

Integrasi Software CAD-CAM dalam Sistem Operasi Mesin Bubut CNC

Yuris Setyoadi¹, Khoiriya Latifah²

¹ *Jurusan Teknik Mesin, Fakultas TEKNIK, Universitas PGRI Semarang*

² *Jurusan Informatika, Fakultas TEKNIK, Universitas PGRI Semarang*

Gedung B Lantai 3, Kampus 1 Jl. Sidodadi Timur 24, Semarang

E-mail : yurismesin@gmail.com¹, latifa.k@gmail.com²

Abstract – *Computer-aided manufacturing (CAM) is an application technology that uses computer software and machinery to facilitate and automate manufacturing processes. CAM is the successor of computer-aided engineering (CAE) and is often used in tandem with computer-aided design (CAD). Manufacturing, computer software has been used to control automatic production machines with high accuracy, for example CNC machine. This paper focuses on the use of CAD-CAM software (SolidWorks and CAMWorks integrated) and then applied to a CNC lathe that uses software Mach3, Mach3 is a software that can turn a desktop into a CNC machine tool controller. SolidWorks, CAMWorks and Mach3 Software integrated into the operating system so that the CNC lathe correction process and format modification commands movement in the G / M code can be done in software.*

Keywords : *CAD-CAM, SOLIDWorks, CAMWorks, Mach3, CNC*

Abstrak– *Computer Aided Manufacturing (CAM)) adalah sebuah teknologi aplikasi yang menggunakan perangkat lunak komputer dan mesin untuk memfasilitasi dan mengotomatisasi proses manufaktur. Computer Aided Manufacturing (CAM)) adalah penerus dari Computer Aided Engineering (CAE) dan sering digunakan bersama dengan Computer-Aided Design (CAD). Bidang manufaktur, perangkat komputer telah dipergunakan untuk mengontrol mesin-mesin produksi otomatis dengan ketepatan tinggi, misalnya mesin CNC. Artikel ini membahas tentang penggunaan software CAD-CAM (SOLIDWorks dan CAMWorks yang terintegrasi) kemudian diaplikasikan ke mesin bubut CNC yang menggunakan software Mach3, Mach3 adalah software yang bisa mengubah komputer dekstop menjadi sebuah piranti kontroller mesin CNC. Software SOLIDWorks, CAMWorks dan Mach3 diintegrasikan ke dalam sistem operasi mesin bubut CNC sehingga proses koreksi dan modifikasi format perintah gerakan dalam G/M code dapat dilakukan dalam software tersebut.*

Kata kunci: *CAD-CAM, SOLIDWorks, CAMWorks, Mach3, CNC*

PENDAHULUAN

Computer Aided Design adalah suatu program komputer untuk menggambar suatu produk atau bagian dari suatu produk. Produk yang ingin digambarkan bisa diwakili oleh garis-garis maupun simbol-simbol yang

memiliki makna tertentu. CAD bisa berupa gambar 2 dimensi dan gambar 3 dimensi.

Berawal dari menggantikan fungsi meja gambar kini perangkat lunak CAD telah berevolusi dan terintegrasi dengan perangkat lunak CAE (*Computer Aided Engineering*)

dan *Computer Aided Manufacturing* (CAM). Integrasi itu dimungkinkan karena perangkat lunak CAD saat ini kebanyakan merupakan aplikasi gambar 3 dimensi atau biasa disebut solid modelling. Solid model memungkinkan kita untuk memvisualisasikan komponen dan rakitan yang kita buat secara realistis. Selain itu model mempunyai properti seperti massa, volume, pusat gravitasi, luas permukaan dll. (www.wikipedia.org)



Gambar 1.1 CAD (*Computer Aided Design*). (<http://www.3ds.com>)

Computer Aided Manufacturing (CAM)) adalah sebuah teknologi aplikasi yang menggunakan perangkat lunak komputer dan mesin untuk memfasilitasi dan mengotomatisasi proses manufaktur. *Computer Aided Manufacturing* (CAM)) adalah penerus dari *Computer Aided Engineering* (CAE) dan sering digunakan bersama dengan *Computer-Aided Design* (CAD). Selain persyaratan bahan, sistem *Computer Aided Manufacturing* (CAM) modern termasuk kontrol *real-time* dan robotika. *Computer Aided Manufacturing* (CAM)) mengurangi limbah dan energi untuk meningkatkan produksi dan efisiensi produksi melalui kecepatan produksi meningkat, konsistensi bahan baku dan akurasi perkakas yang lebih tepat.

