

Proses Pembuatan Pemesinan Virtual untuk Memverifikasi Lintasan Pahat pada Milling 5 Axis

Fauzan

Jurusan Teknik Mesin, Universitas Malikussaleh

Corresponding Author: faoezan@gmail.com, +62 81321225817

Abstrak – Untuk membuktikan keakuratan lintasan pahat 5 axis kode G dan M, maka perlu dilakukan verifikasi sebelum dilakukan proses pemesinan sesungguhnya pada mesin perkakas CNC. Tahapan yang dilakukan adalah membangun mesin perkakas virtual dengan membuat komponen mesin perkakas, membuat hubungan antar komponen, setting komponen dan membuat pengontrolnya. Proses ini dilaksanakan setelah proses perencanaan pemesinan selesai dibuat. Analisa dilakukan terhadap mesin perkakas selama proses verifikasi berjalan dan material benda kerja dengan Auto-Diff untuk melihat excess dan gauging dengan menetapkan toleransipemesinan 0,01 mm. Analisa X-caliper untuk mengetahui Scallop. Dari hasil verifikasi pemesinan diketahui bahwa excess dan gauging tidak melewati toleransi yang ditetapkan sehingga pemilihan pahat potong dan lintasan pahat dapat digunakan. Selanjutnya tampilan scallop pada benda kerja tidak mencolok sehingga dapat diabaikan. Copyright © 2014 Department of Mechanical Engineering. All rights reserved.

Keywords: Verifikasi, 5 axis, CNC, excess, gauging, scallop

1. Pendahuluan

Ketika proses pemesinan direncanakan, maka perlu dipertimbangkan hal-hal yang berhubungan dengan penanganan benda kerja dan mesin perkakas, waktu pemesinan serta keamanan operasi. Dengan demikian pada akhirnya akan berdampak kepada biaya operasional proses pemesinan secara keseluruhan. Untuk mengetahui hal tersebut, maka perlu dilakukan suatu pengujian proses pemesinan secara virtual. Proses ini dilaksanakan setelah proses perencanaan pemesinan selesai dibuat.

VericutTM adalah salah satu software yang digunakan dalam pembuatan simulasi proses pemesinan sebagai verifikasi sebelum proses pemesinan sesungguhnya dilaksanakan pada mesin perkakas. Untuk itu, maka perlu dilakukan pembuatan mesin perkakas virtual beserta sistem pengontrol gerakannya. Pembuatan mesin virtual tersebut diusahakan semirip mungkin dengan semua komponen yang terlibat pada proses pemesinan. Hal tersebut dilakukan dengan menyesuaikan bentuk dan dimensi, jumlah axis dan sistem pengontrol gerakan yang terdapat pada mesin perkakas. Dengan demikian, maka lintasan pahat yang

telah dibuat sebelumnya akan dapat disimulasikan dengan tepat.

Simulasi proses pemesinan tersebut sangat membantu dan memberikan beberapa keuntungan. Diantara kelebihan yang diperoleh adalah dapat menghindari crash yang mungkin terjadi pada mesin perkakas, mengetahui kemampuan yang ada pada mesin perkakas, memperbaiki bila ada kesalahan gerakan serta dapat mengoptimalkan gerakan pemesinan.

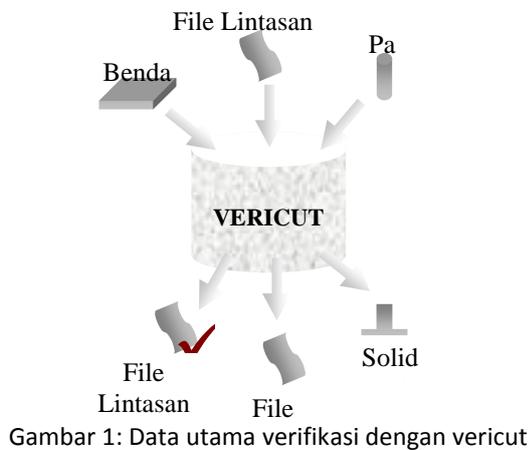
2. Teori Dasar

2.1 Persyaratan Utama

Ada tiga hal pokok yang harus ada untuk menjalankan simulasi proses pemesinan dari program NC. Hal tersebut juga identik dengan kebutuhan ketika akan melakukan proses pemesinan dengan mesin perkakas NC, yaitu :

1. **Stock** (*raw material* / benda kerja)
Stok adalah benda kerja yang akan mengalami proses pemesinan sehingga menjadi produk yang sesuai dengan disain yang dibuat. Benda kerja ini bisa didefinisikan di dalam *vericut* atau dijalankan dari *software CAM* yang digunakan untuk melakukan simulasi proses pemesinan tersebut.

