

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Salah satu keunggulan menggunakan mesin CNC adalah kemampuan mesin tersebut dalam menghasilkan produk dengan kualitas permukaan kurang dari toleransi N4 ($< 0,2 \mu\text{m}$) pada area produk yang lebar dan besar, namun untuk produk yang memiliki kontur detail kecil, area sempit, tingkat kedalaman yang panjang dan ketajaman suatu bentuk mesin CNC tidak mampu menyelesaikan pengerjaan ini. Perkembangan industri manufaktur yang makin meningkat serta semakin kecilnya *Life Cycle* produk manufaktur saat ini dengan tingkat permintaan *Customer* yang cenderung semakin berat mengakibatkan perlu adanya mesin atau teknologi pemesinan yang mampu mengerjakan permukaan produk dengan kontur permukaan yang detail. *Electrical Discharge Machining* merupakan teknologi pemotongan logam non konvensional yang menggunakan energi panas pada proses pemotongannya (*thermal cutting processes*) berfungsi untuk mengerjakan material yang memiliki bentuk kompleks dan membutuhkan kepresisian tinggi seperti yang dikemukakan oleh Gapsari dkk (2011).

Surface profile pada mesin EDM merupakan jenis pengerjaan pada benda kerja berbahan logam dengan area kerja lebar, besar, dan tingkat ketelitian yang tinggi. Proses pengerjaan dengan menggunakan mesin EDM dibutuhkan parameter yang optimal dalam menghasilkan kualitas permesinan dengan tingkat kekasaran antara N5 – N10. Proses selain mendapatkan kualitas kekasaran antara N5 - N10 juga untuk mendapatkan kualitas hasil permesinan dengan tingkat ketelitian yang tinggi. Berdasarkan hasil yang akan dicapai dalam proses permesinan EDM tentunya dibutuhkan setting parameter optimal pada mesin EDM seperti yang dibahas oleh Habib (2009) dan Rajesh (2012) dalam penelitiannya tentang optimalisasi parameter pada proses EDM terhadap karakteristik mesin. Puertas dan Luis (2003) serta Kiyak dan Cakir (2007) melakukan penelitian pada aspek-aspek yang berkaitan dengan optimalisasi parameter untuk mendapatkan kualitas permukaan dan dimensi yang presisi. Pada tahap optimalisasi parameter juga dilakukan proses pengujian hubungan antara parameter mesin dengan karakteristik benda uji seperti yang dilakukan oleh Lin dkk (2011).

Menurut Kumar dkk (2009) untuk menjawab perkembangan industri dan aplikasi tren masa depan maka dilakukan penelitian dalam memodifikasi hasil permukaan yang optimal menggunakan bahan berbeda, yaitu elektroda konvensional, bubuk metalurgi, bubuk dielectric. Penelitian berkaitan dengan kualitas yang menghasilkan tingkat kekasaran permukaan minimal N4 terus dilakukan, seperti yang dilakukan oleh Rao (2010) dalam penelitiannya terhadap parameter EDM dan faktor mesin pada benda uji AISI 304 *Stainless Steel* agar diperoleh hasil yang optimal. Penelitian yang dilakukan Gurgui dkk (2013) serta Puertas dkk (2004) berhasil mendapatkan faktor-faktor yang signifikan dalam permesinan EDM pada produk *surface* dan *micro cavity*.

Penelitian material elektroda seperti yang dilakukan oleh Sidi dkk (2010) dengan material benda uji menggunakan ST42. Penelitian tersebut bertujuan untuk mendapatkan faktor-faktor yang berpengaruh signifikan terhadap proses permesinan pada elektroda dan kondisi optimal operasi mesin. Material elektroda juga dibahas Klocke (2013) dalam penelitian yang berjudul *Analysis of Material Removal Rate and Electrode Wear in Sinking EDM Roughing Strategies using Different Graphite Grades* membahas tentang berbagai jenis variasi material *graphite* yang digunakan dalam proses permesinan EDM. Tantangan untuk kedepan adalah membuat alternatif material elektroda dalam mengatasi terbatasnya bahan elektroda yang selama ini hanya tergantung pada tembaga dan *graphite*. Penelitian seperti yang dilakukan oleh Junaidi dan Seprianto (2011) adalah pembuatan elektroda dengan metode serbuk metalurgi menggunakan bahan serbuk tembaga sebagai bahan utama dan serbuk karbon sebagai bahan tambah yang kemudian mengalami proses pembentukan sampai menjadi bentuk material baru sesuai dengan standar yang ditetapkan.

Lajis (2009) dalam penelitian yang berjudul *The Implementation of Taguchi Method on EDM Process of Tungsten Carbide* membahas tentang aplikasi metode *Taguchi* dalam penelitian pengujian *raw material Tungsten Carbide* di permesinan EDM menggunakan material elektroda *graphite*. Metode *Taguchi* juga digunakan untuk menganalisis dari pengaruh setiap parameter pada karakteristik mesin, hal ini berguna untuk menghasilkan setting optimal seperti yang digunakan oleh Durairaj dkk (2013). Penelitian penggunaan metode *Taguchi* untuk optimalisasi parameter proses permesinan juga dilakukan oleh Utomo (2012) tentang desain eksperimen pada mesin *Electrical Discharge Machining SKM ZNC T50* dalam permesinan terhadap benda uji SKD11 dengan

material elektroda *graphite* dan tembaga. Gumelar (2014) dalam penelitiannya juga menggunakan metode *Taguchi* untuk optimalisasi pada pengerjaan pembuatan master *souvenir* berciri khas daerah kontur artistik dengan *raw material Mild steel* dan elektroda berjenis *graphite*. Perbedaan penelitian ini dengan penelitian yang dilakukan oleh Utomo (2012) adalah objek penelitian yang dilakukan Gumelar (2014) sudah mengarah ke pengerjaan *souvenir*, berbeda dengan Utomo (2012) yang hanya melakukan desain eksperimen terhadap pengerjaan permukaan rata dan radius.

Penelitian selanjutnya yang dilakukan oleh Aditya (2015) tentang proses manufaktur produk *souvenir* artistik dengan penggunaan material *verowhite* dan material *support* untuk aplikasi permesinan di teknologi *spin casting*. Aditya (2015) dalam penelitiannya *tools* yang digunakan adalah *Brainstorming*, *Focus Group Discussion* (FGD), *Weighted Objective* dan *Fishbone Diagram*.

2.2. Penelitian Sekarang

Berdasarkan penelitian-penelitian yang sudah dijelaskan diawal, maka muncul sebuah permasalahan baru mengenai perlunya dilakukan penggunaan teknologi EDM dalam upaya menghasilkan master pola cetakan produk SSS berbahan logam dengan kontur relief yang lebih tajam, detail dan kompleks. Permasalahan ini muncul untuk menjawab keluhan yang dialami oleh Rahmat (2014) yang hanya sampai pada setting parameter pemesinan optimal di mesin EDM SKM T50 namun hanya pada produk flat saja. Keluhan juga dirasakan oleh Gumelar (2014), Aditya (2015), dan Yasa (2015) yang mampu menghasilkan master pola cetakan dengan kontur relief artistik namun hasilnya masih belum maksimal. Selain hanya sekali pakai atau tidak tahan panas saat divulkanisis (Aditya, 2015), hasil pemesinan di mesin CNC masih belum maksimal terutama pada relief yang kecil, tajam, dan detail (Yasa, 2015). Berdasarkan keluhan tersebut, akan dilakukan permesinan menggunakan EDM dan penggunaan metode *Taguchi* untuk mendapatkan desain *lay-out orthogonal array* yang optimal dalam proses mendapatkan master pola cetakan produk SSS berbahan *stainless steel* dengan kontur relief rumit, tajam dan kompleks. Proses dalam mendapatkan parameter *output* yang optimal dari hasil *weighted objective* akan dilakukan proses verifikasi terhadap master pola cetakan produk SSS yang lainnya. Obyek yang dijadikan topik penelitian ini berupa gantungan kunci ber relief ciri khas

daerah, seperti : Candi Prambanan, Candi Borobudur, Klenteng Magelang dan Masjid Agung Magelang.

