

## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

#### 2.1. Tinjauan Pustaka

Sub ini akan membahas tentang penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya dan sudah dipublikasi kemudian dibandingkan dengan penelitian yang akan dilakukan. Hal ini dilakukan untuk menemukan celah dan permasalahan dari penelitian yang sudah ada serta hasil penelitian terdahulu dijadikan sebagai dasar teori di penelitian yang akan dilaksanakan.

##### 2.1.1. Penelitian Terdahulu

Dalam melakukan proses permesinan dasar, Altinta (1994) menyatakan bahwa operasi *milling* merupakan salah satu cara yang digunakan oleh industri manufaktur terutama pada proses pembuatan part pesawat terbang dan cetakan / *mold*. Menurut Lee dan Lin (2000), seringnya penggunaan operasi *milling* CNC saat ini dikarenakan operasi *milling* CNC dapat memproses material sehingga mendapatkan bentuk dan dimensi ukuran dari benda kerja yang dengan cara mengelupas material yang akan di proses. Pada umumnya, penggunaan operasi *milling* CNC dilakukan untuk memproses material logam.

Namun penelitian yang muncul baru-baru ini menunjukkan bahwa operasi *milling* CNC dapat digunakan untuk memproses material selain logam agar mendapatkan bentuk dan dimensi ukuran yang diinginkan sesuai dengan desain produk yang akan dicapai seperti *rubber* (Anggoro, 2016) untuk membuat *insole shoe orthotic*, *glass-fibre-reinforced plastic* (GFRP) yang dilakukan dalam penelitian Sait (2009) dalam membuat pipa, dan penggunaan material *Ultra High Molecular Weight Polyethylene* (UHMWPE) untuk pembuatan *acetabular cup* yang dilakukan dalam penelitian Lestari (2018).

Salah satu acuan pengukuran pada proses permesinan bahwa kualitas produk yang dihasilkan tersebut baik atau buruk dapat dilihat dari nilai *surface roughness* (kekasaran permukaan) produk tersebut atau yang disimbolkan dengan  $R_a$  (Wang dan Chang, 2003). Nilai *surface roughness* produk atau  $R_a$  dapat dipengaruhi oleh banyak hal seperti *cutting speed*, *feed rate*, *step over ratio*, dan lain-lain (Topal, 2009). Semakin kecil nilai kekasaran permukaan produk tersebut, maka kualitas produk yang dihasilkan semakin baik. Nilai kekasaran permukaan produk yang rendah bisa didapatkan dari kondisi parameter yang sesuai dan optimum.

Namun dalam melakukan proses manufaktur, tidak hanya kualitas dari produk yang perlu diperhatikan namun juga waktu produksi dan biaya yang dikeluarkan. Semakin lama waktu yang dibutuhkan untuk memproduksi suatu produk, maka biaya yang dikeluarkan untuk membuat produk tersebut akan semakin besar pula. Dapat dilihat dari penelitian Lestari (2018) mengenai pemilihan strategi *toolpath* untuk melakukan proses permesinan *acetabular cup*, penggunaan satu strategi *toolpath* dengan beberapa parameter permesinan lainnya memang menghasilkan kualitas produk yang baik, namun jangka waktu proses permesinannya memakan waktu yang cukup lama dibandingkan beberapa strategi *toolpath* pembandingan lainnya. Jika proses permesinan ini diterapkan dalam proses produksi industri manufaktur saat ini, hal tersebut akan merugikan pihak perusahaan secara tidak langsung karena biaya dan waktu produksi yang dikeluarkan terlalu besar. Maka dari itu, diperlukan desain dan optimasi dari desain parameter permesinan agar mendapatkan kualitas produk dan waktu produksi yang optimal.

Agar mendapatkan *output* berupa kondisi parameter pemotongan yang diinginkan dengan tepat sasaran, penggunaan metode desain eksperimental Taguchi menurut Zhang dkk (2007) dinilai lebih efektif dan efisien dibandingkan menggunakan cara "*trial and error*" untuk mendapatkan parameter permesinan yang sesuai. Penggunaan metode tersebut akan mempersingkat waktu percobaan eksperimen yang dilakukan namun respon yang dihasilkan mencapai kondisi optimal.

Beberapa penelitian antara lain yang dilakukan Ghani (2004) membuktikan bahwa metode Taguchi dapat digunakan untuk menganalisis penggunaan parameter pemotongan pada proses permesinan material logam. Pang dkk (2013) menyatakan bahwa metode Taguchi dapat digunakan untuk mendapatkan parameter pemotongan yang optimal dari berbagai variasi kombinasi parameter pemotongan pada operasi *end-milling*. Selain itu, Bawono dkk (2017) membuktikan bahwa metode Taguchi dapat digunakan untuk mendapatkan parameter permesinan yang tepat untuk menghasilkan produk yang optimal dalam melakukan proses permesinan menggunakan material EVA *foam*.

Metode lain yang dapat digunakan untuk melakukan optimasi selain metode Taguchi adalah *Response Surface Methodology* (RSM). Penelitian yang dilakukan oleh Öktem dkk (2005) membuktikan bahwa kombinasi antara metode RSM dan *Genetic Algorithm* (GA) dapat menghasilkan nilai  $R_a$  yang optimal parameter

permesinan didapat. Metode RSM dinilai lebih baik dibandingkan metode “*trial and error*” karena metode tersebut sering digunakan dalam dunia industri untuk menganalisis suatu respon yang dipengaruhi oleh variabel independen untuk mengoptimalkan respon sehingga mencapai karakteristik kualitas yang diinginkan (Montgomery, 2016)

Melihat dari penelitian ini, beberapa metode RSM dapat dikombinasikan dengan metode Taguchi. Dalam penelitian Palanikumar (2006) metode Taguchi dan RSM dipakai untuk menentukan kondisi parameter pemotongan yang optimal dalam proses pemesinan material *glass-fiber reinforced*. Yadaf (2016) juga membuktikan bahwa kombinasi dari kedua metode ini lebih baik dibandingkan penggunaan satu metode saja untuk menentukan parameter pemesinan yang optimal pada proses pemesinan material *alloy steel* AISI 1040.

