

## Analisis Perubahan Kekuatan dan Kekerasan Akibat Perlakuan Panas Pada Roda Gigi Imitasi Kendaraan Bermotor

Ismail Thamrin

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya  
Kampus Unsri Inderalaya Jalan Raya Palembang-Prabumulih km.32  
Inderalaya, Ogan Ilir Telp. (0711-580272)  
E-mail : irin13@plasa.com

### Abstrak

Sesuai dengan perkembangannya, dewasa ini banyak pengguna kendaraan bermotor menggunakan roda gigi imitasi untuk menggantikan roda gigi asli dikarenakan harga antara imitasi dan asli cukup jauh perbedaannya. Penelitian dilakukan untuk menganalisa dan membandingkan pengaruh-pengaruh apa saja yang terjadi pada *Front Sprockets Gear Motorcycle* imitasi sebelum dan setelah dilakukan perlakuan panas (*heat treatment*) serta pengerasan permukaan (*surface treatment*) dan setelah itu didinginkan (*quench*), dilanjutkan analisa tegangan yang terjadi dengan menggunakan FEM serta dampaknya terhadap kekuatan dan kekerasan. Dari pengujian terlihat peningkatan nilai kekerasan pada roda gigi imitasi. Roda gigi yang telah dilakukan perlakuan panas mengalami penurunan tegangan maksimum, yaitu dari  $1,888 \times 10^5 \text{ N/m}^2$  menjadi  $1,867 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ . Selanjutnya terjadi pula peningkatan faktor keamanan dari  $6,1 \times 10^3$  menjadi  $9,3 \times 10^3$ . Sedangkan untuk roda gigi yang mengalami *flame hardening* tidak mengalami perubahan tegangan maksimum, tetap pada tegangan  $1,888 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ . Untuk roda gigi tanpa perlakuan, tegangan maksimum yang sebesar  $1,904 \times 10^5 \text{ N/m}^2$  dan faktor keamanan yang terjadi adalah sebesar  $1 \times 10^4$ , ini membuktikan bahwa kemungkinan untuk terjadinya retak pada roda gigi asli sangat kecil dibandingkan dengan roda gigi yang telah mendapat perlakuan

*Kata kunci:* perlakuan panas, pengerasan permukaan, pendinginan, FEM

### Pendahuluan

Roda gigi merupakan salah satu komponen (*spare part*) yang terdapat pada kendaraan bermotor. Salah satunya adalah sebuah jenis roda gigi lurus, yaitu *Front Sprockets Gear Motorcycle*. Bahan dasarnya adalah baja karbon medium dengan kadar karbon 0,2% sampai dengan 0,5%. Di dalam proses kerjanya, roda gigi ini berfungsi untuk mentransmisikan daya dan penerus putaran dari *counter shaft* pada *gear box* melalui rantai ke *behind sprocket* roda bagian belakang. Beban yang berulang-ulang, gesekan yang diterima melalui rantai, serta pemakaian dalam kurun waktu yang cukup lama dapat menyebabkan *gear* ini mengalami keausan. Hal ini tentu dapat mengurangi kinerja putaran rantai dalam mentransmisikan daya ke roda.

Sesuai dengan perkembangannya, dewasa ini banyak pengguna kendaraan bermotor menggunakan roda gigi imitasi untuk menggantikan roda gigi asli dikarenakan harga antara imitasi dan asli cukup jauh perbedaannya. Seperti yang diketahui, saat ini banyak beredar komponen (suku cadang) imitasi, konsumen kesulitan membedakan komponen yang benar-benar asli dan komponen yang imitasi (palsu). Bahkan, kendati mengetahui produk bersangkutan bukan produk asli (*genuine parts*), banyak juga konsumen yang memilih produk imitasi sebagai bagian dari komponen yang dipasang pada kendaraannya, baik mobil maupun motor.

