

# ENGARUH PARAMETER PROSES ELECTRICAL DISCHARGE MACHINING (EDM) TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN BENDA KERJA DAN LAMA PROSES Pengerjaan

Hendra Kurniawan<sup>1)</sup>, Didik Wahjudi<sup>2)</sup>, Roche Alimin<sup>3)</sup>

Program Studi Teknik Mesin Universitas Kristen Petra<sup>1,2)</sup>

Jl. Siwalankerto 121-131, Surabaya 60236. Indonesia<sup>1,2)</sup>

Phone: 0062-31-8439040, Fax: 0062-31-8417658<sup>1,2)</sup>

E-mail : [m24411010@john.petra.ac.id](mailto:m24411010@john.petra.ac.id)<sup>1)</sup>, [dwahjudi@peter.petra.ac.id](mailto:dwahjudi@peter.petra.ac.id)<sup>2)</sup>, [ralimin@petra.ac.id](mailto:ralimin@petra.ac.id)<sup>3)</sup>

## ABSTRAK

Kekasaran permukaan dan laju proses pengerjaan pada proses EDM dipengaruhi oleh nilai parameter proses yang digunakan. Kualitas kekasaran permukaan dapat dicapai dengan menjalankan proses pengerjaan itu selambat mungkin untuk arus antara dan kedalaman potong akhir yang memiliki kekasaran permukaan halus dan proses pengerjaan yang cepat adalah arus yang rendah dan kedalaman potong akhir yang tinggi. Tetapi proses berjalan lambat dari segi ekonomi dan waktu sangat merugikan, Karena itu diperlukan setting parameter yang tepat.

Dalam hal ini digunakan metode desain eksperimen, khususnya metode desain faktorial dengan 3 faktor, 3 level, dan 2 replikasi ( $3^3 \times 2$ ) pada tahap pertama, dan untuk tahap kedua desain faktorial yang dipakai ( $2^2 \times 2$ ). Metode ini digunakan untuk mencari faktor-faktor yang berpengaruh terhadap kekasaran permukaan dan waktu proses pengerjaan. Hasil dari penelitian ini pada tahap pertama initial current yang dipakai 4A dan untuk final current yang dipakai 0.5A untuk elektroda lowest, dan pada tahap kedua arus antara 1A dan untuk kedalaman potong akhir 0.10mm.

### Kata kunci:

**EDM, Kekasaran permukaan dan Laju proses pengerjaan, Arus dan kedalaman potong akhir, Metode desain faktorial.**

## Pendahuluan

Ada beberapa faktor yang berpengaruh terhadap kekasaran permukaan dan lama pengerjaan proses *electric discharge machine* (EDM) tersebut yaitu manusia, material dan faktor mesin. Pada mesin *electric discharge machine* (EDM) terdapat beberapa *setting* parameter yang berpengaruh terhadap kekasaran permukaan dan lama pengerjaan proses EDM tersebut. Parameter-parameter tersebut ialah *working time*, *gap*, *up*, *arus*, *arc on-time*, dan *arc off-time*. Pada parameter *arc on-time* dan *arc off-time* sudah pernah dilakukan penelitian dan hasil yang didapatkan sebagai berikut : Hamdrik (2007) melakukan penelitian tentang pengaruh parameter proses *Electric Discharge Machine* (EDM) terhadap kekasaran permukaan benda kerja dan laju keausan elektroda. Adapun parameter-parameter yang diteliti adalah, *arc on-time*, dan *arc off-time* serta interaksi keduanya terhadap kekasaran permukaan benda kerja dan laju keausan elektroda. Dari penelitian tersebut, Hamdrik (2007) Menyimpulkan bahwa besar arus *arc off-time* lebih besar pengaruhnya dibandingkan dengan *arc on-time*, baik terhadap kekasaran permukaan benda kerja maupun laju keausan elektroda.

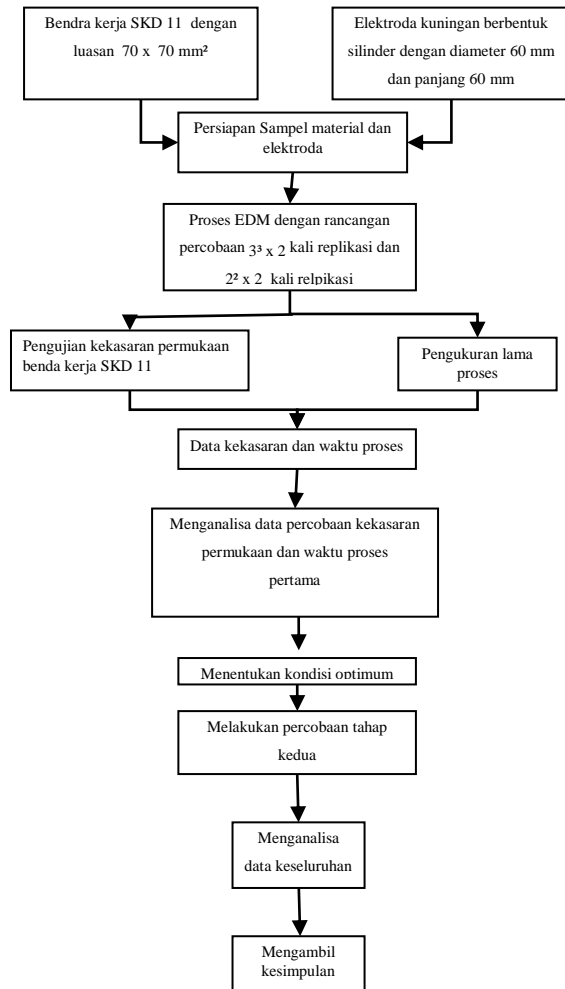
Parameter yang diteliti oleh Hamdrik (2007)

