

Optimasi Setting Parameter *Electrical Discharge Machining* (EDM) Terhadap Waktu Pengerjaan Material SKD 11 Dengan Metode Taguchi

Farizi Rachman^{1*}, Tri Andi Setiawan¹, Bayu Wiro¹, Risma Aris M¹

¹Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia
farizirachman@ppns.ac.id

Abstract— EDM adalah suatu proses permesinan yang bersifat non konvensional dengan pemakanan material benda kerja yang dilakukan oleh loncatan bunga api listrik (*spark*) melalui celah antara elektroda dan benda kerja yang berisi cairan di elektrik. *Electrical Discharge Machining* (EDM) *Sinking* adalah salah satu jenis EDM yang banyak digunakan dalam pembuatan *cavity* untuk cetakan maupun pembuatan *dies*. Dalam hal ini, tuntutan terhadap ketelitian dan kepresisian produk menjadi perhatian utama dari sebuah proses permesinan, agar menghasilkan produk yang berkualitas. Pada proses permesinan *Electrical Discharge Machining* (EDM) *Sinking*, laju pelepasan material berpengaruh terhadap mengurangi waktu pengerjaan atau efisiensi waktu proses. . Metode Taguchi merupakan salah satu metode dalam desain eksperimen yang dapat digunakan untuk mengendalikan kualitas produk. Metode Taguchi digunakan untuk menentukan pengaruh signifikan dan kondisi optimal dari pengoperasian mesin EDM *Sinking*. Penelitian ini mempertimbangkan 3 parameter yaitu *gap voltage*, *on time*, dan *off time* pada pengerjaan material SKD-11 sebagai salah satu bahan pembuatan cetakan/*dies* dengan tebal 13 mm. Berdasarkan hasil penelitian dengan Taguchi dengan memperhatikan nilai S/N Ratio, parameter *gap voltage* paling berpengaruh pada level 1 yaitu 30 volt, parameter *on time* paling berpengaruh pada level 3 yaitu 120 μ s dan parameter *off time* paling berpengaruh pada level 1 yaitu 20 μ s

Keywords— EDM, Waktu Pengerjaan, Taguchi.

I. PENDAHULUAN

Industri manufaktur di Indonesia semakin meningkat seiring dengan tingkat kebutuhan manusia yang beraneka ragam dan memicu berkembangnya teknologi, salah satunya industri proses permesinan. *Machining* merupakan istilah umum yang menggambarkan sekelompok proses yang terdiri dari penghilangan material dan modifikasi permukaan benda kerja dengan berbagai variasi metode pengerjaan (Kalpakjian, 2008). Kualitas suatu produk *machining* yang baik dapat dilihat salah satunya yaitu tingkat kekasaran permukaannya karena dapat mempengaruhi performa yang berkaitan dengan aspek fungsional dari produk (Londle, 2016).

Banyak faktor penentu kualitas sebuah produk, beberapa diantaranya adalah waktu pengerjaan, termasuk dalam proses *Electrical Discharge Machining* (EDM). *Electrical Discharge Machining* (EDM) adalah suatu proses permesinan yang bersifat

non konvensional dengan pemakanan material benda kerja yang dilakukan oleh loncatan bunga api listrik (*spark*) melalui celah antara elektroda dan benda kerja yang berisi cairan dielektrik. *Electrical Discharge Machining* (EDM) *Sinking* adalah salah satu jenis EDM yang banyak digunakan dalam pembuatan *cavity* untuk cetakan maupun pembuatan *dies*. Dalam hal ini, tuntutan terhadap ketelitian dan kepresisian produk menjadi perhatian utama dari sebuah proses permesinan. Untuk menghasilkan produk *dies* dibutuhkan material *special alloy* yang dapat dilakukan *hardening* sampai kekerasan mencapai di atas 60 HRC yaitu material baja SKD 11.

