

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1. Penelitian Terdahulu

Keramik merupakan suatu hasil seni yang dipadukan dengan teknologi pembakaran tanah liat menjadi produk keramik bermutu tinggi. Desain produk dan manufaktur keramik mengalami beberapa fase perubahan mulai dari teknologi manual (hand made) sampai ke pemanfaatan teknologi *CARESystem* untuk produk ceramic di beberapa industri keramik terbaik di dunia seperti PT. Doulton Indonesia dsb. Berikut ini adalah hasil riset yang pernah dilaporkan oleh beberapa peneliti tentang proses desain dan manufaktur produk keramik:

Chua dkk. (1997) pernah menuliskan bahwa penggunaan sistem CAD/CAM mulai dilakukan pada industri keramik dengan pembuatan produk *tableware*. Hal ini disebabkan karena desain fisik dari konsep *tableware* mempunyai kecepatan yang relatif tinggi sehingga disarankan untuk pengguna industri dengan memanfaatkan teknologi CAD/CAM dan *Rapid Prototyping* untuk pengerjaan peralatan keramik untuk produk *tableware*. Teknologi CAD/CAM yang dimaksud adalah *Computer Aided Decoration of Ceramic Tableware* (CADOCT), yang didesain untuk pembuatan pola dekorasi pada produk keramik *tableware*. Sistem ini mempunyai keunggulan dalam segi penghematan waktu dan biaya yang dikeluarkan. Di penelitian ini Chua telah melakukan inovasi dari tahap konsep sampai dengan realisasi untuk desain keramik *tableware*.

De Souza dkk. (2014) dengan jurnal penelitiannya yaitu "*Evaluating the roughness according to the toolpath strategy when milling free form surfaces for mold application*". Penelitiannya menjelaskan tentang *lead time*, biaya, dan kualitas dari produk plastik dalam kategori *mold manufacture*. Proses *mold* harus melalui proses *finishing* karena produk harus memiliki tingkat kehalusan sendiri. De souza mencatat bahwa dengan penggunaan mesin CNC tipe *High Speed Machining* (HSM) dapat mencapai kehalusan dalam proses *finishing* dengan menggunakan *toolpath strategy* yang optimal sehingga mampu menghasilkan permukaan produk yang halus dan mengurangi waktu pengerjaan manual.

Ningsih (2005) dalam risetnya juga menjelaskan bahwa sistem CAD adalah sistem penggambaran pemodelan dalam sebuah produk kemudian dilanjutkan dan di proses ke dalam sistem CAM dimana pada sistem CAM disesuaikan dengan *post processor* dari mesin CNC yang akan.

Groover dan Zimmers (1984) dengan bukunya yang menjelaskan bahwa penggunaan teknologi CAD/CAM merupakan teknologi yang digunakan untuk membuat produk dengan spesifikasi yang presisi dan detail dalam desain karena merupakan suatu sistem yang digunakan untuk melakukan proses desain dalam manufaktur. Hal ini didasari dengan perkembangan dunia industri dimana produk yang dihasilkan harus memenuhi tingkat presisi dan detail produk dengan waktu yang relatif singkat.

Fallbohmer dkk (2000) melakukan riset dimana pemilihan *software* CAM digunakan untuk melakukan proses pengerjaan produk dengan bervariasi namun dalam skala pengembangan rendah. *Software* CAM sendiri didukung oleh pemilihan *toolpath strategy* yang optimal serta penggunaan mesin CNC dengan peralatan pendukung.

Liming Wang dkk (2013) menjelaskan mengenai efisiensi mesin dan kualitas produk dengan material pemotongan yang besar dapat menghasilkan produk dengan kualitas permukaan yang baik menggunakan mesin CNC *milling*. Proses pengerjaan dalam mesin CNC *milling* di dapat dari sebuah NC yang dihasilkan dari sistem *software* CAM.

Tisza dkk. (1991) menjelaskan bahwa minimasi jumlah tenaga kerja dapat dilakukan apabila perusahaan menggunakan teknologi CAD/CAM karena teknologi CAD/CAM sendiri dapat mengurangi tingkat waktu proses dalam pembuatan sebuah produk.

Anggoro dan Yuniarto (2012) dalam penelitiannya membuat satu unit *prototype* dari *mold base* Honda Freed *mirror* dengan bahan dasar kayu ebalta. Faktor-faktor yang berpengaruh dalam penelitiannya yaitu strategi permesinan yang optimal dan metode *brainstorming* dalam proses melakukan penelitian.