Computer Aided Manufacturing (CAM)) menggunakan proses manufaktur berbasis komputer untuk otomatisasi tambahan manajemen, pelacakan material,

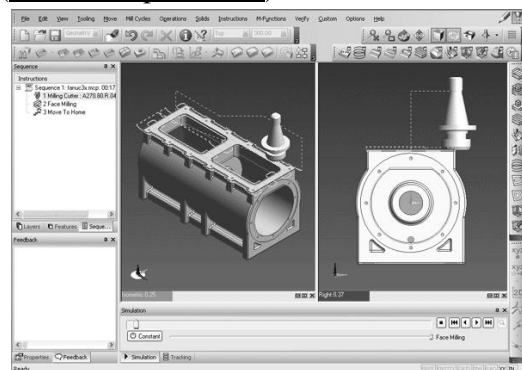
perencanaan dan transportasi (*Computer Aided Manufacturing* (CAM)) juga mengimplementasikan perangkat produktivitas canggih seperti simulasi dan optimasi untuk meningkatkan keterampilan profesional.

Computer Aided Manufacturing (CAM) dapat hadir kekurangan dalam bidang berikut:

1. Proses manufaktur dan kompleksitas penggunaan
2. Produk *Lifecycle Management* (PLM) dan integrasi
3. Perusahaan modern otomatisasi proses mesin

Solusi *Computer Aided Manufacturing* (CAM) modern terukur dan berkisar dari sistem diskrit untuk multi-CAD integrasi 3D.

Computer Aided Manufacturing (CAM) sering dikaitkan dengan CAD untuk lebih ditingkatkan dan efisien manufaktur, desain efisien dan otomatisasi mesin. (www.techopedia.com)



Gambar 1.2 CAM (*Computer Aided Manufacturing*). (www.cadcamfunda.com)

Perkembangan teknologi komputer saat ini telah mengalami kemajuan yang amat pesat. Dalam hal ini komputer telah diaplikasikan ke dalam alat-alat mesin perkakas di antaranya Mesin Bubut, Mesin Frais, Mesin Skrap, Mesin Bor, dll. Hasil perpaduan teknologi komputer dan teknologi mekanik inilah yang selanjutnya dinamakan CNC (*Computer Numerically Controlled*).

Sistem pengoperasian CNC menggunakan program yang dikontrol langsung oleh komputer. Secara umum konstruksi mesin perkakas CNC dan sistem kerjanya adalah sinkronisasi antara komputer dan mekaniknya. Jika dibandingkan dengan mesin perkakas konvensional yang setaraf dan sejenis, mesin perkakas CNC lebih unggul baik dari segi ketelitian (*accurate*), ketepatan (*precision*), fleksibilitas, dan kapasitas produksi. Sehingga di era modern seperti saat ini banyak industri-industri mulai meninggalkan mesin-mesin perkakas konvensional dan beralih menggunakan mesin-mesin perkakas CNC.

Computer Numerical Control/ CNC (berarti "komputer kontrol numerik") merupakan sistem otomatisasi Mesin perkakas yang dioperasikan oleh perintah yang diprogram secara abstrak dan disimpan di media penyimpanan, hal ini berlawanan dengan kebiasaan sebelumnya dimana mesin perkakas biasanya dikontrol dengan putaran tangan atau otomatisasi sederhana menggunakan cam. Kata NC sendiri adalah singkatan dalam Bahasa Inggris dari kata Numerical Control yang artinya Kontrol Numerik. Mesin NC pertama diciptakan pertama kali pada tahun 40-an dan 50-an, dengan memodifikasi Mesin perkakas biasa. Dalam hal ini Mesin perkakas biasa ditambahkan dengan motor yang akan menggerakkan pengontrol mengikuti titik-titik yang dimasukkan ke dalam sistem oleh perekam kertas. Mesin perpaduan antara servo motor dan mekanis ini segera digantikan dengan sistem analog dan kemudian komputer digital, menciptakan Mesin perkakas modern yang disebut Mesin CNC (*computer numerical control*) yang dikemudian hari telah merevolusi proses desain.