adalah sebagian parameter untuk mendapatkan kekasaran permukaan dan lama proses pengerjaan proses EDM. Adapun parameter lain yang belum diteliti oleh Hamdrik (2007) yaitu parameter *working time*, *arus*, *gap*, *up*. Penelitian ini mengambil parameter arus sebagai bahan penelitian agar dapat mengetahui sejauh mana parameter arus tersebut berpengaruh terhadap kekasaran permukaan dan lama pengerjaan proses EDM.

Permasalahan saat ini adalah *setting* parameter proses yang kurang optimum karena hasil yang didapatkan pada proses terlalu lama dan untuk kekasaran permukaannya kurang halus. Faktor-faktor yang berpengaruh terhadap proses dan yang diteliti adalah pengaruh arus, arus antara, dan kedalaman potong akhir.

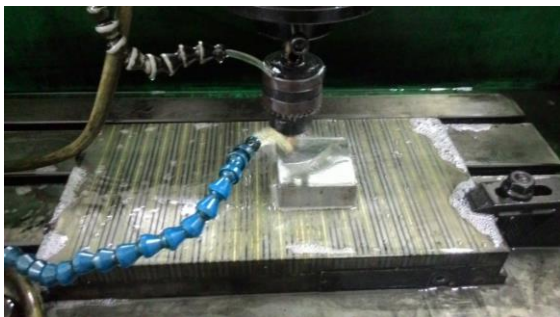
Penelitian ini bertujuan untuk melihat sejauh mana pengaruh parameter EDM *Sinking*, yaitu: arus listrik, arus antara dan kedalaman potong akhir terhadap kekasaran permukaan benda kerja dan lama proses pengerjaan.

## Tahap Penelitian



Gambar 1. Bagan Penelitian

Sebagai persiapan awal, dilakukan proses perataan permukaan pada benda kerja dengan proses *grinding*. Sedangkan untuk elektroda dilakukan perataan permukaan sentuh dengan kertas gosok. Mesin EDM yang digunakan adalah CNC EDM jenis AMM 550, dengan cairan dielektrikum.



Gambar 2. Benda Kerja Sebelum Proses Machining

Pada pengujian kekasaran permukaan, angka yang diamati adalah  $R_a$  yang nilainya dinyatakan dalam  $\mu\text{m}$ .

Dengan menggunakan *Surface Roughness Tester (Mitutoyo, SJ-301)*.

## Hasil Penelitian

Berikut hasil penelitian yang dilakukan:

Hasil penelitian menunjukkan bahwa faktor *final current* berpengaruh signifikan terhadap kekasaran permukaan sedangkan untuk faktor *initial current* dan elektroda tidak berpengaruh signifikan terhadap kekasaran permukaan hal ini dapat ditunjukkan pada Tabel 1, karena nilai dari p-value melebihi dari 5% atau 0.05.

Tabel 1. Tabel Hasil Analisa Data Kekasaran Permukaan

### Tahap Pertama

Analysis of Variance for kekasaran permukaan ( $\mu\text{m}$ )

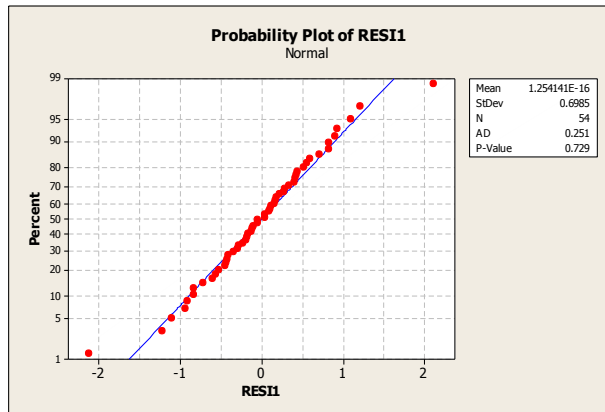
Source	DF	P
Initial Current	2	0.243
Final Current	2	0.049
Elektroda	2	0.811
Initial Current*Final Current	4	0.693
Initial Current *Elektroda	4	0.684
Final Current*Elektroda	4	0.492
Initial Current*Final Current*Elektroda	8	0.909
Error	27	
Total	53	

$S=0.978572$   $R\text{-Sq}= 44.22\%$

Jika dilihat dari interaksi semua faktor terhadap respon dapat dilihat pada *p-value* jika *p-value* lebih dari 0.05 berarti hasil tersebut tidak saling berinteraksi dan jika *p-value* nya kurang dari 0.05 atau 5% maka hasil dapat dinyatakan saling berinteraksi. Dan hasil dari interaksi semua faktor menunjukkan bahwa tidak ada interaksi sesama faktor karena hasil yang didapat adalah 0.909 dan hasil yang signifikan berada di faktor *final current* karena hasilnya lebih dari 0.05 atau 5% .

