

# PENGAPLIKASIAN CAIP PADA OPERASI OMM DENGAN ALAT UKUR *PROBE* : REKONSTRUKSI *FEATURE* DENGAN METODE PERBANDINGAN ANTARA PERMUKAAN

Yogi Muldani Hendrawan<sup>1</sup>, Yatna Yuwana M<sup>2</sup>, Sri Raharno<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Politeknik Manufaktur Negeri Bandung  
Jl Kanayakan No. 21 – Dago, Bandung - 40135  
Phone/Fax : 022. 250 0241/ 250 2649  
Email: [muldanihendrawan@yahoo.com](mailto:muldanihendrawan@yahoo.com)

<sup>2,3</sup> Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara, Institut Teknologi Bandung,  
Jl. Ganesa No 10, Bandung 40132  
Phone/Fax : 022. 250 4243 / 253 4099

## Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk membangun sistem CAIP pada operasi OMM yang mampu mengukur benda kerja secara otomatis berdasarkan informasi gambar dari divisi perancangan. Data gambar dapat dimanfaatkan untuk berbagai tujuan seperti menghitung biaya, merencanakan proses, merencanakan inspeksi, menghitung bahan dan lain-lain. Metode pemanfaatan data gambar masih secara manual, sehingga membutuhkan proses yang lama, orang yang khusus, dan masih terjadinya kemungkinan kesalahan jika produk sudah terlalu banyak. Solusi untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah otomatisasi dalam pengolahan data gambar tersebut. Pemahaman fitur pada gambar menjadi kunci agar dapat mengolah data secara otomatis. Terdapat banyak jenis fitur dalam geometri produk tetapi fitur yang umum dan banyak digunakan adalah fitur berprimitif balok. Penelitian ini bertujuan untuk merekonstruksi fitur dengan jenis *primitive box* dari data geometri produk berjenis STEP. Perekonstruksi fitur ini dibuat sebagai modul pendukung sistem CAIP (*Computer Aided Inspection Planning*) yang diterapkan pada operasi OMM (*On Machining Measurement*) dengan menggunakan alat ukur *probe*. Metode yang digunakan untuk merekonstruksi fitur adalah dengan metode membandingkan setiap permukaan (*Surface Comparison*) dimana setiap permukaan dibandingkan dengan permukaan yang lain untuk membaca karakteristik hubungan antara permukaan. Hubungan antara permukaan disebut fitur jika memiliki 2 syarat yaitu memiliki satu garis yang sama dan berbentuk *concave*. Setelah membaca karakteristik hubungan antara permukaan maka langkah selanjutnya menentukan jenis fitur berdasarkan jumlah permukaan *real* dan *imaginer* serta kesamaan *plane* setiap permukaannya. Terdapat 6 jenis fitur yang dapat direkonstruksi modul ini yaitu *feature step* yang disebut RCT (*Rectangular Corner Through*), *feature poket* sudut yang disebut RCB (*Rectangular Corner Blind*), *feature slot* yang disebut RMT (*Rectangular Middle Through*), *feature poket tepi* yang disebut RMB (*Rectangular Middle Blind*), *feature poket tengah* yang disebut RHB (*Rectangular Hole Blind*), dan *feature hole* yang disebut RHT (*Rectangular hole through*). Modul ini telah dapat merekonstruksi fitur yang memiliki informasi jenis, posisi, dan ukuran. Data ini akan diolah oleh tahap berikutnya untuk merencanakan proses pengukuran.

**Kata kunci:** CAIP, Feature, STEP

## 1. Pendahuluan

Tantangan dalam dunia manufaktur semakin meningkat seiring dengan perkembangan teknologi manufaktur. Sehingga pandangan terhadap tantangan dalam dunia manufaktur akan berpengaruh terhadap cara berbisnis, cara mendesain, memproduksi, merakit, dan mendistribusikan produk, merencanakan sistem manufaktur, sampai cara berkomunikasi dan bekerjasama dengan perusahaan lain yang secara potensial dapat menjadi salah satu supplier

perusahaan<sup>[1]</sup>. Menurut Bernolr, T. & Guttropf, W (1988), siklus produk yang semakin cepat merupakan tantangan yang harus dihadapi oleh perusahaan khususnya dalam dunia manufaktur karena dalam membuat suatu produk diperlukan persiapan yang membutuhkan waktu<sup>[2]</sup>. Untuk mengatasi tantangan di atas berkembang konsep *Agile Manufacturing*, yaitu kemampuan industri produk ataupun jasa yang berhasil mengatasi perubahan yang cepat dan kontinyu<sup>[3]</sup>. Sedangkan pandangan Yatna, Y