2.3. Dasar Teori

2.3.1. Souvenir

Souvenir menurut Prakosa dan Cheon (2013), *souvenir* merupakan sesuatu yang dihubungkan secara universal dengan turisme sebagai benda yang diproduksi secara komersial dan dibeli sebagai pengingat pembeli terhadap pengalaman. Produk *souvenir* diklasifikasikan menjadi lima katagori yaitu *pictorial image*, *piece of the rock*, *symbolic shorthand souvenir*, *markers*, dan *local product* (Gordon, 1986). Berikut adalah penjelasan secara singkat mengenai lima katagori *souvenir*.

- a. *Pictorial images souvenir*, merupakan *souvenir* yang berwujud gambar seperti halnya lukisan ataupun kartu pos.
- b. *Piece of the rock*, merupakan benda-benda yang dikumpulkan dari alam yang mempresentasikan lingkungan suatu tempat seperti halnya kerajinan dari kerang atau dari alam.
- c. *Symbolic shorthand souvenir*, merupakan benda yang memunculkan kode atau pesan mengenai lokasi tempat di mana benda itu berasal seperti halnya sebuah gantungan kunci Candi Borobudur dari Jawa Tengah.
- d. *Markers*, merupakan *souvenir* yang berisi sebuah rangkaian kata-kata dari suatu tempat seperti halnya sebuah kata-kata pada cinderamata kaos.
- e. *Local product souvenir*, merupakan sebuah produk yang dibuat dari material tertentu dari suatu daerah seperti halnya pakaian khas daerah.

2.3.2. Brainstorming

Brainstorming merupakan metode kreatif paling terkenal (Cross, 1994) yang digunakan untuk membangkitkan ide-ide kreatif. *Brainstorming* umumnya dilakukan pada kelompok yang kecil yaitu 4-8 orang (Cross, 1994). Partisipan dari *Brainstorming* harus beragam dan mereka tidak hanya menguasai mengenai pengetahuan di area masalah, tetapi juga memiliki keahlian yang luas (Cross, 1994).

Menurut Cross (1994), masalah biasanya diformulasikan dalam bentuk pertanyaan. Partisipan biasanya didiamkan selama beberapa menit untuk menulis ide pertama yang muncul di pikiran. Ide tersebut ditulis pada kertas dan

hanya satu ide tertulis pada satu kertas. Setelah itu, setiap partisipan membacakan ide yang mereka tulis dan tidak boleh ada kritik dari partisipan yang lain. Ide yang dibacakan merupakan stimulus untuk pemunculan ide berikutnya. Cara untuk melakukan evaluasi adalah dengan mengklarifikasi ide atau mengindikasikan tipe utama pada ide yang muncul.

2.3.3. Metode Taguchi

Metode *Taguchi* merupakan suatu pendekatan terstruktur untuk menentukan kombinasi terbaik dalam menghasilkan produk berupa barang atau jasa. Melalui Metode *Taguchi*, ilmuwan Jepang yang tersohor ke seluruh penjuru bumi ini mengembangkan suatu metodologi dengan pendekatan yang berdasarkan pada DoE (*Design Of Experiments*) yaitu suatu metode untuk mengidentifikasi menurut banyaknya masukan (*input*) yang benar dan parameter untuk membuat suatu produk atau layanan berkualitas tinggi yang didambakan oleh pelanggan atau konsumen. Genichi *Taguchi* mengembangkan suatu pendekatan desain dari perspektif desain yang sempurna (*robust*), dimana produk (barang atau jasa) harus dirancang bebas dari cacat (*defect*) dan berkualitas tinggi.

Metode *Taguchi* merupakan salah satu filosofi dan prinsip desain eksperimen yang ditemukan oleh seorang *engineer* dari Jepang yang bernama Genichi *Taguchi*. Genichi *Taguchi* memiliki ide mengenai *quality engineering* dimana tujuan desain kualitas diterapkan ke dalam setiap produk dan proses yang berhubungan. Kualitas diukur berdasarkan deviasi dari karakteristik terhadap nilai targetnya (Mitra,1998).

Taguchi memiliki pandangan bahwa kualitas berhubungan dengan biaya dan kerugian dalam unit moneter. Kerugian yang diderita mencakup pada proses produksinya dan kerugian yang diderita konsumen. Definisi kualitas menurut *Taguchi* adalah “*The quality of product is the (minimum) loss imparted by the product to society from the time the product is shipped*”, yang berarti bahwa kualitas suatu produk adalah kerugian minimum yang diberikan oleh suatu produk kepada masyarakat atau konsumen sejak mulai produk tersebut siap untuk dikirim kepada konsumen. Dari definisi tersebut maka terdapat sudut pandang yang baru dimana suatu kualitas tidak hanya pada proses produksi saja tetapi juga dikaitkan dengan biaya dan dikaitkan dengan kerugian kepada masyarakat (produsen dan konsumen). Tujuan dari fungsi kerugian *Taguchi* (*loss*

function) adalah untuk mengevaluasi kerugian kualitas secara kuantitatif yang disebabkan adanya variasi (Belavendram,1995).

2.3.4. Orthogonal Array

Orthogonal array adalah salah satu kelompok *Fractional Factorial Experiment* (FFE). *Orthogonal array* dapat untuk mengevaluasi beberapa faktor dengan jumlah eksperimen yang minimum. *Orthogonal array* berfungsi untuk mendesain suatu percobaan guna menganalisis data percobaan. Pemilihan *orthogonal array* haruslah disesuaikan dengan jumlah faktor serta level yang akan diamati.

Misal: $L_{16}(2^4)$

- 16 artinya mengalami perlakuan sebanyak 16 kali
- 4 berarti ada 4 level
- 2 adalah jumlah faktor

Pemilihan *orthogonal array* harus memenuhi pertidaksamaan (Belavendram,1995):

$$V_{OA} \geq V_T \quad \dots(2.2)$$

yaitu jumlah eksperimen – 1 \geq jumlah total d.o.f untuk semua faktor dan interaksinya.

dimana:

V_{OA} : jumlah percobaan – 1

V_T : jumlah total d.o.f dari seluruh faktor

Berikut tabel standar untuk *orthogonal array* yang ditabulasi oleh *Taguchi* (Belavendram, 1995) :

Tabel 2.1. Standar *Orthogonal Array*

Available Taguchi Designs (with Number of Factors)

Designs	Single-level designs			
	2 level	3 level	4 level	5 level
L4	2-3			
L8	2-7			
L9		2-4		
L12	2-11			
L16	2-15			
L16			2-5	
L25				2-6
L27		2-13		
L32	2-31			

◀ ▶ \ Single-level / Mixed 2-3 level / Mixed 2-4 level / Mixed 2-8 level

2.3.5. Focus Group Discussion (FGD)

FGD secara sederhana dapat didefinisikan sebagai suatu diskusi yang dilakukan secara sistematis dan terarah mengenai suatu isu atau masalah tertentu . Irwanto (2006) mendefinisikan FGD adalah suatu proses pengumpulan data dan informasi yang sistematis mengenai suatu permasalahan tertentu yang sangat spesifik melalui diskusi kelompok.