Data-data diatas dianggap valid jika terdistribusi normal, untuk mengetahui hal tersebut maka dilakukan analisa *Normal probability plot*. Variabilitas dari respon dapat dilihat dari analisa residual, dimana pada *Normal probability plot* digambarkan *points of the plot*

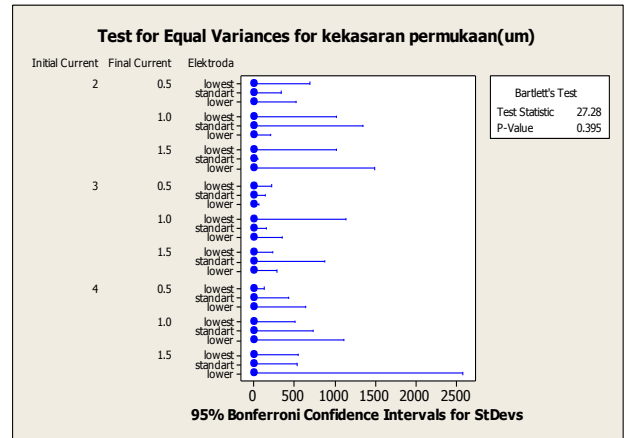
mendekati garis lurus linier ke kanan atas dan tidak berbentuk kurva. Ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Normal Probability Plot Dari Kekasaran Permukaan

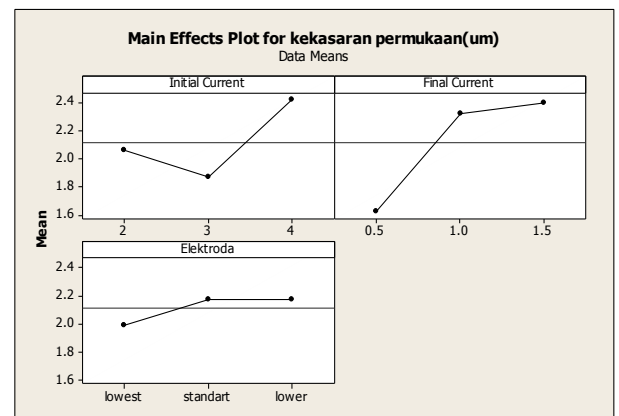
Pada Gambar 3 menunjukkan bahwa residual data memiliki nilai normal yang merata dari yang paling kecil hingga yang besar dan dapat dilihat juga bahwa data pada Gambar 3. *P-value* nya di atas 0.05 atau 5% dan Berada di sekitar garis lurus ini menunjukkan bahwa data menyebar normal bersama dengan semakin besar nilai residualnya. Ini menunjukkan model sudah terdistribusi normal dan data dapat dianalisa menggunakan metode ANOVA. Jika garis tidak menunjukkan *normal probability* maka harus dilakukan transformasi terlebih dahulu.

Pada Gambar 4 menunjukkan uji homogenitas yang digunakan untuk mengetahui apakah beberapa varian populasi adalah sama atau tidak. Uji ini dilakukan sebagai prasyarat dalam analisis ANOVA. Asumsi yang mendasari dalam analisis varian (ANOVA) adalah bahwa varian dari populasi adalah sama. Sebagai kriteria pengujian, jika nilai signifikansi lebih dari 0,05 maka dapat dikatakan bahwa varian dari dua atau lebih kelompok data adalah sama



Gambar 4. Hasil uji homogenitas pada kekasaran permukaan

Pada Gambar diatas menunjukkan bahwa data yang diambil bersifat homogen karena jika dilihat dari *p-value* memiliki nilai signifikansi melebihi 0.05 atau 5%. Dari Tabel 1 sebenarnya sudah dapat dinilai pengaruh level masing-masing faktor yang signifikan terhadap kekasaran permukaan. Tetapi untuk lebih memudahkan analisa pengaruh faktor terhadap kekasaran permukaan dapat dilihat melalui *Main Effect Plot* .yang ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Main Effect Plot Dari Data Kekasaran Permukaan

Pada Tabel 1 terlihat bahwa *final current* adalah hasil yang signifikan dan dari gambar di atas menunjukkan 0.5 A adalah arus yang baik dan signifikan untuk *final current*. Dan untuk *initial current* dan elektroda keduanya tidak signifikan dan dapat di ganti sesuai dengan kebutuhan kekasaran permukaan. Tetapi sebagai rekomendasi jika menginginkan kekasaran permukaan yang halus dan waktu proses yang cepat maka *initial current* dapat diganti menjadi 4 A dan untuk

elektrodanya yang standart.