Berdasarkan penelitian sebelumnya, metode Taguchi dan RSM akan digunakan untuk mendapatkan kondisi parameter pemotongan beserta strategi *toolpath* yang akan digunakan sehingga menghasilkan strategi pemesinan yang optimal pada pengolahan material UHMWPE untuk dijadikan sebagai *acetabular cup* di mesin *milling* CNC.

### **2.1.2. Penelitian Sekarang**

Melihat dari penelitian yang sudah ada, penggunaan operasi *milling* CNC jarang dilakukan untuk memproses material berupa *polyethylene* (PE). Penelitian yang ada sejauh ini hanya melakukan optimasi pemesinan menggunakan material logam sebagai bahan yang diproses. Penelitian mengenai desain dan optimasi pemilihan strategi pemesinan dengan material PE diharapkan dapat membantu berbagai industri manufaktur dalam menghasilkan berbagai macam produk berbahan PE untuk mendapatkan hasil yang presisi dengan waktu yang cepat dan harga yang murah, mengingat industri manufaktur saat ini banyak menghasilkan komponen berbahan PE sebagai komponen pengganti dengan harga yang terjangkau. Salah satu contoh komponen atau produk pengganti yang menggunakan material PE adalah produk *acetabular cup* dengan jenis material *Ultra High Molecular Weight Polyethylene* (UHMWPE).

Proses *machining acetabular cup* berbahan UHMWPE menggunakan operasi *milling* CNC dilakukan oleh Lestari (2018) untuk mendapatkan strategi *toolpath* dan parameter pemesinan yang sesuai agar nilai *surface roughness* ( $R_a$ ) bisa mencapai standar yang ditetapkan oleh ASTM. *American Society for Testing &*

*Material* (ASTM) merupakan sebuah organisasi internasional yang mengembangkan dan mempublikasikan standardisasi teknis mengenai material, sistem, produk maupun jasa dalam penggunaannya di masyarakat luas. Standar mengenai *acetabular cup* diatur pada ASTM F2033, dikatakan bahwa nilai *surface roughness* ( $R_a$ ) maksimal pada produk *acetabular cup* berbasis polimer adalah  $2.00 \mu\text{m}$  (Widder, 2012).

Proses permesinan menggunakan mesin CNC *milling* ini diharapkan dapat menurunkan biaya dan waktu yang dibutuhkan dalam menjalankan permesinan. Hasil yang didapat dari penelitian ini adalah penggunaan satu jenis *toolpath* dengan total lama waktu permesinan sekitar  $\pm 8$  jam. Penggunaan satu jenis *toolpath* untuk melakukan proses permesinan menggunakan operasi *milling* CNC dianggap kurang maksimal dan masih memakan waktu yang cukup lama. Maka dari itu, dibutuhkan beberapa kombinasi berbagai strategi *toolpath* dan parameter permesinan untuk mendapatkan waktu permesinan *acetabular cup* yang optimal dan mencapai nilai *surface roughness* ( $R_a$ ) yang sesuai standar ASTM.

Agar mendapatkan respon waktu permesinan yang optimal dan nilai  $R_a$  sesuai standar, maka dilakukan analisis manufaktur menggunakan metode Taguchi dan RSM sebagai pendekatan dalam menjalankan penelitian ini. Metode Taguchi digunakan untuk menentukan desain eksperimen yang akan dilakukan mengolah data untuk mendapatkan parameter permesinan yang menghasilkan nilai respon optimal sedangkan RSM digunakan untuk mengolah data respon berupa waktu pengerjaan ( $T_m$ ) dan nilai *surface roughness* ( $R_a$ ) sehingga didapatkan model matematis untuk menentukan nilai optimal respon. Parameter yang digunakan dalam penelitian ini adalah strategi *toolpath* dan parameter permesinan serta respon yang digunakan adalah lama waktu permesinan dan  $R_a$  (tingkat kekasaran permukaan produk). Parameter yang dipilih berdasarkan dari penelitian terdahulu mengenai penggunaan strategi *toolpath* yang dipakai beserta parameter pemotongan pada mesin *milling* CNC.

## **2.2. Dasar Teori**

Berikut adalah dasar teori yang digunakan dalam melakukan penelitian ini. Dasar teori ini digunakan sebagai acuan dalam menjalankan penelitian yang dilakukan.

### **2.2.1. Design of Experiment (DOE)**

Desain eksperimental merupakan teknik statistik yang diperkenalkan oleh R. A. Fisher pada awal tahun 1920 untuk menentukan kondisi optimal dari sebuah percobaan. DOE dapat memetakan seluruh kombinasi percobaan dari tiap faktor, kemudian dianalisis percobaan mana yang paling memberikan nilai signifikan pada respon yang telah ditentukan. Metode ini disebut juga "*full factorial method*" yang melakukan keseluruhan percobaan (*trial and error*) untuk menemukan percobaan yang memiliki kombinasi faktor paling berpengaruh untuk menghasilkan nilai respon yang optimal.