Langkah-langkah pelaksanaan *Focus Group Discussion* ini dipaparkan sebagai berikut:

1. Proses ini diikuti oleh tim kreatif dengan latar belakang ilmu pengetahuan dan ketrampilan yang berbeda agar dapat mengidentifikasi permasalahan yang ada.
2. Permasalahan yang akan dibahas dalam FGD ini adalah menyaring hasil *brainstorming* agar didapat alternatif-alternatif yang sesuai untuk perancangan master pola cetakan produk SSS berbahan *Stainless Steel*.
3. Alternatif yang dipilih disesuaikan berdasarkan latar belakang yang kompeten dari masing-masing anggota tim kreatif yang dilibatkan dalam proses ini.
4. Proses FGD diakhiri dengan membacakan kembali ide yang telah disetujui dan dipilih.

2.3.6. Weighted Objective

Weighted Objective adalah metode yang digunakan untuk memberikan penilaian dari alternatif pilihan yang didapat, sehingga diperoleh pilihan terbaik yang sesuai dengan atribut yang ada. Metode *Weighted Objective* ini menyediakan peralatan untuk memperkirakan dan membandingkan alternatif perancangan yang menggunakan perbedaan pembobotan obyektif. Metode ini menetapkan pembobotan numerik untuk obyektif dan nilai numerik untuk pelaksanaan alternatif perancangan yang diukur terhadap obyektif. Tujuan metode ini adalah untuk membandingkan nilai-nilai kegunaan usulan perancangan alternatif pada basis pelaksanaan terhadap perbedaan pembobotan obyektif. Langkah-langkah dalam pemilihan menggunakan *Weighted Objective* adalah:

- a. Daftarkan tujuan dari pemilihan yang akan dibuat
- b. Golongkan urutan daftar tujuan dari pemilihan
- c. Berikan hubungan kepentingan pada tujuan
- d. Menetapkan parameter pelaksanaan atau nilai kegunaan untuk masing-masing tujuan
- e. Menghitung dan membandingkan nilai kegunaan relatif perancangan alternatif.

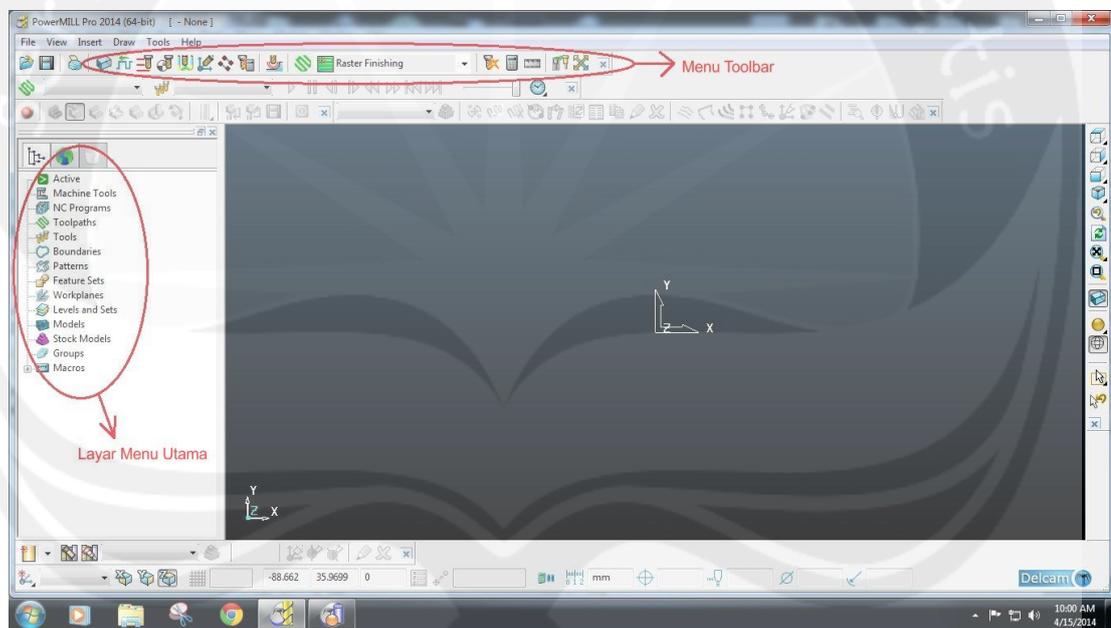
Skala yang biasa digunakan adalah skala 5 titik (0-4), skala 9 titik (0-8), dan skala 11 titik (0-10) dengan penilaian dari paling buruk ke paling baik. Berikut tabel 2.5 menampilkan performansi skala untuk 11 titik dan 5 titik. (Cross, N., 1994)

Tabel 2.2. Skala 11 Titik dan 5 Titik

Eleven point scale	Meaning	Five point scale	Meaning
0	Totally useless solution	0	Inadequate
1	Inadequate solution		
2	Very poor solution	1	Weak
3	Poor solution		
4	Tolerable solution	2	Satisfactory
5	Adequate solution		
6	Satisfactory solution		
7	Good solution	3	Good
8	Very good solution		
9	Excellent	4	Excellent
10	Perfect or ideal		

2.3.7. PowerMILL 2013

PowerMILL merupakan perangkat lunak CAD yang mendukung dalam bidang perangkat lunak NC (*Numerical Control*) CAM. Keuntungan utama dalam penggunaan *PowerMILL* adalah dapat memasukkan bermacam-macam strategi permesinan, dapat meminimalkan waktu proses *roughing* maupun proses *finishing* dengan memilih strategi yang paling tepat, dan memiliki teknik *machining 5 axis*. *PowerMILL* juga dapat mengambil desain gambar dari *software design* yang lain seperti IGES, STEP, Catia, UG, ProEngineer, Rhino, dan lain-lain dalam bentuk format IGES, VDA, STL. Hasil *output* dari *PowerMILL* yaitu berupa simulasi permesinan, *G-Code*, dan waktu permesinan. Proses *PowerMILL* dengan menggunakan beberapa fungsi penting digunakan untuk membuat *NC-Code* pada mesin Rolland Modela MDX40. Fungsi tersebut akan diuraikan dalam tahap berikut ini:



Gambar 2.1. Layar utama *PowerMILL* 2013

(sumber: *Software PowerMILL* 2013)

Tampilan menu utama pada *software PowerMILL* 2013 terdiri dari:

a. NC Program

Pada tampilan utama terdapat menu NC Program. Menu NC Program ini berfungsi untuk membuat *G-Code* dari produk yang akan kita kerjakan. Dalam *G-Code*, nantinya berisikan langkah-langkah permesinan dalam bahasa program.

b. *Toolpath*

Menu *Toolpath* berfungsi untuk mengaktifkan dan bisa juga untuk melakukan *editing*, melihat estimasi waktu dari berbagai macam *Toolpath* yang telah kita buat sebelumnya.

c. *Tools*

Menu *Tool* berfungsi untuk memperlihatkan *cutter* yang telah kita pilih untuk proses permesinan. Melalui menu *Tool* ini kita juga dapat melakukan pengeditan terhadap jenis *tipe cutter* yang telah kita pilih.

d. *Boundaries*

Menu *Boundaries* memiliki fungsi untuk membatasi area yang akan kita proses. Jika kita menginginkan hanya area tertentu yang ingin kita proses, maka kita dapat memproses melalui menu *Boundaries* ini.

e. *Pattern*

Menu *Pattern* berfungsi membatasi area yang akan kita proses. Menu ini memiliki fungsi yang hampir sama dengan menu *Boundaries*. Namun bedanya menu *Pattern* hanya memproses sesuai dengan batas tepi dari produk yang akan kita proses.

