

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Riset terdahulu

Riset tentang desain manufaktur fabrikasi *ceramic* produk di dua industri *ceramic* nasional, PT. Doulton Indonesia (DI) dan PT. Nuanza *Porcelain* Indonesia (NPI) telah berhasil dan sukses dikerjakan oleh beberapa peneliti [Anggoro, dkk (2015); Luna (2015); Remmy (2017); Gunadi (2017); Vizy (2016); Kurniawan (2017); Suleman (2018); Julian (2018); Yuni (2018); Akashiro (2018); Dewi (2019)]. Sejak tahun 2014 sampai dengan sekarang. Produk riset lebih berfokus pada produk *ceramic tile, tableware*. Konsep desain produk *ceramic* modern berbasis *Computer Aided Design (CAD)*, *Computer Aided Manufacture (CAM)*, dan penggunaan teknologi *subtractive manufacturing* dengan mesin CNC dan teknologi *adaptive manufacturing* dengan mesin 3D *printer* juga digunakan peneliti sebelumnya agar ide *bring concept to realty* tercapai.

Keberhasilan Anggoro, dkk (2015) dalam memanfaatkan *tool CMM* untuk proses *Reverse Engginering (RE)* berbasis *point cloud* pada desain produk CNN *Plate tableware* mampu menghasilkan produk piring sesuai dengan model *pyshic* yang sebenarnya. RE yang diterapkan Anggoro, dkk (2015) dalam risetnya mampu menjawab kendala yang dihadapi oleh PT. Dolton Indonesia dalam upaya pengembangan produk desain *ceramic tableware* (cangkir, teko, piring, lepek, dan sebagainya) agar dapat bersaing dengan kompetitor sejenis di China dan India.

Upaya yang ada di rintis oleh Anggoro, dkk (2015) ini, kemudian dilanjutkan oleh Luna (2015), dan Remmy (2017) dalam pengembangan produk *emirates plate*, dan *miranda keer tea for one teapot* berbasis RE dengan alat CMM yang ada di PT. Dolton Indonesia. Proses manufaktur *ceramic tableware* dalam riset luna (2015), dan Remmy (2017) agar didapatkan produk master pola cetakan yang akurat, tepat, dan presisi digunakan *Computer Aided Manufacture (CAM) PowerMILL 2014*. Dengan perangkat lunak CAM ini keduanya mampu menghasilkan produk riset *ceramic* yang mampu menjawab tantangan PT. Dolton Indonesia dalam memenuhi permintaan konsumen *ceramic* dunia.

Namun tidak semua industri *ceramic* di indonesia seperti PT. Dolton Indonesia yang memiliki infrastruktur berbasis CAD/CAM RE, CNC yang handal dan bagus sekali. Kondisi ini ditemukan pada industri *ceramic* manual (*hand nude*) di

Salatiga, yaitu PT. Nuanza *Porcelain* Indonesia . Sejak awal Berdiri pada tahun 2000 PT. Nuanza *Porcelain* Indonesia sampai tahun 2016 masih belum mengenal teknologi CAD/CAM dan CNC dalam proses desain manufaktur *ceramic*, masih benar-benar manual. Kerjasama yang dibangun oleh Laboratorium Teknologi Manufaktur waktu itu dengan data hasil riset Anggoro, dkk (2015) dan riset sebelumnya berhasil mengantarkan beberapa riset yang dikerjakan oleh peneliti sebelumnya [Vissy (2017); Gunadi (2017); Kurniawan (2017); Suleman (2018); Measty (2018)] untuk membuka mata owner tentang pentingnya pemanfaatan teknologi CAD/CAM dan CNC.

Hasil riset yang berupa Master pola cetakan *ceramic tale wall* berciri khas islami telah membawa kesuksesan dalam memenuhi pesanan Masjid Al-Huda Jakarta dan dalam kurun waktu 2016-2017 berhasil meningkatkan jumlah pesanan konsumen. Dengan adanya peningkatan jumlah pesanan konsumen mengakibatkan munculnya kendala dan masalah baru di PT. Nuanza *Porcelain* Indonesia, sehingga perlu adanya riset baru yang dilakukan oleh Julian (2018), dan Dewi (2019). Dimana hasil riset yang dilakukan oleh Julian (2018) adalah menyarankan penggunaan perangkat lunak *CAM PWMILL2016* agar kualitas permukaan dan ornamen atau tekstur artistik dari produk *ceramic tale wall* tercapai, akan tetapi harga untuk perangkat lunak *CAM PWMILL2016* dirasa cukup mahal untuk digunakan di yaitu sebesar \$ 95.000. Hal ini mendasari munculnya riset yang dilakukan oleh Dewi (2019), dalam risetnya Dewi (2019) menyarankan untuk melakukan proses penyederhaan desain 3D CAD model *artistic ceramic tile* berciri khas Islami dengan mengurangi beberapa bagian relief dengan ornamen atau tekstur kompleks menjadi lebih sederhana dan dimanufaktur pada mesin CNC kemudian proses *finishing* pembentukan relief menggunakan tenaga ahli seni rupa sendiri.

2.2 Riset sekarang

Merujuk pada kendala yang dihadapi oleh PT Nuanza *Porcelain* Indonesia dan pemanfaatan teknologi CAD, CAM, dan CNC yang sudah pernah dilakukan oleh peneliti sebelumnya [Julian (2018); Dewi (2019)] tentang pengoptimalisasian proses manufaktur pada produk *ceramic tile* berciri khas islami dengan memperhatikan kualitas permukaan yang baik dan ornamen atau tekstur artistik yang detail. Diawali dengan riset yang dilakukan oleh julian (2018) proses manufaktur dilakukan dengan cara membandingkan hasil proses CAM pada

perangkat lunak *PWMILL2016* dibandingkan dengan menggunakan perangkat lunak *Rhinoceros 4.0*. dari riset tersebut menyatakan bahwa perangkat lunak *PWMILL2016* menghasilkan permukaan yang baik dan ornamen atau tekstur artistik yang detail pada produk jika dibandingkan dengan *Rhinoceros 4.0*, akan tetapi waktu permesinan yang dibutuhkan lebih lama dibandingkan dengan menggunakan perangkat lunak *Rhinoceros 4.0*. Selain itu *cost ware* yang dibutuhkan untuk membeli perangkat lunak *PWMILL2016* terbilang cukup mahal bagi , maka dari itu riset ini dilanjutkan oleh Dewi (2019) dengan menyederhanakan desain 3D CAD model *artistic ceramic tile* berciri khas Islami dengan mengurangi beberapa bagian relief dengan ornamen atau tekstur kompleks menjadi lebih sederhana dan dimanufaktur pada mesin CNC kemudian proses *finishing* pembentukan relief menggunakan tenaga ahli seni rupa sendiri. Kendala baru muncul ketika ornamen atau tekstur relief antara produk satu dengan produk lainnya berbeda, dikarenakan pada saat proses *finishing* pembentukan relief menggunakan tenaga ahli seni rupa (manual) sehingga relief yang terbentuk tergantung dari kemampuan dan suasana hati dari tenaga ahli seni rupa tersebut. Untuk memperbaiki masalah tersebut maka riset ini membahas tentang optimasi *manufacturing process* pada produk *ceramic* (master cetakan *jewelry ceramic*) dengan menggunakan perangkat lunak *CAM Rhinoceros 4.0* dan menambahkan satu perangkat lunak *artisticCAD* bernama *Z-brush* yang nantinya dilakukan *machining process* dengan menggunakan mesin CNC *Retrovit* yang dimiliki oleh PT. Nuanza Porcelain Indonesia.

Riset ini, menetapkan model master cetakan *jewelry ceramic* yang nantinya akan mengalami proses *machining* di mesin CNC *Retrovit*. Material yang digunakan sebagai material master cetakan *jewelry ceramic* adalah gypsum. Model master cetakan *jewelry ceramic* yang telah dibuat di perangkat lunak *artisticCAD Z-brush* akan di *import* kedalam perangkat lunak *CAM Rhinoceros 4.0*, yang kemudian dibandingkan dengan perangkat lunak *PWMILL2016*. Adapun parameter pemesinan yang dibandingkan yaitu *machine toolpath strategy*, pergeseran pemakanan *cutter*, kecepatan *spindle*, dan kecepatan pemakanan, yang nantinya akan diambil paling optimum diantara perangkat lunak tersebut. Mesin yang dipakai oleh peneliti adalah mesin CNC *Retrovit* yang dimiliki oleh PT. Nuanza Porcelain Indonesia. Respon yang diukur oleh peneliti adalah *surface quality*, tingkat kepresisian, dan detail dari ornamen atau tekstur yang muncul pada master cetakan *jewelry ceramic*. Diharapkan riset ini dapat memberikan masukan untuk

PT. Nuanza *Porcelain* Indonesia, apabila menginginkan produk yang dihasilkan sesuai dengan yang diinginkan konsumen, dengan meminimalisi pengeluaran (*cost ware*) akibat dari proses pemesinan yang lama, dan harga perangkat lunak yang terbilang cukup mahal yaitu sebesar \$95.000.

2.3 Dasar Teori

2.3.1. *Ceramic*

Ceramic merupakan kata serapan bahasa Yunani "*keramos*" yang berarti bahan terbakar. Secara umum *ceramic* memiliki sifat *refraktori* yaitu dapat mempertahankan sifatnya yang berguna dalam kondisi yang sangat berat akibat temperatur tinggi dan kontak dengan bahan-bahan yang korosif dibandingkan dengan *super alloy* namun memiliki sifat getas. Sifat tersebut muncul akibat proses pencampuran kaolin, kuarsa, *feldspar* pada proses *heat treatment* yang terjadi pada suhu tinggi (*firing*). *Ceramic* merupakan salah satu hasil kerajinan sejak zaman nenek moyang, dilihat dari banyaknya penemuan benda purbakala yang ditemukan berbahan dasar *ceramic*. Antara lain wadah, guci, peralatan makan dan minum, alat sesaji dan lain-lain.



Gambar 2.1. Peralatan Zaman Purba dari *Ceramic*
(sumber : <http://archeologia.ah.edu>)

Oleh masyarakat, *ceramic* masih sering diartikan sebagai gerabah, sesungguhnya gerabah merupakan sebagian produk yang terbuat dari material *ceramic* dengan teknik pembuatan masih dengan teknik tradisional. Masyarakat masih sulit membedakan antara gerabah, *pottery*, *terracota*, *tile*, *greenware*, *stoneware*, *porcelain*, dan sebagainya. Sedangkan pemanfaatan material *ceramic* dalam kehidupan sehari-hari sudah semakin luas diiringi dengan berkembangnya ilmu

pengetahuan dan teknologi. Berikut merupakan perbedaan dari masing-masing produk yang terbuat dari material *ceramic* :

a. Earthenware

Earthenware adalah tembikar tanpa glasir yang mengalami proses pembakaran pada suhu 1200°C, memiliki rongga yang besar apabila dibandingkan dengan material *ceramic* lainnya yang mengakibatkan sifat porositasnya tinggi dibandingkan dengan material *ceramic* lainnya.

b. Terracotta

Terracotta terbuat dari pencampuran tanah liat berwarna merah dengan pasir. Material ini dibuat dengan proses pembakaran pada suhu 1000 °C. memiliki sifat mudah dibentuk, dan dapat diglazir dengan material lain agar mudah dibentuk serta meningkatkan sifat material.

c. Stoneware

Stoneware terbuat dari tanah liat yang mengalami proses pembakaran pada suhu 1200°C sampai dengan 1300°C. *Stoneware* memiliki sifat lebih kuat dibandingkan dengan material *ceramic* lainnya, dan tahan terhadap air karena memiliki rongga yang kecil. Proses pembuatan material *stoneware* murni tanpa campuran dan apabila ada proses pencampuran material, material ini biasanya dicampur dengan *ball clay, feldspat, chamotte, dan kaolin*.

d. Porcelain

Porcelain merupakan material yang dibuat dengan bahan dasar *clay* berprofil halus, berwarna putih, dan bersifat keras apabila mengalami proses pembakaran. Saat proses pembakaran, struktur yang terbentuk pada *Porcelain* transparan apabila dilihat dari tebal komposisi yang dikandungnya. Material ini diproses dengan cara dibakar dengan suhu berkisar pada 1250°C sampai dengan 1400°C. *Porcelain* yang dibakar dengan suhu rendah disebut dengan *Porcelain* lunak sedangkan, untuk *Porcelain* yang dibakar dengan suhu tinggi disebut dengan *Porcelain* keras. *Porcelain* merupakan material yang sering digunakan di kalangan industri *ceramic*, karena material ini memiliki kekuatan yang baik.

e. Ashbone China

Ashbone China merupakan material *ceramic* yang dibuat melalui proses pembakaran dengan suhu 1300°C dan dicampur dengan abu tulang. Memiliki sifat yang keras, dan berwarna sangat putih sehingga cahaya dapat menembus

material. *Ash bone china* sulit untuk dibentuk apabila dalam kondisi plastis tetapi mudah dibentuk ketika dalam bentuk padat, sehingga material ini cocok digunakan untuk proses manufaktur.