Untuk meningkatkan kualitas produk pada *dies* maka diharuskan untuk mencapai kekerasan dan kehalusan permukaan yang tinggi. Sehingga sangat diperlukan pengetahuan yang baik mengenai parameter yang mempengaruhi kekasaran permukaan pada *dies* selama proses permesinan *Electrical Discharge Machining* (EDM). Pada proses permesinan *Electrical Discharge Machining* (EDM) *Sinking*, laju pelepasan material berpengaruh terhadap mengurangi waktu pengerjaan atau efisiensi waktu proses. Untuk meningkatkan laju pelepasan material yaitu dengan cara meminimalkan tingkat kekasaran permukaan, laju keausan elektroda dan *overcut* pemakanan. Sebuah penelitian mengenai pengaruh besar arus dan *arc on time* terhadap kekasaran permukaan dan keausan elektroda menggunakan metode *respon surface* disimpulkan bahwa arus listrik merupakan parameter yang paling berpengaruh baik terhadap kekasaran permukaan maupun laju keausan elektroda kemudian diikuti oleh *arc on time* dan *arc off time* [1]. Selain tingkat kekasaran permukaan, untuk menghasilkan kualitas permukaan yang baik terdapat variabel proses lain yang mempengaruhi integritas permukaan yaitu waktu lamanya pengerjaan. Hal ini dikarenakan lamanya pengerjaan mempengaruhi tingkat efisiensi waktu dan biaya produksi. Sehingga ketika waktu pengerjaan semakin lama maka tingkat efisiensi waktu menjadi berkurang. Hal ini mempengaruhi biaya produksi juga semakin tinggi. Sehingga harga jual produk juga semakin mahal.

Penelitian ini akan mengangkat judul tentang Optimasi Setting Parameter *Electrical Discharge Machining* (EDM) Terhadap Waktu Pengerjaan dengan metode taguchi. Metode Taguchi digunakan untuk menentukan pengaruh signifikan dan kondisi optimal dari pengoperasian mesin EDM *Sinking*. Sebuah



penelitian mengenai parameter mesin EDM *Sinking* untuk mengoptimalkan respon material AISI H13 menggunakan metode *Taguchi-Fuzzy* dengan kesimpulan bahwa kombinasi level parameter proses yang tepat pada EDM *sinking* secara signifikan terhadap KPA (*final cutting depth*), LKE (*electrode wear rate*), LPM (*material erosion rate*), dan KP (*surface roughness*) secara serentak adalah parameter proses *current*

15A, *energy on time* 300 μ s, *energy off time* 5 μ s dan *gap voltage* 12V [2]. Penelitian lain yang menggunakan Metode Taguchi mengenai laju pelepasan material, keausan elektroda dan *overcut* material Baja AISI 422 pada EDM *Sinking* dengan kesimpulan MRR maksimum terjadi pada parameter LA (*current pulse*) 10A Level 3, PON (*on time*) 100 μ s level 3, GAP (*Gap Voltage*) 4V level 1, laju keausan elektroda minimum terjadi pada parameter LA 4A level 1, PON 100 μ s level 3 dan GAP 4V level 1 dan *overcut* minimum terjadi pada parameter LA 7A level 2, PON 50 μ s level 1 dan GAP 6V level 1[3].

Dengan melakukan desain eksperimen Taguchi ini, diharapkan dapat mengetahui parameter yang tepat untuk mendapatkan hasil produk dengan waktu pengerjaan yang optimal dengan karakteristik *Smaller The Better* (STB).

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Taguchi

Menurut Soejanto (2009) Metode Taguchi merupakan metodologi baru dalam bidang teknik yang bertujuan untuk memperbaiki kualitas produk dan proses dalam waktu yang bersamaan menekan biaya dan sumber daya seminimal mungkin. Untuk mencapai hal itu, metode taguchi berupaya mencapai sasaran itu dengan menjadikan produk atau proses "tidak sensitif" terhadap berbagai parameter seperti material, perlengkapan manufaktur, kondisi operasional[4,5].

Pada penelitian ini menggunakan metode Taguchi karena memiliki keunggulan seperti :

1. Metode Taguchi menghasilkan kesimpulan mengenai respon faktor-faktor dan level dari faktor-faktor kontrol yang menghasilkan respon optimum.
2. Desain eksperimen Taguchi lebih efisien karena memungkinkan untuk melaksanakan penelitian yang melibatkan banyak faktor dan jumlah.
3. Desain eksperimen Taguchi memungkinkan diperolehnya suatu proses yang menghasilkan produk yang konsisten dan kokoh terhadap faktor yang tidak dapat dikontrol (faktor gangguan).

