

Optimisasi Proses Pemesinan Nonkonvensional EDM Wire Cut Menggunakan Algoritma Genetik

Sigit Yoewono Martowibowo, Vina Sari Yosephine, dan Adriansyah

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Bandung

Jl Ganesa 10 Bandung 40132

Tel. 022-2504243

Fax. 022-2534099

E-mail : sigit@tu.ms.itb.ac.id

Abstract

Optimization is definitely the utmost important thing in machining operation, considering its impact on efficiency, product quality, and other related economical benefits that may be added to the product.

In this research work, a preliminary work in the implementation of genetic algorithm in machining process optimization is presented. As a test case, Electro-Discharge Machining (EDM) wire cut is selected. As the optimization parameters, surface roughness and feed rate are selected.

Based on the above parameters and considering the capability of the existing EDM wire cut, five input parameters are determined, namely no load voltage, servo voltage, on-time value, off-time value, and capacitance. These input parameters will form the objective function. Unlike conventional optimization algorithms, genetic algorithm is able to solve the objective function defined in the hyperspace of five parameters without involving complex mathematical calculation. The output has been compared to graphical method optimization and it appears that the genetic algorithm shows promising results and thus may be proposed as an alternative tool in machining process optimization.

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

Pendahuluan

EDM Wire Cut merupakan suatu proses pemesinan nonkonvensional yang penggunaannya sangat luas di dunia Industri. Keuntungan yang diperoleh EDM Wire Cut ini memberikan kontribusi yang sangat besar terhadap perkembangan dunia manufaktur.

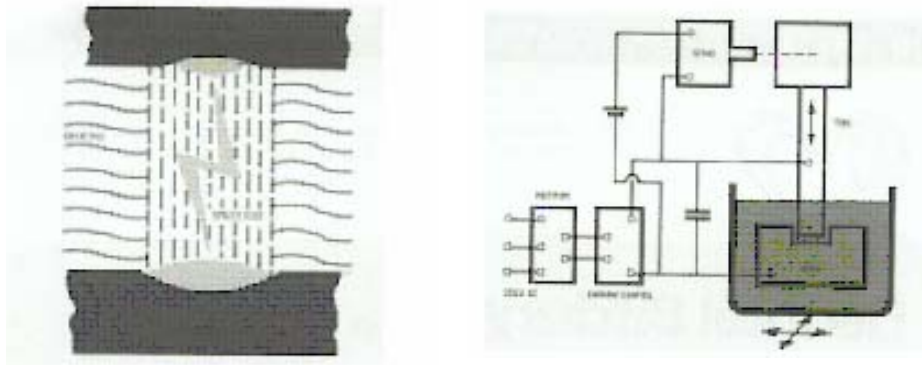
Dengan semakin berkembangnya kebutuhan terhadap dunia manufaktur, diperlukan suatu metode yang dapat menambah nilai suatu proses. Metode yang dimaksudkan tersebut diantaranya adalah optimisasi. Optimisasi merupakan suatu langkah vital dalam perencanaan proses karena kondisi ekonomi dalam suatu operasi pemesinan menjadi dasar untuk meningkatkan produktivitas. Proses optimisasi ini dapat berbasis kepada dua hal yaitu waktu pemesinan dan kualitas produk, atau seringkali kombinasi keduanya. Pemilihan parameter proses merupakan hal yang paling utama dalam merencanakan sistem manufaktur karena parameter ini yang akan menentukan output suatu proses pemesinan.

Algoritma Genetik merupakan metode optimisasi modern yang sesuai untuk digunakan pada proses pemesinan. Algoritma ini akan sangat bermanfaat untuk optimisasi proses yang melibatkan banyak variabel.

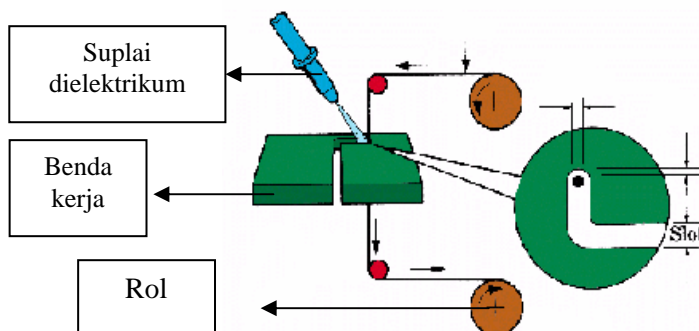
Pemesinan Nonkonvensional EDM Wire Cut

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.

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. Mesin 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. Permukaan yang sangat halus dapat dihasilkan walaupun benda kerja yang diproses berukuran besar.