Gambar 2.2. Produk *Ceramic* Tradisional dan *Ceramic* Modern.
(sumber: chemistryland.com)

2.3.2. Jewelry Ceramic

Perhiasan merupakan salah satu aksesoris yang tidak hanya digunakan oleh kaum perempuan saja, kaum lelaki pun juga sering menggunakan perhiasan dalam batas-batas tertentu. Perhiasan tidak hanya digunakan untuk menambah keindahan penampilan seseorang, tetapi perhiasan juga memiliki fungsi lain, seperti :

a. Lambang atau Simbol Status Pemakai

Perhiasan dapat mengungkapkan jati diri pemakai, menjadi simbol atau strata antara masyarakat biasa dengan orang-orang kerajaan. Ornamen atau bentuk dari perhiasan yang biasanya digunakan untuk membedakan strata antara orang-orang kerajaan dengan masyarakat biasa.



**Gambar 2.3. Perhiasan Sebagai Status Sosial Pemakai
(Sumber : wilwatiktamuseum.files.wordpress.com)**

b. Penolak Bala atau Jimat

Masyarakat hingga sekarang masih banyak yang meyakini bahwa perhiasan memiliki kekuatan atau khasiat, selain itu masyarakat masih percaya bahwa perhiasan dapat memberikan “pelindung” kepada pemakainya.



**Gambar 2.4. Perhiasan sebagai Penolak Bala atau Jimat
(Sumber : starkristal.com)**

c. Sarana Pengobatan

Perhiasan menjadi sarana penyembuhan bagi orang yang terkena sakit, dikarenakan konsep sakit dalam pemikiran tradisonal merupakan akibat dari hal-

hal berbau mistis. Perhiasan yang digunakan sebagai sarana pengobatan biasanya diberikan mantra terlebih dahulu, atau dicelupkan kedalam air yang telah diberi mantra dan air tersebut diminum.



Gambar 2.5. Perhiasan sebagai Sarana Pengobatan
(sumber : iprice.com)

d. Perlengkapan Penari

Indonesia mempunyai beragam seni dan budaya terutama seni tari dalam pertunjukan seni tari, penari menggunakan kostum lengkap dengan aksesorisnya. Salah satu aksesoris yang digunakan oleh penari adalah perhiasan, perhiasan yang digunakan oleh penari dibuat mewah, meriah, dan membuat penari terlihat anggun, serta dari segi warna menggunakan warna-warna cerah dan menimbulkan efek khusus bagi penonton.



Gambar 2.6. Perhiasan sebagai Aksesoris Penari
(sumber : gpswisataindonesia.info.com)

Ceramic bone china merupakan jenis *ceramic* yang sering digunakan sebagai material pembuat produk perhiasan oleh beberapa artisan *ceramic* di dunia. Salah satunya adalah Rikke Jakobsen seniman *ceramic* yang dikenal karena membuat perhiasan berbahan *ceramic Bone China* dengan konsep gaya *Scandinavian spirit*. Perhiasan yang dibuat olehnya memiliki konsep yang indah, elegan dan bersahaja.



Gambar 2.7. Jewelry Ceramic Bone China yang Dibuat oleh Rikke Jakobsen
(sumber : vadardenvard.se)

Perhiasan yang dibuat dari *ceramic bone china* mempunyai sifat yang hampir rapuh. Tetapi jika dibandingkan dengan jenis *ceramic* yang lain, *ceramic bone china* memiliki sifat paling kuat. Sehingga membuat *ceramic bone china* mempunyai karakter yang anggun dan unik apabila dijadikan sebagai perhiasan. Hal ini telah dibuktikan oleh pengerajin dan studio *ceramic* di Bandung, mereka membuat perhiasan menggunakan material *ceramic* berjenis *bone china*. Salah satu pengerajin dan studio *ceramic* yang menggunakan material *ceramic* berjenis *bone china* adalah KAR studio. Mereka mengungkapkan bahwa material ini memiliki bobot lebih ringan dan lebih kuat dibandingkan dengan jenis material *ceramic* lain, sehingga perhiasan lebih nyaman ketika dipakai. Karena karakter dari *bone ceramic* yang unik dan anggun, material ini dapat dikembangkan menjadi material untuk perhiasan maupun aksesoris terutama untuk kaum perempuan.



**Gambar 2.8. Jewelry Ceramic Bone China yang Dibuat oleh KAR Studio
(Sumber : kar-jewellery.com)**

2.3.3. Ornamen

Ornamen berasal dari kata *Ornare* (bahasa latin) yang memiliki arti menghiasai, ensiklopedia indonesia (halaman 1017) menyatakan bahwa ornamen adalah setiap hiasan yang memiliki gaya geometrik atau lainnya. Ornamen dibuat pada bentuk dasar dari hasil kerajinan tangan dan arsitektur. Ornamen dapat diartikan sebagai karya seni yang dibuat untuk menambah nilai estetis dan nilai finansial suatu produk. Ornamen memiliki beberapa sifat yaitu :

a. Aktif

Ornamen memiliki fungsi tidak hanya sebagai penghias, melainkan memiliki fungsi lain pada suatu produk seperti mendukung kekuatan suatu produk.

Contoh : kaki kursi dengan ornamen belalai gajah.



Gambar 2.9. Ornamen Belalai Gajah pada Kursi
(Sumber : www.artfour.com)

b. Pasif

Ornamen hanya memiliki fungsi sebagai penghias suatu produk, tidak memiliki tujuan lain seperti mendukung konstruksi atau kekuatan suatu produk.

Contoh : kendi dengan ornamen naga.



Gambar 2.10. Ornamen Naga pada Kendi
(Sumber : www.bukalapak.com)

Ornamen juga dapat diartikan sebagai karya seni yang ditambahkan pada suatu produk agar menjadi lebih indah. Dengan kata lain ornamen dapat diartikan sebagai dekorasi atau hiasan. Menurut susanto (2003) ornamen adalah pola hias yang dibuat dengan cara digambar, dicetak, dan dipahat dengan tujuan untuk meningkatkan kualitas dan nilai suatu produk. ornamen tidak hanya dimanfaatkan sebagai penghias produk fungsional tetapi juga sebagai elemen penting dalam sebuah produk.

Dalam perkembangannya ornamen diciptakan tidak hanya untuk mendukung keindahan suatu produk, dengan kreatifitas seorang seniman ornamen menjadi sebuah karya seni yang berdiri sendiri. Teknik ini disebut dengan seni dekoratif. Definisi ornamen berubah menjadi salah satu karya seni dekoratif yang dimanfaatkan dengan tujuan untuk menambah keindahan pada suatu produk, dan ornamen juga bisa didefinisikan sebagai suatu karya seni dekoratif (seni murni) yang tidak terkait dengan produk fungsional sebagai wadahnya.

2.3.4. Tekstur

Tekstur adalah kualitas bidang permukaan yang timbul disebabkan oleh tiga dimensi, salah satu unsur yang menjadi indikator permukaan suatu bahan. Tekstur memiliki peran sebagai pemberi rasa di dalam permukaan. Tekstur memiliki fungsi sebagai pemilihan permukaan dibidang wajah suatu produk, bisa dalam bentuk semu maupun bentuk nyata. Tekstur mengandung corak atau *pattern*. Corak adalah susunan tekstur yang beraturan. Tekstur memiliki pengertian lain yaitu kumpulan dari titik halus maupun titik kasar pada permukaan, dimana titik tersebut beraturan maupun tidak. Titik tersebut bisa bulat, terang, kecil, beraturan, atau tidak beraturan.

Tekstur cenderung mengisi ruang pada suatu produk, jika dilihat secara visual. Visualisasi muncul dikarenakan seolah-olah produk memiliki tekstur yang kasar. Untuk tekstur yang dibuat atau muncul pada arah tertentu, dapat mempertegas lebar dan panjang pada bidang produk. Material memiliki tingkat tekstur yang berbeda-beda, makin halus skala dari pola pada produk maka semakin halus tampilannya. Fungsi dari tekstur antara lain :

a. Memberikan kesan secara visual

Tekstur yang dibuat pada suatu produk dapat memberikan kesan di persepsi penglihatan manusia, dalam artian dapat membantu menunjukkan objek yang dilihat oleh manusia.

b. Memunculkan kualitas suatu produk

Tekstur dapat menghasilkan suatu visualisasi pada produk agar terlihat bagus dan berkualitas. Dengan pemberian tekstur pada permukaan produk, akan menimbulkan kesan yang indah dan menarik.

Dalam perkembangannya tekstur dibagi menjadi beberapa bagian dilihat dari fungsi tekstur sendiri pada suatu produk.

a. Tekstur semu

Tekstur semu tidak berbeda dibandingkan dengan tekstur lain apabila dilihat, tetapi apabila diraba akan muncul perbedaan dibanding dengan tekstur lainnya. Unsur yang dimiliki oleh tekstur ini adalah unsur perspektif. Tekstur semu juga memiliki kesan ringan dan berat. Dapat dilihat di gambar 2.11. kubus besi dengan lapisan karton pada bagian luar dapat memberikan kesan yang ringan dan kosong.



Gambar 2.11. Tekstur Semu pada Besi yang sudah dibungkus
(sumber : bisapinter.com)

b. Tekstur Nyata

Tekstur nyata adalah sifat produk yang menunjukkan wujud asli permukaannya. Permukaan pada suatu produk memiliki sifat nyata hingga apabila diraba dan dirasakan dengan menggunakan indera akan berasa. Dalam ilmu seni rupa mendefinisikan tekstur nyata adalah sifat fisik suatu produk karena memiliki perbedaan di permukaan produk dan dapat dibedakan dengan menggunakan indera manusia.