### Analisa Variansi Terhadap Waktu Pengerjaan Dengan Kedalaman Potong 0.2 mm

Hasil penelitian menunjukkan bahwa faktor *initial current*, *final current* dan elektroda berpengaruh signifikan terhadap waktu pengerjaan karena hasil dari p-value dilihat tidak lebih dari 0.05 atau 5% .

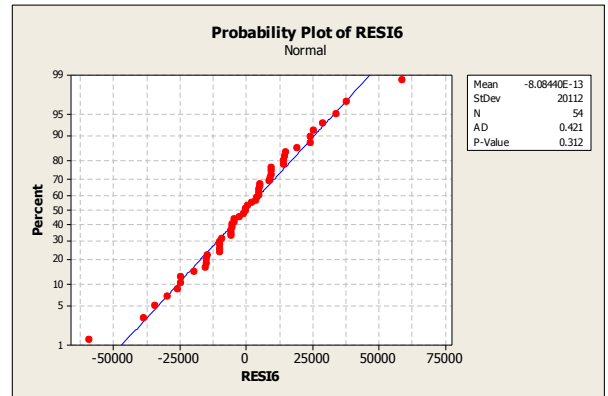
Tabel 2. Tabel Hasil Analisa Data Waktu Pengerjaan

Tahap Pertama				
Analysis of Variance for Waktu Pengerjaan				
Source	DF	P	MS	F
Initial Current	2	0	0.44066	19.17
Final Current	2	0	2.91715	126.87
Elektroda	2	0.045	0.08	3.48
Initial Current*Final Current	4	0.449	0.0219	0.95
Initial Current *Elektroda	4	0.225	0.03489	1.52
Final Current*Elektroda	4	0.61	0.01571	0.68
Initial Current*Final Current*Elektroda	8	0.395	0.02523	1.1
Error	27		0.02299	
Total	53			

S=0.151634 R-Sq=92.23%

Jika dilihat dari interaksi semua faktor terhadap respon dapat dilihat pada *p-value* jika *p-value* lebih dari 0.05 berarti hasil tersebut tidak saling berinteraksi dan jika *p-value* nya kurang dari 0.05 atau 5% maka hasil dapat dinyatakan saling berinteraksi. Dan hasil dari interaksi semua faktor menunjukkan bahwa tidak ada interaksi sesama faktor karena hasil yang didapat adalah 0.395 dan hasil yang didapatkan ketiganya menunjukkan signifikan karena hasilnya kurang dari 0.05 atau 5% .

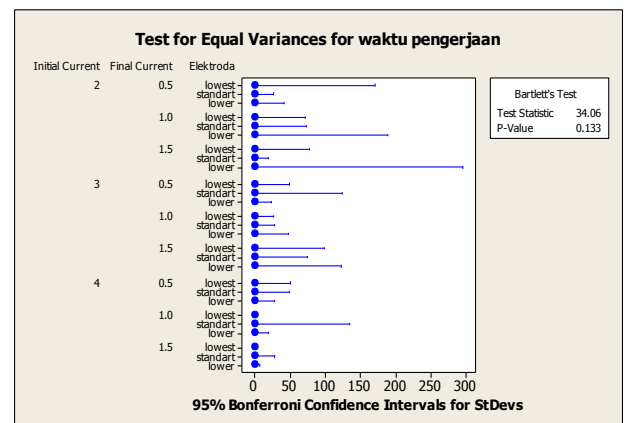
Data-data diatas dianggap valid jika terdistribusi normal, untuk mengetahui hal tersebut maka dilakukan analisa *Normal probability plot*. Variabilitas dari respon dapat dilihat dari analisa residual, dimana pada *Normal probability plot* digambarkan *points of the plot* mendekati garis lurus linier ke kanan atas dan tidak berbentuk kurva. Ditunjukkan pada Gambar 6



Gambar 6. Grafik *Normal Probability Plot* Dari Waktu Pengerjaan

Pada Gambar 6 menunjukkan bahwa residual data memiliki nilai normal yang merata dari yang paling kecil hingga yang besar dan dapat dilihat juga bahwa data pada Gambar 6. *P-value* nya di atas 0.05 atau 5% dan Berada di sekitar garis lurus ini menunjukkan bahwa data tersebut normal. Ini menunjukkan model sudah terdistribusi normal dan data dapat dianalisa menggunakan metode ANOVA. Jika garis tidak menunjukkan *normal probability* maka harus dilakukan transformasi terlebih dahulu.

