

## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Penelitian Terdahulu

Aplikasi metode *Reverse Innovative Design* (RID) yang dilaporkan oleh Anggoro dkk (2016c) pada pasien diabetes berhasil mendapatkan enam jenis desain *insole* yang sesuai dengan bentuk permukaan kaki pasien. Enam jenis desain *insole* tersebut dibentuk berdasarkan berbagai toleransi rata – rata penyimpangan antara 0.0 mm sampai dengan 2.0 mm dan hasilnya digambarkan dalam berikut ini.



**Gambar 2.1. Pandangan atas dan bawah dengan lebar toleransi 2 mm *insole shoe orthotic for diabetes people***

(Sumber : Anggoro dkk, 2016c)

Dari gambar 2.1. terlihat bahwa lebar toleransi pada *insole* benar – benar sesuai dengan kontur telapak kaki pasien. Hasil riset tersebut ditahun yang sama juga dilakukan penelitian lanjutan oleh Bawono dkk (2017) mengenai penentuan tipe *iso\_diabets* yang optimal berdasarkan *orthogonal array*  $L_8 4 \times 2^4$ . Pada penelitian ini tipe desain *insole* dengan lebar tolerance 0,75 mm merupakan desain optimal dengan parameter kondisi pemotongan *toolpath strategy raster finishing 45°*, *spindle speed 14.000 rpm*, *stepover 0,2 mm*, *feedrate 900 mm/putaran*.

Kelainan pada kaki manusia seperti *Pronaiton*, *Metatarsalgia*, *Flat Feet*, *Neuroma*, *Plantar Fasciitis*, *Arch Pain*, dan *Diabets* biasanya berhubungan erat dengan ketidaknormalan distribusi tekan pada *insole* sepatu (Vincenzio B, 2004). Hal ini menyebabkan kaki merasakan sakit karena memakai alas kaki yang tidak sesuai dengan bentuk kontur permukaan kaki pasien. Ketika pasien – pasien diabetes tetap mengenakan *insole* sepatu yang ada, pasien akan selalu merasa tidak nyaman. Solusi dari permasalahan ini yaitu dengan adanya *insole* sepatu yang sesuai dengan bentuk permukaan kaki pasien dan memiliki kontur lunak demi kenyamanan penggunaan (Anggoro dkk, 2017a).

*Insole* pada awalnya diproduksi secara manual dengan menggunakan metode *foam box*. Metode ini mencetak kaki pasien dengan sebuah *box* sebagai media cetak dan material gips sebagai media yang dicetak untuk dibentuk menjadi model kaki pasien. PT. Sentra Rehabilitasi Jakarta dan CV. Kuspito Surakarta Indonesia menggunakan metode ini untuk memproduksi *insole*. Hasil survei yang dilakukan oleh P.W. Anggoro bersama peneliti menyimpulkan bahwa metode manual ini dirasa memiliki banyak kelemahan pada proses manufaktur dan hasil yang didapatkan. Kelemahannya yaitu waktu pencetakan dan pembuatan sangat lama, tingkat ketepatan terhadap permukaan kaki pasien masih kecil, proses akhir (*finishing*) harus dilakukan secara berulang dan terus menerus untuk mendapatkan hasil yang sesuai dengan kaki pasien, dan proses yang dilakukan secara tidak benar dapat mempengaruhi kenyamanan kaki.

*Computer Aided Desain* (CAD) merupakan salah satu pengembangan teknologi di bidang desain produk yang dianggap sebagai solusi dari permasalahan karena mampu mengurangi waktu desain *insole* dan mengurangi biaya pembuatan alas kaki *orthotic* menurut penelitian yang telah dilakukan oleh Modeni dkk, 2014. Proses pembuatan *insole* yang cepat, tepat, dan akurat dapat menggunakan *Computer Aided Reverse Engineering System* (CARE System) pada aplikasi desain produk iso khusus pasien diabetes. Penelitian ini terintegrasi dengan teknologi modern dimana kaki pasien di *scanning* (rekam gambar visual) dengan menggunakan *scanner 3D HandyScan 700™* dan diproses menggunakan teknologi CAD dan Aditive Manufacturing pada mesin *3D Ogden 350V* (Anggoro dkk, 2017a). Penelitian ini juga dilakukan untuk mendapatkan keakuratan dan kepresisian dari *3D mesh*. Penelitian yang telah dilakukan dan dikembangkan mengenai penerapan *Reverse Innovative Design* (RID) pada *insole* didapatkan hasil yang sangat baik, dan dapat diterapkan pada dua jenis teknologi manufaktur yang memproduksi secara adaptif yaitu dengan menggunakan mesin *3D Printer* dan dengan menggunakan teknologi manufaktur yang memproduksi secara subtraktif yaitu dengan menggunakan mesin *CNC*. Berbagai macam desain *iso\_diabets* yang telah dihasilkan akan dilakukan optimalisasi proses manufaktur untuk mendapatkan desain yang optimal sesuai dengan bentuk dan kontur permukaan kaki pasien Anggoro dkk (2016c).

Kekasaran permukaan sangat penting pada kualitas produk dan fungsinya dalam industri manufaktur. Kekasaran permukaan minimal adalah hal yang penting sebagai akibat dari meningkatnya permintaan konsumen pada kualitas, produk

yang lebih murah, gesekan minimum, pelumasan maksimal, dan pemakaian yang minimum. Hal ini akan berpengaruh pula pada bagian manufaktur dan bagian biaya produksi. Proses pemodelan dan optimasi adalah hal sangat penting dalam pembuatan sebuah produk. Proses manufaktur yang ditandai dengan banyaknya variabel proses yang berinteraksi secara dinamis (Aloufi dkk, 2011). Pemodelan kekasaran permukaan dirasa sulit karena dipengaruhi oleh berbagai variabel. Baru – baru ini banyak sistem pemodelan kekasaran permukaan, simulasi, optimasi dirancang menggunakan parameter pemotongan yang berbeda, Ilhan Aslturk dkk (2012) menyelidiki metode baru untuk menentukan tujuan kondisi pemotongan yang optimal dan model matematika untuk kekasaran permukaan ( $R_a$ ) pada CNC yang dipengaruhi oleh kecepatan pemotongan (*feeding*), kecepatan pergeseran (*stepover*), dan kedalaman pemakanan (*dept of cut*).