f. *Feature Set*

Menu *Feature Set* berfungsi untuk membuat lubang atau *hole* pada model. Melalui *Feature Set* ini, kita dapat dengan cepat membuat lubang, karena *cutter* akan secara otomatis bergerak membuat lubang sesuai dengan desain yang telah kita buat.

g. *Workplane*

Menu *Workplane* berfungsi untuk mengecek *workplane* mana yang sedang aktif dan juga berfungsi untuk mengatur *workplane* mana yang ingin kita aktifkan.

h. *Levels*

Menu *Levels* pada Pmill berfungsi untuk menyembunyikan sementara gambar produk tanpa menghilangkan gambar produk. Hal ini sangat berguna jika kita menginginkan pengeditan pada gambar produk.

i. *Models*

Menu *Models* dalam PMill memiliki fungsi untuk menunjukkan model apa saja yang telah kita buka dalam PMill pada saat itu. Dalam menu *Models* juga diperlihatkan *type, origin, path, translucency* dari model yang telah kita kerjakan.

j. *Stock Models*

Stock Models merupakan gabungan dari model yang telah kita buat.

k. *Groups*

Groups merupakan kumpulan-kumpulan dari *stock models*.

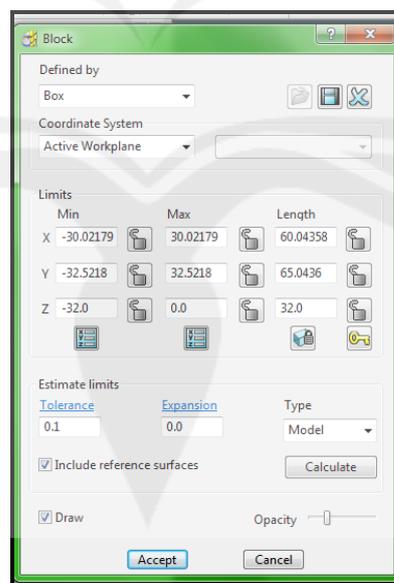
l. *Macros*

Menu *Macros* dalam PMill berfungsi sebagai *Help*. Jika kita membutuhkan penjelasan mengenai PMill kita dapat menggunakan menu *Macros*.

Berikut adalah menu dan fungsi *toolbars* pada *software PowerMILL 2013*:

a. *Dialog Block*

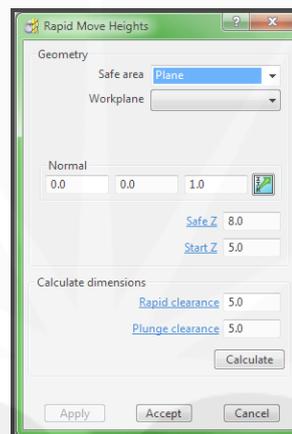
Fungsi dari menu *Block* ini adalah untuk memberikan ukuran material yang dibutuhkan, sehingga ukuran antara produk yang akan diproses dan material yang diperkirakan dapat benar-benar sesuai ukuran. Menu *Block* terdapat limit Min X, Max X, Min Y, Max Y, Min Z, Max Z. Limit ini berfungsi sebagai ukuran material yang kita inginkan. X menunjukkan ukuran horizontal sesuai sumbu X, Y ukuran horizontal sesuai sumbu Y, sedangkan Z ukuran vertikal atau tinggi material. Namun jika kita mengalami kesulitan dalam mencari ukuran material agar benar-benar sesuai dengan kebutuhan, kita dapat mengklik *Calculate*. Melalui *Calculate*, kita bisa mendapatkan ukuran material secara otomatis, tanpa harus mengisi satu per satu ukuran material yang kita butuhkan.



Gambar 2.2 Tampilan *Block Form*
(sumber: *software PowerMILL 2013*)

b. *Rapid Move Height*

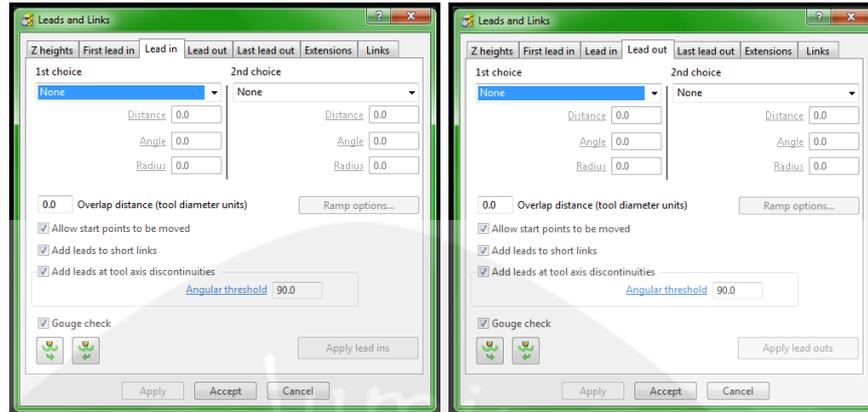
Menu ini berfungsi untuk menentukan jarak ketinggian antara material dengan ujung mata *cutter* terendah saat *cutter* tidak melakukan pemakanan pada material. Menu ini juga memiliki fungsi untuk memberikan jarak aman saat dimulainya pemakanan antara material dengan ujung mata *cutter* agar tidak terjadi tabrakan yang tidak diinginkan antara *cutter* dengan material. Dalam menu *Rapid Move Height* ini terdapat menu *safe Z*. *Safe Z* adalah jarak aman antara *cutter* dengan material, sedangkan *Start Z* artinya adalah jarak ketinggian *cutter* dari material dimana *cutter* mulai bekerja. Keduanya dapat kita tentukan sendiri sepanjang jarak antara material dan ujung *cutter* lebih dari 0 mm.



Gambar 2.3 Tampilan *Rapid Move Heights*
(sumber: *software PowerMILL 2013*)

c. *Leads and Links Form*

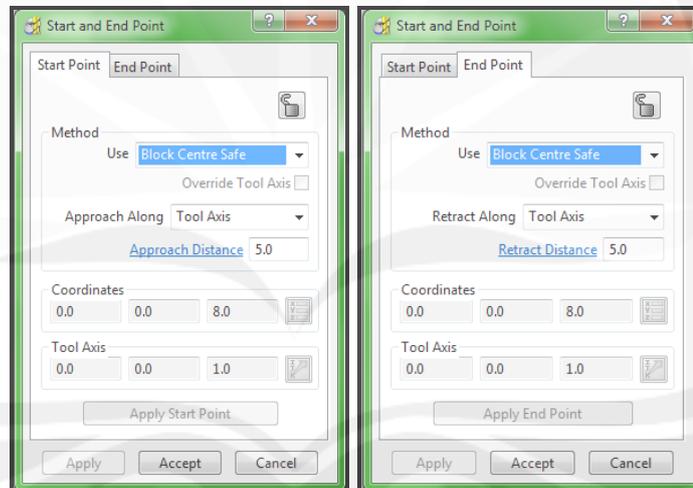
Fungsi dari *Leads and Links Form* adalah sebagai cara untuk mempercepat atau menyingkat waktu *machining*. Prinsip kerja dari penggunaan menu *Leads and Links Form* ini adalah dengan meniadakan gerakan-gerakan *cutter* yang tidak efektif yang dapat memperlambat *machining time*.



