

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

Untuk mendapatkan *strategy* pemesinan yang optimal mesin CNC, dibutuhkan studi eksperimental penentuan parameter pemesinan yang optimal. Berikut ini akan dijelaskan bagaimana hubungan antara penelitian-penelitian yang terdahulu dengan penelitian yang sekarang yang berhubungan dengan parameter pemesinan untuk mendapat *toolpath strategy* yang optimal.

2.1. Penelitian terdahulu

Persaingan antara industri manufaktur yang ada di Indonesia sangat pesat sehingga membuat setiap perusahaan manufaktur berusaha untuk melakukan proses perbaikan seoptimal mungkin agar mereka dapat menghasilkan sebuah produk yang sesuai dengan permintaan konsumen dan mampu bersaing dengan kompetitor lainnya.

Adriano Fegali de Souza dkk. (2014) dalam jurnalnya yang berjudul *Evaluating the roughness according to the toolpath strategy when milling free form surfaces for mold application* membahas tentang *mold* manufaktur yang mempunyai pengaruh langsung terhadap *lead time*, biaya, dan kualitas dari produk plastik. Untuk mengerjakan *mold* tersebut melalui proses *milling*, namun dalam hasilnya *mold* harus memiliki kekasaran permukaan yang halus dimana kekasaran tersebut biasanya dicapai dengan *finishing* menggunakan tangan atau manual. Kemudian beliau melakukan penelitian mencapai *finishing* yang halus dengan menggunakan mesin CNC HSM dengan dibantu oleh pemilihan *toolpath strategy* yang tepat dan optimal sehingga hasil dari penelitiannya menunjukkan bahwa *toolpath strategy* memiliki pengaruh yang besar pada waktu *milling*, kekasaran permukaan, dan waktu *finishing* tangan dan juga menunjukkan parameter kekasaran tradisional tidak cukup untuk mengukur kekasaran dalam beberapa aplikasi.

Selain itu, untuk meningkatkan persaingan dibidang industri manufaktur, sangat penting bagi perusahaan untuk meningkatkan fleksibilitas baik dibidang desain maupun manufaktur. Mulai dari kemampuan perusahaan tersebut membuat sebuah desain yang memiliki kontur dan relief yang sangat detail sampai pada proses pemesinan yang membutuhkan waktu yang singkat. Salah satu teknologi yang dapat membantu industri dalam melakukan pengembangan produk adalah teknologi CAD/CAM yang merupakan suatu sistem yang meliputi teknologi dasar

komputer untuk melakukan desain, proses manufaktur, dan kontrol komputer (Groover,1984).

Menurut Chua dkk. (1997) CAD/CAM secara perlahan mulai berkembang di industri *ceramic tableware*. Kecepatan yang relatif tinggi untuk menghasilkan desain fisik dari konsep: dengan menggunakan CAD/CAM dan *Rapid Prototyping* telah menyarankan penggunaannya untuk dekorasi peralatan *ceramic tableware*. Sistem CAD/CAM, atau yang lebih khusus lagi, *Computer Aided Decoration of Ceramic Tableware* (CADOCT), dikembangkan untuk desain dan pembuatan pola yang akan didekorasi dengan *ceramic tableware*. Keunggulan dari sistem ini termasuk penghematan waktu dan biaya yang signifikan. Kontribusi utama penelitian ini adalah inovasi dari seni ke bagian atau dari konseptualisasi sampai realisasi, untuk dekorasi *ceramic tableware*.

Permasalahan yang dihadapi oleh industri manufaktur saat ini adalah kemampuan perusahaan untuk memberikan variasi produk dalam jumlah besar dengan siklus pengembangan yang lebih pendek. Perbaikan proses manufaktur yang dirasa saat ini paling optimal yang dilakukan oleh perusahaan adalah dengan melakukan pemilihan *software* CAM yang sesuai, pemilihan dan penggunaan strategi pemrosesan (*toolpath strategy*) yang optimal, serta pemakaian mesin CNC beserta peralatan penunjang (Fallbohmer dkk., 2000). Sebuah mesin CNC umumnya digunakan untuk proses pembuatan sebuah produk pada perusahaan manufaktur, dan pemrograman *Numerical Control* (NC) dihasilkan secara otomatis dengan *software* CAM di industri. Proses *Milling* dengan mesin CNC digunakan secara luas di industri manufaktur karena tingkat pemotongan material yang besar dapat menghasilkan kualitas permukaan yang baik sehingga berpengaruh terhadap efisiensi mesin dan kualitas dari sebuah produk (Wang dan Chen, 2014). Dengan mengimplementasikan teknologi CAD/CAM sebuah perusahaan industri manufaktur dapat mengurangi waktu kerja atau waktu proses untuk membuat sebuah produk dan jumlah tenaga kerja yang dibutuhkan untuk proses desain dan manufaktur dapat diminimalkan (Tisza dan Racz, 1991).

Pengukuran dan penentuan parameter-parameter terbaik atau optimal dengan melakukan perancangan eksperimen digunakan untuk mempertahankan atau meningkatkan kualitas produk dibutuhkan. Perancangan eksperimen merupakan langkah-langkah lengkap yang perlu diambil jauh sebelum eksperimen dilakukan agar supaya data yang semestinya diperlukan dapat diperoleh sehingga akan

membawa kepada analisis objektif dan kesimpulan yang berlaku untuk persoalan yang sedang dibahas (Sudjana, 1997). Perancangan eksperimen juga dapat diartikan suatu percobaan atau serangkaian percobaan dimana penyesuaian-penyesuaian tertentu dilakukan terhadap variabel input proses atau sistem, sehingga dapat diteliti dan diidentifikasi sebab-sebab perubahan dari variabel *output* (Montgomery, D.C.,1997).

Dalam melakukan penelitian yang berbasis CNC, penulis membutuhkan beberapa pustaka yang sebelumnya telah melakukan penelitian dan bagaimana hasil yang telah dicapai dalam penelitian tersebut.

Anggoro dan Yuniarto (2012) dalam penelitiannya dibidang desain produk berbasis CNC berhasil mendapatkan satu unit *prototype* konstruksi *mold base* Honda Freed Mirror berbahan baku kayu ebalta. *Brainstorming*, optimalisasi *toolpath strategy*, dan eksperimen proses manufaktur digunakan dalam penelitian ini untuk menentukan *strategy* pemesinan yang optimal. Output dari penelitian ini berupa *prototype* konstruksi *mold base* Honda Freed Mirror.

Herdhiawan (2013) dalam penelitiannya membahas tentang optimalisasi mesin CNC YCM EV1020A di Laboratorium Proses Produksi Universitas Atma Jaya Yogyakarta untuk menghasilkan *prototype core cavity* blok mesin, kepala budha, *core cavity* prambanan dan cetakan menara kudas. *Software* yang digunakan dalam penelitiannya adalah PowerShape 2012 dan PowerMill 2012. Permasalahan yang dihadapi oleh peneliti pada saat itu adalah terbatasnya material yang dapat dikerjakan di mesin Rolland Modela MDX 40R. Herdiawan melakukan optimalisasi *toolpath strategy* sehingga menghasilkan beberapa produk dengan material ebalta dan aluminium. Output penelitian yang dihasilkan berupa *prototype core cavity* blok mesin, kepala budha, *core cavity* prambanan, dan cetakan menara kudas.

Yuwono (2014) dalam penelitiannya membahas tentang penentuan *toolpath strategy* yang optimal dengan menggunakan *software* PowerMill 2014. Penentuan *strategy* pemesinan yang optimal oleh Yuwono lebih diutamakan pada waktu pengerjaan yang cepat dan kualitas hasil pemesinan. Output dari penelitian Yuwono berupa *toolpath strategy* yang optimal dengan menggunakan *vortex strategy* pada *prototype core dies stamping*.

Yasa (2015) membahas tentang pengerjaan master produk artistik dengan material logam aluminium. Produk artistik yang dikerjakan berupa gantungan kunci

yang memiliki kontur relief prambanan, ratu boko, klenteng magelang, dan produk hiasan dinding dengan relief katedral dan lawang sewu. *Software* yang digunakan adalah PowerShape 2014 dan PowerMill 2014. Dalam penelitiannya, Yasa menggunakan mesin CNC YCM 1020A dan menggunakan *strategy* terbaru dari PowerMill yaitu *Vortex Strategy Machining*. Hasil dari penelitian ini adalah waktu yang optimal untuk proses *roughing* produk-produk master artistik berbahan logam aluminium yang mempunyai kontur relief.

Anggoro P.W. & Sujatmiko. I. I. (2015) dalam jurnalnya di PT. Douulton Indonesia yang bergerak pada industri peralatan makan keramik manufaktur untuk merek internasional, yang sekarang mengembangkan *Low Sag Body* sebagai bahan baru. *Low Sag Body* memiliki 2 tujuan untuk bahan efisiensi dan setter. Masalah penelitian ini adalah bagaimana untuk menemukan desain baru yang sesuai dengan karakteristik *Low Sag Body*. *Reverse Engineering* biasanya digunakan untuk merancang dan memodifikasi produk berdasarkan produk yang ada. Dalam penelitian metode *Reverse Engineering* ini dibutuhkan peralatan *Coordinate Measuring Machine* (CMM) untuk mendapat data item piring CNN diameter 220 mm, dan mengubah data fisik ke data elektronik yang dapat diproses di software CAD-Power Shape 2015. *Output* dari penelitian ini adalah desain model baru, cetakan sebagai master, dan biscuit prototipe item piring CNN diameter 220 mm yang memiliki bentuk *rolledge*.

Nugroho (2015) dalam skripnya membahas tentang bagaimana cara mengimplementasikan teknologi *Reverse Engineering* pada bidang pembuatan *ceramic wall tiles* di PT Nuansa Porcelain Indonesia sehingga dapat mempercepat proses desain master produk dari *ceramic tiles*. Implementasi *Reverse Engineering* diharapkan akan membuat pengerjaan *master* produk keramik dinding selesai lebih cepat menjadi hitungan minggu atau hari daripada perkiraan sebelumnya. Metode yang digunakan adalah metode kreatif di lihat dari ornamen yang dipesan memiliki desain yang *artistic* sehingga proses desain diperlukan pikiran-pikiran yang kreatif. Bermodal foto pilihan dari takmir masjid, penulis ingin membandingkan ornamen yang ada dalam foto tersebut dengan perkembangan ornamen *Islamic* yang ada agar sejalan dengan unsur utama yang ada dalam ornamen *islamic*.

2.1.1. Penelitian Sekarang

Dari penelitian-penelitian terdahulu, diketahui bahwa penelitian tentang proses CAM untuk pembuatan master cetakan keramik dinding menggunakan material gipsum kuning dan mesin CNC masih sangat jarang dilakukan, hanya sampai pada proses pembuatan CAD saja. Penelitian saat ini dilakukan di PT. Nuanza Porcelain Indonesia dan di Laboratorium Proses Produksi Universitas Atma Jaya Yogyakarta untuk mendapatkan *cutting parameters condition* yang optimal yang waktu proses *machining* yang tercepat dan kualitas dari kontur relief yang detail. Selain itu ditemukan adanya perbedaan dimana pada penelitian terdahulu banyak menggunakan material berbahan dasar logam dan kayu ebalta untuk membuat cetakan yang membutuhkan waktu yang cukup lama dalam proses pemesinannya dikarenakan material yang digunakan memiliki tingkat kekerasan yang tinggi. Sedangkan pada penelitian yang sekarang, peneliti menggunakan material berbahan dasar gipsum kuning untuk mendapatkan *toolpath strategy* yang optimal pada proses pembuatan *core & cavity* cetakan master keramik dinding dengan menggunakan Metode *Desain of Eksperiment Taguchi* untuk membuat desain *orthogonal array* penelitian.

Tabel 2. 1. Perbedaan penelitian terdahulu dengan penelitian sekarang

Deskripsi Peneliti	Objek Penelitian	Software yang Digunakan	Material	ToolpathStrategy	Metode Penelitian	Output Penelitian
Anggoro dan Yuniarto (2012)	Simulasi Pemesinan, <i>prototype</i> konstruksi <i>mold</i> <i>base Honda</i> <i>Freed Mirror</i> dengan menggunakan material ebalta	PowerSHAPE 2012 dan PowerMILL 12	Ebalta & green resin	Offset dan Optimized Constan Z	<i>Brainstorming</i> , <i>optimalisasi toolpath</i> <i>strategy</i> , dan ekperimen proses manufaktur digunakan untuk menentukan <i>strategy</i> pemesinan yang paling optimal	<i>Strategy</i> pemesinan yang optimal untuk <i>prototype</i> konstruksi <i>mold</i> <i>base Honda</i> <i>Freed Mirror</i> .
Herdiawan (2013)	Optimalisasi penggunaan mesin CNC YCM EV1020A untuk menghasilkan prototype ArtCAM dengan material alumunium	PowerSHAPE 2012 dan PowerMILL 12	Ebalta & alumunium	Offset, Shade and shalow dan Optimized Constan Z	<i>Optimalisasi</i> <i>toolpath strategy</i> , dan ekperimen proses manufaktur digunakan untuk menentukan <i>strategy</i> pemesinan yang paling optimal.	<i>Strategy</i> pemesinan yang optimal untuk <i>prototype core</i> <i>cavity</i> blok mesin, kepala budha, prambanan dan menara kudus.