Metode Taguchi menggunakan seperangkat matriks khusus yang disebut dengan Matriks Orthogonal. Matriks Orthogonal merupakan langkah untuk menentukan jumlah eksperimen minimal yang dapat memberikan informasi sebanyak mungkin semua faktor yang mempengaruhi parameter. Terdapat bagian terpenting dari metode ini adalah terletak pada pemilihan kombinasi level variabel-variabel input untuk tiap eksperimen [4].

Metode taguchi telah mengembangkan konsep rasio S/N untuk eksperimen yang melibatkan banyak faktor. Metode perhitungan rasio S/N bergantung pada karakteristik kualitas. Berikut merupakan tiga kategori karakteristik kualitas:

Nominal is the best

$$S/N_t = 10 \log \left(\frac{y^2}{s_y} \right) \quad (1)$$

i. Larger is the better

$$S/N_L = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i} \right) \quad (2)$$

ii. Smaller is the better

$$S/N_S = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (3)$$

B. Pengertian EDM

Electrical Discharge Machining (EDM) merupakan salah satu dari bermacam proses machining non konvensional yang berbasis komputer sebagai pengendali utamanya. Di industri, EDM banyak digunakan dalam pembuatan dies dan mold untuk menghasilkan spesifikasi dimensi, geometri dan kualitas permukaan yang lebih baik, akurat dan teliti dibandingkan dengan proses pemesinan konvensional. EDM adalah suatu proses penghapusan atau pengikisan logam yang dilakukan dengan cara penciptaan ribuan kotoran per detik listrik yang mengalir antara elektroda dan benda kerja dalam cairan dielektrik yang memiliki efek menguap logam yang sangat kecil wilayah yang dikendalikan. Cairan dielektrik memiliki fungsi diantaranya sebagai isolator hingga beda potensial yang dihasilkan cukup tinggi, sebagai media pendingin bagi elektroda dan benda kerja, dan sebagai media flushing yang membawa geram keluar dari daerah gap. Mesin Electrical Discharge Machining (EDM) dapat dilihat pada Gambar 1



Gambar 1. Gambar EDM

Proses *Electrical Discharge Machining* (EDM) adalah proses pengerjaan material yang dikerjakan oleh sejumlah loncatan bunga api listrik (*spark*) yang terjadi pada celah di antara elektroda sebagai katoda dengan benda kerja sebagai anoda. Loncatan bunga api listrik tersebut tidak terjadi secara kontinu tetapi berjalan secara periodik terhadap waktu.



III. METODOLOGI

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah Metode Taguchi.

A. Sumber Data

Pengambilan data dilakukan di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya pada bengkel CNC dimana terdapat mesin *Electrical Discharge Machining* (EDM) dengan merk *Sinker ARISTECH EDM LS 550* menggunakan plat SKD 11 dengan ketebalan 13 mm. Dengan desain eksperimen, plat akan diberikan perlakuan oleh 3 parameter dengan 3 level di setiap parameter.

B. Variabel Penelitian

Penelitian ini menggunakan dua variabel yaitu variabel respon dan variabel bebas. Variabel respon adalah variabel yang besarnya tidak dapat ditentukan dan nilainya dipengaruhi oleh perlakuan yang diberikan serta hasilnya diketahui setelah melaksanakan percobaan. Variabel respon yang digunakan untuk penelitian ini adalah waktu pengerjaan.

Variabel bebas adalah variabel yang dapat dikendalikan dan nilainya dapat ditentukan. Ada 3 variabel proses yang digunakan pada penelitian ini yaitu :

a. Gap Voltage

Gap voltage menunjukkan nilai potensial yang dapat diukur dengan satuan volt. Pada penelitian ini pengaturan gap voltage dilakukan pada nilai 35 V, 45 V, dan 55 V.

b. On Time

On time menunjukkan waktu terjadinya loncatan bunga api listrik akibat arus listrik yang mengalir. Pada penelitian ini pengaturan *on time* dilakukan pada nilai 80 μ s, 120 μ s, 160 μ s.

c. Off Time

Off time menunjukkan periode dimana arus listrik berhenti untuk sesaat sebelum loncatan loncatan bunga api listrik (*spark*) terjadi kembali. Pada penelitian pengaturan *off time* dilakukan pada nilai 10 μ s, 20 μ s, 30 μ s.