Gambar 2.4 Tampilan *Leads and Links*
(sumber: software PowerMILL 2013)

d. *Start and End Point*

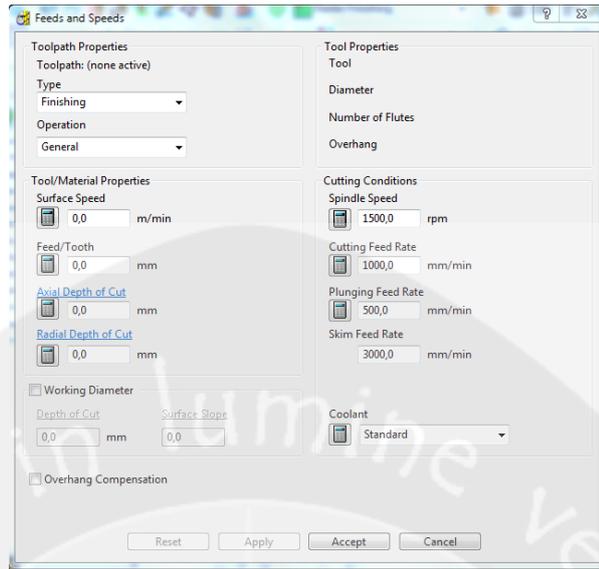
Menu *Start and End Point* digunakan untuk mengatur titik awal pemakaian cutter pada material.



Gambar 2.5 Tampilan *Start and End Point*
(sumber: software PowerMILL 2013)

e. *Feed Rate*

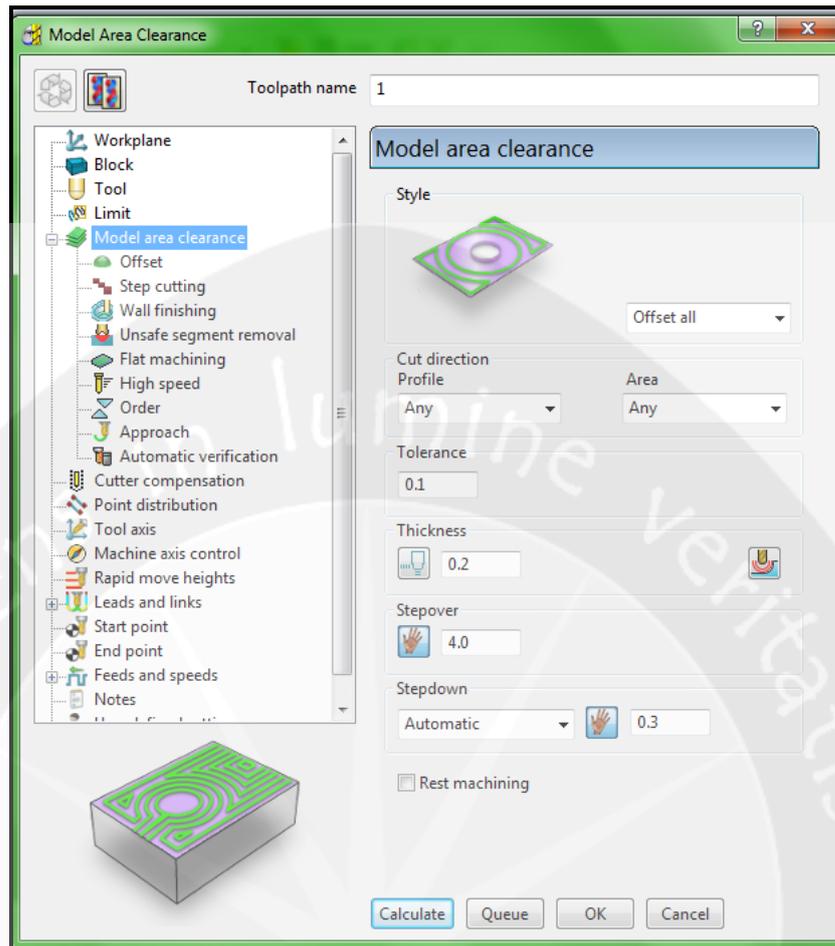
Fungsi dari menu *Feed Rate* ini adalah untuk menentukan nilai pada *rapid*, *plunge*, *cutting*, *spindle speed*, *drilling* sesuai yang kita inginkan. Melalui *Feed Rate* ini kita juga dapat menentukan jenis *collant* apa yang akan kita gunakan.



**Gambar 2.6 Tampilan *Feeds and Speeds*
(sumber: software *PowerMILL 2013*)**

f. *Toolpath Strategy*

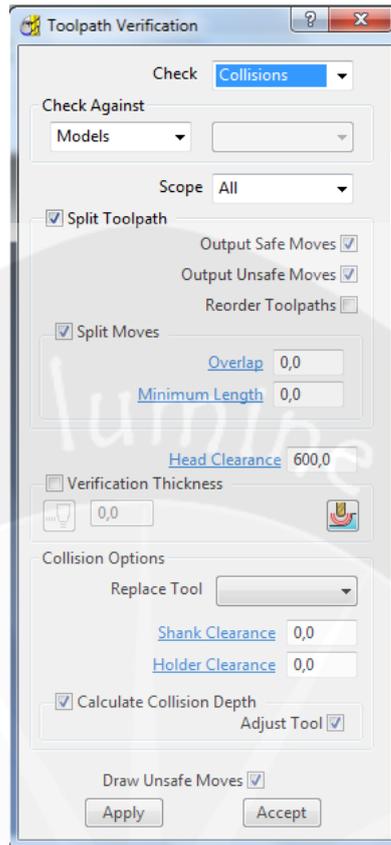
Menu ini berfungsi untuk menentukan *Toolpath* apa yang ingin digunakan. Penentuan *Toolpath* ini sangat berpengaruh terhadap hasil *machining* produk dan waktu proses pengerjaan. Sub menu dalam menu *Toolpath Strategy* ini antara lain adalah *2,5D Area clearance*, *3D Area clearance*, *Blisk*, *Drilling*, *Favourite*, *Finishing* dan *Ports*. Disetiap sub menu tersebut terdiri dari berbagai macam *strategy* pergerakan *cutter* yang dapat kita pilih. Berikut contoh tampilan *Toolpath Strategy Model Area Clearance*.



Gambar 2.7 Tampilan *Toolpath Model Area Clearance*
 (sumber: *software PowerMILL 2013*)

g. *Toolpath Verification*

Menu ini berfungsi untuk memverifikasi *tool* dengan *Toolpath* yang telah dibuat dengan tujuan untuk mengecek supaya tidak terjadi kesalahan atau tabrakan antara *tool* dengan model yang dibuat.



Gambar 2.8 Tampilan *Toolpath Verification*
(sumber: *software PowerMILL 2013*)

2.3.8. Mesin EDM

Elektrical Discharge Machine (EDM) adalah suatu mesin perkakas Non Konvensional yang proses pemotongan material (*material removal*) benda kerjanya berupa *erosi* yang terjadi karena adanya sejumlah loncatan bunga api listrik secara periodik pada celah antara katoda (pahat) dengan anoda (benda kerja) di dalam cairan *dielektrik*.

Pada tahun 1770 ilmuwan inggris bernama Joseph Priestly menemukan efek erosi dari percikan arus listrik. Kemudian penemuan itu dikembangkan oleh ilmuwan Rusia bernama B. Larzarenko tahun 1943 yaitu dengan memanfaatkan percikan arus listrik untuk membuat proses yang terkontrol untuk permesinan secara elektrik pada bahan konduktif yang kemudian dikenal dengan proses EDM.

2.3.9. Pengertian Erosi

Perinsip kerja mesin EDM adalah proses erosi yang terjadi pada benda kerja sehigga profil yang diinginkan dapat tercapai dengan material elektroda sebagai penyebab erosinya. Erosi adalah proses pemotongan atau pengambilan material

dengan memanfaatkan bunga api listrik yang terjadi di antara dua elektroda karena beda potensial dengan media dielektrikum. Dari pengertian tersebut dapat disimpulkan bahwa syarat utama terjadinya proses erosi adalah *tool* maupun benda kerja bersifat konduktor atau yang bisa dialiri listrik.

