

PENGEMBANGAN ALGORITMA PEMBANGKITAN *G-CODE* MESIN PERKAKAS CNC OKUMA&HOWA BERFASILITAS *AUTOMATIC TOOL CHANGER* DAN *INDEXING* PADA *SOFTWARE* CaSTPro

Y.Y. Martawirya¹, B. Arthaya², A.W. Sunil²

¹Laboratorium Teknik Produksi, Jurusan Teknik Mesin FTI-ITB

²Fakultas Teknologi Industri-Jurusan Teknik Industri, Universitas Katolik Parahyangan

Kontak: Yatna Yuwana Martawirya, yatna@ftmd.itb.ac.id

Ringkasan. Penelitian ini membahas pengintegrasian tahap perancangan produk, perencanaan proses dan perencanaan operasi manufaktur melalui pemodelan produk berbasis *feature*. Persaingan dalam dunia industri menuntut *lead time* produksi yang pendek. Sistem Produksi Terdistribusi Mandiri (SPTM) yang mempunyai elemen produksi otonom dapat mengintegrasikan tahap-tahap tersebut melalui model produknya yang otonom. Salah satu cara yang diusulkan adalah dengan pemodelan produk berbasis *feature*. Pada pemodelan produk berbasis *feature*, sebuah produk didefinisikan sebagai suatu model unik yang merupakan hasil interaksi dari *feature-feature*. Model produk mempunyai kemampuan mengenali volume buang ataupun volume tambah yang mempengaruhi informasi geometrinya. Pada akhir proses perancangan, model produk diharapkan dapat mengenali *feature-feature* yang dimilikinya, interaksi yang terjadi, serta mampu menentukan urutan pengerjaan *feature-feature* tersebut. Pada penelitian ini *G-Code* dapat dibangkitkan dari model produk yang telah didesain di CaSTPro. Model produk yang dikembangkan diperkaya kemampuannya dengan fasilitas baru yaitu pembangkitan *G-Code*. Sebagai contoh kasus dikembangkan *G-Code* untuk pemesinan pada *horizontal machining center* Okuma&Howa MILAC 4H FANUC 6M yang berfasilitas *tool changer* dan *indexing*.

Abstract. This research deals with the integration product design phase, the process planning phase, and manufacturing operation planning phase through the feature-based product modeling. The competition in manufacturing industries demands a short production lead time. Autonomous Distributed Manufacturing Systems which has autonomic production elements enable to integrate those three phases through its autonomic product model. One of the proposed methodologies is a feature-based product modeling. At feature base product modeling, a product was defined as a model that is an interaction among features. Product model enable to identify the decreasing or additional volume influence to its geometry. At the final stage of product design, a model product enables to identify all features it's has, features interaction, and features manufacturing sequences. At this research, *G-Code* was generated by product model that was designed by using CaSTPro software. The developed product model enriched its functionality with new facility that was a *G-Code* generation. As an example, *G-Code* fit for a horizontal machining center Okuma&Howa MILAC 4H FANUC 6M which was equipped with a tool changer and indexing had been developed.

Keywords: *model produk, pemodelan produk berbasis fitur, perancangan produk, perencanaan operasi, perencanaan proses, SPTM*

1 Latar Belakang

Persaingan global dan individualisme konsumen mengakibatkan industri manufaktur menghadapi dua tuntutan utama. Tuntutan tersebut adalah produk yang variatif dengan tingkat permintaan yang rendah, dan berkualitas namun biaya per unit-nya rendah. Hal ini mengakibatkan industri manufaktur harus lebih cepat merespon perubahan sesuai kebutuhan konsumen agar dapat bersaing.

Industri manufaktur memiliki tiga tahap dalam proses pembuatan produk, yaitu tahap desain (*product design*), tahap perencanaan proses (*process planning*), dan tahap manufaktur (*manufacturing process*). Selama ini ketiganya merupakan tahap-tahap yang terpisah sehingga mengakibatkan terjadinya pemborosan waktu, tenaga, dan biaya. Untuk meminimasi pemborosan tersebut diperlukan suatu sistem manufaktur yang dapat mengintegrasikan ketiga tahap tersebut menjadi satu kesatuan. Usaha ini tidak lain adalah mengubah sistem manufaktur konvensional menjadi sistem manufaktur terintegrasi yang memungkinkan aliran informasi satu bagian dapat langsung diterima oleh bagian lain.

Sistem manufaktur yang dapat mengintegrasikan ketiga tahap tersebut salah satunya adalah Sistem Produksi Terdistribusi Mandiri (SPTM) atau *Autonomous Distributed Manufacturing System* (ADiMS). SPTM merupakan sistem produksi yang memberikan otonomi pada elemen-elemen produksi, pengendalian produksi secara terdistribusi, dan pengkoordinasian pengambilan keputusan [11]. Pengendalian produksi secara terdistribusi mengakibatkan pengambilan keputusan dapat dilakukan dengan cepat. Hasil pengambilan keputusan suatu elemen produksi dapat dikoordinasikan serta dikomunikasikan dengan/ke elemen produksi lainnya sehingga proses produksi dapat tetap berjalan dengan lancar. Namun jika kemudian diketahui adanya suatu konflik antar keputusan, maka elemen koordinator akan mengatur keputusan elemen-elemen produksi otonom tersebut supaya proses produksi tetap dapat berjalan dengan harmonis.

Suatu model produk yang dapat menampilkan informasi bentuk geometri yang terintegrasi dengan informasi manufaktur diperlukan untuk menunjang pengambilan keputusan elemen produksi otonom pada SPTM. Model yang dianggap memenuhi persyaratan kondisi tersebut adalah pemodelan produk berbasis *feature* (*feature-based product modeling*) [12].