*Taguchi* adalah metode yang mencakup rencana eksperimen dengan tujuan memperoleh data dengan cara melakukan eksperimen yang terkontrol dan menganalisis data untuk mendapatkan informasi tentang perilaku dan proses yang diberikan (Mahapatra dkk, 2006 dan Montgomery, D.C., 2013). Paramjit, T., Rajesh, R. (2014) menggunakan metode *taguchi* untuk menentukan parameter optimal pada CNC End Milling pada AL 7075 aluminium alloy. Parameter yang dimaksud ada empat, yaitu *spindle speed*, *feedrate*, *depth of cut (doc)*, dan tipe cutter milling memberikan respon kekasaran permukaan optimal. Ramanujam dkk (2014) merevisi percobaan pada penelitian interaksi antara *material removal rate* dan *surface roughness* dengan parameter yang sesuai seperti *feedrate*, *depth of cut (doc)*, dan *spindle speed* pada mesin milling dengan menggunakan ANOVA. Noorani dkk (2009) memprediksi pengaruh parameter yaitu *spindle speed*, *dpeth of cut*, *feedrate* dan ukuran diameter *tool* pada kekasaran permukaan dari mesin milling dengan desain eksperimen. Jeng dkk (2012) menggunakan metode desain eksperimen untuk memprediksi *Expansion Ratio* dari material EVA foam dan menggunakan *Finite Element Simulation* untuk mengestimasi *Shoe Expansion Shape*. Yazdi, S dan Khorram, A. (2010) meneliti pemilihan parameter pemesinan yang optimal seperti *spindel speed*, *depth of cut (doc)*, dan *feedrate* untuk pengerjaan muka pada proses milling dalam meminimalan kekasaran permukaan dan memaksimalan *material removal rate*.

Pada riset yang telah dilakukan oleh Anggoro dkk (2017b) dengan judul “*Determining Optimal Toolpath Strategy In The Manufacture Of Orthotic Insole Shoe Made From EVA Foam Rubber For Diabetes Patients*” telah berbicara

mengenai *design of experiment* (DoE) optimasi manufaktur produk *insole* (ISO) dengan bahan dasar *EVA rubber foam*, namun hanya sebatas pada satu jenis *EVA rubber foam* dan pada *toolpath strategy raster 45°*, *raster 90°*, dan *step and shallow*.

Adanya masukan penting dari Bapak Anggoro Prakoso, M.M., selaku pemilik (*owner*) dan praktisi *orthotic insole* di PT. Sentra Rehabilitasi Jakarta tentang perlunya penggunaan material *EVA rubber foam import* jenis baru yang seringkali digunakan oleh laboratorium *orthotic* di luar negeri juga perlu ditindak lanjuti dalam penelitian ini untuk melihat sifat mekanis dalam bentuk kemampuan yang dapat dikerjakan di proses pemesinan (*machinability*) dari material tersebut apakah akan menghasilkan waktu yang lebih cepat dan *Ra* yang sama dengan *EVA rubber foam* yang pernah digunakan oleh peneliti sebelumnya.

Berdasarkan hasil telusuran penelitian terdahulu perlu adanya penelitian lanjutan tentang optimasi desain manufaktur *insole* dengan bahan *EVA rubber foam* yang diusulkan oleh pihak Laboratorium *Orthotic* untuk melihat dan menganalisis apakah nilai *Ra* yang dihasilkan masih berada pada kisaran yang diinginkan oleh laboratorium *orthotic* dan *prostetic* pada kisaran  $Ra \leq 9\mu\text{m}$ .

## **2.2. Penelitian Sekarang**

Penelitian saat ini bertujuan untuk mendapatkan kondisi parameter pemotongan yang optimal dan pengaruh signifikan antara parameter pemotongan dengan kualitas hasil *machining* pada material ini. Permasalahan yang dibahas adalah mengenai nilai kekasaran permukaan (*Ra*) pada material *EVA rubber foam* yang diusulkan oleh PT. Sentra Rehabilitasi Jakarta sebagai material baru yang akan dipakai pada proses manufaktur *insole*. Dua jenis *EVA rubber foam* ditetapkan sebagai material yang akan di proses manufaktur menjadi *insole*. Satu material merupakan material yang dimanufaktur pada penelitian ini, sedangkan material lainnya akan diambil data dari penelitian Anggoro dkk (2017b). Berdasarkan hasil pengukuran kekerasan yang pernah dilakukan oleh Arum (2017) dalam penelitian tugas akhirnya menjelaskan bahwa material yang diusulkan oleh PT. Sentra Rehabilitasi Jakarta memiliki nilai kekerasan berkisar 40 – 60 HRc, namun material ini tidak dapat dilakukan proses uji tarik untuk menentukan nilai *stress* dan *streghtnya*. Penelitian ini nantinya akan menganalisis dan membandingkan dari *Ra* dan *Machinability* dari kedua material tersebut.

Metode *taguchi* digunakan untuk mendapatkan *orthogonal array* pada pengaturan kondisi parameter *software CAM*, yaitu *PowerMill 2016*. *Software* ini digunakan untuk merealisasikan gambar 3D *insole* pada *PowerShape 2016* seperti yang pernah dilaporkan oleh Anggoro dkk (2016a) dengan *output* berupa *NC code* yang digunakan pada mesin *CNC*.