Gambar 2.12. Tekstur Nyata pada Tembok Rumah, yang Dapat Dilihat Dengan Panca Indera
(sumber : bisapinter.com)

Didalam seni rupa tekstur nyata dibagi menjadi tiga jenis yaitu :

I. Tekstur Reproduksi

Tekstur reproduksi adalah tekstur yang muncul akibat proses reproduksi benda yang nyata

Contoh : wallpaper dinding

II. Tekstur Buatan

Tekstur buatan adalah tekstur yang dibuat dengan cara menyusun benda-benda dari alam menjadi sebuah bentuk

Contoh : tikar, susunan daun

III. Tekstur alam

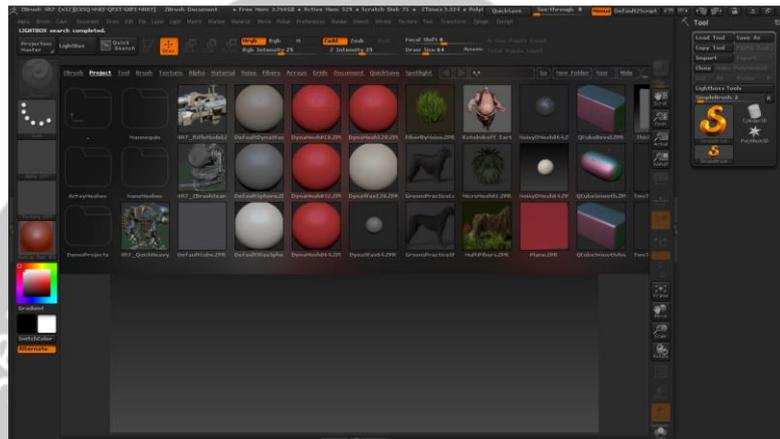
Tekstur alam adalah tekstur yang terbentuk dari alam langsung (tidak ada campur tangan dari manusia)

Contoh : permukaan batu, kulit kayu, dan daun

2.3.5. Z-Brush

Z-Brush adalah perangkat lunak *Artistic Computerized Aided Design* (ArtCAD) karya perusahaan Pixologic Inc, yang didirikan oleh Ofer Alon dan Jack Rimokh. Z-Brush mulai diperkenalkan pada tahun 1999 di SIGGRAPH, konvrensi komputer garfik dunia. Pertama kali diperkenalkan Z-Brush adalah perangkat lunak penunjang untuk menggambar seni eksperimental dengan teknologi yang unik dimana memungkinkan pengguna dapat menggambar ilustrasi dalam bentuk 2,5 dimensi. Sebelum kemunculan perangkat lunak Z-brush ini banyak perangkat

lunak yang menyajikan *digital sculpting* dengan teknik *interface*. Beberapa perangkat lunak ini menggunakan *modelling tool* dengan tampilan maya yang intuitif seperti membuat patung dengan material tanah liat. Akan tetapi *Z-Brush* adalah perangkat lunak pertama yang memberikan teknologi ini. *Cinema Grafis-artist (CG-artists)* mengungkapkan bahwa *Z-brush* adalah perangkat lunak yang dapat mewujudkan visi mereka. Teknologi yang disajikan oleh *Z-brush* ini dapat meningkatkan alur kerja secara profesional yang mengakibatkan teknik *digital sculpting* menjadi alat yang penting bagi *CG-artists*.



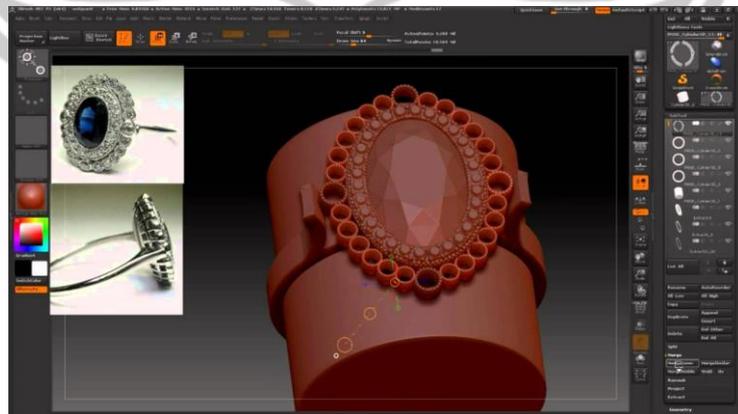
**Gambar 2.13. Tampilan Menu Utama Z-Brush 4R7
(sumber : dokumentasi)**

Z-brush selalu memberikan update tidak hanya *tools* saja, tetapi juga inovasi teknologi untuk mengurangi sisi teknis dalam pembuatan desain grafis oleh *3D-artist*. *Z-brush* versi 2 memberikan *tools Zspheres* yang dapat digunakan untuk membuat *armatur virtual* yang nantinya dikonversi ke dalam *polygon* dan dapat dibentuk menjadi bentuk organik. *Z-brush* versi 3 memberikan *subtools* yang berfungsi sebagai pembuat pemisah per bagian dari pekerjaan menggambar *sculptures*, dari produk yang terpisah, dan teknik *brush sculpting* baru yang lebih intuitif dalam menggambar permukaan lebih detail. Dalam versi 3.5, *Z-brush* memperkenalkan *tools* baru bernama *Z-sketching*. *Tools* ini digunakan untuk proses yang didalamnya terdapat lajur dari *virtual clay* yang digoreskan kedalam *armatur*, kemudian dihaluskan dan dibentuk menjadi bentuk organik.

Perangkat lunak *Z-brush* ini mengeluarkan versi terbarunya yaitu versi ke 4R7, dengan menyediakan *tools* yang lebih *advanced* dibandingkan dengan versi sebelumnya. Salah satunya adalah *Shadowbox*, *shadowbox* merupakan *interface volumetric sculpting* yang memberikan hasil *mesh* pada tengah kubus berdasarkan

dengan profil yang akan di-*brush* di sisi kubus. Selain itu terdapat *tools spotlight* yaitu *editing* gambar, dan *projection tools* yang digunakan untuk efek *texturing* yang lebih *advance*. Masih banyak jenis *brush* baru yang dikembangkan khusus untuk *hard surface sculpting*. Penambahan metode *render* juga ditambahkan di versi ini, yang dapat memberikan kemampuan transparansi, *sub surface scattering*, *ambient occlusion shadowing* tanpa memindahkan ke perangkat lunak 3D lain.

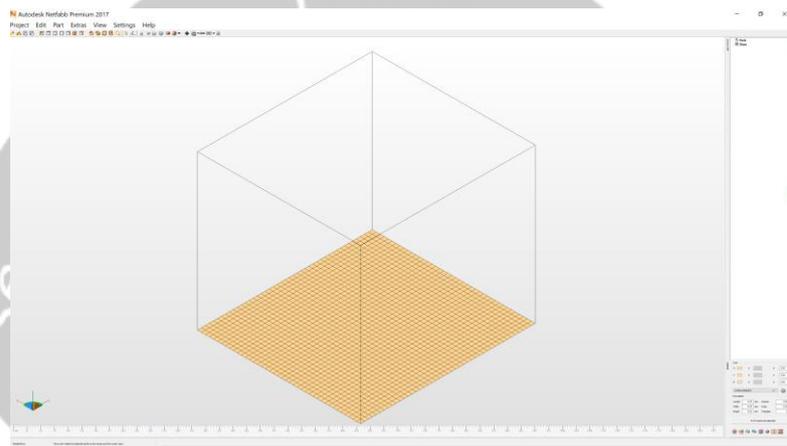
Z-*brush* versi 4R7 memiliki kemampuan dua kali lipat dibandingkan dengan versi sebelumnya, mengakibatkan perangkat lunak ini dapat memberikan kemampuan yang lebih luas dan dapat diterapkan dalam pembuatan desain berbasis *artistic*. Faktor inilah yang mengakibatkan Z-*brush* tidak hanya diminati oleh desainer grafis saja, desainer perhiasan, pelukis, ilustrator matte, desainer lanskap, desainer mainan mulai menggunakan perangkat lunak ArtCAD Z-*brush*. Dikarenakan *advance technology* yang ditawarkan sangat *powerfull*. Perangkat lunak ini biasanya dikombinasikan dengan perangkat lunak lain semisal Autodesk maya, luxology modo, NetFab, Rhinoceros 4.0, Powermill, 3ds Max, dan sebagainya. User perangkat lunak Z-*brush* lebih memilih menciptakan model dan mengedit model di Z-*brush*, yang memungkinkan desain model yang dibuat memiliki kepadatan *mesh* yang tinggi. Akibat dari kepadatan *mesh* yang tinggi menghasilkan desain model yang memiliki tingkat kedetailan yang memuaskan terutama untuk permukaan model.



Gambar 2.14. Desain Produk Jewelry Ring pada Z-Brush 4R7
(sumber : zbrush.com)

2.3.6. Netfabb

Netfabb, adalah perangkat lunak *Computerized Aided Design* (CAD) yang memiliki fungsi untuk mensimulasikan *Powder Bed Fusion* (PBF) dan proses pembuatan aditif logam *Directed Energy Deposition* (DED). Pada *Netfabb 2017*, Simulasi *Netfabb* tersedia sebagai opsi bayar per penggunaan untuk pelanggan *Premium* dan *Ultimate*, atau sebagai langganan mandiri. Pengguna *Netfabb Premium* hanya memiliki akses ke simulasi pencetakan logam 3D berbasis *cloud*, sedangkan pengguna *Ultimate* memiliki opsi fungsi simulasi lokal. Perangkat lunak *Netfabb* mandiri memberikan simulasi lokal untuk DED.



Gambar 2.15. Tampilan utama Perangkat lunak *Netfabb 2017*
(sumber : dokumentasi)

Terdapat 3 tipe *netfabb* yang disediakan oleh *Autodesk* dengan kemampuan yang berbeda-beda yaitu :

a. *Netfabb Standard*

Netfabb standard adalah perangkat lunak yang diberikan secara gratis oleh *Autodesk* untuk pendatang baru dengan masa pakai perangkat lunak ini 30 hari, memiliki fungsi untuk mengimpor format *file 3D* dengan format *.stl*, *.3mf*, *.boz*, dan format CAD lainnya. Desain yang diimpor dapat dimodifikasi, dan diperbaiki untuk *additive manufacturing* dengan menggunakan menu *automated file analysis* dan menu *repair*.

b. *Netfabb Premium*

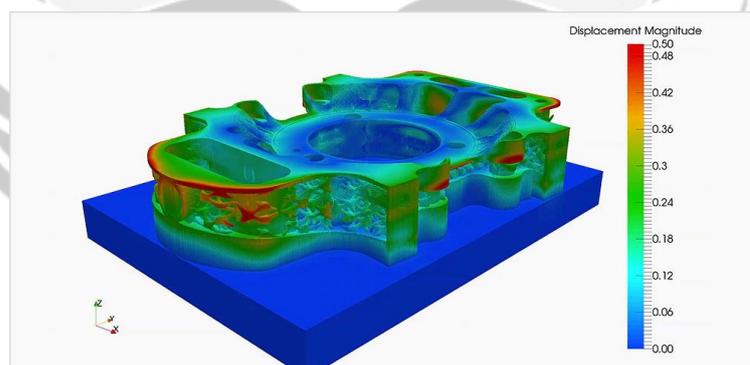
Netfabb premium adalah perangkat lunak berbayar dari *Autodesk* dengan biaya sewa per tahun sebesar \$ 4.100, perangkat lunak ini memiliki beberapa fitur yang lebih canggih dibandingkan dengan *netfabb standard*. Menu utama yang menonjol

pada perangkat lunak ini adalah kemampuan membuat lapisan dan *supports* secara lebih kompleks.

c. *Netfabb Ultimate*

Netfabb ultimate adalah perangkat lunak berbayar dari *Autodesk* dengan biaya sewa per tahun sebesar \$6.500, perangkat lunak ini memiliki beberapa fitur yang lebih canggih dibanding dengan *netfabb premium* diantaranya penambahan perangkat lunak pendukung yaitu *Fusion 360* yang berfungsi sebagai penentuan *toolpath machining* sederhana.