Herdhiawan (2013) dalam penelitiannya menghasilkan produk *prototype core cavity* dari blok mesin, candi prambanan, menara kudus, dan kepala budha. Hal ini didasari dengan adanya optimalisasi dari *toolpath strategy*, mesin CNC YCM EV1020A serta penggunaan *Software* yang digunakan yaitu *PowerShape 2012* dan *PowerMill 2012*. Bahan dasar yang digunakan dalam penelitian yaitu kayu ebalta dan aluminium.

Yuwono (2014) mengenai optimalisasi *toolpath strategy* pada *Powermill 2014* dengan menggunakan strategi *vortex* sehingga menghasilkan produk *prototype core dies stamping* dengan mengacu pada aktu pengerjaan yang singkat dan kualitas permukaan yang halus.

Yasa (2015) menghasilkan produk gantungan kunci dengan relief candi prambanan, candi ratu boko, lawang sewu, dan produk hiasan dinding dengan relief katedral. tentang pengerjaan master produk artistik dengan material logam aluminium. Produk tersebut diproses dengan menggunakan *software Powershape 2014* dan *Powermill 2014*. *Toolpath strategy* yang digunakan yaitu *vortex* kemudian diproses menggunakan mesin CNC YCM EV1020A. Yasa berhasil menghasilkan produk dengan waktu yang singkat dalam proses *roughing* pada produk relief artistik dengan bahan dasar aluminium.

Nugroho (2016) dengan penelitiannya mengenai Aplikasi Reverse Engineering Untuk Desain Ornamen Keramik Dinding Islami Di Masjid Al-Huda di PT. Nuanza Porselen Indonesia. Berdasarkan penelitian ini, aplikasi RE konvensional dapat di aplikasikan di PT Nuanza Porselen Indonesia output dari penelitian ini berupa beberapa new desain 3D model ceramic dinding dengan varian ornament *Islamic, mold* sebagai master pola cetakan, dan *prototype ceramic* dinding yang didesain. Melalui RE, *experiment* desain keramik dinding mampu mempercepat proses desain konvensional pembuatan master keramik dari perkiraan *engineer art* PT Nuanza Porselen Indonesia selama 1 sampai dengan 1,5 tahun untuk empat wilayah dengan kata lain per wilayah mempunyai waktu sekitar tiga sampai dengan 4.5 bulan menjadi 61 Hari untuk satu wilayah.

Kurniawan (2017) mengenai “Pengukuran Penyusutan Produk Keramik Dinding di PT. Nuanza Porselen Indonesia”. Penelitian ini membuktikan hipotesis PT. Nuanza

Porselen Indonesia bahwa penyusutan keramik dinding berbeda-beda. menunjukkan bahwa penyusutan keramik dinding *Syrian and Egiptian Tiles*, *Timurid Tiles*, dan *Safavid Tiles* pada tiap *point* ada yang di bawah 15% dan di atas 15%. Penyusutan yang berbeda-beda tersebut disebabkan oleh berbagai faktor, seperti kualitas tanah, suhu pada saat proses *clay drying*, dan posisi benda pada saat pembakaran.

Suleman (2017) dengan penelitiannya mengenai Optimalisasi penggunaan *Toolpath Strategy* dalam sistem CAM untuk dilanjutkan ke proses mesin CNC dengan produk keramik dinding dari PT. NPI. faktor-faktor yang mempengaruhi terhadap waktu proses dan kualitas dari kontur relief keramik meliputi *Toolpath strategy*, *Spindle speed*, *Feed Rate*, *Step over*, dan Diameter *cutting tools* dengan menggunakan metode *orthogonal array*.

Gunadi (2017) dengan penelitiannya mengenai “Analisis *Reverse Engineering Konvensional* Ornamen *Islamic* Dari 2D Ke 2, 5D di Industri Keramik Dinding” membahas mengenai aplikasi *reverse engineering* konvensional dapat diaplikasikan di industri keramik dinding. Proses *reverse engineering* dilakukan dari proses 2D *vector*, pembangkitan 2,5D model, verifikasi 2,5D model dan proses 3D *printing*. *Output* dari penelitian ini berupa variasi desain keramik dinding berornamen *Islamic* yang presisi dan detail dalam bentuk 2,5D dan *RP* model. *Output* tersebut digunakan sebagai master pola cetakan pada PT. Nuanza Porselen Indonesia.

