

## ANALISIS DISTRIBUSI TEGANGAN RODA GIGI TRANSMISI DENGAN PEMODELAN GRAFIS COSMOSXpress

Rachmanto Hadiputranto \*

### Abstraksi

Tegangan yang terjadi pada batang gigi roda gigi transmisi menjadi hal yang penting untuk dikaji. Tegangan menjadi hal yang dominan karena dapat mempengaruhi keadaan struktur. Analisis tegangan pada sebuah roda gigi dapat dilakukan secara perhitungan manual. Namun perhitungan secara mekanika manual mempunyai keterbatasan yaitu ketidakmampuan menggambarkan distribusi tegangannya. Dengan bantuan piranti lunak terintegrasi Solid Works 2005 untuk penggambaran dan COSMOSXpress untuk analisis distribusi tegangan, maka dapat diperoleh pemodelan grafis yang menghasilkan informasi penting seperti tegangan ekuivalen dalam skala Von Mises dan faktor keamanan. Sementara terdapat perbedaan 23,09% dari hasil perhitungan tegangan lentur secara manual bila dibandingkan dengan COSMOSXpress. Hasil akhir analisis tegangan lentur aktual pada batang gigi roda gigi transmisi ini masih cukup aman dimana  $\sigma_{l \text{ aktual}}$  lebih kecil dari kekuatan luluhnya yaitu  $620,4 \text{ N/mm}^2$ . Distribusi tegangan ekuivalen dapat terlihat dari gradasi warna pada model grafis.

**Kata Kunci :** Distribusi Tegangan, Tegangan Ekuivalen dan Von Mises

### PENDAHULUAN

Tegangan atau *stress* dalam sebuah struktur mekanik yang mengalami pembebanan menjadi hal yang menarik untuk dibahas. Tegangan yang bekerja dalam sebuah struktur dapat berakibat pada banyak hal, diantaranya keretakan ataupun patah. Oleh karena itu dalam artikel ini dikhususkan untuk membahas distribusi tegangan pada sebuah komponen mekanik dengan bantuan piranti lunak.

Dalam penelitian kali ini mengambil produk sebuah roda gigi transmisi tingkat satu sepeda motor Supra X 125 cc. Pada saat terjadi hubungan antar roda gigi, pada bagian batang gigi (*tooth*) akan mengalami pembebanan dinamis sehingga batang gigi tersebut akan menerima tegangan lentur ( $\sigma_l$ ). Tegangan lentur yang ditumpu oleh batang gigi tidaklah seragam pada setiap titiknya karena faktor bentukan yang akhirnya akan

menghasilkan pemusatan tegangan pada daerah tertentu.

Dengan metode analitis biasa distribusi tegangan pada batang gigi tidak dapat diketahui, sehingga daerah kritis yang disebabkan oleh pemusatan tegangan tidak dapat diketahui pula. Namun demikian hasil perhitungan analitis secara manual masih diperlukan sebagai data masukan untuk proses pemodelan grafis.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui distribusi tegangan pada batang gigi saat roda gigi bekerja dengan torsi maksimum pada tingkat kecepatan satu. Ternyata distribusi tegangan yang terjadi tidaklah merata atau seragam. Dengan bantuan piranti lunak distribusi tegangan akan terlihat secara grafis berdasarkan gradasi warna dan pada bagian lekukan kaki gigi terlihat pemusatan tegangan. Sehingga dapat diprediksi bahwa pada bagian tersebut merupakan daerah kritis dimulainya

---

\* Dosen Jurusan Teknik Mesin STT YBSI

kegagalan. Selain itu akan dibahas pula mengenai *factor of safety* (FOS).

Karena keterbatasan ruang dalam penulisan maka tidak semua tahapan dalam penelitian ini dapat dibahas. Tahap pembongkaran (*disassembly*), pengukuran dimensi utama roda gigi dan penentuan spesifikasi material akan ditampilkan hasil akhirnya saja. Sementara tahap uji kekerasan dan tahap selanjutnya akan dijelaskan didalam pembahasan.

