

ANALISIS KEGAGALAN PADA PIRINGAN GEAR BELAKANG SEPEDA MOTOR KAPASITAS 150 CC

*Billy Boazter Sebastian Siregar¹, Sri Nugroho², Gunawan Dwi Haryadi²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

*E-mail: billyboazter.siregar@students.undip.ac.id

Abstrak

Gear atau roda gigi adalah salah satu komponen structural paling fundamental pada proses gerak dan transmisi daya. Roda gigi berguna untuk menransmisikan daya atau putaran yang cepat. Pada sepeda motor, transmisi daya berupa sistem mekanik yang terbentuk dari 2 *gear* (dihubungkan dengan rantai) untuk menghasilkan penambahan torsi dan pengurangan RPM pada roda belakang yang memerlukan torsi lebih besar dari *output* yang dikeluarkan oleh motor. Dari komponen tersebut akan dilakukan beberapa pengujian untuk menganalisis mekanisme dan penyebab dari kegagalan tersebut. Pengujian yang dilakukan yaitu pengujian spektrometri, pengujian metalografi, pengujian kekerasan, serta uji visual (analisis tegangan dan *buckling*). Hasil pengujian visual menunjukkan jika kegagalan terjadi dikarenakan adanya beban berlebih. Dari pengujian komposisi kimia menunjukkan jika material yang digunakan adalah AISI 1010, yang kemudian juga dibuktikan dengan pengujian metalografi yang menunjukkan struktur mikro dari AISI 1010. Pengujian kekerasan menunjukkan jika material memiliki kekerasan rata-rata 131,35 HV pada daerah kegagalan dan 106,94 HV pada daerah jauh dari kegagalan. Pengujian simulasi menunjukkan jika desain dari *gear* dapat menahan beban normal yang terjadi. Terjadi *strain hardening* pada material, yang menunjukkan bahwa kegagalan terjadi karena beban berlebih seperti jatuh atau tertimpa.

Kata kunci : AISI 1010; *eigenvalue buckling*; *gear*; *strain hardening*; *von mises*

Abstract

Gear are one of the most fundamental structural components in the process of motion and power transmission. Gears are useful for transmitting power or fast rotation. In motorcycles, power transmission is a mechanical system formed from 2 gears (connected to a chain) to produce additional torque and reduce RPM on the rear wheels which require torque greater than the output issued by the motor. From these components, several tests will be carried out to analyze the mechanism and causes of the failure. The tests carried out were spectrometric testing, metallographic testing, hardness testing, and visual tests (stress analysis and *buckling*). The results of the visual test show if the failure occurs due to an overload. The chemical composition test shows that the material used is AISI 1010, which is then also proven by metallographic testing which shows the microstructure of AISI 1010. The hardness test shows that the material has an average hardness of 131.35 HV in the failure area and 106.94 HV. in areas far from failure. Simulation testing shows if the design of the gear can withstand the normal load that occurs. There is a *strain hardening* of the material, which indicates that the failure occurred due to excessive loads such as falling or being crushed.

Keywords : AISI 1010; *eigenvalue buckling*; *gear*; *strain hardening*; *von mises*

1. Pendahuluan

Analisa kegagalan ialah suatu komponen yang mengalami kegagalan yang disebabkan oleh beberapa faktor yang mempengaruhi kinerja suatu alat. Dalam dunia industri, komponen - komponen alat pastilah mengalami suatu kegagalan, baik itu karena umur masa pakai alat yang habis, komponen tersebut sudah tidak berfungsi sama sekali, komponen tersebut berfungsi tapi membahayakan ataupun karena sebab-sebab lainnya. Kegagalan yang terjadi pada komponen-komponen mesin itu sangat merugikan bagi suatu industri apabila komponen mesin yang mengalami kegagalan merupakan komponen mesin yang sangat penting bagi industri itu sendiri. Dalam suatu komponen mesin itu sendiri banyak terdapat elemen - elemen mesin, seperti poros, roda gigi, engkol, *bearing* dan elemen lainnya.