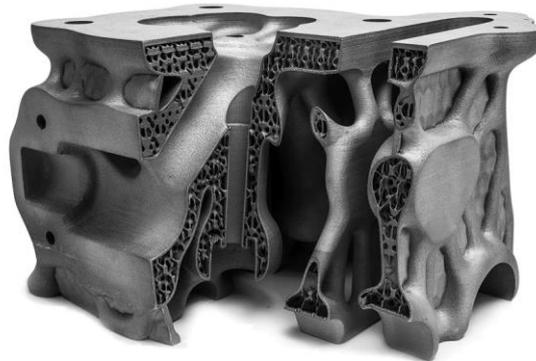
Dengan *Netfabb 2017*, simulasi proses pembuatan aditif sudah tersedia. laboratorium, fasilitas riset dan pabrikan sudah banyak yang menggunakan perangkat lunak ini, *Netfabb Simulation* secara akurat memprediksi interaksi termal dan mekanik pada bagian-bagian desain suatu produk seperti 3D model yang dicetak dalam ruang pembuatan. Simulasi yang ada di *netfabb* ini dapat menghemat waktu, biaya, dan pemborosan material yang dapat terjadi dalam proyek-proyek aditif logam bernilai tinggi, terutama untuk produk dengan ukuran yang besar. File *Precise Parameter (PRM)* dapat dilakukan dengan cara memasukkan parameter mesin dan material dalam perangkat lunak ini, file dapat diedit langsung dari perpustakaan *Netfabb*.



Gambar 2.16. Netfabb Metal 3D Printing Simulation
(sumber : Autodesk 2017)

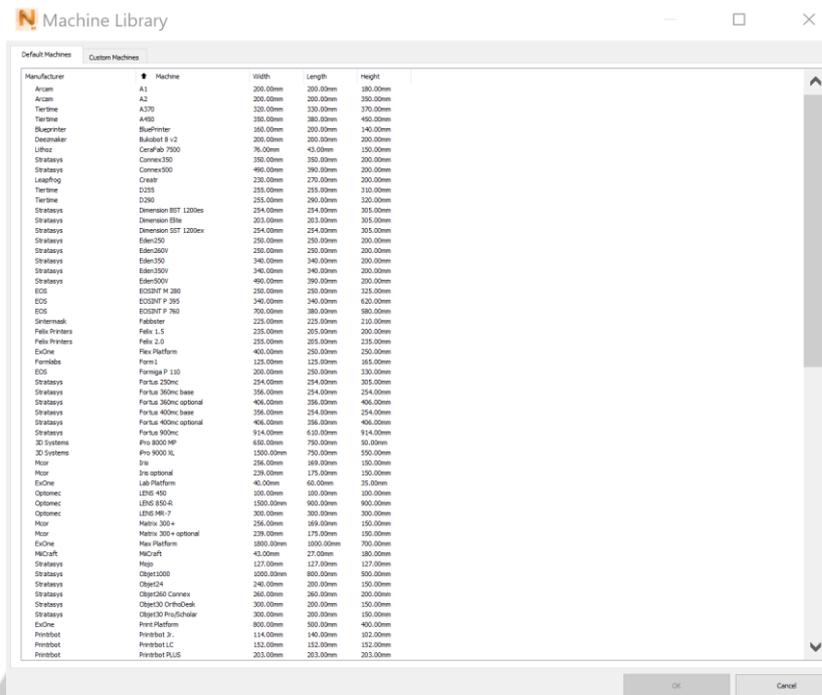
Latticing, batasan untuk rasio kekuatan terhadap berat komponen berkinerja tinggi, maksimal *costs* pembuatan produk mempunyai fungsi yang penting. Dalam *Netfabb 2017*, bagian ini dapat ditambahkan melalui *Lattice Assistant*, yang menghasilkan desain 3D produk yang dikerjakan dengan menambahkan gulungan atau *Lattice Commander* sehingga menghasilkan bagian baru pada desain 3D produk berdasarkan modifikasi yang dilakukan berdasarkan bagian. Penambahan

bagian dapat dilakukan secara otomatis atau manual. Dengan Netfabb 2017 para pengguna *Netfabb Premium*, telah diberikan akses ke pembuatan bagian secara manual.



Gambar 2.17. Optimizing costs and strength-to weight ratio through laticing
(sumber : Autodesk 2017)

Dialog Library Machine telah digantikan oleh *Room My Machines* yang lebih intuitif. Dengan pustaka mesin yang telah diprogram, *My Machines* mempermudah untuk menambahkan profil printer 3D dan mengelola beberapa pekerjaan cetak 3D, selain itu terdapat tambahan beberapa mesin CNC yang dapat digunakan di *Netfabb 2017*. Dengan *shared viewing* dan *cloud storage of 3D files*, sekarang lebih mudah untuk berbagi proyek dan desain dengan pekerja lainnya. Dalam proses ini perubahan sering dilakukan. Tetapi *Netfabb 2017* telah diperbarui untuk menghilangkan kerumitan dari setiap pembaruan. Fungsi Putar Ulang memungkinkan pengguna untuk menghasilkan kembali struktur dukungan untuk desain yang dimodifikasi. Dukungan surplus kini juga dapat dihapus dengan kriteria, bukan satu per satu.



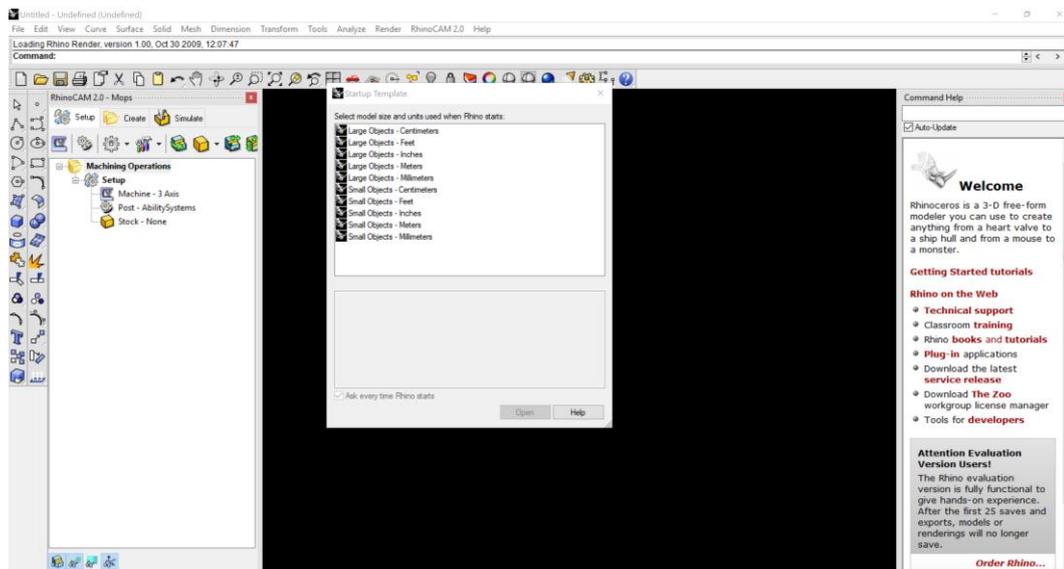
Gambar 2.18. Machine Library pada Netfabb 2017 (sumber : dokumentasi)

2.3.7. Rhinoceros 4.0

Rhinoceros 4.0 adalah perangkat lunak *Computerized Aided Manufactur* (CAM) berbasis *NURBS* yang berdiri sendiri. *NURBS-Spline* adalah dasar rasional yang tidak seragam. Perangkat lunak ini biasanya digunakan untuk desain industri, arsitektur, desain kelautan, desain perhiasan, desain otomotif, CAD/CAM, *prototyping*, *reverse engineering*, desain produk industri multimedia, dan desain grafis. *Rhinoceros 4.0* dapat digunakan untuk mengimpor dan mengekspor gambar dari atau ke perangkat lunak lain, seperti *AutoCAD*, *Revit*, *3DsMax*, dan lain-lain.

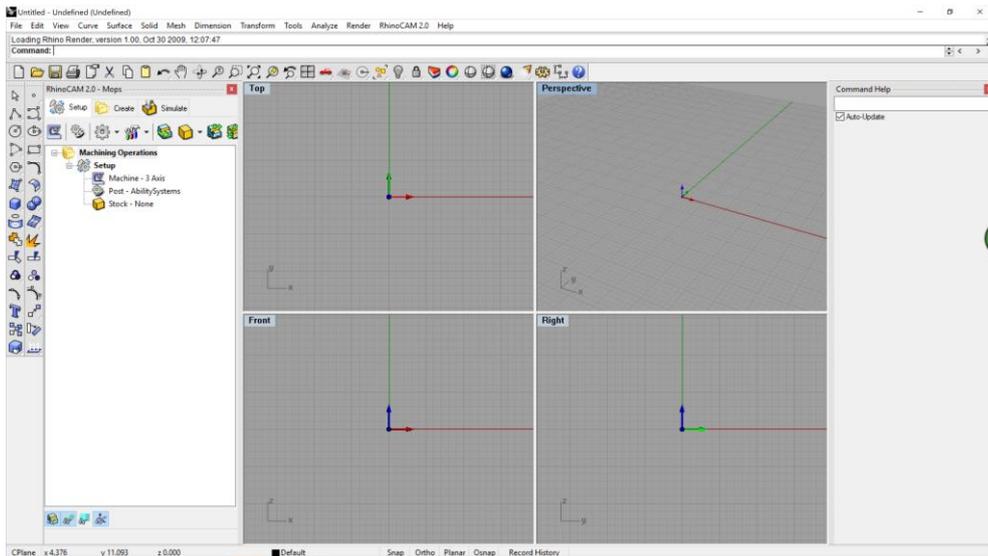
Rhinoceros 4.0 memiliki beberapa fitur yaitu *2D line drawings* yang digunakan untuk membuat desain 2D berbasis garis, *3D construction drawings* yang digunakan untuk membuat desain 3D berbasis model, *Rendering*, *Parts Assemblies*. Perangkat lunak ini juga menyediakan beberapa menu untuk proses pemesinan yaitu *Setting up the Workspace*, *Basic* atau *Common Commands Manipulating Properties*, *Viewports*, *Printing/Exporting*. Kelemahan dari perangkat lunak ini adalah proses *Rendering* desain cukup berat sehingga membutuhkan spesifikasi komputer khusus, *Parts* atau *Assemblies* tidak tersedia di *library*

sehingga untuk menambahkan *part* atau *assemblies* harus mendesain produk tersebut, *Rendering Properties* yang tersedia sedikit.