Dalam penelitian ini pada perangkat lunak CaSTPro, perangkat lunak pemodelan produk yang telah dikembangkan pada serangkaian penelitian sebelumnya, pada model produk yang dihasilkan akan ditambahkan

kemampuan untuk membangkitkan bahasa *G-Code* berdasarkan *feature* pemesinan berprimitif balok dan silinder untuk persiapan operasi pemesinan (manufaktur) pada mesin perkakas CNC, *horizontal machining center*, yang memiliki fasilitas ATC (*Automatic Tool Changer*) dan *indexing*. *Indexing* adalah perintah gerakan untuk memutar meja. Pembangkitan *G-Code* bagi mesin perkakas berfasilitas ATC dan *indexing* akan memerlukan kode-kode perintah tersendiri untuk melakukan pergantian pahat atau *indexing*. Perintah-perintah khusus tersebut tidak dimiliki oleh mesin perkakas CNC biasa yang pergantian pahat atau perubahan arah pengerjaan semuanya dilakukan secara manual.

2 Rumusan Masalah

Perumusan masalah untuk penelitian ini dapat dinyatakan dalam pertanyaan-pertanyaan sebagai berikut:

- a. Bagaimana menterjemahkan informasi pengerjaan produk berdasarkan informasi *feature* yang dimiliki model produk ke dalam bentuk bahasa *G-Code* yang mampu dimengerti oleh mesin CNC dengan melibatkan fasilitas *tool changer* dan *indexing*?
- b. Bagaimana membuat paket program/*macro* untuk mesin-mesin yang tidak memiliki paket program yang dibutuhkan?

3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

- a. Membuat algoritma untuk menterjemahkan informasi model produk berbasis *feature* yang tersedia dalam *software* CaSTPro ke dalam bahasa kode-G (*G-Code*) untuk *feature* primitif balok dan silinder, yang mampu dimengerti oleh mesin CNC Okuma&Howa MILAC 4H FANUC 6M serta melibatkan penggunaan *tool changer* dan *indexing* dalam algoritma tersebut.
- b. Membuat *macro* untuk mesin perkakas CNC Okuma&Howa MILAC 4H FANUC 6M.

4 Batasan

Adapun masalah yang dibahas pada penelitian ini dibatasi oleh hal-hal sebagai berikut :

- a. Mesin CNC yang digunakan adalah mesin CNC Okuma&Howa MILAC 4H FANUC 6M
- b. Produk atau benda kerja adalah produk yang berbentuk balok (*rectangular*).

- c. *Feature* yang dibahas adalah *feature* pemesinan yang merupakan volume buang dari benda kerja dan memiliki bentuk primitif balok dan silinder.
- d. Pahat yang digunakan adalah pahat *end mill* untuk pembuatan *feature* primitif balok, dan pahat *twist drill* untuk *feature* primitif silinder konus (dengan ujung konus) atau *end mill* untuk pembuatan *feature* primitif silinder non konus (dengan ujung nonkonus).
- e. *Feature* primitif silinder yang dibahas adalah *Circle Hole Through* (CHT) dan *Circle Hole Blind* (CHB).
- f. Ekstrusi *feature* dilakukan tegak lurus terhadap bidang penampang.
- g. Interaksi yang terjadi antara dua *feature* silinder atau lebih hanya pada interaksi bersinggungan.
- h. Gaya-gaya potong yang terjadi selama proses pemesinan, kekuatan bahan dan jenis pahat yang digunakan tidak dilibatkan dalam analisis.
- i. Pencekaman sempurna dan tidak mengganggu proses pemesinan.
- j. Model yang ditampilkan oleh perangkat lunak komputer adalah model *wireframe*.
- k. Pahat yang ada pada database dianggap selalu tersedia dan dapat dipakai oleh mesin yang ada.

5 Notasi dan Aturan Dalam Penelitian

Notasi dan aturan yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat sesuai daftar berikut:

- f_n : merupakan *feature* ke-n.
- $Q_{k,n}$: merupakan selang sumbu ke-k untuk *feature* ke-n, dimana nilai $k = 1$ mengacu pada sumbu X, $k = 2$ mengacu pada sumbu Y, $k = 3$ mengacu pada sumbu Z.
- $Q_k \text{ max/min } b_k$: selang sumbu ke-k untuk benda kerja.
- $Q_{k,n} \text{ min}$: ujung selang yang paling kecil sumbu ke-k untuk *feature* ke-n.
- $Q_{k,n} \text{ max}$: ujung selang yang paling besar sumbu ke-k untuk *feature* ke-n.
- $P_{k,n}$: panjang selang sumbu ke-k untuk *feature* ke-n dimana $P_{k,n} = Q_{k,n} \text{ max} - Q_{k,n} \text{ min}$.
- $H_{k,n}'$: titik lokasi awal pahat saat pengerjaan *feature* ke-n pada arah sumbu ke-k mesin sebelum di-*offset*.
- $E_{k,n}'$: ukuran *feature* ke-n pada sumbu ke-k mesin sebelum di-*offset*.

- $h_{k,n}$: offset / faktor koreksi untuk titik lokasi awal pahat saat pengerjaan *feature* ke-n pada arah sumbu ke-k mesin.
- $e_{k,n}$: offset / faktor koreksi untuk ukuran *feature* ke-n pada sumbu ke-k mesin.
- $H_{k,n}$: titik lokasi awal pahat saat pengerjaan *feature* ke-n pada arah sumbu ke-k mesin setelah di-*offset*.
- $E_{k,n}$: ukuran *feature* ke-n pada sumbu ke-k mesin setelah di-*offset*.
- TL_n : *overall length real* pahat minimum yang dibutuhkan untuk pengerjaan *feature* ke-n.
- $TL_1 \min_j$: *overall length real* pahat minimum yang dibutuhkan untuk pengerjaan dari arah j
- $TL_2 \min_j$: *length of cut* minimum yang dibutuhkan untuk pengerjaan dari arah j
- TD_n : diameter pahat maksimum yang dapat digunakan untuk pengerjaan *feature* ke-n.
- $TD \max_j$: diameter pahat maksimum yang dapat digunakan untuk pengerjaan dari arah j.

6 Algoritma untuk Mengonversikan Koordinat *Feature* Sesuai Arah Pengerjaan

Mesin Okuma&Howa MILAC 4H FANUC 6M merupakan *machining center* dengan sumbu spindel horisontal, sehingga bidang XZ pada *machining center* dengan sumbu vertikal akan merupakan bidang XY menurut mesin Okuma&Howa. Tidak semua *feature* dikerjakan dari bidang tersebut, sehingga apabila properti *feature* didasarkan pada OCS (*Object Coordinate System*) akan terjadi kesalahan pembangkitan *G-Code*. Oleh karena itulah dibutuhkan suatu transformasi/konversi koordinat *feature* sesuai dengan arah bidang pengerjaan.