2.1.1. Penelitian Sekarang

Berdasarkan kendala yang dihadapi oleh PT Nuanza dan pemanfaatan teknologi *CARESystem* yang sudah pernah dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya Nugroho (2016) dan Gunadi (2017) tentang pengembangan file produk dalam format .JPEG ke dalam 3D model *artcam* dengan memperhatikan detail produk dari *ceramic tile* berhasil diperoleh beberapa desain artistik bernuansa batik yang dapat diubah menjadi 3D CAD *artistic model ceramic tiles*. Model 3D ini, kemudian dilanjutkan oleh Gunadi (2017) ke produk 3D *print* dengan mesin 3D *print object* untuk mendapatkan pola cetakan dengan tingkat presisi tinggi dan siap diproses menjadi *core and cavity* cetakan dengan teknologi manual. Cetakan inilah yang nantinya akan dibuatkan produk *ceramic tile* dari tahap casting sampai *burning* di oven dan proses glasir. Tetapi penelitian tersebut menemui kendala karena ternyata

biaya proses pembuatan 3D *print* yang terlalu mahal sehingga customer kurang berminat. Kurniawan (2017) dalam penelitiannya bersama Gunadi berhasil menyelidiki adanya penyusutan yang terjadi mulai dari produk dari *artcam*, 3D *print*, produk *tile* sebesar 15% dan hal inilah yang mempengaruhi hasil dari produk dari proses pembuatan sampai dengan produk jadi. Untuk mengurangi biaya cetak pada mesin 3D yang sangat mahal maka Suleman (2017) dalam laporan penelitiannya berhasil melakukan proses optimalisasi dari *toolpath strategy* pada mesin CNC untuk produk *ceramic tile*. Pada tahap ini ditemukan adanya pengurangan jumlah biaya permesinan di Mesin CNC lebih murah (Crispambayun, 2017). Disamping itu pula proses manufaktur *real* di mesin CNC juga belum dilakukan oleh Suleman.

Penelitian-penelitian tersebut diatas juga telah mendorong pihak PT. Nuanza Porselen pada akhir tahun 2017 memutuskan untuk menggunakan mesin CNC yang fungsional dengan software *Rhino* 4.0. yang diunggah secara *free*. Namun mesin CNC yang digunakan kurang optimal dari segi kualitas detail produk dan juga masih harus mengalami proses manual sehingga tidak dalam satu kali proses kerja. maka penelitian ini akan membahas proses manufaktur produk keramik (SLT LP dan *Saucer*) dengan menggunakan software *Powermill* 2016 kemudian dilanjutkan dengan menggunakan mesin CNC YCM 1020EV20A yang ada di Laboratorium Proses Produksi dengan menghasilkan kualitas hasil permukaan yang halus, presisi, dan detail yang kompleks.

Pada penelitian ini, ditetapkan 3D *model artistic ceramic* yang akan di mesin CNC *milling*. Material gypsum digunakan untuk mendapatkan produk SLT LP dan *Saucer*. Dua software CAM akan digunakan dalam penelitian ini untuk dibandingkan satu dengan yang lain dimana parameter permesinan (*toolpath*, *step over*, RPM, *feedrate*, *cutter*) yang digunakan berdasarkan yang paling optimal diantara keduanya. Mesin CNC yang digunakan dalam penelitian ini adalah mesin CNC YCM EV1020A dan mesin CNC rakitan di PT. NPI. Respon yang akan diukur adalah kualitas hasil permukaan dan hasil *machining* produk keramik berdasarkan kualitas permukaan yang halus, kepresisian, dan detail yang kompleks. Hasil penelitian ini, nantinya diharapkan dapat memberikan masukan yang sangat berarti untuk PT. NPI

bila menginginkan pengerjaan manufaktur CNC berjalan dengan kualitas permukaan yang halus, presisi dengan detail relief kompleks dalam satu kali proses pengerjaan.

2.2. Dasar Teori

2.2.1. Keramik

Keramik mempunyai sejarah di masa ribuan tahun yang lalu dibuat oleh para pengembara yang berada di Mesir yang dekat dengan sungai Nil. Menurut Astuti (2008) bahwa kata keramik berasal dari bahasa Yunani yaitu "*keramos*". Tanah liat disini merupakan bahan dasar dalam pembuatan keramik dimana pembuatannya melalui proses pembakaran pada suhu tinggi. Selain itu tanah liat banyak digunakan karena mudah didapat dengan harga yang relatif murah untuk pembuatan bermacam-macam barang.

