

# PENGAPLIKASIAN CAIP PADA OPERASI OMM DENGAN ALAT UKUR *PROBE*: SISTEM GLOBAL CAIP

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

Alur informasi antara sektor kerja menjadi hal yang penting seperti data gambar dari divisi perancangan ke divisi produksi atau *quality control*. Sistem CAIP (*Computer Aided Inspection Planning*) diharapkan dapat menjamin alur informasi gambar ke bagian *quality control* agar tidak berubah walaupun dengan jumlah data yang banyak. Sistem ini menggunakan data gambar awal dari bagian perancangan. Jenis data gambar yang umum digunakan dalam setiap perangkat lunak CAD adalah data gambar STEP. Data STEP terdiri dari informasi geometri produk seperti permukaan, garis, titik, dan arah vektor permukaan. Informasi yang dapat dimanfaatkan untuk membangun sistem CAIP adalah data *feature*. Oleh Sebab itu perlu ada proses rekonstruksi *feature* berdasarkan informasi geometri pada data STEP. Jenis *feature* yang digunakan pada penelitian ini adalah jenis *feature box primitif*. Bentuk geometri *feature box primitive* dapat diukur dengan berbagai jenis alat ukur diantaranya jangka sorong, probe, dan micrometer. Alat ukur yang digunakan dan mendukung pada system ini adalah *probe*. Saat ini alat ukur *probe* merupakan alat ukur yang dapat mengukur berbagai jenis geometri produk. Alat ukur *probe* dapat dioperasikan di mesin CNC atau disebut operasi OMM (*On Machine Measurement*) sehingga tidak perlu memindahkan produk untuk melakukan pengukuran. Dalam penelitian ini untuk menggunakan alat ukur ini diperlukan program pengukuran yang berbasis pada data geometrik produk untuk menggunakan alat ukur *probe*. Selain itu, juga digunakan mesin CNC 5 Axis DMU150 dengan kontrol Heidenhan iTNC530. Agar CAIP dapat berfungsi selain menjamin alur informasi gambar tetapi juga dapat melakukan proses pengukuran dengan *probe* secara otomatis maka perlu dibangun sistem CAIP dengan 4 langkah kerja, yaitu identifikasi permukaan, rekonstruksi *feature*, perencanaan proses inspeksi, dan pembuatan kode program inspeksi. Dengan empat langkah ini dapat membangun sistem CAIP yang dapat mengukur produk dengan *probe* secara otomatis berdasarkan data gambar awal (STEP).

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

## 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 diatas 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>.

Berdasarkan pandangan diatas terlihat pentingnya informasi data terutama data model produk yang akan digunakan oleh sistem produksi secara terintegrasi. Model produk

tersebut memiliki data geometri produk yang dapat diproses menjadi data produksi, data pengukuran, data perhitungan, dan sebagainya. Data yang digunakan harus konsisten, oleh karena itu selama aliran data dipastikan tidak ada perubahan data. Maka untuk memastikan aliran data tersebut diperlukan sistem informasi yang terintegrasi secara otomatis dengan bantuan sistem komputer. Jika aliran data bersifat manual menggunakan sumber daya manusia atau operator dimungkinkan terjadi kesalahan pada aliran data tersebut.

Agar sistem produksi dapat berjalan lancar maka diperlukan perencanaan dan penjadwalan yang sesuai untuk setiap tahapan. Perencanaan dan penjadwalan dapat berjalan jika setiap tahapan dipastikan lancar. Setiap aliran tahapan saat ini masih menggunakan alur data manual. Hal ini tidak dapat menjamin aliran informasi setiap bagian benar terutama informasi yang berhubungan dengan produk secara langsung yaitu pada tahapan perancangan, pembuatan, dan pengukuran. Setelah tahap pembuatan langkah berikutnya adalah tahapan pengukuran, informasi yang diperoleh dari tahapan sebelumnya adalah gambar produk dan produk yang akan diukur. Gambar kerja akan diolah menjadi perencanaan pengukuran (*inspeksi*) dalam bentuk *Quality Control Sheet*. Terdapat banyak jenis alat pengukuran yang digunakan pada proses pengukuran salah satunya alat ukur *probe* yang digunakan pada mesin CMM (*Coordinat Measurement Machine*) atau mesin CNC (*Computerized Numerical Control*). Pengolahan data menjadi perencanaan inspeksi yang berbasis komputer sehingga dapat berjalan secara otomatis disebut CAIP (*Computer Aided Inspection Planning*).