Variabel ini kemudian dibentuk menjadi matriks ortogonal. *Orthogonal array* atau matriks ortogonal digunakan untuk mendesain rancangan eksperimen dengan keluaran dapat mengetahui berapa jumlah minimal eksperimen yang harus dilakukan namun mendapatkan informasi yang cukup. Matriks Orthogonal yang terbentuk adalah rancangan L_9 (3^4) dimana:

L= rancangan bujur sangkar latin

9= jumlah eksperimen

3= jumlah level

4= jumlah faktor

Tabel 1. Parameter dalam proses eksperimen

| No. | Parameter | Kode | Level 1 | Level 2 | Level 3 |
|-----|--|------|---------|---------|---------|
| 1. | <i>Gap Voltage (GV), Volt</i> | A | 30 | 40 | 50 |
| 2. | <i>On Time (ON), μs</i> | B | 80 | 100 | 120 |
| 3. | <i>Off Time (OFF), μs</i> | C | 20 | 40 | 60 |

C. Pengumpulan data

Pengumpulan data dilakukan setelah dilakukan pengujian sebanyak 9 kali dengan level yang berbeda-beda dari setiap parameter pada SKD 11 setebal 25 mm dengan replikasi sebanyak 3 kali di masing masing pengujian. Untuk pengukuran waktu lama proses diambil melalui timer yang terdapat pada panel kontrol yang digunakan oleh mesin EDM setelah proses discharge selesai.

Tabel 2 Desain Eksperimen

| Eksperimen | <i>Gap Voltage</i> (Volt) | <i>On Time</i> (μ s) | <i>Off Time</i> (μ s) |
|------------|---------------------------|---------------------------|----------------------------|
| 1 | 30 | 80 | 20 |
| 2 | 30 | 100 | 40 |
| 3 | 30 | 120 | 60 |
| 4 | 40 | 80 | 40 |
| 5 | 40 | 100 | 60 |
| 6 | 40 | 120 | 20 |
| 7 | 50 | 80 | 60 |
| 8 | 50 | 100 | 20 |
| 9 | 50 | 120 | 40 |

Tabel 2 adalah desain eksperimen sesuai dengan matriks ortogonal dengan nilai level pada tiap parameter pada Tabel 1. Tabel 2 menunjukkan bahwa eksperimen 1 menggunakan kombinasi parameter *gap voltage* level 1 yaitu 30 volt, *on time* level 1 yaitu 80 μ s dan *off time* level 1 yaitu 20 μ s

D. Pengolahan Data

Pada penelitian ini digunakan analisis dengan pendekatan metode Taguchi dengan kriteria *smaller is better*. Berikut perhitungan yang akan dilakukan :

- Rasio S/N
- Normalisasi nilai S/N rasio
- Analysis of Varians (ANOVA)
- Penentuan nilai Optimum

Proses interpretasi hasil pengujian adalah dengan melakukan analisis faktor-faktor parameter mesin yang memiliki pengaruh terhadap waktu pengerjaan.



IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Eksperimen yang dilakukan adalah proses pemakanan baja SKD 11 dengan dimensi 180 x 130 x 13 mm yang menggunakan elektroda tembaga.

A. Pengambilan Data

Pengukuran waktu pengerjaan dilakukan dengan melihat langsung di layar mesin EDM Sinking pada keterangan Total Time. Untuk mereset agar waktu bisa memulai perhitungan dari nol maka dipilih T-Zero sebelum melakukan proses EDM selanjutnya.



Gambar 1. Waktu Pengerjaan EDM Sinking

Untuk satuan data waktu pengerjaan dikonversikan ke dalam satuan detik. Pengukuran waktu pengerjaan dilakukan 9 eksperimen dengan tiap eksperimen dilakukan 3 kali replikasi sehingga terdapat 27 eksperimen. Data yang sudah didapatkan dihitung nilai S/N Ratio. Perhitungan Rasio S/N dilakukan untuk meminimalkan sensitivitas karakteristik kualitas terhadap faktor gangguan. Perhitungan rasio S/N untuk waktu pengerjaan dan kekasaran permukaan menggunakan pendekatan tipe *Smaller is Better* atau disebut juga semakin kecil nilainya semakin baik.