Lanjutan Tabel 2. 1. Perbedaan penelitian terdahulu dengan penelitian sekarang

Deskripsi Peneliti	Objek Penelitian	Software yang Digunakan	Material	Toolpath Strategy	Metode Penelitian	Output Penelitian
Yuwono (2014)	Simulasi Pemesinan <i>conventional</i> dan <i>vortex strategy</i> , kualitas permukaan <i>prototype</i>	PowerSHAPE 2014 dan PowerMILL 14	Ebalta & Steel-Star	<i>Offset,</i> <i>Optimized</i> <i>Constan Z</i> dan <i>Vortex</i>	Metode pemilihan berdasarkan waktu proses tercepat dan kualitas yang optimal menggunakan fasilitas simulasi <i>toolpath</i> pada PowerMILL 14	<i>Strategy</i> pemesinan yang optimal dengan menggunakan <i>vortex strategy</i> pada <i>prototype</i> <i>core dies stamping</i> .
Yasa (2015)	Optimalisasi penggunaan mesin CNC YCM EV1020A untuk menganalisis hasil master cetakan produk artistic dengan material aluminium	PowerSHAPE 2014 dan PowerMILL 14	aluminium	<i>Model area</i> <i>clearance</i> <i>(vortex),</i> <i>strategy step</i> <i>and shallow</i> <i>finishing</i> dan <i>3D offset</i> <i>finishing</i>	<i>Brainstorming,</i> <i>optimalisasi toolpath</i> <i>strategy,</i> dan ekperimen proses manufaktur digunakan untuk menentukan <i>strategy</i> pemesinan yang paling optimal berbahan aluminium	<i>Strategy</i> pemesinan yang optimal untuk mendapatkan master produk cetakan souvenir logam artistic berbahan aluminium

Lanjutan Tabel 2. 1. Perbedaan penelitian terdahulu dengan penelitian sekarang

Deskripsi Peneliti	Objek Penelitian	Software yang Digunakan	Material	Toolpath Strategy	Metode Penelitian	Output Penelitian
Anggoro P.W. & Sujatmiko. I. I.(2015)	Menemukan desain baru yang sesuai dengan karakteristik <i>Low Sag Body</i> untuk membuat piring CNN	<i>ArtCAM 2015</i>	<i>Low Sag</i>	Tidak ada	Metode kreatif dengan menggunakan teknologi <i>Reverse Engineering</i> dan CMM	Desain model baru, cetakan sebagai master, dan biscuit prototipe item piring CNN diameter 220 mm yang memiliki bentuk <i>rolledge</i>
Nugroho (2015)	Bagaimana mengimplementasikan teknologi CAD/CAM untuk menghasilkan keramik dinding dengan arsitektur Ornamen <i>Islamic</i>	<i>ArtCAM2015</i>	<i>Verowhite</i> dan <i>Support</i>	Tidak ada	Metode kreatif dengan menggunakan teknologi <i>Reverse Engineering</i> dan <i>Rapid Prototyping</i>	Master produk cetakan souvenir logam artistic berbahan aluminium

Lanjutan Tabel 2. 1. Perbedaan penelitian terdahulu dengan penelitian sekarang

Deskripsi Peneliti	Objek Penelitian	Software yang Digunakan	Material	Toolpath Strategy	Metode Penelitian	Output Penelitian
Peneliti Sekarang (2016)	Optimalisasi <i>toolpath strategy</i> dan penggunaan mesin CNC YCM EV1020A untuk menganalisis hasil master cetakan produk <i>ceramic wall</i> bernuansa <i>Islamic</i>	<i>PowerSHAPE</i> 2016 dan <i>PowerMILL2016</i>	Gypsum Kuning	<i>Model area clearance, strategy step and shallow finishing, constan Z finishing, dan 3D offset finishing</i>	<i>Brainstorming,</i> <i>optimalisasi toolpath strategy</i> berdasarkan waktu proses tercepat dan kualitas yang optimal menggunakan fasilitas simulasi <i>toolpath</i> pada software <i>PowerMILL2016</i>	<i>Cutting parameters condition</i> yang optimal untuk mendapatkan master cetakan <i>ceramic wall</i> berornamen <i>islamic</i> yang telah disimulasikan di PowerMill 2016.

2.2. Dasar Teori

2.2.1. Ceramic

Ceramic (pottery) merupakan salah satu dari sekian banyak kerajinan tertua di dunia. Pada ribuan tahun lalu keramik dibuat oleh orang-orang Mesir di sekitar sungai Nil. Kata keramik sendiri berasal dari bahasa Yunani "*keramos*" yang berarti periuk atau belanga yang dibuat dari tanah (Ambar Astuti 2008). Sedangkan yang dimaksud dengan barang/bahan keramik ialah: semua barang /bahan yang dibuat dari bahan-bahan tanah/batuan silikat dan proses pembuatannya melalui pembakaran pada suhu tinggi. Tanah liat sebagai bahan pokok pembuatan keramik dan itu sangat menguntungkan manusia karena bahannya mudah didapat dan penggunaannya sangatlah beragam.

Penggolongan badan tanah liat sebagai bahan keramik dapat dibagi menurut struktur, serta macam suhu pembakaran, dan dapat pula bergelasir atau tidak.

a. *Earthenware* (gerabah)

Dibuat dari tanah liat yang menyerap air, dibakar pada suhu rendah antara 900°C - 1060°C. Pada saat pembentukan mempunyai sifat yang plastis sehingga kekuatannya cukup kuat, namun setelah pembakaran kekuatannya berkurang dan sangat berpori. Yang termasuk dalam golongan ini adalah gerabah merah dimana sebagai bahan pembuatan bata merah.

b. *Terracotta*

Merupakan jenis badan tanah liat merah juga. Nama *terracotta* berasal dari bahasa Italia yang berarti "tanah bakaran". Dengan penambahan pasir, atau *grog/chamotte*, badan ini dapat dibakar sampai suhu stoneware (1200°C-1300°C)

c. Gerabah Putih

Adalah jenis gerabah berwarna putih, memiliki badan kuat, dan dapat dibakar pada suhu tinggi 1250°C. Badan ini bersifat cukup plastis sehingga penggunaannya dapat dilakukan dengan cara diputar, menggunakan *jigger*, atau dituang (*casting*).

d. Stoneware

Memiliki badan yang padat lebih kuat daripada gerabah, serta warnanya gelap seperti batu. Jenis ini dapat dibakar pada suhu medium 1150°C yaitu suhu *stoneware* merah, namun juga dapat dibakar suhu tinggi 1250°C yaitu jenis *stoneware* abu-abu. Untuk pembuatannya dapat digunakan secara murni tanpa campuran, atau dapat dicampur dengan *ball clay*, kaolin, *feldspat* dan *chamotte*.

e. *Porcelain*

Suatu jenis badan yang berteksture halus, putih, dan keras bila dibakar. Badan dapat menjadi transparan bila dibakar, tergantung dari ketebalan komposisinya. Badan ini dapat dibakar pada suhu tinggi 1250°C untuk jenis porselen lunak dan dapat juga dibakar pada suhu yang sangat tinggi diatas 1400°C untuk porselen keras. Poreselen banyak digunakan untuk barang-barang keramik industri, karena kekuatannya yang baik. Badan ini dapat dibuat dari campuran kaolin, *feldspat*, *silica*, dan dibentuk dengan teknik tuang (*casting*).

f. *Bone China*

Badannya khusus dipersiapkan dengan transparansi, tingkat ketipisan, putih, halus, dan kekuatannya yang bagus merupakan ciri khusus badan ini. Kualitas yang baik ini dapat dicapai karena kandungan *bone* (tulang) yang telah dikalnisir (bakar pada suhu rendah kemudian digiling halus), yang bertindak sebagai *flux* (penurun suhu) pada badan, dan membuat melebur pada substansi yang keras seperti gelas pada suhu lebih dari 1240°C. Penggunaannya dapat dilakukan dengan cara dituang (*casting*) atau diputar meskipun agak sulit karena sifatnya yang kurang plastis. Untuk teknik pembakarannya biasanya dibakar dengan dua tahapan. Yang pertama dibakar pada suhu dimana mencapai titik matangnya yang akhirnya menjadi *biscuit*. Tahapan berikutnya dibakar gelasir dengan suhu antara 1040°C-1080°C.

g. Raku

Jenis khusus dari badan keramik yang dikembangkan oleh seniman keramik Jepang pada jaman dahulu. Badannya harus mengandung banyak pasir atau *grog*, karena harus tahan terhadap perbedaan suhu selama proses pembakaran. Badan ini dapat digunakan dengan teknik pencetakan dengan diputar atau dengan tangan. Suhu rata-rata yang digunakan untuk membakar raku adalah 750°C-1000°C.

2.2.2. Computer Aided Manufacturing (CAM)

Penerapan sistem CAM keseluruhan menyebabkan peningkatan efisiensi proses manufaktur. CAM juga digunakan dalam sektor manufaktur furnitur, dan bidang-bidang lainnya seperti teknik mesin, teknik otomotif, teknik elektronik, konstruksi/properti, dan industri pesawat terbang. Tujuan utamanya adalah untuk menciptakan proses produksi dan komponen yang lebih cepat dan perkakas dengan dimensi dan konsistensi material yang lebih tepat, yang dalam beberapa kasus hanya menggunakan jumlah bahan baku yang dibutuhkan (dengan demikian meminimalkan limbah), sekaligus mengurangi konsumsi energi.

Keuntungan dari penggunaan CAM adalah dapat bekerja pada sistem yang ada pada komputer melalui software tertentu sehingga kita dapat mengetahui dan mengoreksi apabila ada kesalahan yang terjadi pada saat proses pembuatan suatu produk dengan mudah dan cepat. Manfaat lain yang signifikan dari penggunaan CAM adalah penyesuaian proses manufaktur untuk menciptakan desain baru yang sesuai dengan permintaan *customer*. Saat ini banyak produk-produk hasil industri manufaktur yang bervariasi dan dapat dibayangkan sangat sulit apabila semuanya harus dikerjakan secara manual. Oleh karena itu, industri modern saat ini sudah banyak memanfaatkan teknologi komputer untuk melakukan pekerjaan-pekerjaan yang tidak mungkin dilakukan manusia.

Computer Aided Manufacturing adalah sebuah sistem yang menggunakan teknologi komputer untuk mengendalikan operasi manufaktur mulai dari mengontrol *tools* mesin ataupun bagian mesin lainnya yang berhubungan dengan proses pemesinan. Di bidang industri, komputer telah dipergunakan untuk mengendalikan mesin-mesin produksi dengan kecepatan tinggi. CAM bertujuan untuk menghasilkan sebuah produk dengan waktu yang lebih cepat, serta ukuran yang presisi dan juga mengurangi kebutuhan material mentah (*raw material*) dan konsumsi energi. CAM merupakan proses setelah pemodelan menggunakan CAD atau CAE. Model yang telah dibuat selanjutnya akan diproses menggunakan *software* CAM yang akhirnya menjadi perintah untuk mengontrol *tools* mesin.

CAM menggunakan komputer-komputer dalam kendali dan operasi pabrikasi. Ada dua aplikasi utama untuk *Computer Aided Manufacturing*, yaitu :

1. Dimana komputer secara langsung mengendalikan suatu operasi pabrikasi.
2. Dimana komputer itu digunakan untuk mendukung proses pabrikasi, sebagai contoh *Numerical Control*.

Secara tradisional, CAM telah dianggap sebagai alat *Numerical Control* (NC), di mana dalam model komponen dua dimensi (2D) atau tiga dimensi (3D) yang dihasilkan dalam CAD, CAM tidak menghilangkan kebutuhan akan profesional yang terampil seperti insinyur manufaktur, pemrogram NC, atau operator. CAM sebenarnya memanfaatkan nilai profesional manufaktur yang paling terampil melalui alat produktivitas tingkat lanjut, sambil membangun keterampilan profesional baru melalui alat visualisasi, simulasi, dan pengoptimalan. Bagi pengguna yang baru memulai sebagai pengguna CAM, kemampuan *out-of-the-box* yang menyediakan Proses *Wizards*, template, perpustakaan, peralatan mesin,

mesin berbasis fitur otomatis dan fungsi kerja antarmuka pengguna yang mudah disesuaikan membuat kepercayaan pengguna dan mempercepat Kurva belajar. Kepercayaan pengguna dibangun lebih lanjut pada visualisasi 3D melalui integrasi yang lebih dekat dengan lingkungan 3D CAD, termasuk simulasi dan pengoptimalan kesalahan.