Material yang bersifat isolator, tidak dapat dikerjakan dengan proses erosi, misalkan : plastik, kayu, batu, dan lain-lain. Proses erosi juga sering terganggu oleh logam yang dikerjakan mengandung bahan isolator. Benda kerja yang sering dikerjakan dengan proses erosi diantaranya : berbagai jenis besi baik yang belum dikeraskan maupun yang sudah dikeraskan, sedangkan elektroda atau *tool* yang digunakan untuk proses erosi adalah tembaga, *graphite*, kuningan, dan zink (khusus untuk *wire cut*).

Masing-masing mesin mempunyai teknologi yang berbeda untuk aplikasi elektroda yang digunakan sebagai *tool*. Secara umum proses erosi memerlukan waktu yang relatif lebih lama dibandingkan dengan proses permesinan yang lain. Untuk itu kita harus tahu betul kapan benda kerja harus dikerjakan dengan mesin EDM atau bisa dikerjakan dengan mesin lain agar proses pengerjaan lebih cepat dan murah. Selain mesin EDM, aplikasi pada mesin erosi termasuk *Wire Cut* dan *EDM Drill*. Masing-masing mesin tersebut mempunyai spesifikasi dan kegunaan yang berbeda-beda. Mesin EDM digunakan untuk pengerjaan dengan profil tiga dimensi, *Wire Cut* digunakan untuk memotong material, dan mesin *EDM Drill* digunakan untuk membuat lubang dengan ukuran tertentu antara 0,3mm-3mm, biasanya untuk *start point* EDM *Wire Cut*. Berikut karakter mesin EDM:

Tabel 2.3. Karakteristik Mesin EDM

No	Keterangan	EDM	<i>Wire Cut</i>	<i>EDM Drill</i>
1	Elektroda / Tools	Tembaga, <i>Graphite</i>	Kuningan, Tembaga, Zink	Kuningan, Tembaga
2	Material yang bisa dikerjakan	Besi, Stainless Steel	Besi, Tembaga, <i>Graphite</i>	Besi
3	Bentuk elektroda	Profil 3D	Kawat	pipa
4	Dielektrikum	Minyak	Air	Air

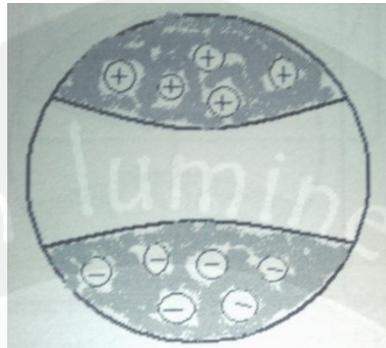
2.3.10. Prinsip Erosi Secara Fisika

Prinsip erosi secara fisika dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. Untuk menciptakan pelepasan material di antara dua elektrode harus ada arus pada tahanan dalam pada jarak kerja bunga api (jarak antara elektroda dengan material). Tingginya arus tersebut tergantung dari :

- a) Jarak antara elektroda dan benda kerja.
- b) Daya hantar dari cairan dielektrikum.
- c) Tingkat polusi (kotor) pada celah bunga api (GAP).

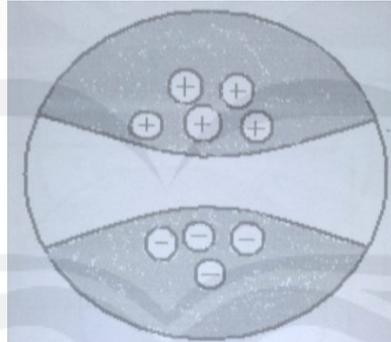
Berikut gambar prinsip erosi secara fisika 1 :



Gambar 2.9. Prinsip Erosi Secara Fisika 1

Sumber : Teknik Manufaktur 3 EROSI

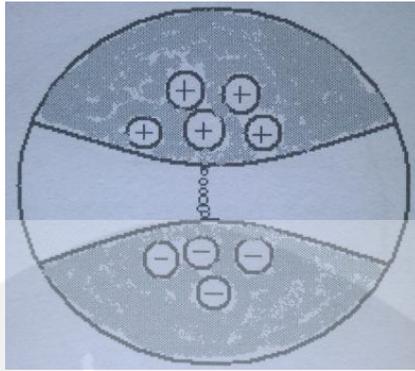
- 2. Proses pelepasan material akan dimulai pada tempat dimana terjadi medan listrik terkuat akan terbentuk. Berikut gambar prinsip erosi secara fisika 2 :



Gambar 2.10. Prinsip Erosi Secara Fisika 2

Sumber : Teknik Manufaktur 3 EROSI

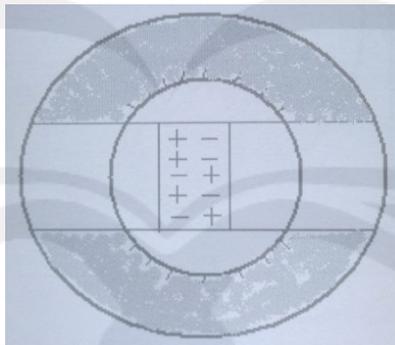
- 3. Karena pengaruh medan listrik, elektron-elektron dan ion-ion positif berkumpul atau terkonsentrasi pada satu titik pada arus tinggi, dan dengan cepat membentuk terusan (*channel*) yang menghantarkan listrik. Berikut gambar prinsip erosi secara fisika 3 :



Gambar 2.11. Prinsip Erosi Secara Fisika 3

Sumber : Teknik Manufaktur 3 EROSI

4. Pada tahap ini, arus listrik akan mengalir dan lompatan bunga api terjadi di antara elektroda, yang menyebabkan sejumlah tabrakan antara partikel-partikel. Pada saat yang sama terjadi gelembung gas yang menguap pada elektroda dan dielektrikum. Tekanan akan meningkat secara tiba-tiba hingga menjadi sangat tinggi. Di sini, zona plasma terbentuk, yang akan dengan cepat meningkatkan suhu menjadi 8000-12000°C, dan menciptakan peningkatan secara cepat tabrakan partikel-partikel yang menyebabkan melelehnya material pada area lokal antara kedua konduktor tersebut. Berikut gambar erosi secara fisika 4 :



Gambar 2.12. Prinsip Erosi Secara Fisika 4

Sumber : Teknik Manufaktur 3 EROSI

5. Pada saat tingkat arus listrik berhenti terjadi penurunan suhu secara tiba-tiba yang menyebabkan *implesi* dari gelembung, memberikan gaya-gaya bebas yang akan melemparkan material yang meleleh keluar dari tempat yang menjadi kawah. Berikut gambar prinsip erosi secara fisika 5 :

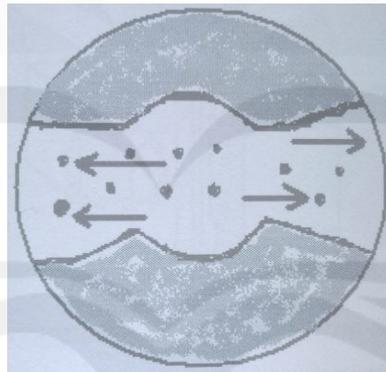


Gambar 2.13. Prinsip Erosi Secara Fisika 5

Sumber : Teknik Manufaktur 3 EROSI

6. Material yang terlepas (kotoran) akan dibuat menjadi solid lagi di dalam dielektrikum dalam bentuk butiran-butiran halus. Butiran-butiran halus diakibatkan karena hasil erosi yang terjadi pada benda kerja. Pengikisan material yang terjadi antara elektroda dan benda kerja sama sekali tidak tergantung pada *polaritas*, titik api, dan *electrode feed rate*. Erosi yang terjadi pada material disebut pamakanan.

