

## **Pengembangan metode penentu jarak antar lintasan pahat (*step-over*) yang akurat pada pembuatan lintasan pahat proses pemesinan *milling* berbasis model faset 3D**

**Gandjar Kiswanto**

Laboratorium Teknologi Manufaktur  
Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia  
Kampus Baru UI Depok 16424  
E-mail : gandjar\_kiswanto@eng.ui.ac.id

### **Abstrak**

Makalah ini mempresentasikan hasil penelitian di Laboratorium Teknologi Manufaktur Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia mengenai metode penentu jarak antar lintasan pahat (*step-over*) pada pembuatan lintasan pahat proses pemesinan *milling* berbasis model faset 3D. Umumnya penentuan jarak lintasan pahat ditentukan dengan dua metode : 1) jumlah lintasan yang dikehendaki, atau 2) toleransi pemesinan (*scallop-height*). Penentuan jarak antar lintasan dengan berdasarkan pada jumlah lintasan yang dikehendaki dapat dilakukan dengan mudah dengan cara, secara garis besar, membagi lebar permukaan pemesinan dengan jumlah lintasan. Namun bila inputan adalah toleransi pemesinan, dalam hal ini *scallop-height*, maka diperlukan metode yang akurat untuk menghitung jarak antara lintasan pahat sehingga nilai *scallop-height* (*cusp*) yang dispesifikasikan dapat tercapai. Metode yang dilakukan pada penelitian ini adalah dengan melakukan proyeksi bagian bawah pahat terhadap bidang yang tegak lurus arah gerak pahat (arah pemesinan, mis : bidang *F*) lalu mencari perpotongan antara bidang bawah pahat tersebut dengan perpotongan antara bidang *F* dengan model faset. Panjang perpotongan tersebut disebut lebar kontak pemesinan. Hal ini dilakukan untuk setiap *cc-point* dalam satu lintasan pahat. Jarak lintasan pahat berikutnya (*lintasan i+1*) terhadap lintasan pahat sebelumnya (*lintasan i*) ditentukan dengan mengambil data lebar kontak pemesinan terkecil dari lintasan pahat *i*. Jarak lintasan teoritis yang diambil adalah jarak antara proyeksi bagian bawah pahat pada lintasan *i* (pada lebar pemesinan terkecil) dan *i+1* yang nilai *scallop-height*-nya memenuhi. Proses ini merupakan proses komputasi numerik untuk mencapai nilai toleransi yang dispesifikasikan. Dengan metode ini berhasil didapat jarak lintasan pahat yang akurat dan berubah untuk setiap lintasan berikutnya dalam upaya mengoptimalkan (meminimalkan) jumlah lintasan pahat namun tetap mencapai toleransi pemesinan yang dispesifikasikan.

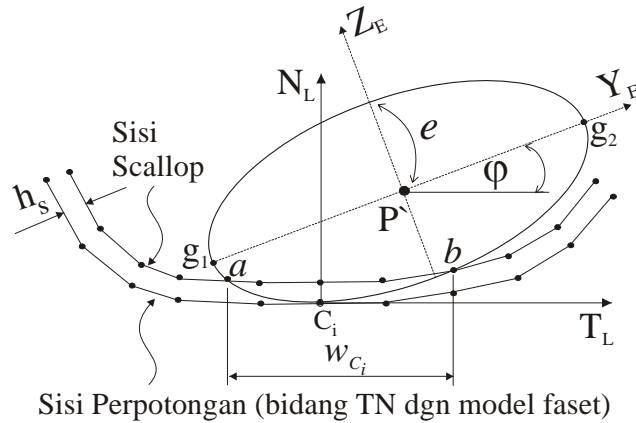
*Kata kunci:* jarak antar lintasan pahat, lebar kontak pemesinan, proyeksi bawah pahat

### **Pendahuluan**

Pada makalah hasil penelitian ini hanya akan dijelaskan secara garis besar metode yang dipakai dalam menentukan jarak interval lintasan pahat mengingat cukup kompleksnya algoritma dan model matematika yang harus dikemukakan.