Namun penerapan *full factorial method* tidak terlalu sesuai di lingkungan industri dalam menemukan solusi permasalahan mencari faktor yang menghasilkan respon optimal. Hal ini dikarenakan banyaknya biaya yang dibutuhkan dan waktu penerapannya yang cukup lama jika dilakukan keseluruhan percobaan yang terpeta pada *full factorial method*. Penggunaan *trial and error* memiliki cakupan yang sangat luas dan kombinasi perlakuan faktor yang menghasilkan respon optimal tidak terkonsentrasi pada satu area perlakuan. Jika percobaan *trial and error* tidak tepat pada area percobaan yang menghasilkan nilai optimal, maka hal ini akan menimbulkan kerugian bagi pihak industri. Maka dari itu diperlukan metode lain yang dapat digunakan oleh industri dalam menyelesaikan permasalahan penentuan faktor yang menghasilkan respon optimal (Ranjit, 2001).

### **2.2.2. Metode Taguchi**

Metode Taguchi (*Taguchi Approach*) diperkenalkan oleh peneliti asal Jepang yaitu Dr. Genechi Taguchi, yang menjelaskan tentang sebuah teknik baru penggunaan desain eksperimental untuk mengoptimalkan parameter proses (Ranjit, 2001). Taguchi memodifikasi matriks *full factorial method* kemudian menyederhanakannya dengan cara mengurangi variasi kombinasi faktor dan mengumpulkan perlakuan kombinasi faktor yang paling memberikan pengaruh serta memberikan informasi sebanyak mungkin terhadap semua faktor yang mempengaruhi respon (Fratila dan Caizar, 2011). Modifikasi matriks ini disebut juga "*orthogonal array*". Dalam melakukan analisis, metode ini menggunakan kalkulasi *means* dan analisis variansi (ANOVA) dan dikombinasikan dengan perhitungan *S/N (signal to noise) ratios*. Kombinasi analisis dalam metode ini berguna untuk mengukur karakteristik tiap faktor dan persentase kontribusi tiap faktor tersebut dalam suatu respon. Metode ini memiliki tujuan untuk meneliti sejauh mana faktor proses yang berbeda

dapat mempengaruhi varians dan nilai *mean* karakteristik hasil dari proses tersebut serta faktor apa saja yang dianggap dapat berpengaruh secara signifikan (Ranjit, 2001).

Metode ini mendefinisikan kualitas produk sebagai selisih antara karakteristik hasil proses dengan nilai yang ingin dicapai (target). Selisih ini didefinisikan sebagai sebuah fungsi. Faktor yang tidak dapat dikendalikan yang menyebabkan terjadinya selisih antara karakteristik hasil proses dengan target disebut dengan faktor *noise*. Faktor ini bisa diklasifikasikan sebagai faktor eksternal. Tujuan utama dari metode ini adalah untuk menghasilkan produk berkualitas pada biaya yang rendah.

Dalam metode Taguchi itu sendiri terdapat tiga kategori target *S/N ratio* yang memfokuskan karakteristik kualitas suatu produk atau proses, tiap kategori adalah sebagai berikut:

a. *Nominal-the-best (ntb)*.

Kategori *nominal-the-best* merupakan karakteristik terukur yang bertujuan mencapai nilai target spesifik tertentu. Perhitungan *S/N ratios* menggunakan kategori ini ditunjukkan dengan persamaan berikut

$$\frac{S}{N} = -10 \times \log \sigma^2 \quad (2.1)$$

dimana  $\sigma$  merupakan standar deviasi dari data yang diobservasi

b. *Smaller-the-better (stb)*.

Kategori *smaller-the-better* merupakan karakteristik terukur non negative yang bertujuan mencapai nilai target ideal terkecil atau nilai target 0 (nol). Perhitungan *S/N ratios* menggunakan kategori ini ditunjukkan dengan persamaan berikut

$$\frac{S}{N} = -10 \times \log \frac{1}{n} (\sum y^2) \quad (2.2)$$

dimana  $y$  = data yang diobservasi dan  $n$  = jumlah observasi.

c. *Larger-the-better (ltb)*.

Kategori *smaller-the-better* merupakan karakteristik terukur non negative yang bertujuan mencapai nilai target ideal terbesar atau nilai target  $\infty$  (tak terhingga). Perhitungan *S/N ratios* menggunakan kategori ini ditunjukkan dengan persamaan berikut ditunjukkan dengan persamaan berikut

$$\frac{S}{N} = -10 \times \log n (\sum \frac{1}{y^2}) \quad (2.3)$$

dimana  $y$  = data yang diobservasi dan  $n$  = jumlah observasi.

Kategori yang dipilih pada penelitian ini adalah “*smaller the better*” karena respon yang diharapkan dalam penelitian ini adalah minimasi respon. Respon yang diminimasi adalah nilai *surface roughness* ( $R_a$ ) dan waktu permesinan ( $T_m$ ).

### 2.2.3. Response Surface Methodology

*Response Surface Methodology* (RSM) merupakan sekumpulan teknik matematika dan statistika yang berguna untuk memodelkan dan menganalisis masalah dimana *response* yang diamati dipengaruhi oleh beberapa variabel dan tujuannya adalah untuk mengoptimalkan nilai dari *response* tersebut (Montgomery, 2016).