### KAJIAN PUSTAKA

Ada keterbatasan dalam penentuan spesifikasi teknis material roda gigi. Idealnya roda gigi tersebut dijadikan spesimen pengujian tarik untuk menentukan berapa kekuatan maksimum dan kekuatan luluhnya (*yield strength*). Namun hal ini tidak mungkin terlaksana karena akan merusak roda gigi dan bentuknya yang tidak mungkin dijadikan spesimen uji. Oleh karena itu dicari metode lain untuk mengetahui jenis material roda gigi tersebut.

Metode yang digunakan adalah melakukan pengujian kekerasan dengan Rockwell C kemudian hasilnya dihubungkan dengan nilai kekuatan tariknya (Callister, 1985). Alasan pemilihan Rocwell C adalah bekas indentasinya cukup kecil sehingga tidak merusak obyek uji. Untuk lebih meyakinkan akurasi hasil akhir jenis material, telah dilakukan kajian standar material beserta peruntukannya (Sularso, 1994).

Selanjutnya dalam menganalisis gaya dan tegangan lentur pada batang gigi

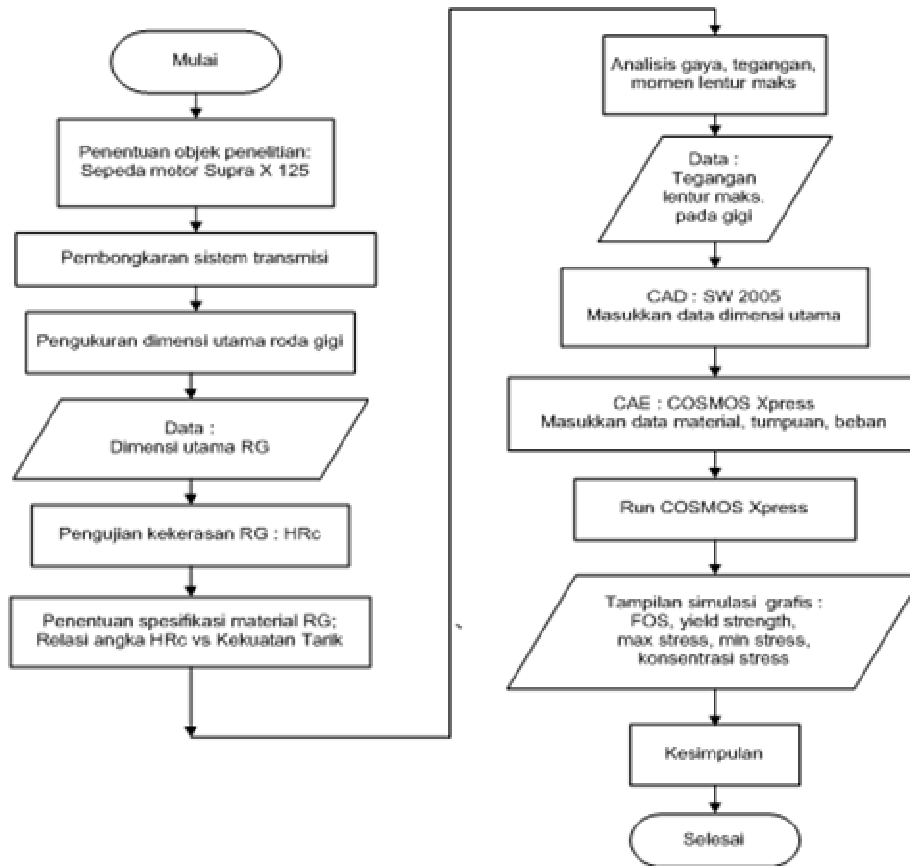
digunakan dasar-dasar mekanika teknik dan kekuatan material. Data-data dimensi utama roda gigi akan dijadikan masukan untuk proses penggambaran dengan piranti lunak Solid Works (SW) *Release* 2005. Sementara analisis distribusi tegangan akan diproses dengan piranti lunak COSMOSXpress. Kedua piranti lunak tersebut menjadi satu paket aplikasi piranti lunak CAD (*Computer Aided Design*) dan CAE (*Computer Aided Engineering*) sehingga memudahkan dalam menganalisisnya.