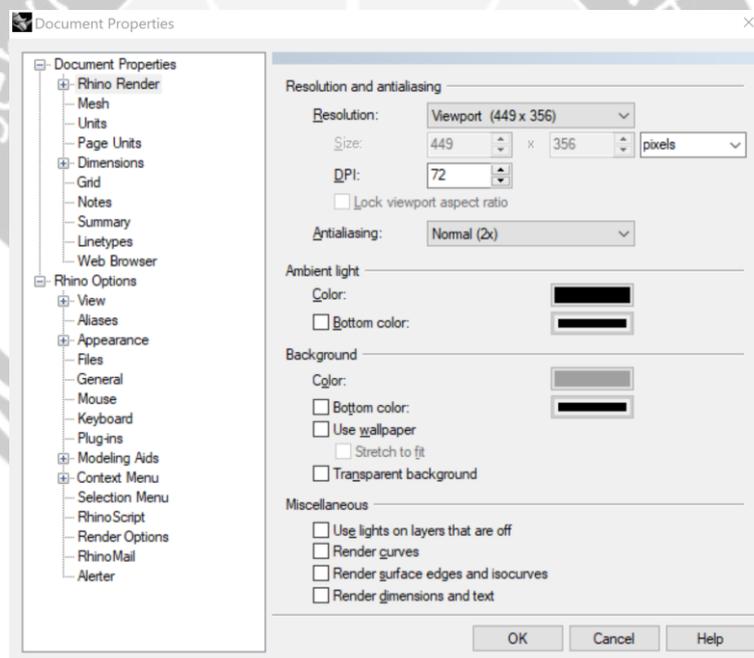


Gambar 2.19. Tampilan Perangkat lunak *Rhinoceros 4.0* (Sumber : dokumentasi)

Perangkat lunak *Rhinoceros 4.0* memiliki tampilan 4 *viewports* terdiri dari tampilan atas, tampilan depan, tampilan perspektif, dan tampilan sisi kanan. Pada setiap *viewports* dapat dimaksimalkan dengan cara mengklik dua kali pada kotak dialog yang terletak dipojok kiri atas tiap pandangan. Pengguna dapat memodifikasi *units*, *mesh*, *resolution*, *dimensions*, *background color*, *keyboard shortcuts*, dan lainnya dengan membuka *file-properties* seperti pada gambar 2.24. Pengguna dapat mengubah unit model sesuai keinginan, untuk pengaturan *default* unit yang disajikan adalah *feet*.



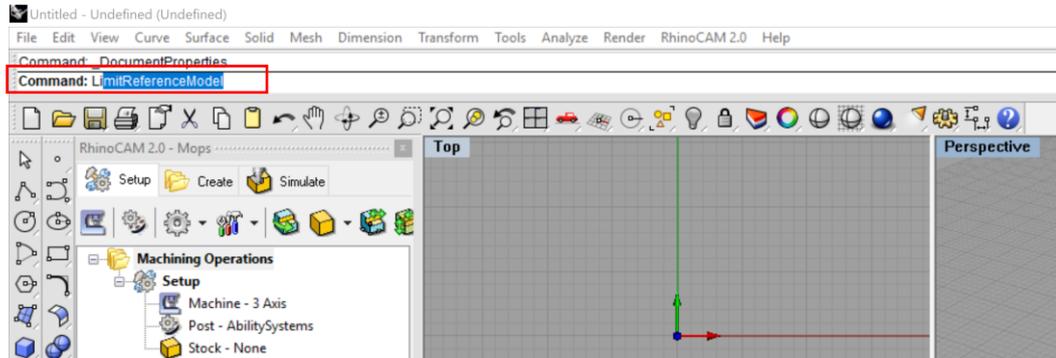
**Gambar 2.20. Workplane pada Rhinoceros 4.0
(sumber : dokumentasi)**



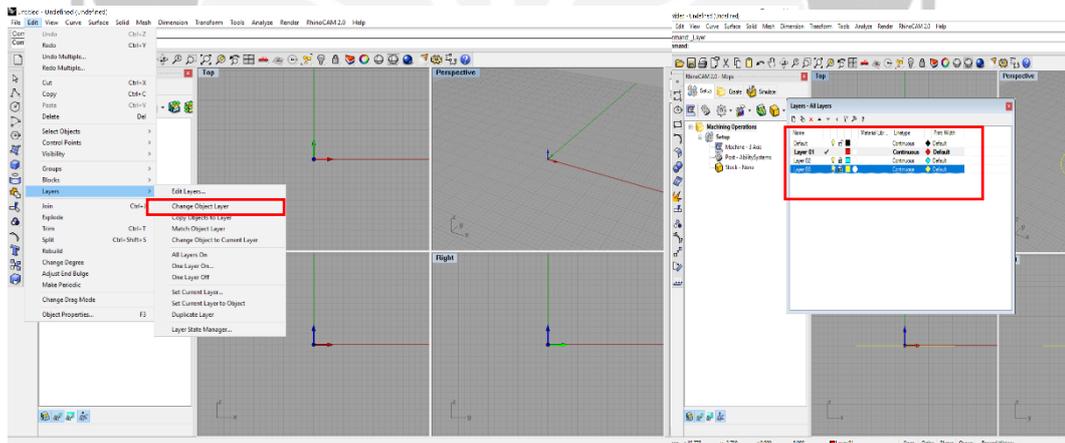
**Gambar 2.21. Menu Properties pada Rhinoceros 4.0
(sumber : dokumentasi)**

Jika pengguna melihat pada sudut kiri atas, dibawah menu *file* dan *edit*, pengguna akan melihat kotak dialog dan kata *command : written*. *If you start to type in that box, a list of command will show up* seperti pada gambar 2.25. Misal, pengguna mengetik kata *line* maka pada daftar perintah yang dimulai dengan *l*-i akan muncul. Untuk mengulangi perintah, pengguna dapat menekan tombol *enter*. Perangkat

lunak ini mirip dengan *AutoCAD*, *Rhinoceros 4.0* memiliki *layers* yang berfungsi untuk mempermudah dalam mengelompokkan obyek dan garis. Namun *layers* ini tidak dapat membedakan ketinggian garis yang berbeda. *Layers* dapat diganti dengan cara klik *edit-layers-change object layers*, maka akan muncul kotak yang mencantumkan *layers*. Pengguna dapat mengubah *layers object* dengan cara mengklik pada *layers* yang diinginkan seperti pada gambar 2.26.



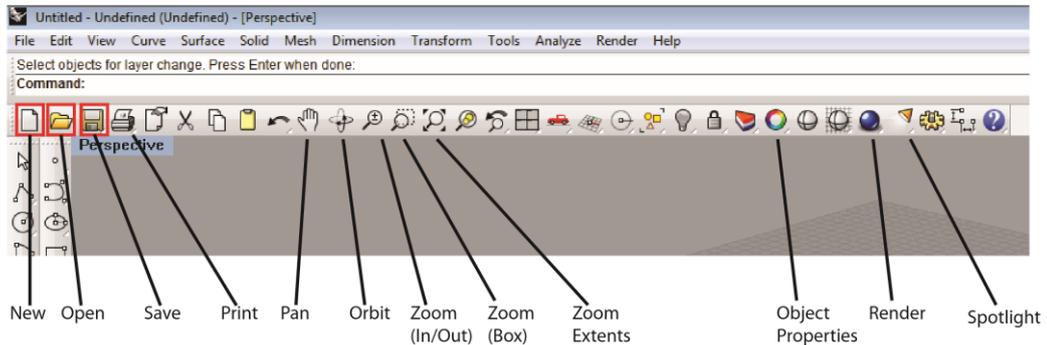
Gambar 2.22. Dialog Command pada Rhinoceros 4.0
(sumber : dokumentasi)



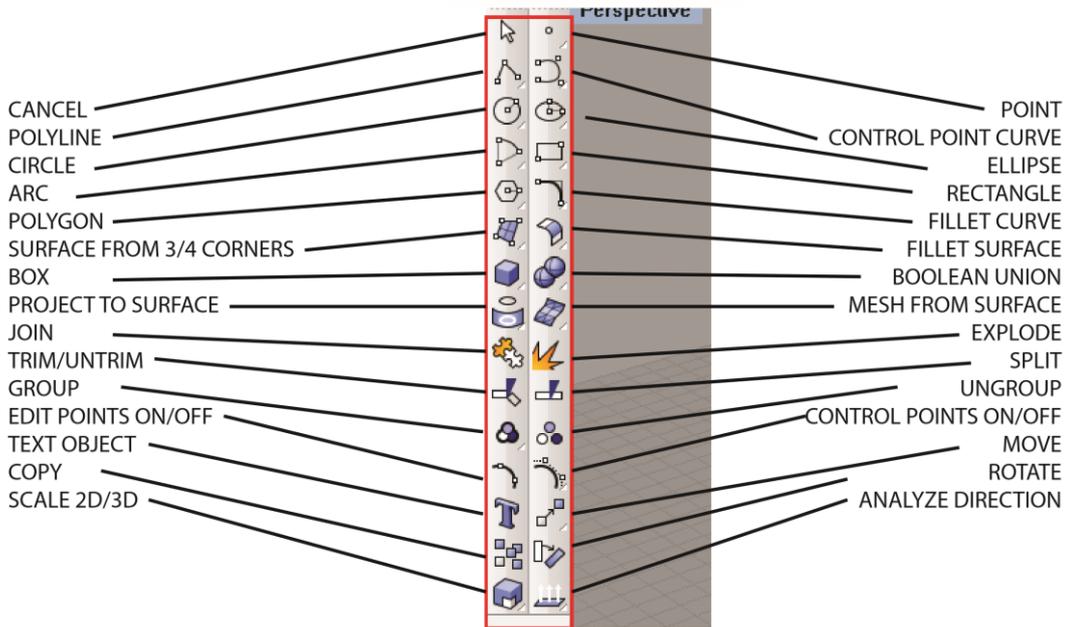
Gambar 2.23. layers Objects pada Rhinoceros 4.0
(sumber : dokumentasi)

Perangkat lunak ini memiliki *shortcuts* yang terletak dibawah baris *command*, menu ini berguna untuk membuka atau menyimpan dokumen. Pengguna dapat menggunakan fungsi *zoom*, *pan*, dan *orbit* untuk mengubah tampilan desain terlihat pada gambar 2.27. Selain itu perangkat lunak ini juga menyediakan menu *general object*, yang terletak pada sisi kiri layar. Tampilan menu ini mirip dengan

autoCAD dalam segi perintah yang tersedia, dan juga perintah tambahan yang berfungsi sebagai *rendering* dan *object 3D* seperti pada gambar 2.28.



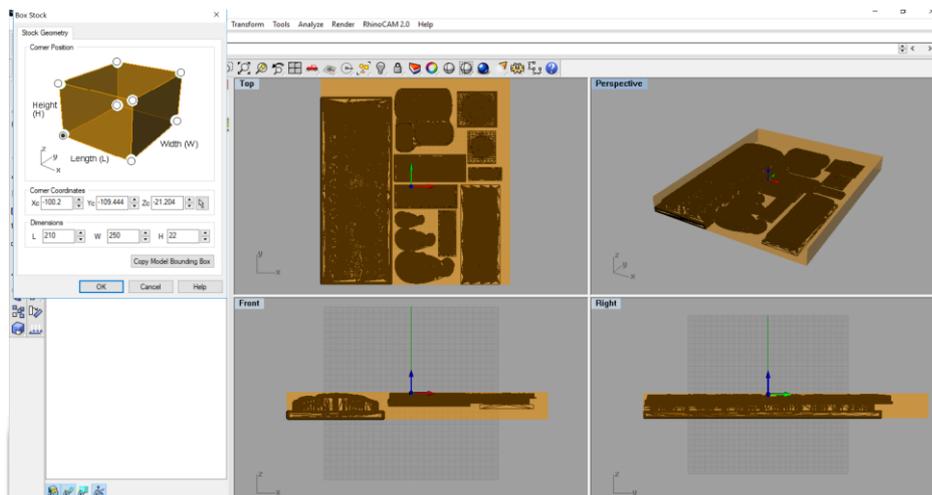
Gambar 2.24. Menu Shortcuts pada Rhinoceros 4.0
(sumber : dokumentasi)