Pada kebanyakan masalah RSM, bentuk hubungan antara *response* dengan variable bebasnya tidak diketahui. Oleh karena itu, hal pertama yang perlu dilakukan adalah menentukan hubungan yang sesuai dalam bentuk model matematika. Pemodelan yang dilakukan bisa dalam bentuk orde satu sebagai berikut:

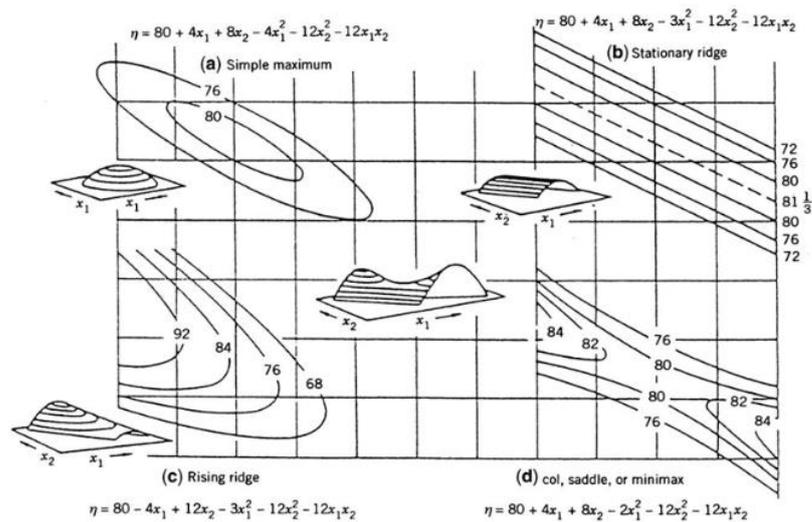
$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \epsilon \quad (2.4)$$

dimana  $y$  merepresentasikan *response*,  $\beta$  merepresentasikan koefisien yang yang belum diketahui,  $x$  merepresentasikan variabel bebas, dan  $\epsilon$  merepresentasikan *error*. Jika dalam bentuk orde satu masih belum sesuai, maka bisa digunakan pemodelan dalam bentuk orde dua.

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i < j} \sum_{i < j} \beta_{ij} x_i x_j + \epsilon \quad (2.5)$$

Model kedua pada umumnya digunakan secara luas untuk beberapa alasan, antara lain:

1. Model kedua RSM merupakan model yang sangat fleksibel. Model ini dapat mengambil berbagai macam fungsi sehingga mudah untuk mendapatkan pendekatan yang hampir sama pada respon yang diinginkan



**Gambar 2.1. Contoh pendekatan model kedua RSM**

2. Penggunaan metode kedua RSM lebih mudah untuk mengestimasi parameter yang ada.
3. Metode kedua RSM lebih mengarah pada pengalaman praktis sehingga model tersebut dapat bekerja dengan baik dalam memecahkan masalah untuk respon nyata yang diinginkan

Hampir semua permasalahan RSM menggunakan salah satu atau kedua model ini. Model ini tentu saja bukan sebuah pendekatan yang masuk akal untuk menentukan hubungan yang sebenarnya pada seluruh nilai variable bebas, akan tetapi untuk daerah di sekitar percobaan model ini dinilai cukup baik.

Setelah didapatkan model yang sesuai, kemudian dilakukan *response surface analysis* menggunakan *fitted surface*. Jika *fitted surface* adalah pendekatan yang sesuai dengan fungsi *response* yang sesungguhnya, maka analisis dari *fitted surface* akan sama dengan analisis sistem yang sesungguhnya. Model tersebut akan menjadi efektif jika data yang dihasilkan berdasarkan *experimental design* yang sesuai.

a. Lokasi Titik Stasioner

Titik stasioner adalah sebuah titik dimana sebuah kurva berhenti naik atau turun. Titik stasioner ini dapat direpresentasikan dengan *maximum response*, *minimum response*, atau *saddle point*. Titik stasioner pada model ordo-dua didapatkan dengan persamaan berikut:

$$x_s = -\frac{1}{2}B^{-1}b \tag{2.6}$$

dimana

$$x_s = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_k \end{bmatrix} \quad b = \begin{bmatrix} \hat{\beta}_1 \\ \hat{\beta}_2 \\ \vdots \\ \hat{\beta}_k \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} \hat{\beta}_{11} & \hat{\beta}_{12}/2 & \cdots & \hat{\beta}_{1k}/2 \\ \hat{\beta}_{12}/2 & \hat{\beta}_{22} & \cdots & \hat{\beta}_{2k}/2 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \hat{\beta}_{1k}/2 & \hat{\beta}_{2k}/2 & \cdots & \hat{\beta}_{kk} \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

dimana,  $b$  adalah sebuah vektor ( $k \times 1$ ) dari koefisien regresi ordo-satu dan  $B$  adalah matriks simetris dimana elemen diagonal utamanya adalah koefisien *pure-quadratic* ( $\hat{\beta}_{ii}$ ) dan elemen bukan diagonal adalah setengah dari koefisien *mixed-quadratic* ( $\hat{\beta}_{ij}, i \neq j$ ).

b. Menentukan Jenis *Response Surface*

Setelah ditemukan titik stasioner, perlu ditentukan titik stasioner ini termasuk *maximum response*, *minimum response*, atau *saddle point*. Hal ini secara umum dapat dilakukan dengan cara memeriksa *contour plot* dari model yang sesuai. Jika hanya terdapat dua variabel bebas, maka cara ini bisa dilakukan dengan mudah. Jika variabel bebas yang terlibat lebih dari dua, maka terdapat cara lain yang lebih formal yaitu menggunakan analisis *canonical*.

Menentukan titik stasioner menggunakan analisis *canonical* adalah dengan mencari nilai eigen ( $\lambda_i$ ) dari matriks B. Jika semua  $\lambda_i$  bernilai positif, maka  $x_s$  adalah titik dengan *minimum response*. Jika semua  $\lambda_i$  bernilai negatif, maka  $x_s$  adalah titik dengan *maximum response*. Jika semua  $\lambda_i$  memiliki nilai berbeda, maka  $x_s$  adalah titik dengan *saddle point*.

