Mo	0.019

Ni	0.019
Cu	0.016
Al	0.022
Mg	0.0050
Co	0.0050
Nb	0.0050
Ti	0.0030
V	0.010
W	0.100
Fe	97.05

Uji Kekerasan Bahan

Pengujian ini digunakan untuk mengetahui ketahanan bahan terhadap lekukan oleh *penetrator* yang merupakan indikasi dari kekerasan suatu material, alat uji kekerasan yang sering digunakan adalah HLN-11a portabel hardness tester, nilai kekerasan material *Planetary pinion gear* bagian dalam adalah 510 BHN dapat dilihat pada Gambar 13 dan *Mechanical Properties* dari material *Planetary Pinion Gear (Steel Alloy)* di tunjukan dalam Tabel 2.



Gambar 13. Hasil Nilai Kekerasan

Tabel 2. *Mechanical Properties*

Name	Steel, Alloy	
General	Mass Density	7.73 g/cm ³
	Yield Strength	250 MPa
	Ultimate Tensile Strength	400 MPa
Stress	Young's Modulus	205 GPa
	Poisson's Ratio	0.3 ul
	Shear Modulus	78.8462 GPa
Part Name(s)	Part1	

Metode Stress Analysis

Dari uji mekanis patahan *Planetary pinion gear* dapat di nilai kekerasan yang besarnya antara 510 BHN. Kemudian dari nilai tersebut dimasukkan persamaan nilai kekerasan ke uji tarik :

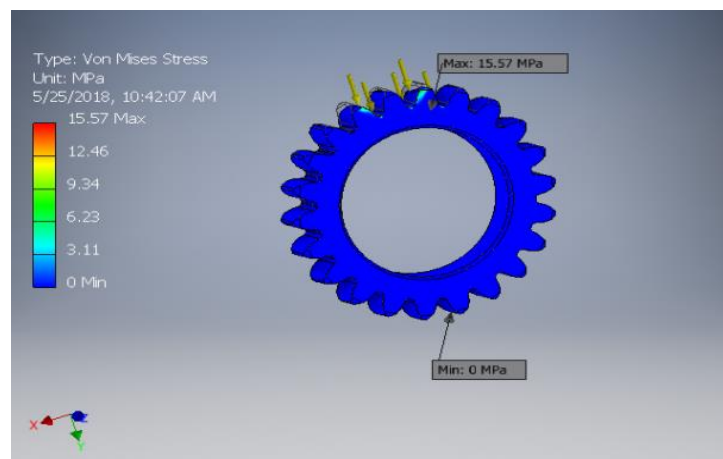
- $\sigma_{ultimate} = 500 \times \text{nilai kekerasan Brinell (William, 1985)}$
- Diambil nilai kekerasan 510 BHN, maka nilai $\sigma_{ultimate}$ adalah sebagai berikut:
 $\sigma_{ultimate} = 500 \times 510 = 255.000 \text{ psi} = 1.758 \text{ Mpa}$

Dari nilai $\sigma_{ultimate}$ antara 255.000 psi diambil material stainless steel jenis yang nilainya mendekati. Dipilih material Steel Low Alloy dengan nilai tegangan sebagai berikut:

- $\sigma_{ultimate} = 255.000 \text{ psi} = 1.758 \text{ Mpa}$
 $= 6.890 \times 1.758$
 $= 12.113.722 \text{ Mpa}$
- $\sigma_{yield} = 100.000 \text{ psi} = 689,48 \text{ Mpa}$
 $= 6.890 \times 689,48$
 $= 4.750.571 \text{ Mpa}$

Hasil Stress Analysis

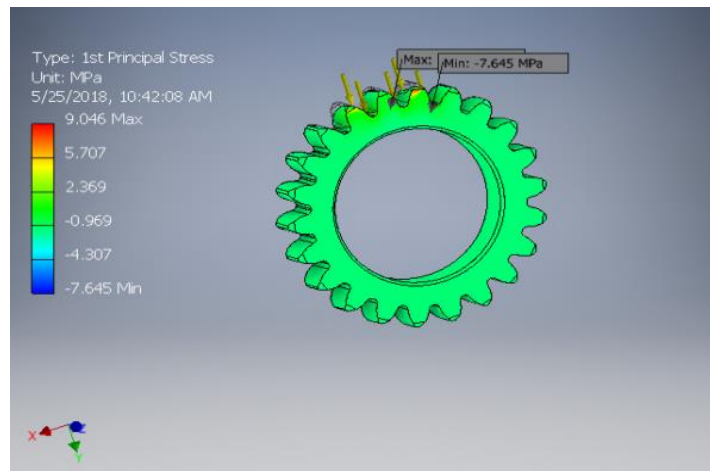
Gambar 14. Adalah analisis tegangan *Von misses* menggunakan pemrograman Autodesk Inventor 2018, sedangkan gambar yang dilingkari menunjukkan daerah yang mengalami tegangan tarik sebesar 15,57 MPa jika dibandingkan dengan tegangan yield material sebesar 689 MPa jadi tegangan tarik yang terjadi masih lebih kecil, (15,57 MPa < 4.750.571 Mpa). Berdasarkan data diatas dapat dipastikan saat pembebanan tidak terjadi deformasi plastis.