Rasio S/N pada penelitian ini adalah Semakin kecil, semakin baik (*Smaller is Better*) dengan rumus:

Data yang digunakan untuk perhitungan Rasio S/N kekasaran permukaan adalah data waktu pengerjaan dari hasil eksperimen di Bengkel CNC. Hasil perhitungan dengan menggunakan kriteria *Smaller is Better* tiga eksperimen pertama adalah sebagai berikut:

a. Eksperimen 1

$$S/N_1 = -10 \log \frac{568^2 + 1045^2 + 1551^2}{3}$$

$$= -10 \log \frac{3820250}{3}$$

$$= -61,05$$

b. Eksperimen 2

$$S/N_2 = -10 \log \frac{1358^2 + 1518^2 + 2184^2}{3}$$

$$= -10 \log \frac{8918344}{3}$$

$$= -64,73$$

c. Eksperimen 3

$$S/N_3 = -10 \log \frac{1183^2 + 1561^2 + 964^2}{3}$$

$$= -10 \log \frac{4765506}{3}$$

$$= -62,01$$

Hasil Perhitungan S/N Ratio untuk waktu pengerjaan sebagai berikut:

Tabel 2. Hasil perhitungan S/N/ Ratio

| Eksperimen | S/N Ratio |
|------------|-----------|
| 1 | - 61,05 |
| 2 | - 64,73 |
| 3 | - 62,01 |
| 4 | - 64,69 |
| 5 | - 63,96 |
| 6 | - 65,24 |
| 7 | - 69,04 |
| 8 | - 67,06 |
| 9 | - 64,66 |

B. Pengolahan Data

Berdasarkan hasil pengolahan data didapatkan hasil ANOVA sebagai berikut:

Tabel 3. Anova for SN Ratio

| Source | DF | Seq SS | Adj SS | F | P |
|----------------|----|---------|--------|------|-------|
| A | 2 | 671178 | 671178 | 1.32 | 0.432 |
| B | 2 | 202769 | 202769 | 0.4 | 0.716 |
| C | 2 | 500054 | 500054 | 0.1 | 0.911 |
| Residual Error | 2 | 510235 | 510235 | | |
| Total | 8 | 1434236 | | | |

Berdasarkan Tabel 3 menunjukkan bahwa secara statistik *Gap Voltage, On Time, dan Off Time* kurang memberikan pengaruh yang signifikan terhadap waktu pengerjaan, hal ini didasarkan nilai p-value masing-masing faktor sebesar 0,43; 0,716; dan 0,911. Semua nilai P-value kurang dari α (0,05).

Selanjutnya perhitungan Parameter Optimum. Perhitungan parameter optimum bertujuan untuk mengetahui level optimum pada suatu parameter terhadap respon dari eksperimen. Perhitungan ini menggunakan data Rasio S/N dari Tabel 2. Perhitungan parameter optimum adalah sebagai berikut.

a. Parameter *Gap Voltage*(GV)

Pada eksperimen, parameter yang berada pada level 1 terdapat di eksperimen pertama, kedua dan ketiga. Sehingga

$$GV1 = (((-61,05)+(-64,73)+(-62,01)))/3$$

$$= -62,597$$

Parameter yang berada pada level 2 terdapat di eksperimen keempat, kelima, dan keenam. Sehingga



$$\begin{aligned} \text{GV2} &= (((-64,69)+(-63,96)+(-65,24)))/3 \\ &= -64,629 \end{aligned}$$

Parameter yang berada pada level 3 terdapat di eksperimen ketujuh, kedelapan, dan kesembilan. Sehingga :

$$\begin{aligned} \text{GV3} &= (((-69,04)+(-67,06)+(-64,66)))/3 \\ &= -66,918 \end{aligned}$$

b. Parameter *On Time* (TON)

Parameter yang berada pada level 1 terdapat di eksperimen pertama, keempat dan ketujuh. Sehingga :

$$\begin{aligned} \text{TON}_1 &= \frac{((-61,05)+(-64,69)+(-69,04))}{3} \\ &= -64,926 \end{aligned}$$

Parameter yang berada pada level 2 terdapat di eksperimen kedua, kelima dan kedelapan. Sehingga :

$$\begin{aligned} \text{TON}_2 &= \frac{((-64,73)+(-63,96)+(-67,06))}{3} \\ &= -65,248 \end{aligned}$$

Parameter yang berada pada level 3 terdapat di eksperimen ketiga, keenam dan kesembilan. Sehingga :

$$\begin{aligned} \text{TON}_3 &= \frac{((-62,01)+(-65,24)+(-64,66))}{3} \\ &= -63,970 \end{aligned}$$

c. Parameter *Off Time*(TOFF)