Berikut ini adalah penggolongan dari jenis-jenis tanah liat:

a. *Earthenware*

Earthenware atau gerabah adalah bahan yang terbuat dari tanah liat yang mempunyai sifat plastis yang menyebabkan kekuatannya menjadi kuat. Pembakaran pada bahan ini berkisar diantara suhu 900°C sampai dengan 1060°C.

b. *Terracotta*

Terracotta (tanah bakaran) atau tanah liat yang berwarna merah ini merupakan penambahan dari pasir. Bahan ini dibakar pada suhu berkisar antara 1200°C-1300°C.

c. Gerabah Putih

Gerabah putih memiliki struktur yang kuat dan bersifat plastis. Bahan ini dilakukan pembakaran pada suhu yang berkisar 1250°C..

d. *Stoneware*

Stoneware memiliki profil padat dan kuat dalam strukturnya. Pembakaran pada bahan ini berkisar pada suhu 1150°C-1250°C. Untuk pembuatannya dibuat murni tanpa campuran dan jika dicampur menggunakan bahan tambahan yaitu *ball clay*, kaolin, *feldspat* dan *chamotte*.

e. *Porselen*

Porselen adalah tanah liat dengan profil yang bertekstur halus, putih, dan keras jika dibakar. Pada saat dibakar, profil akan berbentuk transparan namun jika dilihat dari tebal komposisi yang dikandungnya. Pembakaran pada bahan ini berkisar pada suhu 1250°C-1400°C. Untuk yang suhu rendah masuk ke dalam jenis *Porselen* lunak sedangkan untuk suhu tinggi masuk ke dalam jenis *Porselen* keras. *Porselen* sendiri sudah banyak digunakan di kalangan industri keramik dikarenakan struktur kekuatan yang baik.

f. *Bone China*

Bone china memiliki profil putih, halus, dan kekuatannya yang bagus dengan transparansi. Sifat dari bahan ini adalah kurang plastis yang menyebabkan pada saat proses *casting* terlihat kesulitan. Pembakaran pada bahan ini yaitu berkisar antara suhu 1040°C-1080°C.

g. Raku

Tanah liat ini adalah tanah liat yang mengandung banyak pasir yang kemudian dikembangkan oleh seniman keramik asal Jepang pada masa lampau. Suhu yang digunakan untuk membakar raku berkisar antara 750°C-1000°C.

2.2.2. CAM (Computer Aided Manufacturing)

CAM adalah sistem manufaktur yang terintegrasi dengan desain gambar 2D/3D dari proses CAD yang kemudian dilanjutkan di mesin CNC. CAM merupakan proses pemodelan manufaktur setelah penggunaan CAD atau CAE. *Software* CAM disini bertugas memberi perintah terintegrasi untuk mengontrol sistem yang ada di mesin. Penerapan CAM sering diaplikasikan ke dalam sektor industri manufaktur seperti otomotif, permesinan, arsitektur, dan lain-lain. Keuntungan dalam penggunaan CAM adalah dapat secara cepat melakukan perbaikan atau revisi pada program dilihat dari simulasi sebelum memasuki proses mesin. Hal ini didasari pada sekarang ini banyak produk-produk di kalangan industri dengan variasi yang rumit apabila harus dibuat dengan cara manual. Itulah sebabnya industri-industri pada saat ini telah banyak memanfaatkan teknologi informasi berbasis komputer untuk melakukan pekerjaan-pekerjaan yang terbilang rumit.

Dalam CAM terdapat komponen utama yang sangat penting yaitu *Numerical Control* (NC). NC merupakan suatu sistem terotomasi dimana sistem kerjanya menggunakan satuan variabel sebagai input untuk mengontrol jalannya peralatan proses permesinan. Variabel yang dimaksud terdiri dari serangkaian angka, huruf dan simbol yang menerjemahkan program instruksi dari awal hingga akhir dalam sebuah pekerjaan. *machine control unit* dan program instruksi merupakan komponen utama pada sistem *numerical control*. Selain itu juga ada peralatan pendukung lainnya.

Aplikasi pada *Numerical control* terdapat 2 macam, yaitu :