Khusus untuk masalah distribusi tegangan dan tegangan ekuivalen, COSMOSXpress menggunakan prinsip elemen hingga (*finite element*) dan disajikan dalam skala Von Mises.

### METODOLOGI

Metodologi yang dilakukan dalam penelitian ini adalah analisis secara mekanika manual dan analisis dengan piranti lunak. Kemudian hasil akhir akan dibandingkan dan dibahas lebih lanjut.

Tahapan dalam penelitian meliputi: pembongkaran sistem transmisi, pengukuran dimensi utama roda gigi, pengujian kekerasan  $HR_C$ , penentuan spesifikasi teknis material roda gigi berdasarkan relasi tingkat kekerasan terhadap kekuatan tarik maksimum (*tensile strength*), analisis gaya dan tegangan lentur pada batang gigi, penggambaran profil roda gigi dengan piranti lunak SW dan melakukan analisis distribusi tegangan dengan piranti lunak COSMOSXpress. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada diagram alir pada gambar 1.



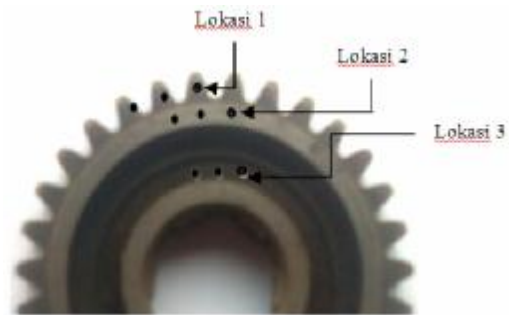
Gambar 1. Diagram Alir Analisis Distribusi Tegangan Batang Gigi

**PEMBAHASAN**

Ada 9 titik pengujian kekerasan permukaan yang diterapkan pada roda gigi, masing-masing sisi luar batang gigi, bagian tengah dan daerah lubang poros. Pengujian kekerasan dilakukan dengan metode Rockwell C dengan hasil sebagai berikut:

Tabel 1. Data Hasil Pengujian Kekerasan Permukaan (Wahidudin, 2010)

Lokasi	Titik	Hasil (HR <sub>C</sub> )
1	1	56,5
	2	54
	3	53,5
2	4	53
	5	55
	6	55
3	7	55
	8	51
	9	53,5
<b>Rata-rata</b>		<b>54,4</b>



Gambar 2. Lokasi Pengujian Kekerasan (Wahidudin, 2010)

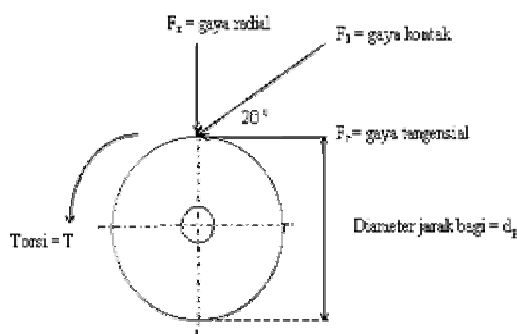
Idealnya lokasi pengujian 1 terletak pada dinding (*flank*) gigi karena pada bagian tersebut tempat terjadinya kontak antar gigi. Namun bagian dinding gigi sulit diuji keras karena posisinya tidak memungkinkan. Dari 9 titik pengujian didapatkan hasil rata-rata kekerasan permukaannya sebesar 54,4 HR<sub>C</sub>.

Dari analisis relasi antara nilai kekerasan  $HR_C$  dengan kekuatan tarik (Callister, 1985) dan studi standar material (Sularso, 1994) didapatkan bahwa material roda gigi tersebut terbuat dari baja paduan dengan unsur paduan nikel dan chrom yang dikeraskan kelas SNC2, dengan kekuatan tarik maksimum  $85 \text{ kg/mm}^2$ . Unsur nikel dan chrom dimaksudkan untuk meningkatkan keuletan sehingga batang gigi mampu menahan beban lentur yang lebih besar. Sementara pengerasan (*hardening*) bertujuan untuk meningkatkan ketahanan aus saat gigi saling berhubungan (*engage*).