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 *feature* 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 *feature* 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 *feature* yang berisi informasi *feature*, kecermatan dimensi yang sesuai standard produk, jenis *probe* yang dibutuhkan, dan arah orientasi untuk menentukan *feature*. 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 *feature* (*Feature Reconstruction*), perencanaan inspeksi (*Inspection Planning*), dan pembuatan kode program inspeksi (*Inspection Code Generated*). Terdapat berbagai macam jenis *feature* yang terdapat pada sebuah produk tetapi pada pembahasan kali ini, *feature* yang dibentuk adalah *feature primitif* balok. Kode program inspeksi akan distandarkan sesuai dengan kode program/cycle inspeksi pada kontrol mesin CNC diatas. Karena kontrol mesin CNC belum memiliki kapasitas dalam merencanakan proses inspeksi maka CAIP akan dihubungkan dengan mesin CNC secara DNC (*Direct Numerical Control*) dimana pembuatan kode program dilakukan di komputer yang akan

dikirim secara bertahap ke kontrol CNC untuk segera dieksekusi secara bertahap.

## 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 terjejas sehingga tingkat kegagalan proses dapat menurun.

### 2.2 Pengertian Feature

Menurut Hartono, Rahmat, 1997 *feature* adalah bentuk geometri tertentu yang harus dibuang dalam proses pemesinan<sup>[14]</sup>. Dalam perancangan produk berbasis *feature* (*feature based design*), *feature* mencakup atribut dan hubungan antar entiti-entiti (informasi penting yang dibutuhkan) dalam produk secara eksplisit. Dalam proses manufaktur, *feature* 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 Feature Balok

Feature bentuk primitif balok adalah *feature* yang memiliki kesesuaian bentuk dengan bangun geometri balok. Tujuh jenis *feature*

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 (*Rectangular hole through*), dan *feature pulau* yang disebut RHI (*Rectangular Hole Island*). Selain ketujuh jenis *feature* balok tersebut ada satu lagi yang dapat ditambahkan yaitu RFB (*Rectangular Face Blind*)<sup>[16]</sup>.

### 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  $a \times b$ . Hasil dari perkalian ini tidak seperti hasil perkalian dot  $a \cdot b$  yaitu skalar. Hasil perkalian  $a \times b$  adalah besaran vektor. Persamaan perkalian vektor  $a \times b$  dimana  $a = \{a_1, a_2, a_3\}$  dan  $b = \{b_1, b_2, b_3\}$  adalah

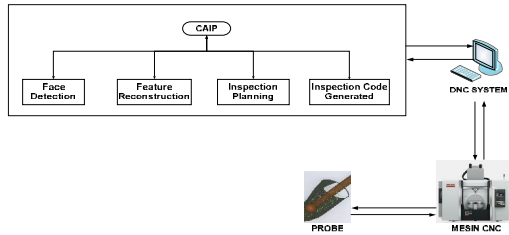
$$a \times b = (a_2 b_3 - a_3 b_2, a_3 b_1 - a_1 b_3, a_1 b_2 - a_2 b_1) \quad (1)$$

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

## 3. Metodologi

### 3.1 Struktur Umum Sistem CAIP

CAIP (*Computer Aided Inspection Planing*) adalah hasil dari integrasi antara CAD/CAM dan *Computer Aided Inspection* (CAI). Sistem CAIP pada OMM (*On Machine Measurement*) dirancang untuk mengukur produk secara efisien selama proses pemesinan atau setelah proses pemesinan<sup>[18]</sup>. Menurut Jozef Novak Marcincin, 1997 mengatakan bahwa CAIP/CAQ merupakan bagian dari CAPE (*Computer Aided Production Engineering*) dan CAPE adalah sub-sistem dari CIM (*Computer Integrated Manufacturing*)<sup>[19]</sup>. Hal ini menunjukkan bahwa sistem/perangkat lunak CAIP yang dibuat harus mampu dikembangkan untuk dapat berinteraksi dengan sistem/objek yang lain. Setiap subsistem/element harus dapat diintegrasikan, fleksibel, dan bekerja secara sinergis. Oleh karena itu pendekatan pemrograman berorientasi objek perlu digunakan untuk membuat sistem CAIP. Berikut adalah struktur umum CAIP



Gambar 1. Sistem Global CAIP

Sedangkan hubungan antara setiap tahap/modul dapat dilihat pada tabel berikut ini