(2009) bahwa sistem produksi di masa mendatang diperlukan pengintegrasian yang optimal antara proses produksi dengan sistem informasi produksi<sup>[4]</sup>. Sistem CAIP dibangun untuk membangun sistem informasi pada bagian *quality control*.

Penelitian CAIP sudah dimulai sejak awal tahun 1980. Penelitian CAIP terbagi menjadi 2 kurun waktu antara tahun 1980 sampai 1990 dan setelah tahun 1990. Pada masa yang pertama masih sebatas konsep (*conceptual level*). Secara umum membagi menjadi 4 tahap pengolahan data dalam CAIP yaitu tahap pemilihan *feature* pengukuran, tahap optimasi dan pemilihan titik – titik pengukuran, tahap pembuatan lintasan alat ukur *probe*, dan tahap pengekseskuan proses inspeksi. Vafaeseefat dan Elmaraghy (2000) mengajukan metodologi untuk mendefinisikan fitur pengukuran dan mengelompokkan kedalam kelompok-kelompok tertentu secara otomatis<sup>[5]</sup>. Elkott et al (2002) mengkaji ulang strategi pemilihan sampel atau titik pengukuran untuk pemeriksaan di CMM<sup>[6]</sup>. Sedangkan penelitian yang dilakukan Menq et al (1990) mengembangkan metode berdasarkan desain toleransi dan keakuratan pemesinan untuk menentukan jumlah titik pengukuran yang optimal<sup>[7]</sup>. Lee et al dan Cho et al (2004) mengusulkan sistem *fuzzy* untuk menentukan jumlah titik pengukuran yang optimal untuk sistem OMM<sup>[8]</sup>. Albuquerque et al (2000) menggunakan metode iteratif dari titik pengukuran dan pencegahan tabrakan interaksi fitur untuk menghasilkan lintasan pengukuran *probe* secara otomatis<sup>[9]</sup>. Sedangkan Ainsworth et al (2000) mengembangkan sistem pembuatan lintasan *probe* yang melibatkan hubungan antara sistem CAD dan pengguna. Sistem ini memiliki 3 tahap yaitu pembuatan lintasan, modifikasi dan verifikasi<sup>[10]</sup>.

Setelah CAIP mulai diimplementasikan ke CMM, Medland dan Mullineux (1992) mencoba untuk mengintegrasikan CMM dengan sistem manufaktur<sup>[11]</sup>. Rencana inspeksi dihasilkan otomatis berdasarkan model fitur yang berisi informasi fitur, kecermatan dimensi yang sesuai standard produk, jenis *probe* yang dibutuhkan, dan arah orientasi untuk menentukan fitur. CAIP mulai diimplementasikan pada sistem OMM (*On Machine Measurement*) sehingga proses pemesinan dan pengukuran menjadi lebih efisien karena terjadi pada satu mesin yang sama. Hal ini diawali oleh penelitian Chung S. C (1999) yang mengusulkan sistem CAIPP untuk operasi OMM pada permukaan dengan bentuk bebas<sup>[12]</sup>. Penelitian ini akan mengambil bagian

pada pengaplikasian CAIP pada operasi OMM (*On Machine Measurement*) di mesin *CNC 5 Axis DMU50* dengan kontrol *Heidenhan iTNC530* dengan 4 tahap metode CAIP, yaitu pengenalan permukaan (*Face Identification*), pembentukan fitur (*Feature Reconstruction*), perencanaan inspeksi (*Inspection Planning*), dan pembuatan kode program inspeksi (*Inspection Code Generated*). Terdapat berbagai macam jenis fitur yang terdapat pada sebuah produk tetapi pada pembahasan kali ini, fitur yang dibentuk adalah fitur berprimitif balok..