Bidang di mana suatu *feature* dikerjakan dan zero point yang berbeda akan menentukan rumus/aturan konversi yang digunakan. Karena adanya fasilitas *indexing* (memutar meja mesin) maka transformasi dibuat berdasarkan putaran yang mungkin terjadi. Ada tiga sumbu putar yang mungkin dilakukan terhadap benda kerja. Perputaran benda kerja pada sumbunya akan membentuk sebuah *loop*, sehingga total kemungkinan *loop* yang mungkin ada tiga buah. Rumus-rumus transformasi/konversi koordinat *feature* untuk mesin Okuma&Howa MILAC 4H FANUC 6M dapat dilihat seperti di bawah ini.

*Loop I*1) Feature dikerjakan dari bidang I

Orientasi pada mesin: Gambar 1 (a) dengan persamaan transformasi:

$$H_{1,n}' = (Q_{2,n} \max + Q_{2,n} \min) / 2$$

$$H_{2,n}' = (Q_{1,n} \max + Q_{1,n} \min) / 2$$

$$H_{3,n}' = - (Q_{3,n} \min)$$

$$E_{1,n}' = Q_{2,n} \max - Q_{2,n} \min$$

$$E_{2,n}' = Q_{1,n} \max - Q_{1,n} \min$$

$$E_{3,n}' = - (Q_{3,n} \max - Q_{3,n} \min)$$

2) Feature dikerjakan dari bidang V

Orientasi pada mesin: Gambar 1 (b) dengan persamaan transformasi:

$$H_{1,n}' = (Q_{3,n} \max + Q_{3,n} \min) / 2$$

$$H_{2,n}' = (Q_{1,n} \max + Q_{1,n} \min) / 2$$

$$H_{3,n}' = - (Q_2 \max \text{ bk} - Q_{2,n} \max)$$

$$E_{1,n}' = Q_{3,n} \max - Q_{3,n} \min$$

$$E_{2,n}' = Q_{1,n} \max - Q_{1,n} \min$$

$$E_{3,n}' = - (Q_{2,n} \max - Q_{2,n} \min)$$

3) Feature dikerjakan dari bidang II

Orientasi pada mesin: Gambar 1 (c) dengan persamaan transformasi:

$$H_{1,n}' = Q_2 \max \text{ bk} - [(Q_{2,n} \max + Q_{2,n} \min) / 2]$$

$$H_{2,n}' = (Q_{1,n} \max + Q_{1,n} \min) / 2$$

$$H_{3,n}' = - (Q_3 \max \text{ bk} - Q_{3,n} \max)$$

$$E_{1,n}' = Q_{2,n} \max - Q_{2,n} \min$$

$$E_{2,n}' = Q_{1,n} \max - Q_{1,n} \min$$

$$E_{3,n}' = - (Q_{3,n} \max - Q_{3,n} \min)$$

4) Feature dikerjakan dari bidang III

Orientasi pada mesin: Gambar 1 (d) dengan persamaan transformasi:

$$H_{1,n}' = Q_3 \max \text{ bk} - [(Q_{3,n} \max + Q_{3,n} \min) / 2]$$

$$H_{2,n}' = (Q_{1,n} \max + Q_{1,n} \min) / 2$$

$$H_{3,n}' = - (Q_{2,n} \min)$$

$$E_{1,n}' = Q_{3,n} \max - Q_{3,n} \min$$

$$E_{2,n}' = Q_{1,n} \max - Q_{1,n} \min$$

$$E_{3,n}' = - (Q_{2,n} \max - Q_{2,n} \min)$$

Loop II

5) Feature dikerjakan dari bidang III

Orientasi pada mesin: Gambar 2 (e) dengan persamaan transformasi:

$$H_{1,n}' = Q_1 \max bk - [(Q_{1,n} \max + Q_{1,n} \min) / 2]$$

$$H_{2,n}' = Q_3 \max bk - [(Q_{3,n} \max + Q_{3,n} \min) / 2]$$

$$H_{3,n}' = -(Q_{2,n} \min)$$

$$E_{1,n}' = Q_{1,n} \max - Q_{1,n} \min$$

$$E_{2,n}' = Q_{3,n} \max - Q_{3,n} \min$$

$$E_{3,n}' = - (Q_{2,n} \max - Q_{2,n} \min)$$

6) Feature dikerjakan dari bidang VI

Orientasi pada mesin: Gambar 2 (f) dengan persamaan transformasi:

$$H_{1,n}' = (Q_{2,n} \max + Q_{2,n} \min) / 2$$

$$H_{2,n}' = Q_3 \max bk - [(Q_{3,n} \max + Q_{3,n} \min) / 2]$$

$$H_{3,n}' = -(Q_{1,n} \min)$$

$$E_{1,n}' = Q_{2,n} \max - Q_{2,n} \min$$

$$E_{2,n}' = Q_{3,n} \max - Q_{3,n} \min$$

$$E_{3,n}' = - (Q_{1,n} \max - Q_{1,n} \min)$$

7) Feature dikerjakan dari bidang V

Orientasi pada mesin: Gambar 2 (g) dengan persamaan transformasi:

$$H_{1,n}' = (Q_{1,n} \max + Q_{1,n} \min) / 2$$

$$H_{2,n}' = Q_3 \max bk - [(Q_{3,n} \max + Q_{3,n} \min) / 2]$$

$$H_{3,n}' = - (Q_2 \max bk - Q_{2,n} \max)$$

$$E_{1,n}' = Q_{1,n} \max - Q_{1,n} \min$$

$$E_{2,n}' = Q_{3,n} \max - Q_{3,n} \min$$

$$E_{3,n}' = - (Q_{2,n} \max - Q_{2,n} \min)$$

8) Feature dikerjakan dari bidang IV

Orientasi pada mesin: Gambar 2 (h) dengan persamaan transformasi:

$$H_{1,n}' = Q_2 \max bk - [(Q_{2,n} \max + Q_{2,n} \min) / 2]$$

$$H_{2,n}' = Q_3, \max bk - [(Q_{3,n} \max + Q_{3,n} \min) / 2]$$

$$H_{3,n}' = - (Q_1 \max bk - Q_{1,n} \max)$$

$$E_{1,n}' = Q_{2,n} \max - Q_{2,n} \min$$

$$E_{2,n}' = Q_{3,n} \max - Q_{3,n} \min$$

$$E_{3,n}' = - (Q_{1,n} \max - Q_{1,n} \min)$$

Loop III

9) Feature dikerjakan dari bidang I

Orientasi pada mesin: Gambar 3 (i) dengan persamaan transformasi:

$$H_{1,n}' = Q_1 \max bk - [(Q_{1,n} \max + Q_{1,n} \min) / 2]$$

$$H_{2,n}' = (Q_{2,n} \max + Q_{2,n} \min) / 2$$

$$H_{3,n}' = - (Q_{3,n} \min)$$

$$E_{1,n}' = Q_{1,n} \max - Q_{1,n} \min$$

$$E_{2,n}' = Q_{2,n} \max - Q_{2,n} \min$$

$$E_{3,n}' = - (Q_{3,n} \max - Q_{3,n} \min)$$

10) Feature dikerjakan dari bidang VI

Orientasi pada mesin: Gambar 3 (j) dengan persamaan transformasi:

$$H_{1,n}' = (Q_{3,n} \max + Q_{3,n} \min) / 2$$

$$H_{2,n}' = (Q_{2,n} \max + Q_{2,n} \min) / 2$$

$$H_{3,n}' = - (Q_{1,n} \min)$$

$$E_{1,n}' = Q_{3,n} \max - Q_{3,n} \min$$

$$E_{2,n}' = Q_{2,n} \max - Q_{2,n} \min$$

$$E_{3,n}' = - (Q_{1,n} \max - Q_{1,n} \min)$$

11) Feature dikerjakan dari bidang II

Orientasi pada mesin: Gambar 3 (k) dengan persamaan transformasi:

$$H_{1,n}' = (Q_{1,n} \max + Q_{1,n} \min) / 2$$

$$H_{2,n}' = (Q_{2,n} \max + Q_{2,n} \min) / 2$$

$$H_{3,n}' = - (Q_3 \max bk - Q_{3,n} \max)$$

$$E_{1,n}' = Q_{1,n} \max - Q_{1,n} \min$$

$$E_{2,n}' = Q_{2,n} \max - Q_{2,n} \min$$

$$E_{3,n}' = - (Q_{3,n} \max - Q_{3,n} \min)$$

12) Feature dikerjakan dari bidang IV

Orientasi pada mesin: Gambar 3 (l) dengan persamaan transformasi:

$$H_{1,n}' = Q_{3,n} \max \text{ bk} - [(Q_{3,n} \max + Q_{3,n} \min) / 2]$$

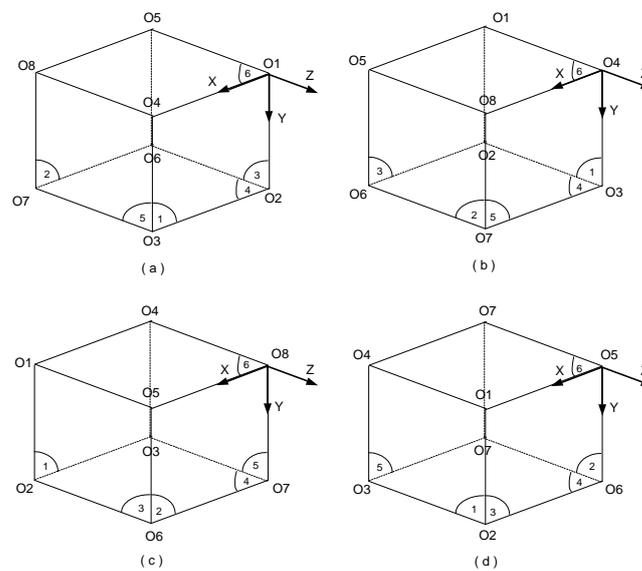
$$H_{2,n}' = (Q_{2,n} \max + Q_{2,n} \min) / 2$$

$$H_{3,n}' = - (Q_{1,n} \max \text{ bk} - Q_{1,n} \max)$$

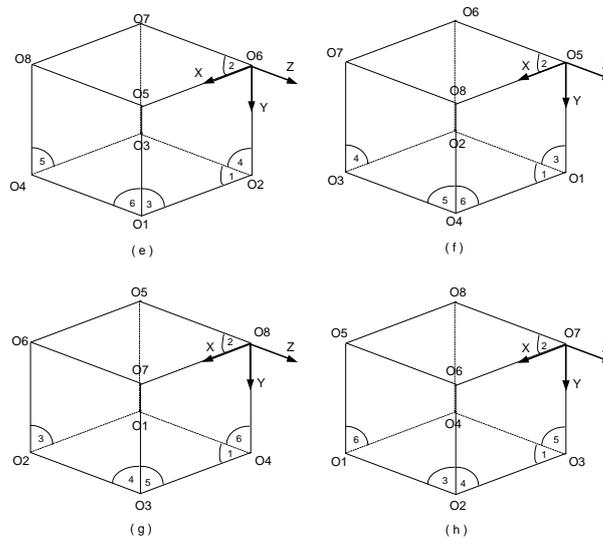
$$E_{1,n}' = Q_{3,n} \max - Q_{3,n} \min$$

$$E_{2,n}' = Q_{2,n} \max - Q_{2,n} \min$$

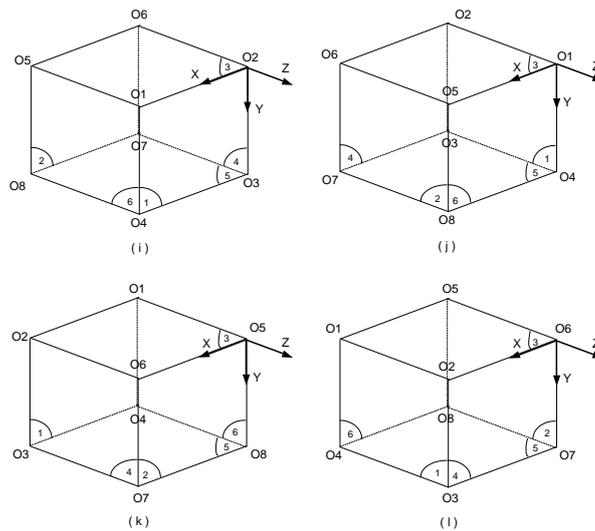
$$E_{3,n}' = - (Q_{1,n} \max - Q_{1,n} \min)$$



