

CAD/CAM/CAE

Pengembangan Sistem Virtual Manufaktur Sebagai Pendukung Teknologi Dalam Visualisasi dari Desain Pemesinan Silinderis

Aljufri

Jurusan Teknik Mesin (Manufaktur), Fakultas Teknik, Universitas Malikussaleh, Aceh-Indonesia
Corresponding Author: Askara.jufri@gmail.com

Abstrak – Pada penelitian ini, desain untuk manufaktur pemesinan (Design For Manufacture Machining) mengacu kepada metode Boothroyd, Design For Manufacture and Assembly dengan mengintegrasikan metode virtual manufaktur pemesinan. Sistem DFM pemesinan digunakan untuk analisis dan evaluasi pemesinan dan sistem VM pemesinan digunakan sebagai pendukung teknologi dalam visualisasi dari desain pemesinan. Metode yang terintegrasi disebut metode PDMI (Product Development Machining Based on Information). Perangkat lunak pendukung dari PDMI adalah Visual Basic 6.0, Virtual Reality Modeling Language 97 (VRML '97), Cosmoplayer 2.1.1. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode PDMI terdiri dari tiga pilar utama, yaitu konsep pemesinan, teknik pemesinan dan sistem visualisasi pemesinan adalah integrasi yang mudah digunakan (user friendly) dan kemampuan PDMI yang masih terbatas karena integrasi dari DFM pemesinan dan VM pemesinan masih perlu dikembangkan dengan menggunakan beberapa perangkat lunak lainnya yang bisa secara homogen berintegrasi.

Kata Kunci: DFM pemesinan; VM pemesinan; metode PDMI

1 Pendahuluan

Pemesinan merupakan salah satu bagian terpenting yang tak terlepas dari industri manufaktur yang terus berkembang sesuai dengan tuntutan pasar dan perkembangan teknologi, yang menuntut perbaikan dan pengembangan produk disegala aspek seperti waktu, biaya, kesederhanaan, dan kualitas produk secara cepat. Melihat dari hal ini maka perlu ada suatu metodologi yang dapat diadopsi untuk menyelesaikan dari tuntutan tersebut yang dikembangkan dengan mudah dan lebih fleksibel jika diperlukan kemudian.

Bagian untuk membangun atau perbaikan metode desain manufaktur pemesinan mengintegrasikan metode visualisasi ke dalam desain untuk mampu mereduksi waktu dan mengurangi kesalahan desain. Pada saat ini hal tersebut dimungkinkan dengan mengadopsi teknologi yang berbasis sistem virtual. Langkah utama pengembangan produk pemesinan seperti desain evaluasi, tes, prototipe fisik dan simulasi dapat direduksi dan dikemas pada satu langkah saja.