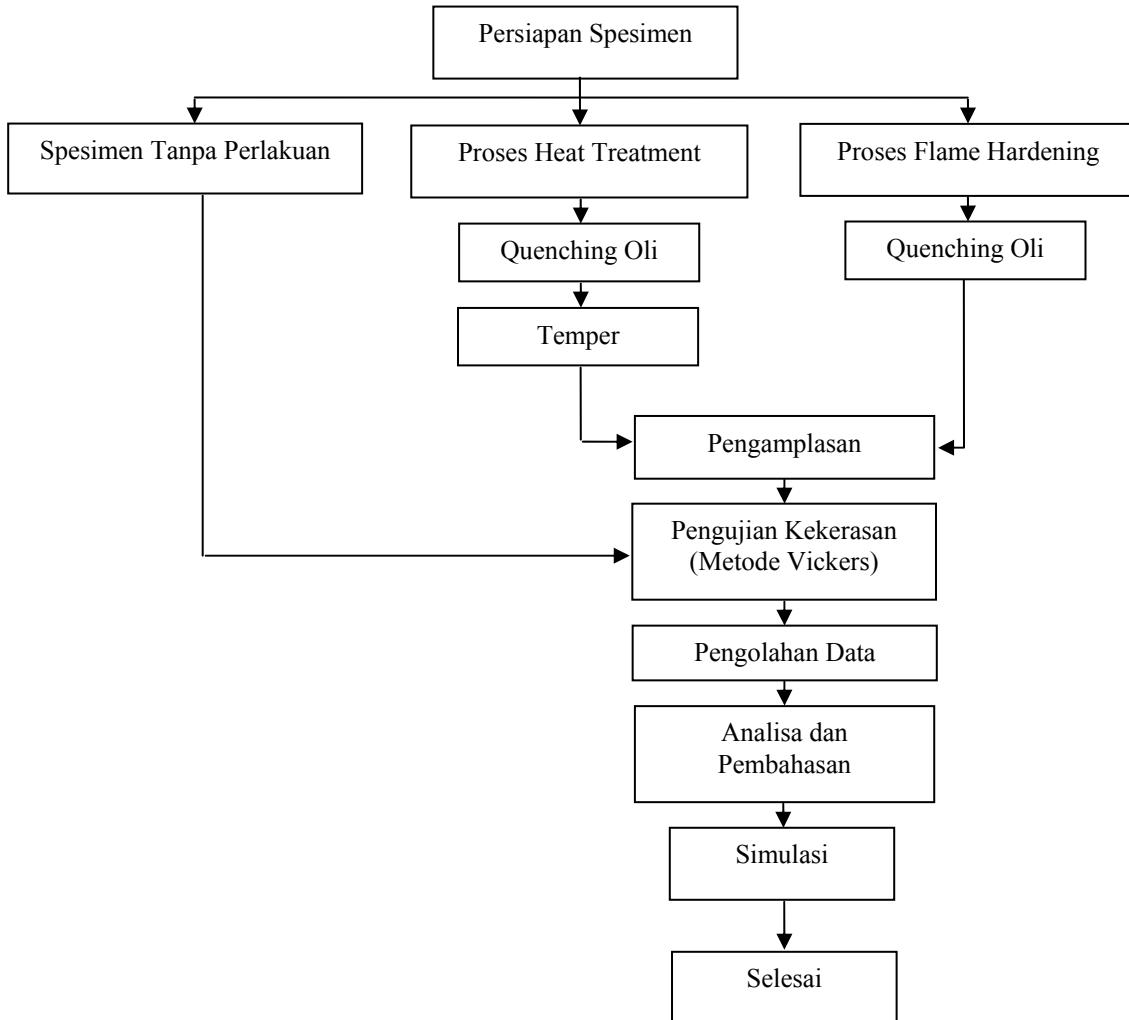
Untuk meningkatkan kekerasan dan kekuatan onderdil imitasi tersebut, beberapa bengkel memberikan perlakuan panas dengan jalan memanaskan roda gigi tersebut hingga menjadi merah, kemudian secara tiba-tiba memasukkannya ke dalam media pendingin berupa oli.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dampak-dampak yang terjadi akibat dilakukannya perlakuan panas pada roda gigi *Front Sprockets Gear Motorcycle*, dan mengevaluasi peningkatan kekuatan dan kekerasan roda gigi imitasi setelah mengalami perlakuan panas dengan roda gigi yang asli, serta menganalisa tegangan-regangan yang terjadi pada roda gigi imitasi tersebut dengan menggunakan bantuan *software CosmosWorks2005*.