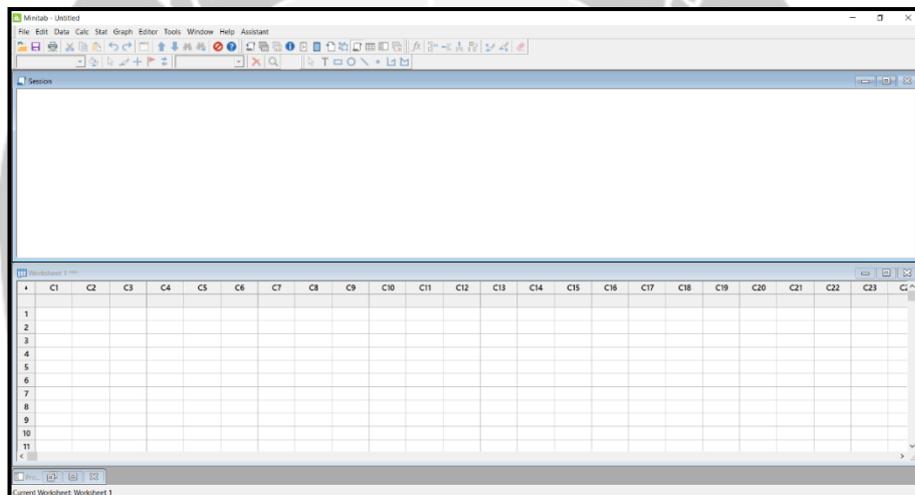
**2.2.4. Metode Pengukuran**

Agar mendapatkan data dari hasil penelitian yang dilakukan, dibutuhkan metode pengukuran dan alat ukur yang sesuai terhadap faktor yang akan diukur. Dalam penelitian ini, terdapat dua faktor yang akan diukur yaitu lama waktu pengerjaan ( $T_m$ ) dan nilai *surface roughness* ( $R_a$ ). Pengukuran lama waktu pengerjaan *part* dilakukan menggunakan *stopwatch* dan menggunakan metode jam henti, yaitu waktu yang akan diukur dimulai dari awal pekerjaan dimulai hingga pekerjaan tersebut selesai. Sedangkan pengukuran nilai *surface roughness* dilakukan menggunakan alat MarSurf PS1.

## 2.2.5. Software yang digunakan

### a. Minitab 2018

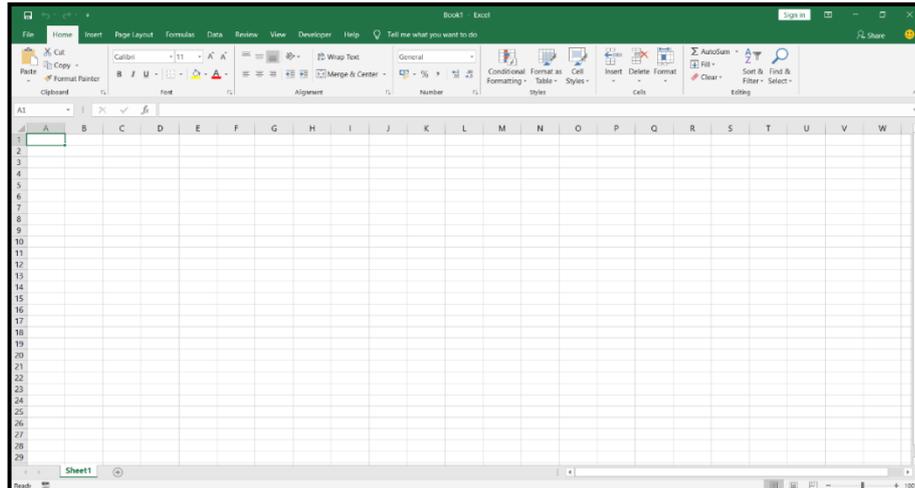
*Software* Minitab18 adalah salah satu *software* khusus yang digunakan untuk melakukan pengolahan data secara statistik. Dalam *software* ini, disediakan berbagai macam jenis perintah untuk melakukan proses input dan edit data sehingga data yang diolah dapat bisa menghasilkan bentuk grafik dan hasil analisis statistik yang akan dicapai. Pada eksperimen ini, *software* Minitab18 digunakan untuk membuat desain eksperimen berdasarkan *orthogonal array* Taguchi. Desain eksperimen tersebut menghasilkan *blank orthogonal array*  $L_9 3^4$ . Selain itu, *software* ini juga digunakan untuk memetakan titik optimum dari data yang telah diolah berdasarkan grafik yang dihasilkan. Tampilan *software* Minitab18 dapat dilihat pada Gambar 2.2.



**Gambar 2.2. Tampilan software Minitab 18**

### b. Microsoft Excel 2016

Microsoft Excel 2016 adalah *software* pengolah data dalam bentuk lembaran tabel yang tersebar (*spreadsheet*) yang digunakan untuk menyimpan dan menganalisis data numerik. *Software* ini mempunyai kemampuan untuk melakukan perhitungan matematika dasar seperti penjumlahan, perkalian, pengurangan dan pembagian. Selain itu *software* ini juga dapat melakukan fungsi logika, perhitungan rata-rata, pembuatan grafik, dan lain-lain. Dalam penelitian ini, *software* Microsoft Excel 2016 digunakan untuk mengolah data numerik. Tampilan Microsoft Excel 2016 dapat dilihat pada Gambar 2.3.