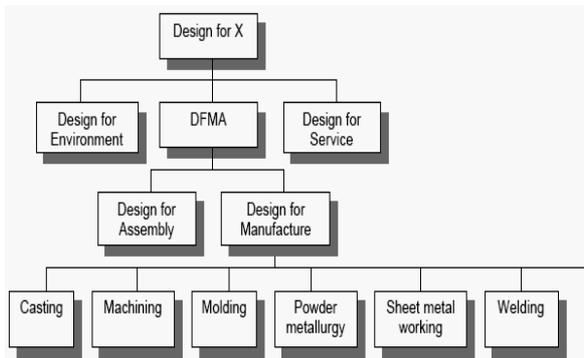
2 Tinjauan Pustaka

2.1 Desain Untuk Manufaktur dan Perakitan (DFMA)

Design For Manufacture and Assembly, DFMA (Desain Untuk Manufaktur dan Perakitan) merupakan suatu integrasi dari dua isu terpisah tapi saling berhubungan dari proses-proses manufaktur dan perakitan yang dapat dilihat pada Gambar 1. DFMA ini mengarahkan ke suatu sistem penggunaan proses produksi yang ada, untuk menjaga jumlah part dalam perakitan menjadi minimum [1]. DFMA merupakan integrasi dari teknik-teknik pada *Design For Manufacture*, DFM (Desain Untuk Manufaktur) dan *Design For Assembly*, DFA (Desain Untuk Perakitan). DFMA memberi kontribusi pada kesuksesan kompetitif dengan menyesuaikan keinginan produk untuk kemampuan manufaktur dan kemampuan perakitan. Desain untuk manufaktur bertujuan memperbaiki efisiensi dari proses perwujudan produk dengan mempertimbangkan manufakturabilitas sepanjang tahap desain DFM menggunakan informasi beberapa tipe, termasuk: (1) sketsa, gambar, spesifikasi produk, rekayasa desain alternatif-alternatif, (2) suatu pemahaman yang terperinci dari produksi rekayasa proses perakitan, dan (3) estimasi dari biaya

manufaktur, volume produksi, pengaturan waktu atas bawah pasar.

Pemesinan adalah suatu pekerjaan yang dilakukan dengan bantuan alat atau mesin terhadap bahan sampai ke bentuk yang ingin dicapai. Rasio pekerjaan 80 sampai 90 persen dilakukan dengan pabrikan pemesinan yang dirancang dengan pelepasan logam atau bahan pemesinan. Pemesinan itu tampak harus dihindari atau dikurangi serta dipertimbangkan agar tak dapat dilakukan untuk masa akan datang [2]. Bagaimanapun kecenderungan ke arah penggunaan dari proses-proses yang ada terus meningkat, dan bila volume produksi besar dilibatkan, pendekatan ini harus dipikirkan dalam perancangan.



Gambar 1 Pendekatan produk desain umum dalam "Design for X"

2.2 Virtual Manufaktur (VM)

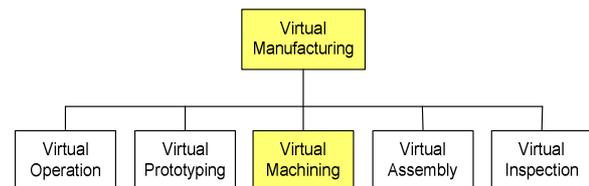
Konsep dan arti dari VM adalah membuat yang sesungguhnya di dalam komputer sebelum membuatnya dalam bentuk nyata. Gambaran beberapa konsep dari VM yaitu [3]:

1. VM adalah lingkungan pabrikan sistematis, yang terintegrasi untuk mencoba meningkatkan semua keputusan dan mengendalikan di dalam perancangan produk, perencanaan proses, perencanaan produksi.
2. VM adalah aplikasi model komputer dan simulasi-simulasi tentang pabrikan untuk membantu di dalam produksi dan hasil rancang yang dihasilkan.
3. Secara dasar VM adalah bahwa satu lingkungan yang ditirukan, berbasis-komputer untuk pengembangan produk.

VM menyediakan satu kemampuan yang dibuat di dalam komputer, pada dasarnya akan memperagakan lingkungan simulasi manufaktur atau perakitan yang sangat tangguh terhadap hasil, termasuk proses-proses pabrikan yang berhubungan, dapat ditirukan di dalam komputer. Kemampuan ini akan mempertimbangkan semua variabel di dalam lingkungan produksi dari memproses sampai transaksi-transaksi perusahaan. VM akan mengakomodasi pemberian gambar proses produksi yang saling berinteraksi, perencanaan proses,

penjadwalan, perencanaan perakitan, logistik dari garis untuk perusahaan, dan dibidang lain yang terkait seperti akuntansi, manajemen dan pembelian.

VM didefinisikan berdasarkan pada penggunaannya di dalam simulasi interaktif berbagai proses produksi seperti prototipe sebetulnya, pemesinan sebetulnya, inspeksi sebetulnya, perakitan sebetulnya dan sistem operasional sebetulnya, dan lain-lain yang ditunjukkan pada Gambar 2 [4].