Dalam penelitian ini digunakan dua buah roda gigi lurus bagian depan (*Front Sprockets Gear Motorcycle*) jenis imitasi saat sebelum dan sesudah mengalami perlakuan panas dan pengerasan permukaan. Dalam perhitungannya, dititik-beratkan pada distribusi tegangan yang terjadi, dengan melakukan simulasi menggunakan program komputer.

### Tahapan Pengujian

Penelitian ini dilakukan dengan metode eksperimental di Laboratorium dengan didukung oleh literatur-literatur yang menunjang. Metodelogi penelitian selengkapnya dapat dilihat pada diagram alir berikut ini :



Gambar 1. Diagram Alir prosedur Pelaksanaan Penelitian

### 1 Persiapan Spesimen

Dalam melakukan penelitian ini digunakan satu buah *front sprocket* yang asli dan dua buah *front sprocket* imitasi yang akan diuji dengan dimensi yang sama, yaitu :

Lebar muka	= 4 mm
Tebal gigi	= 5,4 mm
Radius kelengkungan	= 50,71°
Lebar antar gigi	= 8,8 mm
Jarak lingkaran puncak	= 12,5 mm
Jarak addendum	= 2,5 mm
Jarak dedendum	= 4 mm

## 2 Pengujian Komposisi Kimia

Pengujian komposisi kimia dilakukan di PT. Pupuk Sriwijaya Palembang, dan diperoleh komposisi kimia sebagai berikut :

**Tabel I Komposisi Kimia front sprocket Asli**

Unsur	% Berat
C	0.63
Fe	94.47
Mn	2.06
Ni	0.67
Pb	0.49
Ti	1.22

**Tabel II Komposisi Kimia front sprocket Imitasi**

Unsur	% Berat
C	0.45
Fe	95.76
Mn	1.87
Ni	0.97
Pb	0.13
Zr	0.11

## 3 Perlakuan Panas (*heat treatment*)

Perlakuan panas adalah proses menaikkan suhu logam sampai pada temperatur tertentu sehingga terjadi perubahan fasa, lalu didinginkan dengan menggunakan media tertentu sehingga terjadi perubahan struktur mikro. Akibat perubahan struktur mikro ini maka terjadi perubahan sifat mekanik. Tinggi temperatur pemanasan sangat tergantung pada komposisi kimia spesimen dan perubahan yang terjadi ditunjukkan pada diagram fasa dari unsur-unsur pembentuk material logam tersebut.

Spesimen B yang telah disiapkan akan diberikan proses perlakuan panas (*heat treatment*) pada percobaan ini, kecuali spesimen A yang merupakan *as received* tidak diberikan proses *heat treatment*. Adapun tujuannya adalah untuk mengetahui kualitas bahan yang sesungguhnya, karena dalam proses *heat treatment* akan terjadi perubahan fasa pada struktur mikro logam.

Dalam proses perlakuan panas yang akan dilakukan, spesimen akan dipanaskan mencapai suhu 800°C pada tungku *Hofmann*. Dengan demikian akan terjadi perubahan fasa pada struktur mikro logam (spesimen).

### a. Proses *flame hardening*

Pada dasarnya *flame hardening* sama dengan pengerasan induksi, yaitu pemanasan yang cepat disusul dengan pencelupan permukaan. Tebal lapisan yang mengeras tergantung pada kemampuan pengerasan bahan, karena selama penegerasan tidak ada penambahan unsur-unsur lainnya.

Pada pengujian ini, diterapkan pengerasan secara progresif untuk melakukan *flame hardening*, permukaan spesimen C dipanaskan menggunakan nyala *Oxy-aceteline* karena pemanasannya berlangsung lebih cepat.