Saat ini mesin CNC mempunyai hubungan yang sangat erat dengan program CAD. Mesin-mesin CNC dibangun untuk

menjawab tantangan di dunia manufaktur modern. Dengan mesin CNC, ketelitian suatu produk dapat dijamin hingga 1/100 mm lebih, pengerjaan produk massal dengan hasil yang sama persis dan waktu permesinan yang cepat. (www.wikipedia.org)

NC/CNC terdiri dari tiga bagian utama:

1. Program
2. *Control Unit/Processor*
3. Motor listrik servo untuk menggerakkan kontrol pahat
4. Motor listrik untuk menggerakkan/memutar pahat
5. Pahat
6. Dudukan dan pemegang

Prinsip kerja NC/CNC secara sederhana dapat diuraikan sebagai berikut :

1. Programmer membuat program CNC sesuai produk yang akan dibuat dengan cara pengetikan langsung pada mesin CNC maupun dibuat pada komputer dengan software pemrograman CNC.
2. Program CNC tersebut, lebih dikenal sebagai G-Code, seterusnya dikirim dan dieksekusi oleh prosesor pada mesin CNC menghasilkan pengaturan motor servo pada mesin untuk menggerakkan perkakas yang bergerak melakukan proses permesinan hingga menghasilkan produk sesuai program. (www.wikipedia.org)



Gambar 1.3 mesin CNC.
(www.wikipedia.org)

G-Code, atau kode persiapan atau fungsi, adalah fungsi kontrol numerik dalam bahasa pemrograman. G-kode adalah kode posisi alat dan melakukan pekerjaan yang sebenarnya, berbeda dengan M-kode, yang mengelola mesin; T untuk alat-kode terkait. S dan F adalah alat-Speed dan alat-Feed, dan akhirnya D-kode untuk alat kompensasi.

Bahasa pemrograman Numerical Control (NC) adalah informal kadang disebut G-kode. Namun dalam kenyataannya, G-kode ini hanya sebagian dari NC-bahasa pemrograman yang mengendalikan NC dan peralatan mesin CNC. Kontrol numerik istilah diciptakan di Laboratorium Servomechanisms MIT, dan beberapa versi dari NC itu dan masih dikembangkan secara mandiri oleh pabrik mesin CNC. Versi standar utama yang digunakan di Amerika Serikat telah diselesaikan oleh Electronic Industries Alliance di awal 1960-an. Revisi terakhir yang telah disetujui pada bulan Februari 1980 sebagai RS274D. Di Eropa, standar DIN 66.025 / ISO 6.983 sering digunakan sebagai gantinya.

Karena kurangnya pengembangan lebih lanjut, yang sangat besar alat mesin berbagai konfigurasi, dan sedikit permintaan untuk interoperabilitas, beberapa mesin alat pengontrol (CNCs) mengikuti standar ini. Ekstensi dan variasi telah ditambahkan secara terpisah oleh produsen, dan operator kontroler tertentu harus menyadari perbedaan dari masing-masing produsen produk. Ketika awalnya diperkenalkan, sistem CAM terbatas pada alat konfigurasi didukung.

Saat ini, produsen utama dari sistem kontrol CNC Fanuc GE Automation (perusahaan patungan General Electric dan Fanuc), Siemens, Mitsubishi, dan Heidenhain, tetapi masih ada yang lebih kecil dan / atau tua sistem controller.

Beberapa produsen mesin CNC berusaha untuk mengatasi kesulitan

kompatibilitas dengan standarisasi pada alat mesin dibangun oleh Fanuc controller. Sayangnya, tidak Fanuc tetap konsisten dengan RS-274 atau versi sebelumnya sendiri, dan telah lambat menambahkan fitur baru, serta memanfaatkan peningkatan daya komputasi. Misalnya, mereka mengubah G70/G71 untuk G20/G21; mereka gunakan tanda kurung untuk komentar yang menyebabkan kesulitan ketika mereka memperkenalkan perhitungan matematis jadi mereka menggunakan tanda kurung persegi untuk perhitungan makro; mereka sekarang memiliki teknologi nano akhir-akhir ini dalam mode 32-bit tetapi dalam Fanuc 15mb kendali yang mereka memperkenalkan HPCC (presisi tinggi kontur DNS) yang menggunakan 64-bit RISC processor dan sekarang ini memiliki 500 blok penyangga untuk melihat ke depan untuk benar-bentuk permukaan *Contouring* dan program blok kecil dan 5-sumbu mesin terus-menerus.

