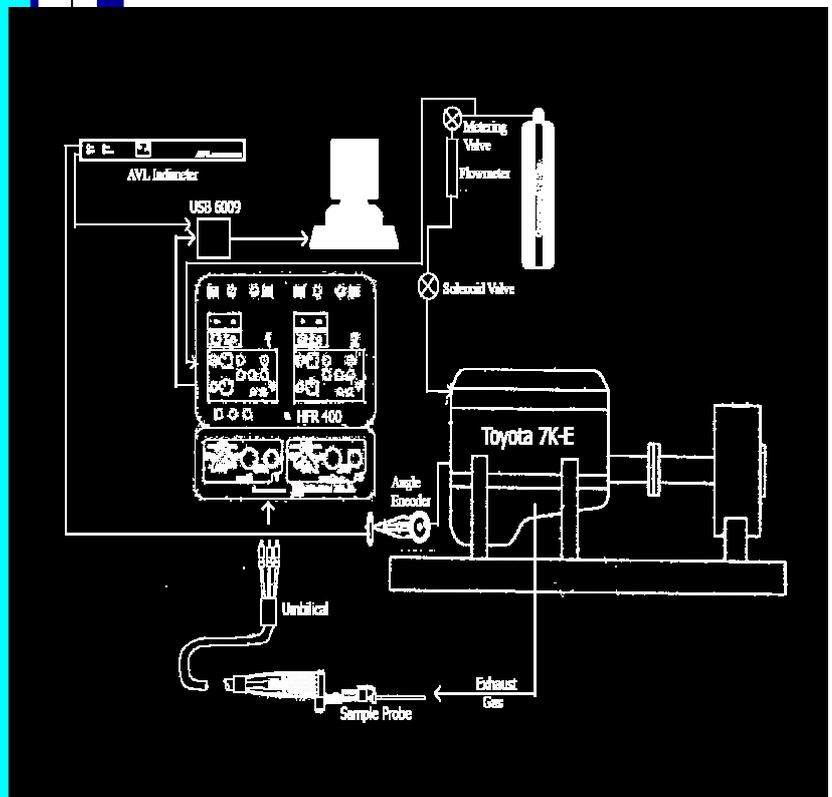


Jurnal Teknik Mesin
Volume 22, No.2, Oktober



EDITOR

B. Sutjiatmo (Ketua)
A. Suwono
D. Suharto
K. Bagiasna
S. D. Jenie
S. S. Brodjonegoro
Abdurrachim
I. Nurhadi
R. Suratman
P. S. Darmanto

MITRA BESTARI

Ign. P. Nurprasetio (ITB)
I. S. Putra (ITB)
A. I. Mahyuddin (ITB)
Y. Yuwana M (ITB)
Z. Abidin (ITB)
P. Sutikno (ITB)
T. Hardianto (ITB)
T. A. F. Soelaiman (ITB)
N. P. Tandian (ITB)
S. Wiryolukito (ITB)
A. Basuki (ITB)

REDAKSI PELAKSANA

A. D. Pasek (Ketua)
I M. Astina
I. G. N. W. Puja
Indrawanto
W. Adriansyah
A. Wibowo
I N. Diasta

ALAMAT REDAKSI

Program Studi Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Bandung
Jln. Ganesa 10, Bandung 40132
Tel. :(022)-2504243
Fax: (022)-2534099
E-mail: ari@termo.pauir.itb.ac.id
yadi@tu.ms.itb.ac.id

Terbit 2 (dua) kali dalam satu tahun
bulan April dan Oktober.

EDITORIAL

Jurnal Mesin Vol. 22 no. 2 merupakan edisi terakhir tahun 2007. Pada edisi ini enam makalah diterbitkan yang mencakup berbagai disiplin ilmu dalam Teknik Mesin dan Dirgantara.

Makalah pertama ditulis oleh Chan Sarin dan para pembimbingnya dari Program Studi Teknik Mesin ITB dan Fakultas Sain dan Teknologi Universitas Keio, Jepang. Makalah ini membahas mengenai pengembangan persamaan tingkat keadaan untuk memprediksi sifat-sifat termodinamika normal butana. Persamaan yang dikembangkan merupakan turunan dari persamaan Hemholtz dan mempunyai jumlah suku-suku yang lebih sedikit di bandingkan dengan persamaan-persamaan tingkat keadaan yang ada saat ini. Hasil prediksi dari persamaan ini kemudian dibandingkan dengan hasil pengujian yang dilakukan oleh peneliti lain. Hasil perbandingan menunjukkan bahwa tingkat kesalahan persamaan tidak lebih dari 1 %.

Makalah kedua ditulis oleh Ari Darmawan Pasek dkk dari Kelompok Keahlian Konversi Energi ITB. Makalah ini membahas sifat mampu nyala dan performansi refrigeran campuran propana (R-290) dan R-22. Dari hasil pengujian sifat mampu nyala diketahui bahwa pencampuran R-20 dengan R-22 dapat menurunkan sifat mampu nyala R-290. Pada komposisi R-290 40% dan R-22 60 % sampai R-290 59% / R-22 41% campuran mempunyai batas penyalaaan bawah yang lebih besar dari 3,5% sehingga refrigeran tersebut dapat di kategorikan sebagai refrigeran kelas A2. Refrigeran campuran tersebut mempunyai massa optimum yang lebih sedikit dari R-22 dan mempunyai COP lebih baik dari R-22 tetapi lebih buruk dibanding R-290 murni. Refrigeran campuran tersebut diketahui bersifat azeotropik.