Gear merupakan komponen yang sangat penting dalam suatu permesinan di karenakan *gear* merupakan komponen penghubung penggerak yang berputar yang berguna untuk menransmisikan daya suatu mesin [1]. Roda gigi berguna untuk menransmisikan daya atau putaran yang cepat. Pada sepeda motor, transmisi daya berupa sistem mekanik yang terbentuk dari 2 *gear* (dihubungkan dengan rantai) untuk menghasilkan penambahan torsi dan pengurangan RPM pada roda belakang yang memerlukan torsi lebih besar dari *output* yang dikeluarkan oleh motor [2].

Seiring perkembangan teknologi roda gigi telah banyak mengalami perubahan, baik dari segi geometri maupun bahannya yang telah disesuaikan pada kegunaan roda gigi tersebut [3]. Pada konstruksi mekanik yang memerlukan gerak yang mengombinasikan beberapa komponen alat yang tergabung dengan cara menggunakan roda gigi. Oleh karena tak salah jika roda gigi banyak ditemukan di permesinan yang melakukan gerakan dengan beberapa komponen mesin termasuk juga pada kendaraan sepeda motor. Dalam kasus komponen yang akan diuji pada penelitian ini, piringan *gear* mengalami patah dan bengkok yang membuat *gear* ini tidak dapat lagi digunakan.

Dari komponen tersebut akan dilakukan beberapa pengujian untuk menganalisis mekanisme dan penyebab dari kegagalan tersebut. Pengujian yang dilakukan yaitu pengujian spektrometri, pengujian metalografi, pengujian kekerasan, serta uji visual (analisis tegangan dan *buckling*). Hasil analisis menyimpulkan bahwa kegagalan terjadi karena pembebanan pada *gear* pembebanan pada *gear* yang terjadi secara cepat seperti jatuh dan tertimpa.

2. Bahan dan Metode Penelitian

2.1 Alat dan Bahan

Peralatan-peralatan, bahan, dan *software* yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

2.1.1 Spektrometer

Pengujian komposisi kimia dilakukan dengan menggunakan alat spektrometer.

2.1.2 Mesin Amplas

Spesimen yang akan dievaluasi struktur mikro dan kekerasannya dihaluskan permukaannya dengan menggunakan mesin amplas.

2.1.3 Mikroskop Optik

Struktur mikro spesimen diperiksa di bawah mikroskop optik, dan hasilnya kemudian potret.

2.1.4 Vickers Microhardness Tester

Untuk mengetahui distribusi kekerasan spesimen digunakan uji kekerasan *vickers* untuk menghitung nilai kekerasan spesimen pada berbagai tempat.

2.1.5 SOLIDWORKS

Solidwork adalah *software* CAD yang pada penelitian ini digunakan untuk menggambar model desain dari *gear* dan melakukan analisis *static structural* pada *gear*.

2.1.6 Gear

Bahan utama pada penelitian ini yaitu *gear* roda belakang sepeda motor yang bergigi 43.

2.1.7 Autosol Metal Polish

Bahan yang berguna untuk membersihkan dan mengkilapkan material. *Autosol* juga berfungsi untuk mencegah karat terjadi.