Mesin Bubut CNC secara garis besar dapat digolongkan menjadi dua, yaitu :

1. Mesin Bubut CNC Training Unit (CNC TU)
2. Mesin Bubut CNC Production Unit (CNC PU)

Kedua mesin tersebut mempunyai prinsip kerja yang sama, akan tetapi yang membedakan kedua tipe mesin tersebut adalah penggunaannya di lapangan. CNC TU dipergunakan untuk pelatihan dasar pemrograman dan pengoperasian CNC yang dilengkapi dengan EPS (External Programing Sistem). Mesin CNC jenis Training Unit hanya mampu dipergunakan untuk pekerjaan-pekerjaan ringan dengan bahan yang relatif lunak. Sedangkan Mesin CNC PU dipergunakan untuk produksi massal, sehingga mesin ini dilengkapi dengan assesoris tambahan seperti sistem pembuka otomatis yang menerapkan prinsip kerja

hidrolis, pembuangan tatal, dan sebagainya. (Widarto, 2008)

Gerakan Mesin Bubut CNC dikontrol oleh komputer, sehingga semua gerakan yang berjalan sesuai dengan program yang diberikan, keuntungan dari sistem ini adalah memungkinkan mesin untuk diperintah mengulang gerakan yang sama secara terus menerus dengan tingkat ketelitian yang sama pula. (Widarto, 2008)

SOLIDWorks pada dasarnya merupakan aplikasi grafis tiga dimensi yang berfokus pada pengembangan perangkat. Artinya, software ini adalah duet maut untuk para pengembang dalam berbagai industri, seperti penerbangan, otomotif, dan medis.



Gambar 1.4 software SOLIDWorks.
(www.solidworks.com)

CAMWorks merupakan software CAM yang terintegrasi dengan SOLIDWorks, software tersebut menjembatani dari pekerjaan CAD dihubungkan ke CAM tanpa harus keluar dari program, sehingga proses koreksi dan modifikasi format perintah gerakan dalam *G/M code* dapat dilakukan dalam software tersebut.



Gambar 1.5 software CAMWorks.
(www.camworks.com)

Mach3 adalah software yang bisa mengubah komputer dekstop menjadi sebuah piranti controller mesin CNC. Mach3 sangat kaya fitur dan memberikan nilai yang besar untuk mereka yang membutuhkan paket kontrol CNC. Mach3 bekerja pada PC Windows untuk mengendalikan gerakan motor (*stepper&servo*) dengan mengolah G-Code. Bukan hanya milling dan bubut, Mach3 juga bisa dikembangkan untuk beberapa mesin CNC yang lainnya, seperti : *Plasma cutting CNC, EDM Wire CUT, Water Jet, dan Laser*. Mach3 memiliki fitur penambah program (VBscript) yang memungkinkan kita untuk menambahkan kefungsiian khusus seperti: *ATC(automatic tool changer)*. MPI menggunakan mach3 untuk mengembangkan mesin CNC *plasma cutting*.(www.machsupport.com)



Gambar 1.6 software Mach3.
 (www.machsupport.com)

TUJUAN

Tujuan dari pembuatan artikel ini adalah:

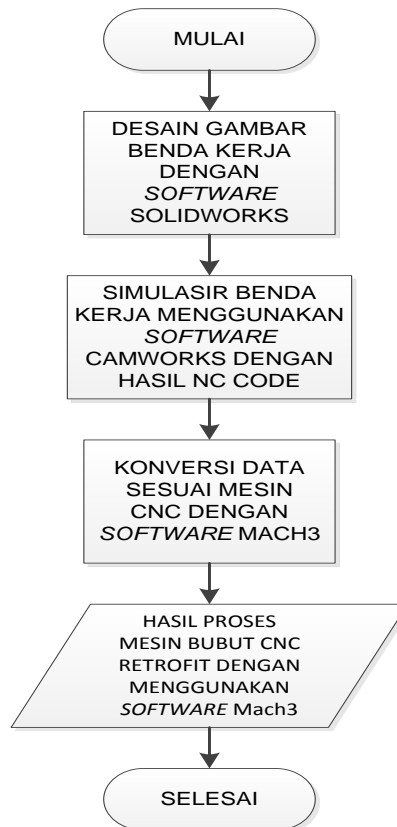
1. Membuat desain gambar benda kerja menggunakan *software* SOLIDWorks.
2. Mentransfer data gambar dari *software* SOLIDWorks ke CAMWorks.
3. Mengeksekusi program yang berasal dari *software* SOLIDWorks dan CAMWorks ke mesin CNC bubut.