Makalah yang ditulis oleh Sigit Yoewono dan Adriansyah dari Kelompok Keahlian Teknik Produksi membahas mengenai optimasi proses pemesinan EDM *Wire Cut*. Dalam metode optimasi ini yang diusulkan adalah Algoritma Genetik, dengan menggunakan algoritma tersebut diperoleh kombinasi nilai variabel input mesin yang menghasilkan kondisi pemotongan optimum dengan *feed rate* dan kekasaran permukaan sebagai parameter optimasi. Variabel input yang dimaksud adalah *no load voltage*, *capacitor*, *on time*, *off time*, dan *servo voltage*. Dengan membandingkan hasil optimasi dengan metode lain dapat terlihat bahwa metode algoritma genetik menghasilkan kondisi optimal yang baik.

Makalah keempat ditulis oleh Arief Haryanto dkk dari Kelompok Keahlian Konversi Energi ITB. Makalah ini metode pengurangan gas HC di saat start pada motor bensin. Pengurangan gas HC dilakukan dengan cara menambahkan gas hidrogen ke dalam ruang bakar. Penambahan gas hidrogen ini akan menghasilkan pembakaran yang lebih sempurna sehingga HC dapat dikurangi. Makalah ini juga membahas hasil pengujian untuk mendapatkan jumlah gas hidrogen yang optimum.

Makalah kelima ditulis oleh Yuli Setyo Indartono dkk dari Kelompok Keahlian Konversi Energi ITB. Makalah ini membahas pengaruh penambahan aditif surfactant terhadap pertumbuhan partikel Trymethylolthane (TME). Suspensi TME ditambahkan dengan maksud untuk menambah kapasitas termal refrigeran sekunder (brine), sedangkan surfactant ditambahkan agar friksi pada saluran dapat dikurangi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa adanya penambahan surfactant akan mempengaruhi pertumbuhan kristal TME, untuk mengatasi hal tersebut harus ditambahkan pula counter ion dengan konsentrasi tertentu.

Makalah terakhir yang ditulis oleh Indra Djodikusumo dkk dari Kelompok Keahlian Teknik Produksi ITB berisi informasi mengenai proses reverse dan forward engineering yang dilakukan kelompoknya dalam pembuatan turbin Francis untuk pembangkit mini hidro. Cerita sukses dan langkah-langkah pengembangan selanjutnya dari proses engineering tersebut dapat dibaca dalam makalah ini.

Akhir kata Redaksi mengucapkan selamat membaca semoga makalah-makalah dalam Jurnal Mesin memberi informasi dan pengetahuan yang bermanfaat.

MESIN

Jurnal Teknik Mesin

Vol. 22, No. 2, Oktober 2007

ISSN 0852-6095

Diterbitkan oleh : Program Studi Teknik Mesin,
Fakultas Teknologi Industri - ITB
Surat ijin : STT No. 964/DIT-JEN/PPG/STT/1982.

DAFTAR ISI

- Thermodynamic property model of wide-fluid phase n-butane.*
Chan Sarin, I Made Astina, Prihadi Setyo Darmanto dan Haruki Sato 44-54
- Sifat mampu nyala dan massa optimum refrigeran campuran R-290/R-22
Sebagai alternatif pengganti R-22*
**Ari Darmawan Pasek, Aryadi Suwono, Novianti Nugraha dan
Usman Rosyadi** 55-61
- Optimisasi proses pemesinan EDM wire cut untuk modus gerak sirkular
menggunakan algoritma genetik.*
Sigit Yoewono Martowibowo dan Adriansyah 62-68
- Effects of hydrogen addition into intake air on hydrocarbon emission
of gasoline engines at cold start condition.*
Arief Haryanto, Wiranto Arismunandar dan Gerard George Engel 69-72
- Particle size distribution and rheological characteristic of trimethylolethane
treated by cationic surfactant.*
**Yuli Setyo Indartono, Hiromoto Usui, Hiroshi Suzuki, Satoshi Tanaka,
Kousuke Nakayama, Yohiyuki Komada dan Tetsu Itotagawa.** 73-80
- Pemanfaatan system CAD/CAM/CAE dalam reverse dan forward engineering
untuk turbin Francis.*
Indra Djodikusumo, Lukman Santoso dan Rahmat Haris. 81-89

M E S I N

Jurnal Teknik Mesin

Vol. 22, No. 2, Oktober 2007

ISSN 0856-6095

OPTIMISASI PROSES PEMESINAN EDM *WIRE CUT* UNTUK MODUS GERAK SIRKULAR MENGGUNAKAN ALGORITMA GENETIK

Sigit Yoewono Martowibowo dan Adriansyah
Kelompok Keahlian Teknik Produksi
FTI – Institut Teknologi Bandung