Penelitian ini dapat dilakukan karena adanya usulan dari pihak Laboratorium *Orthotic* setelah melihat hasil riset yang dilakukan oleh Anggoro dkk (2016b) dan Bawono dkk (2017) yang menyatakan bahwa material *EVA rubber foam* mampu diproses dengan sangat baik pada mesin *CNC* sebagai *raw material insole* dan hasilnya sesuai dengan geometri kaki pasien, namun dari sisi *machinability* dan waktu pengerjaan material *EVA rubber foam* pada riset sebelumnya masih kurang optimal. Hal ini terjadi karena material *EVA rubber foam* saat proses *machining* di *CNC* selalu menghasilkan bentuk *chip* (sisa material) yang *continue* (kontinyu) dan menempel pada *flute cutter milling* sehingga akan mempengaruhi waktu pengerjaan dan kualitas hasil *machining*. Kendala inilah yang menyebabkan perlunya penelitian lanjutan mengenai optimasi manufaktur *insole* dengan material *EVA rubber foam* sesuai usulan dari PT. Sentra Rehabilitasi Jakarta.

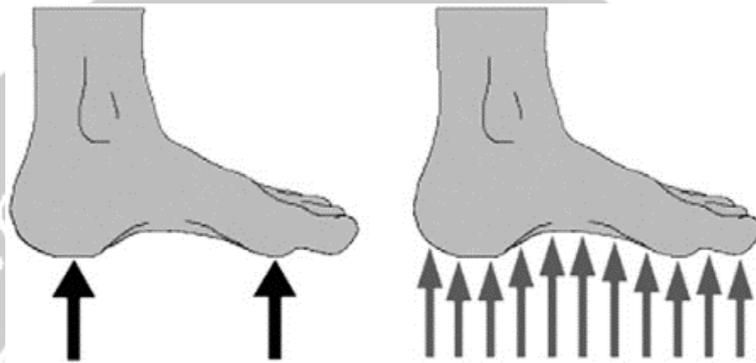
Untuk mendapatkan hasil optimasi manufaktur tersebut, ditetapkan *orthogonal array*  $L_{18} 6 \times 3^4$  sesuai dengan metode *Taguchi* yang ditetapkan dalam penelitian ini. Respon yang diambil untuk mendapatkan hubungan yang signifikan dari parameter pemotongan yang optimal adalah *roughness surface* dan ini sesuai dengan riset yang pernah dilakukan oleh beberapa peneliti : Pang dkk (2014), Sarikaya dkk (2014). Namun peneliti tersebut semuanya hanya menggunakan material non rubber kecuali Anggoro dkk (2016a), Anggoro dkk (2016b), Anggoro dkk (2016c), Anggoro dkk (2017b). Untuk melihat nilai parameter yang optimal digunakan metode *Taguchi*. Analisis *machinability* dilihat dan ditentukan berdasarkan waktu pengerjaan aktual dengan menggunakan alat ukur stopwatch.

### **2.3. Dasar Teori**

Untuk memperkuat analisis dan pembahasan dalam penelitian ini, diperlukan adanya teori yang diambil oleh peneliti dari beberapa sumber, seperti : buku, paper jurnal internasional, handbook.

### 2.3.1. Orthotic

*Foot orthotic* merupakan alat fungsional yang didesain untuk memperbaiki dan mengoptimalkan fungsi kaki (Ciobanu dkk, 2012). Menurut Redford JB (1995) *orthotic* berasal dari bahasa Yunani, kata mulanya adalah *ortho* yang memiliki arti lurus atau benar. Kata ini juga digunakan untuk menjelaskan sebuah alat untuk mempengaruhi karakteristik fungsional maupun struktural *neuromusculoskeletal*.



**Gambar 2.2. Distribusi tekan yang berbeda antara sepatu biasa (sebelah kiri) dengan sepatu *orthotic* (sebelah kanan)**

(sumber : Janisse dkk, 2006)

Terdapat tiga jenis *foot orthotic* yang dikemukakan oleh Ciobanu dkk (2012) yaitu sebagai berikut :

- Custom made orthotic* yang dibuat secara manual atau dengan bantuan teknologi CAD / CAM.
- Customizable orthotic* yaitu *insole* fleksibel yang dapat dipanaskan untuk menyesuaikan bentuknya.
- Prefabricated orthotic* yaitu *insole* yang sudah tersedia di rumah sakit atau internet seperti sepatu pada umumnya.

Menurut Janisse dkk (2006) *foot orthoses* dapat dibentuk dengan menggunakan tiga cara, sebagai berikut ini :

- Foam box*

Kaki pasien dicetak dalam sebuah kotak, yang kemudian cetakan tersebut digunakan untuk membentuk replika kaki pasien.



**Gambar 2.3. Foam Box**

(Sumber : Janisse dkk, 2006)

b. *Plaster cast*

*Paster cast* diaplikasikan ke kaki pasien dengan kaki tergantung sehingga menghasilkan sebuah “cangkang” yang dapat digunakan untuk membuat replika kaki pasien.

c. *CAD / CAM*

Kaki pasien didapat dari hasil proses *scanning* sehingga didapatkan sebuah model digital. Informasi yang didapat kemudian digunakan untuk proses permesinan sepatu. Cara ini merupakan cara yang paling cepat, kurang dari seminggu.

**2.3.2. Computer Aided Design (CAD)**

*Computer Aided Design* (CAD) atau desain gambar berbasis komputer yang merupakan proses pembuatan, optimalisasi, dan desain secara teknik menggunakan komputer sebagai alat bantu. *CAD* merupakan satu bentuk otomatisasi gambar yang membantu perancang dalam perancangan, pembuatan, dan perbaikan gambar secara komputerisasi dengan menggunakan sebuah *software*. Dengan adanya *CAD*, maka akan sangat membantu dalam pembuatan desain produk. Selain kesalahan yang dibuat dapat diminimalkan, waktu dalam pembuatan desain akan menjadi lebih cepat dibandingkan dengan cara manual.