METODE

Subjek artikel ini ini berupa benda kerja silindris Ø 30mm dan panjang 100mm dengan material polyethylene (PE), pengerjaan benda kerja menggunakan mesin CNC bubut retrofit (modifikasi bubut konvensional menjadi CNC). Pembuatan benda kerja diawali dengan desain gambar benda kerja menggunakan *software* SOLIDWorks 2014, dilanjutkan mengenerate *toolpath* dan *post processing* akan keluar NC Code dengan *software* CAMWorks yang sudah terintegrasi dengan SOLIDWorks. NC Code selanjutnya dapat dipindah ke mesin CNC bubut retrofit dengan *software* Mach3.

Diagram alir proses desain gambar benda kerja menggunakan *software* SOLIDWorks, mengenerate *toolpath* dan *post processing* akan keluar NC Code dengan *software* CAMWorks dan mengkonversi ke

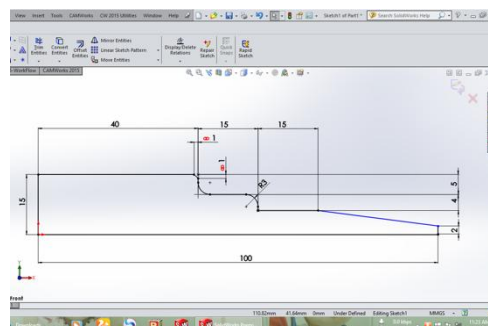
mesin CNC bubut menggunakan *software* Mach3.



Gambar 3.1 Diagram alir proses CAD-CAM-CNC.

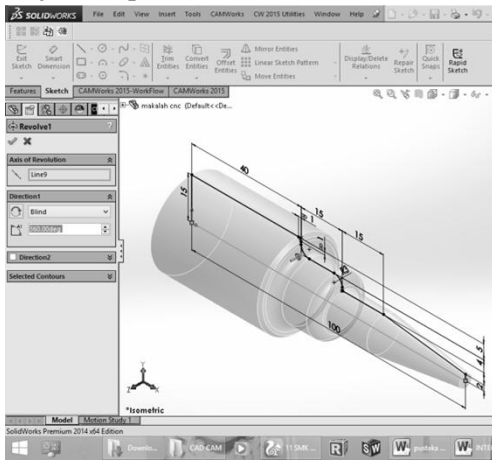
PROSES DESAIN DAN MANUFAKTUR
2.1 Pembuatan Desain Gambar

Pada bagian menggambar benda kerja Ø 30mm dan panjang 100mm menggunakan *software* SOLIDWorks 2014, proses gambar benda kerja ditunjukkan pada Gambar 4.1 dan 4.2.



Gambar 4.1 Proses sketsa benda kerja menggunakan *software* SOLIDWorks.

Sketsa benda kerja digambar 2 dimensi terlebih dahulu sesuai ukuran yang dikehendaki, proses sketsa benda kerja menggunakan software SOLIDWorks ditunjukkan pada Gambar 4.1.

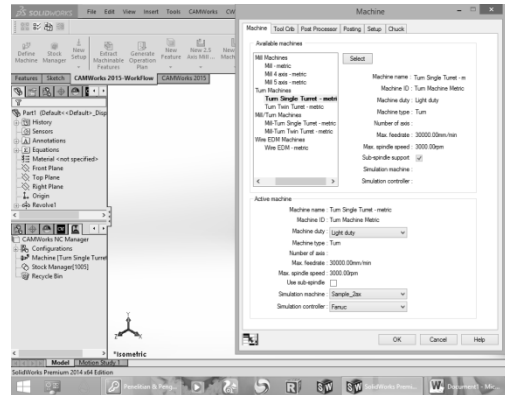


Gambar 4.2 Proses gambar 3 dimensi benda kerja menggunakan software SOLIDWorks.