Gambar 2. Klasifikasi VM berdasarkan fungsi penggunaan

2.3 Virtual Reality Modeling Language (VRML)

VRML adalah format arsip untuk gambar objek dan worlds 3D yang interaktif. VRML dirancang untuk digunakan di internet, dan sistem klien lokal. VRML juga dimaksudkan untuk suatu format pertukaran yang universal pada multimedia dan grafik 3D yang terintegrasi. VRML bisa digunakan dalam suatu variasi dari daerah penerapan seperti pemberian gambar ilmiah dan rancang-bangun, presentasi multimedia, pertunjukan dan bidang pendidikan, halaman web, dan dunia sebenarnya. Masing-masing file VRML :

- Secara implisit menetapkan satu ruang koordinat untuk semua object yang digambarkan dalam arsip, seperti juga semua objek yang dimasukkan oleh arsip,
- Dengan tegas menggambarkan dan menyusun satu set 3D dan objek multimedia,
- Dapatkah menetapkan hiperlink untuk penerapan dan arsip-arsip lain,
- Dapatkah menggambarkan perilaku-perilaku benda.

VRML dan Java script, dan ROUTES menghubungkan antara VRML dan Java melalui script node, DEF atau USE konvensi penamaan, dan ROUTES yang menghubungkan berbagai medan nodes di dalam VRML. VRML menyediakan grafik 3D, script node encapsulate kemampuan Java, dan ROUTES menyediakan hantaran yang menghubungkan ke komputasi. Script nodes tampak di dalam file VRML, encapsulating kode Java dan menyediakan konvensi penamaan untuk saling berhubungan variabel Java dengan nilai medan di dalam kejadian (konvensi penulisan yang serupa ditetapkan untuk Java script). Kelas *interfaced* Java mengimpor VRML. Konversi (untuk

kedua-duanya nodes dan tipe data sederhana) antara Java dan VRML.

VRML memberdayakan bahasa program manapun untuk menerapkan perilaku-perilakunya, secara umum dari VRML adalah pengembang menggunakan Java, oleh karena dayanya dan pengintegrasian ketat dengan Internet. VRML menyediakan 3D yang menyumbangkan dan kemampuan interaksi dinamik, selagi Java menyediakan akses jaringan dan kemampuan perhitungan umum.

Satu protokol tersesuaian untuk berkomunikasi dengan program-program Java adalah salah satu dari fitur paling utama dari VRML mengenai pembangunan animasi [5] kode Java yang akan membentuk bagian dari Browser Client. Kode ini menangani bersama kejadian yang terjadi di dalam dunia nyata bersama dengan objek [6]. Mengapa menerapkan Java di dalam memproduksi aktivitas. Komputasi Java mempunyai beberapa manfaat-manfaat untuk memproduksi, seperti [7]:

1. Memberdayakan peningkatan kerja-sama atau kolaborasi antara *suppliers* dan *shop floor operations*
2. Memberdayakan pengaturan kemampuan kendali (control).
3. Menyediakan Interaksi dengan sistem *legacy* (warisan) dan pengguna *off-the-shelf* perangkat keras
4. Informasi kontrol pabrik lebih dapat diakses bagi penerapan-penerapan perusahaan
5. Sifat fleksibilitas dan ekstensibilitas penawaran di dalam sistem *configuring* (pengaturan)
6. Mengurangi promosi TCO untuk peralatan dan biaya administrasi

2.4 Penulisan Kode VRML

Kode VRML97 yang akan dikembangkan dapat ditulis sesuai tujuan pada perangkat lunak Notepad, wordpad, VRML pad atau perangkat lunak sejenis lainnya. Kode tersebut disimpan (save) dengan ekstensi "txt" kemudian disimpan (save as) dengan extension "wrl". Penulisan kode yang benar sesuai kaedah VRML97 akan dapat langsung dijalankan. Penulisan kode yang kurang benar atau salah berdasarkan kaedah VRML97 akan mengeluarkan peri-ngatan atau tanda pada VRML Player dengan warna kuning dan merah

2.5 Virtual Manufaktur Berbasis Web

World Wide Web adalah Koleksi dokumen, data, dan isi secara khas menyandi di dalam halaman HTML dan dapat diakses lewat internet menggunakan protokol HTTP. Web-Based CAD mendesain aktivitas seperti pemberian gambar dan animasi objek mengadopsi teknologi berdasar pada Web [8].