**2.3.3. Computer Aided Manufacturing (CAM)**

*Computer Aided Manufacturing* (CAM) adalah sebuah program yang digunakan untuk mengontrol mesin dalam melakukan pekerjaan secara otomatis. Tujuan

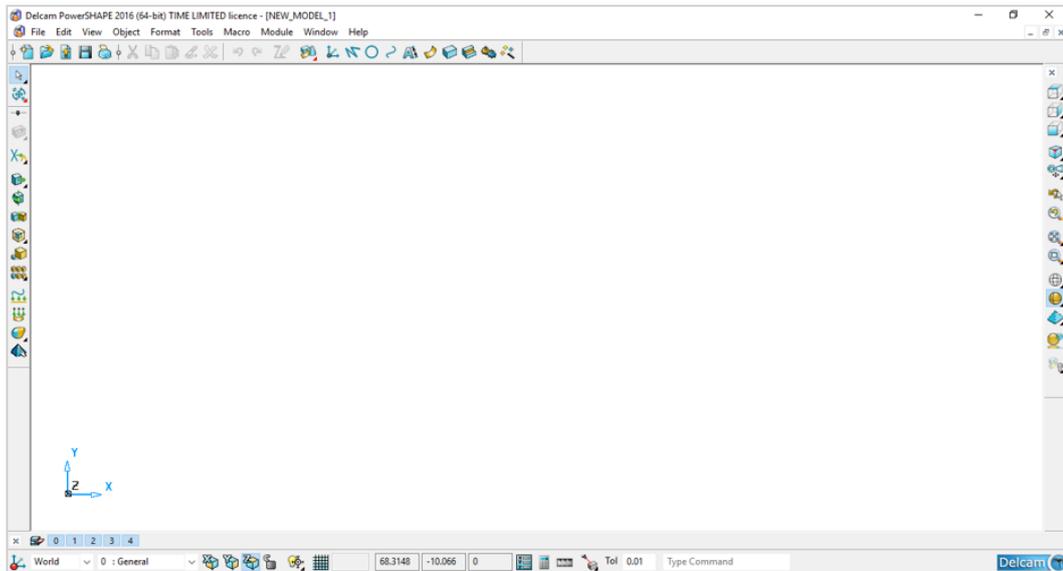
digunakannya CAM yaitu untuk menciptakan proses produksi yang cepat secara otomatis dengan basis mesin terotomasi, serta untuk mendapatkan tingkat ukuran yang lebih presisi. Dalam penelitian yang dilakukan, CAM yang ada menggunakan software *PowerMill 2016* yang telah mengalami penyempurnaan pada strategi untuk pengerjaan *roughing* maupun untuk pengerjaan *finishing*. *Output* dari *PowerMill 2016* ini berupa NC program yang nantinya digunakan pada mesin CNC. *PowerMill 2016* merupakan software keluaran dari *Delcam*. *Delcam* adalah salah satu perusahaan penyedia software CAD dan CAM yang berpusat di Inggris dan merupakan perusahaan yang cukup terkemuka di dunia.

#### **2.3.4. PowerShape 2016**

*PowerShape* adalah sebuah software gambar yang dikeluarkan oleh *DEL CAM*. Software CAD ini memungkinkan pengguna untuk melakukan desain gambar 3D dalam bentuk *wireframe*, *surface*, maupun *solid*.



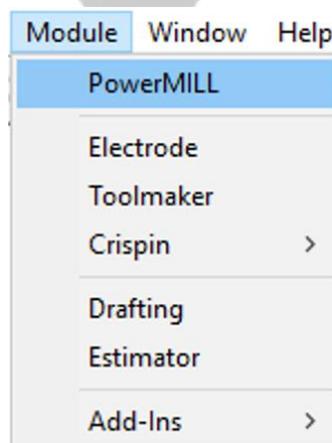
**Gambar 2.4. Software PowerShape 2016**



**Gambar 2.5. User Interface Software PowerShape 2016**

*PowerShape 2016* adalah sebuah paket *software* pemodelan, meliputi modul *basic functionality* dan *several specialized*; *PS – Drafts* (untuk membuat gambar secara detail), *PS – Mold* (untuk membuat *mold tool*), *PS – Electrode* (a wizard for generating electrode from a solid model), *PS – Assembly* (untuk memodelkan proses perakitan dari gambar kerja *solid*) dan *PS – Render* (untuk menampilkan gambar dengan kualitas visual yang baik).

*Software* ini hanya digunakan peneliti untuk mengekspor file dari *3D CAD* ke *software CAM PowerMill 2016* dengan menggunakan menu *Module – PowerMill*. *PowerShape 2016* dan *PowerMill 2016* merupakan *software CAD* dan *CAM* yang saling berhubungan. Dengan menggunakan *Module*, file gambar yang siap dibuat program permesinannya akan terbuka dalam *PowerMill 2016*.



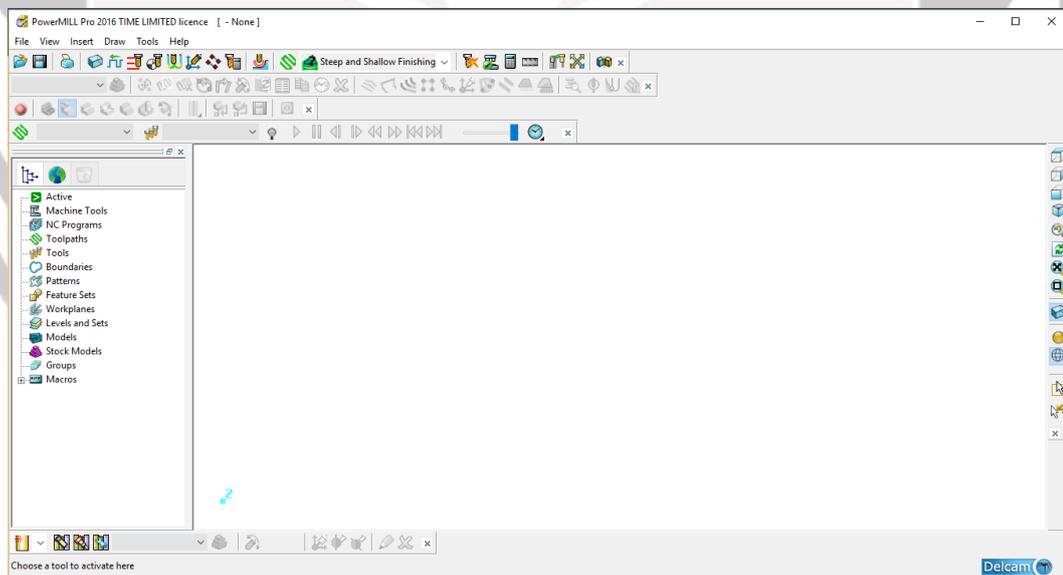
**Gambar 2.6. Menu Module Pada PowerShape 2016**