Gambar 1 Loop 1



Gambar 2 Loop 2



Gambar 3 Loop 3

7 G-Code Untuk Pemesinan *Feature* Balok dan Silinder

Proses pemesinan *feature* balok dan silinder pada mesin CNC Okuma&Howa MILAC 4H FANUC 6M pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan *macro*. *Macro* merupakan baris program yang telah disimpan dan dapat dipanggil sewaktu dibutuhkan. Dengan adanya *macro*, program yang sama tidak perlu diinputkan berkali-kali. Hal ini dilakukan karena pada mesin CNC Okuma&Howa MILAC 4H FANUC 6M tidak terdapat paket program yang

dibutuhkan. Oleh sebab itu, program tersebut harus dibuat sendiri secara manual yang kemudian disimpan sebagai *macro*.

Ada beberapa cara untuk memanggil *macro* yaitu dengan kode G, M, dan T. Namun karena dalam pemakaiannya kode G paling sering dipakai dan lebih mudah digunakan, maka dalam penelitian ini pemanggilan *macro* hanya dilakukan dengan kode G. Berikut ini merupakan aturan penulisan kode G untuk pemanggilan *macro* [8,16].

G65 Pp Ll <spesifikasi argumen>

Dimana :

- **G65** merupakan *G-Code* untuk memanggil *macro*.
- **Pp** merupakan nomor program yang akan dipanggil.
- **Ll** merupakan jumlah pengulangan (secara *default* nilai $l = 1$).
- Spesifikasi argumen adalah data yang akan digunakan di dalam *macro*. Dengan menggunakan spesifikasi argumen, nilai yang dimasukkan akan menjadi variabel lokal (berlaku di *macro* tersebut saja). Ada dua jenis spesifikasi argumen yaitu spesifikasi argumen 1 dan spesifikasi argumen 2. Spesifikasi argumen yang dipakai dalam penelitian ini adalah spesifikasi argumen 1, dapat dilihat pada tabel spesifikasi argumen 1.

Untuk pengerjaan jenis *features* balok (semua jenis) maupun silinder (hanya CHB dan CHT), digunakan *macro* yang berbeda. Di bawah ini adalah tabel nomor program *macro* yang telah dibuat:

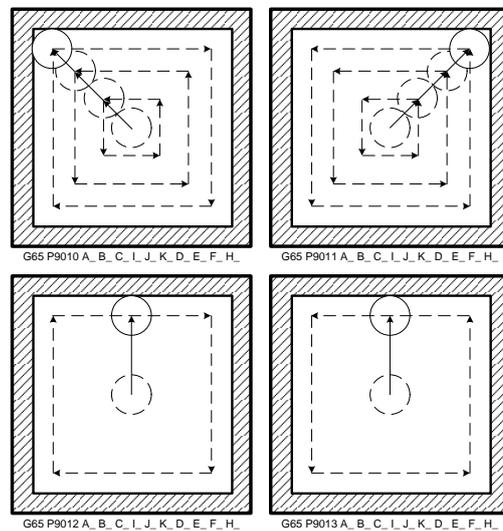
Tabel 1 Spesifikasi Argumen 1

| Alamat | Nomor Variable | Alamat | Nomor Variable | Alamat | Nomor Variable |
|--------|----------------|--------|----------------|--------|----------------|
| A | #1 | I | #4 | T | #20 |
| B | #2 | J | #5 | U | #21 |
| C | #3 | K | #6 | V | #22 |
| D | #7 | M | #13 | W | #23 |
| E | #8 | Q | #17 | X | #24 |
| F | #9 | R | #18 | Y | #25 |
| H | #11 | S | #19 | Z | #26 |

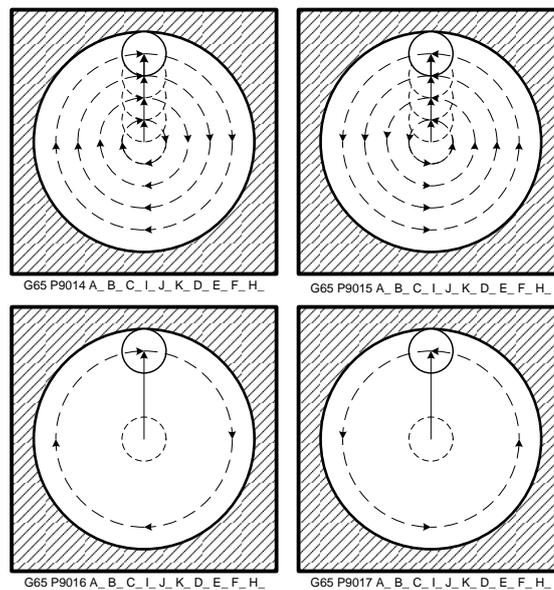
Tabel 2 Nomor program *macro*

| Jenis Feature | Up/Down Milling | Format Penulisan |
|---|-----------------|---|
| RCB, RMB, RHB, RGB, RCT, RMT | Up milling | G65 P9010 A_ B_ C_ I_ J_ K_ D_ E_ F_ H_ |
| | Down milling | G65 P9011 A_ B_ C_ I_ J_ K_ D_ E_ F_ H_ |
| RHT | Up milling | G65 P9012 A_ B_ C_ I_ J_ K_ D_ E_ F_ H_ |
| | Down milling | G65 P9013 A_ B_ C_ I_ J_ K_ D_ E_ F_ H_ |
| CHB | Up milling | G65 P9014 A_ B_ C_ I_ J_ K_ D_ E_ F_ H_ |
| | Down milling | G65 P9015 A_ B_ C_ I_ J_ K_ D_ E_ F_ H_ |
| CHT | Up milling | G65 P9016 A_ B_ C_ I_ J_ K_ D_ E_ F_ H_ |
| | Down milling | G65 P9017 A_ B_ C_ I_ J_ K_ D_ E_ F_ H_ |

Konsep pemesinan untuk mengerjakan semua *feature* balok adalah “jaring laba-laba” seperti yang digunakan pada penelitian sebelumnya dan dapat dilihat pada Gambar 4. Pemesinan *feature* silinder diperlihatkan pada Gambar 5.