Dalam penelitian ini menggunakan dasar VRML dan komunikasi VRML sampai Java melalui Script Node sebagai bagian alat di sistem pabrikasi sebetulnya. Menerapkan dari antara dasar VRML dan VRML

komunikasi sampai Java melalui Script Node adalah tergantung pada kompleksitas benda. Jika benda adalah kasus sederhana yang kita dapat mengadopsi dasar perilaku VRML dan modeling. Internet mengembangkan dengan cepat dan mengubah dalam dasar waktu ke waktu. Siklus generasi dari teknologi baru adalah sangat pendek dan ramalan di pertumbuhan dan bentuk-bentuk elektronik baru dari perdagangan membuktikan untuk secara konsisten konservatif. VRML sekarang ini cara terbaik untuk menciptakan yang interaktif, tiga lingkungan dimensional pada www [9]. Java suatu solusi sempurna untuk pembangunan struktur program kompleks dan *interface* pengguna grafis. Java dapat ditafsirkan dimanapun penelusuran web modern dan secara cukup cepat untuk kebanyakan penerapan. Lebih lanjut, penerimaan dari Java applet sangat tinggi antar internet para pemakai. VRML 3D Penerapan *desktop*, Internet atau kontribusi www dan basis www penerapan [10].

3 Metodologi

Dalam pengembangan sistem virtual manu-faktur berbasis web untuk meningkatkan produk pemesinan silinderis, metodologi desain yang dipakai meliputi beberapa pertimbangan yaitu:

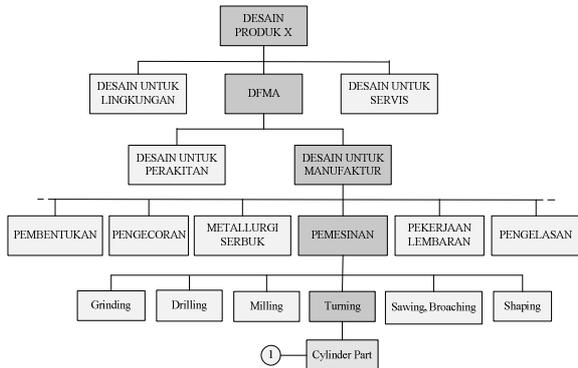
- Memperluas dasar pemikiran dari pengetahuan desain dan bagaimana kekuatan ini dapat diaplikasikan pada proses desain produk pemesinan silinderis,
- Riset dan aplikasi dari metode-metode baru, teknik dan prosedur,
- Belajar bagaimana perancang bekerja dan berfikir secara mandiri,
- Penetapan dari menyediakan struktur-struktur untuk proses desain.

Biasanya, kualitas dari produk desain dan pemesinan tergantung pada konsep desain, sistem dan teknologi yang mendukung hal tersebut. Beberapa metode yang telah ada (establish) sudah digunakan dalam desain produk pemesinan dan pengembangan juga memiliki beberapa kelemahan, kelemahan tersebut dapat diidentifikasi sebagai berikut:

- Kelemahan pada prinsip desain produk pemesinan dan pengembangan
- Kelemahan pada proses desain proses pemesinan seperti teknik pemesinan
- Kelemahan pada teknologi yang mendukung desain produk pemesinan dan pengembangan.