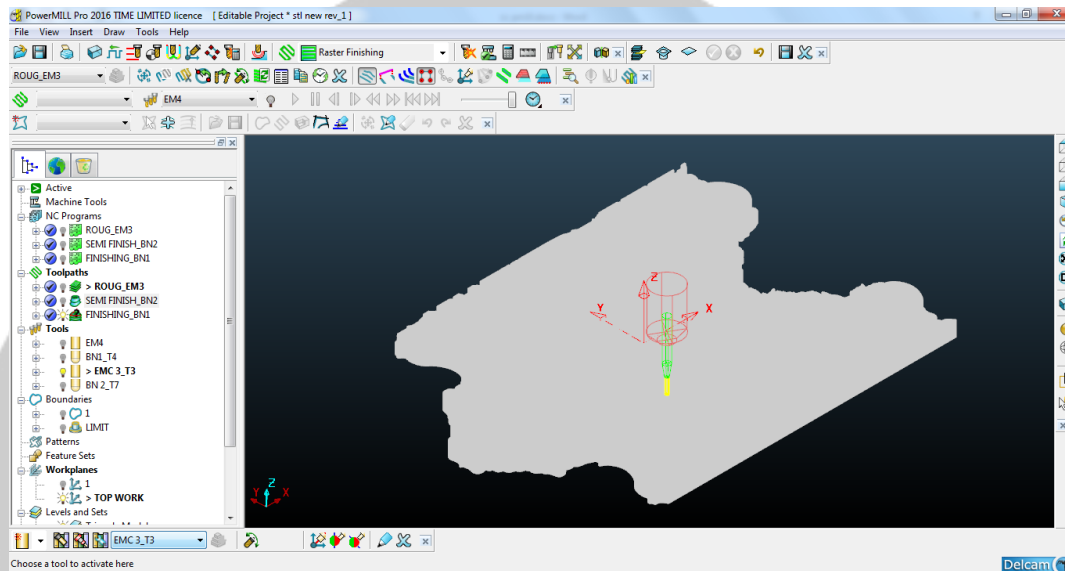
1. *Machine tool*, meliputi mesin bor, *milling*, bubut, dan lain-lain.
2. *Non machine tool*, diantaranya yaitu proses *assembly*, penggambaran model dan *quality control*.

Program instruksi merupakan detail tiap langkah perintah yang ditujukan untuk menjalankan mesin yang berupa kode-kode. *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. Peralatan produksi, yaitu mesin-mesin yang digunakan adalah komponen pokok ketiga dari suatu sistem NC.

2.2.3. Powermill 2016

Software CAM (Computer Aided Manufacturing) yang digunakan adalah *Powermill 2016* dari perusahaan DELCAM yang merupakan penyedia software CAD/CAM terkenal di dunia. Pada *software Powermill 2016* terdapat menu yang paling utama untuk dioperasikan diantaranya yaitu *block*, *toolpath strategy*, dan simulasi permesinan. *Block* digunakan untuk memverifikasi ukuran awal material yang akan diproses. *Toolpath strategy* adalah strategi permesinan yang digunakan untuk memilih metode proses permesinan pada saat diproses di mesin. *Toolpath strategy* disini juga terdapat menu pemilihan *cutter* yang akan digunakan untuk proses permesinan. Simulasi permesinan digunakan untuk melihat apakah proses permesinan yang disimulasikan sudah benar sehingga apabila belum benar dapat

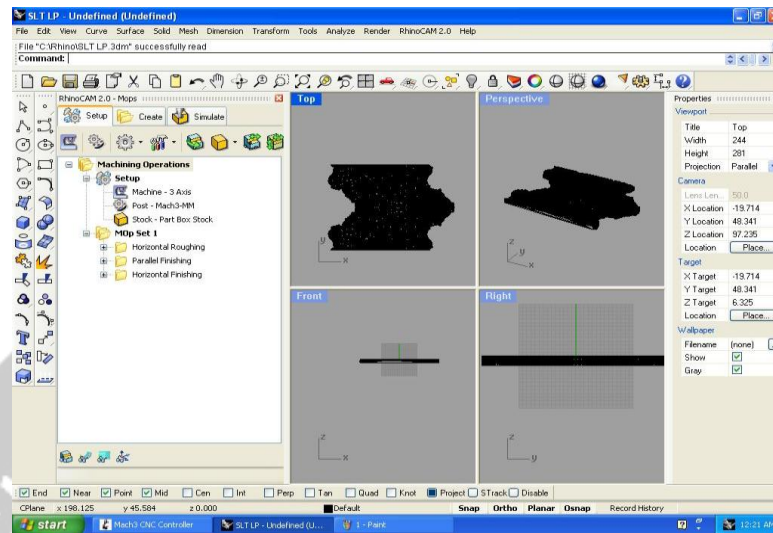
secara langsung dilakukan revisi. *Powermill* sendiri dapat mengimpor gambar dari *software* desain pemodelan yang lain dengan format seperti IGES, STEP, UG, VDA, dan STL. *Software Powermill* pada saat ini banyak digunakan oleh perusahaan-perusahaan besar yang bergerak di bidang manufaktur.



Gambar 2.1. Tampilan dari *Powermill* 2016.
(Sumber: *Powermill* 2016)

2.2.4. *Rhino* 4.0.

