

## OPTIMALISASI ARUS LISTRIK TERHADAP PENYIMPANGAN PEMOTONGAN PEMBUATAN RODA GIGI PADA MESIN WIRE CUTTING EDM

Eko Edy Susanto<sup>1)</sup>, Anang Subardi<sup>2)</sup>, Nugroho Bagus Primantoko<sup>3)</sup>

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Industri, Institut Teknologi Nasional Malang  
Jl. Sigura-gura No. 2 Kampus 1. Malang, Indonesia  
ekoedys@lecturers.fti.itn.ac.id

### ABSTRAKSI

Parameter pemesinan *Wire EDM* memiliki beberapa parameter, salah satu parameter dasar yang dapat diatur dalam *Wire EDM* adalah kuat arus listrik (*Ampere*), kuat arus listrik dapat mempengaruhi kualitas hasil produk yang dihasilkan. Penelitian ini ingin mengetahui penyimpangan dalam pemotongan pembentukan roda gigi lurus dan memberikan informasi bagi operator *Wire EDM* untuk mengatur *setting* parameter besar arus listrik agar diperoleh kualitas pemotongan yang optimal. Bahan yang dipotong Baja paduan ASSAB 618. Benda kerja yang akan dibuat merupakan Roda Gigi lurus dengan profil gigi involute yang sesuai dengan *Japan Industrial Standart (JIS)* nomor B 1701-1973 tentang "*Involute Gear Tooth Profile and Dimension*". Variasi arus 3,4,5,6,7 Ampere pada mesin *Wire EDM* Mitsubishi BA-8. Variasi besar arus listrik yang digunakan pada proses *Wire EDM* berpengaruh nyata terhadap *profile error involutedan* nilai *profile error involute* meningkat seiring dengan bertambahnya besar arus listrik. Nilai *profile error involute* terkecil sebesar 0,0907 mm didapat pada variasi besar arus listrik 3 ampere yang merupakan variasi terkecil yang digunakan. Penyimpangan terbesar sebesar 0,1256 mm didapat pada variasi arus listrik sebesar 7 ampere yang merupakan variasi terbesar yang digunakan.

*Kata kunci: Baja ASSAB 618, Pemotongan, Roda Gigi involute, Pengukuran, Penyimpangan*

### PENDAHULUAN

Mesin – mesin perkakas yang digunakan dalam industri manufaktur diharapkan mendapatkan kepresisian ukuran dan kualitas hasil produk yang tinggi. Salah satunya teknologi pemotongan tersebut dengan *Electrical Discharge Machine (EDM)*.

Pada umumnya produk-produk yang dihasilkan melalui proses pemotongan dengan mesin *wire cutting EDM* memiliki tingkat kepresisian yang sangat tinggi dibandingkan dengan mesin konvensional biasa. Mesin *wire cutting EDM* menggunakan kawat sebagai elektrodanya maka untuk pemotongan dengan kontur melengkung sangat sulit untuk diperoleh bentuk ukuran lengkung yang optimal.

Dalam upaya meningkatkan kualitas produk berupa ketelitian pada pemotongan dengan kotur melengkung maka pengetahuan tentang parameter yang mempengaruhi ketelitian pada pemotongan dengan kontur melengkung selama proses *Wire Cutting* EDM haruslah baik seperti pemotongan pada bentuk penampang roda gigi. Parameter yang mempengaruhi kualitas pemotongan pada *Wire cutting* EDM adalah arus listrik, wire tension, dan kecepatan laju pemotongan, parameter yang digunakan untuk mengetahui kualitas dari pemotongan dengan kontur melengkung. Masalahnya berapa besar pengaruh arus listrik pada proses *Wire Cutting EDM* terhadap penyimpangan pemotongan pada bentuk penampang roda gigi. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui sejauh mana pengaruh arus listrik terhadap penyimpangan dan kepresisian pemotongan pada penampang roda gigi. Hasil dari penelitian untuk memberikan informasi bagi operator untuk mengatur *setting* parameter besar arus listrik agar diperoleh kualitas pemotongan yang optimal pada bentuk penampang roda gigi agar mampu meminimalisir penyimpangan lebar pemotongan pada mesin *Wire Cutting* EDM.