2.2.3. Computer Numerical Control (CNC)

Computer Numerical Control (CNC) adalah hasil pengembangan dari *Numerical Control (NC)*. CNC merupakan peralatan elektronikal yang membaca dan menginstruksikan program instruksi dan mengubahnya menjadi tindakan mekanikal pada peralatan mesin dengan menggunakan *micropocessor* sebagai unit pengontrol.

Mesin-mesin perkakas yang menggunakan CNC disebut dengan mesin CNC. Untuk mengoperasikan mesin-mesin CNC diperlukan *software*. *Software* digunakan untuk *operating system* menginterpretasikan program korespondensi antara control mesin. *Machine interface* mengoperasikan *link* antara NC dan membangkitkan sinyal dengan drive dari *software* digunakan untuk komputer dan mesin CNC sehingga mesin dapat beroperasi. Mesin CNC terhubung dengan komputer tidak hanya memungkinkan operator untuk menjalankan program tetapi juga memodifikasi program tersebut, baik setelah diinputkan ataupun dijalankan.

2.2.4. PowerMill 2016

Software CAM yang digunakan adalah PowerMill 2016 yang merupakan hasil produksi dari DELCAM dimana perusahaan tersebut merupakan salah satu perusahaan yang menyediakan *software CAD/CAM* yang terkemuka di dunia. Pada *software* PowerMill 2016 telah dilakukan penyempurnaan pada *strategy roughing* maupun *strategy finishing*. Dimana hasil penyempurnaan ini mampu didapatkan hasil pengerjaan yang lebih halus dan lebih cepat dibandingkan *software* PowerMill versi sebelumnya. PowerMill dapat mengambil gambar dari *software design* yang lain seperti IGES, STEP, Catia, UG, ProEngineer, Rhino, dan lain-lain dalam bentuk *format* IGES, VDA, STL. Output dari PowerMill berupa simulasi permesinan, G-Code, dan waktu permesinan. Pada PowerMill terdapat *Toolpath Stategy* yang 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 antarlain adalah *2.5D Area Clearance*, *3D Area Clearance*, *Blisk*, *Drilling*,

Favourite, Finishing dan Port. Disetiap sub menu tersebut terdiri dari berbagai macam strategi pergerakan *cutter* yang dapat kitapilih.

2.2.5. Milling

Pengerjaan perataan permukaan dengan menggunakan mesin frais atau juga biasa disebut dengan mesin milling adalah proses yang menghasilkan chips (beram). Milling menghasilkan permukaan datar atau berbentuk profil pada ukuran yang ditentukan dan kehalusan atau kualitas permukaan yang ditentukan. Ada dua tahapan umum pengerjaan dalam proses milling, yaitu proses pengerjaan *roughing* dan *finishing*. Proses *roughing* adalah tahap awal sebelum masuk ke tahap *finishing* dalam proses pemesinan. *Finishing* bertujuan untuk hasil akhir yang halus, sempurna, dan akurat maka *roughing* bertujuan untuk membentuk materi mentah dalam waktu yang singkat, dengan cakupan wilayah pemakanan yang luas pada material.

Terdapat beberapa faktor yang perlu diperhatikan dalam memulai proses pemesinan milling, yang pertama memilih material dan ukuran cutter, dimensi benda kerja, desain yang diinginkan, dan jenis pengerjaan (*roughing* atau *finishing*). Yang kedua, menentukan parameter-parameter proses pemesinan, seperti :

1. *Feedrate* (mm/min) adalah pilihan untuk mengatur kecepatan pemakanan atau *feeding* dari jalannya *cutter*.
2. *Spindle Speed* (rpm), kecepatan putaran dari *spindle*. *Spindle speed* ditentukan dengan mempertimbangkan besaran *feedrate* dan diameter *cutter* yang digunakan saat melakukan proses pemesinan.
3. *Deep of Cut* (mm) adalah besarnya kedalaman pemakanan dari *cutter* saat pengerjaan milling dilakukan pada benda kerja.

2.2.6. Cutter

Cutter pada mesin *milling* mempunyai bentuk silindris, berputar pada sumbunya yang dilengkapi dengan gigi melingkar yang seragam. Keuntungan *cutter* dibandingkan pahat bubut dan pahat ketam adalah setiap sisi potong dari pisau frais mengenai benda kerja hanya dalam waktu yang singkat pada proses pemotongan selama satu putaran pisau frais.

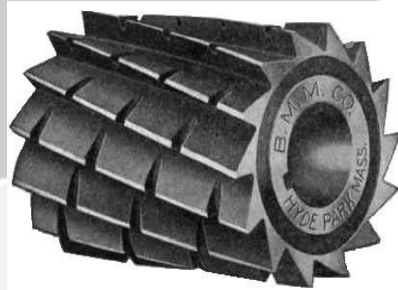
Cutter biasanya terbuat dari *HSS* maupun *Carbide Tripped*. Gigi *cutter* ada yang lurus maupun ada yang mempunyai sudut, untuk yang bersudut (*Helix angle*) dapat mengarah ke kanan dan ke kiri. Gigi *cutter* ada yang merupakan kesatuan

dengan badan cutter dan ada juga yang dilepas dari badan *cutter*. Gigi *cutter* yang dapat dilepas disebut *insert*. *Insert* ini 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 pengerjaan horizontal dari permukaan datar.



Gambar 2. 1. 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*

Pemotongan dengan menggunakan sisi muka, digunakan untuk pengerjaan dua permukaan yang tegak lurus. Pada *cutter* ini panjangnya lebih besar dari diameter dan hal yang harus diingat adalah tidak boleh memasang *cutter* terbalik.



Gambar 2. 2. 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 untuk pengerjaan ringan (pemakanan kecil). Pisau ini pendek dan mempunyai sisi potong pada bagian yang melingkar dan bagian sisi mukanya,

seperti *shell end mill cutter*. Dalam jenis ini ada yang disebut *Carbide Tripped Face Mill Cutter*, keistimewaan pisau ini adalah tentang kemudahan penggantian sisi potongnya.

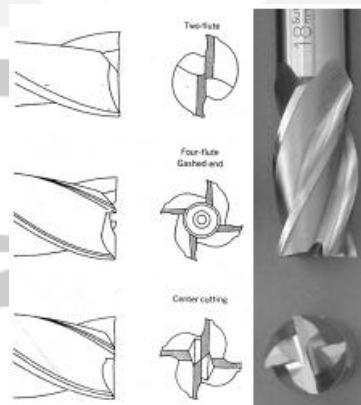


Gambar 2. 3. Face Mill Cutter

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

d. *EndMill Cutter*

Tipe dari pisau frais ini didesain untuk penyayatan kebanyakan pada bagian ujung muka, ujung dari gigi-gigi diteruskan sepanjang sisinya dengan jarak sekitar dua kali diameternya.



Gambar 2. 4. 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*

Ballnose Cutter merupakan solusi untuk pengerjaan Surface Countouring pada mesin milling CNC. Jenis cutter ini sangat tepat karena dapat mencapai kehalusan permukaan dalam pembuatan kontur-kontur khusus. Pada ujung cutter ballnose

ini terdapat radius yang bisa juga dipergunakan untuk filleting pada benda kerja. Terdapat bermacam-macam ballnose yang terdapat pada mesin milling.



Gambar 2. 5. Ballnose Cutter

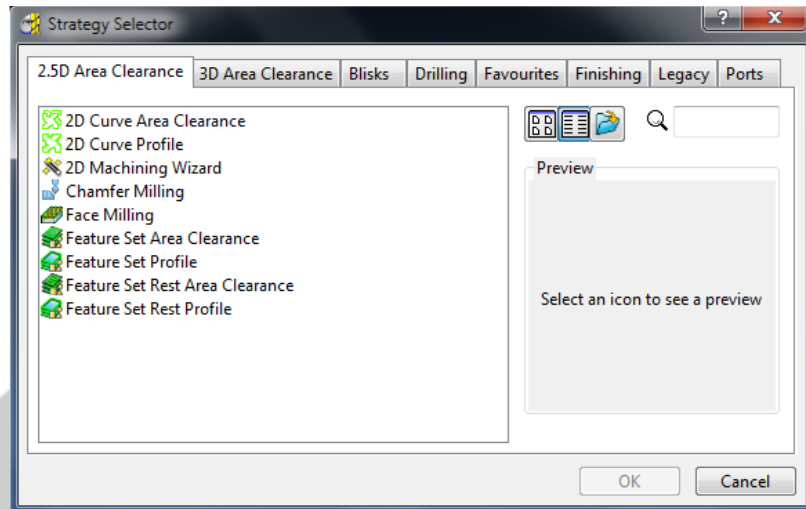
(Sumber : *Machine Tool Practice sixth edition*, Kibbe, R.R, Neely, J.E, Meyer, R.O, White, W.T., 2003)

2.2.7. Toolpath Strategy

Toolpath strategy merupakan salah satu menu tool yang ada di PowerMILL yang 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 strategi pergerakan *cutter* yang dapat kita pilih. *Toolpath Strategy* ini antara lain adalah :

1. 2,5D Area Clearance

Di dalam *2,5D Area Clearance* terdapat sembilan *toolpath strategy* yaitu *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 Toolpath Strategy* ini kita tidak dapat melakukan proses pengerjaan secara 3D, karena dalam *2,5D Area Clearance* ini pergerakan *cutter* hanya melakukan pemakanan hanya sebatas pada sisi terluar dari material dan tidak melakukan pemakanan sedikitpun pada material.

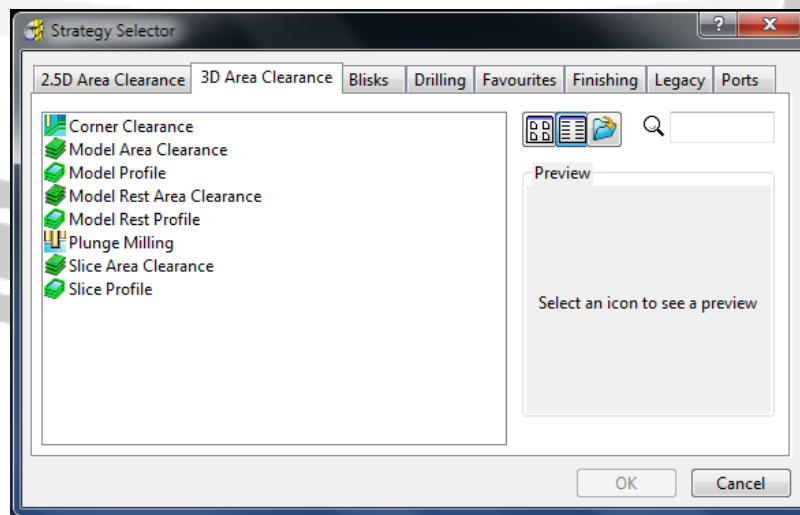


Gambar 2. 6. Strategy 2.5D Area Clearance

(Sumber : Delcam Plc, PowerMILL, 2016)

2. 3D Area Clearance

Di dalam Toolpath Strategy 3D Area Clearance ini terdapat delapan pola *Toolpath Strategy*. *3D Area Clearance* ini biasanya hanya digunakan sebagai strategi dalam proses *roughing*. Hal ini dikarenakan pola pergerakan dari *3D Area Clearance* ini dikhususkan untuk memangkas material yang masih utuh. Pola pergerakan *3D Area Clearance* tidak sedetail *Toolpath* yang digunakan untuk *finishing*.

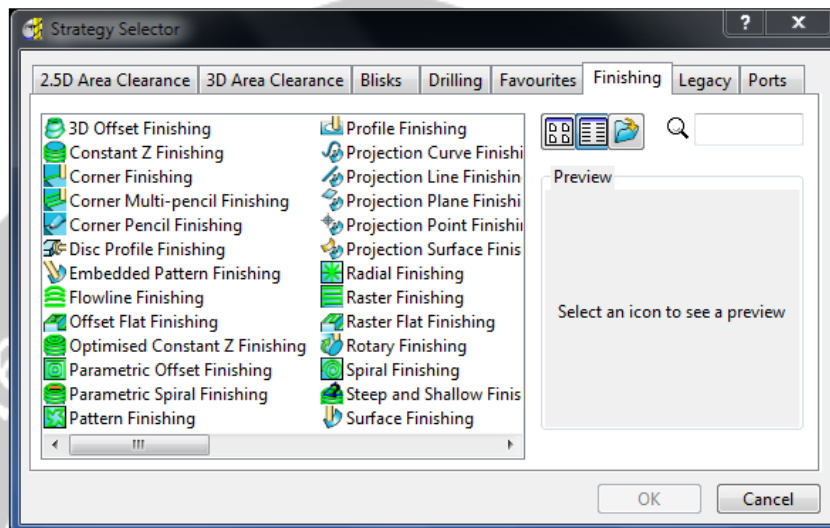


Gambar 2. 7. Strategy 3D Area Clearance

(Sumber : Delcam Plc, PowerMILL, 2016)

3. *Finishing*

Kelompok *Toolpath Strategy* selanjutnya adalah *Finishing*. Walaupun merupakan kelompok *Toolpath strategy finishing*, namun *Toolpath* ini juga dapat digunakan sebagai *Toolpath* untuk proses pengerjaan *semifinishing*.