Keinginan untuk memperbaiki efektifitas dari teknik desain untuk *Design for Manufacturing* (DFM) Pemesinan, di sini diusulkan penelitian dari beberapa teknik yang terintegrasi untuk pemesinan dan diperkuat dengan peralatan *Information of Technology* (IT) yang

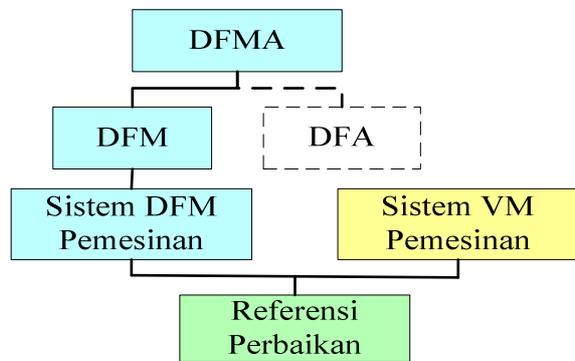
tersedia. Pendekatan terintegrasi yang dimaksud disini termasuk DFM Pemesinan (Gambar 3) dengan sistem Virtual Manufaktur (VM) Pemesinan (Gambar 2) berbasisan *web*.



Gambar 3 DFM Pemesinan silindris

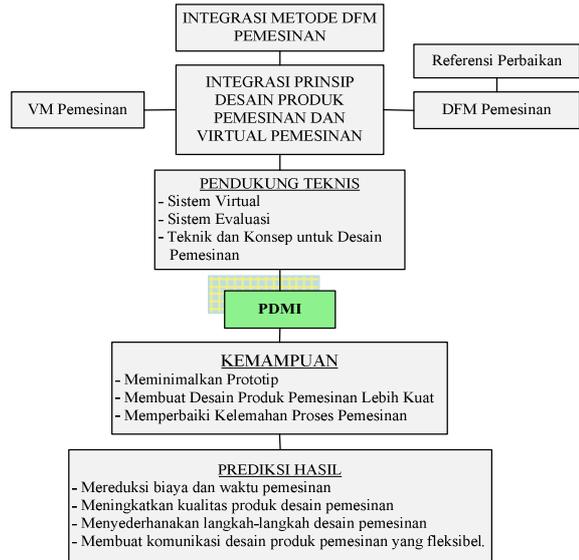
3.1 Struktur Metodologi yang Diusulkan

Metodologi yang diusulkan adalah integrasi konsep dan teknik yang diseleksi dari sistem DFM dan sistem VM. Sistem DFM pemesinan digunakan untuk analisis dan evaluasi pemesinan dan system VM digunakan sebagai pendukung teknologi dalam visualisasi dari desain pemesinan. Metode yang terintegrasi disebut PDMI (Product Development Machining Based on Information) dan bagian dari metode tersebut seperti yang ditampilkan pada Gambar 4



Gambar 4 Komponen PDMI

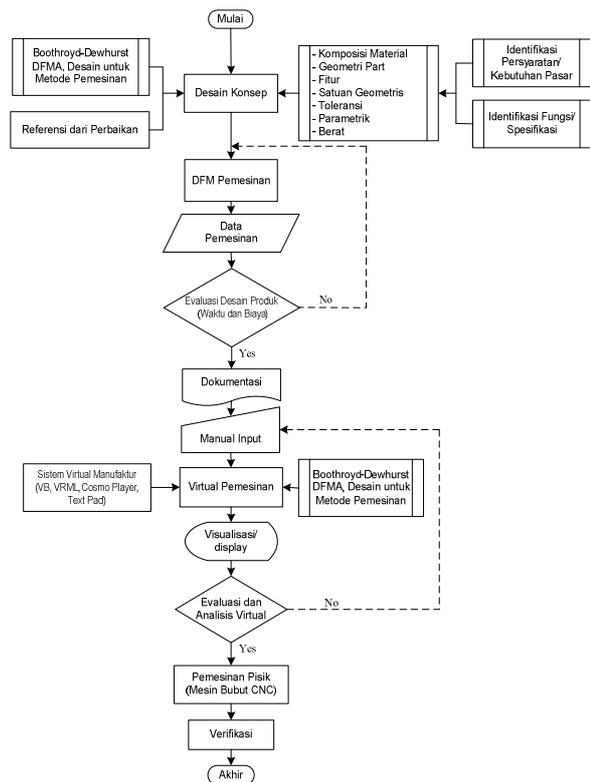
Konseptual langkah kerja dari PDMI dalam Gambar 4 menunjukkan bagaimana prinsip DFM pemesinan dan sistem virtual pemesinan dapat dijadikan terintegrasi untuk membentuk satu sistem yang memperkuat DFM pemesinan. Dukungan teknis, kemampuan yang diharapkan dan hasil yang diperkirakan dari metode adalah ditunjukkan dalam Gambar 4. Langkah kerja seperti yang ditampilkan dalam Gambar 5 adalah detail langkah pengembangan dari metode yang diusulkan.