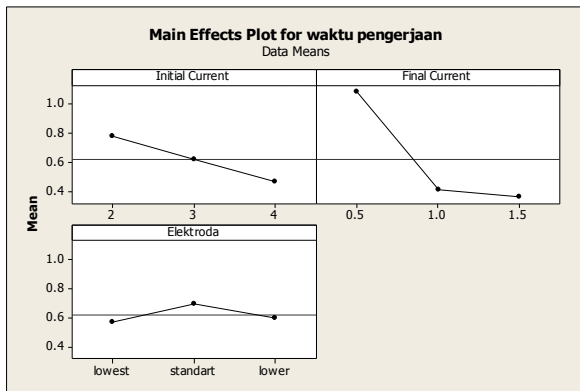
Pada Gambar 7 menunjukkan uji homogenitas yang digunakan untuk mengetahui apakah beberapa varian populasi adalah sama atau tidak. Uji ini dilakukan sebagai prasyarat dalam analisis ANOVA. Asumsi yang mendasari dalam analisis varian (ANOVA) adalah bahwa varian dari populasi adalah sama. Sebagai kriteria pengujian, jika nilai signifikansi lebih dari 0,05 maka dapat dikatakan bahwa varian dari dua atau lebih kelompok data adalah sama.



Gambar 7. Hasil uji homogenitas pada waktu pengerjaan

Pada Gambar diatas menunjukkan bahwa data yang

diambil bersifat homogen karena jika dilihat dari *p-value* tidak melebihi 0.05 atau 5%. Dari Tabel 2 sebenarnya sudah dapat dinilai pengaruh level masing-masing faktor yang signifikan terhadap waktu pengerjaan. Tetapi untuk lebih memudahkan analisa pengaruh faktor terhadap kekasaran permukaan dapat dilihat melalui *Main Effect Plot*. Yang ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Grafik *Main Effect Plot* Dari Data Waktu Pengerjaan

Pada Tabel 2 terlihat bahwa *initial current*, *final current*, elektroda adalah hasil yang signifikan dan dari gambar di atas menunjukkan 4 A adalah arus yang baik dan signifikan. Dan untuk elektroda memilih *setting* elektroda yang *lowest* karena hasil signifikan dan yang paling baik diantara *standart* dan *lower*.

### Hasil Analisa Variansi Terhadap Kekasaran Permukaan Dan Waktu Proses Dengan Kedalaman Potong 0.2 mm

Hasil dari penelitian tahap pertama disimpulkan bahwa untuk respon kekasaran permukaan dan kecepatan proses hasil yang baik di dapatkan untuk *intial current* memiliki *setting* yang optimum 4 A dan untuk *final current* 0.5 A dan untuk pemakaian elektroda yang optimum adalah *standart*.

### Analisa Variansi Terhadap Kekasaran Permukaan Dengan Kedalaman Potong 0.4 mm

Hasil penelitian menunjukkan bahwa faktor arus antara dan kedalaman potong akhir berpengaruh signifikan terhadap kekasaran permukaan hal ini dapat ditunjukkan pada Tabel 3 karena nilai dari *p-value* tidak melebihi dari 5% atau 0.05.

Tabel 3. Tabel Hasil Analisa Data Kekasaran Permukaan Tahap Kedua

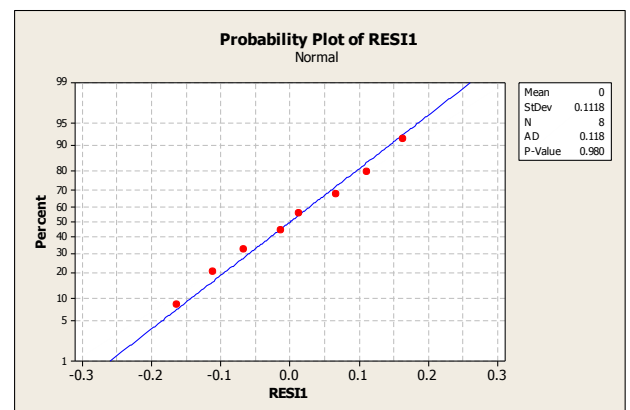
Analysis of Variance for kekasaran permukaan( $\mu\text{m}$ )

Source	DF	P
Arus Antara	1	0.000
Kedalaman Potong Akhir	1	0.000
Interaction	1	0.001
Error	5	
Total	7	

S=0.536761 R-Sq=98.86%

Jika dilihat dari interaksi semua faktor terhadap respon dapat dilihat pada *p-value* jika *p-value* lebih dari 0.05 berarti hasil tersebut tidak saling berinteraksi dan jika *p-value* nya kurang dari 0.05 atau 5% maka hasil dapat dinyatakan saling berinteraksi. Dan hasil dari interaksi semua faktor menunjukkan bahwa tidak ada interaksi sesama faktor karena hasil yang didapat adalah 0.287 dan hasil keduanya menunjukkan *signifikan* karena hasilnya kurang dari 0.05 atau 5% .

Data-data diatas dianggap valid jika terdistribusi normal, untuk mengetahui hal tersebut maka dilakukan analisa *Normal probability plot*. Variabilitas dari respon dapat dilihat dari analisa residual, dimana pada *Normal probability plot* digambarkan *points of the plot* mendekati garis lurus linier ke kanan atas dan tidak berbentuk kurva. Ditunjukkan pada Gambar 9.