### 2.3.5. PowerMill 2016

PowerMill merupakan salah satu *software CAM* yang dikeluarkan oleh *DEL CAM*. PowerMill digunakan untuk membuat program yang didasarkan pada hasil gambar yang dikerjakan oleh *software CAD*. Dari *software CAD*, hasil gambar akan dikonversi dengan format gambar yang dapat dibaca di *software PowerMill*. PowerMill yang digunakan pada proses pemesinan adalah PowerMill 2016 .



Gambar 2.7. Software PowerMill 2016

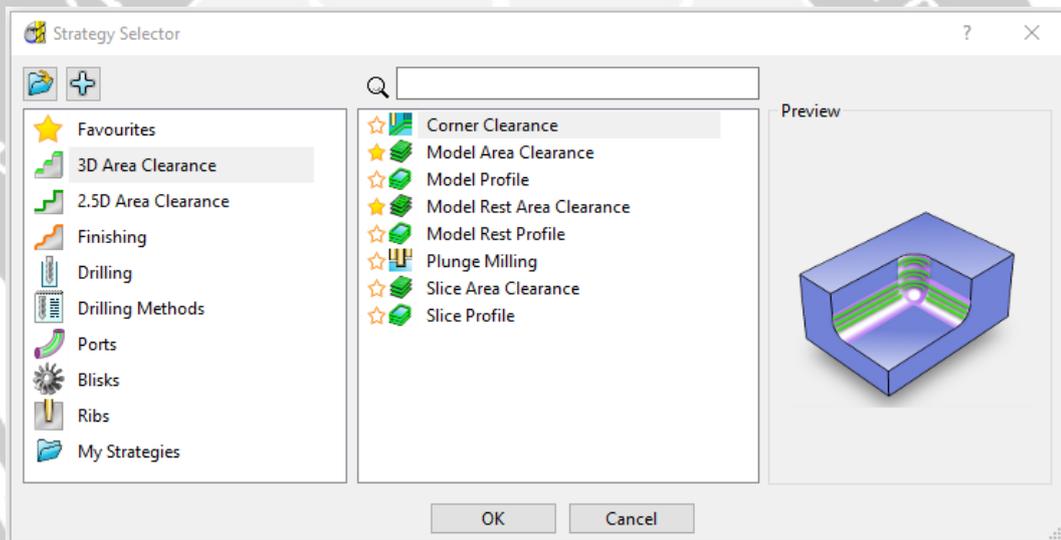


Gambar 2.8. User Interface PowerMill 2016

Hasil yang dicapai dari pembuatan program dengan menggunakan *software* ini berupa *NC Code* yang digunakan pada proses pemesinan dengan menggunakan mesin *CNC*. Mesin *CNC* yang dapat menggunakan hasil *NC – Code* dari *PowerMill 2016* memiliki 3 – 5 sumbu mesin untuk menghasilkan produk. *PowerMil* juga

digunakan untuk meminimalkan waktu pengerjaan permesinan karena didalamnya terdapat berbagai macam strategi permesinan yang dapat dipilih sesuai dengan kebutuhan. Pada umumnya strategi yang ada pada *PowerMill 2016* terdapat dua bagian pokok, yaitu strategi untuk pengerjaan *roughing* dan strategi untuk pengerjaan *finishing*. Tetapi ada pula strategi untuk pengerjaan bentuk – bentuk khusus.

Terdapat berbagai macam strategi *roughing* yang ada dalam *PowerMill 2016*, diantaranya ada : *Model Area Clearance*, *Model Rest Area Clearance*, *Model Profil*, *Model Rest Profil*, *Slice Area Clearance*, *Slice Profil*, *Corner Clearance*, dan *Plunge Milling*. Semua strategi tersebut merupakan strategi awal / pengerjaan kasar yang harus dilakukan ketika material yang dikerjakan masih berupa *raw material* / belum berbentuk.

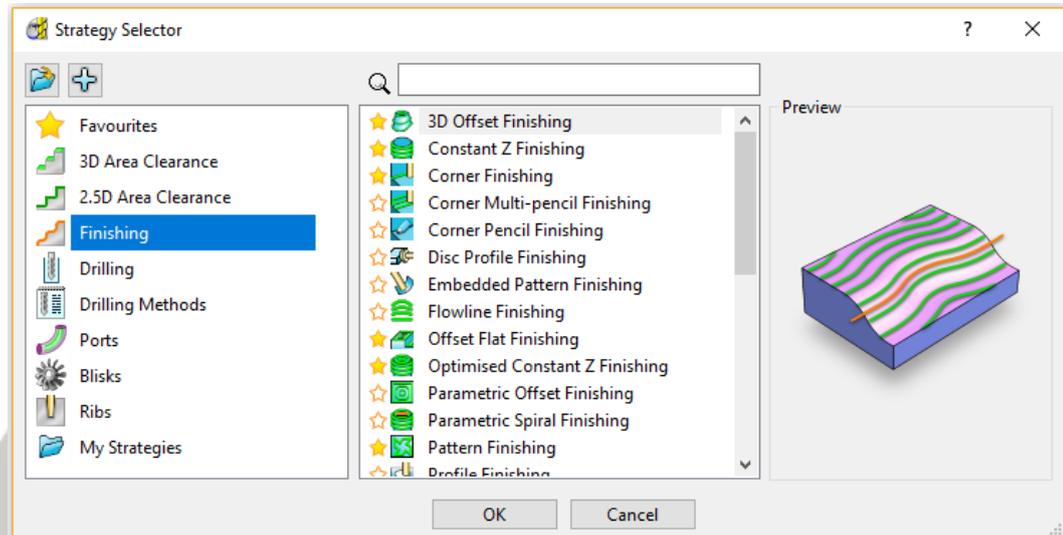


**Gambar 2.9. Strategi *Roughing 3D Area Clearance* Pada *PowerMill 2016***

Penelitian yang dilakukan saat ini, *Model Area Clearance* merupakan strategi yang digunakan dalam permesinan pada pengerjaan *roughing*. Strategi ini dipakai karena material awal yang digunakan pada permesinan berupa material utuh yang hanya diketahui panjang, lebar dan tebalnya. Setelah dilakukan proses pengerjaan *roughing* maka dapat dilakukan proses pengerjaan *finishing*.