## 2. Tinjauan Pustaka

### 2.1 Pengertian CAIP

Strategi pada sistem CAIP adalah otomatisasi proses inspeksi dengan aplikasi pada komputer yang dikombinasikan dengan teknologi sensor. Secara teknis dan ekonomis, proses inspeksi seharusnya dapat dilakukan untuk 100% sample produk<sup>[13]</sup>.

Tujuan diterapkan proses inspeksi berbasis komputer (CAIP) adalah :

- Memperbaiki kualitas produk, dengan cara proses inspeksi dapat dilakukan terhadap seluruh produk sehingga kualitas produk dapat terjamin.
- Meningkatkan produktivitas pada proses inspeksi, karena proses inspeksi dilakukan secara otomatis maka waktu inspeksi akan semakin cepat yang berdampak jumlah produk yang diukur dapat semakin banyak dengan waktu yang sama.
- Mengurangi waktu tunggu akibat persiapan proses inspeksi seperti persiapan peralatan, format kualitas, dan pembuatan rencana pengukuran.
- Mengurangi sampah benda gagal atau pengulangan proses sebagai akibat kualitas yang terjaga sehingga tingkat kegagalan proses dapat menurun.

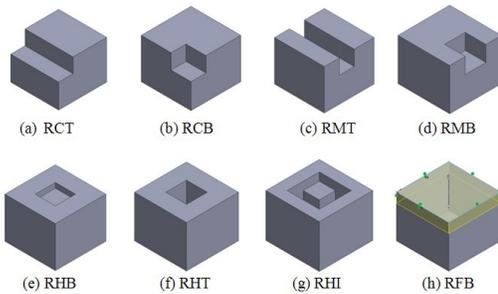
### 2.2 Pengertian Fitur

Menurut Hartono, Rahmat, 1997 fitur adalah bentuk geometri tertentu yang harus dibuang dalam proses pemesinan<sup>[14]</sup>. Dalam perancangan produk berbasis fitur (*feature based design*), fitur mencakup atribut dan hubungan antar entiti-entiti (informasi penting yang dibutuhkan) dalam produk secara eksplisit. Dalam proses manufaktur, fitur dikaitkan ke berbagai jenis informasi yang diperlukan untuk pembuatan suatu produk, misalnya informasi jenis pahat yang digunakan, ukuran diameter pahat yang sebaiknya digunakan, urutan proses, dan lain-lain. Pengetahuan tersebut penting agar perencanaan proses dan penentuan detail operasi

dapat dilakukan lebih mudah. Hal ini bertujuan untuk mencegah terjadinya pengerjaan secara intuisi yang tidak sesuai dengan standard pengerjaan yang seharusnya<sup>[15]</sup>.

2.3 Jenis-jenis FiturBalok

Fitur bentuk primitif balok adalah fitur yang memiliki kesesuaian bentuk dengan bangun geometri balok. Tujuh jenis fitur primitif balok yang dikenal, yaitu : *feature step* yang disebut RCT (*Rectangular Corner Through*), *feature poket sudut* yang disebut RCB (*Rectangular Corner Blind*), *feature slot* yang disebut RMT (*Rectangular Middle Through*), *feature poket tepi* yang disebut RMB (*Rectangular Middle Blind*), *feature poket tengah* yang disebut RHB (*Rectangular Hole Blind*), *feature hole* yang disebut RHT (*Rectanglar hole through*), dan *feature pulau* yang disebut RHI (*Rectangular Hole Island*). Selain ketujuh jenis fitur balok tersebut ada satu lagi yang dapat ditambahkan yaitu RFB (*Rectangular Face Blind*)<sup>[16]</sup>.