### b. *Quenching* (Pencelupan Kejut)

*Quenching* merupakan proses perlakuan panas, dimana logam dipanaskan mencapai temperatur 800°-900° C kemudian dicelupkan kejut pada media (*quench*) yang dalam pengujian ini menggunakan oli (SAE 20W-50). Pada pengujian ini, yang diberi perlakuan *quench* adalah spesimen B dan C.

### c. *Tempering*

Setelah spesimen di (*quench*) akan memiliki tegangan sisa, bersifat rapuh dan keras, serta mudah patah, untuk itu perlu dilakukan pengeraaan lanjut untuk menghilangkan tegangan sisa dan sisa austenit agar logam tersebut tangguh dengan melakukan *tempering*. Dengan *temper*, kekerasan dikurangi sehingga mencapai nilai tertentu dan ketangguhan

menaik. Meskipun proses ini menyebabkan penurunan nilai kekerasan, namun proses ini dapat mengendalikan sifat fisis pada spesimen.

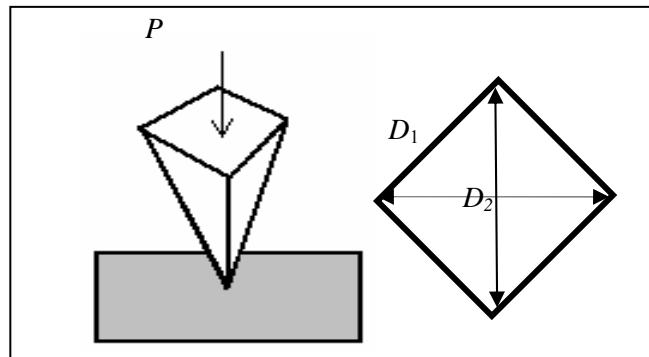
*Tempering* dilakukan dengan pemanasan kembali setelah di *quench* pada temperatur 160°-650° C, dalam hal ini *temper* dilakukan pada temperatur 600° C, dengan tujuan :

1. Mengurangi tegangan sisa akibat proses *quench*
2. Memperbaiki ketangguhan

#### 4 Pengujian Kekerasan

Sebelum melakukan pengujian kekerasan, spesimen terlebih dahulu diampas. Setelah itu dibersihkan dan dikeringkan dengan drier. Tujuan pengamplasan adalah untuk mendapatkan permukaan yang halus dan rata sehingga memudahkan dalam pengamatan karena metode yang digunakan dalam pengujian kekerasan ini adalah metode Vickers dengan menggunakan kapasitas beban 30 kgf. Klasifikasi mesin Vickers yang dipakai dalam pengujian ini adalah sebagai berikut : Vickers Hardness Tester, Type VKH-2E.

Pengujian kekerasan Vickers menggunakan indentor piramida intan yang berbentuk bujur sangkar dengan sudut antara dua bidang miring yang berhadapan adalah 136°. Pada pengujian ini benda uji ditekan dengan gaya yang telah ditetapkan pada alat uji Vickers yaitu 0,2 kg - 100 kg. Setelah piramida diangkat diagonal bekas penekanan dapat diukur. Seperti yang ditunjukkan pada gambar dibawah ini :



Gambar 2 Diagonal Bekas Penekanan Pada Pengujian Vickers

Dari gambar diatas maka didapat skala pengujian Vickers adalah sebagai berikut :

$$VHN = \frac{\text{Beban}}{\text{Luas Penekanan}} \quad VHN = 1,854 \frac{P}{\left[ \frac{D_1 + D_2}{2} \right]} \quad VHN = \frac{1,854 F}{D^2} \quad \dots(1)$$

dimana :       $VHN$     = Harga kekerasan Vickers  
                   $F$         = Beban yang digunakan (kgf)  
                   $D_1$       = Diagonal bekas penekanan arah horizontal (mm)  
                   $D_2$       = Diagonal bekas penekanan arah vertikal (mm)  
                   $D$         = Diagonal rata-rata bekas penekanan (mm)

Pada pengujian kekerasan ini, masing masing spesimen diuji sebanyak 10 kali pengujian pada 10 titik yang berbeda pada masing-masing spesimen. Tujuannya adalah agar kita bisa membandingkan tingkat kekerasan antara spesimen yang diuji.