### **Proyeksi Model Faset dan Bidang Bawah Pahat**

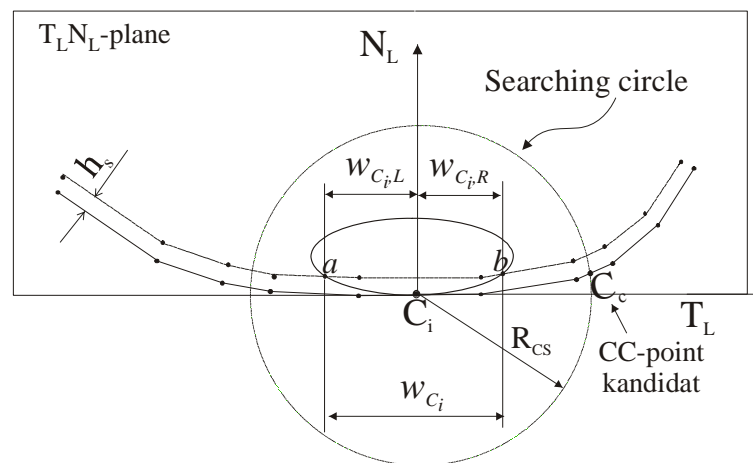
Pertama yang dilakukan adalah memproyeksikan bagian bawah pahat (*tool bottom*) kebidang TN di LCS. Proyeksi tersebut dapat dilihat pada Gambar 1. Bidang TN juga memotong model faset sehingga perpotongan menghasilkan apa yang disebut Sisi Perpotongan (lihat Gambar 1). Untuk menghitung nilai maksimum tinggi *scallop* atau *cusp* yang diijinkan maka *sisi-perpotongan* harus di *offset* sejauh nilai tinggi *scallop* yang diijinkan. Arah *offset* dilakukan searah normal dari sisi perpotongan.



Gambar 1 : Proyeksi bagian bawah pahat pada bidang TN

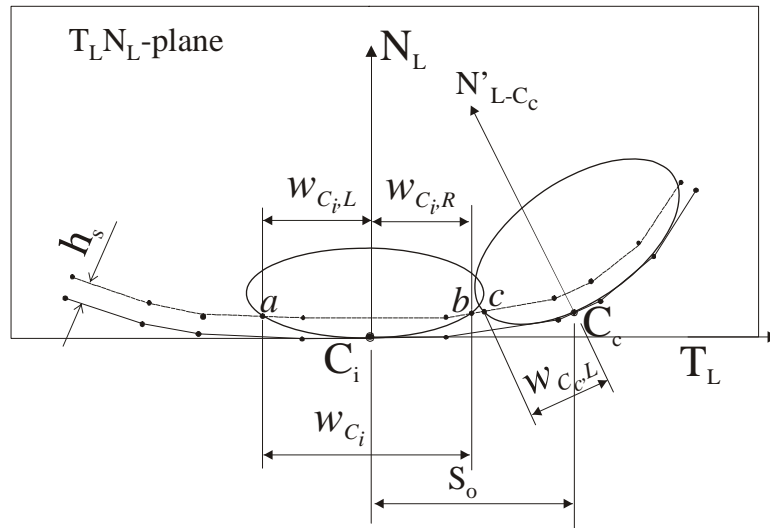
**Pencarian Cc-point Kandidat**

Setelah itu dilakukan pembuatan lingkaran virtual dengan radius RCs dengan pusat di *cc-point*  $C_i$ , dimana RCs nilai inisialnya diasumsikan sama dengan  $w_{ci}$  (lebar kontak pemesinan). Lingkaran virtual ini disebut sebagai *searching circle*. Fungsi dari lingkaran virtual ini adalah untuk mencari *cc-point kandidat inisial*  $C_c$  yang diasumsikan terletak di lintasan berikutnya (lihat Gambar 2).