2. **Tool path** (Lintasan pahat)
Lintasan pahat atau lintasan pahat adalah data NC yang mendeskripsikan posisi dari *tool* saat proses pemesinan berlangsung, informasi tentang mesin dan data-data lain yang diperlukan untuk mengoperasikan mesin perkakas.
3. **Tool** (Pahat Potong)
Merupakan data yang mendeskripsikan bentuk dan ukuran pahat yang digunakan dalam melakukan proses pemesinan Verifikasi lintasan pahat dengan vericut dapat digambarkan sebagai berikut:



Ketiga hal di atas adalah hal-hal yang mutlak harus dipenuhi untuk melakukan simulasi proses pemesinan. Sedangkan untuk melengkapi proses pemesinan agar berjalan sama dengan proses pemesinan dengan mesin NC, maka bisa ditambah hal-hal seperti di bawah ini :

- **Fixture**— Merupakan perangkat yang digunakan untuk memegang benda kerja ketika benda kerja dimesin.
- **Desain part**— Merupakan bentuk teoritis dari benda kerja yang termesin secara sempurna.

Instruksi operator —Catatan tentang hal-hal penting yang harus dilakukan oleh operator untuk melakukan proses pemesinan dengan benar, seperti : *set-up* benda kerja, perubahan klem/fixture, perubahan pahat yang harus dilakukan dan lainnya.

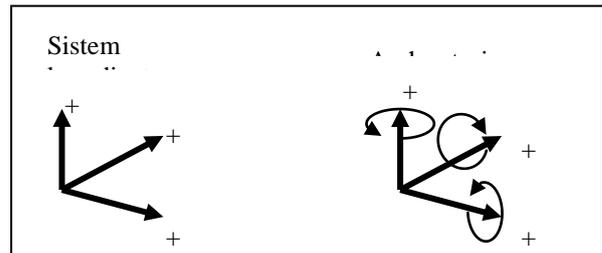
2.2 Sistem Koordinat

Sistem koordinat seperti pada gambar 2 menggunakan aturan tangan kanan untuk mendeskripsikan lokasi dan orientasi. Sudut rotasi dispesifikasikan dalam derajat desimal. Sudut positif berlawanan arah jarum jam jika dilihat dari sisi positif

sumbu koordinat, arah negatif didefinisikan dengan kondisi sebaliknya.

Tabel 1: Perbandingan antara simulasi proses pemesinan dengan proses pemesinan oleh mesin CNC

Hal-hal yang diper-lukan	Proses pemesinan mesin NC	Simulasi proses pemesinan dengan Vericut
Benda kerja	Materia benda kerja	Benda kerja virtual
Toolpath atau lintasan pahat	Program NC yang berupa G-code atau makro	Program NC dalam format APT(CL-data) atau G-code
Pahat potong	Pahat yang digunakan dalam proses pemesinan	Pahat potong virtual yang akan digunakan
Pemegang benda kerja	Klem/fixture dalam wujud fisik	Model virtual fixture yang digunakan
Desain part	Tak dapat diketahui sampai proses pemesinan dilakukan	Dari model CAD yang dibuat pada proses sebelumnya.



Vericut memakai sistem-sistem koordinat seperti di bawah ini untuk melakukan pendefinisian dan menghubungkan komponen-komponen dan modelnya, mendefinisikan mesin NC, dan orientasi pahat untuk lintasan pemotongan yang dilakukan. Tampilan dari sistem-sistem koordinat diperlihatkan dalam garis-garis, dimana garis solid merupakan simbol dari sumbu-sumbu yang paralel atau keluar dari bidang gambar, sedangkan garis putus-putus merupakan simbol dari garis yang masuk ke dalam bidang gambar. Sistem-sistem koordinat tersebut adalah sebagai berikut :

- **Sistem koordinat komponen**—(XcYcZc) Merupakan sistem koordinat dari komponen dan setiap komponen mempunyai sistem koordinatnya sendiri. Komponen didefinisikan dan dihubungkan dengan komponen lainnya melalui fungsi model menu.
- **Sistem koordinat model**—(XmYmZm) Merupakan sistem koordinat dari model. Setiap model memiliki sistem koordinat lokal sendiri. Model dihubungkan

dengan komponen untuk melukiskan sifat-sifat tiga dimensinya.