Tahap selanjutnya adalah melakukan analisis gaya dan tegangan lentur pada batang gigi.

- Analisis Gaya Pada Roda Gigi

Analisis gaya pada batang gigi dimaksudkan untuk menghitung berapa gaya tangensial ( $F_t$ ) yang bekerja pada batang gigi. Gaya tangensial akan menyebabkan lenturan pada batang gigi. Ilustrasi berikut menjelaskan letak gaya tangensial, gaya radial dan gaya kontak pada roda gigi dan selanjutnya menjadi dasar analisis gaya pada batang gigi.



Gambar 3. Diagram Benda Bebas Komponen Gaya Pada Roda Gigi

Penjelasan diagram benda bebas sebagai berikut:

$$T = F_t \cdot \left( \frac{d_p}{2} \right)$$

$$F_t = \frac{2.T}{d_p} = \frac{2.10,3}{0,0625} \left( \frac{Nm}{m} \right) = 329,6 \text{ N}$$

- Analisis Tegangan Lentur ( $\sigma_l$ )

Sebagaimana kita ketahui bahwa profil gigi dianggap sebagai balok kantilever, sehingga tegangan lenturnya dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$s_l = \frac{M_l}{W_l}$$

dimana

$\sigma_l$  = tegangan normal akibat lenturan ( $\text{N/mm}^2$ )

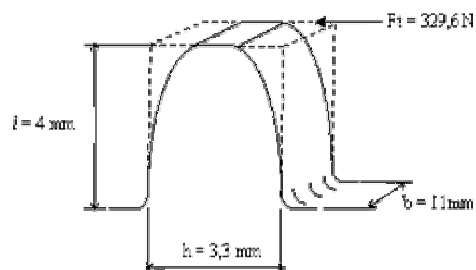
$M_l$  = momen lentur ( $\text{N.mm}$ )

$W_l$  = tahanan lentur ( $\text{mm}^3$ )

$$= \frac{I_l}{e} = \frac{b.h^2}{6} \text{ (mm}^3\text{)}$$

Sehingga tegangan lentur pada batang gigi adalah

$$s_l = \frac{6.F_t.l}{b.h^2} = \frac{6.329,6.4}{11,3,3^2} = 66 \text{ N/mm}^2$$



Gambar 4. Gaya Yang Bekerja Pada Batang Gigi Sebagai Balok Kantilever

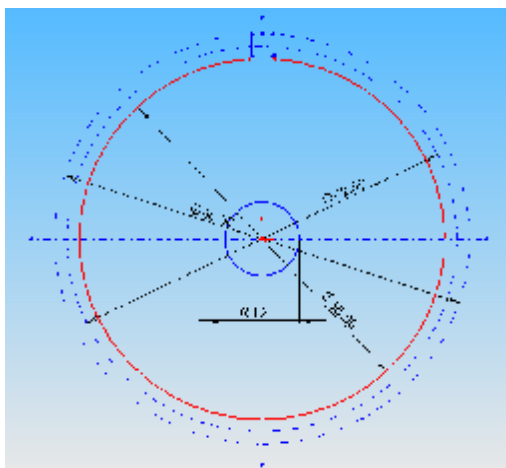
Sementara data teknis lainnya diperoleh dengan pengukuran, pengujian dan perhitungan secara analitis dengan hasil seperti yang tertulis pada tabel 2.

Tabel 2. **Rangkuman Data Teknis Obyek Penelitian** (Wahidudin, 2010)

