

ANALISIS KARAKTERISTIK DAN STRUKTUR MIKRO HASIL *HEAT TREATMENT* MATERIAL RODA GIGI TRANSIMI MOBIL PRODUKSI DAIHATSU ASTRA 1000 CC MT TYPE ENGINE 1.0 L 1KR-FE 13

ROFIROH¹, AHMAD ISKANDAR², RIFAN ALAMSYAH³

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Tangerang
Jl. Perintis Kemerdekaan I/33 Cikokol-Tangerang
E-Mail : rofiroh@gmail.com

ABSTRAK

Mobil produksi Daihatsu Astra 1000 cc MT type Engine 1.0 L 1KR-FE 13 merupakan kendaraan dengan konsep *low cost green car* yang menggunakan sistem perpindahan daya berupa mekanisme roda gigi transmisi. Sistem roda gigi transmisi dibutuhkan untuk memperoleh karakteristik mesin yang mampu menghasilkan torsi yang besar. Salah satu cara untuk meningkatkan kualitas pada roda gigi transmisi melalui proses *heat treatment* untuk mendapatkan kualitas yang sesuai dengan standar dan ketangguhan yang tinggi. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen. Penelitian ini diawali dengan pengambilan sampel roda gigi transmisi mobil produksi Daihatsu Astra 1000 cc MT Type Engine 1.0 L 1KR-FE 13 untuk pengujian komposisi kimia, kekerasan dan struktur mikro. Proses *heat treatment* terdiri dari proses *hardening* kemudian proses *quenching* dengan media pendingin Oli SAE 40 dan proses *tempering*. Maka melalui penelitian ini, roda gigi transmisi setelah proses *heat treatment* diharapkan memiliki karakteristik dan struktur mikro yang meningkat sehingga kekuatan material yang dicapai maksimum dan mempunyai umur pakai yang lama. Setelah proses *heat treatment* dan pengujian hasil yang diperoleh berupa kekerasan dengan rata-rata 209,1 HV sebelum *heat treatment* menjadi 559,4 HV. Kandungan karbon dari 0,230 % sebelum *heat treatment* menjadi 0,260 % dengan menunjukkan adanya struktur martensit temper yang terdiri dari partikel-partikel sementit dalam matrik ferit dan sesuai dengan standar AISI 1023 dan mempunyai kekerasan dua kali lebih tinggi. Dengan hal ini menjadikan roda gigi tidak mudah rusak karena gesekan yang menyebabkan aus maupun patah akibat beban yang tinggi sehingga masa pakai menjadi lebih lama dan menghemat biaya akibat kerusakan.

Kata Kunci: *Heat treatment; Quenching; Tempering; Struktur Mikro; Kekerasan.*

ABSTRACT

The car produced by Daihatsu Astra 1000 cc MT Engine type 1.0 L 1KR-FE 13 is a vehicle with a low cost green car concept that uses a power transfer system in the form of a transmission gear mechanism. The transmission gear system is needed to obtain engine characteristics that are capable of producing large torque. One way to improve the quality of transmission gears is through a heat treatment process to obtain quality that meets high standards and toughness. The method used in this research is the experimental method. This research begins with taking a sample of the transmission gear of a car produced by Daihatsu Astra 1000 cc MT Type Engine 1.0 L 1KR-FE 13 for testing chemical composition, hardness and microstructure. The heat treatment process consists of a hardening process then a quenching process with SAE 40 oil cooling media and a tempering process. So through this research, the transmission gear after the heat treatment process is expected to have increased characteristics and microstructure so that the maximum strength of the material is achieved and has a long service life. After the heat treatment process and testing the results obtained in the form of hardness with an average of 209.1 HV before heat treatment to 559.4 HV. Carbon content from 0.230 % before heat treatment to 0.260 % by showing the presence of a tempered martensite structure consisting of cementite particles in a ferrite matrix and according to the AISI 1023 standard and has a hardness twice as high. With this, the gears are not easily damaged due to friction which causes wear or fracture due to high loads so that the service life becomes longer and saves costs due to damage.

Keywords: *Heat treatment; Quenching; Tempering; Micro Structure; Violence.*

1. PENDAHULUAN

Mobil produksi Daihatsu Astra 1000 cc MT type engine 1.0 L 1KR-FE 13 adalah salah satu mobil yang berkonsepkan *low cost green car*. Selain itu, mobil ini juga mempunyai kandungan lokal cukup Rofiroh, Ahmad Iskandar & Rifan Alamsyah

tinggi hampir 85 %, sehingga biaya impor menjadi minim (Putra A, Hufron M, 2016). Mobil 1000 cc ini termasuk mobil yang laris di jual di Indonesia dengan merek dagang Daihatsu Sibra, Daihatsu Ayla dan Toyota Agya. Pada tahun 2019 berdasarkan data

gabungan industri kendaraan bermotor, mobil Toyota Agya mampu terjual 25.081 unit, Daihatsu Sigra terjual 37.241 unit dan mobil Daihatsu Ayla terjual 17.016 unit.

Mogre (2017) menjelaskan bahwa mobil Indonesia sendiri terdapat dua jenis transmisi yaitu transmisi manual dan transmisi otomatis. Roda gigi adalah salah satu komponen dalam sistem transmisi. Roda gigi digunakan untuk meneruskan kecepatan, daya atau *torsi*. Roda gigi digunakan karena beberapa kelebihanannya, yaitu dapat meneruskan putaran dan daya yang lebih bervariasi, mampu untuk menahan beban lebih, tidak ada slip dalam pemindahan daya sehingga efisiensi tinggi dan perawatan lebih mudah. Roda gigi transmisi ketika digunakan dengan intensitas dan jangka waktu tertentu rentan mengalami penurunan kualitas maupun kerusakan yang diakibatkan oleh tekanan dan torsi yang cukup tinggi yang ditandai dengan munculnya suara kasar dan susah dalam memindahkan roda gigi transmisi. Kerusakan yang terjadi secara umum berupa keausan pada permukaan roda gigi transmisi dan patah roda gigi karena beban yang tinggi.

Kerusakan pada roda gigi transmisi dikarenakan penurunan sifat mekanik yang ditentukan oleh kandungan paduan yang terdapat di dalamnya, terdiri dari besi (Fe), karbon (C), Silikon (Si), Mangan (Mn), Fosfor (P) dan unsur lainnya. Kandungan unsur ini akan membentuk struktur mikro pada baja, sehingga dengan merubah komposisi akan mempengaruhi sifat mekaniknya. Selain itu perubahan struktur mikro juga dapat dilakukan dengan perlakuan panas.

Proses *heat treatment* (perlakuan panas) adalah salah satu proses untuk mengubah struktur logam. Dalam proses *heat treatment* roda gigi akan mengalami perlakuan panas sampai suhu austenitisasi, kemudian didinginkan secara cepat sehingga membentuk struktur martensit yang memiliki kekerasan lebih tinggi dibandingkan dengan struktur perlit dan ferrit (Nandar Saliro Wibowo, Nurato, 2018). Kemudian hasil yang didapat akan dibandingkan dengan standar yaitu baja AISI 1023.