Parameter yang berada pada level 1 terdapat di eksperimen pertama, keenam dan kedelapan. Sehingga :

$$\begin{aligned} \text{TOFF}_1 &= \frac{((-61,05)+(-65,24)+(-67,06))}{3} \\ &= -64,450 \end{aligned}$$

Parameter yang berada pada level 2 terdapat di eksperimen kedua, keempat, kesembilan. Sehingga :

$$\begin{aligned} \text{TOFF}_2 &= \frac{((-64,73)+(-64,69)+(-64,66))}{3} \\ &= -64,691 \end{aligned}$$

Parameter yang berada pada level 3 terdapat di eksperimen ketiga, keenam dan kesembilan. Sehingga :

$$\begin{aligned} \text{TOFF}_3 &= \frac{((-57,07)+(-59,04)+(-62,77))}{3} \\ &= -65,003 \end{aligned}$$

Diketahuinya nilai untuk setiap parameter dan pada levelnya masing-masing. Selanjutnya nilai tersebut dilakukan pembobotan untuk mengetahui level berapa dan parameter apa saja yang memiliki pengaruh terhadap waktu pengerjaan.

Hasil nilai level optimum tiap parameter selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 1. Pada tabel dibawah ini menunjukkan bahwa Parameter *Gap Voltage* yang optimum berada pada level 1 dengan nilai -62,60, parameter *On Time* yang optimum berada pada level 3 dengan nilai -63,97 dan parameter *Off Time* yang optimum berada pada level 1 dengan nilai -64,45. Delta merupakan selisih dari nilai terbesar dan nilai terkecil. Sedangkan Rank digunakan untuk menunjukan parameter yang paling berpengaruh terhadap respon waktu pengerjaan. Sesuai gambar dibawah ini menunjukkan bahwa parameter yang paling berpengaruh terhadap respon waktu pengerjaan adalah parameter A (gap voltage) dengan nilai delta yaitu 4,32.

Tabel 4. Parameter Optimum Kekasaran Permukaan

| | GV | TON | TOFF |
|---------|-------------|-------------|-------------|
| 1 | -62,60 | -64,93 | -64,45 |
| 2 | -64,63 | -65,25 | -64,69 |
| 3 | -66,92 | -63,97 | -65 |
| Selisih | 4,32 | 1,28 | 0,55 |
| Ranking | 1 | 2 | 3 |

V. KESIMPULAN

Setting kombinasi optimum parameter pada mesin EDM *Sinking* untuk meminimalkan waktu pengerjaan yang sesuai dengan Baja SKD-11 adalah *gap voltage* bernilai 30 Volt, *on time* bernilai 120 μ s dan *off time* bernilai 20 μ s.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada kementerian Riset dan Pendidikan Tinggi melalui Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, yang telah memberikan fasilitas baik dukungan dana maupun sarana prasarana untuk terselenggaranya penelitian ini. Semoga penelitian di Indonesia terus berkembang

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Alimin, R., Anggono, J., & Hamdrik, R. (2016). Studi Pengaruh Besar Arus dan Arc On-Time Pada Electrical Discharge Machining (EDM) Sinking Terhadap Kekasaran Permukaan Benda Kerja dan Keausan Elektroda. Teknik Mesin Universitas Kristen Petra.
- [2] Yudo, E., & Pratiwi, D. K. (2017). Parameter Mesin EDM Sinking Untuk Mengoptimalkan Respon Pada Material AISI H13 Menggunakan Metode Taguchi – Fuzzy. Prosiding Sentrinov, Vol. 3, pp.50–61.
- [3] Syahbuddin, & Imam Sofi'i. (2018). Laju Pelepasan Material, Keausan Elektroda, Dan Overcut Baja AISI 422 Pada Proses EDM Sinking. Konferensi Ilmiah Teknologi Texmaco, Vol. 1, pp. 125–133. Texmaco.
- [4] Soejanto, I. (2009). Desain Eksperimen dengan Metode Taguchi. Graha Ilmu. Yogyakarta, Indonesia.
- [5] Montgomery DC. (2013). Design and Analysis of Experiments. Ed ke-8. New York: John Wiley & Sons, inc



Halaman ini sengaja dikosongkan