2.1.8 Etsa Nital

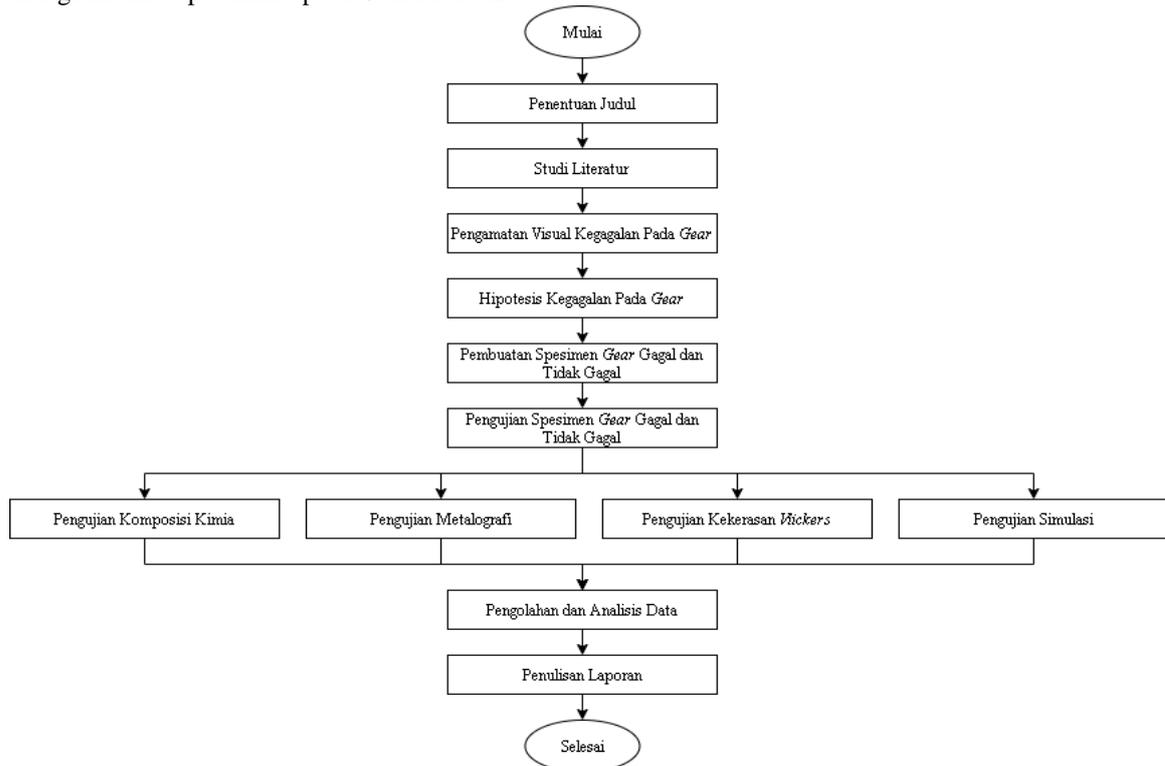
Etsa berfungsi untuk meningkatkan visibilitas optik dari struktur mikro material.

Tabel 1. Alat dan Bahan

ALAT	BAHAN
Spektrometer	<i>Gear</i>
Mesin Amplas	<i>Autosol Metal Polish</i>
Mikroskop Optik	Etsa Nital
<i>Vickers Microhardness Tester</i>	
SOLIDWORKS	

2.2 Metode Penelitian

Diagram alir dapat dilihat pada Gambar 1 dibawah ini.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian.

Penjelasan singkat dari diagram alir diatas dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Pemilihan Judul : dilakukan untuk menentukan topik dan materi yang akan dibahas dalam penelitian.
2. Studi Literatur : untuk mencari materi dan teori yang berhubungan dengan judul pada penelitian sehingga dapat memudahkan proses penelitian dan penulisan laporan penelitian.
3. Pengamatan Visual Kegagalan *Gear* : Pengamatan visual dilakukan sebelum melakukan pengujian, tujuannya yaitu untuk melihat bagian *gear* yang mengalami kegagalan dan seperti apa kegagalannya.
4. Menentukan Hipotesis Kegagalan *Connecting Rod* : Hipotesis dilakukan untuk memperkirakan jenis dan penyebab kegagalan yang terjadi pada *gear*.
5. Pengambilan Spesimen *Gear* Pada Daerah Gagal dan Tidak Gagal : Preparasi atau persiapan sampel setiap pengujian berbeda - beda. Pada penelitian ini, preparasi sampel secara umum dimulai dengan memotong bagian - bagian yang akan dilakukan pengujian, membuat dudukan (*mounting*) sampel jika spesimen terlalu kecil sebagai syarat dilakukannya pengujian serta proses *grinding* dan *polishing* untuk meratakan permukaan sampel.
6. Pengujian Komposisi Kimia : Pengujian komposisi kimia bertujuan untuk mengetahui komposisi kimia penyusun material *gear*. Dari hasil pengujian dapat diketahui sifat dan jenis material tersebut [4].
7. Pengujian Metalografi : Pengujian metalografi dilakukan untuk mengetahui struktur mikro dari *gear*. Dari hasil pengujian dapat diketahui sifat dan jenis fasa dari material tersebut [4].
8. Pengujian Kekerasan *Vickers* : Pengujian kekerasan *vickers* dilakukan untuk mengetahui nilai kekerasan dari material *gear* pada bagian yang gagal dan yang tidak gagal [4].
9. Pengujian Simulasi *SOLIDWORKS* : Pengujian simulasi dilakukan untuk mengetahui bagaimana tegangan bekerja pada desain sebenarnya.
10. Analisa Data dan Pembahasan : Semua data pengamatan dan data - data hasil pengujian serta simulasi ditampilkan dalam bentuk tabel dan foto. Kemudian, dilakukan analisis berdasarkan teori yang didapatkan dari referensi dan literatur yang ada.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pengamatan Visual