- **Sistem koordinat mesin**—(XmcYmcZmc) Dasar atau Global sistem koordinat dari vericut. Dasar dari penentuan pandangan pada vericut untuk memilih pandangan yang dikehendaki dari mesin. Koordinat ini adalah referensi untuk menentukan mesin NC dan tabel yang dipakai untuk mendefinisikan kerja mesin. Pengukuran dengan *X-caliper* dalam pandangan mesin adalah relatif terhadap koordinat ini.
- **Sistem koordinat benda kerja**—(XwpYwpZwp) Merupakan sistem koordinat dimana *stock*, *fixture* dan desain komponen dihubungkan.

Sistem koordinat pemakai (user) — (XcsYcsZcs) Sistem koordinat yang didefinisikan sendiri oleh pemakai, diaplikasikan pada pengukuran dengan X-caliper. Sistem koordinat ini sering dipakai untuk merelokasi lintasan pahat APT atau CLS untuk menghubungkan dengan benda kerja

3. Membangun Mesin Virtual

Untuk membangun mesin perkakas virtual ini, sebagian komponen mesin dibuat dengan perangkat lunak Pro/E™ dan sebagian yang lain dibuat secara langsung pada Vericut™. Pembuatannya juga dapat menggunakan gabungan dari kedua cara diatas. Dalam pembahasan ini mesin dibuat dengan cara gabungan CAD dan Vericut™. Pembuatan mesin mengikuti diagram alir Gambar 3.

3.1 Pembuatan Komponen

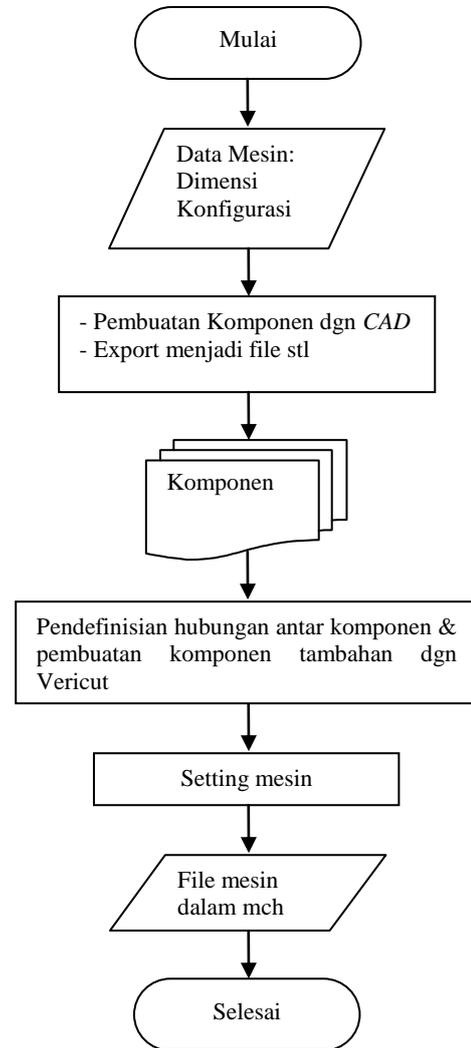
Mesin perkakas terdiri dari komponen-komponen dengan fungsinya masing-masing. Untuk komponen dengan bentuk yang kompleks, maka pemodelan dilakukan dengan perangkat lunak CAD akan lebih memudahkan. Dalam pembahasan ini, pembuatan komponen tersebut menggunakan perangkat lunak Pro/E™. Tetapi untuk bentuk yang sederhana digunakan bentuk primitif yang disediakan di dalam Vericut™

Pembuatan komponen dengan gabungan kedua cara tersebut dengan pertimbangan kemudahan dan lebih cepat disamping pertimbangan ukuran file yang terbentuk setelah penggabungannya. Penggunaan CAD memudahkan dalam hal pembuatan bentuk yang sukar sementara bentuk yang sederhana dapat lebih cepat diselesaikan dengan fasilitas pada Vericut™

3.2 Pembuatan Hubungan antar Komponen

Mesin perkakas dibentuk berdasarkan keterkaitan hubungan diantara komponen-komponennya. Komponen terbagi pada komponen yang bergerak dan komponen yang diam. Komponen yang menjadi induk

bagi komponen yang lain diartikan sebagai tempat bagi komponen yang lain dilekatkan. Setiap gerakan pada komponen induknya akan selalu diikuti oleh anak komponennya.