**Gambar 2.3. Tampilan software Microsoft Excel 2016**

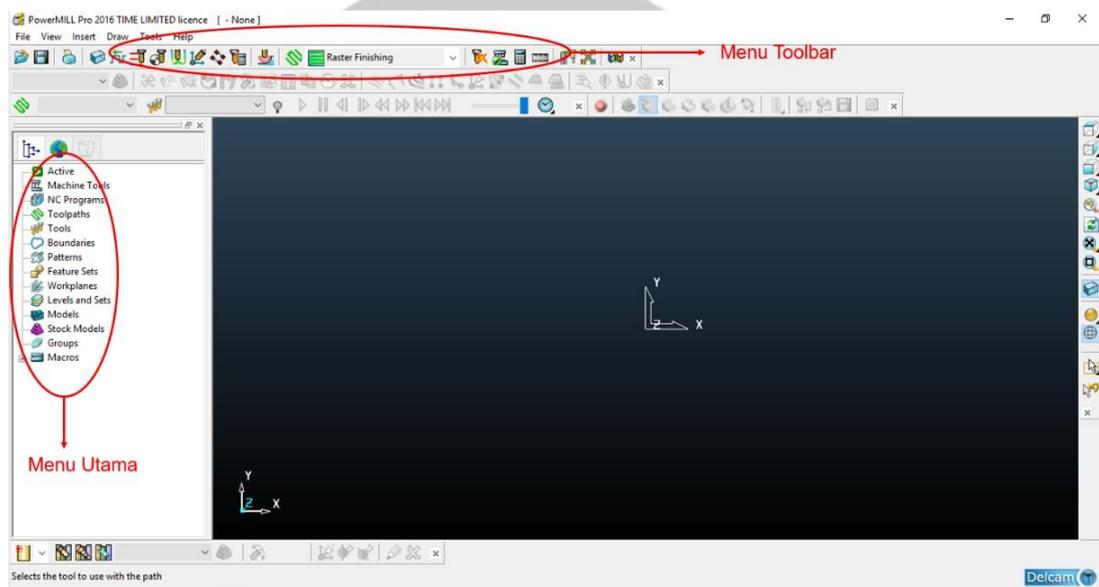
c. PowerMill 2016

Salah satu software CAM yang mendukung dalam pengaturan strategi maupun metode dalam gerakan pemakanan maupun gerakan tanpa pemakanan pada mesin CNC Milling 3 sampai 5 axis dalam bentuk *Numerical Control (NC.)* Software PowerMill memiliki berbagai macam strategi pemesinan (*toolpath strategy*) yang bertujuan untuk memaksimalkan proses pengerjaan sesuai bentuk benda kerja. Selain untuk memaksimalkan proses pemakanan pada *raw material*, PowerMill dapat mengurangi waktu pengerjaan awal (proses *roughing*) maupun pengerjaan akhir (*process finishing*) dengan berbagai pilihan menu *toolpathnya*. Pemilihan *toolpath* strategi yang optimal dapat dengan tepat dan presisi dilakukan dengan menggunakan *software* ini dan dapat disajikan dalam bentuk visual simulasi yang sangat baik sesuai urutan proses pengerjaan. *Software* ini dapat digunakan pada mesin CNC 3 axis maupun 5 axis tergantung kebutuhan dari mesin yang ada pada rantai produksi.

*PowerMILL* dapat mengimport maupun export model 3D CAD dari *software CAD* lain dalam bentuk format file .stl, .stp, .emodel. *Output PowerMILL* berupa simulasi permesinan yang menggambarkan pergerakan *cutter* dari awal sampai terbentuk benda kerja yang diinginkan, *NC-Code* sesuai simulasi dan *tools* sesuai strategi dan simulasi, dan *Time machining* untuk setiap proses pengerjaan. Proses pengerjaan permesinan *part* atau produk pada CNC yang berbasis *software PowerMILL* akan diperoleh *NC-Code*. Tujuan dibuatnya *NC-Code* adalah agar mesin milling CNC yang digunakan dalam penelitian ini akan memiliki perintah

kerja berdasarkan strategi permesinan yang sudah didesain oleh peneliti di software PowerMILL untuk menjawab tujuan penelitian yang dikerjakan.

Secara umum, strategi proses pamanakan dalam PowerMill 2016 terbagi menjadi dua jenis, yaitu strategi yang melakukan pengerjaan *roughing* dan strategi untuk melakukan pengerjaan *finishing*. Namun dalam *software* ini, ada pula strategi strategi lain yang digunakan dalam pengerjaan bentuk-bentuk tertentu yang kompleks, seperti yang sudah berhasil dikerjakan oleh Wibowo (2018) dan Anthony (2017).