Hasil dari sketsa 2 dimensi, kemudian dipilih perintah *revolve* yang akan membentuk putaran sketsa 2 dimensinya, sehingga terbentuk benda 3 dimensi hasil *revolve*, proses gambar 3 dimensi benda kerja menggunakan software SOLIDWorks.

2.2 Simulasi CAM

Proses selanjutnya simulasi CAM dan mendapatkan NC code dengan menggunakan software CAMWorks yang sudah terintegrasi dengan SOLIDWorks, proses tersebut dilakukan setelah gambar dari SOLIDWorks dilanjutkan masuk ke menu CAMWorks pada menu utama SOLIDWorks, proses pengerjaan pada CAMWorks ditunjukkan pada Gambar 4.3-4.7.

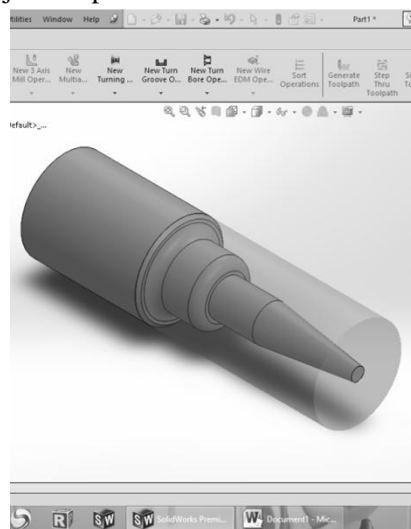


Gambar 4.3 Pemilihan proses permesinan CNC menggunakan software CAMWorks.

Pemilihan proses pengerjaan permesinan (*define machine*) dapat dipilih pada menu awal CAMWorks, pilihan proses permesinan dipilih sesuai kebutuhan mesin yang akan digunakan. Selain pilihan permesinan CNC bubut (*Turning single turret*), ada banyak pilihan lain, yaitu:

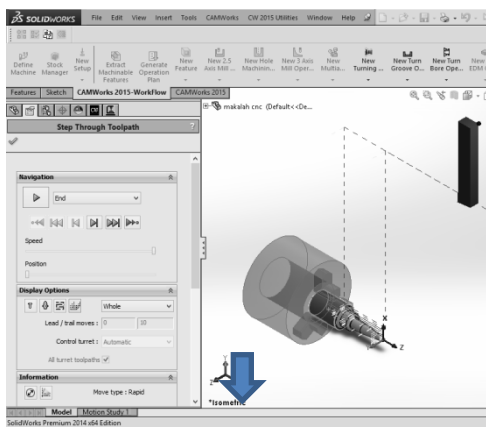
1. *Turning single turret*
2. *Turning twin turret*
3. *Mill machine*
4. *Mill/turn machine*
5. *Wire EDM machines*

Pemilihan proses permesinan CNC menggunakan software CAM Works ditunjukkan pada Gambar 4.3



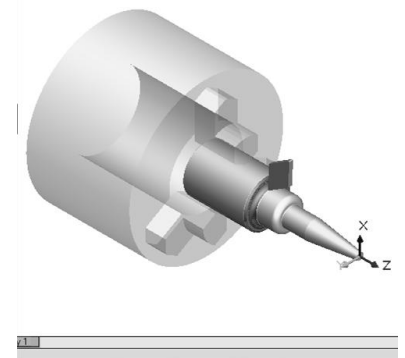
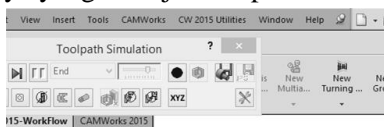
Gambar 4.4 Input *stock material* Ø 30mm dan panjang 100mm.

Pemilihan *stock* benda kerja atau bahan dapat dipilih pada menu setelah *define machine* di CAMWorks (*stock manager*), pilihan proses permesinan dipilih sesuai kebutuhan mesin yang akan digunakan. *Stock manager*/benda kerja mentah dapat diubah atau disesuaikan seperti benda kerja yang kita siapkan. Pemilihan *stock* benda kerjameggunakan *software* CAMWorks ditunjukkan pada Gambar 4.4.