Ringkasan

Electro Discharge Machining Wire Cut (EDM Wire Cut) adalah satu di antara proses pemesinan nonkonvensional yang banyak digunakan di industri manufaktur. Perkembangan teknologi menuntut proses ini untuk dapat menghasilkan produk berkualitas dengan produktivitas tinggi. Untuk menjawab tuntutan tersebut, dapat dilakukan optimisasi terhadap proses pemesinan yang melibatkan beragam variabel terkait. Dalam melakukan optimisasi kondisi pemesinan diperlukan suatu algoritma yang menggunakan suatu model matematika untuk menghitung nilai optimum dari variabel-variabel proses. Saat ini terdapat berbagai macam teknik dan metode optimisasi yang dapat dipilih, diantaranya adalah Algoritma Genetik. Pada penelitian ini akan dilakukan optimisasi parameter proses pemesinan EDM Wire Cut menggunakan Algoritma Genetik, sehingga diperoleh kombinasi nilai variabel input mesin yang menghasilkan kondisi pemotongan optimum dengan feed rate dan kekasaran permukaan sebagai parameternya optimisasi. Variabel input yang dimaksud adalah no load voltage, capacitor, on time, off time, dan servo voltage. Hasil optimisasi menggunakan Algoritma Genetik kemudian dibandingkan dengan hasil dari metode optimisasi yang berbeda dan memperlihatkan bahwa Algoritma Genetik dapat dijadikan metode alternatif untuk optimisasi proses pemesinan.

Abstract

Electro Discharge Machining Wire Cut (EDM Wire Cut) is one of non-conventional machining process which is used by many manufacturer industries. Technology development demands this process can produce high quality product with good productivity. To fulfill this demand, optimization of machining processes that involves several variables can be done. When doing the optimization of machining condition, an algorithm using mathematical model is needed to calculate the optimum values of process variables. There are many optimization techniques and methods which can be chosen, one of them is Genetic Algorithm. In this research work, an implementation of Genetic Algorithm in machining process optimization is presented. As the optimization parameters, feed rate and surface roughness selected. Based on the above parameters and considering the capability of the existing EDM Wire Cut, five input parameters are determined with right combination, namely no load voltage, capacitor, on time, off time and servo voltage. The output has been compared to other optimization method and it appears that the Genetic Algorithm shows promising results and thus may be proposed as an alternative tool in machining process optimization.

Keyword : Genetic Algorithm, EDM Wire Cut, Machining Processes, Optimization

1. PENDAHULUAN

Proses pemesinan merupakan proses yang tidak bisa dipisahkan dari industri manufaktur. Seiring dengan kemajuan teknologi, banyak produk yang semakin sulit untuk dikerjakan dengan proses pemesinan konvensional. Untuk mengatasi masalah itu maka dikembangkanlah proses pemesinan nonkonvensional. Proses pemesinan nonkonvensional memiliki beberapa kelebihan seperti dalam hal ketelitian, ketepatan, kualitas, kemampuannya untuk memotong benda kerja

berkekuatan tinggi dan bentuk yang kompleks. Selain kelebihan tersebut, proses ini juga memiliki kekurangan yaitu produktivitasnya yang rendah dibandingkan dengan proses pemesinan konvensional [1].

Proses nonkonvensional terdiri atas beberapa jenis, satu diantaranya adalah *Electro Discharge Machining Wire Cut (EDM Wire Cut)* yang sering digunakan dalam pembuatan *dies* dan *mold*.

Perkembangan teknologi menuntut proses pemesinan untuk dapat menghasilkan produk berkualitas dengan produktivitas tinggi. Untuk menjawab tuntutan tersebut, dapat dilakukan optimisasi terhadap proses pemesinan yang melibatkan beragam variabel terkait, dalam hal ini adalah variabel input dari mesin EDM *Wire Cut*.

Dalam melakukan optimisasi kondisi pemesinan diperlukan suatu algoritma yang menggunakan model matematika untuk menghitung harga optimum dari variabel-variabel proses sehingga tujuan pemesinan dapat tercapai. Saat ini terdapat berbagai macam teknik dan metode optimisasi yang dapat dipilih, diantaranya adalah Algoritma Genetik.

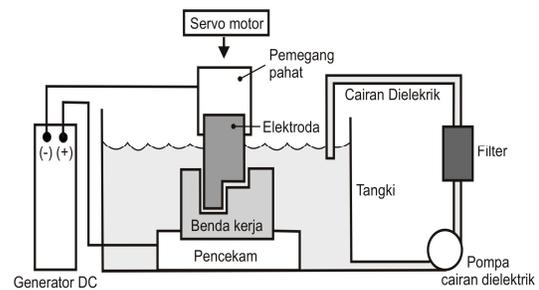
Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui korelasi dari variabel input mesin EDM *Wire Cut* terhadap parameter proses pemesinan dan melakukan optimisasi menggunakan Algoritma Genetik sehingga diperoleh harga variabel input yang menghasilkan *feed rate* (kecepatan makan) dan kekasaran permukaan optimum. Kemudian hasil optimisasi tersebut dibandingkan dengan hasil dari metode yang berbeda, untuk mengetahui kebenaran dari metode yang digunakan.