**Gambar 2.4. Layar utama PowerMILL 2016**

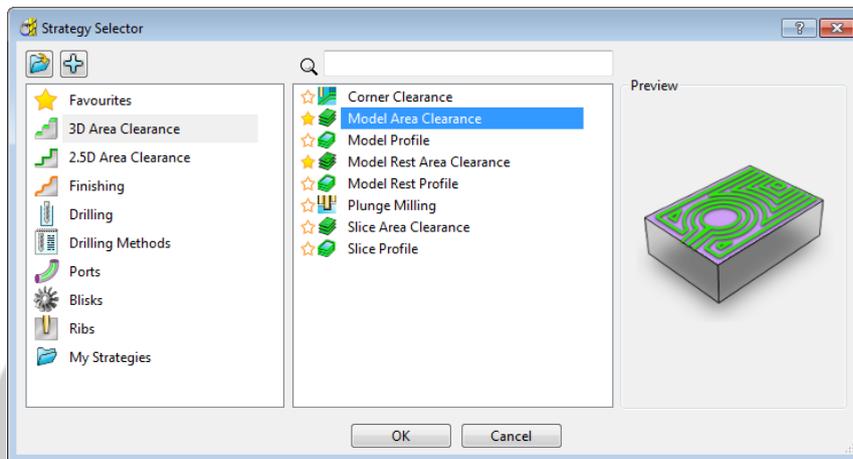
(Sumber : PowerMill 2016)

i. *Toolpath Strategy*

Menurut Julian (2018), menu ini memiliki fungsi untuk menentukan *Toolpath* jenis apa yang akan digunakan dalam melakukan proses CAM. Penentuan *Toolpath* akan sangat berpengaruh terhadap hasil *machining* produk dan waktu proses permesinan. Menu Strategy yang terdapat dalam PowerMill 2016 adalah, *3D Area Clearance*, *2.5D Area Clearance*, *Finishing*, *Drilling*, *Drilling Methods*, *Ports*, *Bliks*, *Ribs*. Pada tiap menu tersebut, terdapat berbagai macam strategi pergerakan *cutter* yang bisa dipilih sesuai dengan karakteristik produk yang akan diproses. Dibawah ini, akan dijelaskan beberapa *toolpath strategy* yang terdapat dalam PowerMill 2016 dan digunakan untuk pengerjaan proses manufaktur produk di penelitian ini.

## 1. Model Area Clearance

Strategi *toolpath machining Model Area Clearance* pada gambar 2.5, pergerakan *cutter* mengikuti pola dari area atau muka benda kerja yang akan mengalami proses permesinan. Pola pergerakan *Toolpath* ini cukup menghemat waktu pemakanan dan mempercepat waktu permesinan karena meminimalkan pergerakan *cutter* tanpa pemakanan.

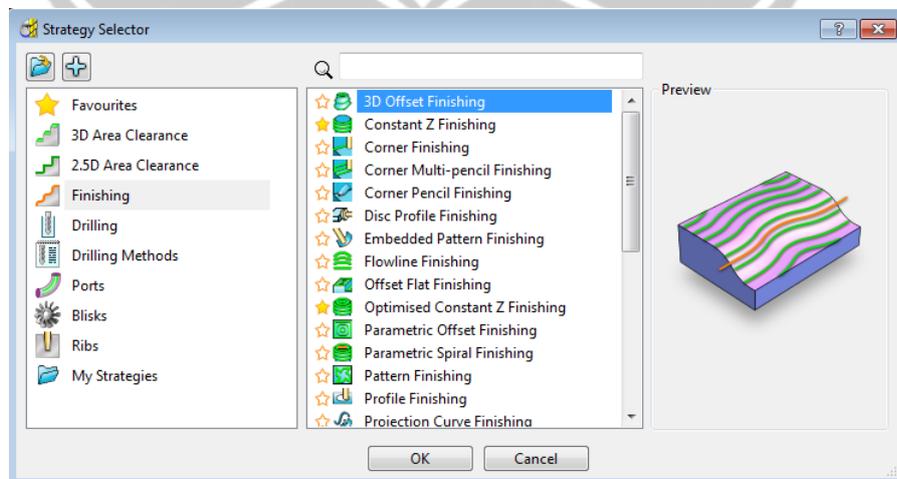


**Gambar 2.5. Toolpath Model Area Clearance**

(Sumber : PowerMill 2016)

## 2. 3D Offset Finishing

Gambar dari menu *Toolpath 3D offset finishing* ditunjukkan pada gambar 2.6 di bawah ini.



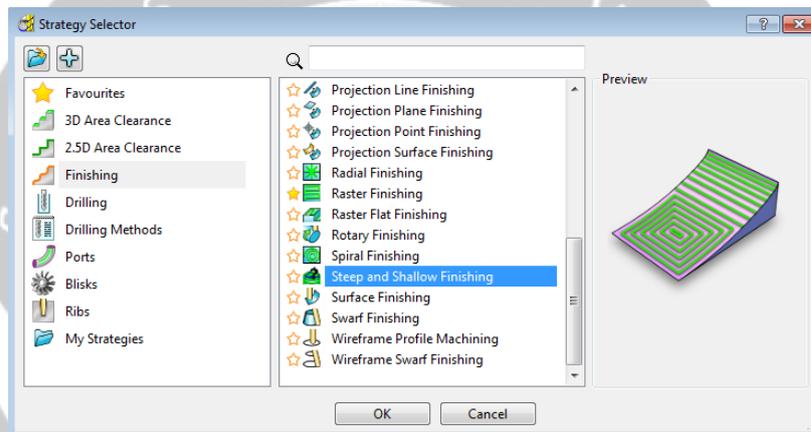
**Gambar 2.6. Toolpath 3D Offset Finishing**

(Sumber : PowerMill 2016)

Pada *Toolpath strategy 3D offset Finishing* ini pergerakan *cutter* hanya bergerak pada sisi bagian atas pada material dengan *offset* dari bagian sisi luar masuk kedalam sesuai bentuk 3D CAD produk yang akan dikerjakan.

### 3. *Steep and Shallow Finishing*

*Toolpath strategy* ini merupakan alternatif dan pengembangan dari *Toolpath strategy Optimised Constant Z Finishing* yang menggabungkan antara sudut ambang dari *3D Offset Finishing* dan *Constant Z Finishing* sehingga untuk gerakan pemakan pada bagian irisan dari sudut yang tidak dapat dikerjakan oleh *Constant Z* dan *3D Offset Finishing* dapat kerjakan dengan penyimpangan *cutter* terkecil. Bentuk dari proses pemakanan tersebut dapat dilihat pada gambar 2.7 di bawah ini.