#### 5 Analisa Tegangan Regangan dengan FEM

Analisa tegangan-regangan yang terjadi pada roda gigi imitasi tersebut dilakukan dengan bantuan *software* CosmosWorks2005. Untuk membuat model roda gigi, maka sebelumnya dibuka terlebih dahulu program *Camnetics* kemudian *GearTrax2003*, untuk memudahkan pekerjaan pembuatan roda gigi.

## Hasil dan Pembahasan

**Tabel III Data hasil Pengujian Vickers Spesimen A**

Titik	F (kgf)	D <sub>1</sub> (mm)	D <sub>2</sub> (mm)	D (mm)	D <sup>2</sup>	VHN	VHN rata-rata
1	30	0.265	0.263	0.264	0.069696	798.2093664	788.415267
2		0.262	0.268	0.265	0.070225	792.1965112	
3		0.268	0.267	0.267	0.071556	777.4582933	
4		0.269	0.267	0.268	0.071824	774.5600356	
5		0.264	0.269	0.267	0.071022	783.3038238	
6		0.261	0.265	0.263	0.069169	804.2909396	
7		0.263	0.264	0.264	0.069432	801.241498	
8		0.268	0.263	0.266	0.070490	789.2155298	
9		0.267	0.266	0.267	0.071022	783.3038238	
10		0.269	0.265	0.267	0.071289	780.3728485	

**Tabel IV Data hasil Pengujian Vickers Spesimen B dan C Sebelum Perlakuan**

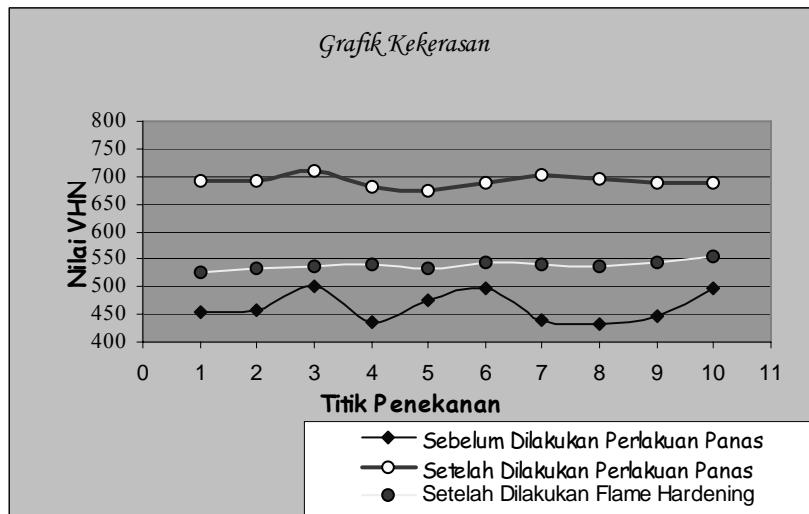
Titik	F Kgf	D <sub>1</sub> (mm)	D <sub>2</sub> (mm)	D (mm)	D <sup>2</sup>	VHN	VHN rata-rata
1	30	0.349	0.35	0.3495	0.1221502	455.4391006	464.2405809
2		0.346	0.351	0.3485	0.1214522	458.0565613	
3		0.342	0.324	0.333	0.110889	501.6908801	
4		0.357	0.356	0.3565	0.1270922	437.7292872	
5		0.343	0.34	0.3415	0.1166222	477.0273254	
6		0.336	0.334	0.335	0.112225	495.7184228	
7		0.354	0.356	0.355	0.126025	441.436223	
8		0.358	0.36	0.359	0.128881	431.6540064	
9		0.356	0.35	0.353	0.124609	446.4525034	
10		0.334	0.335	0.3345	0.1118902	497.2014988	