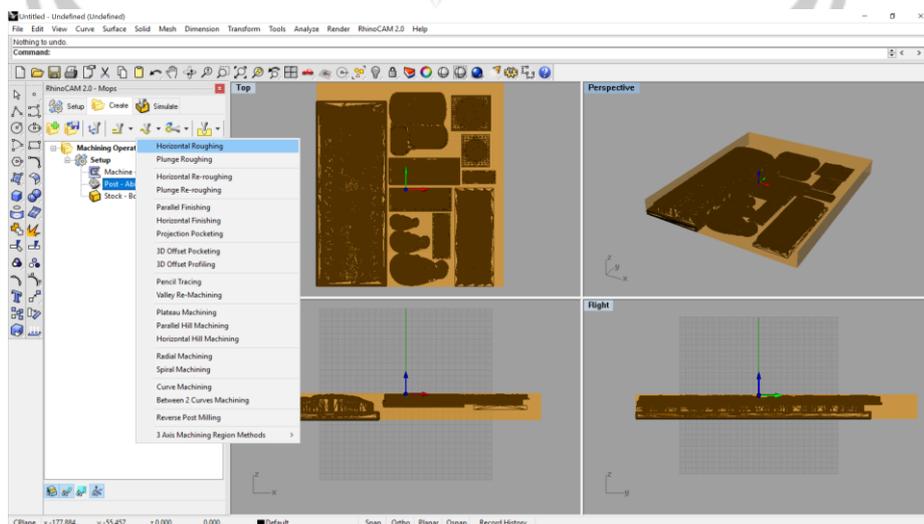
Gambar 2.25. Menu Generic Commands pada Rhinoceros 4.0
(sumber : dokumentasi)

Dengan perangkat lunak ini pengguna dapat membuat *toolpath strategy* untuk proses pemesinan produk yang akan dikerjakan, untuk membuat ukuran material dapat dengan cara mengklik *stock-bock stock* masukan ukuran panjang, lebar, dan tebal material yang akan diproses seperti pada gambar 2.29. *Toolpath strategy* pemesinan dapat dibuat dengan cara mengklik *3-axis*. Terdapat beberapa *toolpath strategy* yang tersedia di perangkat lunak *Rhinoceros 4.0* antara lain : *Horisontal Roughing, Plunge Roughing, Horisontal Re-Roughing, Plunge Re-*

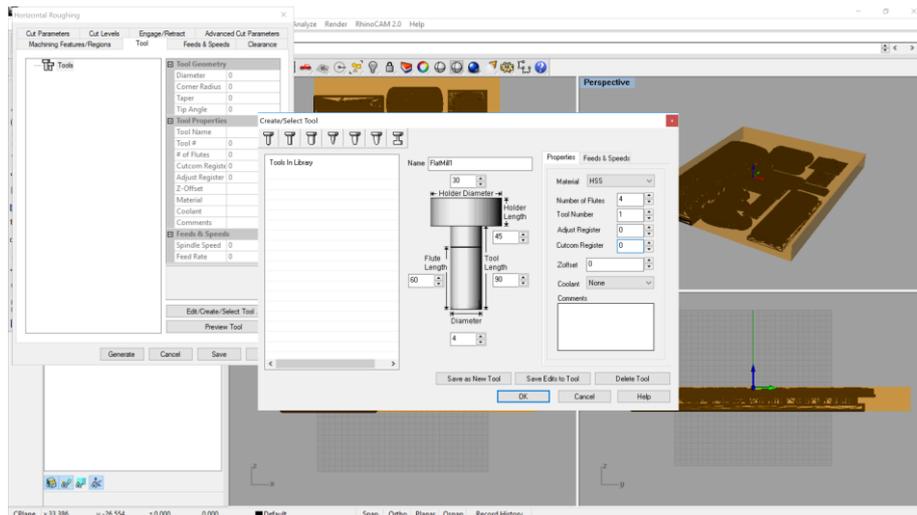
Roughing, Parallel Finishing, Horizontal Finishing, Projection Pocketing, 3D Offset Pocketing, 3D Offset profiling, Pencil Tracing, dan lain sebagainya (gambar 2.30.). Proses roughing menggunakan cutter flatmill sedangkan untuk semi-finishing dan finishing menggunakan cutter ballnose (gambar 2.3., gambar 2.32., dan gambar 2.33.). Pengaturan feeding dan speed dapat diatur di feed and speed seperti gambar 2.34, sedangkan untuk cut levels dapat diatur di cut leves seperti gambar 2.35.



Gambar 2.26. Setting Ukuran Material pada Rhinoceros 4.0
(sumber : dokumentasi)



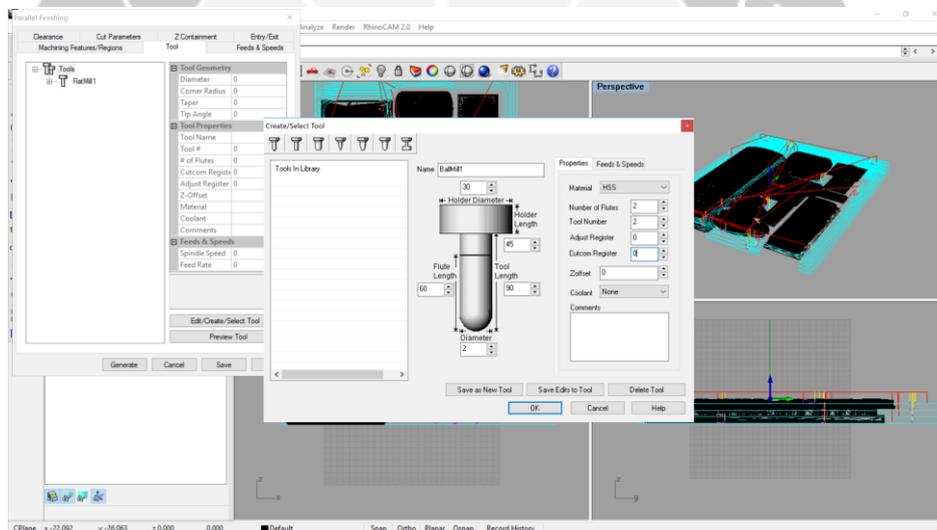
Gambar 2.27. Toolpath Strategy pada Rhinoceros 4.0
(sumber : dokumentasi)



Gambar 2.28. Pengaturan Cutter tools untuk Roughing pada Rhinoceros

4.0

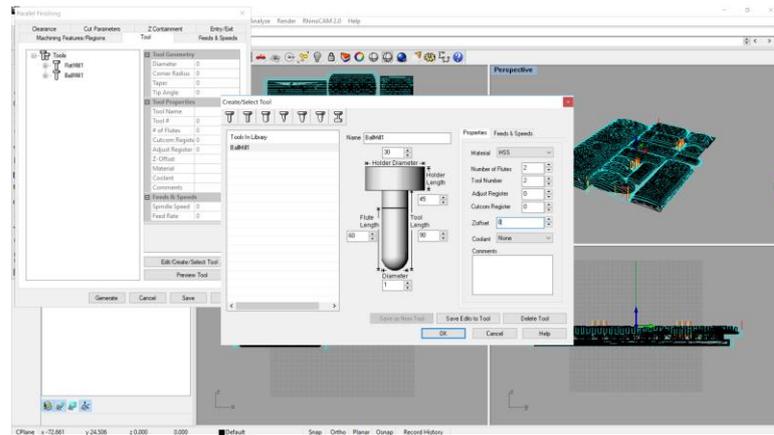
(sumber : dokumentasi)



Gambar 2.29. Pengaturan Cutter tools untuk Semi Finishing pada

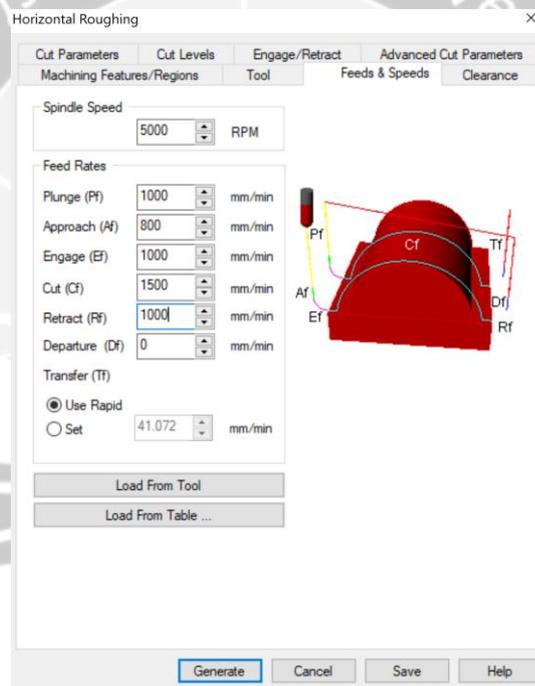
Rhinoceros 4.0

(sumber : dokumentasi)



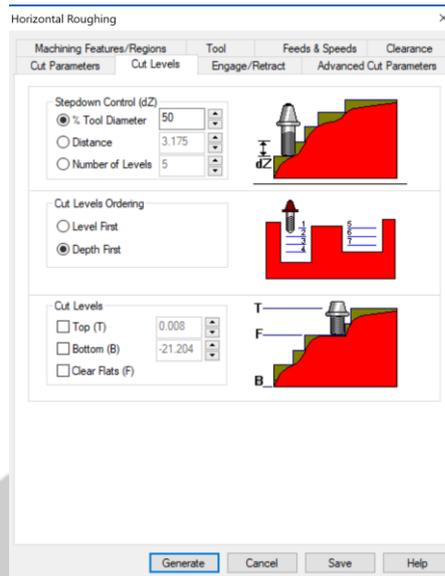
Gambar 2.30. Pengaturan Cutter tools untuk Finishing pada Rhinocross

4.0
(sumber : dokumentasi)



Gambar 2.31. Pengaturan feed & speeds pada Rhinocross 4.0

(sumber : dokumentasi)



Gambar 2.32. Pengaturan Cut Levels pada Rhinoceros 4.0
(sumber : dokumentasi)

2.3.8. PWMILL2016

PWMILL2016 (*PWMILL 2016*) adalah perangkat lunak *Computerized Aided Manufactur (CAM)* yang memiliki *machine toolpath strategy* disempurnakan baik untuk proses *roughing* maupun *finishing*. *PWMILL 2016* menambah satu strategi pemesinan untuk *roughing* yang bernama *Strategy Roughing Vortex*. Penyempurnaan perangkat lunak ini dapat memberikan proses pengerjaan yang lebih presisi, dan cepat dibandingkan dengan perangkat lunak *PWMILL* versi sebelumnya. Perangkat lunak ini dapat menginput dari perangkat lunak *design* lain yang memiliki format *STEP*, *IGES*, *UG*, *Catia*, *ProEngineer*, *Rhinoceros*, dan sebagainya. *Output* dari perangkat lunak *PWMILL 2016* adalah simulasi *machining process*, *NC-Code*, dan waktu pemesinan.