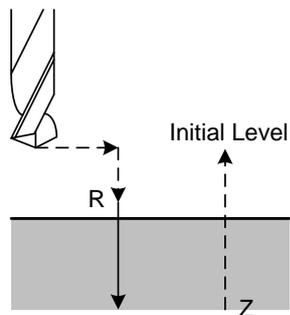


Gambar 4 Pergerakan pahat untuk *feature* balok



Gambar 5 Pergerakan pahat untuk *feature* silinder non-konus

Saat pemesinan *feature* silinder berkonus, harus dilakukan proses awal (*centering*) dengan menggunakan *center drill*. Untuk *center drill* akan digunakan kombinasi G98 dan G81. Pola pengerjaan G98 G81 dapat dilihat pada Gambar 6. Mula-mula pahat bergerak menuju titik R kemudian melakukan penetrasi sampai kedalaman yang diinginkan (sampai dengan titik Z). Selanjutnya pahat kembali ke *initial level*.



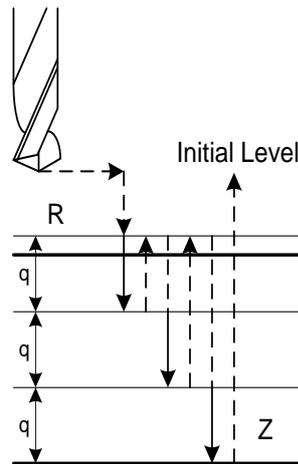
Gambar 6 Pergerakan pahat untuk *Center Drill* [3]

Format penulisan untuk G81 adalah **G81 X_x Y_y Z_z R_r F_f L_l**, dimana:

- x dan y adalah posisi lubang.
- z adalah jarak dari R ke Z.

- r adalah jarak dari R ke *initial level*.
- f adalah *feed rate*.
- l adalah banyaknya pengulangan.

Setelah itu, barulah untuk proses *drilling* selanjutnya digunakan pemrograman *G-Code* paket yang telah tersedia di dalam mesin yaitu kombinasi G98 dan G83. Pola pengerjaan yang terjadi jika menggunakan G98 G83 dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7 Pergerakan pahat untuk *feature* silinder konus [3]

Mula-mula pahat melakukan penetrasi sampai kedalaman q . Kemudian dia kembali ke atas sejauh q (R). Setelah itu pahat melakukan penetrasi lagi namun sejauh $2q$, demikian seterusnya sehingga akhirnya pahat mencapai $3q$ (Z). Barulah kemudian pahat kembali ke *initial level*.

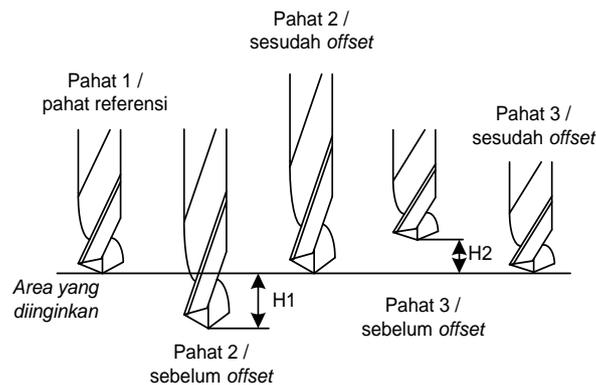
Format penulisan untuk G83 adalah **G83 X_x Y_y Z_z Q_q R_r F_f**, dimana:

- x dan y adalah posisi lubang.
- z adalah jarak dari R ke Z.
- q adalah kedalaman pemakanan (*cutting depth*).
- r adalah jarak dari R ke *initial level*.
- f adalah *feed rate*.

8 Tool Offset

Fasilitas ATC memungkinkan operator untuk mengganti pahat dengan mudah. Namun, penyesuaian panjang pahat perlu dilakukan agar tidak terjadi tabrakan pahat dengan benda kerja. *Tool offset* bertujuan supaya titik ujung pahat selalu berada pada area yang tetap, lihat Gambar 8. H1 merupakan selisih panjang

pahat 2 dengan pahat referensi (pahat 1). H_2 yaitu selisih panjang pahat 3 dengan pahat referensi. Setelah itu, untuk pelaksanaan *tool offset G-Code* yang akan dipakai adalah `G00 G43 Z_H_`, dimana nilai $Z+H$ sama dengan posisi area yang diinginkan. Setelah selesai mengerjakan *feature* yang diinginkan, maka harus ditutup dengan `G00 G49 Z_ M05`, yaitu supaya pahat bergerak kembali ke posisi area yang diinginkan (`G00 G49 Z_`) dan spindle berhenti berputar (`M05`).