Gambar 3: Diagram alir pembuatan mesin perkakas virtual

Hubungan yang terjadi antar komponen tersebut didasari atas pengamatan yang dilakukan terhadap komponen pada mesin perkakas Hermle™ C 800 U. Sehingga gerakan yang ada pada mesin perkakas tersebut sesuai dengan gerakan pada mesin virtualnya. Hubungan dan fungsi dari masing-masing komponen dijelaskan sebagai berikut:

1. Komponen Base

Base adalah komponen mesin yang tidak melakukan gerakan. Pada mesin perkakas, *base* merupakan rumah mesin yang berfungsi sebagai tempat meletakkan komponen mesin lainnya baik yang bergerak maupun tidak. Dalam kenyataannya tidak semua komponen berhubungan langsung dengan komponen base tersebut.

2. Komponen A
Mesin perkakas dengan meja yang ber-rotasi pada sumbu X tersebut, berhubungan langsung dengan base. Komponen A ini berfungsi sebagai secondary table yang juga berfungsi sebagai tempat diletakkannya rotary table sumbu C. Dalam penggabungannya dengan komponen yang lain, sumbu putar komponen A harus diletakkan sejajar dengan sumbu X Mesin sebagai referensi.
3. Komponen C
Komponen C merupakan primary table yang berotasi pada sumbu z, terletak pada komponen A. Posisi akhir meja setelah penggabungannya dengan komponen A harus tepat sejajar dengan sumbu putar komponen A. Jadi dengan demikian komponen C merupakan tempat sumbu mesin berada, dimana semua komponen mengacu. Pada meja ini pula diletakkan fixture dan benda kerja selama proses pemesinan.
4. Komponen Y
Komponen Y merupakan komponen mesin yang bergerak linier searah sumbu Y, diletakkan berhubungan langsung dengan base. Komponen ini juga sebagai tempat diletakkannya komponen X.
5. Komponen X
Sebenarnya komponen ini merupakan bagian yang tersembunyi karena berfungsi sebagai rel bagi komponen Z. Komponen X bergerak linier arah sumbu X dan diletakkan pada komponen Y.
6. Komponen Z
Komponen Z adalah komponen yang bergerak dalam arah sejajar sumbu Z. Sebagai tempat diletakkannya spindle mesin perkakas dan berhubungan dengan komponen X.
7. Komponen Spindle
Berfungsi sebagai pemutar dan tempat pengecaman tool saat melakukan operasi pemesinan. Komponen tersebut dilekatkan pada komponen Z dan pada bagian ini dilekatkan komponen tool.
8. Komponen Tool
Komponen terakhir dalam hubungan antar komponen bergerak pada mesin perkakas ini diletakkan pada komponen spindle.
Hubungan komponen-komponen tersebut dapat digambarkan dalam satu pohon komponen yang memperlihatkan hubungan dari masing-masing komponen tersebut. Pembuatan pohon komponen tersebut dilakukan pada bagian component tree.
Dengan pohon komponen tersebut, file komponen-komponen dalam *extensi stl* yang telah selesai dibuat dengan CAD dapat di-import. Demikian pula untuk tambahan bentuk komponen sederhana dapat langsung dibuat dengan fasilitas yang ada pada pohon komponen. Tidak semua komponen dalam pembuatan simulasi milling ini dimodelkan secara fisik. Komponen yang

dimaksud adalah *tool*, *stock* atau benda kerja dan pengecam. Komponen terakhir ini secara otomatis di-generate oleh VericutTM dari Pro/Mfg pada saat verifikasi berdasarkan bentuk benda kerja dan *tool* yang telah didefinisikan sebelumnya.

Ada dua tahap pemosisian yang terdapat pada pohon komponen dalam mengatur penempatan komponen mesin sehingga terhubung dengan komponen mesin yang lain. Tahap pertama adalah mengatur posisi komponen relatif terhadap sumbu utama mesin. Pada tahap ini terdapat fungsi rotasi dan translasi untuk memposisikan komponen. Bila posisi komponen sudah saling terhubung dengan komponen yang lain, maka posisi ini sebagai posisi awal gerakan mesin saat pemesinan dimulai. Untuk itu pada tahap berikutnya posisi tersebut di-set nol sebagai penanda bahwa posisi tersebut adalah posisi awal dalam proses pemesinan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar pohon komponen yang memperlihatkan hubungan antar komponen pada Gambar 4. Semua model yang membentuk mesin perkakas tersebut dapat diurai pada gambar 5.