Pengerjaan *finishing* merupakan proses pengerjaan untuk mendapatkan hasil permesinan sesuai dengan model yang diinginkan. Proses ini merupakan proses akhir dari permesinan yang dilakukan. Strategi *finishing* pada *PowerMill 2016* ada berbagai macam, namun pada kenyataannya *strategi* yang sering digunakan yaitu *3D Offset Finishing*, *Constant Z Finishing*, *Corner Finishing*, *Offset Flat Finishing*,

*Optimized Constant Z Finishing, Raster Finishing, dan Steep and Shallow Finishing* (Cayani, *advanced CAD/CAM Engineer* dari CV. TA Machinery dan mantan Kepala CAD/CAM dan CNC Politeknik ATMI Surakarta).



**Gambar 2.10. Strategi *Finishing* Pada *PowerMill 2016***

Penelitian ini menggunakan *Raster Finishing* sebagai strategi permesinan pada pengerjaan *finishing*. Namun strategi ini dapat ditentukan lagi berdasarkan pada sudut kemiringan rute / *toolpath cutter* yang diinginkan peneliti. Berdasarkan pada penelitian yang dilakukan oleh Anggoro dkk (2016a), Anggoro dkk (2017b) yang membahas strategi permesinan pada *EVA rubber*, strategi *raster finishing* merupakan strategi yang mendapatkan hasil terbaik. Hasil yang didapatkan pada pembuatan strategi yang dilakukan pada *PowerMill 2016* berupa *NC – Code*.

### **2.3.6. Computer Numerical Control (CNC)**

Mesin *Computer Numerical Control* (CNC) dikembangkan oleh John Pearson dari Institut Teknologi Massachusetts, atas nama Angkatan Udara Amerika Serikat. Dengan prinsip kerja menggunakan *microprocessor* yang digunakan untuk membaca program dan sebagai unit pengontrol yang diintruksikan dengan tindak lanjut sebuah gerakan mekanikal pada peralatan mesin. Untuk mengoperasikan mesin – mesin *CNC* diperlukan *software*. *Software* digunakan untuk *operating system* menginterpretasikan program korespondensi antara kontrol mesin. *Machine interface* mengoperasikan *link* antara *NC* dan membangkitkan sinyal dengan *drive* dari *software* digunakan untuk komputer dan mesin *CNC* sehingga mesin dapat beroperasi. Penggunaan komputer sebagai alat yang terhubung dalam pengoprasian mesin *CNC* yang bisa juga membuat operator bisa

melakukan modifikasi program dengan menggunakan komputer dan software yang tersedia.

a. Mesin *CNC Roland Modela MDX – 40R*

Hasil pembuatan *NC – Code* yang dilakukan pada software *PowerMill 2016* akan dipakai pada proses permesinan menggunakan mesin *CNC*. Mesin *CNC* yang digunakan pada penelitian ini yaitu mesin *CNC Roland Modela MDX – 40R*. Mesin ini merupakan mesin *Benchtop CNC Milling* yang memiliki 3 axis (sumbu) yaitu X, Y dan Z. Mesin ini dirancang untuk diletakkan diatas meja atau bidang datar lainnya, yang dapat dipindahkan sesuai dengan kondisi pengguna.



**Gambar 2.11. Mesin *CNC Roland Modela MDX – 40R***

**Tabel 2.1. Spesifikasi Mesin CNC Roland Modela MDX – 40R**

<b>Acceptable materials</b>	Resins such as chemical wood and modeling wax (metal not supported)	
<b>X, Y, and Z strokes</b>	12 (X) x 12 (Y) x 4-1/8 (Z) in. (305 (X) x 305 (Y) x 105 (Z) mm)	
<b>Distance from spindle tip to table</b>	Maximum 123 mm (4-13/16 in.)	
<b>Table size</b>	12 (W) x 12 (D) in. (305 (W) x 305 (D) mm)	
<b>Loadable workpiece weight</b>	8.8 lb (4 kg)	
<b>XYZ-axis motor</b>	Stepping motor	
<b>Feed rate</b>	XY-axis: 0.0039 to 1.9 in./s (0.1 to 50 mm/sec.), Z-axis: 0.0039 to 1.1 in./s (0.1 to 30 mm/sec.)	
<b>Software resolution</b>	NC-code: 0.000039 in./step (0.001mm/step), RML-1: 0.00039 in./step (0.01 mm/step)(RML-1)	
<b>Mechanical resolution</b>	0.00008 in./step (0.002 mm/step)(Micro-step)	
<b>Spindle motor</b>	Brushless DC motor, Maximum 100 W	
<b>Spindle rotation</b>	4500 to 15000 rpm	
<b>Tool chuck</b>	Collet	
<b>Interface</b>	USB (compliant with Universal Serial Bus Specification Revision 1.1)	
<b>Power supply</b>	<b>Voltage and frequency</b>	AC100 to 240 +/-10%, 50/60 Hz
	<b>Required power capacity</b>	2,1A
<b>Power consumption</b>	Approx. 210W	
<b>Acoustic noise level</b>	No-load operation: 56 dB (A) or less, Standby: 42 dB (A) or less	
<b>Dimensions</b>	26-3/8 (W) x 29-15/16 (D) x 21-13/16 (H) in. 669 (W) x 760 (D) x 554 (H) mm	
<b>Weight</b>	143.3 lb (65 kg)	