Gambar 5 Konsep PDMI

3.2 Visualisasi

Visualisasi pada penelitian ini adalah termasuk gambar desain, virtual, animasi



Gambar 5 Langkah pengembangan metode PDMI, dan simulasi dari suatu objek desain.

Visualisasi pada penelitian ini mengadopsi 2 cara yaitu:

1. Visualisasi kombinasi perangkat lunak (sistem) solidworks dengan kode VRML dan Java yang ditampilkan di Cosmo Player 2.1.1 dengan web browser Internet Explorer (IE), Netscape, Opera atau sistem sejenis lainnya. Cara ini diaplikasikan jika objek yang akan didesain memiliki kesulitan yang cukup tinggi.
2. Visualisasi langsung tidak menggunakan bantuan solidworks dengan kode VRML dan Java yang ditampilkan di Cosmo Player 2.1.1 dengan web browser Internet Explorer (IE), Netscape, Opera atau sistem sejenis lainnya. Cara ini dilakukan jika bentuk objek yang akan didesain tidak terlalu kompleks (sederhana).

4 Hasil dan Pembahasan

4.1 Metodologi Implementasi pada Perangkat Lunak

Perangkat lunak (Software) digunakan untuk implementasi metodologi yang dapat mengidentifikasi logika dari metodologi secara mudah dan cepat. Perangkat lunak digunakan sebagai alat untuk menguraikan metodologi dan juga sebagai alat komunikasi dari pengembang (pembuat desain) kepada pengguna. Implementasi perangkat lunak dapat membuat pendekatan yang terintegrasi lebih mudah dipelajari dan dimodifikasi. Kelebihannya juga dapat membuat perancang mampu menangani dan memanipulasi desain data yang bervariasi dan banyak dengan keakuratan yang sangat baik dan lebih cepat.

4.2 Aplikasi Bahasa Pemrograman

Penelitian ini menggunakan bahasa pemrograman Visual Basic (VB) dan VRML97 untuk mengembangkan metodologi *user-friendly* (mudah digunakan). VB bahasa program yang mampu sebagai alat yang memfasilitasi pengembangan metode dan aktifitas lain. Bahasa pemrograman adalah perintah-perintah atau instruksi yang dimengerti oleh komputer untuk melakukan tugas-tugas tertentu. VB selain disebut sebagai sebuah bahasa pemrograman, juga sering disebut sebagai sarana (tool) untuk menghasilkan program-program aplikasi berbasis windows.

Beberapa kemampuan atau manfaat dari Visual Basic diantaranya [11]:

1. Untuk membuat program aplikasi berbasis window.
2. Untuk membuat objek-objek pembantu program seperti kontrol ActiveX, file Help, aplikasi Internet, dan sebagainya.
3. Menguji program (*debugging*) dan menghasilkan program akhir berakhiran exe yang bersifat *executable*, atau dapat langsung dijalankan

4.3 Keputusan Desain Perangkat Lunak

Pemilihan perangkat lunak dilakukan untuk mendukung implementasi dari tujuan dan untuk memuaskan keinginan untuk menggunakan perangkat lunak komersial yang tersedia. Sebagai titik awal, VB digunakan sebagai bahasa program untuk membuat *interface* (antar muka) antara Microsoft Access databases dan Microsoft Excel spreadsheets. Microsoft Access menawarkan banyak kelengkapan impor-konversi dari bentuk data format lain seperti dBase, SQL, FoxPro, dan Paradox. Kemampuan SQL (*Structured Query Language*) dari kedua-duanya VB dan Microsoft Access akan dapat digunakan jika langkah kerja untuk dimplementasikan pada perangkat lunak dengan platform lain, sebagai mana hal tersebut digunakan standar pada perangkat lunak pengaturan databases [8].