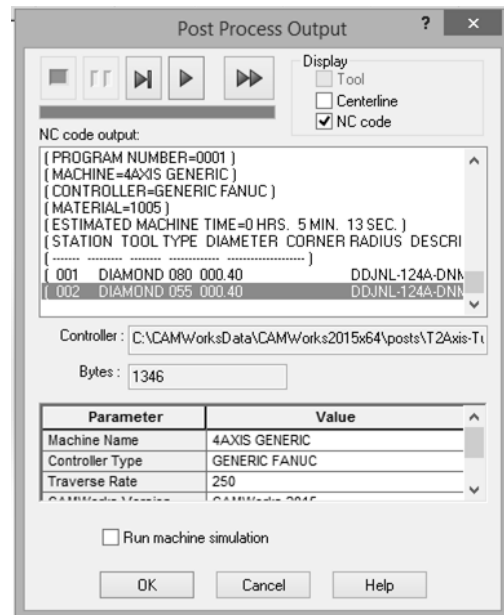
Gambar 4.5 Simulasi *toolpath*.

Generate toolpath mempunyai fungsi sebagai gerak pemakanan pahat, jalur gerak pahatnya yang ditunjukkan pada Gambar 4.5.



Gambar 4.6 Simulasi proses gerak pemakanan pahat.

Simulasi proses pemakanan benda kerja dapat dilihat setelah memilih menu *generate toolpath*, sehingga proses permesinan bias dikoreksi sebelum dieksekusi di mesin CNC bubut. Simulasi proses gerak pemakanan pahat ditunjukkan pada Gambar 4.6.



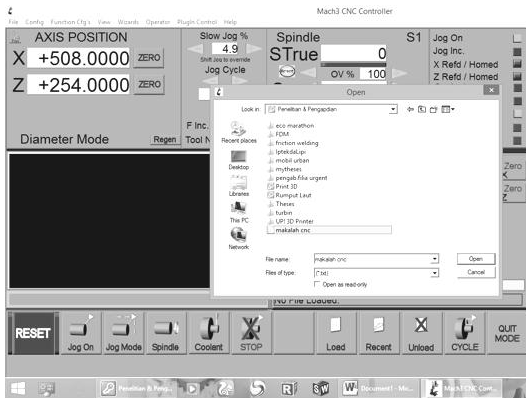
Gambar 4.7 Proses *generate post processing* dengan hasil *NC code*.

Proses *generate post processing* untuk mendapatkan *NC code* proses terakhir pada CAMWorks, hasil *NC code* dapat ditansfer ke mesin CNC bubut. Proses *generate post processing* untuk mendapatkan *NC code* ditunjukkan pada Gambar 4.7.

2.3 Proses CNC bubut menggunakan *software* Mach3

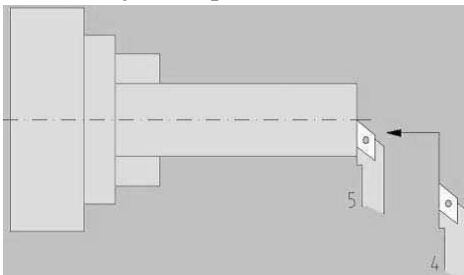
Proses akhir konversi *NC code* dan mengesekusi dengan mesin CNC bubut menggunakan *software* Mach3, pada proses ini perlu adanya koreksi pada *NC code*, karena tipe *NC code* hasil dari CAMWorks dan *NC code* tipe Mach3 ada perbedaan sedikit, walaupun tanpa diubah pun sudah langsung bisa dieksekusi. Proses

pengoperasian mesin CNC bubut menggunakan *software* Mach3 ditunjukkan pada gambar 4.8-4.13.

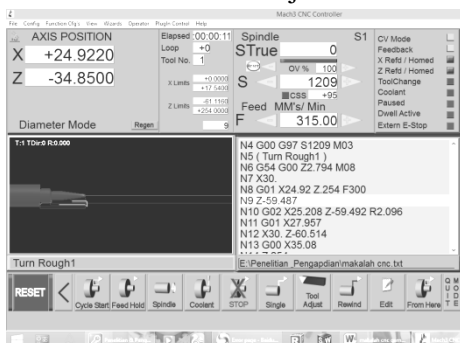


Gambar 4.8 Input file NC code di mesin CNC bubut menggunakan *software* Mach3.