Gambar 14. Simulasi *Von Misses Planetary Pinion Gear*

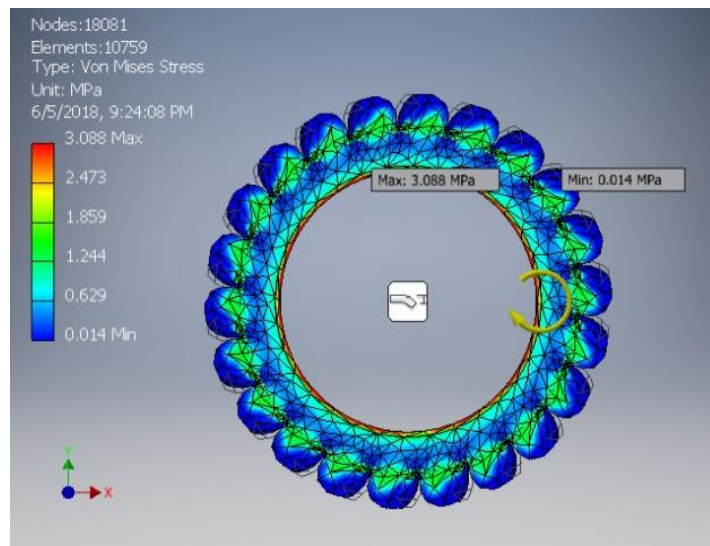
Gambar 15. Adalah analisis tegangan *principal stress* menggunakan pemrograman Autodesk Inventor 2018 sedangkan gambar yang di lingkari menunjukkan daerah yang mengalami tegangan tarik sebesar 9,046 Mpa jika dibandingkan dengan tegangan yield material sebesar 689 Mpa, jadi tegangan tarik yang terjadi masih lebih kacil terhadap kemampuan material,

(9,046 Mpa < 4.750.571 Mpa), berdasarkan data di atas dapat di pastikan saat pembebanan tidak terjadi devormasi plastis.



Gambar 15. Simulasi *Principal Stress Planetary Pinion Gear*

Gambar 16. Adalah analisa tegangan *Von misses* stress dengan gaya moment putar menggunakan pemrograman Autodesk Inventor 2018, sedangkan gambar yang di lingkari mengalami moment putar sebesar 3,088 Mpa, jika dibandingkan dengan tegangangan yield material sebesar 689 Mpa, moment putar yang terjadi masi kecil terhadap kemampuan material, (3,088 Mpa < 4.750.571 Mpa) berdasarkan data diatas maka dapat dipastikan saat pembebanan tidak terjadi deformasi plastis.



Gambar 16. Simulasi *Von Misses* Stress Dengan Moment Putar *Planetary Pinion Gear*

Pembahasan

Berdasarkan hasil *fraktography* dan hasil pengamatan uji materi pada material planetary pinion gear kegagalan disebabkan oleh kesalahan pada pengoperasian di indikasi pada pada pengamatan uji makro ini terlihat brittle tanpa adanya deformasi. Sedangkan dari simulasi *stress analysis* yang dilakukan yaitu dengan *von misses stress* pada material sebesar 15,57 Mpa serta tegangan *pnincepal stress* sebesar 9,046 Mpa dan juga tegangan *von misses stress* dengan momen putar sebesar 3,088 Mpa masih terhitung lebih kecil dari tegangan yield material sebesar 4.750.571 Mpa sehingga factor pembebanan *Planetary pinion gear* tidak menyebabkan adanya kegagalan atau patahan. Berdasarkan hasil metode *fraktography* dan juga simulasi menggunakan autodesk inventor 2018 diduga yang menjadi alasan utama terjadinya patahan pada *Planetary pinion gear* tersebut adalah pada saat pengoperasian.

KESIMPULAN

Dari penelitian yang dilakukan dapat di simpulkan bahwa patahan pada *planetary pinion gear Transmisi* di unit *excavator pc300lc-7* terjadi, karena beban kejut yang terjadi pada pengoperasian, berdasarkan analisis *von misses* dapat diketahui (15,57 Mpa), tegangan *principal stress* (9,046 Mpa), dan tegangan *von misses stress* dengan moment puntir (3,088 Mpa) jauh lebih kecil dari batas elastisitas material sebesar 689 MPa sehingga tidak ada konsentrasi tegangan. Mekanisme kegagalan terjadi bermula adanya beban kejut pada material tanpa ada deformasi elastis.

DAFTAR PUSTAKA

- Callister. William. D. 2007. *“Material Science and Engineering An Introduction”*. New York: John Wiley and Sons, Inc.
- Dimas Surya Widodo, Siswanto, Dan Rr. Poppy Puspitasari 2014 Pendidikan Teknik Mesin Universitas Negeri Malang², 3Dosen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Malang,. Analisa Ketangguhan Dan Perubahan Struktur Mikro Patahan Akibat Heat Treatment Dan variasi Sudut Impact Pada Baja St 60.
- Dieter George E, 1986; Mechanical Metallurgy, Third Edition, Mc. Graw Hill, Singapore.
- Fajar Eka Putrandono Athanasius Priharyoto Bayuseno tahun 2014, Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro² Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro,. Analisis Stress Corrosion Cracking Aisi C20500 Dengan Variasi Pembebanan Pada Media Korosi Ai,. Semen Padang, “Pengenalann Menuju Pabrik Semen,” 2011.
- Hajar, I dan Rahman, F. 2012. Analisis Tegangan Pada Gripper Pencekam Botol Menggunakan Simulasi Hasil Penelitian Program Studi Teknik Mesin . Departemen Nasional Universtas Lambung Mangkurat Banjarbaru.
- Harsokoesoemo, Dr., Ir., H. Darmawan. 1989; Kriteria Patah Lelah Untuk Perancangan Elemen Mesin, Jurusan Teknik Mesin, ITB.