Berikut gambar proses erosi secara fisika 6:



Gambar 2.14. Prinsip Erosi Secara Fisika 6

Sumber : Teknik Manufaktur 3 EROSI

Proses diatas berlangsung terus menerus dan berulang-ulang dari proses satu sampai enam dalam satuan mikro detik. Lamanya waktu dalam prinsip kerja erosi secara fisika disebut dengan nama pulsa. Pulsa terbagi menjadi dua yaitu pulsa ON dan pulsa OFF. Pulsa ON terjadi pada saat elektroda dan benda kerja dialiri arus listrik. Pada prinsip kerja secara fisika, pulsa ON terdapat pada nomor 1,2,3, dan 4, sedang pulsa OFF terdapat pada nomor 5, dan 6. Satuan waktu pulsa adalah mikro detik atau seperseribu detik sehingga terjadi secara cepat. Secara

visual dapat dilihat seperti kembang api yang terjadi pada titik erosi antara benda kerja dan elektroda didalam cairan dielektrikum.

2.3.11. Cara Kerja Mesin EDM

Proses awal EDM, elektroda yang berisi arus listrik didekatkan ke benda kerja (elektroda positif mendekati benda kerja/turun). Di antara dua elektroda ada minyak isolasi (tidak menghantarkan arus listrik) yang pada EDM dinamakan cairan *dielectric* (dielektrikum). Walaupun cairan dielektrikum adalah sebuah isolator yang bagus, beda potensial listrik yang cukup besar menyebabkan cairan membentuk partikel yang bermuatan yang menyebabkan arus listrik melewatinya dari elektrode ke benda kerja. Dengan adanya *graphite* dan partikel logam yang tercampur ke cairan dapat membantu transfer arus listrik dalam dua cara: partikel-partikel (konduktor) membantu dalam ionisasi minyak dielektrik dan membawa arus listrik secara langsung, serta partikel-partikel dapat mempercepat pembentukan arus listrik dari cairan. Daerah yang memiliki arus listrik paling kuat adalah pada titik di mana jarak antara elektroda dan benda kerja paling dekat, seperti pada titik tertinggi yang terlihat di gambar. Grafik menunjukkan bahwa arus (beda potensial) meningkat tetapi arusnya nol. Ketika jumlah partikel bermuatan meningkat, sifat isolator dari cairan dielektrik menurun sepanjang tengah jalur sempit pada bagian terkuat di daerah tersebut. Arus meningkat hingga titik tertinggi tetapi arus masih nol. Arus mulai muncul ketika cairan berkurang sifat isolatornya menjadi yang paling kecil. Beda arus mulai menurun. Panas muncul secara cepat ketika arus listrik meningkat dan arus terus menurun drastis. Panas menguapkan sebagian cairan, benda kerja, dan elektroda, serta jalur *discharge* mulai terbentuk antara elektroda dan benda kerja. Gelembung uap melebar ke samping tetapi gerakan melebarnya dibatasi oleh kotoran-kotoran ion di sepanjang jalur *discharge*. Ion-ion tersebut dilawan oleh daerah magnet listrik yang telah timbul. Arus terus meningkat dan arus menurun. Sebelum berakhir, arus dan arus menjadi stabil, panas dan tekanan di dalam gelembung uap telah mencapai ukuran maksimal, dan sebagian logam telah dihilangkan. Lapisan dari logam di bawah kolom *discharge* pada kondisi mencair, tetapi masih berada di tempatnya karena tekanan dari gelembung uap. Jalur *discharge* sekarang berisi plasma dengan suhu sangat tinggi, sehingga terbentuk uap logam, minyak dielektrik, dan karbon pada saat arus lewat dengan intensif melaluinya. Pada akhirnya, arus dan arus turun menjadi nol. Temperatur turun dengan cepat, tabrakan gelembung dan menyebabkan logam yang telah

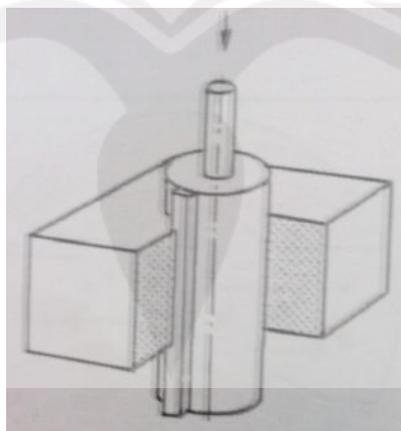
dicairkan lepas dari benda kerja. Cairan dielektrik baru masuk di antara elektroda dan benda kerja, menyingkirkan kotoran-kotoran dan mendinginkan dengan cepat permukaan benda kerja. Logam cair yang tidak terlepas membeku dan membentuk lapisan baru hasil pembekuan (*recast layer*). Logam yang terlepas membeku dalam bentuk bola-bola kecil menyebar di cairan dielektrik bersama-sama dengan karbon dari elektroda. Uap yang masih ada naik menuju ke permukaan. Tanpa waktu putus yang cukup, kotoran-kotoran yang terbentuk akan terkumpul membentuk percikan api yang tidak stabil. Situasi tersebut dapat membentuk DC *arc*, yang mana dapat merusak elektroda dan benda kerja.

2.3.12. Macam-macam Proses Erosi

Ada berbagai macam model yang dihasilkan oleh proses erosi sesuai dengan bentuk dan pola pergerakan elektroda tersebut. Bentuk elektroda disesuaikan dengan produk yang akan dibuat, demikian juga pola pergerakan pada elektroda pada saat melakukan proses erosi. Berikut contoh-contoh proses erosi :

a) Pelubangan *Erosif*

Pada proses ini, benda kerja yang dikerjakan dengan profil dan ukuran yang sama antara elektroda dengan benda kerja. Proses tersebut bekerja sampai tembus sehingga menciptakan lubang pada benda kerja. proses ini juga terdapat pada benda kerja dengan ukuran yang berbeda untuk elektroda dan benda kerja, biasanya untuk proses pengerjaan diameter *taper* pada *sprue bush* untuk *runner mold*. Berikut contoh gambar pelubangan *erosif* :

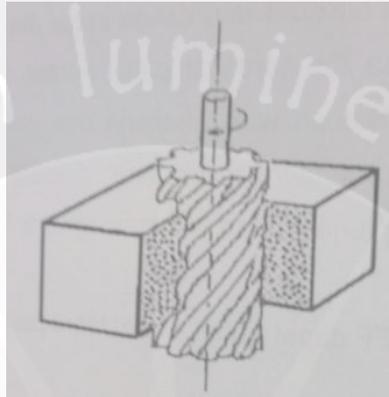


Gambar 2.15. Pelubangan Erosif
Sumber : Teknik Manufaktur 3 EROSI

b) Pelubangan *Helical*

Pada proses pengerjaan *helical*, elektroda dibuat menyerupai bentuk *gear helic*. Untuk jalannya proses erosi, sumbu aksis yang bekerja adalah sumbu Z, dan sumbu untuk berputar adalah sumbu C.