**Tabel V Data hasil Pengujian Vickers Spesimen B Setelah Perlakuan Panas**

Titik	F Kgf	D <sub>1</sub> (mm)	D <sub>2</sub> (mm)	D (mm)	D <sup>2</sup>	VHN	VHN rata-rata
1	30	0.282	0.285	0.2835	0.0803722	692.1792036	692.0235642
2		0.284	0.283	0.2835	0.0803722	692.1792036	
3		0.279	0.281	0.28	0.0784	709.5918367	
4		0.284	0.287	0.2855	0.0815102	682.5153892	
5		0.288	0.286	0.287	0.082369	675.3997256	
6		0.285	0.283	0.284	0.080656	689.7440984	
7		0.28	0.283	0.2815	0.0792422	702.0497273	
8		0.281	0.284	0.2825	0.0798062	697.0882606	
9		0.286	0.282	0.284	0.080656	689.7440984	
10		0.283	0.285	0.284	0.080656	689.7440984	

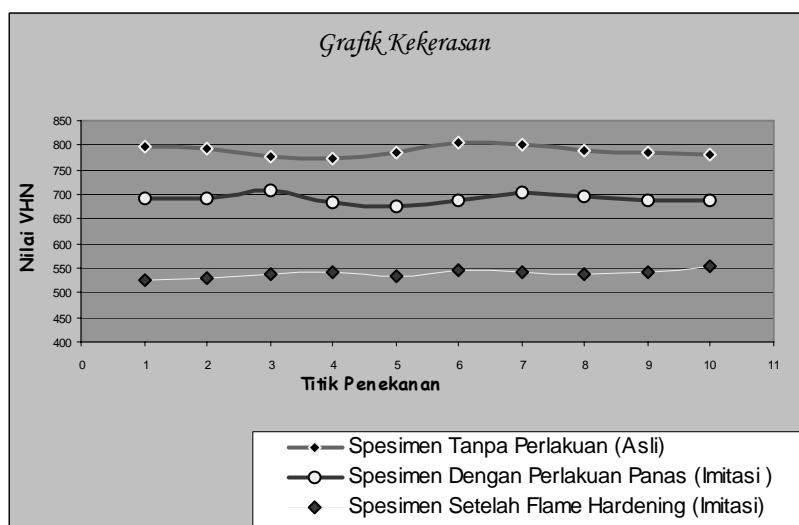
**Tabel VI Data hasil Pengujian Vickers Spesimen C Setelah *Flame Hardening***

Titik	F Kgf	D <sub>1</sub> (mm)	D <sub>2</sub> (mm)	D (mm)	D <sup>2</sup>	VHN	VHN rata-rata
1	30	0.323	0.328	0.3255	0.1059502	525.0766279	538.971546
2		0.325	0.322	0.3235	0.1046522	531.589144	
3		0.32	0.324	0.322	0.103684	536.5533737	
4		0.318	0.323	0.3205	0.1027202	541.5874669	
5		0.32	0.325	0.3225	0.1040062	534.890932	
6		0.317	0.322	0.3195	0.1020802	544.9829913	
7		0.319	0.321	0.3205	0.1027202	541.5874669	
8		0.316	0.318	0.322	0.103684	536.5533737	
9		0.322	0.319	0.32	0.1024	543.28125	
10		0.324	0.32	0.317	0.100489	553.6128332	



---

Gambar 3 Nilai Kekerasan Spesimen B dan C Sebelum dan Setelah Perlakuan Panas dan Flame Hardening



Gambar 4 Nilai Kekerasan Spesimen A, B dan C Setelah Perlakuan Panas dan Flame Hardening