Gambar 1. Jenis-JenisFiturBerprimitifBalok

2.4. Perkalian Cross Dua Vektor

Kita selalu perlu untuk mencari ketegaklurusan antara 2 vektor a dan b dalam ruangan. Cara yang umum adalah dengan perkalian *cross* antara vektor a x b. Hasil dari perkalian ini tidak seperti hasil perkalian dot a.b yaitu skalar. Hasil perkalian a x b adalah besaran vektor. Persamaan perkalian vektor axb dimana  $a = \{a_1, a_2, a_3\}$  dan  $b = \{b_1, b_2, b_3\}$  adalah

$$axb = (a_2b_3 - a_3b_2, a_3b_1 - a_1b_3, a_1b_2 - a_2b_1) \quad (1)$$

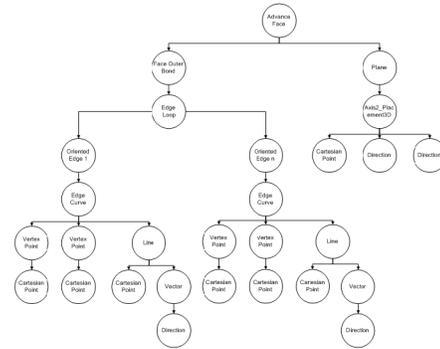
Hasil perkalian vektor a x b selalu tegak lurus dengan kedua vektor pengalinya<sup>[17]</sup>.

3. Metodologi

3.1 Face Detection

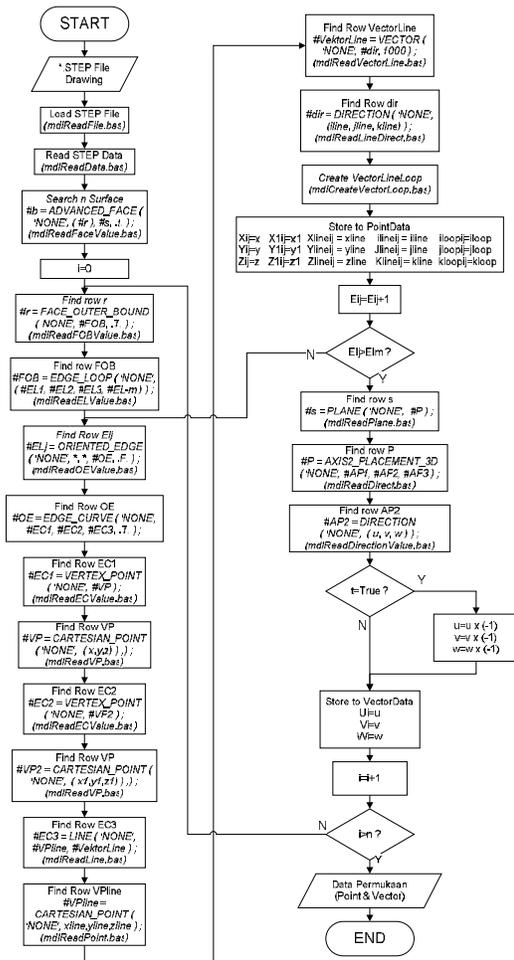
Modul pertama memiliki tujuan mendeteksi setiap permukaan yang ada pada geometri produk. Data masukan dari modul ini adalah data STEP AP13/AP14. Dari data STEP didapat informasi berupa *Advance Face*, *face outer bound*, *face bound*, *edge loop*, *oriented edge*, *edge curve*, *vertex point*, *line*, *cartesian point*, *vector*, *direction*, *plane*, dan *axis2 placement 3d*.

Struktur data STEP dapat digambarkan sebagai berikut



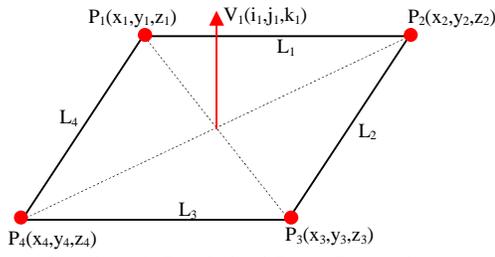
Gambar 2. Struktur Data Permukaan STEP

Struktur data STEP sebagai bahan untuk merancang perangkat lunak untuk mengidentifikasi permukaan serta data pendukung lainnya. Berikut alur pemrograman identifikasi permukaan



Gambar 3. Algoritma Identifikasi Permukaan

Output dari algoritma diatas adalah data setiap permukaan berupa titik, garis, arah vektor garis, dan arah vektor permukaannya. Informasi permukaan digambarkan sebagai berikut