3.3 Setting Mesin

Setelah mesin selesai dibuat, maka selanjutnya melakukan setting terhadap mesin tersebut. *Setting* yang dilakukan berupa penentuan terhadap:

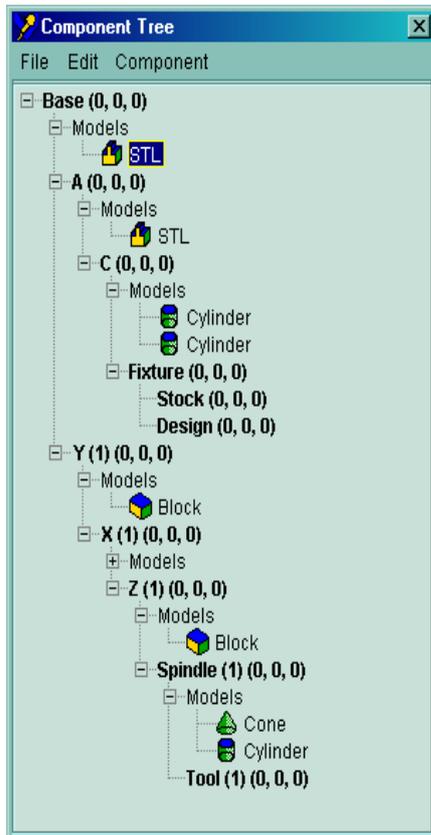
1. Deteksi adanya collision antar komponen mesin:
Penentuan *collision* didasari oleh kemungkinan yang dapat terjadi diantara komponen yang diam atau bergerak, sbb:
 - o Komponen *Base* dengan komponen Z
 - o Komponen C dengan komponen *Tool*
 - o Komponen *Stock* dengan komponen *Tool*
 - o Komponen *Design* dengan komponen *Tool*
 - o Komponen A dengan Komponen *Tool*
2. Limit travel dari masing-masing komponen yang bergerak.

Tabel 2: Limit travel komponen mesin perkakas

Komponen	Minimum	Maximum	Total
A	-20 ^o	90 ^o	110 ^o
C	0 ^o	360 ^o	360 ^o
X	-400 mm	+400 mm	800 mm
Y	-300 mm	+300 mm	600 mm
Z	0 mm	+500 mm	500 mm

3. Table
Table adalah setting terhadap benda kerja dan mesin perkakas yang dilakukan ketika akan memulai proses pemesinan. Penentuan harga-harganya disesuaikan dengan data yang terdapat pada pemrograman *tool-path*.
4. Prioritas gerakan komponen.

Bagian ini adalah untuk menentukan prioritas gerakan dari masing-masing komponen. Terkadang pada mesin perkakas ada komponen yang terlebih dahulu bergerak sebelum komponen yang lain. Dalam pembahasan ini semua prioritas bernilai 1 (satu) yang berarti semua gerakan komponen mesin bergerak secara *simultan*.



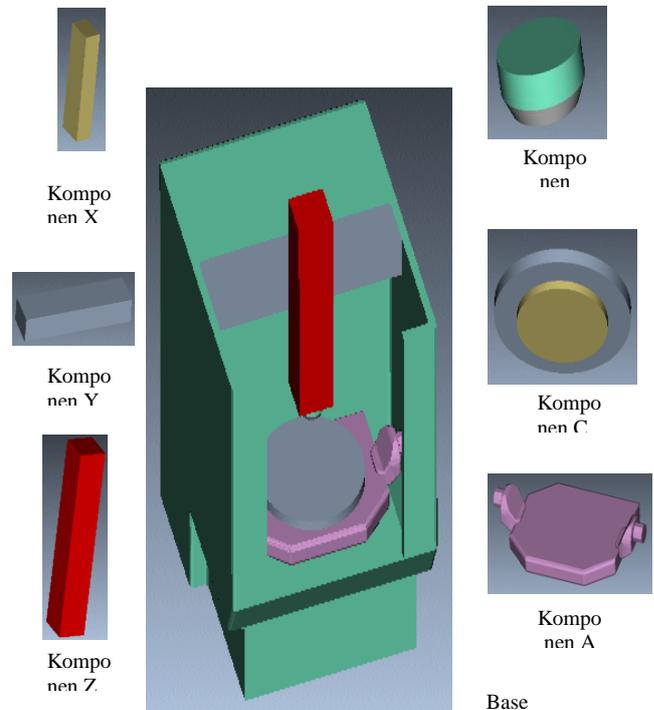
Gambar 4: Pohon komponen memperlihatkan posisi nol dari masing-masing komponen mesin yang saling berhubungan sesuai dengan mesin perkakas Hermle C800 U.