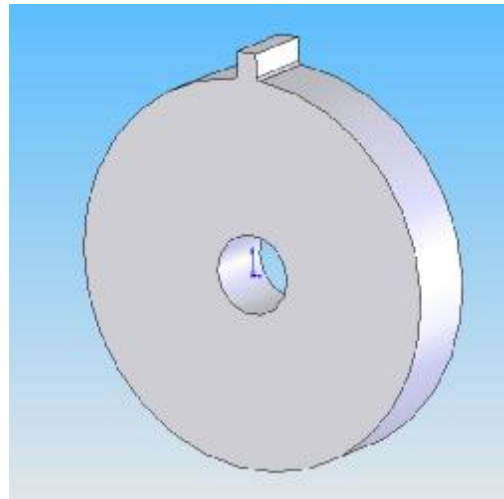
No	Keterangan	Nilai	No	Keterangan	Nilai
1	Daya mesin (P input)	6.845 Watt	13	Angka kekerasan rata-rata roda gigi	54,4 HRC
2	Torsi input (T input)	10,3 Nm	14	Kekuatan tarik bahan roda gigi ( $\sigma_u$ )	85 kg/mm <sup>2</sup>
3	Putaran mesin (n)	4000 rpm	15	Bahan roda gigi	SNC2 : baja paduan Ni & Cr pengerasan celup dingin
4	Diameter kepala RG ( $d_k$ )	66,5 mm			
5	Diameter jarak bagi RG ( $d_p$ )	62,5 mm			
6	Diameter kaki RG ( $d_k$ )	58,5 mm			
7	Jarak kisar antar gigi (p)	5,6 mm			
8	Lebar gigi (h)	3,3 mm			
9	Tinggi gigi (l)	4 mm	16	Gaya tangensial batang gigi (Ft)	329,6 N
10	Tebal gigi (b)	11 mm	17	Profil gigi	Involut
11	Modul (m)	2	18	Sudut kontak ( $\alpha$ )	20 <sup>0</sup>
12	Jumlah gigi (z)	35 buah	19	Diameter lubang poros (d poros)	12 mm

Tahap selanjutnya adalah penggambaran roda gigi sesuai dengan hasil pengukuran. Piranti lunak yang digunakan adalah SW 2005. Untuk profil gigi diasumsikan sebagai balok kantilever dengan jumlah gigi sebanyak 1 buah.

Gambar 5 merupakan sketsa roda gigi dimana ukurannya sesuai data teknis dan selanjutnya dikonversikan menjadi bentuk model 3 dimensi seperti pada gambar 6.



Gambar 5. **Gambar Roda Gigi 2D**

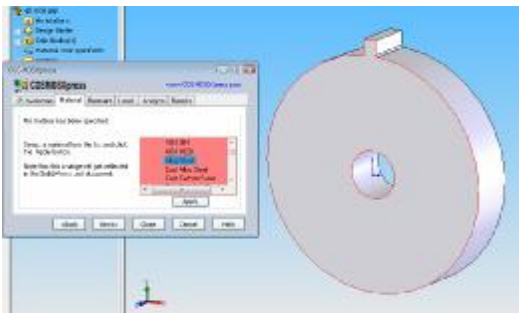


Gambar 6. **Model Roda Gigi 3D**

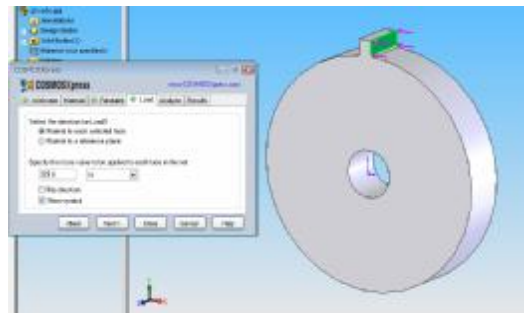
Sementara analisis distribusi tegangan dengan COSMOSXpress dapat mulai dengan tahapan pemasukan data seperti pada tabel 3.