Maka melalui penelitian ini, roda gigi transmisi mobil produksi Daihatsu Astra 1000 cc MT *type engine* 1.0 L 1KR-FE 13 dengan proses *heat treatment* memiliki karakteristik dan stuktur mikro yang meningkat sehingga kekuatan material yang dicapai maksimum dan mempunyai umur pakai yang lama.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen. Hasil yang didapatkan berupa perubahan yang terjadi pada komposisi kimia menggunakan spectrometer, struktur mikro dengan menggunakan pengamatan metalografi di bawah mikroskop optik, nilai kekerasan dengan menggunakan metode kekerasan.

Langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini dibagi menjadi tiga tahapan, yaitu tahapan awal penelitian, tahapan saat proses pengujian, dan tahapan setelah proses pengujian.

1. Tahapan awal penelitian

Tahapan awal penelitian yaitu tahapan sebelum proses pengujian yang meliputi studi literatur tentang penelitian, mempersiapkan bahan, dan meninjau tempat pengujian spesimen.

2. Tahapan saat proses pengujian

A. Proses perlakuan *heat treatment*

Proses *heat treatment* ini dilakukan di Laboratorium Pemesinan PT. Surya Sejahtera Metalindo lestari. Dilakukan dengan memanaskan spesimen terlebih dahulu hingga titik panas tertentu yang selanjutnya dilakukan proses pendinginan secara cepat pada media pendingin. Beberapa tahapan yang harus dilakukan dalam proses *heat treatment* adalah sebagai berikut:

- 1) Mempersiapkan roda gigi dan potong menjadi dua yaitu roda gigi transmisi *non treatment* (A) dan roda gigi transmisi *treatment* (B).
- 2) Menyiapkan oven pemanas.
- 3) Menyiapkan media *quenching* Oli SAE 40 ke dalam loyang yang bervolume 2 liter.
- 4) Memanaskan roda gigi transmisi *treatment* (B) ke dalam oven pemanas dengan temperatur 650° C ditahan selama 2 jam.
- 5) Temperatur dinaikan menjadi 870° C ditahan selama 5 jam.
- 6) Memasukkan roda gigi transmisi yang telah dipanaskan secara cepat ke dalam Loyang yang berisi media *quenching* oli selama 30 detik.
- 7) *Tempering* roda gigi transmisi dengan memanaskan kembali pada temperatur 300° C ditahan selama 3 jam.

B. Pengujian komposisi

Tujuan dari pengujian ini adalah mengetahui komposisi dasar dari suatu material. Pengujian ini dilakukan di B2TKS Puspitek dengan

menggunakan alat *Optical Emission Spectrometer*. Adapun Prosedur yang dilakukan pada pengujian komposisi adalah sebagai berikut:

- 1) Dipersiapkan spesimen untuk uji komposisi
- 2) Spesimen dilakukan proses polishing
- 3) Kemudian spesimen dipolish lagi dengan menggunakan autosol hingga terlihat seperti cermin
- 4) Kemudian dilakukan pengujian komposisi dengan menggunakan alat *Spectrometer*
- 5) Alat ini bekerja menggunakan prinsip pantulan cahaya ke spesimen uji.
- 6) Pantulan cahaya dari unsur akan langsung di input kedalam komputer dan akan dihasilkan data hasil komposisi

C. Pengujian struktur mikro.

Beberapa tahapan yang dilakukan dalam pengujian struktur mikro adalah sebagai berikut:

- 1) Siapkan sempel roda gigi transmisi *non treatment* (A) dan roda gigi transmisi *treatment* (B) dengan memotong sebagian kecil.
- 2) Roda gigi transmisi A dan B yang telah dipotong sesuai dengan kebutuhan ukuran pada alat uji struktur mikro selanjutnya dipolish untuk mendapatkan permukaan yang mengkilap.
- 3) Membersihkan roda gigi transmisi A dan B dengan menggunakan *autosol*. Tujuan dari hal ini adalah agar permukaan spesimen menjadi lebih mengkilap.
- 4) Roda gigi transmisi A dan B dicelupkan ke dalam larutan HNO_3 yang telah dicampur dengan alkohol dengan perbandingan HNO_3 sebesar 5 % dan alkohol sebesar 95 %. Selanjutnya dibilas dengan air mengalir.
- 5) Menyalakan mikroskop dan komputer dengan membuka *software* pada komputer.
- 6) Meletakkan roda gigi di atas meja mikroskop.
- 7) Mengamati foto dan melakukan pembesaran.
- 8) Pastikan proses pengambilan gambar, kondisi mikroskop sudah fokus pada gambar struktur.

- 9) Menganalisis gambar struktur dan memberikan ukuran serta keterangan pada gambar.

D. Pengujian kekerasan *vickers*.

Beberapa tahapan yang dilakukan dalam pengujian struktur mikro adalah sebagai berikut:

- 1) Mempersiapkan roda gigi transmisi *non treatment* (A) dan roda gigi transmisi *treatment* (B) yang telah melalui proses pengamplasan dan pemolesan.
- 2) Hidupkan alat uji kekerasan *micro hardness tester (vickers)* dan printer data hasil uji.
- 3) Lakukan kalibrasi *micro hardness tester*.
- 4) Letakkan spesimen pada meja uji.
- 5) Cekam roda gigi pada meja uji.
- 6) Lakukan pengamatan dengan mikroskop optic untuk menentukan titik yang akan diuji.
- 7) Setelah titik uji ditentukan, sentuh tombol *start* pada kontrol agar alat tersebut memulai melakukan pengujian.
- 8) Setelah penekanan pada spesimen selesai, lakukan pengamatan kembali menggunakan mikroskop optic untuk mengukur roda gigi A dan B.
- 9) Setelah hasil roda gigi A dan B ditentukan, cetak / print hasil pengujian dan nilai kekerasan.

3. Tahapan setelah proses pengujian

Tahapan setelah proses pengujian yaitu tahapan analisis data dan penarikan kesimpulan serta saran. Hasil pengujian kekerasan *vickers* disajikan dalam bentuk tabel dan untuk lebih mudahnya dibuatkan grafik. Hasil pengujian struktur mikro disajikan dalam bentuk gambar. Gambar dari hasil uji struktur mikro dideskripsikan berdasarkan analisis gambar yang telah dilakukan. Selanjutnya hasil pengujian tersebut dianalisis dan dicari rata-ratanya.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisis Karakteristik Material Sebelum *Heat Treatment*

Analisis karakteristik material sebelum *heat treatment* terdiri dari pengujian komposisi kimia, pengujian kekerasan dan pengujian struktur mikro.