Gambar 2. 8. Strategy Finishing

(Sumber : Delcam Plc, PowerMILL, 2016)

Dalam *Toolpath strategy Finishing* ini terdapat dua puluh sembilan *Toolpath strategy* dengan pola pergerakan *cutter* yang berbeda. *Toolpath* itu antara lain adalah *3D offset finishing*, *ConstantZ Finishing*, *Corner Along Finishing*, *Corner Automatic Finishing*, *Corner Multi Pencil Finishing*, *Corner Pencil Finishing*, *Corner Stitch Finishing*, *Disc profile finishing*, *Embedded Pattern Finishing*, *Interleaved Constant Z Finishing*, *Offset Flat Finishing*, *Optimized Constant Z Finishing*, *Parametric Offset Finishing*, *Pattern Finishing*, *Profile Finishing*, *Projection Curve Finishing*, *Projection Line Finishing*, *Projection Plane Finishing*, *Projection Point Finishing*, *Projection Surface Finishing*, *Radial Finishing*, *Raster Finishing*, *Raster Flat Finishing*, *Rotary Finishing*, *Spiral Finishing*, *Surface Finishing*, *Swarf Finishing*, *wireframe profile finishing*, dan yang terakhir adalah *wireframe swarf finishing*.

Penelitian ini lebih melihat hasil akhir simulasi dari setiap *toolpath strategy* yang telah dibuat karena tujuan dari penelitian ini adalah menghasilkan *toolpath strategy* yang optimal dari segi waktu dan kualitas dari kontur relief setiap produk sehingga pada saat masuk ke proses pemesinan tidak ada error yang terjadi. Berikut ini,

beberapa penjelasan faktor-faktor parameter pemesinan yang mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap hasil pemesinan:

1. *3D Offset Area Clearance*

Pada *Model Area Clearance*, pergerakan *cutter* mengikuti pola dari area yang akan mengalami proses pemesinan. Pola pergerakan *Toolpath* ini cukup menghemat waktu dan mempercepat waktu pemesinan karena *cutter* hanya bergerak hanya pada area yang diperlukan.

2. *Raster Finishing*

Toolpath Raster Finishing merupakan *toolpath* yang dapat digunakan untuk proses pengerjaan *semi finishing* dan *finishing*. *Raster Finishing* memiliki pola pergerakan melakukan pemakanan ke semua bidang material dengan pergerakan *cutter* bergerak ke kiri dan ke kanan hingga membentuk suatu model. Kelemahan dari *toolpath* ini adalah proses pengerjaan memakan waktu yang cukup lama karena melakukan pemakanan ke segala area material.

3. *Optimized Constant Z Finishing*

Pola pergerakan *Toolpath Optimized Constant Z* memiliki pola pergerakan yang mirip dengan *Toolpath Interleaved Constant Z Finishing*. *Toolpath Interleaved Constant Z Finishing* merupakan penyempurnaan dari *Toolpath Optimized Constant Z Finishing* yang sudah ada pada PMill versi 6.0.

4. *Steep and Shallow Finishing*

Toolpath strategy ini merupakan alternatif dan pengembangan dari *toolpath strategy Optimized Constant Z Finishing* yang menggabungkan antara sudut ambang dari *3D Offset* dan *Constant Z* sehingga untuk pemakanan pada bagian irisan dari sudut yang tidak dapat dikerjakan oleh *3D Offset* dan *Constant Z* dapat dikerjakan dengan sempurna.

2.2.8. Numerical Control

Numerical Control (NC) adalah suatu bentuk dari sistem terotomasi yang menggunakan variabel input untuk mengontrol jalannya peralatan produksi. Variabel input ini berupa serangkaian kode berisi angka, huruf, dan simbol yang mendefinisikan sebuah program instruksi untuk menjalankan suatu pekerjaan. Program instruksi akan berubah sesuai dengan perubahan yang terjadi pada suatu pekerjaan. Kemampuan NC untuk merubah program sesuai dengan pekerjaan menyebabkan NC cocok digunakan untuk produksi dengan volume

rendah dan sedang. Aplikasi dari *Numerical Control* terbagi dalam dua kategori, yaitu :

- a. Aplikasi pada *machine tool*, seperti pada mesin *drill*, mesin *milling*, dan mesin-mesin perkakas yang lain.
- b. Aplikasi pada non *machine tool*, misalnya pada *assembly*, *drafting*, dan inspeksi.

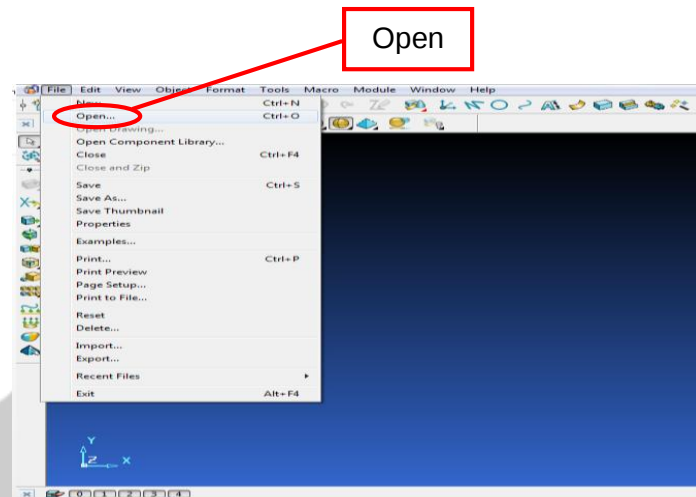
Komponen utama dari sistem *Numerical Control* adalah program instruksi, *machine control unit*, dan peralatan produksi.

Program instruksi merupakan detail tiap langkah perintah yang ditujukan untuk menjalankan mesin. Program instruksi ini 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.

2.2.9. Proses CAD

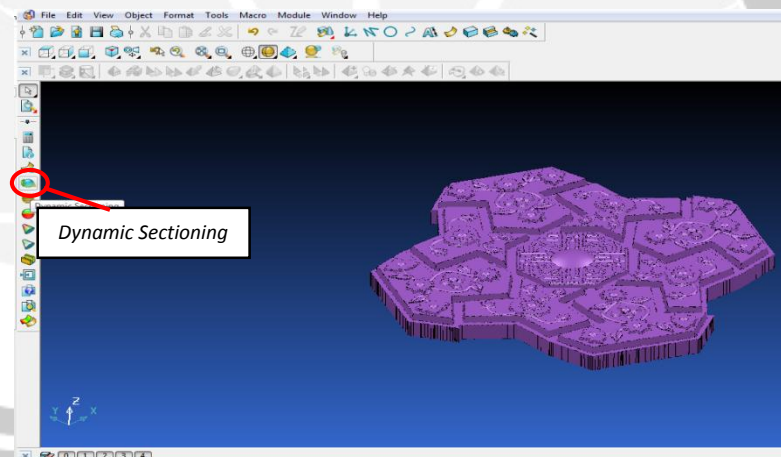
Proses CAD bertujuan untuk mendapatkan master cetakan *core & cavity* keramik dinding dengan menggunakan *software* PowerShape 2016. Gambar desain yang telah diedit sebelumnya mengalami perubahan ukuran yaitu diperbesar 15% dari ukuran aslinya karena dalam proses pembuatan keramik dinding, ukuran *clay* hasil cetakan akan menyusut sebesar 15% jika dimasukkan ke dalam *kiln* untuk dibakar.

Langkah pertama yang dilakukan untuk membuat master cetakan *core & cavity* keramik dinding adalah membuka *software* PowerShape 2016. Setelah itu, pada *menubar* pilih *File* kemudian pilih *Open*. Pilih file yang akan dibuat cetakan *core & cavity*nya.



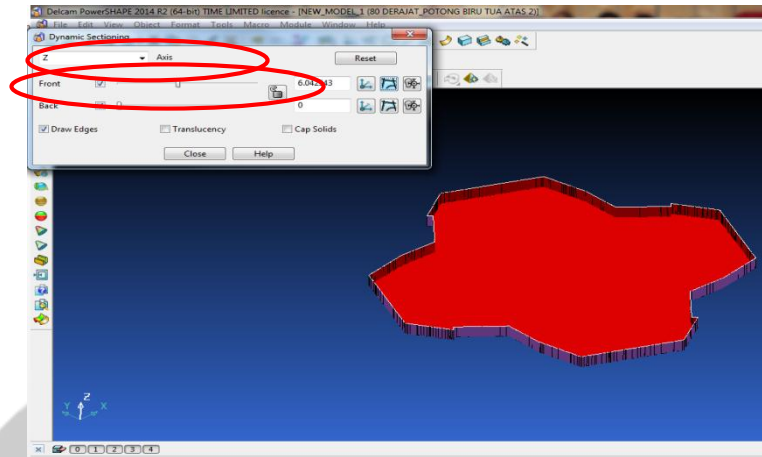
Gambar 2. 9. Proses impor model ke PowerShape

Setelah desain gambar yang akan dibuat cetakan *core & cavity*nya telah terbuka, pada *toolbar* pilih *Dynamic Sectioning* yang berfungsi untuk membuat *curve* sebagai pembatas untuk cetakan *core & cavity*.



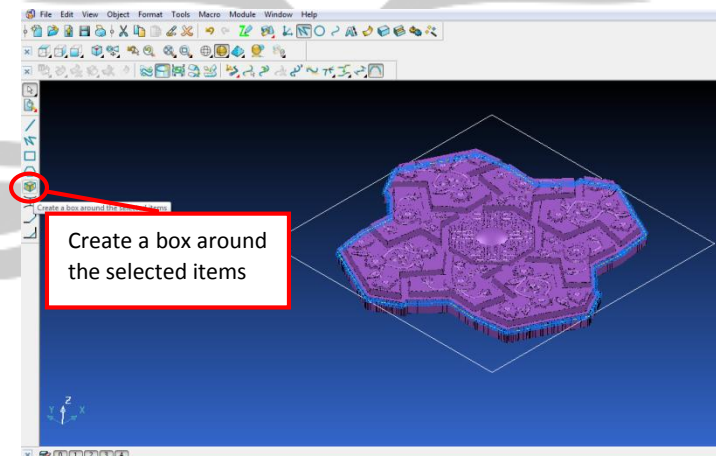
Gambar 2. 10. Proses Pembuatan Curve

Setelah *form dynamic section* terbuka, pada kolom *Axis* pilih sumbu *Z* karena untuk membuat *curve* cetakan *core & cavity* keramik dinding berdasarkan tinggi dari desain gambar tersebut. Pada kolom *Front*, diisi sesuai dengan titik teraman potongan keramik dinding agar tidak memotong kontur relief.

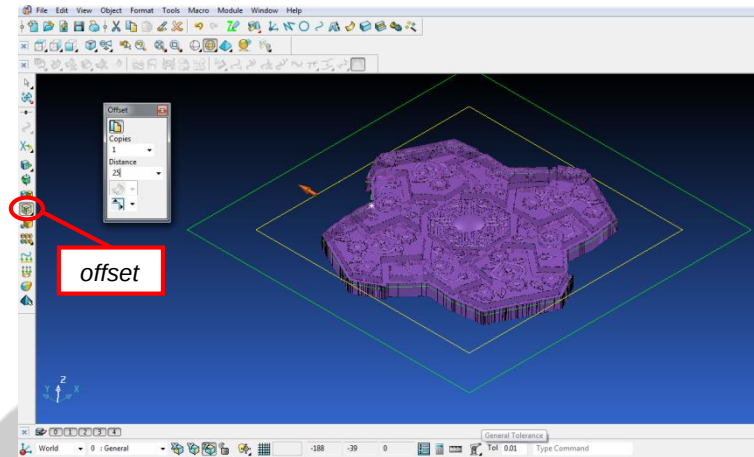


Gambar 2. 11. Form Dinamic Sectioning

Setelah *curve* dibentuk, pada menu *toolbar* pilih *create a box around the selected items* untuk mengetahui ukuran material yang dibutuhkan dalam proses pembuatan master cetakan tersebut. Ukuran yang ditampilkan, merupakan ukuran yang sesuai dengan dimensi pada gambar sehingga ukuran material yang dibutuhkan harus ditambahkan agar proses pemesinan dapat berjalan dengan aman. Untuk menambahkan ukuran *block* material yang dibutuhkan, pada *toolbar* pilih *offset*. Apabila *form offset* sudah terbuka, pada kolom *distance* masukkan ukuran yang ingin ditambahkan. Dalam hal ini, peneliti menambahkan ukuran *block* sebesar 25mm disetiap sisinya.