Rhino 4.0 merupakan *software* berbasis CAM grafis 3D yang dikembangkan oleh Robert McNeel. *Software* ini dapat membaca produk yang di import dari *software* CAD untuk dilakukan simulasi permesinan secara *geometry*. Penggunaan *software Rhino* berbasis CAM di industri meliputi arsitektur, desain industri (desain otomotif, dan perahu), desain produk serta untuk multimedia dan desain grafis. *Software* ini dapat mengambil gambar dari *software* CAD lainnya yang disimpan dalam bentuk .stl. *Output* dari *Rhino* yaitu NC code yang nantinya akan digunakan untuk menjalankan proses permesinan. Pada *Rhino* terdapat *Toolpath Strategy* yang digunakan untuk mengatur arah pemakanan alat potong pada benda kerja yang sesuai dengan produk yang dikerjakan. *Toolpath Strategy* sendiri berpengaruh pada hasil akhir produk dimana disertai dengan adanya proses *roughing* dan *finishing*. (<https://www.rhino3d.com>).



Gambar 2.2. Tampilan awal software CAM Rhino 4.0.

(Sumber: <https://www.rhino3d.com>)

2.2.5. Computer Numerical Control (CNC)

CNC (*Computer Numerical Control*) merupakan sistem elektrik yang membaca dan memberi perintah program dan mengubahnya menjadi proses mekanik yang terjadi pada mesin dengan menggunakan *control unit*.

Mesin-mesin skala besar dan kecil yang menggunakan sistem CNC dinamakan mesin CNC. Mesin CNC sendiri digunakan untuk pengerjaan-pengerjaan produk yang terhitung rumit dalam jumlah satuan maupun massal. Untuk menggunakan mesin-mesin CNC dibutuhkan sebuah sistem *software* yang digunakan untuk sistem pengoperasian antara program dengan sistem control pada mesin. Pada mesin CNC terdapat *user interface* dimana berfungsi sebagai komunikasi antara operator dengan mesin untuk menjalankan proses pengerjaan. Mesin CNC terhubung dengan komputer memungkinkan operator untuk menjalankan program serta memodifikasi program tersebut jika pada produk terdapat revisi atau kesalahan yang bisa segera dibenahi.

2.2.6. Milling

Milling atau frais adalah mesin dimana digunakan untuk pengerjaan permukaan untuk sebuah produk atau benda kerja. Hasil produk yang diproses di mesin *milling* adalah rata pada permukaannya serta dapat diukur tingkat kehalusan yang diinginkan. Pada proses *milling* terdapat dua tahapan dalam pengerjaan meliputi proses *roughing* dan *finishing*. Proses *roughing* merupakan tahap awal pada proses permesinan dimana produk yang dibuat di pangkas hingga mendekati ke ukuran yang diinginkan. Sedangkan untuk *finishing* yaitu proses dimana memasukkan ukuran produk benda kerja ke ukuran yang diinginkan dengan proses permesinan. Maka secara garis besar proses *roughing* bertujuan untuk membentuk kontur benda kerja secara kasar dalam waktu yang singkat dengan luas pemotongan yang besar dan untuk proses *finishing* bertujuan menghaluskan permukaan benda kerja.

Faktor-faktor yang mempengaruhi proses di mesin *milling* meliputi pemilihan material, *cutter*, ukuran benda kerja, desain produk, proses pengerjaan (*roughing* atau *finishing*), dan menentukan *cutting parameter condition* diantaranya yaitu :

1. *Feedrate* (mm/min) adalah kecepatan pemakanan pada saat *cutter* menyayat benda kerja.
2. *Spindle Speed* (rpm) adalah putaran *spindle* mesin yang dapat berputar searah jarum jam maupun berlawanan arah jarum jam. Putaran rpm ditentukan berdasarkan kecepatan *feedrate* dan diameter *cutter* saat proses permesinan.
3. *Deep of Cut* (mm) adalah besarnya kedalaman pemakanan alat potong pada benda kerja saat proses permesinan.

2.2.7. Cutter

Cutter yang digunakan untuk mesin *milling* mempunyai bentuk silindris dan terdapat mata potong (*flute*) yang melingkar pada badan *cutter* secara seragam. *Flute* yang terdapat pada *cutter* digunakan untuk memotong benda kerja pada saat *cutter* berputar dan mengenai benda kerja.

Bahan *cutter* yang sering digunakan terbuat dari material *HSS* dan *Carbide*. Jenis mata potong *cutter* yang digunakan ada yang berbentuk lurus dan juga ada yang mempunyai sudut *Helix* yang dapat memutar ke arah kanan maupun ke kiri. Mata

potong *cutter* merupakan kesatuan dengan badan *cutter* dan ada juga yang dilepas dari badan *cutter*. Mata potong *cutter* yang dapat dilepas disebut *insert*. *Insert* ini juga dapat dipasang di ujung pahat dan dalam satu pahat bisa terdapat lebih dari satu *insert*.