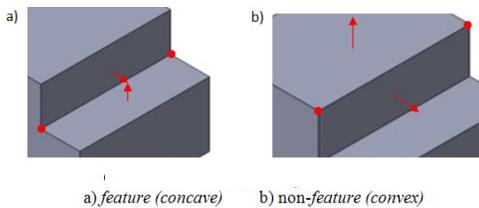


Gambar 4. Deskripsi Data Permukaan

3.2 Face Reconstruction

Setelah modul pertama mengeluarkan data permukaan, selanjutnya pengenalan fitur dengan cara membandingkan setiap permukaan terhadap permukaan lain dan mengelompokkan hubungan antar permukaan yang memenuhi persyaratan fitur. Berdasarkan bentuk topologi fitur maka persyaratan fitur adalah sebagai berikut :

- 1) Jika memiliki garis yang sama pada tepi permukaan.
- 2) Jika vektor normal kedua atau lebih permukaan berkarakteristik *concave*.

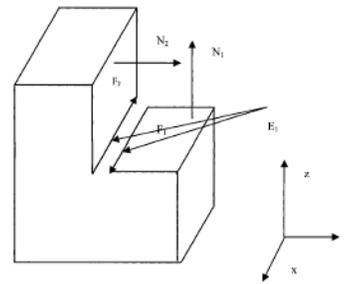


a) feature (concave) b) non-feature (convex)

Gambar 5. Deskripsi Persyaratan Fitur

Metode pengujian karakteristik *concave* adalah sebagai berikut

- a. Perkalian vektor *cross* (V) antara vektor normal kedua permukaan.  $V=N_i \times N_j$
- b. Arah vektor tepi  $E_k$  pada permukaan  $F_i$  diketahui. Vektor normal  $N_i$  dari permukaan  $F_i$  harus menjadi komponen pertama pada perkalian vektor tahap satu.
- c. Jika arah vektor tepi  $E_k$  pada tahap 2 memiliki arah yang sama dengan hasil perkalian vektor V, maka tepi  $E_k$  adalah tepi *convex* sehingga dapat disimpulkan  $F_i$  dan  $F_j$  adalah permukaan *convex*. Begitu pun sebaliknya Jika arah vektor tepi  $E_k$  pada tahap 2 memiliki arah yang berlawanan dengan hasil perkalian vektor V, maka tepi  $E_k$  adalah tepi *concave* sehingga dapat disimpulkan  $F_i$  dan  $F_j$  adalah permukaan *concave*. Jika hasil perkalian vektor adalah nol memiliki arti bahwa tepi memiliki kategori tangensial<sup>[18]</sup>.



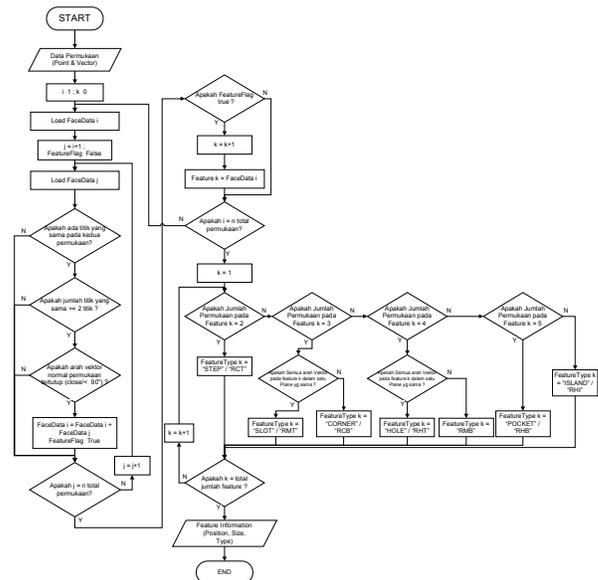
Gambar 6. ContohTepiConcave

Langkah berikutnya adalah menentukan jenis fitur. Setiap jenis fitur memiliki karakteristik yang berbeda berdasarkan jumlah permukaan *real* dan *imaginer* serta kesamaan *plane* di setiap permukaan. Berikut adalah tabel karakteristik setiap jenis fitur