Untuk mencapai tujuan penelitian ini maka ditentukan beberapa batasan masalah, yaitu:

- Optimisasi melibatkan lima variabel input mesin EDM *Wire Cut*.
- Parameter proses pemesinan yang dioptimisasi adalah *feed rate* dan kekasaran permukaan.
- Pengujian dilakukan menggunakan material benda kerja Baja Karbon Medium ASSAB 760 (AISI 1148, SIS 1650).
- Proses pemotongan benda kerja dilakukan dengan modus gerak sirkular.

2. PEMESINAN EDM WIRE CUT

EDM (*Electrical Discharge Machining*) merupakan proses pemesinan nonkonvensional yang digunakan untuk memotong material yang sangat keras dan kuat. Untuk dapat dikerjakan dengan EDM, material benda kerja harus bersifat konduktor, sehubungan dengan prinsip kerja EDM yang menggunakan loncatan bunga api listrik antara elektroda dan benda kerja. Mekanisme kerja EDM secara skematik diperlihatkan pada gambar 1. Proses EDM adalah proses pengerjaan material yang memanfaatkan loncatan bunga api listrik yang terjadi secara periodik pada celah antara pahat dengan benda kerja dengan media cairan dielektrik.



Gambar 1. Mekanisme Kerja EDM

Berdasarkan hal tersebut, maka terdapat 3 komponen utama dari EDM yaitu:

▪ Benda kerja

Benda kerja yang dapat dikerjakan oleh proses EDM tidak terlalu dipengaruhi oleh kekerasan material. Namun syarat utamanya adalah harus dapat menghantarkan arus listrik, bersifat konduktor.

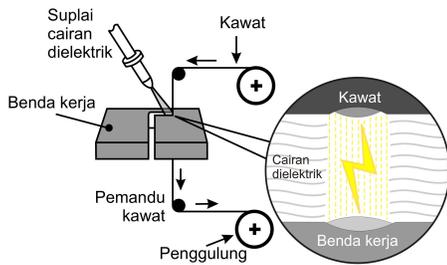
▪ Elektroda

Elektroda yang digunakan pada proses EDM terbuat dari logam dan non logam. Sama seperti benda kerja, syarat dari elektroda yang dapat digunakan adalah harus bisa menghantarkan arus listrik. Pada EDM *Wire Cut*, elektroda berupa kawat dengan diameter 0,05-0,33 mm. Kawat dengan diameter kurang dari 0,1 mm terbuat dari tungsten atau molybdenum, sedangkan kawat dengan diameter lebih dari 0,1 mm terbuat dari kuningan.

▪ Cairan dielektrik

Fungsi dari cairan dielektrik pada proses EDM adalah sebagai pendingin elektroda dan benda kerja, dalam keadaan terionisasi bertindak sebagai konduktor sehingga memungkinkan terjadinya loncatan bunga api listrik, media pendingin dalam proses *quenching* pada permukaan benda kerja, mendorong geram keluar dari celah antara elektroda dan benda kerja, dan memberikan isolasi bagi celah antara elektroda dan benda kerja. Agar fungsi tersebut dapat dicapai maka cairan dielektrik harus disirkulasikan dalam suatu sistem yang terdiri atas pompa, penampung, dan penyaring.

Pada proses EDM *Wire Cut*, benda kerja dicekam di meja kerja kemudian dipotong menggunakan pulsa-pulsa loncatan bunga api listrik melalui kawat tipis yang berfungsi sebagai elektroda. EDM *Wire Cut* menghasilkan permukaan yang halus karena elektroda kawat akan melewati seluruh penampang benda kerja yang dipotong dan erosi dari bunga api listrik terjadi sepanjang elektroda kawat. EDM *Wire Cut* dapat menghasilkan ketelitian dimensi sebesar $\pm 0,02$ mm. EDM *Wire Cut* dapat menghasilkan kehalusan permukaan $R_a < 13 \mu\text{m}$. Semakin kecil diameter kawat maka hasil permukaan yang diperoleh semakin halus. EDM *Wire Cut* menghasilkan permukaan yang sangat halus walaupun pada pengerjaan pengasaran, bahkan ada yang dapat menghasilkan kualitas yang mirip dengan kaca.



Gambar 2. Prinsip Kerja EDM *Wire Cut*

Permukaan yang sangat halus dapat dihasilkan walaupun benda kerja yang diproses berukuran besar [2]. Prinsip kerja EDM *Wire Cut* dapat dilihat pada gambar 2. Untuk menghasilkan bentuk produk yang diinginkan, meja tempat benda kerja dan kolom digerakkan oleh motor servo pada sumbu x dan y sesuai dengan lintasan potong yang telah diprogram. Cairan dielektrik tidak merendam benda kerja, melainkan disemprotkan oleh nosel dan cairan dielektrik yang digunakan adalah air.

Pada mesin EDM *Wire Cut* terdapat beberapa variabel input yang harus diperhatikan, karena kombinasi nilai dari variabel input yang diatur pada mesin akan mempengaruhi kondisi proses pemesinan dan produk yang dihasilkan. Variabel-variabel tersebut adalah:

- *No load voltage*

Tegangan listrik yang diberikan pada rangkaian EDM, besarnya diwakili oleh angka 0-8. Satu satuan sama dengan 25 volt.