Lanjutan Tabel 2.1. Spesifikasi Mesin *CNC Roland Modela MDX – 40R*

<b>Operation temperature</b>	41 to 104°F (5 to 40°C)
<b>Operation humidity</b>	35 to 80% (no condensation)
<b>Included items</b>	Power cord, power plug adapter, USB cable, collet, Z0 sensor, hexagonal wrench, hexagonal screw drivers, spanners, Roland
<b>OS</b>	Windows Vista®(32bit edition) or Windows® XP (32bit edition) and Internet Explorer 6.0 or later
<b>CPU</b>	Pentium® 4, 2.4GHz or faster recommended
<b>RAM</b>	1GB or more recommended
<b>Free hard-disk space</b>	20MB or more recommended
<b>Video card and monitor</b>	A resolution of 1024 x 768 or more recommended, video card compatible with OpenGL recommended, and at least 16-bit
<b>Maximum angle of rotation</b>	+/-18 x 105° (+/-5000 rotations)
<b>Maximum loadable workpiece size*</b>	4.7 in.(120 mm) diameter by 10.6 in. (270 mm) long
<b>Maximum thickness holdable by workpiece clamp</b>	0.4 to 1.8 in. (10 to 45 mm)
<b>Loadable workpiece weight</b>	2.2 lb (1kg ) (including clamps)
<b>Feed rate</b>	0.23-11.79 rpm
<b>Mechanical resolution</b>	0.005625 deg./step (Micro-step)
<b>Dimensions</b>	18.5 (W) x 11.3 (D) x 4.5 (H) in. (470 (W) x 286 (D) x 115 (H) mm)
<b>Weight</b>	16.5 lb (7.5 kg)
<b>Included items</b>	Y-origin sensors (large and small), Z-origin sensor, Y-origin detection pin, center drill, live center, hexagonal wrench, cap
<b>Maximum scanning area</b>	12.0 (X) x 12.0 (Y) x 2.3 (Z) in. (305 (X) x 305 (Y) x 60 (Z) mm)
<b>Distance from probe tip to table</b>	Maximum 3.6 in. (92.4 mm)

Lanjutan Tabel 2.1. Spesifikasi Mesin *CNC Roland Modela MDX – 40R*

<b>Table load capacity</b>		Maximum 8.8 lb (4 kg)
<b>Sensor</b>	<b>Type</b>	Roland Active Piezo Sensor (RAPS)
	<b>Effective Probe Length</b>	2-5/16 in. (60 mm)
	<b>Tip Bulb Radius</b>	0.00315 in. (0.08 mm)
<b>Minimum scan pitch</b>		.002 in (.051 mm)
<b>Scanning method</b>		Contacting, mesh-point height-sensing
<b>Operating speed</b>	<b>XY-axis</b>	0.6 to 1.1 in./s (15 to 30 mm/sec.)
	<b>Z-axis</b>	0.04 to 1.1 in./s (1 to 30 mm/sec.)
<b>Item</b>	<b>Model</b>	<b>Description</b>
Rotary axis unit	ZCL-40A	See the above specifications
3D Scanning sensor unit	ZSC-1	See the above specifications
Replacement spindle unit	ZS-40	1GB or more recommended
Dust box	ZDX-40	26.33(W) x 30.27(D) x 3.8(H) in.
		(666 (W) x 769 (D) x 97 (H) mm)

(sumber : <https://www.rolanddga.com/products/3d/mdx-40a-benchttop-cnc-mill/specifications>)

Mesin ini sangat direkomendasikan digunakan untuk mengerjakan material berbahan besi. Putaran mesin yang dihasilkan yaitu 15000 rpm sehingga cocok untuk mengerjakan benda berbahan karet, seperti material yang dikerjakan pada penelitian ini yang berupa *EVA rubber*.

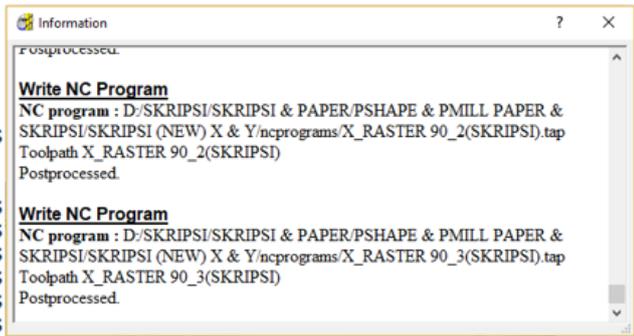
b. *NC – Code CNC Rolland Modela MDX – 40R*