Tabel 1. Tabel Karakteristik Jenis Fitur

No	Feature	Permukaan		Plane
		Real	Imaginer	
1	Rectangular Corner Through (RCT) / Step	2	4	Sama
2	Rectangular Corner Blind (RCB)	3	3	Beda
3	Rectangular Middle Through (RMT) / Ahur	3	3	Sama
4	Rectangular Middle Blind (RMB)	4	2	Beda
5	Rectangular Hole Blind (RHB) / Poket	5	1	Beda
6	Rectangular Hole Through (RHT)	4	2	Sama

Berdasarkan metode diatas maka algoritma pembuatan perangkat lunak rekonstruksi fitur adalah sebagai berikut



Gambar 7. Algoritma Rekonstruksi Fitur

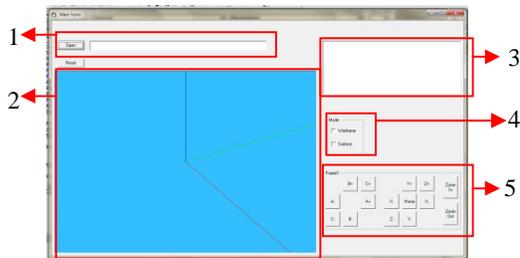
Dengan algoritma modul tahap 2 dapat menganalisa dan mengidentifikasi jenis-jenis fitur yang terdapat dalam geometri produk. Selain jenis fitur diperoleh juga ukuran dan posisi fitur terhadap referensi produk. Informasi ini

yang akan digunakan pada modul tahap selanjutnya.

### 3.3 Perangkat Lunak

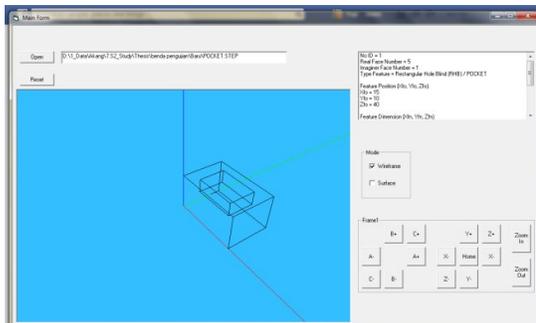
Implementasi kedua algoritma diatas dalam perangkat lunak adalah program CAIP yang dirancang peneliti dengan menggunakan Visual Basic 6 dan divisualisasikan dengan OpenGL.

Berikut adalah layout dari perangkat lunak rekonstruksi fitur



Gambar 8. Tampilan Perangkat Lunak

- 1 = Pembuka data file STEP
  - 2 = Screen Sheet
  - 3 = Keterangan fitur
  - 4 = Drawing Mode (Wireframe / Surface)
  - 5 = Draw Controll (Move, Zoom, Rotate)
- Hasil eksekusi data STEP oleh perangkat lunak adalah sebagai berikut



Gambar 9. Hasil Eksekusi Perangkat Lunak

isi keterangan Fitur

No. ID : 1  
 Real Face Number : 5  
 Imaginer Face Number : 1  
 Type Feature : Rectangular Hole Blind (RHB) / POCKET

Feature Position ( $X_{ref}$ ,  $Y_{ref}$ ,  $Z_{ref}$ )  
 $X_{ref}$  = 15  
 $Y_{ref}$  = 10  
 $Z_{ref}$  = 40

Feature Dimension ( $X_{fn}$ ,  $Y_{fn}$ ,  $Z_{fn}$ )  
 $X_{fn}$  = 45  
 $Y_{fn}$  = 30  
 $Z_{fn}$  = -15

- Feature 1,1 = (1)
- Feature 1,2 = (5)
- Feature 1,3 = (0)
- Feature 1,4 = (6)
- Feature 1,5 = (3)
- Feature 1,6 = (2)

### 4. Kesimpulan

Perangkat lunak perekonstruksifiturinisebagai bagian dari sistem CAIP dapat mengolah data STEP dan menganalisafiturberprimitifbalokyang terdapat dalam geometri produk. Semuajenisfiturberprimitifbalokdapatdirekonstruksi. Sistemini mampumengenalijenisfitur, posisi, ukuran, danjumlahfituryang terdapatdalamproduk. Data ini yang akan dimanfaatkan sebagai bahan untuk merencanakan proses inspeksi pada tahap berikutnya.