3.4 Mendefinisikan Pengontrol

Pengontrol adalah bagian yang ditanamkan kedalam mesin perkakas sehingga mesin perkakas mampu menerjemahkan perintah-perintah pemesinan. Data lintasan pahat yang telah di-*generate* oleh Pro/Mfg dalam bentuk kode G dan M menjadi acuan dalam pendefinisian pengontrol. Kode-kode tersebut kemudian disinkronkan dengan nama makro yang terdapat pada Vericut™. Bila masih ada data lintasan pahat yang belum didefinisikan pada bagian pengontrol ini, maka Vericut™ akan menunjukkan kesalahan berupa perintah yang tidak dikenal beserta lokasi barisnya.

Setelah semua data kode pemesinan didefinisikan, maka proses selanjutnya adalah menguji mesin tersebut

dengan perintah-perintah yang dipakai dalam proses pemesinan ini. Pengujian dilakukan dengan menggunakan fungsi MDI (*manual data input*) dengan cara memasukkan kode-kode perintah beserta besaran dan arahnya. Pengontrol dianggap telah benar apabila kode perintah yang dimasukkan akan menggerakkan komponen mesin yang bersesuaian sesuai dengan besaran dan arahnya



Gambar 5: Model mesin perkakas Hermle C800 U dan komponen-komponennya

3.5 Simulasi Pemesinan

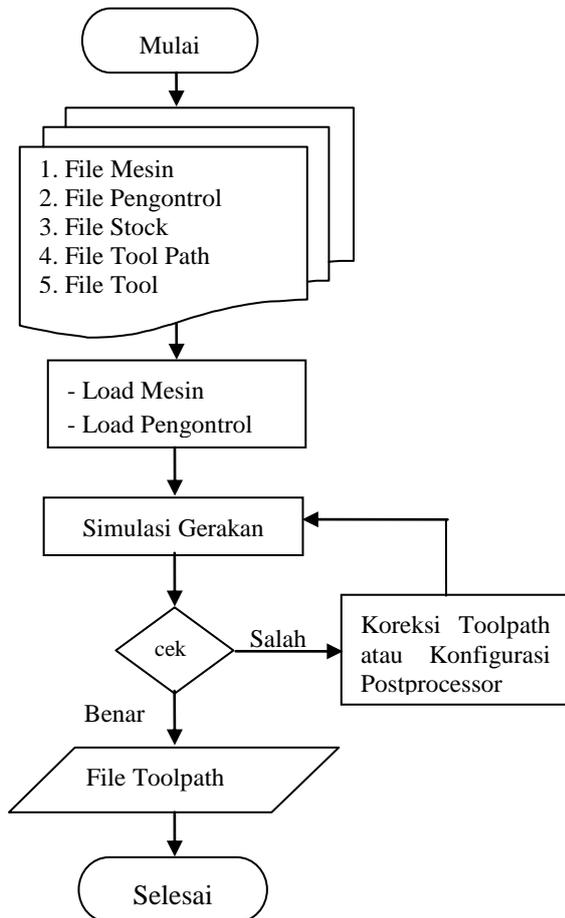
Ada lima file (gambar 6) yang dibutuhkan oleh Vericut™ untuk melakukan proses simulasi pemesinan, masing-masing berupa file Mesin, Pengontrol, *Stock*, *Tool-path* dan *Tool*. Tiga data selain data Mesin dan Pengontrol akan di-upload secara otomatis oleh Pro/Mfg™ saat memasuki proses verifikasi melalui menu *NC Check*. Sementara dua data berikutnya dilakukan secara manual saat berada pada aplikasi Vericut™.