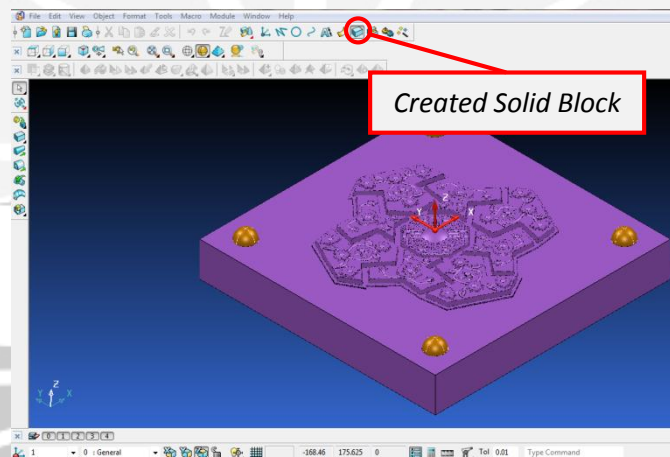


Gambar 2. 12. Proses penentuan ukuran material



Gambar 2. 13. Form Offset

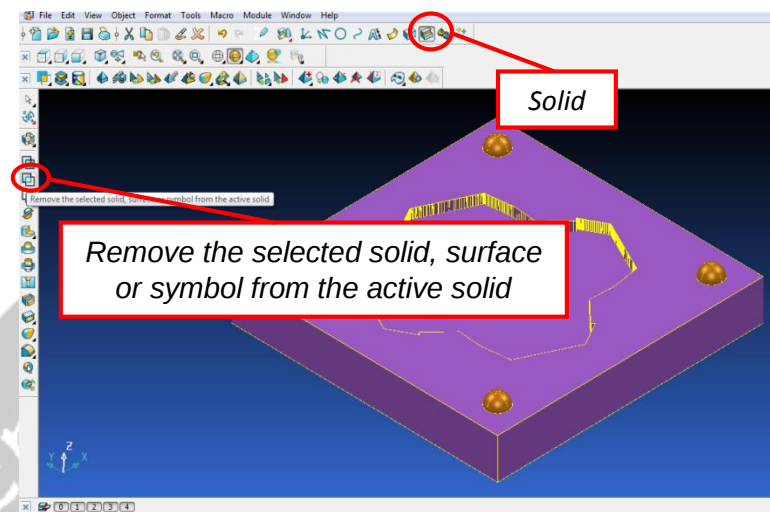
Untuk menampilkan bentuk 3D dari material *block* material yang telah dibuat, pada *menubar* pilih *Created Sold Block* yang berbentuk kotak. Dan pada *menubar* yang sama pilih *createdSold Block* yang berbentuk lingkaran untuk membuat lingkaran pada *block* yang berfungsi sebagai pengunci master cetakan *core & cavity* keramik dinding.



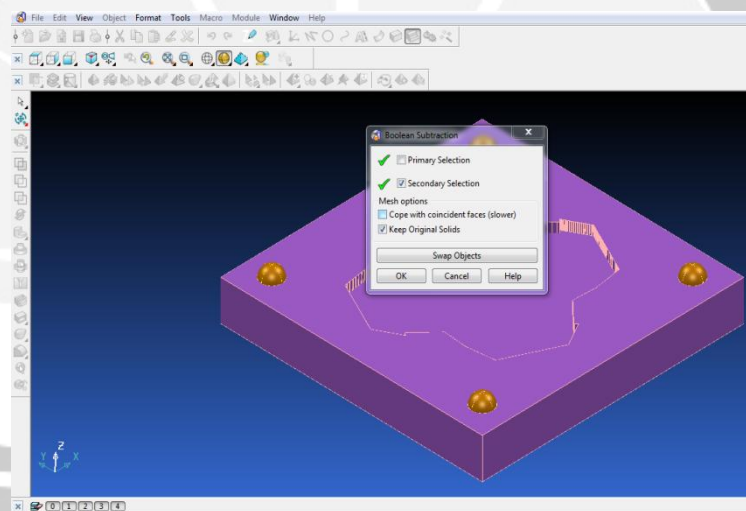
Gambar 2. 14. Proses pembuatan Block material

Block material dan pengunci yang telah dibentuk belum berbentuk solid. Untuk proses selanjutnya, desain master dan keempat penguncinya di *copy-paste* dilevel atau di *window* yang baru terlebih dahulu agar pada saat pembuatan *core* model ukurannya sama dengan *cavity* yang telah dibuat sebelumnya. Agar block material, desain master, dan keempat penguncinya menjadi solid, pada toolbar pilih *Solid* kemudian klik block material lalu pilih *Remove the selected solid, surface or symbol from the active solid*. Ketika form *Remove the selected solid, surface or symbol from the active solid* telah terbuka, klik desain master dan keempat

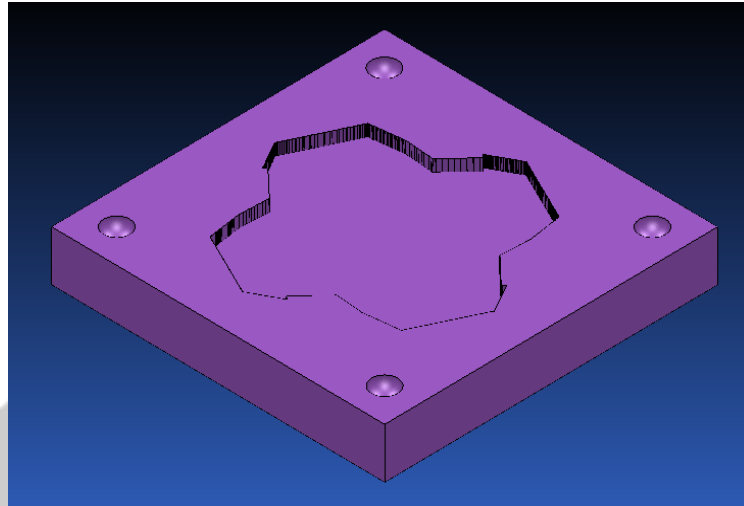
pengunci lalu centang *secondary selection* pada *form*. Model *Cavity* master keramik dinding sudah berbentuk solid.



Gambar 2. 15. Proses Solid Block

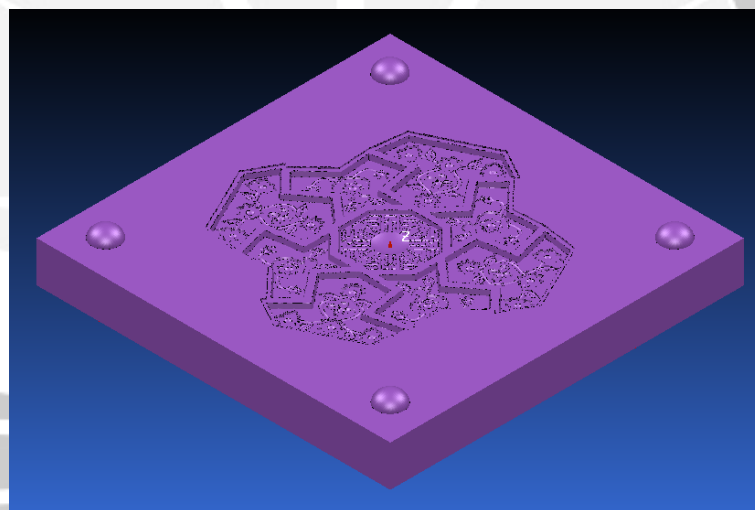


Gambar 2. 16. Remove the selected solid, surface or symbol from the active solid



Gambar 2. 17. Cavity Cetakan Keramik Dinding

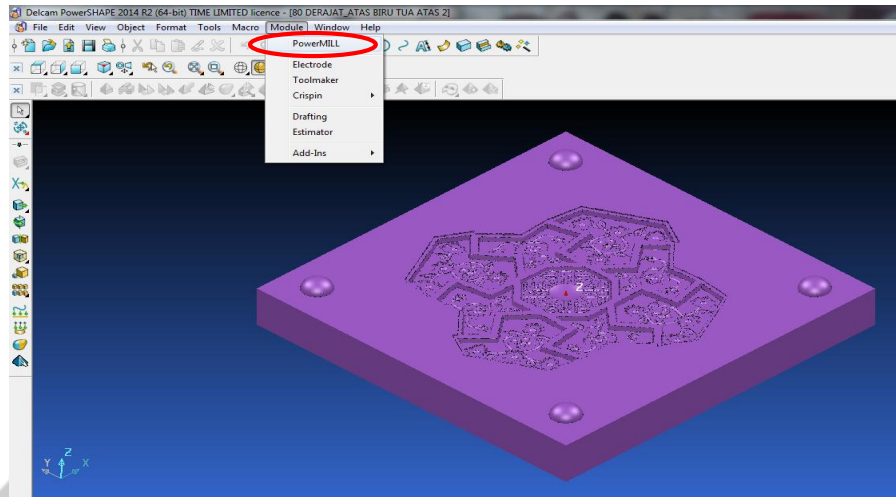
Langkah-langkah untuk pembuatan *core* sama seperti pada pembuatan *cavity* dan semua desain gambar yang telah diedit akan dibuat *core & cavity*nya sesuai dengan langkah-langkah pada proses CAD.



Gambar 2. 18. Core Cetakan Keramik Dinding

2.2.10. Proses CAM

Proses CAM dilakukan untuk mendapatkan *toolpath strategy* yang optimal dan NC program dari *toolpath* tersebut yang digunakan dalam proses pemrosesan dengan menggunakan mesin CNC. Langkah pertama yang dilakukan untuk mendapatkan *toolpath strategy* dalam proses pembuatan master cetakan keramik dinding adalah membuka file gambar yang akan dibuat *toolpath strategynya* di PowerShape. Setelah itu, pada menu Module pilih PowerMill. Gambar yang telah dipilih akan terbuka secara otomatis pada PowerMill.



Gambar 2. 19. Proses *import* model pada PowerMILL

Setelah gambar telah terbuka pada PowerMill, langkah selanjutnya adalah membuat data base *tools/cutter* yang akan digunakan. Untuk proses pembuatan *toolpath strategy* pada penelitian ini digunakan 4 macam *tools/cutter* yaitu *cutter Endmill* 4mm untuk proses *roughing*, *Ballnose* 4mm untuk proses *semifinishing*, *Ballnose* 2mm untuk proses *finishing*1, dan *Ballnose* 1mm untuk proses *finishing* 2. Ukuran *cutter* yang digunakan pada saat *machining* harus sama dengan ukuran *cutter* yang ada di Laboratorium Proses Produksi Universitas Atma Jaya Yogyakarta karena apabila ukuran *cutter* tidak sesuai, akan berdampak pada saat proses pemesinan dilakukan. *Cutter* bisa saja menabrak material yang akan di *machining* dan mengakibatkan *cutter* menjadi patah serta material mengalami kerusakan atau kecacatan.

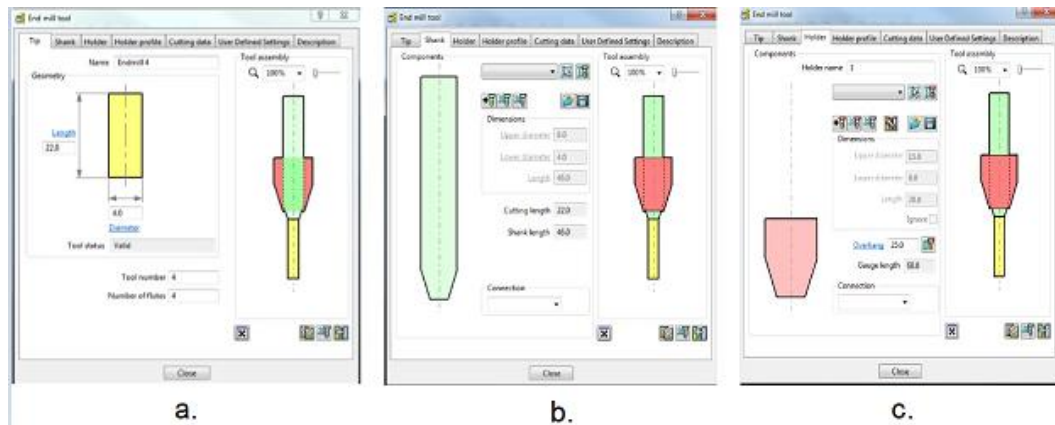
Langkah-langkah untuk membuat *cutter* adalah pada bagian pojok kiri bawah tampilan PowerMill terdapat menu toolbar tools yang menampilkan berbagai jenis *cutter* yang dapat kita pilih sesuai dengan kebutuhan proses pemesinan. Pada penelitian ini, peneliti hanya menggunakan 2 jenis *cutter* yaitu *cutter endmill* dan *ballnose*.