Tabel 3. Langkah Pengoperasian COSMOSXpress

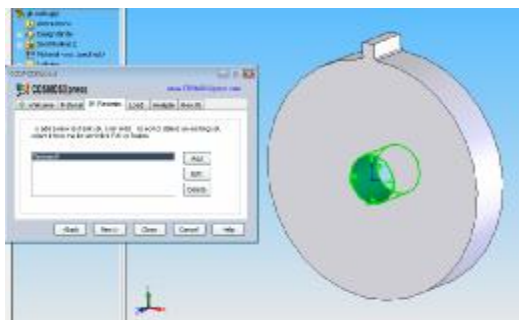
No	Tahap	Data	No. Gbr.
1	Menentukan jenis material	<i>alloy steel</i>	Gbr. 7
2	Menentukan <i>restraint</i>	lubang poros	Gbr. 8
3	Menentukan <i>load of face</i>	dinding gigi	Gbr. 9
4	Menentukan arah <i>load of face</i>	329,9 N tekan ( arah ke kiri)	Gbr. 10
5	RUN COSMOSXpress	-	Gbr. 11
6	Muncul FOS ( <i>factor of safety</i> )	12,22	Gbr. 12
7	Pilih menu <i>stress distribution</i>	Skala tegangan ekuivalen Von Mises $5,076 \times 10^7 \text{ N/m}^2$ dan <i>yield strength</i> $6,204 \times 10^8 \text{ N/m}^2$	Gbr. 13



Gambar 7. Menentukan Jenis Material



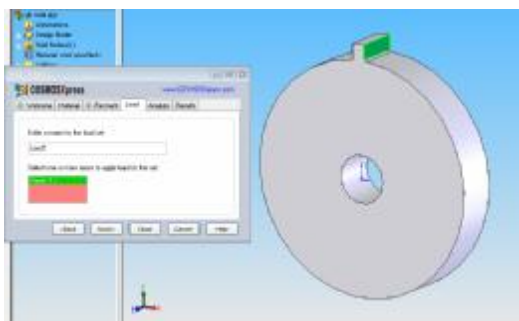
Gambar 10. Arah Load Of Face



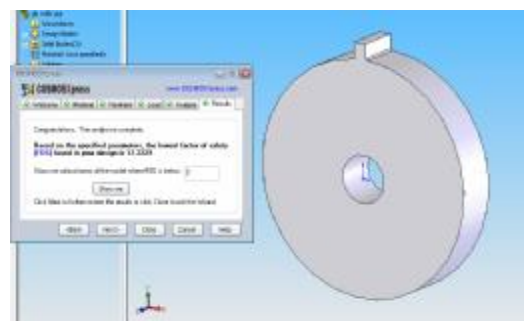
Gambar 8. Menentukan Restraint



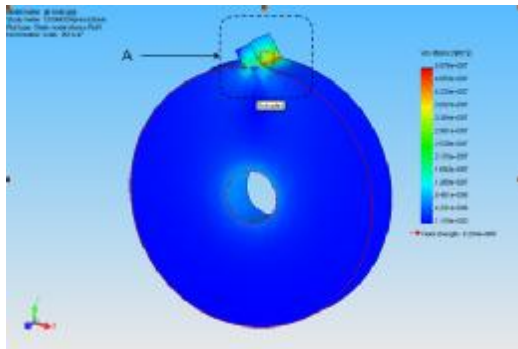
Gambar 11. Run COSMOSXpress



Gambar 9. Menentukan Load Of Face



Gambar 12. FOS



Gambar 13. Lenturan Pada Batang Gigi

Terlihat pada pandangan A pada gambar 13 bahwa batang gigi mengalami lenturan dan konsentrasi tegangan terletak pada lekukan kaki gigi. Gradasi warna menunjukkan level tegangan ekuivalen paling rendah berwarna biru hingga paling tinggi yang berwarna merah.

Pada sisi kanan gambar 13 terlihat skala Von Mises yang memberikan informasi tegangan ekuivalen maksimum sebesar  $5,076 \times 10^7 \text{ N/m}^2$  dan kekuatan luluh (*yield strength*) sebesar  $6,204 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ . Sementara pada gambar 12 muncul FOS sebesar 12,22.