Gambar 1. Roda gigi transmisi sebelum *heat treatment*

Tabel 1. Hasil uji komposisi kimia roda gigi sebelum *heat treatment*

Sumber: Laboratorium Material Teknik B2TKS BPPT

NO	Unsur	Kandungan Unsur (wt %)
1	Fe	100
2	C	0.230
3	Mn	0.783
4	P	0.0316
5	S	0.0140
6	Si	0.223
7	Cr	1.04
8	Mo	0.0290
9	Ni	0.0553
10	Al	0.0198
11	Co	0.0167
12	Cu	0.108
13	Nb	0.0214
14	Ti	0.0070
15	V	0.0076
16	W	0.0094
17	Pb	0.0268

Specimen roda gigi transmisi *non treatment* dilakukan di laboraterium BPPT Puspitek Tangerang Selatan pada tanggal 24 Agustus 2020. Data hasil pengujian kemudian dianalisis.

Pengujian komposisi kimia dilakakukan dengan standar E-1086-14 di laboraterium BPPT Puspitek Tangerang Selatan. Jenis alat spectrometer yang digunakan adalah Optical Emission Spectrometer. Berikut merupakan tabel hasil pengujian mobil produksi Daihatsu Astra 1000 cc Tipe *Engine MT*.

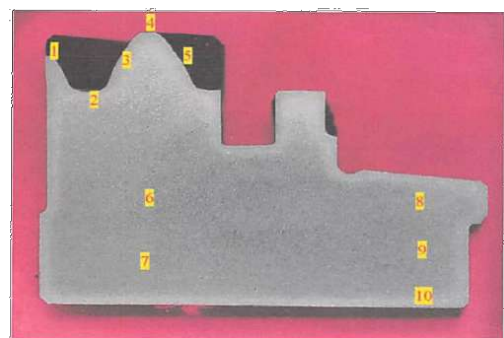
Komposisi kimia suatu bahan sangat mempengaruhi sifat-sifat mekanis dan fisik dari baja itu sendiri. Kandungan karbon di dalam roda gigi transmisi sebelum *heat treatment* adalah 0,230 %. Dengan kandungan tersebut menunjukkan roda gigi transmisi masuk dalam klasifikasi baja karbon rendah (*low carbon steel*). Unsur karbon dalam baja dapat

meningkatkan kekuatan dan kekerasan dan kekuatan baja.

Kandungan mangan (Mn) di dalam dalam roda gigi transmisi sebelum *heat treatment* adalah 0.783 %. Penambahan unsur mangan (Mn) dalam baja dapat menaikkan kekuatan tarik tanpa mengurangi regangan, sehingga baja dengan penambahan mangan memiliki sifat kuat dan ulet.

Kandungan fospor (P) di dalam roda gigi transmisi sebelum *heat treatment* adalah 0.0316 %. Kandungan fosfor sebagai bahan pengotor dan kehadirannya tidak diinginkan. Kandungan sulfur yang melebihi 0,050 % mengakibatkan kerapuhan dan mengurangi kemampuan las. Sedangkan fosfor jika kandungannya kurang dari 1 % maka akan terlarut dalam baja dan jika berlebih akan membentuk *iron phosphide* yang sifatnya rapuh. Sama dengan fospor (P), kandungan sulfur sebagai bahan pengotor dan kehadirannya tidak diinginkan. Kandungan sulfur (S) di dalam roda gigi sebelum *treatment* sebesar 0.0140 %.

Hasil uji kekerasan sebelum *heat treatment* sebanyak 10 titik, yaitu pada daerah permukaan dan daerah tengah roda gigi. Pengujian kekerasan memiliki spesifikasi metode hardness vicker dengan mesin Future Tech FM - 810 dengan beban 5 kgf. Berikut tabel hasil kekerasan roda gigi transmisi sebelum *heat treatment* pada Tabel 1.



Gambar 2 Pengambilan titik kekerasan

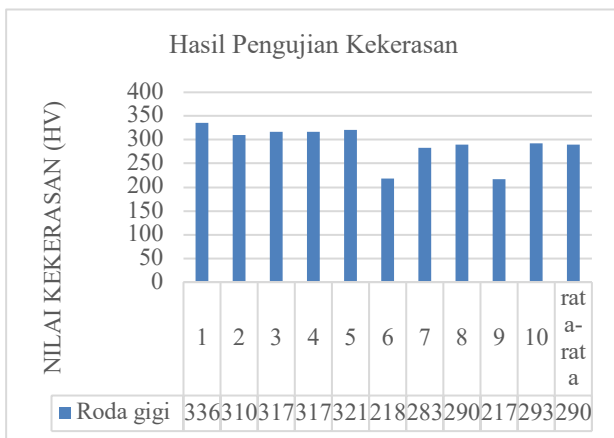
Sumber: Laboratorium Material Teknik B2TKS BPPT

Pengujian kekerasan dilakakukan dengan setandar ASTM E384 dengan mengambil 10 titik, dengan menggunakan metode harness vicker. Dari data di atas diketahui bahwa roda gigi *non-treatment* mempunyai harga kekerasan dengan rata-rata 290,1 HV dengan nilai terendah di titik 9 sebesar 217 HV dan nilai tertinggi di titik 1 sebesar 336 HV.

Tabel 1. Hasil kekerasan roda gigi transmisi sebelum *heat treatment*
Sumber: Laboratorium Material Teknik B2TKS BPPT

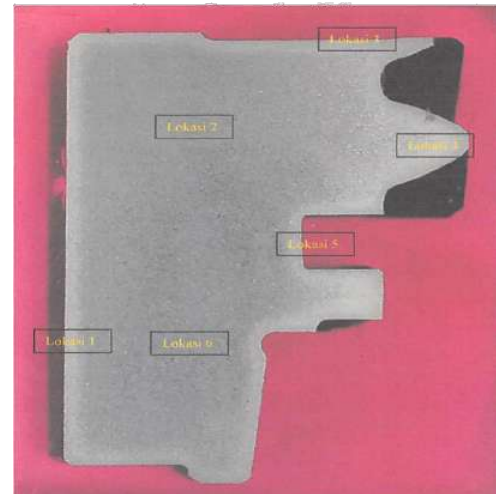
NO	Nilai Kekerasan (HV)
1	336
2	309,5
3	317
4	317
5	321
6	218
7	283
8	289,5
9	217
10	293
Rata-rata	290,1

Dari Tabel 2 di atas menunjukkan roda gigi transmisi dari titik 1 sampai 10 hanya di titik 6 dan 9 yang memiliki haraga kekerasan paling rendah, hal tersebut dikarenakan titik 6 dan 9 merupakan titik yang berada di tengah roda gigi, sehingga pada saat roda gigi mendapatkan perlakuan panas, temperature pusat roda gigi lebih lama untuk mencapai temperature kerja dibandingkan bagian permukaan roda gigi, sehingga struktur inti lebih lunak dibandingkan permukaan.