Pada tahap simulasi gerakan masih ada kemungkinan terjadi gerakan yang tidak dikehendaki seperti gerakan yang mengakibatkan gouging atau *excess* pada *stock*. Untuk itu perlu dilakukan koreksi *tool-path* pada Pro/Mfg atau kemungkinan kedua adalah melakukan perbaikan pada *post-processor*-nya. Bila hasil pemesinan memenuhi standar yang ditetapkan maka proses pemesinan dianggap bebas dari kesalahan dan siap dilakukan pemesinan sesungguhnya.

4. Pembahasan Hasil

4.1 Analisa dengan Auto-Diff

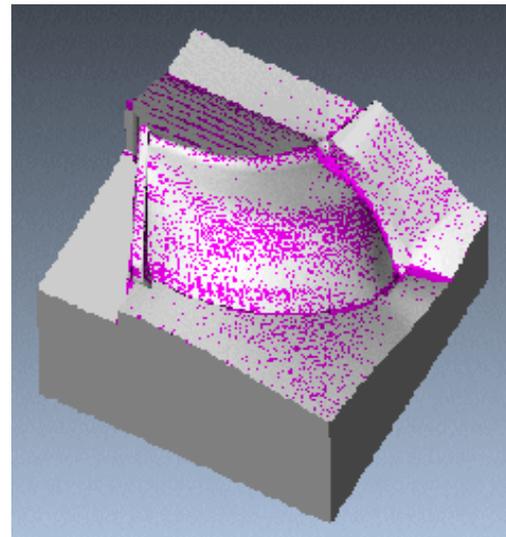
Analisa terbagi atas analisa kelebihan atau *excess* dan cungkilan atau *gauging*. *Excess* yang terjadi pada benda kerja setelah dilakukan pemesinan diperlihatkan pada gambar 7.



Gambar 6: Diagram alir proses simulasi lintasan pahat

Analisa ini menggunakan toleransi sebesar 0,01 mm, sehingga kelebihan material yang lebih besar dari nilai toleransi tersebut akan terlihat pada benda kerja. *Excess* yang terjadi dapat dikurangi dengan melakukan hal-hal sebagai berikut:

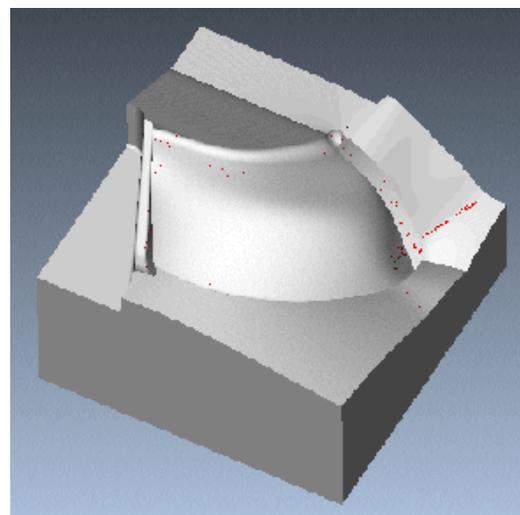
- a. *Jenis pahat yang digunakan*; Pada percobaan ini *tool* yang digunakan adalah flat end mill. Bila *tool* diganti dengan jenis radius end mill maka *excess* yang terjadi pada permukaan yang terbuka akan berkurang.
- b. *Menambah pengerjaan*; Karena ada bagian benda kerja yang memiliki kontur yang tidak beraturan maka bagian tersebut harus dilakukan pemesinan ulang. Pemesinan dilakukan hanya pada bagian *excess* dengan diameter pahat yang disesuaikan dengan lekukan benda kerja.



Gambar 7: *Excess* yang terjadi pada part

Dengan toleransi yang dipilih dalam pembahasan ini sebenarnya *excess* yang terjadi relatif kecil dan dapat diabaikan.

Analisa cungkilan (*gauging Checking*) adalah analisa berikutnya yang dapat dilakukan dengan Auto-Diff ini. Pengecekan dilakukan dengan toleransi 0,01 mm. Hasil pengecekan diperlihatkan pada gambar 8.:



Gambar 8: Gouging yang terjadi pada part

Cungkilan diperlihatkan dengan noda merah yang terdapat benda kerja dapat disebabkan oleh:

- a. *Jenis pahat yang digunakan*; Penggunaan pahat dari jenis flat end mill ini dapat juga menyebabkan *gauging* terhadap permukaan yang berkontur banyak.