## METODOLOGI PENELITIAN

### Rancangan penelitian

Rancangan penelitian atau eksperimental ini merupakan cara untuk menentukan keberhasilan penelitian atau eksperimental dan juga menentukan analisa yang tepat maka akan mendapat

kesimpulan yang benar. Pencatatan data merupakan hal penting untuk proses analisa data karena digunakan memperoleh kebenaran hasil penelitian. Untuk itu pada pengambilan data diperlukan ketelitian serta adanya sampel yang cukup mewakili populasi dari masalah yang diteliti.

Rancangan Penelitian sebagai berikut :

1. Masalah Penelitian: mengetahui bagaimana penyimpangan ukuran yang terjadi.
2. Model dan variabel riset: Bahan Baja ASSAB 618 yang dipotong dengan mesin wire cut EDM
3. Proses pembuatan sampel: bahan Baja ASSAB 618 dipotong bentuk rodg gigi.
4. Teknik Pengumpulan data: pengamatan pada hasil pemotongan
5. Teknik pengolahan data: metode komparasi
6. Hasil analisa dan implementasi: mendapatkan informasi, penyimpangan ukuran
7. Generlisasai dan Rekomendasi: set-up mesin wire cut EDM

Untuk memperoleh jawaban pada permasalahan dan pencapaian tujuan maka dilakukan pendekatan dan strategi pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Pemotongan pada mesin wire cut EDM dengan memperhatikan pengaruhnya terhadap besar arus listrik.
2. Foto bentuk dan lebar hasil pemotongan.
3. Teknik analisa data berdasarkan hasil pengujian dan didukung data kualitatif dari hasil pengamatan , literatur maupun dokumentasi.

4. Hasil analisa digeneralisasi sebagai kesimpulan dan direkomendasikan untuk set – up mesin wire cut EDM bagi operator

**Bahan dan Peralatan.**

**Bahan** yang digunakan untuk roda gigi adalah baja paduan ASSAB 618 Supreme dengan komposisi: Carbon (C) 0,37%, Silicon (Si) 0,30%, Manganese (Mn) 1,40%, Chromium (Cr) 2.0%, Nickel (Ni) 1,0%, Molibidenium (Mo) 0,2%., dan *Tensile Strength* : 1080 N/mm<sup>2</sup>, *Strength* : 990 N/mm<sup>2</sup>

**Peralatannya Mesin Wire EDM Mitsubishi BA-8** digunakan untuk pemotongan atau pembuatan rodagigi lurus. Kawat pada *Wire Cutting* EDM digunakan sebagai elektroda untuk menghasilkan erosi percikan antara kawat dan benda kerja. Kawat yang dipakai adalah kawat dengan diameter 0,2 mm dan berat dari 0,90 – 45,36 kg. Fluida dielektrik yang mengalir pada celah antara elektroda dan benda kerja dan disuplai melalui suatu lubang pada elektroda atau benda kerja maupun dari pancaran yang berasal dari luar. Bahan fluida dielektrik adalah aqua destilasi yang dicampur dengan *lubricant* omega 906 dengan perbandingan 6 : 1 dan diinjeksikan melalui *guder* atas dan bawah melalui elektroda

**Profile Projector**

Digunakan untuk mengukur geometri profil involute pada roda gigi lurus.

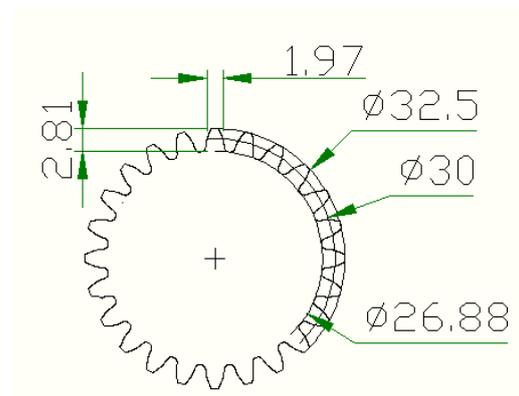


Gambar 1: Profile Projector

**Benda Kerja**

Benda kerja yang akan dibuat merupakan Roda Gigi lurus dengan profil gigi involute yang sesuai dengan *Japan Industrial Standart* (JIS) nomor B 1701-1973 tentang “*Involute Gear Tooth Profile and Dimension*”, memiliki spesifikasi:

Modul <i>m</i>	:	1,25
mm		
Jumlah gigi <i>z</i>	:	24
Sudut tekan $\alpha$	:	20°
Diameter luar <i>d<sub>a</sub></i>	:	32,5
mm		
Diameter pitch <i>d</i>	:	30 mm
Diameter dasar <i>d<sub>f</sub></i>	:	26,8mm
Tinggi gigi <i>h</i>	:	2,8 mm
Tebal gigi <i>s</i>	:	1,99 mm



Gambar 2 : Gambar benda kerja roda gigi lurus

**Rancangan Pengolahan dan Analisa Data.**

Pada penelitian ini menggunakan model analisa varian satu arah dengan pengulangan 3 kali pada tiap interaksi. Dengan analisa varian satu arah ini akan diketahui apakah variasi arus listrik pada *Wire EDM* berpengaruh terhadap *profile error involute* roda gigi lurus.

**Analisa Varian Satu Arah**

Untuk menganalisa hasil penelitian digunakan analisis ragam satu arah, dimana akan menguji apakah hasil penelitian disebabkan oleh perbedaan *besar arus listrik*.

Untuk menentukan apakah sebagian keragaman hasil penelitian disebabkan oleh perbedaan *besar arus listrik*, dilakukan uji hipotesis :

$$H_0 : \alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_i = 0$$

$H_1$  : sekurang-kurangnya satu  $\alpha_i$  tidak sama dengan nol.

Dicari  $F_{hitung}$  yang digunakan untuk menentukan ada atau tidaknya pengaruh variabel bebas terhadap variabel terkontrol dengan metode uji F.

$$F_{hitung} = \frac{S_1^2}{S_2^2}$$

Kesimpulan yang didapat dari uji F adalah sebagai berikut:

Bila  $FA_{hitung} > FA_{tabel}$ , maka  $H_0$  ditolak dan  $H_1$  diterima. Berarti faktor A (kuat arus listrik) berpengaruh terhadap *profile error involute* pada pembuatan *Spur Gear* menggunakan *Wire EDM*.

**Hipotesa**

Penambahan besar arus listrik akan meningkatkan nilai penyimpangan geometri profil gigi *involute* roda gigi, dalam hal ini dinyatakan sebagai *profile*

*error involute*. Penggunaan arus listrik yang semakin besar pada tegangan listrik akan menyebabkan percikan bunga api (*sparking*) semakin besar pula, hal ini menyebabkan pergerakan aliran elektron untuk menumbuk bagian permukaan benda kerja semakin cepat, sehingga terjadi peningkatan temperatur yang mengakibatkan pengerosian permukaan benda kerja, hal ini akan merubah hasil pemotongan. Ketidaktepatan hasil pemotongan merupakan efek dari penyimpangan area yang cair dari benda kerja, dimana geometri aktual profil gigi *involute* tidak sesuai dengan geometri perencanaannya

**Data Hasil Pengukuran**

Untuk mendapatkan data *profile error involute* hasil pemotongan menggunakan *Wire EDM*, maka digunakan *foto makro* dan *software Autocad 2009*.

Setelah dilakukan pengambilan data, maka diperoleh data sebagai berikut :

Tabel 1 Data Penyimpangan *Profile Involute*

	In vol ut e ke	Arus Listrik (Ampere)				
		3	4	5	6	7
Profile Error Involute (mm)	1	0,0889	0,08987	0,0730 7	0,1089	0,1394
	2	0,0948	0,07147	0,1100	0,1264	0,1293
	3	0,0862	0,09467	0,1095	0,1171	0,1155
	4	0,0939	0,1046	0,1067	0,12873	0,1318
	5	0,0947	0,1125	0,1127	0,1133	0,11667
	6	0,0858	0,0912	0,1079	0,1198	0,1207
<b>Jumlah</b>		0,5443	0,564	0,6199	0,7143	0,7534
<b>Rata - rata</b>		0,0907	0,094	0,1033	0,1190	0,1256

**Pengolahan Data**

**Analisa Statistik**

Setelah diperoleh data dari pengukuran penyimpangan geometri *profile involute*, maka dilakukan analisa varian satu arah untuk mengetahui apakah variasi besar arus listrik akan berpengaruh terhadap *profile error involute* yang menggunakan *Wire EDM*.