Gambar 2 : Searching circle pada bidang NT dan berpusat pada *cc-point*  $C_i$  untuk mendapatkan *cc-point kandidat*  $C_c$

Di *cc-point kandidat inisial*  $C_c$  ini kemudian diasumsikan terdapat pahat dengan orientasi tertentu yang kemudian dibuat secara virtual *proyeksi bagian bawah pahat* tersebut. Bila proyeksi bagian bawah pahat kandidat di titik  $C_c$  tidak bersinggungan dengan proyeksi bagian bawah pahat di  $C_i$ , maka harus dilakukan 'pergeseran' *cc-point kandidat*. Pergeseran *cc-point kandidat* dilakukan terus hingga terjadi perpotongan lebar kontak pemesinan dari masing-masing proyeksi bagian bawah pahat di  $C_i$  dan  $C_c$  (Gambar 3). Hal ini menunjukkan 'secara teoritis' dua proyeksi pahat tersebut akan menghasilkan tinggi scallop yang sesuai spesifikasi. Bila hal ini terpenuhi, maka *cc-point*  $C_c$  disebut sebagai *cc-point kandidat aktual*  $C_{cA}$ .

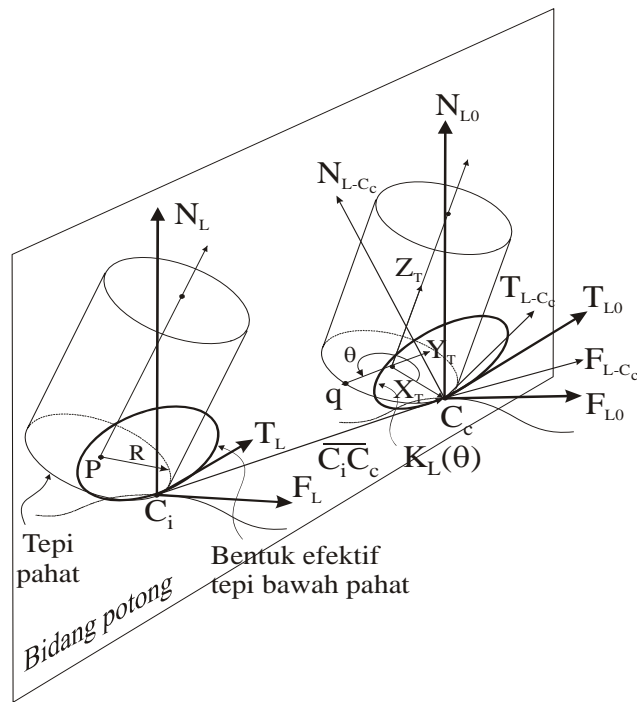


Gambar 3: Lebar kontak pemesinan dari proyeksi bagian bawah pahat (bentuk efektif tepi bawah pahat) pada lintasan pahat berikutnya

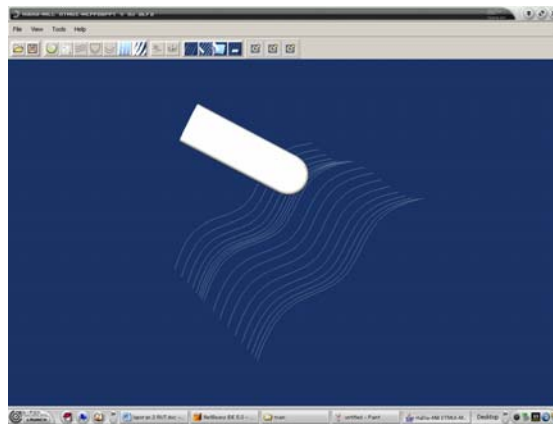
Hal tersebut dilakukan terus secara *sample* untuk beberapa titik *cc-point* yang nilai lebar kontak pemesinannya dalam 10 terkecil (asumsi pertama). Dtitik-titik tersebutlah diasumsikan jarak lintasan-berikutnya memiliki nilai paling kecil (= teraman). Jarak ortogonal dari  $C_i$ -ke- $C_c$ ,  $S_o$ , (lihat Gambar) yang paling kecil dari sampel yang diambil merupakan jarak antara lintasan sekarang (*lintasan i*) dengan lintasan berikutnya (*lintasan i+1*) yang dipakai. Hal ini dilakukan terus menerus untuk menentukan jarak antar lintasan berikutnya (*lintasan i+1* terhadap *lintasan i+2*, dan seterusnya).