4.4 Perangkat Lunak PDMI

Perangkat lunak (software) ini diberi nama Product Development Machining Based on Information (PDMI). Perangkat lunak ini dapat menjelaskan, menguraikan dan memfasilitasi implementasi metodologi yang diusulkan. PDMI ini adalah versi pertama dan nomor versinya adalah 1.1. yang copyright (hak cipta) diproteksi oleh Sekolah Pasca Sarjana Magister Teknik Mesin Universitas Sumatera Utara (USU). Perangkat lunak PDMI ditulis dengan menggunakan bahasa pemrograman Microsoft Visual Basic (VB) sebagai user antarmukanya dan VRML97 dan Java untuk visualisasinya.

5 Kesimpulan Dan Saran

5.1 Kesimpulan

Metode pada penelitian ini disebut PDMI (Product Development Machining Based on Information) yang terdiri dari tiga bagian utama yaitu: konsep pemesinan, teknik pemesinan (perhitungan waktu dan biaya), dan sistem visualisasi pemesinan. Konsep pada metode PDMI mengadopsi konsep pemesinan Boothroyd-Dewhurst yang diseleksi dan teknik pemesinan mengadopsi Boothroyd-Dewhurst dan referensi perbaikan. Sistem visualisasi pemesinan menggunakan sistem virtual dengan mengadopsi bahasa pemrograman VRML97 dan Java scrip, dan *software* pendukung sistem tersebut adalah Text Pad untuk menulis kode pemrograman, Cosmo Player 2.1.1 (shareware), virtual world, dan Internet Explorer untuk Web Browser. Integrasi dari metode ini dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Metode virtual manufaktur pemesinan silindris dapat mensimulasikan objek secara mudah untuk pendekatan yang sistematis selama proses desain.
2. Integrasi dari beberapa elemen fokus dalam mendapatkan pendekatan yang benar untuk proses

pemesinan yang lebih baik dalam menurunkan waktu dan biaya.

3. Pengaplikasian simulasi pada dua benda uji (aluminum \varnothing 22 mm L 100 mm dan \varnothing 30 mm L 65 mm) pembubutan pada proses facing, pemakanan, tirus dan finishing menunjukkan kondisi sebenarnya proses pemesinan yang akan terjadi dengan cara virtual. Perbandingan metode PDMI dengan metode lain telah menunjukkan karakteristik PDMI lebih baik pada satu bagian.
4. Proses pemesinan pada metode PDMI ini dilakukan dengan sistem virtualisasi terlebih dahulu sebelum pemesinan sebenarnya. Hal ini dilakukan untuk mereduksi kesalahan pada pemesinan sebenarnya dan mengurangi tes fisik dan prototip. Pengurangan kesalahan pada proses pemesinan sebenarnya dan tes fisik akan memberikan korelasi terhadap pengurangan biaya dan waktu pemesinan keseluruhan.
5. Pengadopsian bahasa pemrograman dan sistem seperti VRML97, Java scrip, Cosmo Player 2.1.1 dan Internet Explorer yang menjadi dasar dari sistem ini disebut sebagai Virtual Manufaktur Berbasis Web. Hanya saja hal ini disebut berbasis web tetapi secara *offline*, untuk disebut berbasis web secara *online* maka perlu dilakukan kerjasama dengan *provider* yang ada.