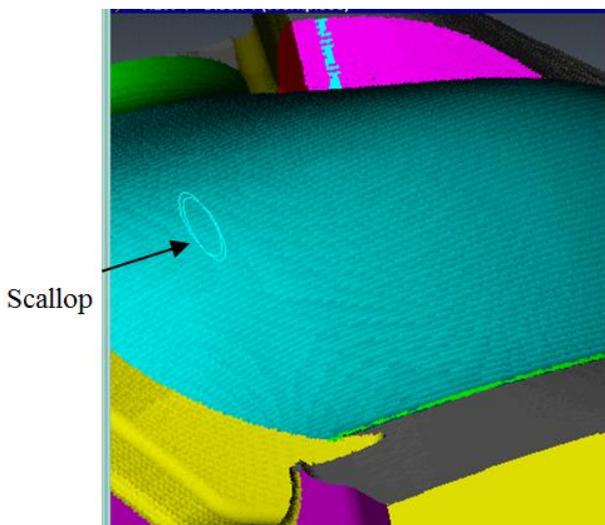
b. Pendefinisian lintasan pahat; Lintasan pahat dapat didefinisikan ulang untuk bagian yang mengalami gouging dengan parameter pemesinan yang tepat.

3. Pengecekan gouging dengan toleransi 0,01 pada benda kerja, muncul dengan jumlah yang sangat kecil dan juga dapat diabaikan.

4.2 Analisa Scallop dengan X-caliper

Pahat dengan radius yang ada pada ujungnya akan meninggalkan jejak pada benda kerja yang disebut dengan scallop. Karena scallop ini berpengaruh terhadap toleransi kehalusan permukaan, maka timbulnya scallop harus diperkecil. Usaha yang dilakukan untuk memperkecil ketinggian scallop ini adalah dengan memperkecil *step over* pada *parameter toolpath*.

Dengan pahat *ball nose end mill* yang berdiameter 20 mm akan terbentuk scallop rata-rata sebesar 0,05 mm. Bila digunakan dengan radius end mill maka scallop tidak terdeteksi dengan x-caliper (gambar 9).



Gambar 9: Scallop yang terjadi pada part satu

Referensi

- [1] --, Pro/MOLDESIGN and Pro/CASTING™ Topic Collection, Parametric Technology Company.
- [2] --, Pro/NC Topic Collection, Parametric Technology Company, 25-335.
- [3] --, (2001) Vericut Online Help, CG Tech (www.cgtech.com)
- [4] Condoor, S. S. (2002), Mechanical Design Modeling Using ProEngineering, McGraw-Hill Higher Education.
- [5] --,(1999) G-Post Manual, Intercim 505 East Huntland Drive, Suite 300 Austin Texas
- [6] Heidenhain. User's manual ISO Programming
- [7] Korem, Y. (1983), Computer Control Of Manufacturing System, McGraw-Hill Book Company, 3 - 26.
- [8] Rochim, T. Pemrograman NC, Mechanical & Production Engineering (MPE), Mesin, FTI-ITB., 11-13, 81.
- [9] Smid, P. CNC Programming Handbook, Industrial Press, Inc., 8, 119-124, 131, 251.
- [10] Werkentin, A., Bedi, S., Ismail, F. (1995), Five-axis Milling of Spherical Surface, Elsevier Science Ltd, Great Britain.
- [11] Zeid, I. CAD/CAM Theory and Practice, McGraw-Hill Series in Mechanical Engineering.

5. Kesimpulan

1. Pemodelan mesin perkakas dilakukan melalui dua jalan. Untuk bentuk yang kompleks maka komponen mesin dibuat dengan aplikasi CAD secara terpisah yaitu dengan Pro/E™ dan mengkonversinya kedalam *file stl*. Sementara untuk bentuk komponen yang sederhana dilakukan dengan memanfaatkan fasilitas pemodelan yang disediakan dalam Vericut™.
2. *Excess* yang terjadi pada benda kerja hampir tidak bisa dihindari terutama untuk permukaan yang tersembunyi atau *undercut*. Cara yang dilakukan untuk meminimalkan-nya adalah dengan melakukan pemilihan jenis pahat dan lintasan pahat yang paling baik. Atau bila perlu dilakukan tambahan pengerjaan pemesinan pada bagian tersebut. Dengan toleransi 0,01 maka *excess* yang terlihat pada benda kerja relatif kecil dan dapat diabaikan.