Berdasarkan dari pengamatan visual yang dilakukan pada *gear* dapat dilihat bahwa terjadi kerusakan ulet pada bagian *gear*. Pada bagian kerusakan, tidak terlihat jika ada indikasi bahwa kerusakan terjadi karena kelelahan material. Dengan melihat dari bentuk kerusakan dan lokasi kerusakan, dapat diambil hipotesis jika kerusakan terjadi karena suatu pembebanan yang kuat dan cepat, seperti jatuh. Dari bentuk kerusakan, maka diambil hipotesis bahwa kerusakan seperti ini terjadi karena terjadi beban berlebih pada bagian rusak *gear* yang menyebabkan bagian ini menjadi rusak [5].



Gambar 2. Model 3D *Connecting Rod*

3.2 Pengujian Komposisi Kimia

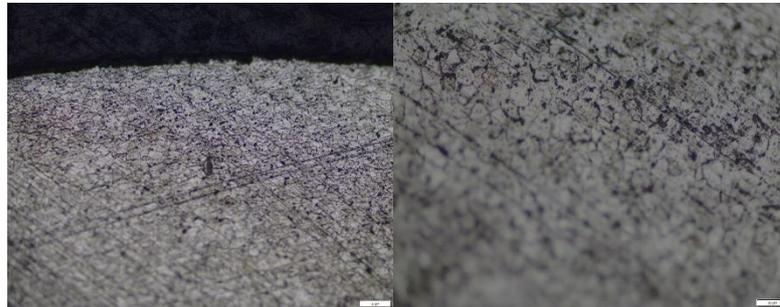
Tabel 1. Hasil Pengujian Komposisi Kimia (Wt. %)

Elemen	Fe	Mn	S	P	C
AISI 1010	99,18 – 99,82	0,3 – 0,6	≤0,05	≤0,04	0,08 – 0,13
Spesimen	99,26	0,385	0,0061	0,017	0,085

Pengujian spektrometri dilakukan untuk mencari tahu komposisi kimia yang menyusun material *gear* sehingga dapat ditentukan apa material yang digunakan sebagai material *gear*. Dari hasil pengujian spektrometri yang dilakukan, maka dapat ditentukan material yang sesuai dengan komposisi kimia pada *gear*, yang pada kasus ini yaitu baja AISI 1010 [6].

Berdasarkan dari hasil pengujian spektrometri, ditemukan bahwa material yang digunakan adalah baja karbon rendah dengan $C \leq 0,25\%$. Secara umum, baja karbon rendah memiliki keuletan dan ketangguhan yang tinggi. Umumnya baja paduan rendah merupakan kategori bahan besi yang menunjukkan sifat mekanik lebih unggul dari baja karbon biasa (*plain carbon steel*) sebagai hasil dari penambahan elemen paduannya. Dengan melihat dari perbandingan komposisi kimia spesimen dan komposisi kimia dari AISI 1010, maka dapat disimpulkan bahwa material yang digunakan oleh *gear* adalah material yang sesuai dengan standar, sehingga dapat disimpulkan kerusakan tidak terjadi karena kesalahan pada komposisi material.