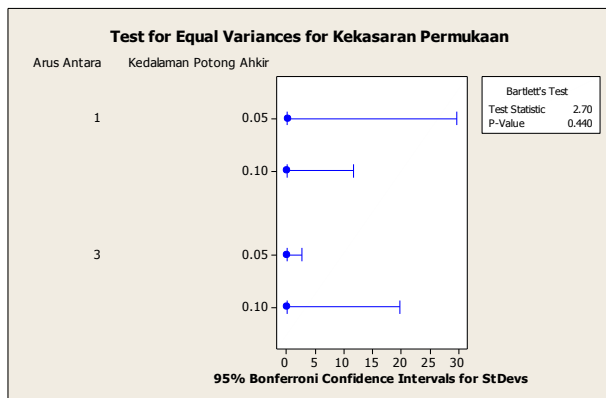


Gambar 9. *Normal Probability Plot* Dari Kekasaran Permukaan Tahap kedua

Pada Gambar 9 menunjukkan bahwa residual data memiliki nilai normal yang merata dari yang paling kecil

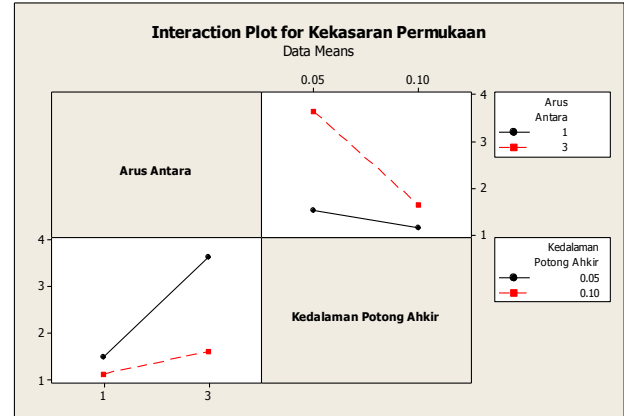
hingga yang besar dan dapat dilihat juga bahwa data pada Gambar 9. *P-value* nya di atas 0.05 atau 5% dan Berada di sekitar garis lurus ini menunjukkan bahwa data menyebar normal bersama dengan semakin besar nilai residualnya. Ini menunjukkan model sudah terdistribusi normal dan data dapat dianalisa menggunakan metode ANOVA. Jika garis tidak menunjukkan *normal probability* maka harus dilakukan transformasi terlebih dahulu.

Pada Gambar 10 menunjukkan uji homogenitas yang digunakan untuk mengetahui apakah beberapa varian populasi adalah sama atau tidak. Uji ini dilakukan sebagai prasyarat dalam analisis ANOVA. Asumsi yang mendasari dalam analisis varian (ANOVA) adalah bahwa varian dari populasi adalah sama. Sebagai kriteria pengujian, jika nilai signifikansi lebih dari 0,05 maka dapat dikatakan bahwa varian dari dua atau lebih kelompok data adalah sama.



Gambar 10. Hasil uji homogenitas pada kekasaran permukaan

Pada Gambar diatas menunjukkan bahwa data yang diambil bersifat homogen karena jika dilihat dari *p-value* tidak melebihi 0.05 atau 5%. Dari Tabel 3 sebenarnya sudah dapat dinilai pengaruh level masing-masing faktor yang signifikan dan terdapat interaksi antara ke duanya terhadap kekasaran permukaan. Tetapi untuk lebih memudahkan analisa pengaruh faktor terhadap kekasaran permukaan dapat dilihat melalui *interaction plot*.



Gambar 11. *Interaction Plot* Dari Data Kekasaran Permukaan

Pada Tabel 3 terlihat bahwa ada interaksi arus antara dan kedalaman potong akhir terhadap kekasaran permukaan hal tersebut dapat dibuktikan dengan cara melihat pada kolom interaksi yang menyatakan adanya interaksi antara keduanya karena *p-value* tidak lebih dari 0.05 atau 5%, berdasarkan Gambar 11 didapatkan hasil bahwa jika menginginkan kekasaran permukaan yang halus lebih baik menggunakan arus 1 A dan untuk kedalaman potong akhirnya adalah 0.10 mm.

### Analisa Variansi Terhadap Waktu Pengerjaan Dengan Kedalaman Potong 0.4 mm

Hasil penelitian menunjukkan bahwa faktor arus antara dan kedalaman potong akhir tidak berpengaruh signifikan terhadap waktu pengerjaan karena hasil dari *p-value* dilihat tidak lebih dari 0.05 atau 5% .