Hubungan dari ke-3 variabel tersebut adalah bahwa FOS diperoleh dari hasil pembagian kekuatan luluh dengan tegangan ekuivalen maksimumnya, yaitu :

$$12,22 = \frac{6,24 \cdot 10^8 \left( \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right)}{5,076 \cdot 10^7 \left( \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right)}$$

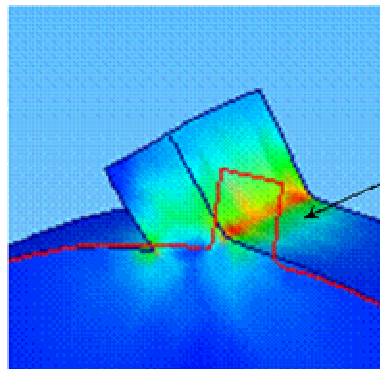
Konstruksi batang gigi yang menumpu gaya tangensial sebesar 329,9 N masih dibawah titik luluhnya. Atau dengan pernyataan lain bahwa konstruksi tersebut baru akan mengalami luluh bila gaya tangensialnya dikalikan dengan FOS-nya.

Pada keadaan tersebut tidak dapat dihindarkan kemungkinan patah lelah akan terjadi pada lekukan kaki gigi, karena pada lokasi tersebut terjadi konsentrasi tegangan dan pembebanannya bersifat dinamis.

Akan terlihat lebih jelas pada gambar 14 dimana secara grafis terjadi distribusi tegangan pada batang gigi dengan indikasi berupa gradasi warna. Pada daerah lekukan terlihat berwarna merah yang berarti bahwa pada daerah tersebut terjadi tegangan maksimum sebesar  $5,076 \times 10^7 \text{ N/m}^2$  atau  $50,76 \text{ N/mm}^2$ . Sementara batas luluhnya adalah  $6,204 \times 10^8 \text{ N/m}^2$  atau  $620,4 \text{ N/mm}^2$ .

Bila diperbandingkan antara tegangan maksimum secara perhitungan manual dengan tegangan ekuivalen hasil COSMOSXpress, terdapat selisih yaitu  $(66 - 50,76) \text{ N/mm}^2 = 15,24 \text{ N/mm}^2$  atau setara penyimpangan 23,09%. Penyimpangan ini dapat terjadi karena pada perhitungan manual daerah yang terkena pembebanan diisolasi khusus pada batang gigi, sedangkan dengan COSMOSXpress pembebanan tidak diisolasi dan terdistribusi ke seluruh badan roda gigi.

### Pandangan



Lokasi terjadinya tegangan ekuivalen maksimum 50,76 N/mm<sup>2</sup>

Gambar 14. Lokasi Tegangan Ekuivalen Maksimum Dan Daerah Kritis

### SIMPULAN

Berdasarkan perbandingan antara perhitungan manual dengan piranti lunak COSMOSXpress dapat diambil beberapa kesimpulan bahwa tinjauan tegangan lentur batang gigi pada roda gigi transmisi dengan kondisi tersebut masih cukup aman. Tegangan lentur maksimum berdasarkan hitungan manual adalah 66 N/mm<sup>2</sup> dan hasil COSMOSXpress adalah 50,76 N/mm<sup>2</sup>, masih jauh dibawah batas luluhnya yaitu 620,4 N/mm<sup>2</sup>. Sementara lokasi kritis berada di daerah lekukan kaki gigi dengan indikasi warna merah. Faktor keamanan (FOS) yang diperoleh dari analisis COSMOSXpress adalah 12,22. Distribusi tegangan terlihat dari indikasi warna yang berbeda seperti yang ditunjukkan pada skala Von Mises.

### DAFTAR PUSTAKA

- Callister, William D, 1985, *Materials Science and Engineering*, John Wiley & Sons, Inc.
- Popov, EP, 1991, *Mekanika Teknik*, Edisi Kedua, Penerbit Erlangga.
- Shigley, Joseph E & Mischke, Charles R, *Mechanical Engineering Design*, Sixth Edition, Mc Graw Hill.

Sularso, & Suga, Kiyokatsu, 1994, **Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin**, Cetakan Kedelapan, PT Pradnya Paramita.

Surdia, Tata & Saito, Shinroku, 1995, **Pengetahuan Bahan Teknik**, Cetakan Ketiga, PT Pradnya Paramita.

Wahidudin, Ali, 2010, **Analisis Kekuatan Sistem Transmisi Roda Gigi Tingkat 1 dan 2 Pada Sepeda Motor Supra X-125**, Skripsi, STT YBSI.