Hipotesis dari penggunaan variasi besar arus listrik terhadap penyimpangan geometri profil gigi *involute* pemotongan menggunakan *Wire EDM* adalah sebagai berikut:

a)  $H_0 : \alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \alpha_4 = \alpha_5$

$H_0$  menyatakan bahwa setiap variasi besar arus listrik pada pemotongan geometri profil *involute* menggunakan *Wire EDM* tidak akan berpengaruh terhadap *profile error involute* yang terjadi.

$H_1 : \alpha_1 \neq \alpha_2 \neq \alpha_3 \neq \alpha_4 \neq \alpha_5$

$H_1$  menyatakan bahwa setiap variasi besar arus listrik pada pemotongan geometri profil *involute* menggunakan *Wire EDM* akan berpengaruh terhadap *profile error involute* yang terjadi.

- b) Pengujian dilakukan dengan menggunakan taraf nyata  $\alpha = 0,05$
- c) Wilayah kritik  $f > 2,76$

Dari perhitungan analisis varian satu arah diperoleh hasil sebagai berikut :

Tabel 2. Data Hasil Analisis Varian Satu Arah

Sumber Keragaman	Jumlah Kuadrat	Derajat Bebas	Kuadrat Tengah Rata-Rata	f Hitung	f Tabel
Perlakuan	0,00561	4	0,001402	11,9592	2,76
Galat	0,002932	25	0,0001172		
Total	0,008542	29			

Berdasarkan hasil perhitungan analisa varian satu arah yang ditunjukan pada tabel 2 diatas, dengan mengambil tingkat keyakinan 95% ( $\alpha = 5\%$ ), maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

$F_{hitung} > F_{tabel}$ , maka  $H_0$  ditolak dan  $H_1$  diterima.

Ini menyatakan bahwa besar arus listrik berpengaruh terhadap *profile error involute* pada proses *Wire EDM*.

Dari data tabel 1. dihitung rata – rata penyimpangan yang terjadi pada setiap variasi besar arus listrik yang dijelaskan pada tabel berikut :

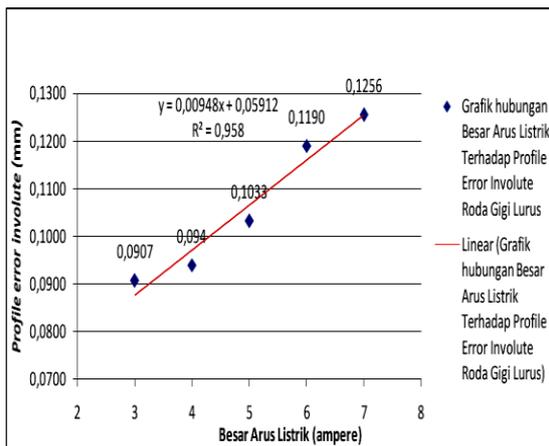
Tabel 3. Rata – rata besar *profile error involute*

No	Profile Error Involute (mm)	Besar Arus Listrik (Ampere)
1	0,0907	3
2	0,094	4
3	0,1033	5
4	0,119	6
5	0,1256	7

**PEMBAHASAN**

Dari hasil pengolahan data menggunakan analisa varian satu arah didapatkan bahwa perubahan nilai besar arus listrik berpengaruh terhadap *profile error involute* roda gigi lurus menggunakan *Wire EDM*. Ini dibuktikan dengan nilai  $F_{hitung} > F_{tabel}$ .

Dari hasil analisa diketahui bahwa nilai variasi arus listrik akan mempengaruhi kepada *profile error involute* roda gigi lurus. Oleh karena itu grafik yang digunakan adalah grafik hubungan besar arus listrik terhadap *profile error involute*.



Gambar 3 : Grafik Linear Hubungan Besar Arus Listrik Terhadap *Profile Error Involute* Roda Gigi Lurus.