Gambar 1. Mekanisme Kerja EDM



Gambar 2. EDM Wire Cut

Skematik proses EDM Wire Cut dapat dilihat pada gambar 2. Kawat yang merupakan elektroda, tidak pernah mengalami kontak dengan benda kerja. Kawat ini meninggalkan jejak pada benda kerja yang ukurannya lebih besar dari ukuran kawat. Jejak yang terbentuk ini disebut *slot*. Biasanya kawat yang digunakan berdiameter 0.05-0.33 mm. Ketika kawat digunakan untuk pembuatan sudut, EDM Wire Cut dapat menghasilkan sudut tajam pada bagian luar ujung benda kerja karena ukuran kawat yang kecil dan kawat akan menghasilkan radius kecil pada benda kerja yang besarnya sangat bergantung pada diameter kawat dan celah yang dihasilkan oleh bunga api listrik.

Pada EDM Wire Cut, kecepatan potong merupakan suatu parameter yang sangat berpengaruh terhadap kualitas geometrik benda kerja. Kecepatan potong ditentukan oleh luas pemesinan dalam satu satuan waktu. Kecepatan potong bervariasi, tergantung dari konduktivitas dan sifat fisik suatu material. Sebagai contoh, aluminium merupakan konduktor dengan titik leleh yang rendah dapat diproses dalam waktu lebih cepat dibandingkan dengan baja.

Pada proses pemesinan EDM Wire Cut terdapat tujuh parameter yang harus diinputkan ke mesin. Ketujuh parameter ini akan mempengaruhi hasil pemesinan. Tujuh parameter tersebut yaitu:

- *No load voltage*
Tegangan listrik yang diberikan pada rangkaian EDM, diwakili oleh angka 0-8.
- *Capacitor*
Besarnya kapasitansi dari *capacitor* yang digunakan, diwakili oleh angka 0-9. Semakin besar harganya, bunga api listrik semakin tinggi serta permukaan yang dihasilkan akan semakin kasar.
- *On time*
Periode terjadinya arus listrik antara elektroda dan benda kerja, nilainya diwakili oleh angka 0-9. Semakin kecil harga *on time* maka waktu terjadinya bunga api listrik semakin pendek. Harga *on time* dibatasi oleh harga *capacitor*, sehingga tidak mungkin mengisi harga *on time* lebih besar daripada harga *capacitor*.
- *Off time*
Periode antara dua pulsa tegangan pengerosian material yang berturutan. Pada periode ini *capacitor* akan diisi oleh tegangan pengisian V_0 . Besar daya pengisian ditentukan juga oleh harga *off time*, diwakili oleh 1-199.
- *Servo voltage*
Merupakan tegangan yang diatur untuk mencegah terjadinya hubungan singkat antara benda kerja dan elektroda. Harganya berkisar antara 1-63. Satu satuan sama dengan 2 volt.
- *Wire feed*
Kecepatan lintasan kawat relatif terhadap benda kerja, berkisar antara 1-10m/min.
- *Wire tension*
Harga tegangan kawat dalam satuan gram unit. Harganya kurang dari 2499 gram.

Dari penelitian sebelumnya, parameter *wire feed* dan *wire tension* tidak mempengaruhi *feed rate* dan kekasaran permukaan sehingga tidak dilibatkan dalam proses optimisasi.

Algoritma Genetik dan Proses Evolusi

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.

Perkembangan Algoritma Genetik sekarang ini telah dapat menghasilkan solusi yang lebih baik dalam desain dan penjadwalan proses produksi dibandingkan metode lain.

Kondisi-kondisi pada evolusi yang digunakan sebagai landasan Algoritma Genetik yaitu:

- Evolusi merupakan proses yang bekerja pada kromosom, bukan pada makhluk hidup yang disandikan oleh kromosom tersebut.
- Seleksi alam merupakan penghubung antara kromosom dan struktur yang disandikan. Proses seleksi alam ini menyebabkan kromosom yang sukses menyandikan struktur dapat bereproduksi lebih sering dibandingkan yang tidak sukses.
- Proses reproduksi ini merupakan titik ketika evolusi dimulai. Mutasi menyebabkan kromosom dari anak berbeda dengan induk, dan proses rekombinasi menyebabkan kromosom yang berbeda pada anak dengan mengombinasikan materi dari kromosom dua orangtua.
- Evolusi biologis tidak memiliki memori. Hal-hal mengenai proses penciptaan suatu individu dan kesesuaiannya terhadap lingkungan terletak pada gen (kumpulan kromosom yang dimiliki oleh individu tersebut) dan pada struktur penyandiannya.