**Gambar 2.7. *Toolpath Steep and Shallow Finishing***

(Sumber : PowerMill 2016)

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

*Computer Numerical Control (CNC)* menurut Wibowo (2018) merupakan metode untuk menjalankan kontrol pada mesin secara otomatis dengan bantuan *software* yang tersambung pada *microcomputer* dan *microprocessor*. Keduanya terpasang pada mesin CNC. Kontrol yang dijalankan menggunakan kode simbol yang terdiri dari angka dan karakter untuk menjadi sebuah program perintah, dan unit pengontrol akan menerjemahkan program serta menginstruksikan lanjut sebuah gerakan mekanikal pada peralatan mesin CNC. Kode pemrograman dalam penelitian ini menggunakan *software* PowerMILL 2016 yang terkoneksi dengan mesin CNC Hartford LG-800.



**Gambar 2.8. Mesin CNC Hartford LG-800**

Mesin tersebut memiliki tiga sumbu yaitu X, Y, dan Z sehingga mesin ini dapat mengerjakan kontur benda atau *prototype* yang cukup kompleks sesuai dengan desain yang diinginkan. Spesifikasi mesin ini akan dijabarkan pada tabel 2.1.

**Tabel 2.1. Spesifikasi Mesin CNC Hartford LG-800**

Table	Unit	LG-800
Working Surface	mm(inch)	950 x 510 (37,4 x 20,08)
T-Slot (Size x Nummber x Pitch)	mm(inch)	18 x 3 x 160 (0,71 x 3 x 6,3)
Max. table Load	Kg(lbs)	500 (1102,31)
<b>Travel</b>		
Longitudinal travel (X-axis)	mm(inch)	800 (31,5)
Cross travel (Y-axis)	mm(inch)	510 (20,08)
Vertical travel (Z-axis)	mm(inch)	630 (24,8)
Distance from spindle to table	mm(inch)	100 - 730 (3,94 - 28,74)
Distance from spindle center to column	mm(inch)	562,5 (22,15)
<b>Spindle</b>		
Spindle nose taper		#40
Spindle speed (pulley)	rpm	8.000 (10000/12000 opt)
Spindle speed (DDS)	rpm	10.000 (12000/15000 opt)
<b>Feedrate</b>		
Cutting feedrate (X, Y, Z-axes)	m/min(ipm)	1 - 12 (39,37 - 427,44)
Rapid traverse rate (X, Y-axes)	m/min(ipm)	30 (1181,1) OPT: 40 (157,8)
Rapid traverse rate (Z-axes)	m/min(ipm)	24 (944,88) OPT: 32 (1259,84)

Lanjutan Tabel 2.1.

<b>ATC</b>		
Tool storage	pcs	A: 24, OPT S: 20
Tool change type		Random
Max. tool weight kgs	Kg(lbs)	7 (15,43)
		A: Ø75 x 300L (Ø2,95 x 11,81)
Max. tool size (dia x length)	mm(inch)	OPT S: Ø90 x 250L (Ø3,45 x 9,84)
Tool shank		BT-40 (BBT/CAT/DIN)
Pull stud bolt		P40 T-1 / CAT-40 / DIN 69872
<b>Motor</b>		
Spindle drive motor (30 min)	kW(HP)	7,5 (10,06) OPT: 11 (14,75)
<b>Sitioning accuracy</b>		
<i>3 axes positioning accuracy (JIS B6338)</i>		
Positioning accuracy/full travel	mm	±0,008
Repetitive positioning accuracy	mm	±0,002
<i>3 axes positioning accuracy (VDI 3441)/ repeated 5 times</i>		
Positioning accuracy/full travel	mm	0,010
Repetitive positioning accuracy	mm	0,006
VDI 3441 accuracy available upon order request		
<b>Other</b>		
Required air pressure	Kg/ cm <sup>2</sup> (PSI)	6,5 (92,45)
Electric power requirement	KVA	20
		A: 4.300 (9479,88)
Machine weight	Kg(lbs)	OPT S: 4.270 (9413,74)
		2.960 x 2.470
Floor space (full guarding)	mm(inch)	(137,8 x 97,24)
Collant tank (Standard)	L(gal)	279 (73,71)

### 2.2.7. Material *Ultra High Molecular Weight Polyethylene (UHMWPE)*

*Ultra-High Molecular Weight Polyethylene (UHMWPE)* merupakan polimer unik karena memiliki sifat fisik dan mekanik serta ketahanan yang luar biasa. Selain itu, UHMWPE juga ketahanan terhadap bahan kimia, resisten terhadap tekanan, dan tahan abrasi. Sifat kuatnya ini dikarenakan massa molekul yang yang tinggi dan rantai ikatan karbon kuat. Karena karakteristiknya, UHMWPE banyak digunakan secara luas di dunia industri antara lain dijadikan sebagai pelapis bak truk batubara, bumper pada kapal dan pelabuhan, pengaplikasian dalam peralatan *line production*, dan lain-lain. Selama 50 tahun terakhir, UHMWPE sudah digunakan

pada bidang *orthopedic* dalam pembuatan bahan bantalan di sendi buatan. Penggunaan sendi buatan menggunakan bahan UHMWPE dinilai lebih ringan dan tahan keausan dibandingkan sendi buatan menggunakan bahan metal (Kurtz, 2016).