3.3 Pengujian Metalografi



Gambar 3. Hasil Uji Metalografi Perbesaran 200x, 500x Spesimen Mengalami Kegagalan



Gambar 4. Hasil Uji Metalografi Perbesaran 200x, 500x Spesimen Tidak Mengalami Kegagalan

Dari gambar diatas dapat dilihat jika terdapat perbedaan pada *gear* bagian spesimen gagal dan bagian tidak gagal. Kedua bagian dapat dilihat memiliki 2 struktur umum, yaitu perlit (yang bagian hitam) dan ferit (yang bagian putih). Pada hasil pengamatan struktur mikro terdapat 2 warna yang berbeda yang menandakan pada struktur mikro tersebut terdiri dari 2 fasa yaitu sesuai dengan diagram fasa Fe-Fe₃C bahwa dengan kadar karbon 0,085% maka struktur mikro yang terbentuk adalah ferit (warna terang) dan perlit (warna gelap) [7]. Hanya saja terlihat jika spesimen yang mengalami kegagalan memiliki struktur ferit yang lebih pipih dan lonjong. Sedangkan struktur ferit dari spesimen yang tidak mengalami kegagalan terlihat lebih bulat. Terjadinya hal tersebut disebabkan karena terjadi *strain hardening* pada material sebelum mengalami. *Strain hardening* sendiri yaitu pengerasan regangan yang disebabkan karena pergeseran

dislokasi. Dislokasi pada logam semakin rapat dan meningkat serta terjadi pembentukan dislokasi baru. Dengan adanya pembentukan dislokasi baru membuat dislokasi lama terdesak [8].

3.4 Pengujian Kekerasan Vickers

		Spesimen Gagal	Spesimen Tidak Gagal
Titik Uji 1	D1 (μm)	37,11	41,61
	D2 (μm)	37,91	41,79
	HV	131,79	106,62
Titik Uji 2	D1 (μm)	37,67	42,18
	D2 (μm)	37,69	40,84
	HV	130,59	107,62
Titik Uji 3	D1 (μm)	36,85	42,48
	D2 (μm)	38,21	40,95
	HV	131,68	106,57
Rata – Rata HV		131,35	106,94

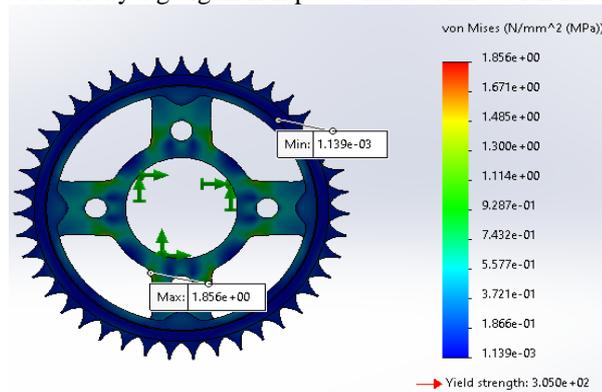
Tabel 2. Hasil Pengujian Kekerasan Vickers

Dari pengujian didapatkan nilai kekerasan sesuai dengan standar pada AISI 1010. Dapat dilihat bahwa kekerasan dari spesimen yang diambil dari daerah kegagalan memiliki nilai kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan spesimen yang diambil pada daerah yang jauh dari kegagalan. Hal ini disebabkan karena pada daerah yang dekat dari patahan mengalami *strain hardening* sehingga menyebabkan kekerasan di daerah yang dekat dengan patahan meningkat [8].