*Numerical Control (NC)* adalah suatu bentuk dari sistem terotomasi yang menggunakan variabel *input* untuk mengontrol jalannya peralatan produksi. Variabel *input* ini berupa serangkaian kode yang berisi angka, huruf dengan simbol yang mendefinisikan sebuah program instruksi untuk menjalankan suatu pekerjaan.

```

;;^IN;;
!MC1;;
!RC15000;;
V50.0;;
^PR;Z0,0,4250;;
^PA;;
Z 5035,-12816,1000;
Z 5035,-12816,200;
V 16;
Z 5035,-12816,-375;
Z 5036,-12800,-375;
Z 5026,-12697,-375;
Z 4988,-12601,-375;
Z 4988,-12600,-375;
Z 4978,-12551,-375;
Z 5004,-12501,-375;
Z 5051,-12481,-375;
Z 5268,-12465,-375;
Z 5443,-12438,-375;
Z 5703,-12377,-375;
Z 6029,-12276,-375;
Z 6463,-12104,-375;
Z 6789,-11949,-375;
Z 7006,-11828,-375;
Z 7224,-11674,-375;
Z 7465,-11460,-375;
Z 7766,-11134,-375;
Z 7984,-10866,-375;
Z 8255,-10482,-375;
Z 8288,-10427,-375;
Z 8359,-10360,-375;
Z 6741,-12306,-375;
Z 6808,-12335,-375;
Z 6849,-12390,-375;
Z 6863,-12409,-375;
Z 6886,-12416,-375;
Z 7473,-12416,-375;
Z 7541,-12399,-375;
Z 7594,-12347,-375;
Z 7615,-12281,-375;
Z 7635,-12214,-375;
Z 7689,-12163,-375;
Z 7756,-12146,-375;
Z 7823,-12163,-375;
Z 7877,-12214,-375;
Z 7897,-12281,-375;
Z 7971,-12399,-375;
Z 8039,-12416,-375;
Z 10558,-12416,-375;
Z 10634,-12384,-375;
Z 10666,-12308,-375;
Z 10666,-7157,-375;
Z 10677,-7101,-375;
Z 10724,-7040,-375;
Z 10813,-7010,-375;
Z 10901,-7040,-375;
Z 10948,-7101,-375;
Z 10960,-7157,-375;
Z 10948,-7236,-375;
Z 10903,-7327,-375;
Z 10810,-7406,-375;
Z 10787,-3297,-375;
Z 10724,-3225,-375;
Z 10647,-3201,-375;
Z 10568,-3217,-375;
Z 10499,-3283,-375;
Z 10479,-3376,-375;
Z 10506,-3452,-375;
Z 10566,-3585,-375;
Z 10576,-3731,-375;
Z 10570,-3797,-375;
Z 10558,-3899,-375;
Z 10405,-5012,-375;
Z 10212,-6119,-375;
Z 10192,-6222,-375;
Z 9984,-7159,-375;
Z 8954,-11495,-375;
Z 8907,-11557,-375;
Z 8896,-11594,-375;
Z 8916,-11634,-375;
Z 8952,-11647,-375;
Z 9789,-11647,-375;
Z 9865,-11615,-375;
Z 9897,-11539,-375;
Z 9897,-10033,-375;
Z 9884,-10004,-375;
Z 9845,-9995,-375;
Z 9821,-10017,-375;
Z 9795,-10074,-375;
Z 9750,-10169,-375;
Z 9686,-10301,-375;
Z 9484,-10684,-375;
Z 9261,-11053,-375;
Z 9240,-11118,-375;
Z 9255,-11190,-375;
Z 9301,-11240,-375;
Z 9366,-11261,-375;
Z 9438,-11246,-375;
Z 9488,-11200,-375;
Z 9499,-11144,-375;
Z 9461,-11088,-375;
Z 9405,-11079,-375;
Z 9330,-11081,-375;
Z 9261,-11053,-375;
Z 8938,-10845,-375;
Z 8611,-10635,-375;
Z 8513,-10596,-375;

```



**Gambar 2.12. NC – Code pada mesin CNC Roland Modela MDX – 40R**

Program instruksi akan berubah sesuai perubahan yang terjadi pada pekerjaan. Komponen utama dari sistem *Numerical Control* adalah program instruksi, *machine control unit* dan peralatan produksi. Program instruksi yang berupa kode – kode merupakan detail tiap langkah perintah yang ditujukan untuk menjalankan mesin. *Machine control unit* (MCU) terbagi menjadi dua elemen, yaitu *data – processing unit* (DPU) dan *control loops unit* (CLU). DPU memproses kode – kode program instruksi dan memberikan informasi operasi ke CLU. CLU mengoperasikan mekanisme gerakan mesin, menerima sinyal *feedback* dari posisi aktual dan memberitahukan ketika sebuah operasi telah selesai dikerjakan.

### 2.3.7. Metode Taguchi

Metode Taguchi merupakan salah satu prinsip *DOE* (*Design Of Experiment*) yang ditemukan oleh seorang *engineer* Jepang, Genichi Taguchi. Taguchi mengamsumsikan dari ilmu pengetahuan teknik industri dan menggunakannya untuk mengurangi jumlah eksperimen, dengan meningkatkan kecepatan proses eksperimen. Metode Taguchi digunakan untuk mengidentifikasi faktor – faktor yang dianggap paling berpengaruh dalam proses dan untuk mendapatkan respon data yang bervariasi dengan jumlah eksperimen yang lebih sedikit dibanding dengan jumlah eksperimen dengan menggunakan metode *full factorial*. dalam

*quality control*, Taguchi memperkenalkan konsep *loss fuction*, yang mengkombinasikan antara *cost*, target, dan variasi repon data dalam satu bentuk matriks. Menurut Taguchi, aktivitas *quality control* terbagi menjadi dua, yaitu (Belavendram, 1995) :

1. *Off-line Quality Control*

*Off-line Quality Control* merupakan pengendalian kualitas dalam proses dan pendesainan produk sebelum dikenai proses produksi. *Off-line Quality Control* ini merupakan salah satu cara mengurangi produk cacat. Aktifitas *Off-line Quality Control* ini sangat dapat mengoptimalkan desain dan proses produksi.

2. *On-line Quality Control*

*On-line Quality Control* merupakan pengendalian kualitas pada saat proses produksi. Pada *On-line Quality Control* biasanya digunakan *statistical process control* (SPC) dimana akan dilakukan perbaikan apabila terdapat produk cacat setelah selesai produksi.

**2.3.8. Orthogonal Array**

*Orthogonal design array* merupakan suatu matriks, terdiri dari elemen – elemen yang berupa baris dan kolom. Kolom dalam matriks tersebut merupakan faktor yang dapat diubah dalam suatu eksperimen. *Orthogonal array* merupakan suatu matriks yang seimbang antara faktor dan level yang tersusun sedemikian rupa sehingga pengaruh antara faktor dan level yang ada memiliki keterkaitan dan tidak berbaur. *Orthogonal array* digunakan untuk mengukur efek dari suatu faktor pada hasil rata - ratanya dan juga untuk menentukan variasi dari rata – rata tersebut. Fungsi utama dari *orthogonal array* adalah hubungan antara faktor dalam penelitian.