Gambar 2. 20. Menu *Toolbar Tools*

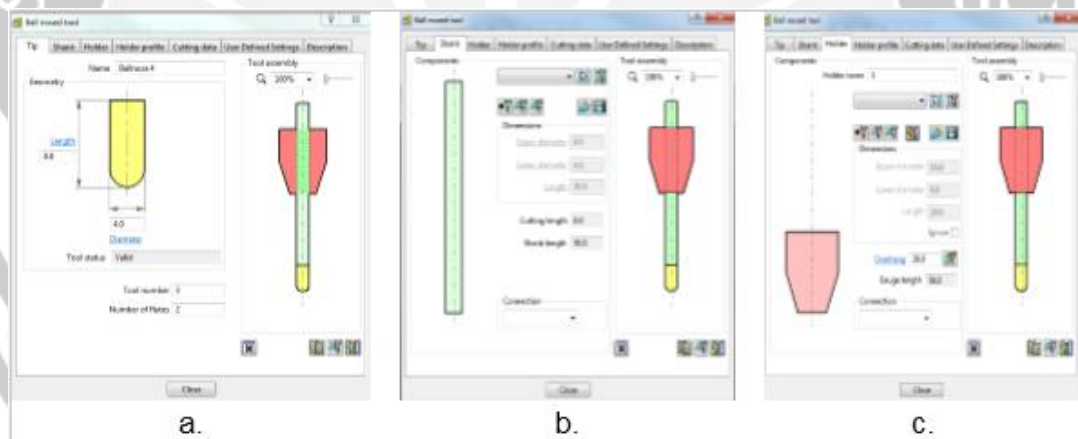
Setelah *tools* dipilih maka akan muncul *form* untuk pembuatan *cutter* yang harus diisi sesuai dengan kondisi *cutter* yang ada di Laboratorium Proses Produksi pada saat ini. Pada *Form tip* terdapat beberapa data yang harus diisi yaitu *name* yang merupakan nama *tools/cutter* yang akan digunakan, *length* atau panjang tip pada *cutter*, diameter yang diisi sesuai dengan diameter *tools/cutter* yang akan digunakan, dan *number of flutes* yaitu jumlah mata potong sesuai dengan jenis *cutter*nya. Untuk *cutter Endmill* memiliki 4 *flutes* dan untuk *cutter ballnose* memiliki 2 *flutes*. *Form shank* juga terdapat beberapa bagian yang harus diisi antara lain *upper diameter* diisi sesuai dengan diameter bagian atas holder yang digunakan, *lower diameter* diisi sesuai dengan ukuran holder diameter bagian bawah, dan *length* yang merupakan panjang *shank*.

Cutter pertama yang dibuat adalah *cutter Endmill* diameter 4 untuk proses *roughing*. Pilih menu *tool Endmill*. Setelah *tool* dipilih maka akan muncul tampilan pembuatan *cutter* seperti gambar berikut ini :



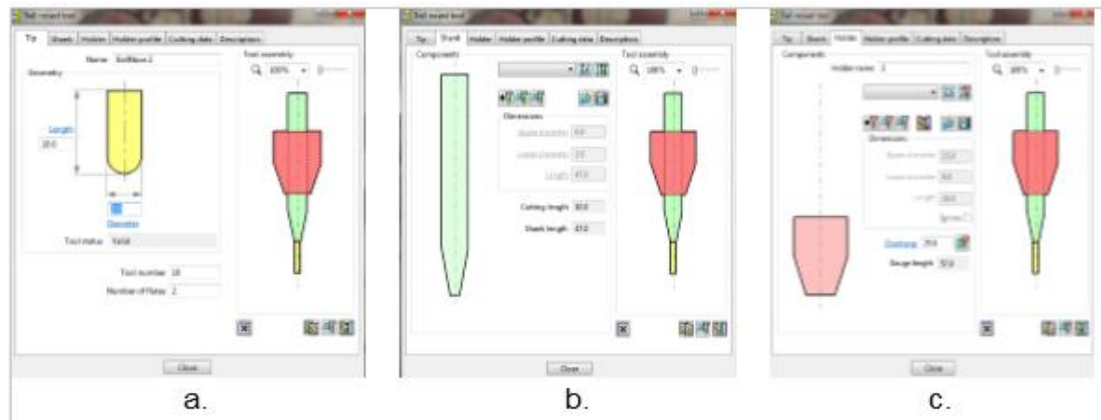
Gambar 2. 21. (a.) Form Tip Endmill Cutter Diameter 4, (b.) Form Shank Endmill Cutter Diameter 4, (c.) Form Holder Endmill Cutter Diameter 4

Cutter kedua yang dibuat dalam penelitian ini adalah *Ballnose cutter* diameter 4 untuk proses *semifinishing*. Pada menu *toolbar tools* pilih *Ballnose cutter* karena ujung dari *cutter ballnose* memiliki bentuk bulat setengah lingkaran. Berikut ini tampilan *window ballnose cutter* :



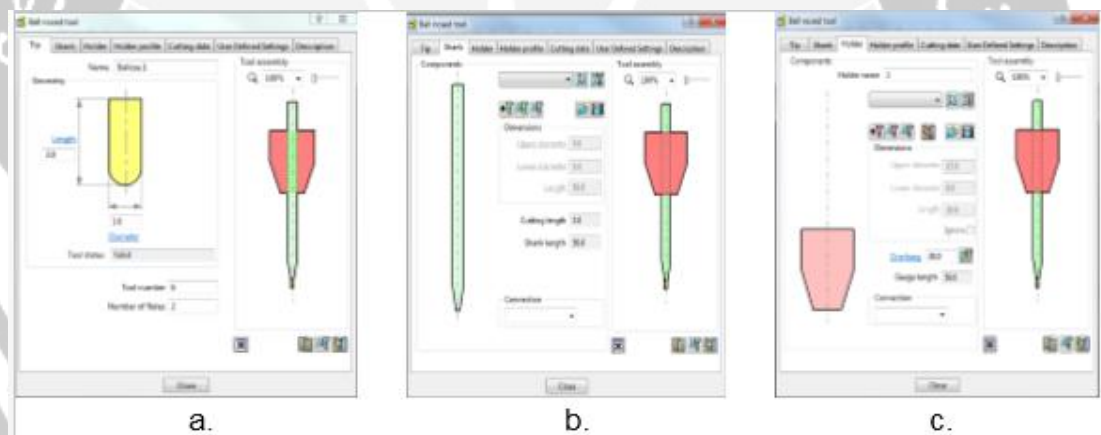
Gambar 2. 22. (a.) Form Tip Ballnose Cutter Diameter 4, (b.) Form Shank Ballnose Cutter Diameter 4, (c.) Form Holder Ballnose Cutter Diameter 4

Cutter ketiga yang dibuat adalah *Ballnose cutter* diameter 2 yang akan digunakan untuk proses *finishing*. Setelah memilih *toolbars tool* akan muncul *window ballnose cutter* seperti dibawah ini :



Gambar 2. 23. (a.) Form Tip Ballnose Cutter Diameter 2, (b.) Form shank Ballnose Cutter Diameter 2, (c.) Form Holder Ballnose Cutter Diameter 2

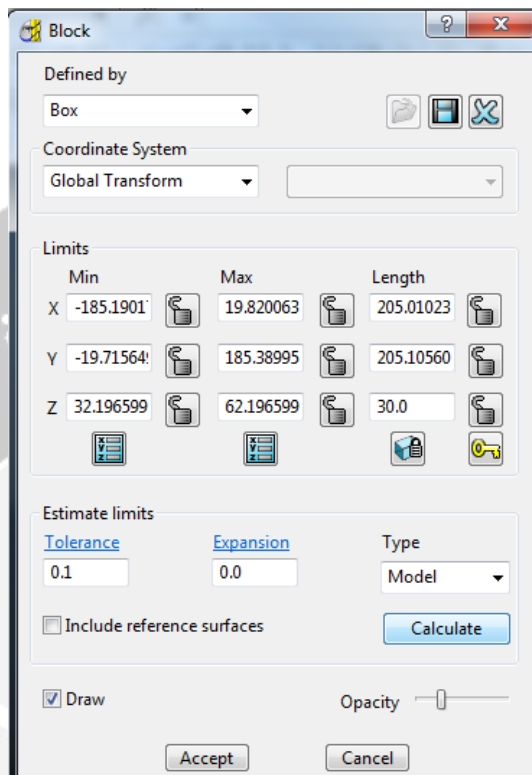
Pada penelitian ini, cutter keempat yang dibuat adalah Ballnose cutter diameter 1. Cutter ini digunakan pada proses finishing agar kontur relief pada cetakan keramik dinding lebih detail. Berikut ini tampilan *window ballnose cutter* diameter 1:



Gambar 2. 24. (a.) Form Tip Ballnose Cutter Diameter 1, (b.) Form shank Ballnose Cutter Diameter 1, (c.) Form Holder Ballnose Cutter Diameter 1

Setelah cutter yang dibutuhkan telah dibuat, langkah selanjutnya adalah membuat block material yang berguna untuk mengetahui ukuran raw material yang dibutuhkan mulai dari panjang, lebar, dan tinggi material. Pada kolom *defined by* pilih *box* sebagai bentuk dari *raw material* karena material yang digunakan dalam penelitian ini berbentuk *box*. Untuk menentukan panjang, lebar, dan tinggi *raw material* terlebih dahulu pada kolom *coordinate system* pilih *Global Transform* agar *block* tidak berpindah-pindah mengikuti *workplane*. Setelah itu klik *Calculate* untuk melakukan pengukuran material secara otomatis. Jika fungsi *calculate* dipilih maka

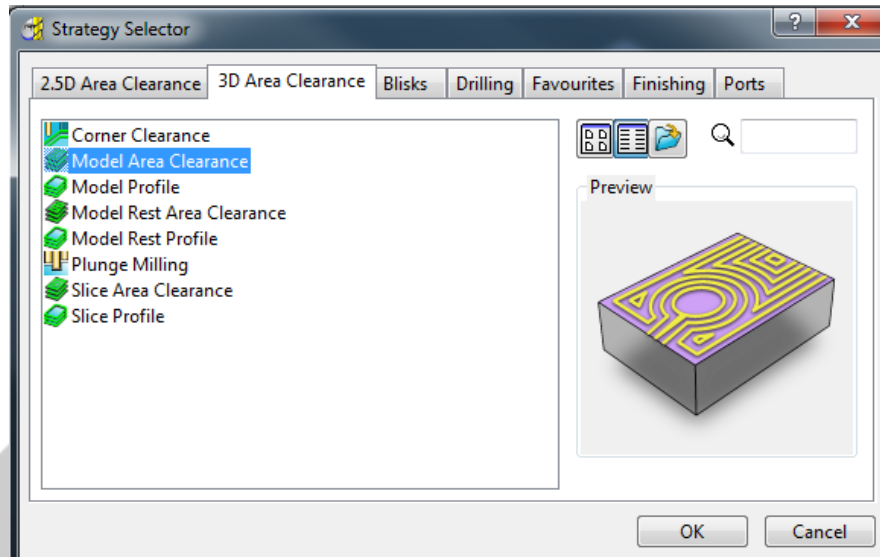
ukuran *raw material* akan sesuai dengan ukuran terbesar dari gambar kerja seperti yang ditampilkan pada layar utama di bawah ini.



Gambar 2. 25. Pembuatan *Block*

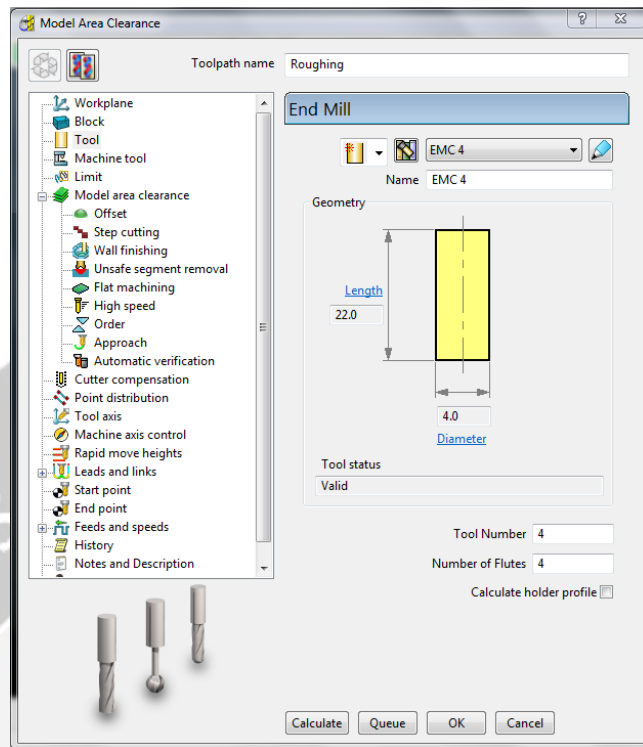
Kemudian membuat *workplane* yang berfungsi sebagai titik awal mulainya pergerakan *cutter*. Untuk membuat *workplane*, pada *toolbar* PowerMill klik kanan pada *workplane* kemudian pilih *create and orientate workplane* lalu pilih *workplane positioned using block* untuk menentukan posisi *workplane*. Pada penelitian ini, *workplane* diletakkan ditengah material. Setelah itu dilanjutkan dengan membuat *toolpath strategy* tiap proses .