1. Kekuatan maksimum ( $S_u$ )  
Dari beberapa taksiran yang telah dilakukan ternyata kekuatan mengalah dapat diperoleh melalui pengujian kekerasan yang telah dilakukan.  
 $S_u = 3,45 H_B \text{ (MPa)}$  ..... (2)
2. Kekuatan Luluh ( $S_y$ )  
 $S_y = 0,75 S_u \text{ (MPa)}$  ..... (3)  
➤ Spesimen A tanpa mengalami perlakuan :  
Kekerasan bahan :  $788,415267 \text{ VHN} = 710,346056 \text{ HB} \approx 710 \text{ HB}$   
Kekuatan tarik : 2665 MPa  
Kekuatan maksimum nya adalah :  
 $S_u = 3,45 H_B = 3,45 \cdot 710 = 2449,5 \text{ MPa}$   
 $S_y = 0,75 S_u = 0,75 \cdot 2449,5 = 1837,125 \text{ MPa}$
- Spesimen B dan C sebelum Perlakuan Panas :  
Kekerasan bahan :  $464,2405809 \text{ VHN} = 437,019416 \text{ HB} \approx 437 \text{ HB}$   
Kekuatan tarik : 1536 MPa  
Kekuatan maksimum nya adalah :  
 $S_u = 3,45 H_B = 3,45 \cdot 437 = 1507,65 \text{ MPa}$   
 $S_y = 0,75 S_u = 0,75 \cdot 1507,65 = 1130,73 \text{ MPa}$

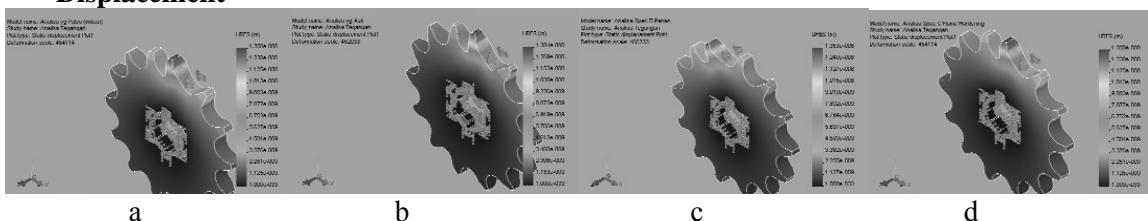
- Spesimen B yang mengalami Perlakuan Panas :  
 Kekerasan bahan :  $692,0235642 \text{ VHN} = 648,169967 \text{ HB} \approx 648 \text{ HB}$   
 Kekuatan tarik : 2318 MPa  
 Kekuatan maksimum nya adalah :  
 $S_u = 3,45 \text{ HB} = 3,45 \cdot 648 = 2235,6 \text{ MPa}$   
 $S_y = 0,75 S_u = 0,75 \cdot 2235,6 = 1676,7 \text{ MPa}$
- Spesimen C yang mengalami Pengerasan Flame Hardening :  
 Kekerasan bahan :  $538,971546 \text{ VHN} = 504,780333 \text{ HB} \approx 504 \text{ HB}$   
 Kekuatan tarik : 1765 MPa  
 Kekuatan maksimum nya adalah :  
 $S_u = 3,45 \text{ HB} = 3,45 \cdot 504 = 1738,8 \text{ MPa}$   
 $S_y = 0,75 S_u = 0,75 \cdot 1738,8 = 1304,1 \text{ MPa}$

### 3. Modulus Elastisitas (E) dan Modulus Geser (G)

Modulus elastisitas dari spesimen diambil dari modulus elastisitas baja karbon medium pada umumnya yaitu sekitar  $2,1 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$ .

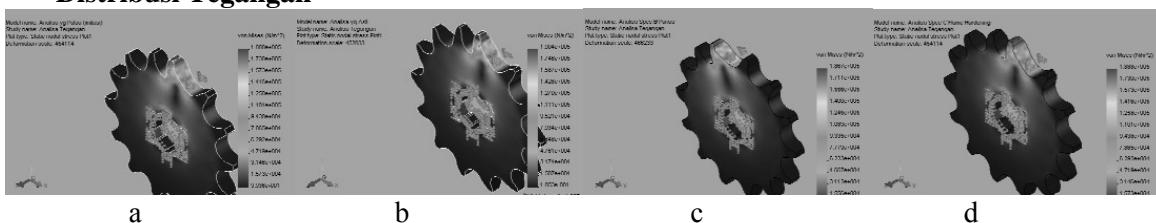
$$G = \frac{E}{2(1+v)} = 7,95 \times 10^{10} \text{ N/m}^2 \quad (4)$$

## Displacement



Gambar 5 Displacement; (a). Sebelum Perlakuan Panas, (b). Tanpa Perlakuan (c). Setelah Perlakuan Panas, (d). Setelah Flame Hardening