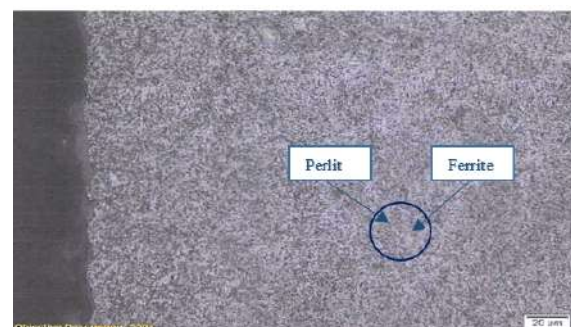
Gambar 3. Hasil kekerasan roda gigi transmisi sebelum *heat treatment*
Sumber: Laboratorium Material Teknik B2TKS BPPT

Analisis hasil uji struktur mikro sebelum *heat treatment* dilakukan sebanyak 6 lokasi, yaitu pada daerah permukaan dan daerah tengah roda gigi.



Gambar 4 Lokasi pengambilan struktur mikro
Sumber: Laboratorium Material Teknik B2TKS BPPT

Pengujian struktur mikro yang dilakukan memiliki spesifikasi dengan setandar ASTM E 407-07(2015)e1 menggunakan alat mikroskop OLYMPUS dengan software Olympus steam di BPPT Puspitek Tangerang Selatan.

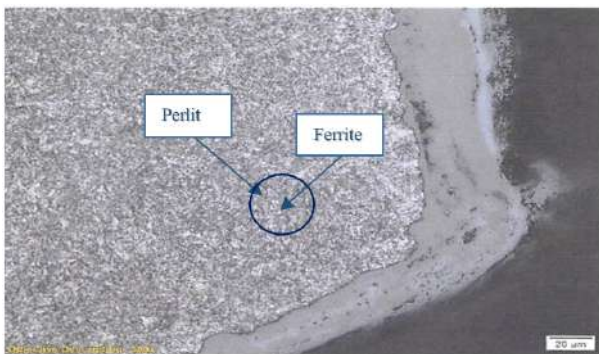


Gambar 5. Lokasi 1 pengambilan struktur mikro
Sumber: Laboratorium Material Teknik B2TKS BPPT

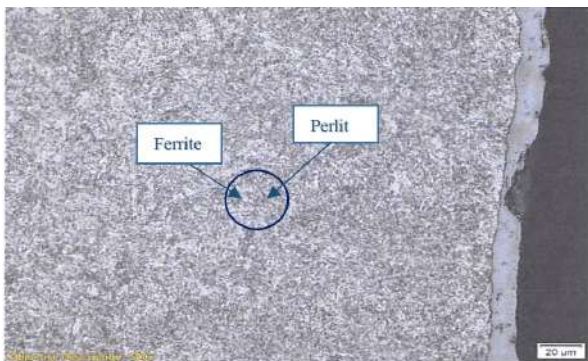
Pada foto mikro dengan pembesaran 500x, dapat dilihat bahwa susunan struktur mikro terdiri dari perlit dan ferit. Struktur perlit yang berlapis-lapis (*lamellar*). Struktur perlit ini diperoleh karena komposisi material yang digunakan pada penelitian ini mempunyai komposisi eutektoid. Dampak dari susunan perlit dan ferit berupa sifat material yang lunak



**Gambar 6. Lokasi 2 pengambilan struktur mikro
Sumber: Laboratorium Material Teknik B2TKS
BPPT**



**Gambar 7. Lokasi 3 pengambilan struktur mikro
Sumber: Laboratorium Material Teknik B2TKS
BPPT**



**Gambar 8. Lokasi 4 pengambilan struktur mikro
Sumber: Laboratorium Material Teknik B2TKS
BPPT**

Struktur mikro berwarna terang merupakan ferit dan yang gelap merupakan perlit. Karakteristik dari struktur mikro adalah bentuknya relatif kasar dan tidak seragam antara bagian luar dengan bagian dalam karena adanya perbedaan kecepatan pendinginan antara bagian luar dengan bagian dalam.

Dalam struktur perlit, salah satu faktor yang banyak menentukan kekuatan dan kekerasan dari perlit adalah *lamellar spacing* yaitu jarak antara lamel



ferit dengan perlit. Semakin kecil *lamellar spacing* maka semakin kuat dan keras.

**Gambar 9. Lokasi 5 pengambilan struktur mikro
Sumber: Laboratorium Material Teknik B2TKS
BPPT**



**Gambar 10. Lokasi 6 pengambilan struktur mikro
Sumber: Laboratorium Material Teknik B2TKS
BPPT**

3.2 Analisis Karakteristik Material Sesudah *Heat Treatment*

Analisis karakteristik material sebelum *heat treatment* terdiri dari pengujian komposisi kimia, pengujian kekerasan dan pengujian struktur mikro.



Gambar 1. Specimen roda gigi transmisi sesudah heat treatment

Specimen roda gigi transmisi sesudah *heat treatment* dilakukan di laboraterium BPPT Puspitek Tangerang Selatan pada tanggal 24 Agustus 2020. Data hasil pengujian kemudian dianalisis.

Analisis komposisi kimia Sesudah *Heat Treatment* dilakukan dengan standar E-1086-14 di laboraterium BPPT Puspitek Tangerang Selatan. Jenis alat spectrometer yang digunakan adalah Optical Emission Spectrometer. Adapun komposisi kimia material roda gigi transmisi mobil produksi Daihatsu Astra 1000 cc MT *type engine* 1.0 L 1KR-FE 13 yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 3 berikut.

Tabel 2. Hasil uji komposisi kimia roda gigi sesudah *heat treatment*

Sumber: Laboratorium Material Teknik B2TKS BPPT

NO	Unsur	Kandungan Unsur (wt %)
1	Fe	100
2	C	0.260
3	Mn	0.708
4	P	0.0296
5	S	0.0194
6	Si	0.218
7	Cr	1.04
8	Mo	0.0301
9	Ni	0.0703
10	Al	0.0311
11	Co	0.0174
12	Cu	0.145
13	Nb	0.0205
14	Ti	0.0065
15	V	0.0097
16	W	0.0113
17	Pb	0.0311

Komposisi kimia suatu bahan sangat mempengaruhi sifat-sifat mekanis dan fisik dari baja itu sendiri. Kandungan karbon di dalam roda gigi transmisi sebelum *heat treatment* adalah 0,260 %. Dengan kandungan tersebut menunjukkan roda gigi transmisi masuk dalam klasifikasi baja karbon rendah (*low carbon steel*). Unsur karbon dalam baja dapat meningkatkan kekuatan dan kekerasan dan kekuatan baja.