- *Capacitor*

Semakin besar nilainya, bunga api listrik semakin tinggi serta permukaan yang dihasilkan akan semakin kasar. Besarnya kapasitansi dari kapasitor yang digunakan, diwakili oleh angka 1-9. Satu satuan sama dengan 0.6 μF .

- *On time*

Periode terjadinya arus listrik antara elektroda dan benda kerja, semakin kecil nilai *on time* maka waktu terjadinya bunga api listrik semakin kecil. Nilai *on time* dibatasi oleh nilai *capacitor*, sehingga tidak mungkin memasukan nilai *on time* lebih besar dari nilai *capacitor*. Besarnya diwakili oleh angka 0-9. Satu satuan sama dengan 100 μs .

- *Off time*

Periode antara dua pulsa tegangan pengerosian material yang berturutan. Pada periode ini *capacitor* akan diisi oleh tegangan pengisian V_o . Besar daya pengisian ditentukan juga oleh nilai *off time*, besarnya diwakili oleh angka 1-199. Satu satuan sama dengan 5 μs .

- *Servo voltage*

Merupakan tegangan yang diatur untuk mencegah terjadinya hubungan singkat antara benda kerja dan elektroda, nilainya berkisar antara 1-63. Satu satuan sama dengan 2 volt.

- *Wire tension*

Nilai tegangan kawat dalam satuan gram unit, besarnya kurang dari 2499 gram unit.

- *Wire feed*

Kecepatan lintasan kawat relatif terhadap benda kerja, besarnya berkisar antara 1-10 m/min.

Pada penelitian ini nilai *wire tension* dan *wire feed* tidak divariasikan karena pada penelitian sebelumnya kedua variabel input ini tidak memberikan pengaruh yang berarti terhadap proses pemesinan [3].

3. ALGORITMA GENETIK

Optimisasi mengatasi masalah minimalisasi atau maksimalisasi sebuah fungsi dengan beberapa variabel yang biasanya memiliki batasan tertentu. Banyak permasalahan di bidang teknik yang sulit dan kompleks tidak dapat diselesaikan oleh teknik optimisasi konvensional. Saat ini Algoritma Genetik tengah mendapat perhatian karena kemampuannya menyelesaikan masalah optimisasi dengan baik.

Algoritma Genetik merupakan algoritma yang sering digunakan untuk menyelesaikan permasalahan dalam dunia teknik. Algoritma Genetik ini biasanya digunakan pada optimisasi, penjadwalan, dan keperluan teknik lainnya. Algoritma ini banyak digunakan karena praktis dan mudah untuk dioperasikan.

Algoritma Genetik adalah metode optimisasi yang berbasis pada mekanisme seleksi alam dan genetik pada individu. Evolusi merupakan suatu mekanisme perubahan yang sangat lambat pada alam. Seleksi alam dan mutasi genetik merupakan hal yang sering dijumpai pada proses evolusi. Pada dasarnya seleksi alam dan mutasi genetik merupakan bentuk penyesuaian dari individu untuk dapat beradaptasi dan bertahan hidup di alam. Hal inilah yang menjadi ide awal dari Algoritma Genetik.

Algoritma Genetik merupakan bagian dari sekelompok teknik optimisasi yang dikenal dengan nama algoritma evolusioner (*evolutioner algorithms*), pada kelompok ini terdapat tiga tipe utama, yaitu algoritma genetik, pemrograman evolusioner, dan strategi evolusi. Diantara ketiga tipe tersebut, Algoritma Genetik paling luas digunakan terutama untuk optimisasi masalah yang kompleks [4,5,6]. Secara umum langkah-langkah yang dilakukan untuk menyelesaikan masalah dengan menggunakan Algoritma Genetik adalah:

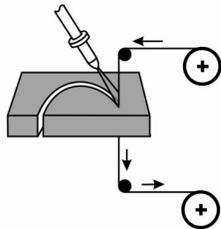
- Pembuatan sebuah populasi yang terdiri atas kromosom-kromosom.
- Pengevaluasian masing-masing kromosom dalam populasi.
- Pembuatan kromosom baru dengan memasang kromosom-kromosom yang telah ada, mutasi dan *crossover* ketika kromosom induk telah dipasangkan.
- Penghilangan anggota populasi untuk menyediakan tempat bagi kromosom baru.
- Pengevaluasian kromosom baru dan memasukkan dalam populasi.

Proses di atas berlangsung berulang-ulang hingga diperoleh nilai yang paling mendekati nilai optimum.

Ketika bekerja, Algoritma Genetik tidak memberikan solusi baru. Solusi yang ditampilkan oleh Algoritma Genetik merupakan hasil dari kombinasi fitur-fitur unggulan dalam proses yaitu kromosom yang memiliki nilai fungsi *fitness* paling besar. Fitur-fitur ini diperoleh setelah proses evaluasi pada populasi.