Tahap pertama adalah pembuatan *toolpath strategy* untuk proses *roughing*. Untuk proses *roughing* dipilih *Model Area Clearance*. *Toolpath Model Area Clearance* terdapat pada menu *toolpath 3D Area Clearance* seperti ditunjukkan pada gambar dibawah ini.



Gambar 2. 26. Pemilihan *Toolpath Strategy* Proses *Roughing*

Strategy Model Area Clearance dipilih untuk mendapatkan kontur dan model kasar dari yang menyerupai bentuk dari benda kerja yang diinginkan. Pada *software PowerMill 2016* terdapat beberapa pilihan *strategy toolpath model area clearance* yaitu *raster*, *offset all*, *offset model*, dan *vortex*. Setelah *form strategy 3D offset model area clearance* terbuka, langkah selanjutnya adalah menentukan *cutting tools* yang akan digunakan. Menu ini juga dapat digunakan untuk mengecek spesifikasi dari *cutter* yang telah dibuat. Untuk proses *roughing*, *cutter* yang digunakan adalah *Endmill cutter* diameter 4.

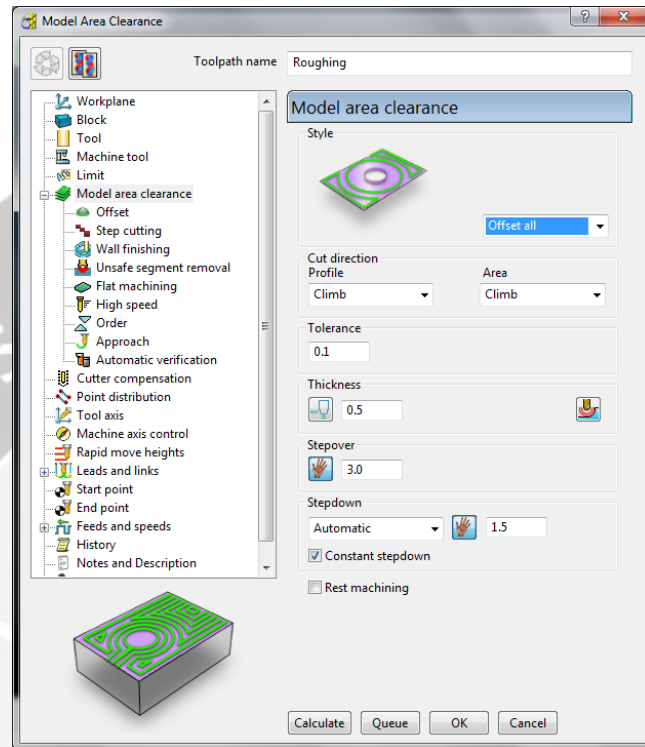


Gambar 2. 27. Pemilihan Tool yang Digunakan

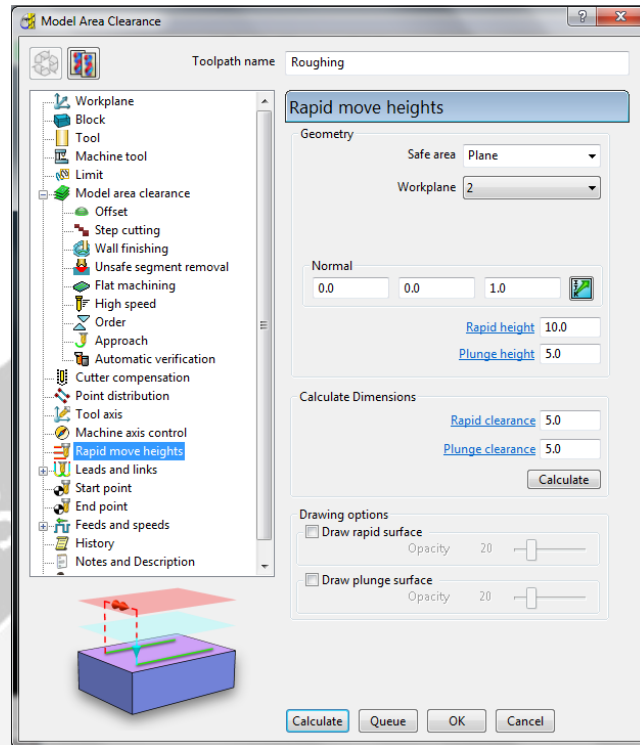
Setelah menentukan *cutting tolls* yang digunakan, selanjutnya menentukan parameter-parameter pemesinan yang ada pada menu *model area clearance*. Pada *form style*, dipilih *offset all* karena mempunyai waktu proses yang paling cepat dibandingkan dengan yang lain dan dinilai paling cocok untuk kontur relief keramik dinding. *Cut Direction* pada *form profile* dan *area* diubah ke *climb* agar *cutter* tidak cepat aus. *Tolerance* ditetapkan 0,1 mm dan *thickness* atau sisa material untuk pemakanan proses selanjutnya sebesar 0,5 mm. *Step over* (pergeseran *Cutter*) ditetapkan 3 mm dan *step down* (DOC/kedalaman pemakanan) diberikan 1,5 agar beban yang diterima *cutter* tidak terlalu besar karena *cutter* yang digunakan memiliki diameter yang cukup kecil.

Langkah keempat yang dilakukan adalah mengatur menu *rapid move heights* untuk menentukan titik aman pergerakan *cutter* tanpa pemakanan terhadap sumbu Z. *Safe Z* digunakan untuk mengatur jarak aman dari *cutter* dengan benda kerja ketika *cutter* bergerak turun diatas permukaan benda kerja dengan kecepatan maksimum dari mesin atau G0. Pada *form Safe Z* diisi 10 mm yang berarti *cutter* akan bergerak turun diatas benda kerja sebesar 10 mm. Sedangkan *Start Z* digunakan untuk mengatur jarak aman cutter dengan benda kerja, hanya saja pergerakan cutter menggunakan kecepatan yang diatur pada menu *feeds and*

speed atau G1, sehingga jika *Start Z* diisi 5 mm maka *cutter* akan bergerak turun dengan kecepatan yang lebih pelan mulai dari koordinat 5 mm dari atas benda kerja.

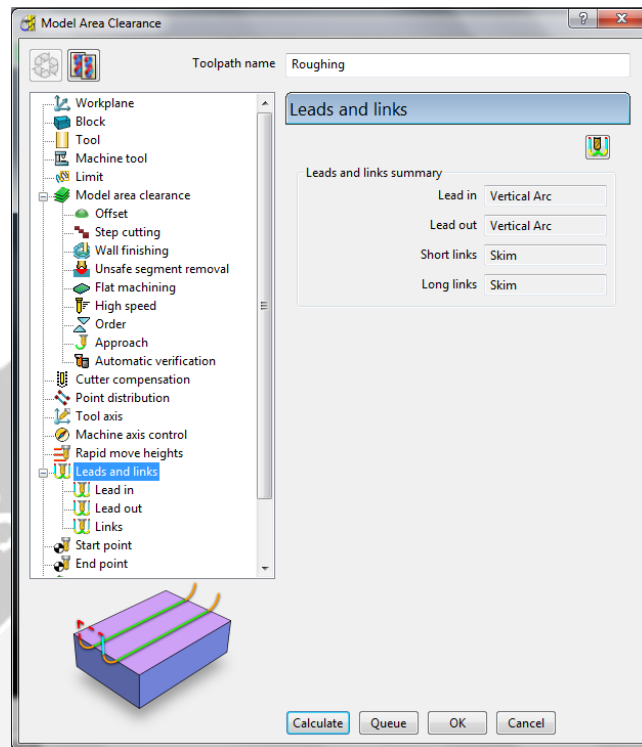


Gambar 2. 28. Setting parameter Model Area Clearance



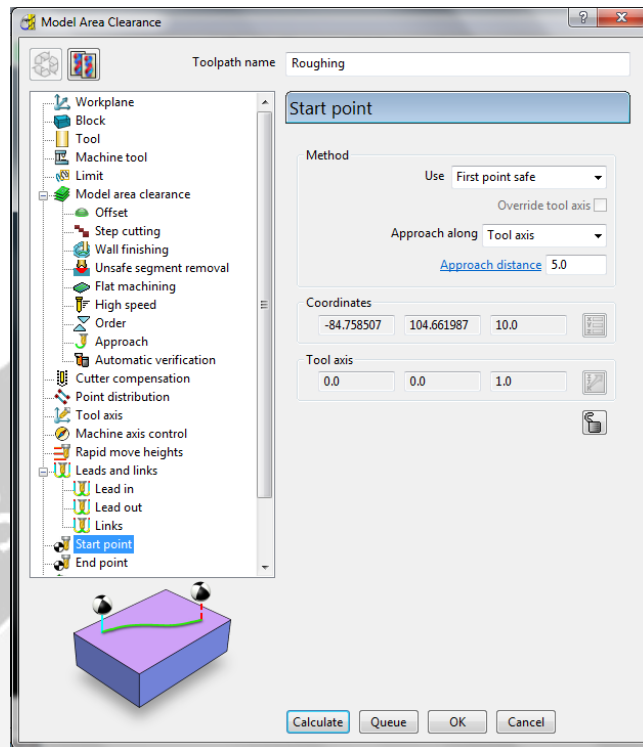
Gambar 2. 29. Pengaturan menu *Rapid Move Heights*

Langkah kelima yang dilakukan adalah mengatur menu *Lead and Links* yang berfungsi untuk mempercepat atau menyingkat waktu *machining* dengan cara meniadakan gerakan-gerakan *cutter* yang tidak efektif yang dapat memperlambat proses *Machining*. Untuk proses *Roughing* gerakan *Lead in* dan *Lead out* digunakan gerakan *Vertical Arc*, sehingga gerakan *cutter* ketika masuk atau keluar benda kerja berbentuk radius secara *vertical*. Seperti yang ditunjukkan pada gambar *Lead and Links* berikut ini:

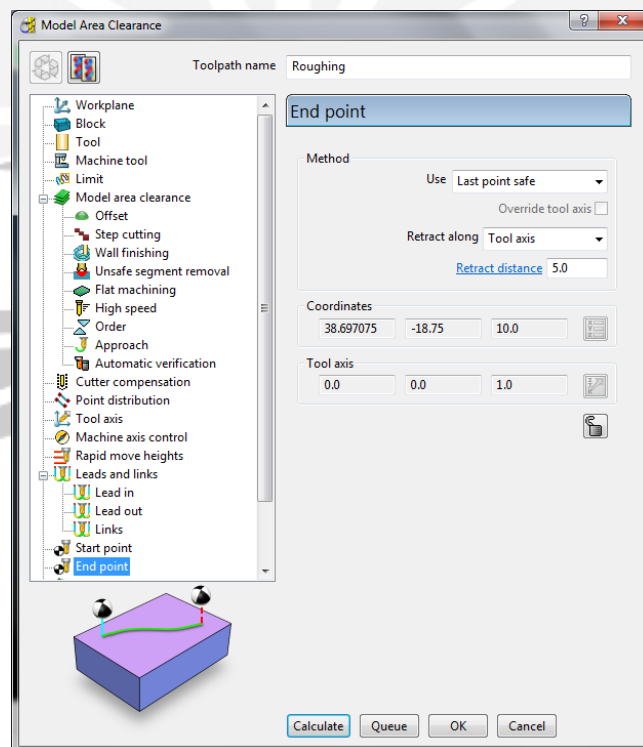


Gambar 2. 30. Pengaturan menu *Lead and Links*

Selanjutnya adalah mengatur menu start point dan end point yang berfungsi untuk mengatur titik awal dan titik akhir proses pemakanan *cutter*. Dalam proses ini, *start point* diisi *First Point Safe* dan untuk *end point* diisi *Last Point Safe*. Hal ini berarti *software* akan memperhitungkan sendiri titik aman dari *cutter* untuk memulai dan mengakhiri pemakanan benda kerja seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.31 dan Gambar 5.32.