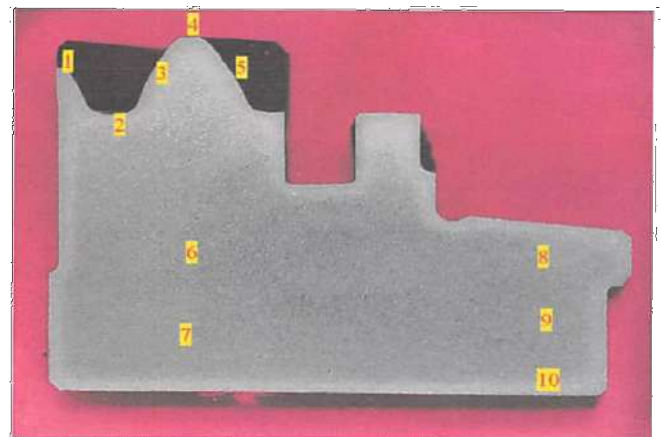
Kandungan mangan (Mn) di dalam dalam roda gigi transmisi sebelum *heat treatment* adalah 0.708 %. Penambahan unsur mangan (Mn) dalam baja dapat menaikkan kekuatan tarik tanpa

mengurangi regangan, sehingga baja dengan penambahan mangan memiliki sifat kuat dan ulet.

Kandungan fosfor (P) di dalam roda gigi transmisi sebelum *heat treatment* adalah 0.0296 %. Kandungan fosfor sebagai bahan pengotor dan kehadirannya tidak diinginkan. Kandungan sulfur yang melebihi 0,050 % mengakibatkan kerapuhan dan mengurangi kemampuan las. Sedangkan fosfor jika kandungannya kurang dari 1 % maka akan terlarut dalam baja dan jika berlebih akan membentuk *iron phosphide* yang sifatnya rapuh. Sama dengan fosfor (P), kandungan sulfur sebagai bahan pengotor dan kehadirannya tidak diinginkan. Kandungan sulfur (S) di dalam roda gigi sebelum *treatment* sebesar 0.0194 %.

Analisis hasil uji kekerasan sesudah *heat treatment* dilakukan sebanyak 10 titik, yaitu pada daerah permukaan dan daerah tengah roda gigi. Pengujian kekerasan yang dilakukan memiliki spesifikasi sebagai berikut :

1. Metode : Hardness vicker
2. Mesin : Future Tech FM - 810
3. Beban : 5 kgf



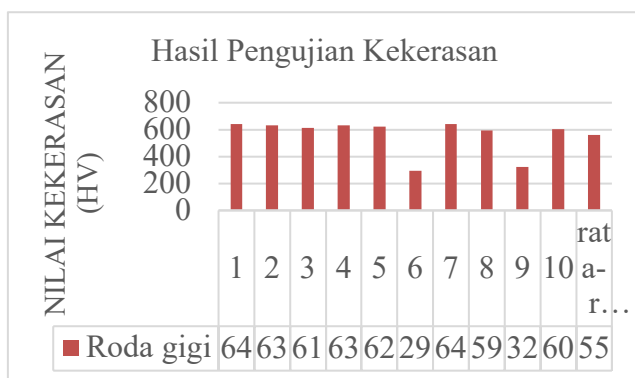
Gambar 2. Pengambilan titik pengujian kekerasan
Sumber: Laboratorium Material Teknik B2TKS BPPT

Pengujian kekerasan dilakakukan dengan setandar ASTM E384 dengan mengambil 10 titik, dengan menggunakan metode harness vicker. Dari data di atas diketahui bahwa roda gigi sesudah *treatment* mempunyai harga kekerasan dengan rata-rata 559,4 HV dengan nilai terendah di titik 6 sebesar 296 HV dan nilai tertinggi di titik 1 sebesar 642 HV.

Tabel 3. Hasil kekerasan roda gigi transmisi sesudah *heat treatment*
Sumber: Laboratorium Material Teknik B2TKS BPPT

NO	Nilai Kekerasan (HV)
1	642
2	632
3	612
4	632
5	622
6	296
7	642
8	593
9	321
10	602
Rata-rata	559.4

Dari Tabel 4 di atas menunjukkan roda gigi transmisi dari titik 1 sampai 10 hanya di titik 6 dan 9 yang memiliki harga kekerasan paling rendah, hal tersebut dikarenakan titik 6 dan 9 merupakan titik yang berada di tengah roda gigi, sehingga pada saat roda gigi mendapatkan perlakuan panas, temperature pusat roda gigi lebih lama untuk mencapai temperature kerja dibandingkan bagian permukaan roda gigi, sehingga struktur inti lebih lunak dibandingkan permukaan.

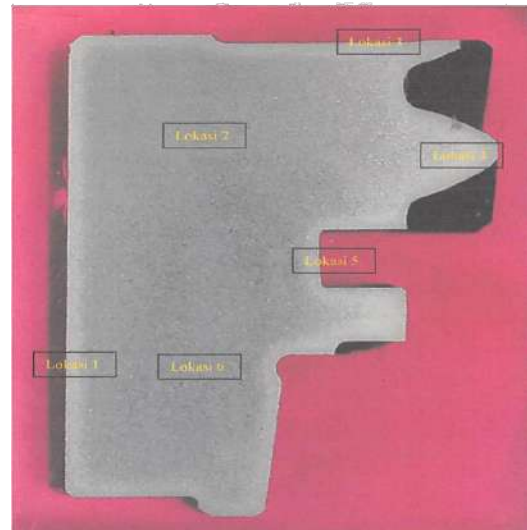


Gambar 3. Hasil kekerasan roda gigi transmisi sesudah *heat treatment*
Sumber: Laboratorium Material Teknik B2TKS BPPT

Titik 1, 2, 3, 4, 5, dan titik 8 merupakan daerah permukaan atas roda gigi dan titik 7 dan 10 merupakan daerah permukaan bawah roda gigi transmisi. Maka dengan proses *heat treatment*

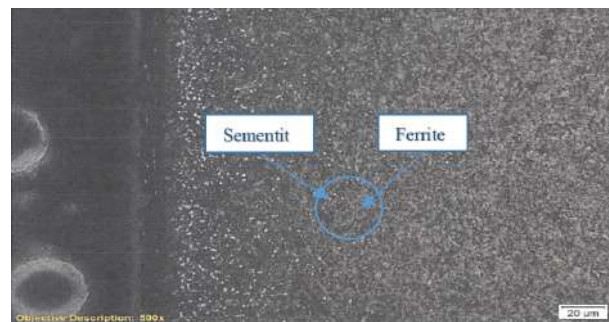
material roda gigi transmisi mengalami kenaikan yang cukup tinggi dengan hasil maksimal maka kualitas dan umur pakai menjadi lebih lama.

Analisis hasil pengujian struktur mikro sesudah *heat treatment* dilakukan sebanyak 6 lokasi, yaitu pada daerah permukaan dan daerah tengah roda gigi.



Gambar 4. Lokasi pengambilan struktur mikro
Sumber: Laboratorium Material Teknik B2TKS BPPT

Pengujian struktur mikro yang dilakukan memiliki spesifikasi dengan standar ASTM E 407-07(2015)e1 menggunakan alat mikroskop OLYMPUS dengan software Olympus steam di BPPT Puspittek



Tangerang Selatan.