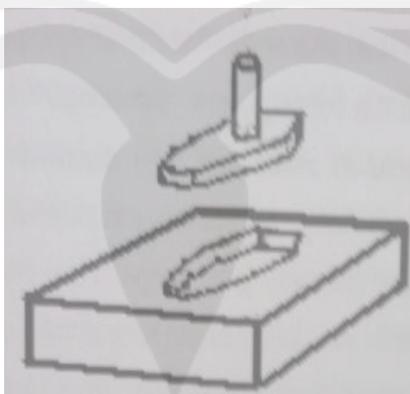
Sumbu Z dan sumbu C bekerja secara bersama-sama. Berikut contoh gambar pelubangan *helical* :



Gambar 2.16. Pelubangan *Helical*
Sumber : Teknik Manufaktur 3 EROSI

c) Pembentukan Profil

Pada proses ini, elektroda yang dibutuhkan adalah elektroda berbentuk profil dengan ukuran lebih kecil dari ukuran yang terbentuk pada benda kerja. Untuk pembuatan *mold*, terutama pada *Cavity* sering menggunakan proses ini. Berikut contoh gambar pembentukan profil :

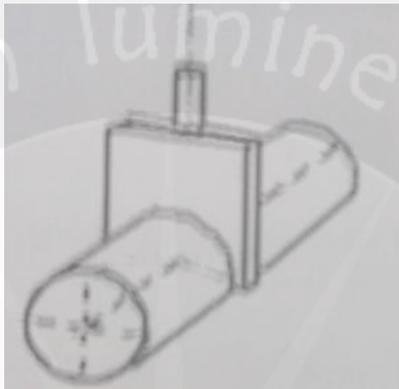


Gambar 2.17. Pembentukan Profil
Sumber : Teknik Manufaktur 3 EROSI

d) Pemotongan dengan EDM

Proses yang dimaksud disini adalah proses memotong atau membelah material menjadi dua bagian. Elektroda pemotong biasanya dibentuk pipih atau tipis seperti pisau pemotong dengan tujuan hasil yang didapat rapi. Pada umumnya proses ini jarang sekali dilakukan karena waktu yang digunakan relatif lama.

Berikut contoh gambar pemotongan dengan EDM :



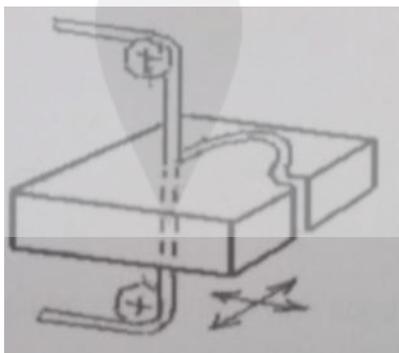
Gambar 2.18. Pemotongan dengan EDM

Sumber : Teknik Manufaktur 3 EROSI

e) Pemotongan menggunakan Kawat

Mesin yang paling cocok untuk proses pemotongan dengan menggunakan kawat adalah mesin *Wire Cut*. Prinsip kerjanya sama dengan mesin EDM tetapi *tool* yang digunakan dalam mesin *Wire Cut* adalah kawat. Mesin *Wire Cut* tidak hanya digunakan untuk memotong material tetapi juga digunakan untuk membantu dalam proses pembuatan *mold* atau *punching tool*, seperti *punch*, *dies*, *positioning*, dan lain-lain.

Berikut contoh gambar pemotongan menggunakan kawat :



Gambar 2.19. Pemotongan dengan Wire

Sumber : Teknik Manufaktur 3 EROSI

2.3.13. Material Elektroda

Jenis bahan elektroda dibagi menjadi dua macam yaitu: logam dan *graphite*. Dalam dunia manufaktur ada lima macam elektroda yang sering digunakan antara lain :

- Kuningan (*brass*).
- Tembaga (*copper*).
- Tungsten.
- Seng (*zinc*)
- *Graphite*

Selain itu, beberapa elektroda dikombinasikan dengan logam yang lain agar dapat digunakan secara efisien yaitu :

- Kuningan dengan seng.
- Tembaga dan *tellurium*.
- Tembaga, *tungsten*, dan perak.

Pada mulanya, kuningan digunakan sebagai elektrode, walaupun tingkat keausannya yang tinggi. Masalah yang muncul dengan tembaga adalah karena titik cairnya sekitar 1.085°C , padahal temperatur percikan api pada celah elektroda dan benda kerja mencapai 3.800°C . Titik lebur tembaga yang rendah menyebabkan keausan yang terlalu tinggi dibandingkan dengan bagian benda kerja yang bisa dihilangkan.

Elektroda *graphite* memiliki laju yang lebih besar dalam menghilangkan bagian benda kerja dibandingkan dengan keausannya sendiri. *Graphite* tidak mencair di celah elektroda, pada sekitar temperatur 3.350°C berubah dari bentuk padat menjadi gas. Karena *graphite* lebih tahan panas di celah elektroda dibandingkan dengan tembaga, untuk sebagian besar pengerjaan EDM menggunakan elektrode *graphite* agar lebih efisien. *Tungsten* memiliki titik lebur setara dengan *graphite*, akan tetapi *tungsten* sangat sulit dibentuk/dikerjakan dengan mesin.

Tungsten digunakan sebagai pengerjaan awal, biasanya berbentuk tabung atau ruji untuk lubang-lubang dan lubang kecil proses gurdi. Elektroda logam biasanya yang terbaik untuk pengerjaan EDM bagi material yang memiliki titik lebur rendah seperti : aluminium, *copper* dan *brass*. Untuk pengerjaan baja dan paduannya, elektroda *graphite* lebih disarankan. Prinsip umum dalam pemilihan elektroda adalah : elektrode logam untuk benda kerja atau paduan yang memiliki titik lebur rendah, dan elektrode *graphite* untuk yang memiliki titik lebur tinggi. Hal tersebut

dengan pengecualian untuk pengerjaan *tungsten*, *cobalt*, and *molybdenum*. Elektroda logam seperti tembaga sangat direkomendasi karena frekuensi yang lebih tinggi diperlukan untuk mengerjakan benda kerja tersebut. Tembaga sebagai elektroda memiliki keuntungan lebih dibandingkan *graphite*, karena bentuk keausan ketika digunakan (*discharge-dressing*) lebih baik. Elektroda ini setelah digunakan mengerjakan satu benda kerja, sesudahnya dapat digunakan lagi untuk proses pengerjaan *finishing* atau digunakan untuk mengerjakan benda kerja yang lain.

Tembaga mempunyai konduktivitas termal 398 watts/m0C, dan koefisien ekspansi termalnya 16.8 ppm/0C. Logam tembaga digunakan secara luas dalam industri peralatan listrik. Kawat tembaga dan paduan tembaga digunakan dalam pembuatan motor listrik, generator, kabel transmisi, instalasi listrik rumah dan industri, kendaraan bermotor, konduktor listrik, kabel, tabung *microwave*, sakelar, dan bidang telekomunikasi. Tembaga juga dapat dikombinasikan dengan seng untuk menghasilkan kuningan dan timah untuk menghasilkan *bronze*. Berikut tabel karakteristik material elektroda :

Tabel 2.4. Karakteristik Elektroda

<i>Electrode Material</i>	<i>Melting</i>	<i>Resistivity</i>	<i>Density</i>
	<i>Point</i>	$\Omega \text{ mm}^2 / \text{m}$	g / mm^3
<i>Silver Tungsten</i>		0,048	0,016
<i>Copper Tungsten</i>		0,055	0,015
<i>Copper Graphites</i>		0,04	0,027
<i>Chromium Copper</i>		0,0236	0,0081
<i>Electrolytic Copper</i>	1083	0,0167	0,0089
<i>Graphites</i>	3700	0,085-0,15	0,0015-0,00018
<i>Bronze</i>	1060		0,0082
<i>Steel</i>	1539	0,0971	0,0087

Sumber : Manual Book EDM SKM