Gambar 2.33. Tampilan Loading PWMILL 2016
(sumber : dokumentasi)

Bagian *main toolbar* PWMILL 2016 :

a. *NC-Program*

Menu *NC-Program* terdapat pada layar menu utama. Menu *NC-Program* memiliki fungsi sebagai pembuat *NC-Code* produk yang dikerjakan. *NC-Code* berisikan langkah permesinan dengan bahasa program.

b. *Tools*

Menu *Tools* digunakan untuk membuat atau mengedit *cutter* yang akan digunakan untuk mengerjakan suatu produk.

c. *Toolpath strategy*

Menu ini berfungsi sebagai aktifasi dan pengeditan, serta melihat waktu proses program yang telah dibuat.

d. *Pattern*

Menu ini dapat membuat *line* yang berguna sebagai pembatas area yang akan diproses oleh program, memiliki fungsi seperti *boundaries* tetapi hanya akan memproses pada batas tepi produk. kita proses. Menu ini memiliki fungsi yang hampir sama dengan menu *Boundaries*.

e. Feature Set

Menu ini digunakan untuk proses *drilling* pada model, dengan menggunakan menu ini dapat mempercepat proses *drilling* karena *drill*, dan *cutter* dapat membuat lubang secara otomatis.

f. Boundaries

Boundaries dapat membatasi area yang akan diproses dengan cara memunculkan *line* pada bagian *surface product*.

g. Levels

Menu ini sering digunakan untuk menyembunyikan bagian produk tanpa harus menghapus. Biasanya sering digunakan untuk proses *editing* desain produk.

h. Workplane

Workplane digunakan sebagai titik nol sumbu pengerjaan pada proses pemesinan.

i. Macros

Merupakan menu yang digunakan untuk membantu pengguna dalam menggunakan *PWMILL 2016*, menjelaskan bagian-bagian *PWMILL 2016*, dan melihat versi dari *PWMILL 2016*.

j. Models

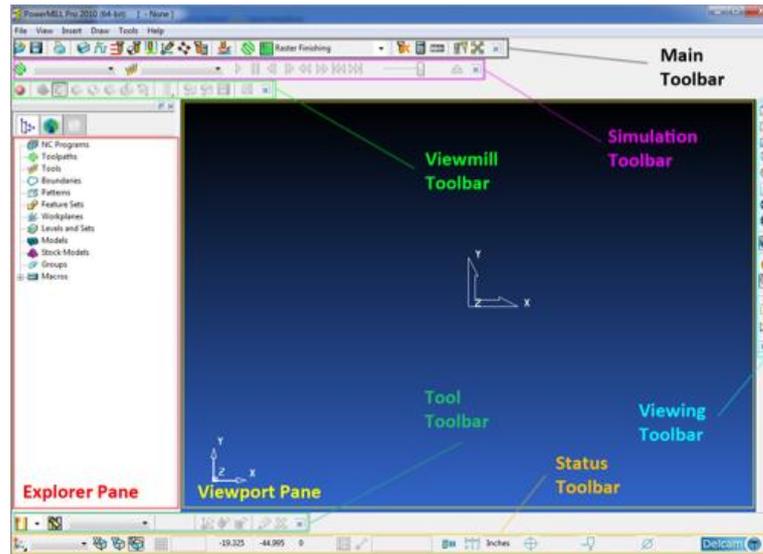
Digunakan untuk melihat model produk yang sedang dibuka oleh pengguna di *PWMILL 2016*.

k. Stock Models

Digunakan untuk melihat perbedaan hasil program dengan model produk dalam bentuk *wire*, dan melihat model secara *assembly* apabila produk yang dikerjakan merupakan produk *assemblyng*.

l. Groups

Digunakan untuk melihat gabungan model yang dibuka oleh pengguna.

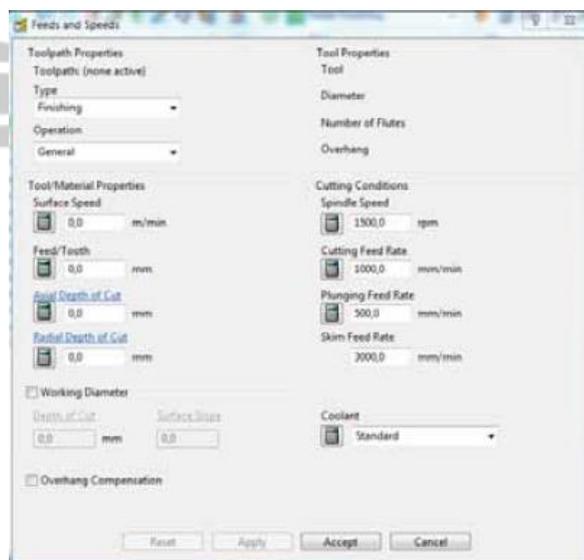


**Gambar 2.34. Tampilan Utama pada PWMILL 2016
(sumber : dokumentasi)**

Menu-menu dan fungsi toolbar pada PWMILL 2016 terdiri dari:

a. Feed Rate

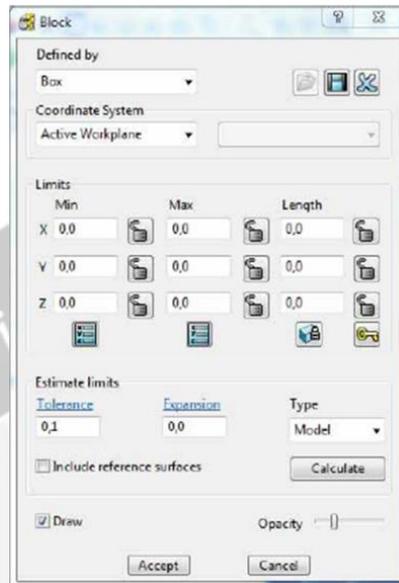
Menu ini berfungsi sebagai *input* data pergeseran pemakanan *cutter*, kecepatan *spindle*, dan kecepatan pemakanan yang digunakan dalam *machining process* produk. Pergeseran pemakanan *cutter*, kecepatan *spindle*, dan kecepatan pemakanan dapat dilihat melalui tabel elemen mesin.



**Gambar 2.35. Tampilan Menu Feed Rate
(sumber : dokumentasi)**

b. Block

Memiliki fungsi untuk mengetahui dan membuat material yang nantinya dibutuhkan untuk membuat suatu produk. Tampilan menu *Block* pada *PWMILL 2016* dapat dilihat pada gambar 2.38.

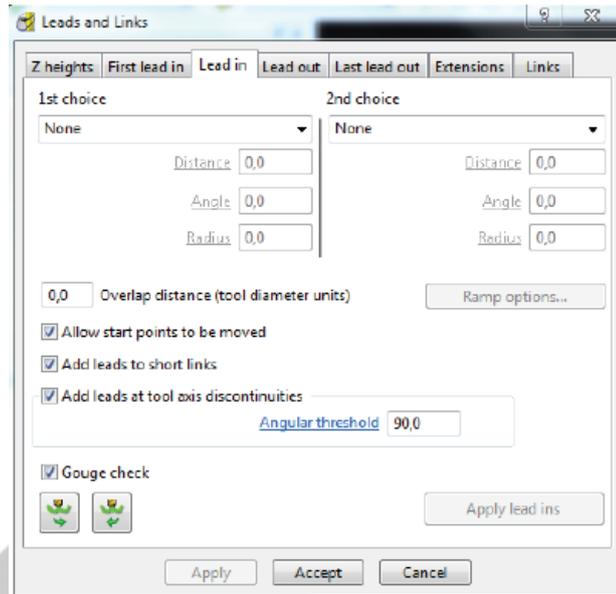


**Gambar 2.36. Tampilan Menu *Block* pada *PWMILL 2016*
(sumber : dokumentasi)**

Limits pada *PWMILL 2016* berfungsi sebagai dimensi ukuran material yang akan dikerjakan. X menunjukkan ukuran panjang material berdasarkan sumbu X pada mesin, Y ukuran lebar material berdasarkan sumbu Y pada mesin, sedangkan Z ukuran tebal material berdasarkan sumbu Z pada mesin. Dalam menu *blocks* terdapat tombol *calculate* yang berfungsi untuk memberikan ukuran material pada model secara otomatis.

c. Leads and Links

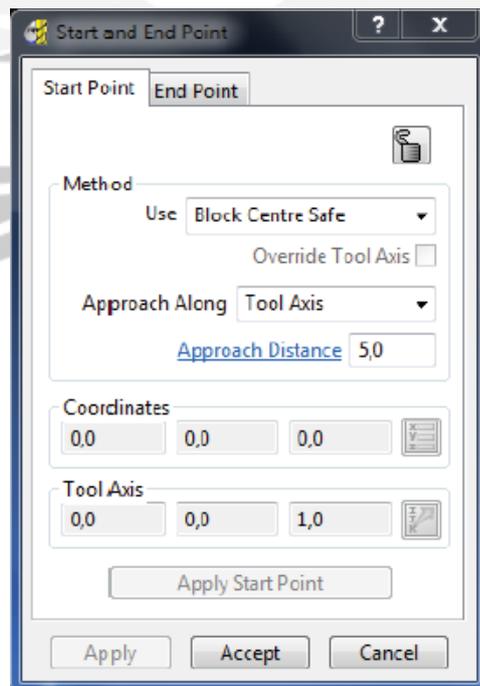
Berfungsi sebagai pengoptimalan waktu *machining process*, dengan cara menghilangkan gerakan *cutter* yang tidak efektif.



Gambar 2.37. Tampilan Menu *Leads and Links*
(sumber : dokumentasi)

d. *Start and End Point*

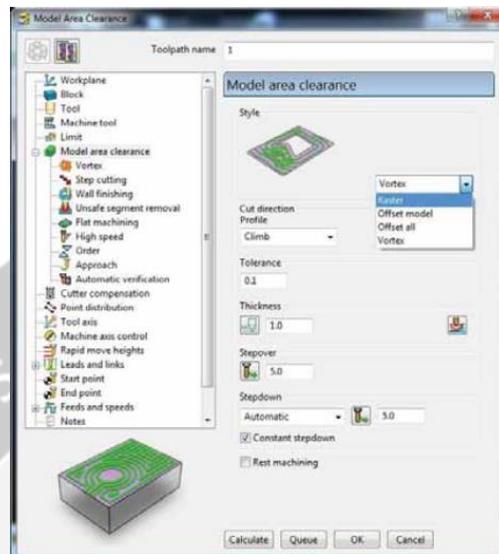
Menu ini berfungsi sebagai pengatur titik acuan *cutter* memulai proses pemakanan pada bagian material.



Gambar 2.38. Tampilan Menu *Start and End Point*
(sumber : dokumentasi)

e. *Toolpath Strategy*

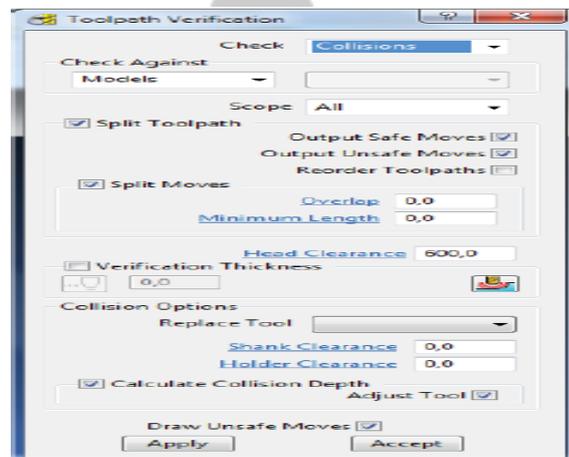
Digunakan untuk pemilihan program yang akan digunakan dalam proses pengerjaan produk. Proses penentuan program yang akan digunakan akan mempengaruhi hasil dari produk dan waktu pengerjaan.