Gambar 5. Struktur mikro posisi 1 roda gigi sesudah *treatment* dengan proses *tempering* temperatur 300 °C (500x pembesaran).

Sumber: Laboratorium Material Teknik B2TKS BPPT

Dari gambar di atas terlihat bahwa proses *tempering* yang dilakukan pada temperatur 300 °C akan merubah martensit hasil proses *quencing* menjadi martensit temper yang terdiri dari partikel-partikel sementit dalam matrik ferit. Pada *tempering*

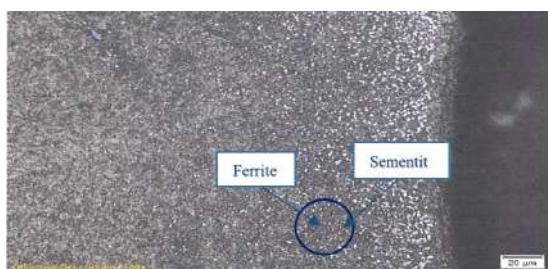
dengan temperatur ini, atom karbon dari martensit akan keluar membentuk partikel sementit yang menyebabkan kekerasannya menjadi turun. Penurunan kekerasan ini akan dibarengi dengan naiknya keuletan dan ketangguhan. Dengan hal ini menjadikan roda gigi tidak mudah rusak karena gesekan yang menyebabkan aus maupun patah akibat beban yang tinggi sehingga masa pakai menjadi lebih lama dan menghemat biaya akibat kerusakan.



Gambar 6. Struktur mikro posisi 2 roda gigi sesudah *treatment* dengan proses *tempering* temperatur 300 °C (500x pembesaran).

Sumber: Laboratorium Material Teknik B2TKS BPPT

Pada tempering dengan temperatur 3000 °C, partikel sementit yang terbentuk dalam bentuk kecil dan tersebar dalam matrik ferit. Keluarnya karbon dari martensit menyebabkan ketegangan martensit menjadi berkurang dan kekerasannya semakin berkurang. Partikel sementit menjadi lebih besar ketika temperatur tempering ditingkatkan.

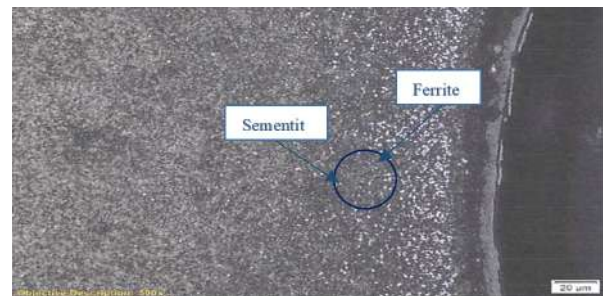


Gambar 17. Struktur mikro posisi 3 roda gigi sesudah *treatment* dengan proses *tempering* temperatur 300 °C (500x pembesaran).

Sumber: Laboratorium Material Teknik B2TKS BPPT

Terdiri dari partikel sementit yang terbentuk dalam bentuk kecil dan tersebar dalam matrik ferit. Partikel sementit yang menyebabkan kekerasannya menjadi turun.

Penurunan kekerasan ini akan dibarengi dengan naiknya keuletan dan ketangguhan



Gambar 18. Struktur mikro posisi 4 roda gigi sesudah *treatment* dengan proses *tempering* temperatur 300 °C (500x pembesaran).

Sumber: Laboratorium Material Teknik B2TKS BPPT

Terdiri dari partikel sementit dan ferit. Partikel sementit yang menyebabkan berkurangnya kekuatan tarik selain itu sementit juga mengontrol kerapuhan dan kekerasan. Ferit menyebabkan struktur yang lembut dan sangat magnetik.

Dari Gambar 19 dan 20 terlihat bahwa proses *tempering* yang dilakukan pada temperatur 300 °C akan merubah martensit hasil proses *quencing* menjadi martensit temper yang terdiri dari partikel-partikel sementit dalam matrik ferit. Pada *tempering* dengan temperatur ini, atom karbon dari martensit akan keluar membentuk partikel sementit yang menyebabkan kekerasannya menjadi turun. Penurunan kekerasan ini akan dibarengi dengan naiknya keuletan dan ketangguhan. Dengan hal ini menjadikan roda gigi tidak mudah rusak karena gesekan yang menyebabkan aus maupun patah akibat beban yang tinggi sehingga masa pakai menjadi lebih lama dan menghemat biaya akibat kerusakan



Gambar 7. Struktur mikro posisi 5 roda gigi sesudah *treatment* dengan proses *tempering* temperatur 300 °C (500x pembesaran).



Sumber: Laboratorium Material Teknik B2TKS BPPT

Gambar20. Struktur mikro posisi 6 roda gigi sesudah *treatment* dengan proses *tempering* temperatur 300 °C (500x pembesaran).

Sumber: Laboratorium Material Teknik B2TKS BPPT

3.3 Analisis Perbandingan Hasil *Heat Treatment* Dengan AISI 1023

Analisis perbandingan hasil merupakan perbandingan antara material roda gigi transmisi mobil produksi Daihatsu Astra 1000 cc MT *type engine* 1.0 L 1KR-FE 13 dengan standar pabrikan yaitu AISI 1023. Analisis perbandingan hasil pengujian komposisi kimia dilakukan dengan standar E – 1086 - 14 di laboraterium BPPT Puspitek Tangerang Selatan. Jenis alat spectrometer yang digunakan adalah Optical Emission spectrometer. Data hasil pengujin terdiri dari sempel material roda gigi transmisi sebelum *heat treatment* (A) dan sempel material roda gigi transmisi sesudah *heat treatment* (B) dapat dilihat pada Tabel 5.

Komposisi kimia suatu bahan sangat mempengaruhi sifat-sifat mekanis dan fisik dari baja itu sendiri. Unsur karbon dalam baja dapat meningkatkan kekuatan dan kekerasan dan kekuatan baja. Kandungan unsur besi di dalam roda gigi sebelum *heat treatment* 100 %, roda gigi *heat treatment* 100 % dan standar AISI 1023 sebesar 99.06 – 99.51 %. Jadi material roda gigi transmisi mobil produksi Daihatsu Astra 1000 cc MT *type engine* 1.0 L 1KR-FE 13 berupa baja paduan dengan unsur utama berupa besi dengan kandungan 100 %.

Kandungan karbon di dalam roda gigi sebelum *heat treatment* 0,230 %, roda gigi sesudah *heat treatment* 0.260 % dan standar AISI 1023 sebesar 0.190 - 0.250 %. Jadi roda gigi transmisi sudah sesuai dengan standar, namun mengalami peningkatan setelah *heat treatment* sebesar 0.030 %. Penambahan unsur mangan (Mn) dalam baja dapat menaikkan kekuatan tarik tanpa mengurangi regangan, sehingga baja memiliki sifat kuat dan ulet.