## Distribusi Tegangan



Gambar 4.5 Distribusi Tegangan; (a). Sebelum Perlakuan Panas, (b). Tanpa Perlakuan (c). Setelah Perlakuan Panas, (d). Setelah Flame Hardening

**Tabel VII Hasil Pengujian Kekerasan dan Kekuatan**

Tabel VII Hasil Pengujian Kekerasan dan Kekuatannya			
No	Spesimen	Kekerasan (VHN)	Kekuatannya (MPa)
1	Tanpa Perlakuan (Asli)	788.415267	2449,5
2	Sebelum Perlakuan Panas (Imitasi)	464.2405809	1507,65
3	Setelah Perlakuan Panas (Imitasi)	692.0235642	2235,6
4	Setelah Flame Hardening (Imitasi)	538.971546	1738,8

## Kesimpulan

Berdasarkan penelitian dan analisa yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari pengujian kekerasan yang telah dilakukan, terjadi peningkatan nilai kekerasan dan kekuatan pada roda gigi imitasi baik yang sudah mengalami perlakuan panas maupun *flame hardening*. Peningkatan kekerasan disebabkan karena fase austenit yang mengandung unsur karbon dirubah dalam bentuk larutan pada temperatur tinggi, menjadi fase martensit dengan pencelupan pada temperatur rendah. Spesimen yang mengalami *full hardening* akan bersifat getas dan baru dapat dipakai setelah diadakan penemperan untuk memperoleh keliatan walaupun kekuatannya agak menurun.
2. Dari hasil analisa program, ternyata roda gigi yang telah dilakukan perlakuan panas mengalami penurunan tegangan maksimum yang terjadi, yaitu dari  $1,888 \times 10^5 \text{ N/m}^2$  menjadi  $1,867 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ . Hal ini dapat menyebabkan kemungkinan untuk terjadinya retak pada roda gigi sesudah diperlakukan panas lebih kecil dibandingkan dengan sebelum mengalami perlakuan. Sedangkan untuk roda gigi yang mengalami *flame hardening* tidak mengalami perubahan tegangan maksimum, tetapi pada tegangan  $1,888 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ . Untuk roda gigi tanpa perlakuan, tegangan maksimum yang dimiliki lebih besar daripada roda gigi imitasi yang telah mendapat perlakuan, yaitu sebesar  $1,904 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ , ini membuktikan bahwa kemungkinan untuk terjadinya retak pada roda gigi asli sangat kecil dibandingkan dengan roda gigi imitasi lain.
3. Dari hasil analisa tegangan, Roda gigi yang telah dilakukan *heat treatment* Terjadi peningkatan faktor keamanan dari  $6,1 \times 10^3$  menjadi  $9,3 \times 10^3$  memiliki tingkat keamanan yang baik untuk dipakai pada kendaraan bermotor dalam berkendaraan. Sedangkan untuk roda gigi yang mengalami *flame hardening* terjadi peningkatan faktor keamanan menjadi  $6,9 \times 10^3$ , Untuk roda gigi tanpa perlakuan, faktor keamanan yang terjadi adalah sebesar  $9,6 \times 10^3$ .

## Daftar Pustaka

- 1) Courtney, H. Thomas, *Mechanical Behavior of Materials, McGra-Hill International Edition, Materials Science Series*, 1990
- 2) Gere, James M. *Mekanika Bahan*, Erlangga, Jakarta, 1996
- 3) Logan, Daryl L., *A First Course in the Finite Element Method*. PWS-KENT Publishing Company, Boston, 1992.
- 4) Shigley, Joseph E., *Perencanaan Teknik Mesin, Jilid I*, Erlangga, Jakarta, 1999.
- 5) Shigley, Joseph E., *Perencanaan Teknik Mesin, Jilid II*, Erlangga, Jakarta, 1999.
- 6) Suga, Kiyikatsu, Sularso, *Dasar Perencanaan Dan Pemilihan Elemen Mesin*, Pradya Paramita, Jakarta, 1991.