Ada beberapa macam jenis *cutter* dalam mesin *milling*, contohnya :

a. *Plain Mill Cutter*

Digunakan untuk proses pengerjaan permukaan yang datar pada benda kerja (horizontal).



Gambar 2.3. Plain Mill Cutter

(Sumber :*Machine Tool Practice sixth edition, Kibbe, R.R, Neely, J.E, Meyer, R.O, White, W.T., 2003*)

b. *Shell End Mill Cutter*

Digunakan untuk proses pengerjaan dengan tipe dua permukaan dengan arah yang tegak lurus.



Gambar 2.4. Shell End Mill Cutter

(Sumber :*Machine Tool Practice sixth edition, Kibbe, R.R, Neely, J.E, Meyer, R.O, White, W.T., 2003*).

c. *Face Mill Cutter*

Digunakan pada proses pengerjaan dengan kategori yang pemakanan produk yang berskala kecil. *Cutter* ini sekilas mirip seperti bentuk *shell end mill*.

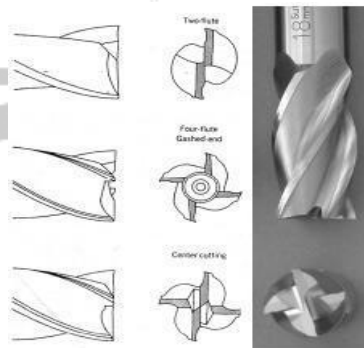


Gambar 2.5. Face Mill Cutter

(Sumber :*Machine Tool Practice sixth edition, Kibbe, R.R, Neely, J.E, Meyer, R.O, White, W.T., 2003*)

d. *End Mill Cutter*

Cutter jenis ini sering digunakan dalam proses permesinan *milling* pada umumnya untuk produk-produk yang berskala mudah sampai rumit. *Cutter* dapat bekerja pada penyayatan muka maupun penyayatan samping (*side cutting*).



Gambar 2.6. End Mill Cutter

(Sumber :*Machine Tool Practice sixth edition, Kibbe, R.R, Neely, J.E, Meyer, R.O, White, W.T., 2003*)

e. *Ballnose Cutter*

Cutter ini merupakan alat yang optimal dalam proses pengerjaan yang mengacu pada kontur kualitas permukaan pada mesin CNC *milling*. Ujung dari *cutter* ini berbentuk radius sehingga penggunaan *cutter* ini hanya disarankan untuk proses *finishing* sehingga dapat mencapai kehalusan yang dicapai.



Gambar 2.7. Ballnose Cutter

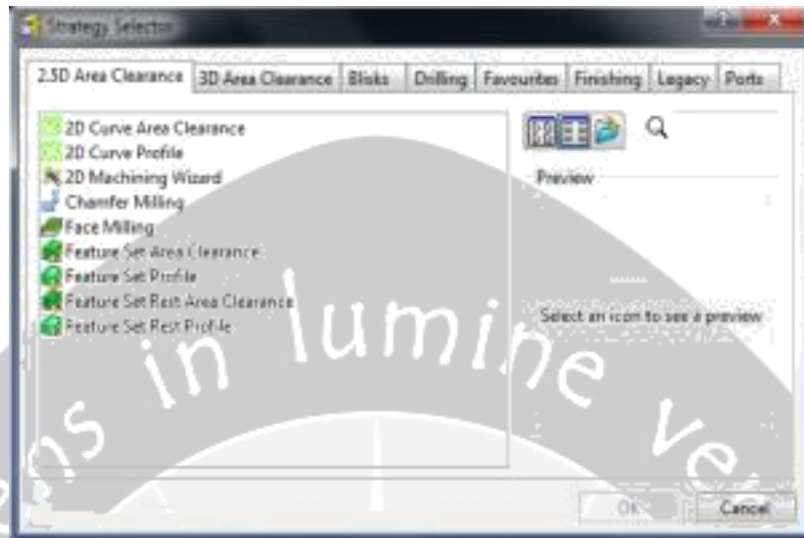
(Sumber :*Machine Tool Practice sixth edition*,Kibbe,R.R, Neely,J.E,Meyer,R.O, White,W.T., 2003)

2.2.8. Toolpath Strategy

Toolpath strategy adalah salah satu submenu di *Powermill* yang berfungsi untuk menentukan strategi permesinan yang akan digunakan. Hasil produk *machining* dari mesin CNC sangat tergantung dari pemilihan *toolpath strategy* yang dilakukan. Berikut ini adalah menu strategi yang terdapat pada *toolpath strategy* antara lain:

1. *2,5D Area Clearance*

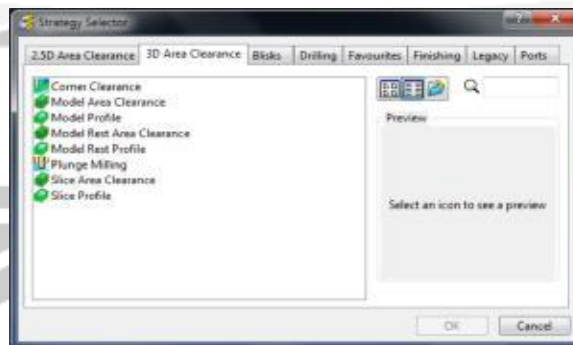
Pada menu *2,5D Area Clearance* tersedia beberapa *toolpath strategy* diantaranya 2D Curve Area Clearance, 2D Curve Profile, 2D Machining Wizard, Chamfer Milling, Face Milling, Feature Set Area Clearance, Feature Set Profile, Feature Rest Area Clearance, Feature Rest Set Profile. Dalam *2,5D Area Clearance* pergerakan arah *cutter* hanya memangkas benda kerja pada bagian luarnya saja.



Gambar 2.8. Strategy 2.5D Area Clearance
(Sumber : PowerMILL 2016)

2. 3D Area Clearance

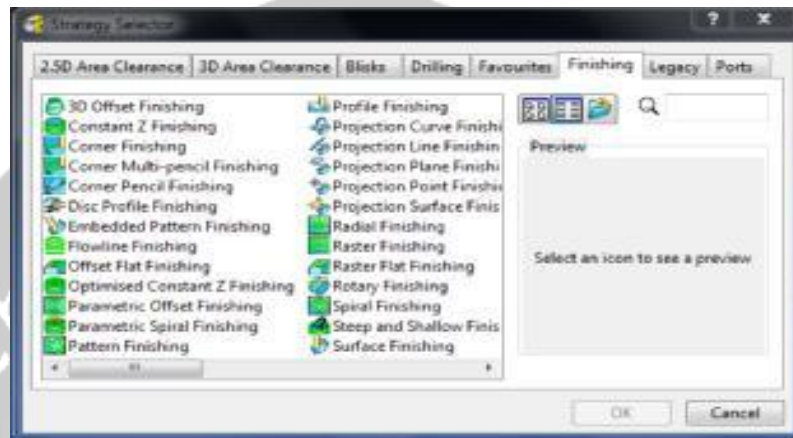
Pada menu *3D Area Clearance* pola pergerakan *cutter* yang dihasilkan untuk memangkas material yang masih utuh sehingga cocok untuk proses pengerjaan *roughing* karena hasil dari *toolpath strategi* ini tidak detail..



Gambar 2.9. Strategy 3D Area Clearance
(Sumber : PowerMILL 2016).

3. *Finishing*

Pada menu *Finishing* terdapat secara total 29 startegi permesinan yang tersedia. ini digunakan untuk proses pengerjaan *semi finishing* maupun *finishing*.



Gambar 2.10. Strategy Finishing
(Sumber : PowerMILL 2016)

Dalam penelitian ini lebih melihat hasil akhir produk SLT LP dan *Saucer* dilihat dari kualitas permukaan yang halus, presisi, dan detail produk yang kompleks. Oleh karena itu pemilihan *toolpath strategy finishing* yang optimal akan sangat berpengaruh terhadap hasil jadi produk. Faktor-faktor parameter pemesinan yang mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap hasil pemesinan diantaranya:

1. *3D Offset Area Clearance*

Pada *toolpath strategy* ini arah *cutter* hanya memangkas bagian-bagian yang diperlukan pada benda kerja sehingga dapat mempercepat *time machining* serta dapat menghemat waktu.

2. *Raster Finishing*

Pada *toolpath strategy* ini arah pergerakan *cutter* melakukan pemakanan secara horizontal yang bergerak ke kiri maupun ke kanan hingga membentuk suatu kontur yang pada benda kerja. Proses ini memerlukan waktu yang cukup lama karena pemakanan pada benda kerja dilakukan ke seluruh daerah material.

3. *Optimized Constant Z Finishing*

Toolpath strategy ini arah pergerakan *cutter* bekerja melakukan pemakanan hingga ke sudut-sudut benda kerja yang relatif kecil. Proses ini cocok untuk pengerjaan *semi finishing* maupun *finishing*.

4. *Steep and Shallow Finishing*

Toolpath strategy ini merupakan penyempurnaan dari *toolpath strategy Optimized Constant Z Finishing* maupun *3D Offset Finishing*. *Toolpath* ini bekerja secara sempurna dalam proses *finishing* hingga menjangkau sudut-sudut kecil pada benda kerja sehingga kontur pada benda kerja terlihat secara jelas.