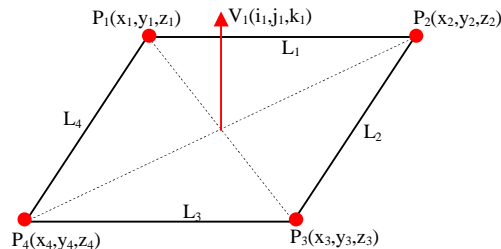
Tabel 1. Data Masukan dan Keluaran Setiap Modul

No	Modul	Data Masukan	Data Keluaran
1	Face Detection	Data Geometri Produk (File STEP)	Informasi Geometri Permukaan Produk (Informasi Titik, Garis, Permukaan, dan arah vektor permukaan)
2	Feature Reconstruction	Informasi Geometri Permukaan	Informasi Feature (Jenis, Posisi, dan Dimensi)
3	Inspection Planning	Informasi Feature	Tahapan Proses Inspeksi (Urutan Permukaan dan titik yang akan diukur)
4	Inspection Code Generated	Tahapan Proses Inspeksi	Program G-Code Inspeksi

### 3.2 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*.

Semua struktur data diatas diolah dan disusun sehingga diperoleh data setiap permukaan berupa titik, garis, arah vektor garis, dan arah vektor permukaannya. Informasi permukaan digambarkan sebagai berikut



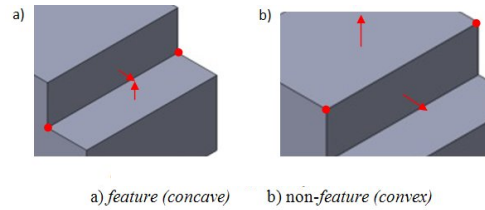
Gambar2. Deskripsi Data Permukaan

### 3.3 Face Reconstruction

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

- 1) Jika memiliki garis yang sama pada tepi permukaan.

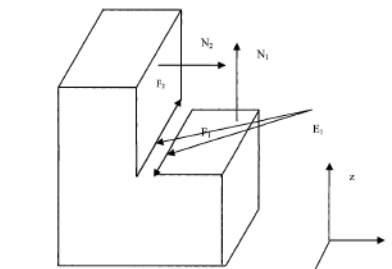
- 2) Jika vektor normal kedua atau lebih permukaan berkarakteristik *concave*.



Gambar3. Deskripsi Persyaratan Feature

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 vektor nol memiliki arti bahwa tepi memiliki kategori tangensial<sup>[20]</sup>.



Gambar4. Contoh Tepi Concave

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

Tabel 2. Tabel Karakteristik Feature

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

Dengan metode tersebut modul tahap 2 dapat menganalisa dan mengidentifikasi jenis-jenis feature yang terdapat dalam geometri produk. Selain jenis feature diperoleh juga ukuran dan posisi feature terhadap referensi produk. Informasi ini yang akan digunakan pada modul tahap selanjutnya.

### 3.3 Inspection Planning

Data awal yang digunakan untuk membuat perencanaan inspeksi adalah informasi feature berupa jenis, posisi, dan dimensi yang dihasilkan oleh modul tahap 2. Setiap jenis feature memiliki proses inpeksi yang berbeda seperti dimensi feature yang diukur, permukaan feature yang dipilih dan urutan gerakan probe dalam pengukuran.

#### 1) Identifikasi Permukaan feature

Proses inspeksi terdiri dari 2 komponen yang diukur yaitu posisi dan ukuran. Posisi adalah perbandingan koordinat titik referensi feature dengan koordinat titik referensi pada benda kerja. Sedangkan ukuran adalah perbandingan antara koordinat terkecil dan terbesar dari feature, sehingga diketahui dimensi dari box pembentuk feature tersebut. Setiap feature memiliki komponen yang berbeda dalam mengukur posisi dan ukuran feature. Berikut adalah tabel perbandingan pengukuran komponen posisi dan ukuran setiap feature.

Tabel 3. Tabel Identifikasi Pengukuran

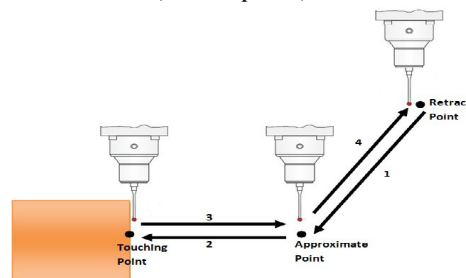
No	Feature	Pencil			Ukuran		
		Xref	Yref	Zref	p	l	t
1	Rectangular Corner Through (RCT) / Step	√	√	√		√	√
2	Rectangular Corner Blind (RCB)	√	√	√	√	√	√
3	Rectangular Middle Through (RMT) / Ahur	√	√	√		√	√
4	Rectangular Middle Blind (RMB)	√	√	√	√	√	√
5	Rectangular Hole Blind (RHB) / Poket	√	√	√	√	√	√
6	Rectangular Hole Through (RHT)	√	√	√	√	√	