Input NC *code* ke *software* Mach3 dalam bentuk txt file atau notepad yang berisi G/M code, input file NC code di mesin CNC bubut menggunakan *software* Mach3 ditunjukkan pada Gambar 4.8. Sebelum mesin dijalankan, posisi pahat harus diposisikan pada posisi 0, posisi pahat pada posisi 0 ditunjukkan pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9. *Setting* kedudukan *tool* terhadap sb. Z benda kerja.



Gambar 4.10Proses CNC bubut menggunakan *software* Mach3.

Gambar 4.10 menjelaskan proses awal bubut CNC pada *software* Mach3 dengan menekan tombol, *cycle-cycle start*, kemudian mesin CNC bubut akan berjalan sesuai program (NC *code*) yang kita buat.



Gambar 4.11Proses pemakanan pahat pada benda kerja (*roughing*) mesin CNC bubut.



Gambar 4.12Proses pemakanan pahat pada benda kerja mesin CNC bubut.



Gambar 4.13Proses pemakanan pahat pada benda kerja (*finishing*) mesin CNC bubut.



Gambar 4.14 Hasil benda kerja.

KESIMPULAN DAN SARAN

2.4 Kesimpulan

Hasil artikel menunjukkan bahwa pemrograman pembuatan benda kerja prses CNC bubut dapat dibuat melalui gambar pada software SOLIDWorks terlebih dahulu, selanjutnya untuk menghasilkan NC code data gambar tersebut dilanjutkan mensimulasikan dan mengenerate *toolpaht* dengan software CAMWorks yang sudah terintegrasi dengan SOLIDWorks, software ini dapat menghitung koordinat pemakanan awal (*roughing*) maupun proses *finishing*. Selanjutnya dari software CAMWorks dapat langsung ditransfer ke mesin CNC menggunakan software Mach3. Data dari software CAMWorks dapat dibaca melalui software Mach3 yang dapat digunakan sebagai simulator sebelum di esekusi ke mesin CNC. Artikel ini menunjukkan bahwa proses *raughing* (pemakanan awal) hingga proses *finishing* dapat disimulasikan melalui software CAMWorks.

Hasil artikel ini juga dapat dimanfaatkan bagi proses pembelajaran mesin perkakas CNC bagi lembaga pendidikan yang belum memiliki mesin

perkakas CNC. Selama ini peserta didik cenderung mengalami kesulitan menguasai materi pembelajaran mesin perkakas CNC. Model pembuatan benda kerja berbasis software SOLIDWorks, CAMWorks, dan Mach3 dapat dijadikan media pembelajaran yang sangat mendukung dalam proses pembelajaran mata kuliah CNC. Mahasiswa tidak harus langsung melakukan pemrograman di depan mesin CNC melainkan cukup menggunakan computer pada umumnya yang dapat diinstal software SOLIDWorks, Software CAMWorks, dan software Mach3. Proses pembelajaran tidak memerlukan mesin CNC sebanyak jumlah mahasiswa, melainkan cukup dengan komputer dengan spesifikasi sedang.

2.5 Saran

Perlu adanya pembuatan artikel lebih lanjut mengenai verifikasi hasil yang diperoleh dari simulasi dengan software CAMWorks dengan hasil aktual pada proses permesinan CNC bubut menggunakan software Mach3, untuk mengetahui apakah diperoleh hasil yang identik atau terdapat ketidaksesuaian.

Artikel selanjutnya dapat dilakukan untuk mengetahui kelebihan atau kekurangan software CAMWorks dan Mach3 dibandingkan dengan software CAM lainnya, dengan mengambil sebuah kasus pembuatan produk tertentu.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] <https://id.wikipedia.org/wiki/CAD>, diakses pada tanggal 30 Juli 2015.
- [2] <http://www.3ds.com/products-services/solidworks/capabilities/>, diakses pada tanggal 30 Juli 2015.
- [3] http://cadcamfunda.com/cadcam_software, diakses pada tanggal 30 Juli 2015.

- [4] <http://www.techopedia.com/definition/4698/computer-aided-manufacturing-cam>, diakses pada tanggal 30 Juli 2015.
- [5] Widarto. 2008. "Teknik Pemesinan Jilid 2". Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.
- [6] <http://www.solidworks.com/>, diakses pada tanggal 27 Juli 2015.
- [7] <http://www.camworks.com/>, diakses pada tanggal 27 Juli 2015.
- [8] <http://www.machsupport.com/>, diakses pada tanggal 29 Juli 2015.