### Ucapan Terima Kasih

Penulis ucapkan terima kasih kepada Prof. Dr. Yatna Yuwana M dan Dr. Sri Raharno selaku pembimbing di FTMD ITB, rekan-rekan sejawat baik di ITB atau POLMAN-Bandung, serta istri yang tercinta dan semua keluarga yang tersayang.

### Referensi/Daftar Pustaka

- [1] Askin, Ronald G., "Editor's Note : Special issue of Design and Manufacturing on Agile Manufacturing", (1997), *IIE Transactions*, Vol. 29 Number 10.
- [2] Bernold, T. - Guttropf, W, *Computer integrated manufacturing*, (1988), Elsevier Science Publishing, Amsterdam.
- [3] DeVor,R., Graves, R., Mills, John. J., "Agile Manufacturing Research : accomplishments and opportunities",(1997), *IIE Transactions*, Vol. 29 Number 10.
- [4] Yatna yuwana martawirya, Sistem Produksi terdistribusi Mandiri (SPTM) I , (2009).Penerbit : ITB
- [5] Vafaesezat, A. and H.A. Elmaraghy, *Automated accessibility analysis and measurement clustering for CMMs. International Journal of Production Research*, (2000), 38(10): p. 2215-2231.
- [6] Elkott, D.F., H.A. ElMaraghy, and W.H. ElMaraghy, *Automatic sampling for CMM inspection planning of free-form surfaces. International Journal of Production Research*, (2002), 40(11): p. 2653-2676.

- [7] Menq, C.-H., H.-T. Yau, G.-Y. Lai, and R.A. Miller, *Statistical evaluation of form tolerances using discrete measurement data*. in American Society of Mechanical Engineers, Production Engineering Division (Publication) PED. (1990).
- [8] Lee, H., M.W. Cho, G.S. Yoon, and J.H. Choi, *A Computer-aided inspection planning system for on-machine measurement - Part I: Global inspection planning*. KSME International Journal, (2004). 18(8): p. 1349-1357.
- [9] Albuquerque, V.A., F.W. Liou, and O.R. Mitchell, *Inspection point placement and path planning algorithms for automatic CMM inspection*. International Journal of Computer Integrated Manufacturing, (2000). 13(2): p. 107-120.
- [10] Ainsworth, I., M. Ristic, and D. Brujic, *CAD-based measurement path planning for free-form shapes using contact probes*. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, (2000). 16(1): p. 23-31.
- [11] Medland, A.J. and G. Mullineux, *Strategies for Automatic Path Planning of Coordinate Measuring Machines*, in 24th CIRP International Seminar on Manufacturing Systems., (1992). June 11-12.
- [12] Chung, S.C., *CAD/CAM integration of on-the-machine measuring and inspection system for free-formed surfaces*. Proceedings of American Society for Precision Engineering, (1999). 20: p. 267-270.
- [13] P. Radhakrishnan, S. Subramanyan, & V. Raju. *CAD/CAM/CIM*. (2011). New York. New Age International (P) Ltd.
- [14] Hartono, Rahmat. *Pemodelan Produk Berbasis Feature*. Thesis Magister Departemen Teknik Mesin – FTI. (1997). Institut Teknologi Bandung.
- [15] Yatna Yuwana Martawirya, *Pemodelan Produk Berbasis Fitur*. (2010). Penerbit : ITB
- [16] Bagus Arthaya, Yatna Yuwana Martawirya, Yustinus Linardi Ridjab, *Pengembangan Algoritma Pemrosesan Dua Feature Berbeda Saling Berpotongan Pada Dua Bidang Tegak Lurus Dalam Pemodelan Produk Berbasis Feature*, Unpublished Paper, (2002)
- [17] Edwards & Penney. *Calculus with Analytic Geometry*. (1999). Upper Saddle River. Prentice-Hall, Inc.
- [18] Emad Abdouel Nasr & Ali K Kamrani. *Computer Based Design and Manufacturing : An Information-Based Approach*. (2007). Houston. Springer Science + Business Media, LLC.