5.2 Saran

Kemampuan dari metode PDMI telah diketahui dengan membandingkan metode tersebut dengan metode lain. Untuk meningkatkan kemampuan metode PDMI maka perlu kerja selanjutnya. Adapun pada penelitian ini dianjurkan untuk melakukan penelitian lanjutan dan perbaikan kemampuan antara lain:

1. Mengembangkan *user friendly* (mudah digunakan) dengan menggunakan bahasa perangkat lunak lainnya yang lebih baik seperti bahasa pemrograman *open source* (Linux) karena arah pengembangan peralatan pemesinan pada saat ini dan ke depan sesuai dengan bahasa pemrograman tersebut tanpa banyak modifikasi.
2. VB6 memiliki keterbatasan dalam bahasa untuk jaringan dan diintegrasikan dengan bahasa pemrograman lain seperti VRML97, Java dan HTML walaupun dapat dilakukan dengan cara yang berbeda.
3. Setelah menggunakan bahasa VB6 sebagai bahasa pemrograman *user friendly* pada metode PDMI, hal lain yang menjadi pertimbangan adalah bahasa C++ karena relatif lebih mudah penyesuaiannya dengan sistem operasi yang ada sekarang (Microsoft Windows, OS2 dan lain-lain).

4. VB6 dapat diinstall pada sistem operasi yang ada sekarang seperti Windows Vista, tetapi software lain yang merupakan bagian dari Metode PDMI seperti Cosmo Player 2.1.1 yang terintegrasi dengan VRML97 hanya dapat dioperasikan dengan sistem Operasi Windows 98, 2000 dan NT.
5. Bahasa C++ atau Linux lebih fleksibel dan relatif sesuai dengan bahasa pemrograman lain termasuk untuk diintegrasikan dengan Web dibandingkan dengan VB6

Daftar Pustaka

- [1] Kitsios, F. *Product Design and Development*. Report produced for the EC funded project. (2000) Technical University of Crete, January 2000
- [2] Boothroyd, G., Dewhurst, P., and Knight, W. *Product Design for Manufacture and Assembly*. USA: Marcel Dekker (1994)
- [3] Lapinleimu, Iikka dan Jaakko Tötterström Modeling of Machining Cost, Institute of Production Engineering (1999). Tampere University of Technology, ISBN 952-15-0180-4
- [4] Lee, W.B., Cheung, C.F., and Li, J.G. *Applications of virtual manufacturing in materials processing*. Journal of Material Processing Technology 113 (2001) 426-423 Elsevier Science
- [5] Tamiozzo, F.S., Raposo, A.B., Magalhaes, L.P., and Ricarte, I.L.M. *Building Interactive Animations using VRML and Java*. (1999) State University of Campinas (UNICAMP), School of Electrical and Computer Engineering (FEEC), Dept. of Computer Engineering and Industrial Automation (DCA), e-mail: fabiana, alberto, leopini, ricarte@dca.fee.unicamp.br
- [6] Carson, J.A., and Clark, A.F. *Multicast Shared Virtual Worlds Using VRML97*. (2000) VASE Laboratory, University of Essex, Department of Electronic System Engineering, Colchester, CO4 3SQ, UK; e-mail {carsj, [alien](mailto:alien@essex.ac.uk)}@essex.ac.uk
- [7] Brutzman, D. *The Virtual Reality Modeling Language and Java*. Communications of the ACM, vol. 41 no. 6, June 1998, pp. 57-64(1998).
- [8] VRML97 (a), ISO/IEC 14772-1:1997. *The Virtual Reality Modeling Language*.
- [9] Nousch, M., and Jung, B. *CAD on the World Wide Web: Virtual Assembly Furniture with BEAVER*. (1999) Faculty of Technology, University of Bielefeld
- [10] Beazley, G. W, and Orr, N. Joel. (1998). *Collaborative Engineering*. AEC System '98, Information Assets, Inc and President and Principal Consultant Orr Associates International
- [11] Ulrich, Karl T., Syeven D. Eppinger, Perancangan Pengembangan Produk, Salemba Teknika, (2001).