Tabel 4. Hasil Uji Komposisi Kimia Roda Gigi Transmisi
Sumber: Laboratorium Material Teknik B2TKS BPPT

NO	Unsur	Kandungan Unsur (%)		
		Roda Gigi (A)	Roda Gigi (B)	AISI 1023
1	Fe	100	100	99.06 – 99.51
2	C	0.230	0.260	0.190 - 0.250
3	Mn	0.783	0.708	0.300 - 0.600
4	P	0.0316	0.0298	≤ 0.0400
5	S	0.0140	0.0194	≤ 0.0500
6	Si	0.223	0.218	-
7	Cr	1.04	1.04	-
8	Mo	0.0290	0.0301	-

Kandungan mangan (Mn) di dalam roda gigi sebelum *heat treatment* sekitar 0.783 %, roda gigi *treatment* 0.708 % dan standar AISI 1023 sebesar 0.300 - 0.600 %. Jadi roda gigi transmisi melebihi dengan standar, namun mengalami penurunan setelah *heat treatment* sebesar 0.075 %.

Kandungan fosfor dan sulfur sebagai bahan pengotor dan kehadirannya tidak diinginkan. Kandungan sulfur yang melebihi 0,050 % mengakibatkan kerapuhan dan mengurangi kemampuan las. Sedangkan fosfor jika kandungannya kurang dari 1 % maka akan terlarut dalam baja dan jika berlebih akan membentuk iron phosphide yang sifatnya rapuh.

Kandungan fospor (P) di dalam roda gigi sebelum *heat treatment* sebesar 0.0316 %, roda gigi sesudah *heat treatment* sebesar 0.0298 % dan standar AISI 1023 sebesar 0.0400 %.

Kandungan sulfur (S) di dalam roda gigi sebelum *heat treatment* sebesar 0.0140 %, roda gigi sesudah *heat treatment* sebesar 0.0194 % dan standar AISI 1023 sebesar 0.0500 %. Jadi roda gigi transmisi kurang dari standar, namun mengalami peningkata setelah *heat treatment* sebesar 0.054 %.

Dari tabel terlihat bahwa komposisi kimia roda gigi transmisi hasil proses *treatment* sudah sesuai dengan standar yang ada. Semua unsur paduan yang ada prosentasenya masuk dalam *range* standar dan mengalami kenaikan unsur karbon yang membuat roda gigi transmisi mobil produksi Daihatsu Astra 1000 cc MT *type engine* 1.0 L 1KR-FE 13 lebih kuat, sehingga masa pakai lebih lama.

Tabel 5. Hasil perbandingan kekerasan roda gigi transmisi
Sumber: Laboratorium Material Teknik B2TKS BPPT

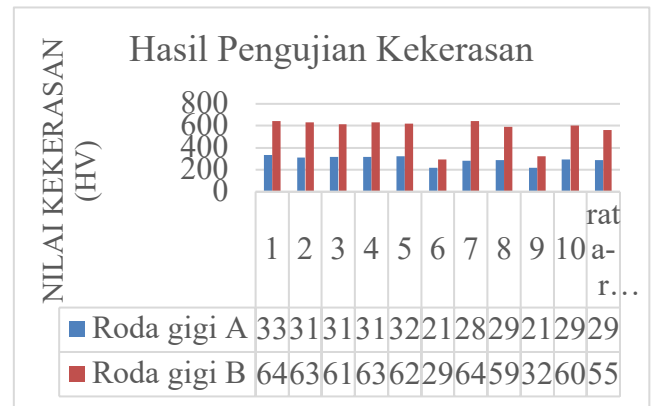
NO	Nilai Kekerasan (HV)		
	Roda Gigi (A)	Roda Gigi (B)	AISI 1023
1.	336	642	126
2.	309,5	632	
3.	317	612	
4.	317	632	
5.	321	622	
6.	218	296	
7.	283	642	
8.	289,5	593	
9.	217	321	
10.	293	602	
Rata-rata	290,1	559,4	126

Pengujian kekerasan dilakukan dengan mengambil 10 titik, dengan menggunakan metode harness vicker. Dari Tabel 6 menunjukkan roda gigi transmisi dari titik 1 sampai 10 hanya di titik 6 dan 9 yang memiliki harga kekerasan paling rendah, hal tersebut dikarenakan titik 6 dan 9 merupakan titik yang berada di tengah roda gigi, sehingga pada saat roda gigi mendapatkan perlakuan panas, temperature pusat roda gigi lebih lama untuk mencapai temperature kerja dibandingkan bagian permukaan roda gigi, sehingga struktur inti lebih lunak dibandingkan permukaan. Titik 1, 2, 3, 4, 5, dan titik 8 merupakan daerah permukaan atas roda gigi dan titik 7 dan 10 merupakan daerah permukaan bawah roda gigi.

Dari tabel di atas diketahui bahwa kekerasan rata-rata yang dihasilkan dari proses sebelum *heat treatment* adalah 290,1 HV dan setelah *heat treatment* dengan perlakuan akhir berupa *tempering* pada suhu 300 °C selama 3 jam adalah 559,4 HV. Perbedaan temperatur tempering akan menghasilkan tingkat kekerasan akhir yang berbeda. Semakin tinggi temperatur tempering maka kekerasan akhir yang didapat akan semakin rendah. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi temperatur *tempering*, maka akan semakin banyak atom karbon yang keluar dari struktur martensit menjadi martensit temper sehingga sehingga kekerasannya akan semakin turun.

Atom karbon yang keluar selama pemanasan pada proses tempering tersebut akan membentuk partikel sementit. Sementit dalam sistem paduan berbasis besi adalah *stoichiometric inter-*

metallic compound Fe₃C yang keras (*hard*) dan getas (*brittle*). Sementit sangat penting perannya di dalam membentuk sifat-sifat mekanik akhir baja. Sementit dapat berada di dalam sistem besi baja dalam berbagai bentuk seperti bentuk bola (*sphere*), bentuk lembaran (berselang seling dengan alfa-ferit), atau partikel-partikel karbida kecil.



Gambar 8. Hasil Pengujian Kekerasan Roda Gigi Transmisi.

Sumber: Laboratorium Material Teknik B2TKS BPPT

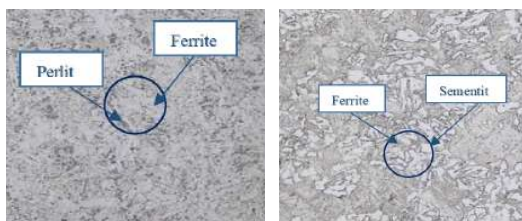
Bentuk, ukuran dan distribusi sementit ini dapat direkayasa melalui siklus pemanasan dan pendinginan. Roda gigi yang dihasilkan dari proses *tempering* memiliki kekerasan, keuletan dan ketangguhannya lebih tinggi. Dengan hal ini menjadikan roda gigi tidak mudah rusak karena gesekan yang menyebabkan aus maupun patah akibat beban yang tinggi sehingga roda gigi mempunyai masa pakai yang lebih lama dan menghemat biaya akibat kerusakan.