Gambar 2.39. Tampilan Menu *Toolpath Strategy*
(sumber : dokumentasi)

f. *Toolpath Verification*

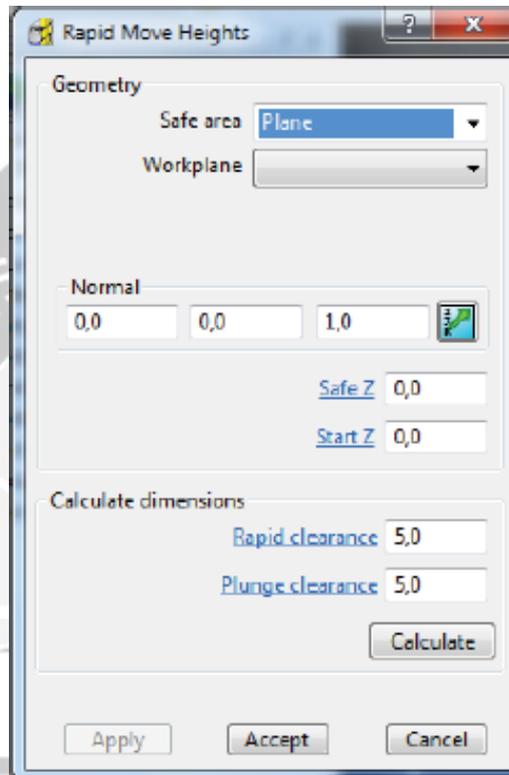
Menu ini digunakan sebagai verifikasi *cutter* dan *toolpath* yang sudah dibuat, agar tidak terjadi tabrakan antara *cutter* dan produk yang akan diproses *machining*. Pengecekan dapat dilakukan dengan menekan perintah *check gouges* atau *check collisions*.



Gambar 2.40. Toolpath Verification
(sumber : dokumentasi)

g. Rapid Move Height

Memiliki fungsi sebagai penentu jarak antara ujung *cutter* dengan material yang akan dikerjakan (*safety tooling*) sebelum *cutter* melakukan proses pemakanan. Menu ini terdapat kolom *safe Z* yang berfungsi sebagai pengaman *cutter* sebelum proses pemakanan material dilakukan, kolom *start Z* berfungsi sebagai pengatur jarak ketinggian *cutter* dengan permukaan material.

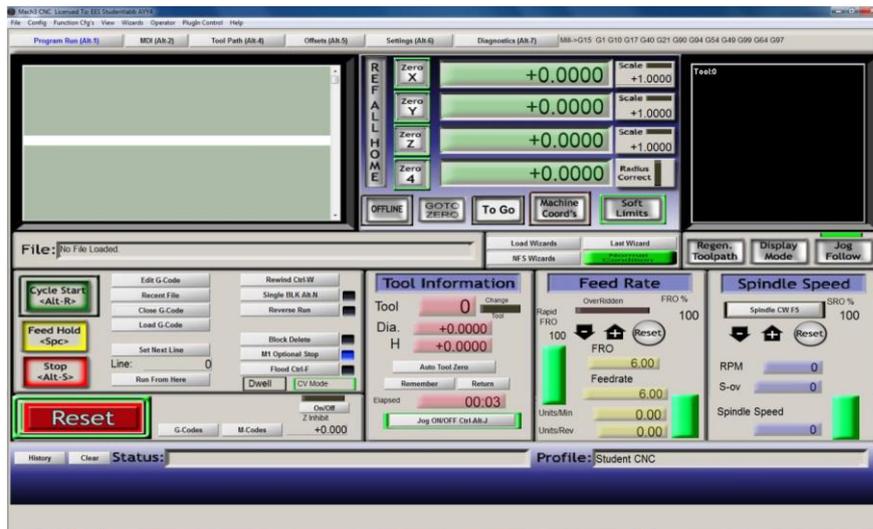


**Gambar 2.41. Menu Rapid Move Heights
(sumber : dokumentasi)**

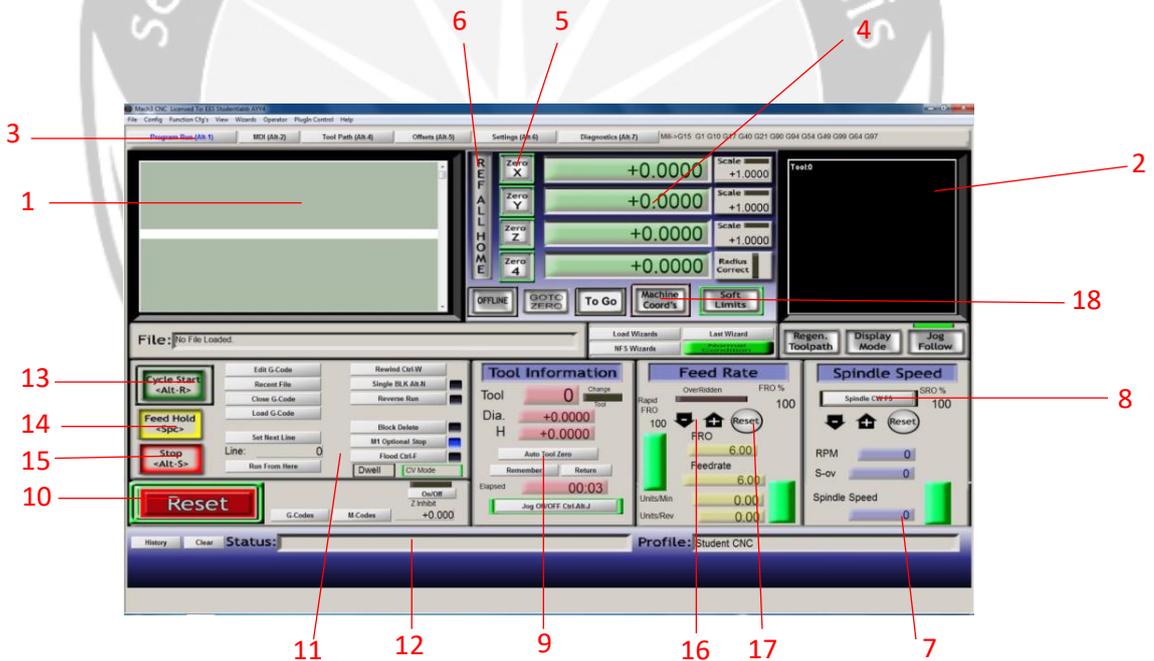
2.3.9. Mach 3

Controller perangkat lunak pada mesin CNC *Retrovit* yang digunakan adalah Mach 3. Mach 3 merupakan salah satu jenis *controller* perangkat lunak yang populer, perangkat lunak ini dapat digunakan dengan perangkat komputer berbasis *windows*, mudah digunakan, dan banyak fitur canggih pendukung yang tersedia pada perangkat lunak ini. Input data dalam perangkat lunak ini harus diikuti oleh ENTER. Perangkat lunak ini juga menyediakan *controller* yang langsung terhubung pada mesin (gambar 2.47.). Sumbu mesin dapat digerakkan oleh operator menggunakan tombol keyboard, dengan cara menekan SHIFT.

Layar Jog dengan pengaturan kecepatan mesin dapat ditampilkan / disembunyikan dengan menekan tombol TAB.



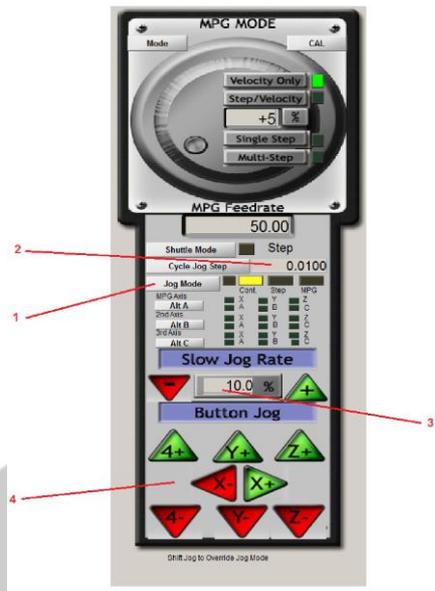
Gambar 2.42. Tampilan Controller Perangkat lunak Mach 3 (sumber : dokumentasi)



Gambar 2.43. Bagian Menu Pada Controller Perangkat lunak Mach 3 (sumber : dokumentasi)

**Tabel 2.1. Bagian Menu dari Controller Perangkat lunak Mach 3
(sumber : dokumentasi)**

1. <i>G -Code window</i>	10. <i>Resets Mach 3</i>
2. <i>Toolpath display</i>	11. <i>G - Code file operations</i>
3. <i>Select tabs</i>	12. <i>Status bar, displays messages</i>
4. <i>Axis DRO, menunjukan koordinat terakhir cutter.</i>	13. <i>Start G - Code execution</i>
5. <i>Zero buttons, zero an axis</i>	14. <i>menghentikan sementara program yang sedang berjalan</i>
6. <i>mengembalikan koordinat sesuai dengan koordinat mesin.</i>	15. <i>menghentikan program kerja</i>
7 <i>Set Spindle speed</i>	16. <i>Override feedrate</i>
8. <i>Start/Stop Spindle</i>	17. <i>Reset feedrate dengan input G – Code</i>
9. <i>Auto Tool Zero Routine</i>	18. <i>mengganti koordinat antara koordinat mesin dan koordinat benda kerja.</i>



Gambar 2.44. Controller Mesin pada Perangkat lunak Mach 3
(sumber : dokumentasi)

Tabel 2.2. Keterangan Controller Mesin pada Perangkat lunak Mach 3
(sumber : dokumentasi)

1	Mengubah kecepatan secara bertahap, dan kecepatan konstan
2	Besar kecepatan
3	Memperlambat kecepatan, dalam persen.
4	kecepatan dengan menggunakan tombol.

Koordinat kerja dapat diatur dengan cara memindahkan *cutter* sesuai dengan koordinat pada tahap CAM, kemudian nilai koordinat pada tiga sumbu (X,Y, dan Z) *input* 0. Perangkat lunak ini juga memberikan fungsi *Manual Digital Input* (MDI) yang dapat memasukan intruksi *G-code* secara langsung. Fungsi ini berguna untuk pemesinan produk yang sederhana. Fungsi ini juga dapat memulai atau menghentikan *spindle*, dan dapat ditemukan dengan menekan Tab. Perangkat lunak ini juga menyediakan *wizard overview* yang dapat menghasilkan *G-code* untuk operasi sederhana seperti membuat lubang atau *pocket*. *Wizard overview* dapat diakses dari menu *drop-down*.

2.3.10. CNC *Retrovit*

Computer Numerical Control (CNC) adalah metode pengoptimasian kontrol mesin melalui penggunaan perangkat lunak yang terpasang pada *microcomputer*. Produk yang akan dikerjakan dengan mesin CNC mendapatkan program dalam bentuk *coding* yang disebut *G-code*, yang disimpan dan dijalankan oleh unit kontrol mesin (MCU). *G-code* berisi instruksi dan parameter yang dapat menjalankan CNC. Penggunaan mesin CNC dapat mendapatkan produk yang lebih presisi, lebih kompleks, dan dapat digunakan untuk membuat produk massal dengan ukuran yang sama dibandingkan dengan menggunakan mesin manual.

Mesin CNC bermacam-macam salah satunya adalah mesin CNC *Retrovit*. CNC *retrovit* adalah mesin CNC yang telah mengalami modifikasi atau peremajaan dengan mengganti sebagian *part* mekanik dan elektrik sehingga kemampuan mesin dapat meningkat. CNC *retrovit* memiliki sistem yang terdiri dari lima bagian utama yaitu *Interface*, modul komunikasi berupa konverter RS232 ke RS485, modul *controller*, *motor driver*, dan mesin *milling*. *User interface* pada sistem dapat memungkinkan pengguna upload *NC-part program*, menggerakkan simulasi gerakan *cutter*, melakukan *editing program*, dan menyimpan program yang sudah diperbaiki. Dengan *User interface* operator dapat melakukan kalibrasi sistem dengan cara setting parameter gerakan seperti resolusi, kecepatan, *backlash*, dan *acceleration*. Transfer data pada mesin ini menggunakan perangkat keras berupa kabel LAN yang terhubung pada komputer.



Gambar 2.45 Mesin CNC *Retrovit*