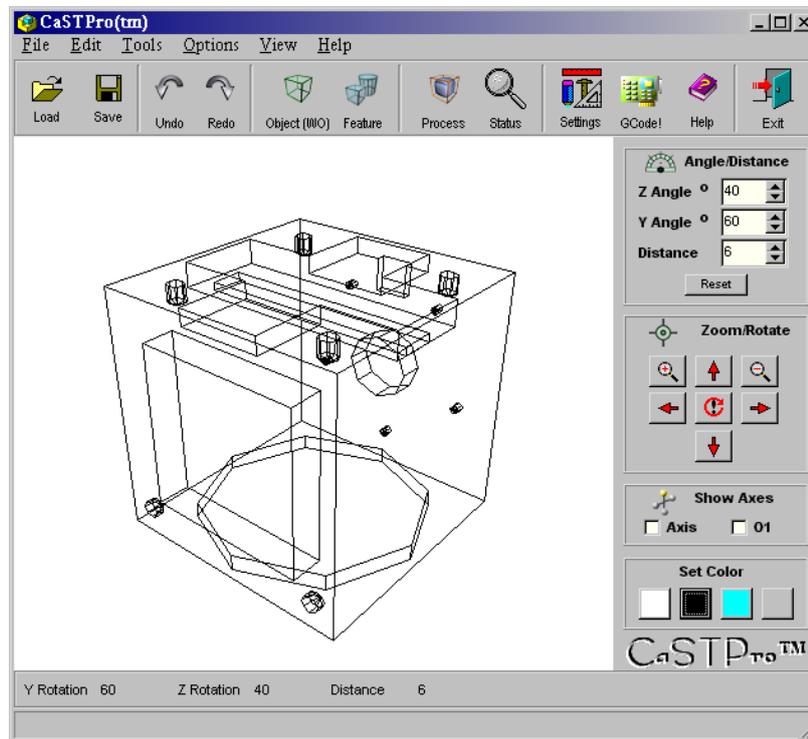


Gambar 8 *Tool offset*

9 Perangkat Lunak CaSTPro

CaSTPro adalah perangkat lunak pemodelan produk berbasis fitur yang telah dikembangkan pada penelitian-penelitian sebelumnya. Model produk yang dihasilkan menggunakan perangkat lunak ini dirancang mempunyai kecerdasan yang kemampuannya dapat terus ditingkatkan. Pada tahap awal, model produk hanya mempunyai kemampuan memvisualisasikan geometrinya [4,9,21]. Tahap berikutnya ditambahkan kemampuan mengenali *feature* yang dimasukkan ke dalam model [5,10,17,18,20]. Selanjutnya dikembangkan kemampuan untuk memproses *feature-feature* yang berinteraksi baik berpotongan maupun bersinggungan [1,2,13]. Setelah itu ditambahkan kemampuan untuk menyusun urutan pemesinan *feature-feature* yang ada [6,7,14,15,19]. Pada penelitian ini, pada model produk ditambahkan fungsi (kecerdasan) untuk menghasilkan G-Code berdasarkan jenis mesin perkakas yang akan digunakan.

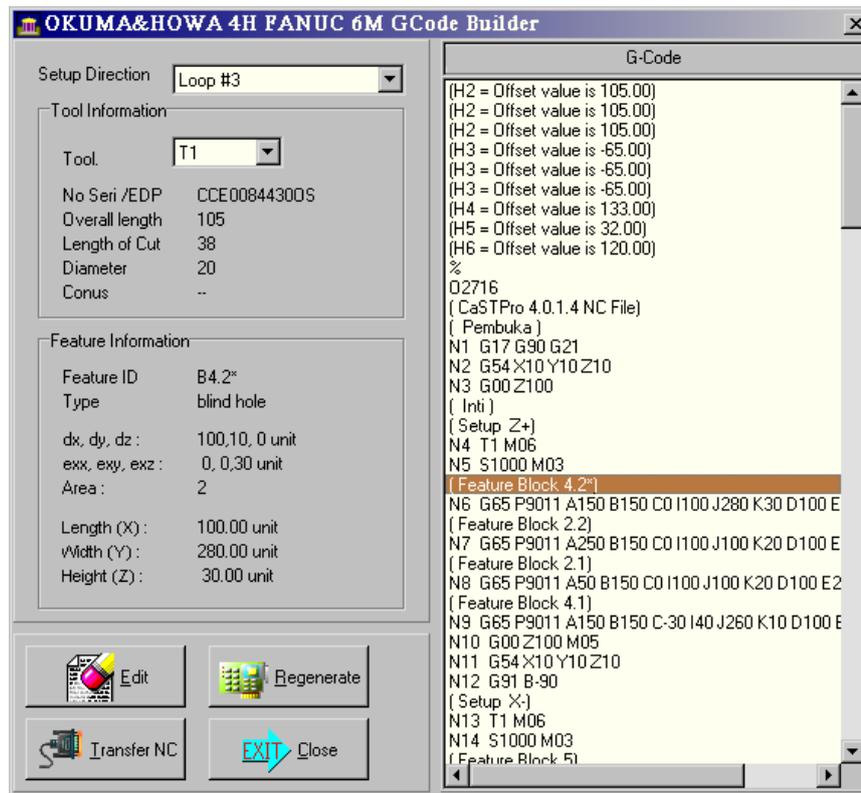
Contoh tampilan produk yang dirancang menggunakan CaSTPro diperlihatkan pada Gambar 9. Hasil pengolahan informasi model produk pada CaSTPro berupa visualisasi dari urutan pengerjaan *features* beserta alternatif *setup* dapat dilihat dengan menekan tombol status pada *toolbar* sehingga *window status* akan dapat dimunculkan (tidak diperlihatkan pada contoh ini).



Gambar 9 Contoh model produk berbasis fitur yang dirancang

Setelah itu perlu diinputkan jenis mesin perkakas CNC yang akan digunakan. Walaupun G-Code mempunyai standar dalam penulisannya, setiap pengendali CNC yang digunakan mempunyai aturan yang spesifik untuk komunikasi dengan luar. Oleh sebab itu pada G-Code yang dihasilkan akan ada bagian yang disebut dengan G-Code pembuka dan G-Code penutup. Diperlukan juga informasi tentang pahat yang tersedia di penyimpanan pahat dan variabel lainnya.

Setelah selesai diinputkan semua nilai variable, selanjutnya akan dimunculkan jendela G-Code Builder seperti pada Gambar 10. Jendela ini digunakan untuk menampilkan G-Code yang dihasilkan yang selanjutnya dapat disimpan dalam bentuk teks dengan menekan tombol Transfer NC.