4. STUDI KASUS

Seperti telah disebutkan sebelumnya, pada EDM Wire Cut ada 5 (lima) variabel input yang akan mempengaruhi *feed rate* dan kekasaran permukaan untuk pemesinan dengan modus gerak sirkular. Variabel-variabel tersebut adalah *no load voltage*, *capacitor*, *on time*, *off time* dan *servo voltage*. Jumlah parameter yang banyak ini mempengaruhi tingkat kesulitan optimisasi. Agar suatu metode dikatakan valid maka diperlukan perbandingan. Pada makalah ini, metode Algoritma Genetik dibandingkan dengan metode Taguchi.



Gambar 3. Modus Gerak Sirkular

Pengambilan data yang dilakukan pada penelitian ini adalah pemotongan dengan modus gerak sirkular pada mesin EDM Wire Cut CNC. Kemudian dilihat pengaruhnya terhadap parameter proses pemesinan. Berikut adalah program NC yang digunakan untuk pemotongan sirkular:

```
G92 X0 Y0;
G91 G42 G1 X-0.5 D1;
Y0.5;
G3 Y-14. J-7;
G1 X0.5;
M30;
%
```

Data yang diperoleh dari pengujian kemudian diolah untuk menghasilkan persamaan korelasi antara kelima variabel input dengan *feed rate* dan kekasaran permukaan. Persamaan yang diperoleh adalah:

- Persamaan *feed rate*

$$y_f = -0.9984 + 0.019x_1 + 0.1154x_2 + 0.2124x_3 - 0.0171x_4 - 0.0113x_5 \quad (1)$$

- Persamaan kekasaran permukaan

$$y_k = -0.2306 + 0.1609x_1 + 0.0193x_2 + 0.1097x_3 - 0.0071x_4 - 0.0523x_5 \quad (2)$$

yang mana

y_f = *feed rate*

y_k = kekasaran permukaan

x_1 = *no load voltage*

x_2 = *capacitor*

x_3 = *on time*

x_4 = *off time*

x_5 = *servo voltage*

4.1 Pembuatan Model Algoritma Genetik

Dari persamaan korelasi (1) dan (2) maka ditentukan fungsi *fitness* untuk proses optimisasi yang berbeda, yaitu:

- Kondisi *feed rate* terbesar

Fungsi

$$fitness: f(x) = y_f \quad (3)$$

- Kondisi kekasaran permukaan terkecil

Fungsi

$$fitness: f(x) = \frac{1}{y_k} \quad (4)$$

- Kondisi optimum

Fungsi

$$fitness: f(x) = \frac{y_f}{y_k} \quad (5)$$

Setelah fungsi *fitness* ditentukan, selanjutnya adalah memilih nilai dari parameter Algoritma Genetik. Parameter ini akan mempengaruhi proses optimisasi dan hasil dari proses tersebut. Nilai yang dipilih adalah:

- Jumlah bit = 10

Jumlah bit dapat disesuaikan dengan kondisi parameter yang akan dioptimisasi. Dengan menggunakan 10 bit, kecermatan yang bisa diperoleh adalah $1/(2^{10}-1)$ atau 0,001. Jumlah kromosom harus selalu genap karena pada proses *crossover* kromosom-kromosom akan dipasangkan.

- Jumlah populasi = 100

Jumlah populasi yang besar memastikan terjadinya keragaman solusi acak, tapi proses menjadi lebih lama karena jumlah data yang diolah lebih banyak. Jumlah populasi yang biasa digunakan pada penelitian dengan Algoritma Genetik antara 100-200.

- Probabilitas pindah silang = 0,5

Besaran probabilitas pindah silang berada pada jangkauan 0-1, tapi biasanya dipilih antara 0,4-0,8 karena jika nilainya 0 atau 1 maka proses pindah silang tidak terjadi.

- Probabilitas mutasi = 0,05

Nilai probabilitas mutasi yang besar akan mengakibatkan proses generasi menjadi divergen, untuk menghindarinya maka dipilih nilai yang kecil.

- Maksimum generasi = 100

Proses optimisasi Algoritma Genetik dibatasi hanya sampai 100 kali generasi saja. Jika nilai *fitness* terbaik belum tercapai, maksimum generasi dapat diperbesar.

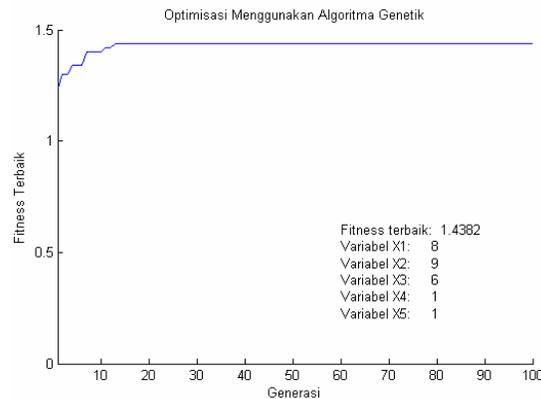
4.2 Hasil Optimisasi Algoritma Genetik

Dari hasil pengolahan data menggunakan Algoritma Genetik diperoleh kombinasi nilai variabel input mesin yang akan menghasilkan kondisi *feed rate* terbesar, kekasaran permukaan terkecil, dan optimum. Hasil ini kemudian akan dibandingkan dengan hasil optimisasi dengan metode Taguchi untuk mengetahui kebenaran

dari metode yang digunakan. Hasil yang diperoleh adalah:

- **Kondisi *feed rate* terbesar**

No load voltage = 8
Capacitor = 9
On time = 6
Off time = 1
Servo voltage = 1
Feed rate = 1,438 mm/min
 Kekasaran permukaan = 1,8 μ m



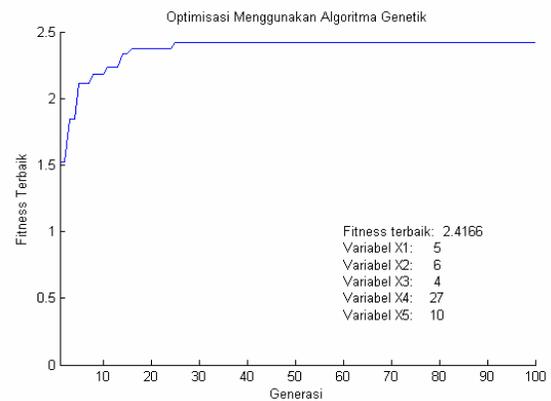
Gambar 4. Grafik *feed rate* terbesar

Hasil tersebut menunjukkan bahwa untuk mendapatkan kondisi pemotongan dengan *feed rate* terbesar maka variabel input mesin yang memiliki korelasi positif harus diperbesar, sedangkan yang memiliki korelasi negatif harus diperkecil. Hasil ini juga menunjukkan bahwa kondisi pemotongan ini akan menghasilkan produk dengan kekasaran permukaan yang besar. Kondisi ini dicapai setelah generasi ke 15 dengan nilai *fitness* terbaik 1,4382.

- **Kondisi kekasaran permukaan terkecil**

No load voltage = 5
Capacitor = 6
On time = 4
Off time = 27
Servo voltage = 10
Feed rate = 0,063 mm/min
 Kekasaran permukaan = 0,4 μ m

Hasil di atas menunjukkan bahwa untuk mendapatkan kondisi pemotongan dengan kekasaran permukaan terkecil maka variabel input mesin yang memiliki korelasi positif harus diperkecil, sedangkan yang memiliki korelasi negatif harus diperbesar. Hasil ini juga menunjukkan bahwa kondisi pemotongan ini akan menghasilkan produk dengan kekasaran permukaan baik namun waktu pemotongan akan sangat lama. Kondisi ini dicapai setelah generasi ke 25 dengan nilai *fitness* terbaik 2,4166.

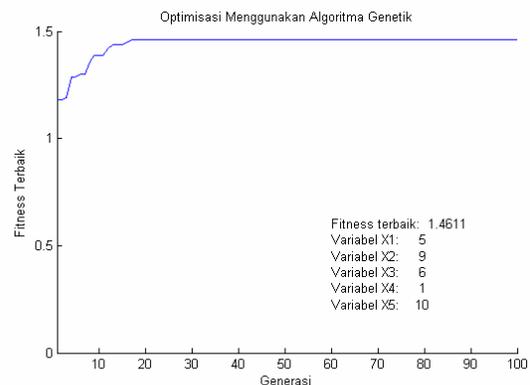


Gambar 5. Grafik kekasaran permukaan terkecil

- **Kondisi optimum**

No load voltage = 5
Capacitor = 9
On time = 6
Off time = 1
Servo voltage = 10
Feed rate = 1,279 mm/min
 Kekasaran permukaan = 0,8 μ m

Kombinasi nilai variabel input mesin yang diperoleh untuk kondisi pemotongan optimum adalah kombinasi nilai dari kondisi pemotongan *feed rate* terbesar dengan kekasaran permukaan terkecil. Kondisi pemotongan ini akan menghasilkan produk dengan kekasaran permukaan yang relatif rendah namun waktu pengerjaannya masih cukup cepat. Kondisi ini dicapai setelah generasi ke 25 dengan nilai *fitness* terbaik 2,4611.



Gambar 6. Grafik optimum

4.3 Perbandingan Hasil Optimisasi

Pada penelitian terdahulu [7,8] telah dilakukan optimisasi proses pemesinan EDM *Wire cut* dengan menggunakan metode Taguchi. Hasil dari optimisasi tersebut akan dibandingkan dengan hasil optimisasi menggunakan Algoritma Genetik. Perbandingan ini akan merupakan proses validasi untuk kedua metode optimisasi yang digunakan. Berikut adalah perbandingan hasil dari kedua metode tersebut:

- **Kondisi feed rate terbesar**

Tabel 1 menunjukkan perbandingan antara kombinasi nilai variabel input dari metode Taguchi dan Algoritma Genetik untuk kondisi *feed rate* terbesar. Kombinasi nilai variabel input yang diperoleh untuk kedua metode menunjukkan hasil yang serupa, secara teoritik kedua kombinasi sama-sama menghasilkan *feed rate* yang terbesar. Kombinasi nilai variabel input keduanya juga sesuai dengan kecenderungan yang ada pada grafik hubungan antara variabel input terhadap *feed rate*[7,8,9].