#### 2) Identifikasi Gerakan Probe

Setelah permukaan yang akan diukur telah terdefinisi maka langkah selanjutnya membuat skenario gerakan probe. Skenario gerakan probe harus mampu mencapai permukaan yang dituju dan tidak bersentuhan dengan permukaan yang lain. Jika probe bersentuhan diluar dari permukaan yang dituju maka akan merusak probe atau salah pengambilan data. Oleh karena itu skenario gerakan probe dibuat efektif dan aman.

Gerakan probe terdiri dari informasi koordinat-koordinat jalur gerakan probe dan kecepatan gerakan probe (feeding). Berdasarkan informasi tersebut maka skenario gerakan probe terdiri dari beberapa langkah yaitu :

- 1) *Approximate Moving*, yaitu gerakan probe mendekati target pengukuran.
- 2) *Touch Moving*, yaitu gerakan probe menyentuh permukaan untuk mengambil data.
- 3) *Release Moving*, yaitu gerakan probe kembali ke approximate point setelah pengambilan data.
- 4) *Retract Moving*, yaitu gerakan probe kembali ke titik awal (retract point)



Gambar 5. Skenario Gerakan Probe

Berdasarkan skenario gerakan probe diatas, diperlukan informasi-informasi koordinat gerak, tipe probe, dan geometri produk untuk

membentuk lintasan gerakannya. Koordinat-koordinat gerak yang dibutuhkan adalah :

- 1) *Retract Point*
- 2) *Approximate Point*
- 3) *Touching Point*

### 3.5 Inspection Code Generated

Setelah didapat informasi titik-titik lintasan pada skenario gerakan *probe* pada modul tahap 3. Maka informasi tersebut dimasukan kedalam parameter *cycle* pengukuran pada standar program mesin CNC 5 Axis *DMU150* dengan kontrol *Heidenhan iTNC530*. *Cycle* yang digunakan untuk mengukur koordinat secara umum adalah *cycle 427 / ISO G427*. Parameter yang harus diset adalah sebagai berikut :

```

5 ICH PROBE 427 MEASURE COORDINATE
0263=25 :1ST POINT 1ST AXIS
0264=45 :1ST POINT 2ND AXIS
0261=45 :MEASURING HEIGHT
0120=0 :SET-UP CLEARANCE
0172=3 :MEASURING AXIS
0167=1 :TRAVERSE DIRECTION
0266=20 :CLEARANCE HEIGHT
0281=2 :MEASURING LOC
0188=5.1 :MAXIMUM DIRECTION
0288=4.95 :MINIMUM DIRECTION
0109=0 :PGM-STOP IF ERROR
0330=0 :TOOL NUMBER

```

## 4. Kesimpulan

Sistem CAIP dapat diimplementasikan pada mesin CNC 5 Axis *DMU150* dengan kontrol *Heidenhan iTNC530* dengan metode 4 tahap CAIP yaitu, Identifikasi permukaan, rekonstruksi *feature*, Perencanaan pengukuran, dan pembuatan kode program inspeksi. Otomatisasi proses inspeksi dengan system ini dapat mengurangi waktu yang dibutuhkan untuk persiapan inspeksi, pemindahan produk, dan proses inspeksi yang berdampak produktifitas proses inspeksi meningkat karena kapasitas jumlah produk yang dapat diukur lebih banyak. Selain itu system ini mampu merencanakan inspeksi terhadap semua dimensi yang terdapat pada produk dan alat ukur yang digunakan memiliki kecermatan yang tinggi sehingga kualitas produk dapat lebih terjaga.

## 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] Vafaeseefat, 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]Cho, M.W., H. Lee, G.S. Yoon, and J.H. Choi, *A computer-aided inspection planning system for on-machine measurement - Part II: Local inspection planning*. KSME International Journal, (2004). 18(8): p. 1358-1367.
- [19]Marcincin, J.N. *Computer Aided production Engineering (CAPE) as Subsystem of CIM*. (1977).Slovakia.Slovak Ministre of Education and Slovak Academy of Sciences.
- [20]Emad Abouel Nasr & Ali K Kamrani. *Computer Based Design and Manufacturing : An Information-Based Approach*. (2007). Houston. Springer Science + Business Media,LLC.