Algoritma Genetik menyelesaikan masalah yang sudah berbentuk persamaan objektif yang diperoleh dari data-data suatu masalah. Bentuk umum masalah yang dioptimumkan yaitu:

$$f(x_i), \quad x_i^{(L)} \leq x_i \leq x_i^{(U)}, i = 1, 2, \dots, N \quad \dots\dots\dots(2.1)$$

$f(x_i)$ biasanya disebut sebagai persamaan objektif dengan x sebagai variabel di dalamnya. Pada Algoritma Genetik, jumlah variabel tidak terbatas. Algoritma Genetik akan efektif jika digunakan untuk mengoptimisasi persamaan multi-objektif (persamaan dengan > 1 variabel). L dan U menunjukkan batasan-batasan nilai x .

Dalam Algoritma Genetik terdapat banyak komponen-komponen yang fungsinya diperoleh dengan mengadaptasi komponen-komponen alam. Komponen-komponen tersebut diuraikan dalam tabel 1.

Tabel 1. Komponen Algoritma Genetik

No	Komponen	Deskripsi
1	<i>String</i>	Kumpulan bilangan biner yang merupakan representasi dari variabel, disebut kromosom
2	Persamaan objektif	Representasi masalah yang akan dioptimumkan
3	<i>Fitness function</i>	Persamaan yang menunjukkan nilai <i>fitness</i> dari 1 <i>string</i>
4	Populasi	Kumpulan dari kromosom-kromosom
5	Kromosom	Representasi dari permasalahan yang akan diselesaikan. Kromosom ini dapat berbentuk biner atau bilangan riil
6	Kromosom lanjutan	Diperoleh setelah kromosom awal telah melewati proses dan evaluasi sebelum mutasi
7	<i>Roulette wheel selection</i>	Alat yang digunakan untuk memilih posisi <i>string</i> yang akan mengalami persilangan dan mutasi.

Untuk dapat menggunakan Algoritma Genetik dalam mengoptimimumkan $f(x_i)$, maka variabel x_i harus diubah ke bentuk struktur kromosom (*string*), yang berupa barisan angka berbasis 2 atau 10, umumnya digunakan *string* yang menggunakan bilangan biner. Pada makalah ini, struktur kromosom yang digunakan berupa bilangan biner. Panjang dari kromosom (*string*) ditentukan sesuai dengan ketelitian yang diinginkan. Sebagai contoh, *string* (0000 0000) dan (1111 1111) digunakan untuk merepresentasikan 2 variabel yang terdapat dalam suatu masalah.

$$(x_1^{(L)}, x_2^{(L)}) \quad (x_1^{(U)}, x_2^{(U)}) \quad L=lower, U=upper \dots\dots\dots(2.2)$$

Kedua *string* di atas merepresentasikan nilai paling bawah dan atas dari x_1 dan x_2 . Dengan demikian masih ada kombinasi *string* lain yang bisa merupakan solusi dari masalah.

Seperti telah disebutkan sebelumnya, prinsip dasar Algoritma Genetik menyerupai proses evolusi yaitu penyesuaian individu terhadap alam, maka diperlukan suatu alat untuk mengakomodasi prinsip ini dalam Algoritma Genetik. *Fitness function* merupakan suatu persamaan yang berasal dari fungsi objektif dan tidak mengubah nilai persamaan objektif tersebut. Nilai yang diperoleh dari *fitness function* disebut dengan *string fitness* (kecocokan *string* dengan persamaan objektif). *Fitness function* yang biasanya digunakan dalam optimisasi yaitu:

$$F(x) = \frac{f(x)}{\sum f(x)} \dots\dots\dots(2.3)$$

$F(x)$ merupakan *fitness function* dan $f(x)$ merupakan persamaan objektif.

Algoritma Genetik sederhana memiliki 3 operator yaitu:

1. Reproduksi

Reproduksi merupakan sebuah proses penyalinan *string* berdasarkan nilai *fitness*-nya. *String* dengan nilai tinggi memiliki lebih banyak kesempatan untuk masuk ke generasi populasi selanjutnya. Operator ini merupakan versi operator buatan dari seleksi alam. Pada seleksi alam sesungguhnya *fitness* didapatkan dari kemampuan bertahan hidup terhadap predator, bencana, dan sebagainya.