Pada gambar 3. menunjukkan grafik untuk model regresi linier dan juga menunjukkan persamaan garis liniernya, yaitu :

$$Y = 0,00948 X + 0,05912 \quad (1)$$

Keterangan :

$Y = Profile Error Involute$

$X = Besar Arus Listrik$

Untuk mengukur pengaruh hubungan antar parameter digunakan koefisien determinasi ( $R^2$ ). Koefisien determinasi menjelaskan besarnya variasi respon (y) atau variabel terikat yang dapat dijelaskan prediktor (x) atau variabel bebas.

Nilai  $R^2$  sebesar 0,958, adalah koefisien determinasi model regresi linier sebesar 95,8%. Artinya, 95,8 % variasi sampel besar nilai penyimpangan *profile error involute* pada proses *Wire EDM* dijelaskan oleh besar arus listrik yang digunakan pada proses pemotongan. Sedangkan 4,2 % dipengaruhi oleh faktor-faktor pemotongan yang tidak bisa dikontrol pada saat proses pemotongan menggunakan *Wire EDM*, seperti *bicycle effect*. *Bicycle effect* merupakan suatu fenomena terjadi kesalahan pemotongan pada bentuk melengkung atau sudut, lintasan yang dilalui kawat tidak sesuai dengan program yang telah dimasukkan. *Bicycle effect* ini biasanya disebabkan oleh *wire lag*. Ini dikarenakan kawat keluar dari jalur yang seharusnya dilalui, sehingga memotong bagian yang seharusnya tidak dipotong. *Wire lag* dapat terjadi akibat percikan listrik yang terlalu besar, tegangan penarikan kawat yang rendah, *gap voltage* yang terlalu sempit, jarak *nozzle* cairan dielektrik yang terlalu

jauh dan kecepatan pemakanan terlalu tinggi.

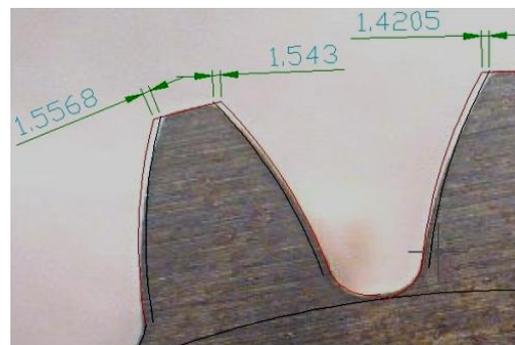
Pada grafik gambar 3 dapat dilihat bahwa hubungan antara parameter yang digunakan yaitu besar arus listrik dengan *profile error involute*, dimana nilai pada sumbu Y merupakan nilai dari *profile error involute* yang dipengaruhi oleh nilai pada sumbu X yaitu besar arus listrik. Pada penggunaan besar arus listrik 3 ampere, 4 ampere, 5 ampere, 6 ampere, dan 7 ampere masing – masing terjadi rata-rata penyimpangan sebesar 0,0907 mm, 0,094 mm, 0,1033 mm, 0,119 mm, dan 0,1256 mm, secara umum dapat dilihat bahwa seiring dengan peningkatan nilai pada sumbu X maka nilai pada sumbu Y akan semakin meningkat.

Pada penggunaan variasi besar arus listrik sebesar 3 ampere *profile error involute* yang terjadi rata-rata sebesar 0,0907 mm. Hal ini disebabkan besar arus listrik yang digunakan mempengaruhi nilai *profile error involute* gigi pada spesimen. Penggunaan arus listrik yang semakin besar pada tegangan listrik akan menyebabkan percikan bunga api listrik (*sparking*) semakin besar pula, mengakibatkan pergerakan aliran elektron untuk menumbuk bagian permukaan benda kerja semakin cepat, sehingga terjadi peningkatan temperatur yang mengakibatkan pelelehan spesimen pada area permukaan benda kerja yang dipotong, hal ini mempengaruhi terhadap hasil pemotongan yang direncanakan. Ini dapat dibuktikan dengan *profile error involute* yang terjadi tidak terlalu besar dan hampir terjadi diseluruh permukaan sisi *involute*, seperti terlihat pada gambar 4 berikut:

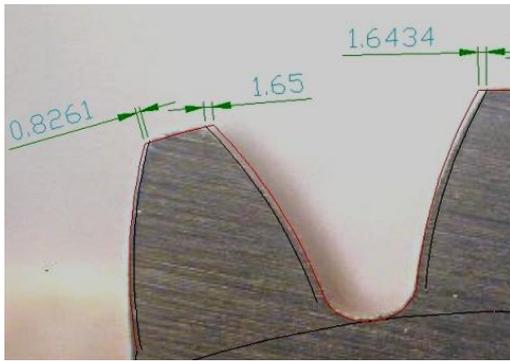


Gambar 4.1: Penampang Profil *Involute* Dengan Variasi Arus Listrik 3 Ampere

Pada variasi besar arus listrik pada 4 ampere dan 5 ampere, penyimpangan yang terjadi rata-rata sebesar 0,094 dan 0,1033 mm. Penyimpangan yang terjadi pada variasi ini, *profile error involute* yang terjadi lebih besar daripada variasi sebelumnya dikarenakan arus listrik yang diterapkan menimbulkan *sparking* yang terjadi antara benda kerja dan elektrode kawat menjadi semakin besar yang akan mengakibatkan area pengerosian yang lebih besar pula. Pada variasi ini *profile error involute* juga terjadi pada seluruh sisi *involute*, seperti terlihat pada gambar 4.2 dan 4.3 sebagai berikut:

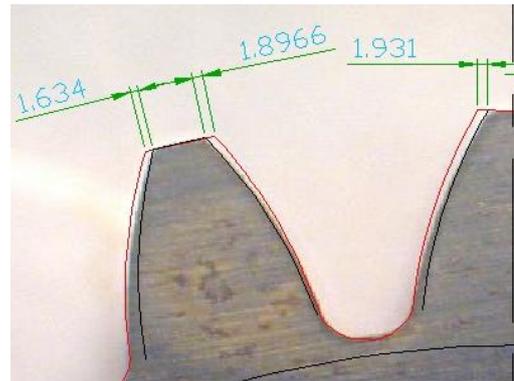


Gambar 4.2: Penampang *Profile Involute* Dengan Variasi Arus Listrik 4 Ampere



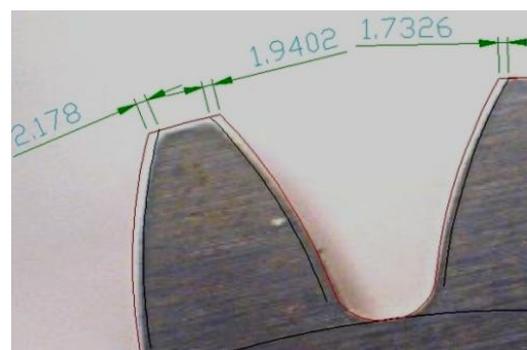
Gambar 4.3: Penampang *Profile Involute* Dengan Variasi Arus Listrik 5 Ampere

Pada variasi besar arus listrik 6 ampere *profile error involute* gigi pada roda gigi lurus yang terjadi rata-rata sebesar 0,1190 mm, diakibatkan oleh besarnya percikan api listrik antara elektroda kawat dan benda kerja, sehingga percikan lebih mudah terjadi dan energi pemotongan lebih besar yang mengakibatkan pengerosian benda kerja lebih besar yang mengakibatkan terjadinya penyimpangan. Pada saat penyimpangan pemotongan ini terjadi maka elektroda kawat akan memotong benda kerja dengan ukuran yang tidak sama dengan ukuran yang telah direncanakan sebelumnya. Pada gambar 4.4 dapat dilihat bahwa penyimpangan terbesar berada pada ujung dari sisi *involute*.



Gambar 4.4: Penampang Profil *Involute* Dengan Variasi Arus Listrik 6 Ampere

Sedangkan pada variasi 7 ampere terlihat rata-rata *profile error involute* yang terjadi sebesar 0,1256 mm. Pada variasi ini *profile error* selain diakibatkan oleh percikan bunga api listrik antara benda kerja dan elektroda kawat, juga oleh terjadinya pengerosian permukaan benda kerja yang terjadi paling besar. Hal ini dapat ditunjukkan oleh gambar 4.5, pada gambar terlihat bahwa penyimpangan terbesar terjadi pada ujung-ujung dari sisi *involute*.