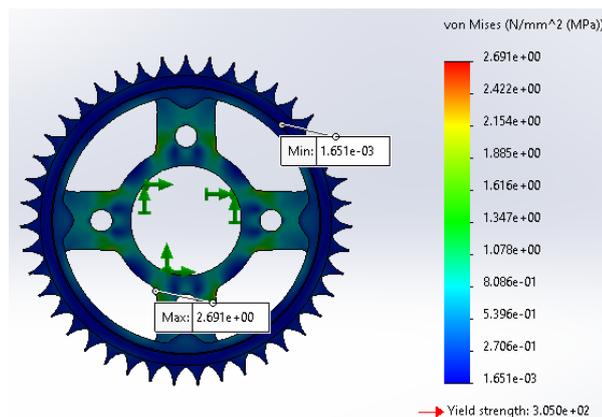
Secara umum, pada kedua sampel uji, tidak terjadi perbedaan nilai distribusi secara signifikan. Hal tersebut dapat diartikan jika tidak ada perubahan nilai kekerasan akibat faktor pemakaian / kelelahan.

3.5 Pengujian Simulasi SOLIDWORKS

Pengujian simulasi dilakukan dengan menggunakan *software* SOLIDWORKS. Simulasi numerik dilakukan untuk menganalisis tegangan von-Mises dari desain *gear*. *Meshing* yang digunakan adalah *solid mesh* dan menghasilkan 224.836 node dan 1.113.190 elemen dengan ukuran terbesar 0,0905 cm dan terkecil 0,0301 cm. Penelitian menggunakan gaya torsi sebesar 10 Nm sebagai rata-rata torsi mesin sepeda motor dan torsi sebesar 14,5 Nm sebagai torsi maksimal dari motor sepeda motor 150 cc. Material yang digunakan pada simulasi ini adalah material baja AISI 1010.



Gambar 5. Hasil Pengujian Simulasi Dengan Torsi 10 Nm



Gambar 6. Hasil Pengujian Simulasi Dengan Torsi 14,5 Nm

Dari kedua gambar diatas dapat dilihat bahwa tidak ada tegangan von-Misses yang melebihi *yield strength* dari material AISI 1010 (305 MPa). Dengan torsi sebesar 10 Nm maka akan menghasilkan *stress* maksimal sebesar 1,85 MPa, dan dengan torsi 14,5 Nm akan menghasilkan maksimal *stress* maksimal sebesar 2,69 MPa. *Stress* maksimal dari kedua simulasi juga tidak terletak pada bagian dimana *gear* mengalami kegagalan, lebih tepatnya *stress* maksimal terletak pada area sekitar lingkaran dalam yang menjadi penyokong lingkaran dalam dengan lingkaran luar, sehingga dari kasus ini dapat disimpulkan bahwa kegagalan yang terjadi pada bagian *gear* tidak disebabkan oleh kesalahan desain atau terletak pada kesalahan eksternal. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan jika desain yang digunakan tidak akan mengalami deformasi plastis sehingga dapat dikatakan jika desain adalah desain yang aman digunakan.

3.6 Pembahasan

Dari seluruh pengujian yang telah dijalankan, maka dapat ditarik kesimpulan beberapa hal. Material yang digunakan sebagai material pembuatan *gear* ini adalah material *low carbon steel* AISI 1010, hal ini didukung dari pengujian komposisi kimia, terbentuknya 2 fasa umum perlit dan ferit pada struktur mikro yang sesuai dengan diagram Fe-Fe₃C pada carbon 0.085%, dan juga kekerasan material yang sesuai dengan nilai standar AISI 1010.

Berdasarkan analisis penyebab utama dari kegagalan pada *gear* adalah adanya gaya eksternal yang besar tiba tiba menekan daerah *gear* sehingga terjadinya kerusakan pada *gear*, seperti jatuh dan terbentur, hal ini dibuktikan dengan terjadinya strain hardening pada material. Material yang mengalami pembebanan pada umumnya akan mengalami peningkatan tegangan dalam yang dikenal dengan *strain hardening*. Terjadinya *strain hardening* juga sangat dipengaruhi oleh seberapa besar beban luar yang dikenakan pada material tersebut. Beban yang dikenakan pada material akan menyebabkan material mengalami reaksi terhadap beban tersebut dengan mengalami deformasi yaitu mengalami regangan atau *strain* [9]. Selama regangan masih dalam batas kemampuan material untuk menahan, maka energi dari luar tersebut yang berupa beban akan digunakan oleh material untuk mengalami peregangan. Akibatnya energi dalam material akan meningkat. Atau hal ini dikenal dengan terjadinya *internal stress* atau tegangan dalam. Semakin besar tegangan dalam yang terjadi dapat menyebabkan kerusakan atau perpatahan pada material, jika tegangan tersebut melebihi kemampuan kekuatan dari material tersebut [10].