Tabel 4. Tabel Hasil Analisa Data Waktu Pengerjaan Tahap Pertama

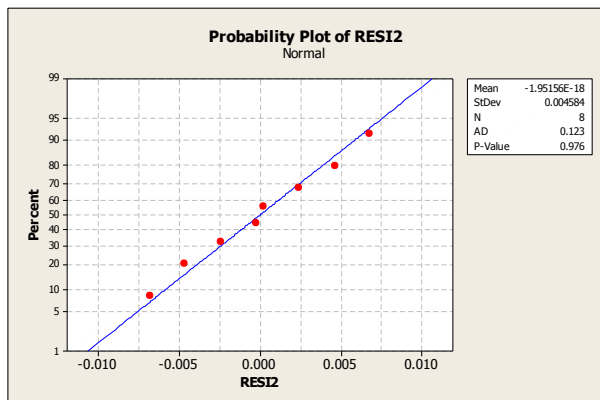
#### Analysis of Variance for Waktu Pengerjaan

Source	DF	P
Arus Antara	1	0.000
Kedalaman Potong Akhir	1	0.000
Interaction	1	0.377
Error	4	
Total	7	

S=0.171944  
R-Sq=98.54%

Jika dilihat dari interaksi semua faktor terhadap respon dapat dilihat pada *p-value* jika *p-value* lebih dari 0.05 berarti hasil tersebut tidak saling berinteraksi dan jika *p-value* nya kurang dari 0.05 atau 5% maka hasil dapat dinyatakan saling berinteraksi. Dan hasil dari interaksi semua faktor menunjukkan bahwa adanya interaksi sesama faktor karena hasil yang didapat adalah 0.007 karena hasil yang didapat lebih dari 0.05 atau 5% tetapi hasil yang didapat dikatakan semuanya signifikan terhadap waktu pengerjaan karena menunjukkan kurang dari 0.05 atau 5%.

Data-data diatas dianggap valid jika terdistribusi normal, untuk mengetahui hal tersebut maka dilakukan analisa *Normal probability plot*. Variabilitas dari respon dapat dilihat dari analisa residual, dimana pada *Normal probability plot* digambarkan *points of the plot* mendekati garis lurus linier ke kanan atas dan tidak berbentuk kurva. Ditunjukkan pada Gambar 12.

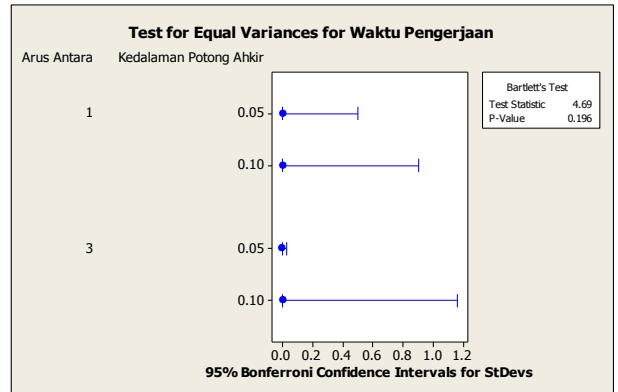


Gambar 12. Grafik Normal Probability Plot Dari Waktu Pengerjaan Tahap kedua

Pada Gambar 12 menunjukkan bahwa residual data memiliki nilai normal yang merata dari yang paling kecil hingga yang besar dan dapat dilihat juga bahwa data pada Gambar 12. *P-value* nya di atas 0.05 atau 5% dan Berada di sekitar garis lurus ini menunjukkan bahwa data menyebar normal bersama dengan semakin besar nilai residualnya. Ini menunjukkan model sudah terdistribusi normal dan data dapat dianalisa menggunakan metode ANOVA. Jika garis tidak menunjukkan *normal probability* maka harus dilakukan transformasi terlebih dahulu.

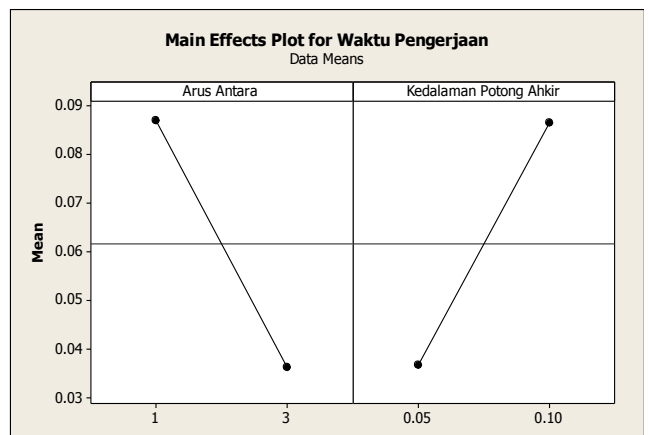
Pada Gambar 13 menunjukkan uji homogenitas yang

digunakan untuk mengetahui apakah beberapa varian populasi adalah sama atau tidak. Uji ini dilakukan sebagai prasyarat dalam analisis ANOVA. Asumsi yang mendasari dalam analisis varian (ANOVA) adalah bahwa varian dari populasi adalah sama. Sebagai kriteria pengujian, jika nilai signifikansi lebih dari 0,05 maka dapat dikatakan bahwa varian dari dua atau lebih kelompok data adalah sama.