Tabel 1. Perbandingan kondisi *feed rate* terbesar

Variabel Input	Taguchi	Algoritma Genetik
<i>No load voltage</i>	7	8
<i>Capacitor</i>	9	9
<i>On time</i>	6	6
<i>Off time</i>	1	1
<i>Servo voltage</i>	1	1
<i>Feed rate</i>	1,417 mm/min	1,438 mm/min

- **Kondisi kekasaran permukaan terkecil**

Tabel 2 menunjukkan perbandingan antara kombinasi nilai variabel input dari metode Taguchi dan Algoritma Genetik untuk kondisi kekasaran permukaan terkecil. Kombinasi nilai variabel input hasil metode Taguchi berbeda dengan hasil Algoritma Genetik. Secara teoritik jika mengacu pada persamaan korelasi kekasaran permukaan dan grafik hubungan variabel input dengan kekasaran permukaan [7,8,9], maka kombinasi yang diperoleh dari metode Taguchi akan menghasilkan kekasaran permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan metode Algoritma Genetik. Sedangkan kombinasi yang diperoleh dari metode Algoritma Genetik sesuai dengan grafik hubungan variabel input dengan kekasaran permukaan [7,8,9].

Tabel 2. Perbandingan kondisi kekasaran permukaan terkecil

Variabel Input	Taguchi	Algoritma Genetik
<i>No load voltage</i>	7	5
<i>Capacitor</i>	7	6
<i>On time</i>	4	4
<i>Off time</i>	1	27
<i>Servo voltage</i>	2	10
Kekasaran permukaan	1,3 μm	0,4 μm

5. KESIMPULAN

Kecenderungan nilai variabel input mesin EDM *wire cut* terhadap *feed rate* dan kekasaran permukaan adalah:

- Peningkatan *no load voltage* akan meningkatkan *feed rate* dan kekasaran permukaan
- Peningkatan *capacitor* akan meningkatkan *feed rate* dan kekasaran permukaan
- Peningkatan *on time* akan meningkatkan *feed rate* dan kekasaran permukaan
- Peningkatan *off time* akan menurunkan *feed rate* dan kekasaran permukaan
- Peningkatan *servo voltage* akan meningkatkan *feed rate* dan kekasaran permukaan sampai nilai tertentu kemudian menurun.

Pada penelitian ini telah dilakukan optimisasi menggunakan Algoritma Genetik terhadap lima variabel input mesin sekaligus, yaitu *no load voltage*, *capacitor*, *on time*, *off time*, dan *servo voltage*. Kombinasi nilai variabel input untuk kondisi *feed rate* terbesar, kekasaran permukaan terkecil, dan optimum adalah seperti diperlihatkan pada tabel 3.

Tabel 3. Kombinasi nilai variabel input mesin

Variabel input	<i>Feed rate</i> terbesar	Kekasaran permukaan terkecil	Optimum
<i>No load voltage</i>	8	5	5
<i>Capacitor</i>	9	6	9
<i>On time</i>	6	4	6
<i>Off time</i>	1	27	1
<i>Servo voltage</i>	1	10	10
<i>Feed rate</i>	1,438 mm/min	0,063 mm/min	1,279 mm/min
Kekasaran permukaan	1,8 μm	0,4 μm	0,8 μm

DAFTAR PUSTAKA

1. Komang Bagiasna, Sigit Yoewono, *Proses-Proses Non Konvensional*, Diklat Kuliah, Jurusan Teknik Mesin ITB, 1985
2. Fanuc Ltd, *Fanuc Tape Cut Series (W0/W1/W2) -, Operator's Manual*, 1987
3. Teddy, Optimisasi Proses Pemesinan EDM Wire Cut CNC, *Tugas Sarjana*, Bandung, ITB, 1996
4. Goldberg D.E, *Genetic Algorithms in Search, Optimization & Machine Learning*, Addison Wesley, Canada, 1989
5. R.L. Haupt dan S.E. Haupt, *Practical Genetic Algorithms, Second Edition*, Wiley Interscience, Canada, 2004.
6. Gen Mitsuo dan Cheng Runwei, *Genetic Algorithms & Engineering Optimization*, Wiley Interscience, Canada, 2000
7. Andri Wahyudi, Pengujian Modus Gerak Sirkular Pada Mesin Wire Cut CNC, *Tugas Sarjana*, Bandung, ITB, 2002
8. Hermanus Tri P.M, Pengaruh Modus Gerak Sirkular EDM Wire Cut CNC Terhadap Kekasaran Permukaan, *Tugas Sarjana*, Bandung, ITB, 2003
9. Adriansyah, Optimisasi Proses Pemesinan EDM Wire Cut CNC untuk Modus Gerak Sirkular Menggunakan Algoritma Genetik, *Tugas Sarjana*, Bandung, 2007
10. Hanselman Duane dan Littlefield Bruce, *MATLAB Bahasa Komputasi Teknis*, Terjemahan Jozep Edyanto, Penerbit Andi, Yogyakarta, 1997
11. Taufiq Rochim, *Proses Pemesinan*, HEDS, Bandung, 1993