2. *Crossover* atau Persilangan

Setelah reproduksi, terjadi persilangan yang dibagi menjadi dua tahap yaitu:

- *String* baru yang dihasilkan dari reproduksi akan dipasangkan.
- Masing-masing *string* yang telah dipasangkan akan disilangkan. Bagian yang disilangkan dipilih sesuai dengan kemungkinan yang dipilih (P_c). P_c biasanya bernilai 0,8. Contoh *string* yang mengalami proses persilangan yaitu:

$$\begin{array}{l} A_1 : 0110|1 \\ A_2 : 1100|0 \end{array} \longrightarrow \begin{array}{l} A_1 : 0110|0 \\ A_2 : 1100|1 \end{array}$$

3. Mutasi

Mutasi merupakan operator Algoritma Genetik yang memiliki kemungkinan lebih kecil dibandingkan persilangan. Mutasi mengubah nilai *string* secara acak setelah *string* mengalami proses reproduksi dan persilangan. Nilai kemungkinan mutasi P_m biasanya 0,05.

Secara umum langkah-langkah yang dilakukan untuk menyelesaikan masalah dengan menggunakan Algoritma Genetik yaitu:

- Pembuatan sebuah populasi yang terdiri atas kromosom-kromosom.
- Pengevaluasian masing-masing kromosom dalam populasi.
- Pembuatan kromosom baru dengan memasang 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 masukkan 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 *fitness function* paling besar. Fitur-fitur ini diperoleh setelah proses evaluasi pada populasi.

Studi Kasus

Seperti telah disebutkan sebelumnya, pada EDM Wire Cut ada 5 parameter input yang akan mempengaruhi *feed rate* dan kekasaran permukaan. Parameter-parameter ini yaitu *no load voltage*, *capacitor*, *on time*, *off time* dan *servo voltage*. Jumlah parameter yang banyak ini mempengaruhi tingkat kesulitan optimisasi. Fungsi objektif diperoleh dari penelitian dengan mencoba proses pemesinan menggunakan parameter yang diubah-ubah nilainya. Agar suatu metode dikatakan valid maka diperlukan perbandingan. Pada makalah ini, metode Algoritma Genetik dibandingkan dengan metode grafis.

Parameter yang diinputkan ke mesin EDM Wire Cut adalah 5 parameter yang telah dijelaskan. Pemotongan dilakukan dengan mengubah-ubah harga salah satu dari kelima parameter tersebut.

Tabel 2. Data Pengujian

Material	Baja Karbon Medium				
Parameter Pemesinan					
1	<i>No load voltage</i>	8	8	8	8
2	<i>Capacitor</i>	9	9	9	9
3	<i>On time</i>	4	5	6	7
4	<i>Off time</i>	120	120	120	120
5	<i>Servo voltage</i>	10	10	10	10
Variabel Optimisasi					
6	Luas Pemesinan (mm ²)	207,7	207,8	207,8	207,8
7	Waktu Pemesinan (menit)	18,97	15,37	12,58	11,15
8	<i>Machining Feed Rate</i> (mm ² /menit)	10,95	13,52	16,52	18,64
9	Kekasaran Permukaan (R _a)	2	2,4	2,5	2,6

Pada tabel 2, parameter input yang nilainya diubah adalah *on time*. Data yang diperoleh dari pengujian berupa:

1. *Machining Feed Rate*

Perhitungan ini diperoleh dengan membagi luas dengan waktu pemesinan yang menghasilkan kecepatan pemotongan (mm²/menit). Luas pemesinan diperoleh dengan mengalikan panjang pemesinan (20 mm) dengan tebal penampang (10 mm). Waktu pemesinan diperoleh dengan mencatat waktu yang ditempuh sejak awal pemotongan sampai akhir pemotongan.

2. Kekasaran Permukaan.

Nilai ini diperoleh dengan cara mengukur kekasaran permukaan menggunakan alat ukur Talysurf.

Data hasil pengujian diregresi untuk memperoleh persamaan objektif. Hasil regresi dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Persamaan Objektif

<i>On time - off time - kekasaran permukaan</i>	$y = 0,5121 + 0,4153x_1 - 0,0051x_2$ $x_1 = \text{on time}, x_2 = \text{off time},$ $y = \text{kekasaran permukaan}$
<i>No load voltage - servo voltage - kekasaran permukaan</i>	$y = 0,7540 + 0,0951x_1 - 0,0098x_2$ $x_1 = \text{no load voltage}, x_2 = \text{servo voltage},$ $y = \text{kekasaran permukaan}$
<i>On time - off time - feedrate</i>	$y = 9,4338 + 2,9163x_1 - 0,0902x_2$ $x_1 = \text{on time}, x_2 = \text{off time},$ $y = \text{feedrate}$
<i>No load voltage - servo voltage - feedrate</i>	$y = 4,9836 + 0,5197x_1 - 0,1046x_2$ $x_1 = \text{no load voltage}, x_2 = \text{servo voltage},$ $y = \text{feedrate}$

Dari hasil pengujian, pada generasi ke 100 *fitness value* tidak berubah (*stall*), artinya nilai optimum telah tercapai.