Sementara itu, pengujian struktur mikro roda gigi non-treatment adalah perlit yaitu struktur yang berlapis-lapis (*lamellar*) yang terdiri dari ferit dan sementit. Struktur perlit ini diperoleh karena komposisi material yang digunakan pada penelitian ini mempunyai komposisi eutektoid. Tetapi pada dasarnya baja roda gigi transmisi memiliki sifat yang tangguh dan memiliki kekerasan yang cukup tinggi. Struktur mikro berwarna terang merupakan ferit dan yang gelap merupakan perlit. Karakteristik dari struktur mikro adalah bentuknya relatif kasar dan tidak seragam antara bagian luar dengan bagian dalam karena adanya perbedaan kecepatan pendinginan antara bagian luar dengan bagian dalam. Dalam struktur perlit, salah satu faktor yang banyak menentukan kekuatan dan kekerasan dari perlit

adalah *lamellar spacing* yaitu jarak antara lamel ferit dengan perlit. Semakin kecil *lamellar spacing* maka semakin kuat dan keras struktur perlit tersebut.

Dari gambar di atas terlihat bahwa proses *tempering* yang dilakukan pada temperatur 300 °C akan merubah martensit hasil proses *quencing* menjadi martensit temper yang terdiri dari partikel-partikel sementit dalam matrik ferit. Pada *tempering* dengan temperatur ini, atom karbon dari martensit akan keluar membentuk partikel sementit. Keluarnya karbon ini disebabkan karena martensit yang dihasilkan dari proses *hardening* merupakan fasa metastabil yang akan membentuk fase yang lebih stabil apabila diberikan perlakuan panas.

Pada *tempering* dengan temperatur 3000 °C, partikel sementit yang terbentuk dalam bentuk kecil dan tersebar dalam matrik ferit. Keluarnya karbon dari martensit menyebabkan ketegangan martensit menjadi berkurang dan inilah yang menyebabkan kekerasannya semakin berkurang. Partikel sementit tersebut akan tumbuh menjadi lebih besar ketika temperatur *tempering* ditingkatkan. Proses yang terjadi selama *tempering* adalah proses difusi sehingga temperatur dan waktu memegang peranan yang sangat penting.



(a) Sebelum *treatment* (b) Sesudah *treatment*

Gambar 9. Perbandingan struktur mikro (a) sebelum dan (b) sesudah *treatment*

Sumber: Laboratorium Material Teknik B2TKS BPPT

Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi temperatur *tempering* maka sementit yang terbentuk akan tumbuh semakin besar. Tumbuhnya partikel sementit yang semakin besar tersebut menyebabkan berkurangnya daerah batas antara ferit dengan sementit sehingga menyebabkan kekerasannya menjadi turun. Penurunan kekerasan ini akan dibarengi dengan naiknya keuletan dan ketangguhan dari material yang ditemper tersebut. Dengan hal ini menjadikan roda gigi tidak mudah rusak karena gesekan yang menyebabkan aus maupun patah akibat beban yang tinggi sehingga masa pakai menjadi lebih lama dan menghemat biaya akibat kerusakan.

KESIMPULAN

Berdasarkan analisis permasalahan dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa :

1. Kerakeristik roda gigi sebelum *heat treatment* memiliki komposisi kimia berupa unsur karbon sebesar 0,230 %, unsur mangan 0,783 %, unsur fosfor sebesar 0,0316 % dan unsur sulfur sebesar 0,0140 %. Harga kekerasan dengan rata-rata 290,1 HV dan struktur material yang terbentuk berupa perlit yaitu struktur yang terdiri dari ferit dan sementit.
2. Kerakeristik roda gigi sesudah *heat treatment* memiliki komposisi kimia berupa unsur karbon sebesar 0.260 %, unsur mangan 0.708 %, unsur fosfor sebesar 0.0298 % dan unsur sulfur sebesar 0.0194 %. Harga kekerasan dengan rata-rata 559,4 HV dan struktur material yang terbentuk berupa martensit temper yang terdiri dari partikel-partikel sementit dalam matrik ferit.
3. Kerakeristik roda gigi sebelum dan sesudah *heat treatment* dengan standar AISI 1023 memiliki komposisi kimia berupa unsur karbon sebesar 0.190 - 0.250 %, unsur mangan 0.300 - 0.600 %, unsur fosfor sebesar 0.0400 %, unsur sulfur sebesar 0.0500 % dan kekerasan dengan rata-rata 126 HV, maka roda gigi transmisi sesuai dengan standar AISI 1023 dan roda gigi sesudah *heat treatment* mempunyai kekerasan dua kali lebih tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 2000, Workshop Manual ISUZU Motors Limited, Jakarta : PT. Isuzu Astra Motor Indonesia.
- Anonim, 1999, Daihatsu Training Center, Jakarta: PT. Daihatsu Astra Motor.
- Eriyanto, Aditya, 2005, Analisis Sistem Transmisi Manual Pada Mitsubishi L 300 (Tugas Akhir DIII), Progam Studi Teknik Mesin FT Universitas Negeri Semarang.
- Hafiz Fatir Hidayat. 2016. "Perawatan dan Perbaikan Transaxle Manual Toyota Limo". Laporan Tugas Akhir. Diploma III Teknik Mesin Politeknik Negeri Padang.
- Nandar Saro Wibowo, Nurato. 2018. Analisis Pengaruh Ketidakstabilan Temperatur Terhadap Hasil Kekerasan Meterial dari Proses Heat Treatment Piston.

-
- Nofriza, S.pd.10 Januari 2012. Modul Memperbaiki Sistem Transmisi. Jurnal Pendidikan Teknik Kendaraan Ringan.
- Novie Susanto, Ratna Purwaningsih, Iqbal Adnan Baharullah. 2017. Analisis pengaruh transmisi mobil manual dan otomatis terhadap tingkat kesulitan yang dihadapi peemudi pemula.
- Prof. Dr. Tjokorda Gede Tirta Nindya, ST., MT. 2017. DIKTAT Pemilihan Bahan Dan Proses.
- Sularso, Suga Kiyokatsu. 2004. Dasar Perancangan Dan Pemilihan Elemen Mesin.
- Sulistyo Indra. 2015. “*Overhaul* transmisi manual pada toyota kijang innova tipe G”. Laporan Tugas Akhir. Diploma III Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang.
- Toyota Motor Sales,U.S.A., INC. Manual Overhaul Transaxle.4&5 Speed.
- Widhiatmoko, Fajar, 2012, Transmisi Isuzu Panther tipe HI – GRADE (Tugas Akhir DIII), Progam Studi Teknik Mesin FT Universitas Negeri Semarang.