Selain itu penyebab kerusakan dikarenakan adanya gaya (beban) eksternal diperkuat dengan analisis simulasi desain yang membuktikan bahwa bada keadaan normal penggunaan motor seharusnya tidak akan terjadi deformasi plastis yang akan menyebabkan *gear* menjadi rusak dengan nilai maksimal von-Misses pada torsi 10 Nm dan torsi maksimal 14,5 Nm berada dibawah nilai *yield strength* material.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian didapatkan bahwa material pembuatan *gear* yaitu *low carbon steel* AISI 1010. Material ini memiliki 2 struktur umum yaitu perlit dan ferit yang sesuai dengan diagram Fe-Fe₃C dimana karbon sebesar 0,085% akan terbentuk perlit dan ferit. Terjadi *strain hardening* pada material *gear* yang menyebabkan kekerasan material di dekat daerah patahan meningkat dan *strain hardening* menyebabkan adanya tegangan sisa sehingga menyebabkan komponen patah atau mengalami kegagalan pada material jika tegangan tersebut melebihi kemampuan kekuatan dari material tersebut. Kegagalan yang terjadi pada *gear* ini bukan dikarenakan kesalahan pemilihan material. Kegagalan yang terjadi bisa saja disebabkan karena beban berlebihan yang diterima oleh *gear*, seperti jatuh, tertimpa, dan lain-lainnya.

5. Daftar Pustaka

- [1] Radzevich, S. P., "Dudley's Handbook of Practical Gear Design and Manufacture," CRC press, 2016.
- [2] Radzevich, S. P., "Dudley's Handbook of Practical Gear Design and Manufacture," CRC press, 2018.
- [3] Tsolakis, A. D., Giannakopoulos, K. I., & Gkertsos, A. S. "Failure Analysis of Performance Vehicle Mechanical Gear," *MATEC Web of Conferences*, 188, 04019. <https://doi.org/10.1051/mateconf>, 2018.
- [4] Errichello, R., & Muller, J., "How To Analyze Gear Failures," *Journal of Failure Analysis and Prevention*, 2(6), 8-16, 2002.
- [5] Liu, C. et al., "Fracture Failure Analysis of Gear Teeth," *Journal of Physics Conference Series*, 2206(1), p. 012036. Available at <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2206/1/012036>, 2022.
- [6] Babu, K., Arularasan, R., & Srinath Ramkumar, S., "Quenching Performance Of AISI 1010 In CNT Nanofluids," *Materials Today: Proceedings*, 4(10), 11044–11049. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.08.065>, 2017.
- [7] Rumiche, F., Indacochea, J. E., & Wang, M. L., "Assessment Of The Effect Of Microstructure On The Magnetic Behavior Of Structural Carbon Steels Using An Electromagnetic Sensor," *Journal of Materials Engineering and Performance*, 17(4), 586–593. <https://doi.org/10.1007/s11665-007-9184-2>, 2008.
- [8] Asia, A., Noerochim, L., & Rochiem, R., "Analisis Kegagalan Pada Shaft Gearbox Mesin Palletizer di Pt. Holcim Tbk. Tuban," *Jurnal Teknik ITS*, 7(1). <https://doi.org/10.12962/j23373539.v7i1.28298>, 2018.
- [9] Zheng, L., dkk., "Fracture Failure Analysis Of The Teeth Of Conjunction Gear Made of 20MnCr5S Steel," *Engineering Failure Analysis*, 134, p. 106006. Available at <https://doi.org/10.1016/j.engf.2022>.
- [10] W. D. Callister Jr, "Materials Science and Engineering an Introduction, 9th Edition," New Jersey: John Wiley & Sons, Inc, 2014.