Gambar 13. Hasil uji homogenitas pada waktu pengerjaan

Pada Gambar diatas menunjukkan bahwa data yang diambil bersifat homogen karena jika dilihat dari *p-value* tidak melebihi 0.05 atau 5%. Dari Tabel 4 sebenarnya sudah dapat dinilai pengaruh level masing-masing faktor yang signifikan terhadap waktu pengerjaan. Tetapi untuk lebih memudahkan analisa pengaruh faktor terhadap kekasaran permukaan dapat dilihat melalui *Main Effect Plot*.



Gambar 14. *Main Effects Plot* waktu pengerjaan pada tahap kedua

Pada Gambar di atas menunjukkan bahwa jika menginginkan waktu pengerjaan yang cepat maka

menggunakan arus 3 A dan kedalaman potong 0.05 mm.

### **Hasil Analisa Variansi Terhadap Waktu Pengerjaan Dan Kedalaman Potong 0.4 mm**

Hasil yang paling baik dan signifikan dari arus antara dan kedalaman potong akhir adalah jika menginginkan kekasaran permukaan yang halus maka harus melakukan *setting* parameter dengan arus antara 1 A dengan kedalaman potong 0.10 mm dan untuk memperoleh waktu pengerjaan yang cepat maka harus melakukan *setting* parameter dengan arus antara 3 A dan dengan kedalaman potong 0.05 mm.

### **KESIMPULAN**

Dalam penelitian tahap pertama terhadap kekasaran permukaan, secara individu parameter yang berpengaruh terhadap kekasaran permukaan adalah *final current*.

Nilai optimum untuk kekasaran permukaan adalah *final current* 0.5 A dengan nilai kekasaran permukaan yang optimum 1.77  $\mu\text{m}$ . Dalam penelitian tahap pertama terhadap waktu pengerjaan, secara individu parameter yang berpengaruh terhadap waktu pengerjaan adalah *initial current*. Nilai optimum untuk waktu pengerjaan adalah *initial current* 4 A dengan waktu pengerjaan yang optimum 20 menit 36 detik. Dalam penelitian tahap kedua terhadap kekasaran permukaan, secara individu parameter yang berpengaruh terhadap kekasaran permukaan adalah arus antara. Nilai optimum untuk kekasaran permukaan adalah arus antara 1 A dengan kekasaran permukaan yang optimum 1.08  $\mu\text{m}$ . Dalam penelitian tahap kedua terhadap waktu pengerjaan, secara individu parameter yang berpengaruh terhadap waktu pengerjaan adalah kedalaman potong akhir. Nilai optimum untuk waktu pengerjaan tahap kedua adalah kedalaman potong akhir 0.05 dengan waktu pengerjaan yang optimum 13 menit 16 detik.

### **5. Daftar Pustaka**

1. David, R., et al. (1999). *American Society for Metals International Handbook*. Vol.16 *Machining* 4<sup>th</sup> ed.
2. Dzulkapli, M. S. B. (2008). *Study the Effect of*

*Wire-EDM Parameters on Surface Roughness for Machining Die-Steel*. Retrived 10,2015, from [http://library.utem.edu.my/index2.php?option=com\\_docman&task=doc\\_view&gid=5183&Itemid=208](http://library.utem.edu.my/index2.php?option=com_docman&task=doc_view&gid=5183&Itemid=208)

3. Fariedpradhana (2012). Pengertian *Electrical Discharge Machining(EDM)*. Retrived 2, 2015 , From <https://fariedpradhana.wordpress.com/category/mesin-non-konvensional/>
4. Guitrau, E. Bud. (1997). *The EDM Handbook*. New York: Hanser Gardner Publications.
5. Hamdrik, R. (2007). Studi pengaruh parameter proses *Electrical Discharge Machining (EDM)* terhadap kekasaran permukaan benda kerja dan laju keausan elektroda .(TA NO.01010810/MES/2007).Unpublished undergraduate thesis, Universitas Kristen Petra, Surabaya.
6. Montgomery, D. C. (1997). *Design and Analysis of Experiments*, New York: John Wiley & Sons.
7. Munadi, S. (1988). *Dasar-dasar Metrologi Industri* . Retrived 19,2015, from <http://staff.uny.ac.id/sites/default/files/Pengukuran%20Kekasaran%20Permukaan.pdf>
8. Sidi, P. (2013, July). Model Parameter Mesin EDM Untuk Mengetahui Kekasaran Permukaan Menggunakan Metode *Respon Surface*. Indarti, R(2). Retrieved 15, 2015, from [http://www.polines.ac.id/rekayasa/upload/jurnal/jurnal\\_rekayasa\\_1389182661.pdf](http://www.polines.ac.id/rekayasa/upload/jurnal/jurnal_rekayasa_1389182661.pdf).
9. Sarjito (2014). *Electrical Discharge Machining (EDM)* . Retrieved 19.2015,from <http://sjitok.blogspot.co.id/2014/08/makalah-elctrical-discharge-machining.htm>
10. Setyo, E. A. (2011). Teori Permesinan EDM. Retrieved 15,2015, from <http://endriagussetyo.blogspot.com/2011/03/teori-pemesinan-edm-electrical.html>