Gambar 10 Jendela G-Code builder untuk contoh horizontal machining center Okuma & Howa 4H FANUC 6M

10 Kesimpulan dan Saran

10.1 Kesimpulan

- CaSTPro merupakan *software* yang mampu memodelkan produk sehingga model produk yang dihasilkan punya kemampuan mengintegrasikan informasi pada tahap perancangan produk, perencanaan proses dan perencanaan operasi pemesinan.
- Pengonversian koordinat *feature* tergantung dari arah pengerjaan dan *loop* –nya.
- Pembangkitan *G-Code* oleh CaSTPro (model produk) dilakukan berdasarkan algoritma-algoritma pembangkitan *G-Code* yang telah dikembangkan pada penelitian ini, namun masih diperlukan input oleh operator untuk mengisikan beberapa harga variabel.

10.2 Saran

- a. Penambahan kemampuan CaSTPro dalam membangkitkan *G-Code* pada mesin yang lebih variatif.
- b. Penambahan fasilitas baru animasi gerakan pahat.
- c. Penambahan kemampuan CaSTPro untuk menerima input jenis material benda kerja dan jenis material pahat sehingga CaSTPro dapat menentukan *spindle speed*, *feed rate*, dan lain lain, secara otomatis namun optimal.
- d. Penyempurnaan makro agar lebih lengkap namun tetap sederhana.
- e. Pencarian dan perbaikan *bug* pada CaSTPro yang mungkin masih ada.

11 Daftar Pustaka

- [1] Bellicos, D.B., *Pengembangan Algoritma Pemrosesan Feature-Feature Berpotongan pada Dua Bidang yang Saling Bertolak Belakang dalam Pemodelan Produk Berbasis Feature*, Tugas Akhir, Universitas Katolik Parahyangan, Bandung, 1999
- [2] Christanto, H., *Pengembangan Pemodelan Produk Berbasis Feature Berdasarkan pada Algoritma Pemrosesan Feature-feature yang Saling Berpotongan*, Tugas Akhir, Universitas Katolik Parahyangan, Bandung, 1998
- [3] FANUC Ltd., *FANUC Series 6 For Machining Center Operator's Manual*, 1990
- [4] Gunawan, M. dan Edison, P., *Pengembangan Algoritma Visualisasi dan Perangkat Lunak untuk Pemodelan Produk Berbasis Feature (Studi Kasus Interaksi Feature Bersinggungan)*, Tugas Akhir, Universitas Katolik Parahyangan, Bandung, 2000
- [5] Hartono, R., *Pemodelan Produk Berbasis Feature*, Thesis Magister. Institut Teknologi Bandung, Bandung, 1997
- [6] Iwandi, G., *Fungsi Pemilihan Pahat dan Pengembangan G-Code Beberapa Mesin Alternatif Pada Pengembangan Perangkat Lunak CaSTPro*, Skripsi, Universitas Katolik Parahyangan, Bandung, 2002
- [7] Kurniawan, S.E. dan Yuanita, H., *Pengembangan Perangkat Lunak CaSTPro Untuk Pemilihan Pahat dan Pembangkitan G-Code*, Skripsi, Universitas Katolik Parahyangan, Bandung, 2001
- [8] MAHO Aktiengesellschaft, *MAHO CNC 432 Version 600/700 Programming Instruction*

- [9] Mantripragada, R., *Development of Computer Aided Engineering System for Feature Based Design of Box-Type Sheet Metal Parts*, Thesis MSc., Chapter 3, the Ohio State University, Ohio, 1994
- [10] Mantyla, M., Nau, D., and Shah, J., *Challenges in Feature Based Manufacturing Research*, Communications of the ACM, Vol. 39, No. 2, p.77-86, 1996
- [11] Martawirya, Y.Y., *Sistem Produksi Terdistribusi Mandiri*. Lab. Teknik Produksi. Institut Teknologi Bandung, Bandung, 1998
- [12] Martawirya, Y.Y., *Teknik Pemodelan Berorientasi Obyek*. Lab. Teknik Produksi. Institut Teknologi Bandung, 1998
- [13] Sitorus, H.M.R., *Pengembangan Algoritma Pemrosesan Feature-Feature Bersinggungan pada Dua bidang Yang Saling Bertolak Belakang dalam Pemodelan Produk Berbasis Feature*, Tugas Akhir, Universitas Katolik Parahyangan, Bandung, 1999
- [14] Natalina, M., *Perancangan Algoritma untuk Penentuan Urutan Pelaksanaan Set-Up yang Minimal dalam Pemodelan produk Berbasis Feature*, Tugas Akhir, Universitas Katolik Parahyangan, Bandung, 1999
- [15] Ozturk, R., Kaya, N., Alankus, O.B., and Sevinc, S., *Machining Feature and Algorithms for Set-up Planning and Fixture Design*. Computer Integrated Manufacturing System Journal, Vol.9, no.4, p.207-216, 1996
- [16] Rochim, T., *Pemrograman NC*, Institut Teknologi Bandung
- [17] Solihin, I. dan Sandrawan, F., *Pengembangan CaSTPro untuk Feature Berbentuk Primitif Silinder*, Tugas Akhir, Universitas Katolik Parahyangan, Bandung, 2001
- [18] Solomon, O., *Computer Support in the Design of Mechanical Product Constraint Specification and Satisfaction in Feature Based Design for Manufacturing*, Thesis Phd. Chapter 3, University of Twente, Enschede, 1994
- [19] Suherdi, R. dan Gunawan, A., *Pengembangan Algoritma Urutan Pengerjaan Feature Berdasarkan Kriteria Jumlah Set-Up dan Panjang Fillet pada Perangkat Lunak Pemodelan Produk Berbasis Feature*, Tugas Akhir. Universitas Katolik Parahyangan, Bandung, 2000

- [20] Suryadi, V. dan Aryanti, I., *Pengembangan Operasi Pembatalan (Undo) dan Pengerjaan Kembali (Redo), Penentuan Bentuk serta Urutan Pengerjaan Feature pada Perangkat Lunak Pemodelan Berbasis Feature*, Tugas Akhir, Universitas Katolik Parahyangan, 2000
- [21] Van Leeuwen, J.P. and Wager, H., *Architecturall Design by Features*, Proceedings of the 7th International Conference on Computer Aided Architectural Design Futures, Munich, Germany, August 4-6, 1997, p.97-115, 1997