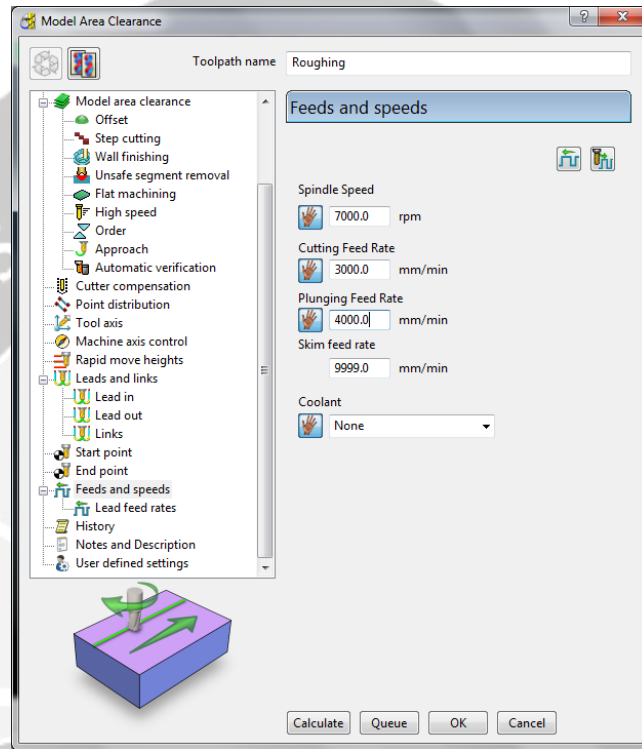
Gambar 2. 31. Pengaturan menu *Start Point*



Gambar 2. 32. Pengaturan menu *End Point*

Langkah terakhir yang dilakukan dalam proses ini adalah mengatur menu *Feeds and Speeds*. Ada beberapa *form* yang perlu diisi yaitu *Spindle Speed* atau

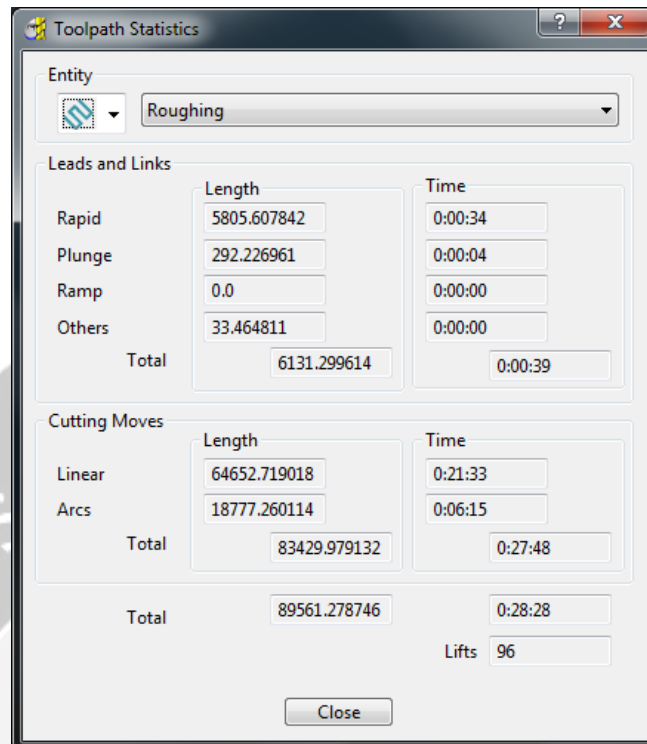
perputaran *spindle* yang diatur sebesar 7000 rpm, *Cutting Feed Rate* atau kecepatan pemakanan diatur sebesar 3000 mm/min, *Plunging Feed Rate* diatur 4000 mm/min, *Skim Feed Rate* atau kecepatan pergeseran *cutter* tanpa pemakanan diatur sebesar 9999 mm/min, dan *Coolant* disetting dengan *mode none* karena penelitian ini tidak menggunakan *coolant*.



Gambar 2. 33. Pengaturan menu *Feeds and Speeds*

Setelah semua parameter pemesinan telah diatur dilanjutkan dengan mengklik tombol *Calculate* untuk mengkalkulasi proses pergerakan *cutter* dan memperhitungkan waktu proses pemesinan. Gambar dibawah ini menunjukkan hasil kalkulasi proses *roughing* dengan *toolpath strategy 3D Offset Model Area Clearance*

Setelah *toolpath strategy* di *calculate*, maka estimasi waktu pengerjaan untuk proses *roughing* adalah 28 menit 28 detik. Berikut ini statistik dari proses *roughing* :



Gambar 2. 34. Statistik Proses *Roughing*

Setelah *toolpath strategy* yang diinginkan telah jadi, selanjutnya adalah membuat kode pemrograman atau *NC-Code*. *NC-Code* yang akan dibuat merupakan program numerical dari setiap proses *toolpath strategy* yang telah dibuat berupa kode-kode pemrograman. *NC-Code* ini nantinya akan digunakan sebagai perintah pemrograman yang akan dijalankan oleh mesin CNC secara otomatis. Berikut ini proses pembuatan *NC-Code* :

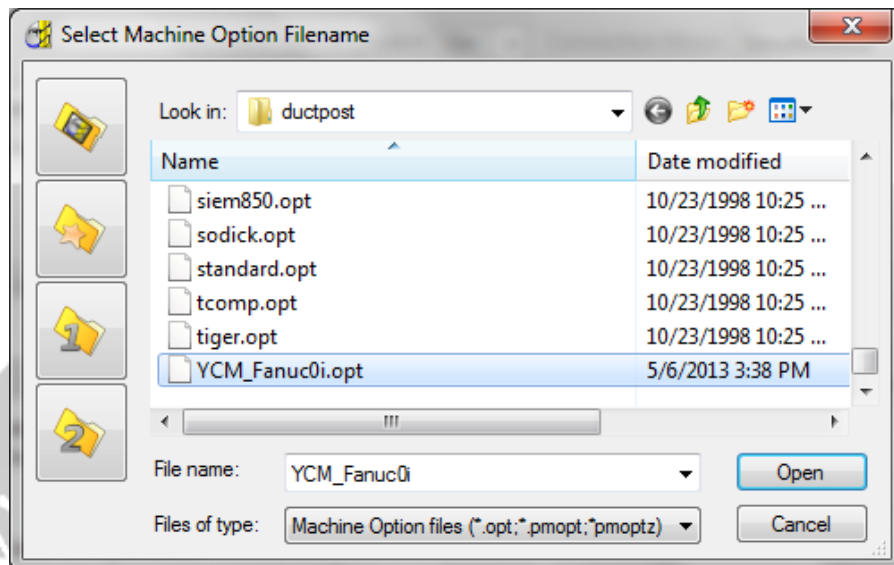
Langkah pertama yaitu klik kanan pada *toolpath strategy* yang akan dibuat *NC-Codenya* misalnya pembuatan *NC-Code* untuk proses *Roughing*. Setelah itu pilih *Create Individual NC Program*. Pada menu *NC Program*, *NC-Code* untuk proses *roughing* sudah ada tetapi kode-kode pemrogramannya belum ada pada gambar dibawah ini :



Gambar 2. 35. Proses Pembuatan *NC-Code*

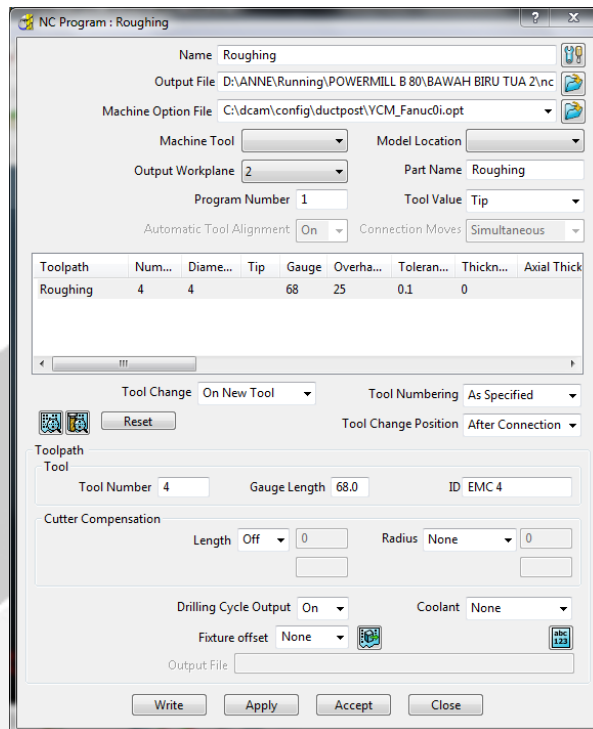
Langkah kedua yaitu *mensetting NC-Code* yang telah dibuat tadi dengan cara klik kanan pada *NC-Code roughing* kemudian klik *setting*. *Form Setting* untuk

pembuatan *NC-Code* akan ditampilkan dan pada kolom *Machine Option File* pilih *YCM_Fanuc01.opt* karena *NC-Code* ini akan digunakan pada mesin CNC YCM.



Gambar 2. 36. Proses Pembuatan NC-Code

Pada *Form NC Program*, akan ditampilkan *tools-tools* yang akan digunakan untuk setiap proses pemesinan. Setelah kolom *Machine Option File* telah diisi, langkah ketiga yaitu klik *write* sehingga kode-kode pemrograman untuk proses *roughing* akan ditampilkan seperti pada gambar dibawah ini :



Gambar 2. 37. Proses Pembuatan NC-Code

```

N10 G21
N11G0G17G40G49G80G90
N12 T5 M6
N13G0 G90G54 X0 Y0 S8000 M3
N14 ( ===== )
N15( TOOLPATH : FINISHING_1 )
N16( ALLOWANCE : +0.100 )
N17 ( ===== )
N18 G0
N19 X-20.875 Y0.049
N20 G43 Z10.0 H05
N21 Z5.0
N22 G1 Z-10.598 F4000
N23 X-20.867 Y0.047 Z-10.6 F3000
N24 X-20.858 Y0.046
N25 X-20.662 Y0.007
N26 X-20.638 Y0.002
N27 X-20.549 Y-0.005

```

Gambar 2. 38. NC-Code

2.2.11. 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

Design of Experiments (DoE) yaitu suatu metode untuk mengidentifikasi menurut banyaknya masukan (input) yang benar dan parameter untuk membuat suatu produk atau layanan berkualitas tinggi yang diinginkan 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 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).

2.2.12. Orthogonal Array

Orthogonal array adalah sebuah matrik nomor yang tersusun dari kolom dan baris. Setiap kolom mewakili sebuah faktor spesifik atau kondisi yang bisa berubah dari eksperimen ke eksperimen. Setiap baris mewakili keadaan dari beberapa faktor yang diberikan pada sebuah eksperimen. *Array* disebut *orthogonal* karena level dari beberapa faktor berimbang dan dapat dipisahkan dari efek yang diakibatkan dari beberapa faktor didalam eksperimen. *Orthogonal Array* adalah sebuah matrik yang seimbang yang tersusun dari beberapa faktor dan level, sehingga efek dari setiap level dan faktor tidak akan mencampurkan dengan efek dari level dan faktor yang lain yang terdapat pada eksperimen tersebut.

Orthogonal array berfungsi untuk mendesain suatu percobaan guna menganalisis data percobaan. Pemilihan *orthogonal array* haruslah disesuaikan dengan jumlah faktor serta levelnya yang akan diamati.

Misal: $L_{16}(2^6)$

a.16 artinya mengalami perlakuan sebanyak 16 kali

b.2 berarti ada 2 level

c.6 adalah jumlah faktor

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

Tabel 2. 2. Standar Orthogonal Array

2 Level	3 Level	4 Level	5 Level	Mixed-Level
$L_4(2^3)$	$L_9(3^4)$	$L_{16}(4^5)$	$L_{25}(5^6)$	$L_{18}(2^6 \times 3^7)$
$L_8(2^7)$	$L_{27}(3^{13})$	$L_{64}(4^{21})$		$L_{32}(2^6 \times 4^9)$
$L_{12}(2^{11})$	$L_{81}(3^{40})$			$L_{36}(2^6 \times 3^{12})$
$L_{16}(2^{15})$				$L_{36}(2^6 \times 3^{13})$
$L_{32}(2^{31})$				$L_{54}(2^6 \times 3^{25})$
$L_{64}(2^{63})$				$L_{50}(2^6 \times 5^{11})$

2.2.13. Brainstorming

Metode *brainstorming* adalah salah satu metode yang digunakan untuk memunculkan ide kreatif. Ide kreatif ini tidak muncul dengan mudah, tetapi terlebih dahulu dimulai dengan adanya cara berfikir kreatif. Metode *brainstorming* dianggap paling baik untuk melanjutkan ide atau untuk mencari dan meningkatkan jumlah alternatif yang akan diuji. *Brainstorming* dapat merangsang timbulnya pemikiran-pemikiran baru dan berguna untuk mendapatkan ide-ide cemerlang dalam waktu minimum. Meskipun *brainstorming* pada umumnya dilakukan oleh sebuah kelompok atau tim, namun perlu diperhatikan bahwa *brainstorming* dapat pula dilakukan secara individu. *Brainstorming* secara efektif melibatkan seluruh anggota kelompok karena *brainstorming* menggunakan baik fungsi kreatif, intuitif, logika, dan analitis dari pikiran. Ketika orang mengerjakan proses *brainstorming* secara kreatif dan intuitif akan menghasilkan ide-ide awal dan secara logika analitis akan mengkombinasikan ide-ide tersebut atau memilahnya menjadi beberapa komponen. Oleh karena itu, *brainstorming* menggunakan kedua

kemampuan (kreatif dan intuitif) tersebut. Setiap anggota kelompok dapat memberikan kontribusi. Keterlibatan, dan antusiasme mereka yang sangat diperlukan.