Gambar 4.5: Penampang Profil *Involute* Dengan Variasi Arus Listrik 7 Ampere

Pada variasi arus listrik 7 ampere terlihat penyimpangan profil yang terjadi lebih besar dari pada yang terlihat variasi-

variasi sebelumnya, ini dikarenakan *sparking* antara elektroda kawat dan benda kerja paling besar diantara variasi-variasi sebelumnya sehingga pengerosian area permukaan benda kerja yang terjadi paling tinggi, yang berdampak pada nilai *profile error involute* yang paling besar. Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa *profile error involute* spesimen yang paling banyak terjadi adalah *minus profile*, dikarenakan kurva *involute* pada roda gigi aktual lebih kecil dari kurva *involute* idealnya

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan dan pembahasan pada bab sebelumnya dapat disimpulkan bahwa,

- Variasi besar arus listrik yang digunakan pada proses *Wire EDM* berpengaruh nyata terhadap *profile error involute*. Berdasarkan hasil penelitian didapatkan bahwa nilai *profile error involute* meningkat seiring dengan bertambahnya besar arus listrik.
- Nilai *profile error involute* terkecil sebesar 0,0907 mm didapat pada variasi besar arus listrik 3 ampere yang merupakan variasi terkecil yang digunakan. Penyimpangan terbesar sebesar 0,1256 mm didapat pada variasi arus listrik sebesar 7 ampere yang merupakan variasi terbesar yang digunakan.
- *Profile Error Involute* yang terjadi pada kurva *involute* gigi adalah *minus profile*.

### Saran

- Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang pengaruh parameter besar arus listrik dan jenis elektroda terhadap kepresisian geometri benda kerja pada *Wire EDM*.
- Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang pengaruh parameter besar arus listrik terhadap laju pengerjaan benda kerja.
- Perlu dilakukan penelitian terhadap permukaan lapisan atau layer yang terjadi pada hasil produk pemotongan yang menggunakan proses *Wire EDM*.

### DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 1973. *Japan Industrial Standart B 1701 Involute Gear Tooth Profile and Dimension*. Japan: Japanese Standart Asiciation.
- Anonim. 2011. *EDM Wire Tutorial*. USA: Makino Inc.  
[http://www.makino.com/about/article/2-1-2008/EDM\\_Wire\\_Tutorial](http://www.makino.com/about/article/2-1-2008/EDM_Wire_Tutorial)
- Abdel, Hassan and Gawad El-Hofy. 2005. *Advanced Machining Processes*. New York : McGraw Hill International.
- Jain, Shailendra and Syed Samsul Amin. 2004. *Gear Metrology*. Department of Mechanical Engineering and Engineering Science The University of North Carolina at Charlotte 9201 University City Blvd. Charlotte, NC 28223-0001 USA.  
<http://www.coe.uncc.edu/.../reports/GearMetrology>
- Jain, Vijay K. 2002. *Advanced Machining Processes*. New Delhi : Allied Publisher PVT. Limited.

- Junaidar, Adrian. 2004. *Pengaruh Besar Penarikan Kawat Dan Arus Listrik Terhadap Bicycle Effect Pada Wire Electric Discharge Machine (WEDM)*. Malang : Jurusan Mesin FT Unibraw, 2004.
- Mahapatra, S.S & Amar Patanaik. 2000. *Optimation Of Wire Electrical Discharge Machining (WEDM) Process Using Taguchi Method*. International Journal of Advanced Manufacturing Technology.
- Maitra, G.M. 1985. *Handbook Of Gear Design*. New Delhi : Mc Graw Hill.
- Michalec, George. 2009. *Elements of Metric Gear Technology*. Designatronics, Inc.  
<http://www.qtcgears.com/Q410/PDF/techsecindex.pdf>
- Pandey, PC & H.S Shan. 1983. *Modern Machining Processes*. New Delhi : McGraw Hill.
- Raksiri, Chana. 2010. *CNC Wire-Cut Parameter Optimized Determination of the Stair Shape Workpiece*; World Academy of Science, Engineering and Technology.
- Tandi, Fredi Rein. 2000. *Analisis Pengaruh Parameter Pemesinan Terhadap Ketelitian Ukuran Dan Kekasaran Permukaan Pada Proses Wire Electric Discharge Machine*. Malang : Jurusan Mesin FT Unibraw, 2000.