Analisis menggunakan Algoritma Genetik merupakan analisis yang melibatkan banyak variabel sehingga dapat dikategorikan sebagai masalah kompleks. Variabel-variabel kompleks ini akan didapat dari lima variabel input yang telah disebutkan sebelumnya yaitu *no load voltage*, *on time*, *off time*, *capacitor*, dan *servo voltage*. Melalui Algoritma Genetik diharapkan dapat diketahui nilai paling optimum dari kelima variabel di atas yang mempengaruhi *feedrate* dan kekasaran permukaan.

Parameter input yang dipilih yaitu parameter yang memiliki satuan yang sama yaitu *off time-on time*, *no load voltage-servo voltage*. Pemilihan parameter yang sama ini dilandasi oleh pemikiran bahwa batas atas dan batas bawah sangat mempengaruhi hasil pengujian. Algoritma Genetik yang akan digunakan adalah Algoritma Genetik yang menerapkan metode multi-objektif dan mempunyai batasan (*constraint*). Hasil pengujian menggunakan Algoritma Genetik ini dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Nilai Optimum Menggunakan Algoritma Genetik

Parameter	Feedrate terbesar		Kekasaran permukaan terkecil	
	Hasil perhitungan	Hasil pembulatan	Hasil perhitungan	Hasil pembulatan
<i>on time</i>	6.999	7	3.888	4
<i>off time</i>	50	50	120	120
<i>capacitor</i>	8.888	9	4	4
<i>servo voltage</i>	0.003	1	29.999	30
<i>no load voltage</i>	7.85	8	0.002	1

Nilai-nilai di atas diperoleh pada generasi ke-100. Setelah generasi 100 tidak ada perubahan nilai yang terlalu signifikan lagi. Nilai-nilai ini adalah parameter input untuk mencapai nilai *feedrate* terbesar dan kekasaran permukaan terkecil.

Nilai yang diperoleh pada hasil pengujian cenderung sama dengan nilai yang diperoleh menggunakan metode grafis. Nilai parameter input dari metode grafis untuk memperoleh *feedrate* terbesar dan kekasaran permukaan terkecil dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5. Nilai Optimum Menggunakan Metoda Grafis

Parameter	Feedrate terbesar	Kekasaran permukaan terkecil
<i>on time</i>	7	4
<i>off time</i>	50	160
<i>capacitor</i>	9	4
<i>servo voltage</i>	0	30
<i>no load voltage</i>	8	0

Hal ini menunjukkan bahwa optimisasi dengan Algoritma Genetik ini dapat diterapkan pada proses optimisasi ini. Perangkat lunak yang telah dibuat dapat digunakan untuk mengoptimisasi proses pemesinan dengan jumlah parameter yang banyak.

Kesimpulan

Pada makalah ini, parameter yang dapat dioptimisasi secara bersamaan menggunakan Algoritma Genetik adalah *on time-off time* dan *servo voltage-no load voltage*. Nilai optimum yang dihasilkan menggunakan Algoritma Genetik tersebut cocok dengan nilai optimum yang dihasilkan menggunakan metode grafis.

Keuntungan Algoritma Genetik yang dimanfaatkan untuk optimisasi proses pemesinan EDM Wire Cut yaitu:

- Tidak diperlukan proses perhitungan matematika yang rumit
- Grafik tidak diperlukan
- Dapat mengoptimisasi proses pemesinan yang memiliki banyak variabel.

Daftar Pustaka

1. Krar S. F., Check A.F., 1998, *Technology of Machine Tools, 5th Edition*, McGraw Hill, Singapore.
2. Goldberg D.E., 1989, *Genetic Algorithms in Search, Optimization & Machine Learning*, Addison Wesley, Canada.
3. Haupt R.L, Haupt S.E, 2004, *Practical Genetic Algorithms, Second Edition*, Wiley Interscience, Canada.
4. Kalyanmoy D., 1996, *Optimization for Engineering Design Algorithms and Examples*, Prentice Hall of India, New Delhi.
5. Teddy, 1996, *Optimisasi Proses Pemesinan EDM Wire Cut CNC*, Tugas Sarjana, Jurusan Teknik Mesin FTI-ITB, Bandung.