#### Penghitungan Interval Lintasan

Saat *cc-point*  $C_{cA}$  aktual didapat, untuk menghitung *step-over* (interval lintasan) untuk lintasan berikutnya maka bidang  $T_L N_L$ -plane dari *cc-point*  $C_i$  (yang memiliki lebar kontak pemesinan terkecil) digunakan sebagai 'bidang umum proyeksi' bagian bawah pahat pada *cc-point*  $C_i$  dan kandidat *cc-point*  $C_{cA}$  seperti terlihat pada Gambar 4. Perhitungan jarak interval sendiri dilakukan pada LCS dari *cc-point*  $C_i$ , oleh karena itu perlu dilakukan transformasi ruang dari LCS *cc-point*  $C_{cA}$ .



Gambar 4 : Proyeksi bagian bawah pahat pada cc-point  $C_i$  dan  $C_c$  pada bidang proyeksi umum TN dari cc-point  $C_i$  untuk menghitung jarak interval lintasan pahat



Gambar 5 : Lintasan pahat pada model faset A yang dihitung berdasarkan input jumlah lintasan

### Pembahasan

Metode ini telah diterapkan dan terlihat bahwa pencarian titik cc-point  $C_{cA}$  memerlukan kurang lebih 5 kali iterasi. Metode proyeksi bagian bawah pahat untuk cc-point  $C_c$  diasumsikan pahat memiliki nilai orientasi yang sama dengan orientasi pahat di cc-point  $C_i$ . Namun pada keadaan sebenarnya nilai orientasi ini berbeda, sehingga jarak interval untuk lintasan berikutnya tidak optimal atau bahkan lebih jauh/besar dari yang dibutuhkan sehingga menghasilkan *isolated region* (bagian yang terlewati pemesinan).

### Kesimpulan

Pada makalah ini dipresentasikan metode untuk menghitung jarak lintasan pahat (interval antar lintasan,  $\sim$  step-over) berdasarkan penghitungan lebar kontak pemesinan.

Proyeksi bagian bawah pahat merupakan metode pendekatan untuk menghitung lebar kontak pemesinan antara model pahat dengan model faset. Metode ini masih dapat menghasilkan *isolated region* bila kontur (kurvatur) antara *lintasan i* dengan *lintasan i+1* berbeda cukup jauh sedangkan orientasi pahat pada dua cc-point,  $C_i$  dan  $C_c$ , di masing-masing lintasan tersebut diasumsikan sama. Pada penelitian berikutnya perlu dilakukan perbaikan proyeksi bagian bawah yang harus dilakukan berdasarkan orientasi pahat yang aktual di titik cc-point  $C_c$ . Hal ini diperkirakan menghasilkan komputasi yang intensif namun lebih akurat.

### Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kementrian Negara Riset dan Teknologi (KNRT) yang telah membiaya sebagian dari penelitian ini melalui Riset Unggulan Terpadu XII 2005-2006.

### Daftar Acuan

- [1]. Byoung K.C, Robert B.J, *Sculptured Surface Machining*. Kluwer Academic Publishers, 1998.
- [2]. Dejonghe P., An integrated approach for tool path planning and generation for multi-axis milling, ISBN 90-5682-315-9, PhD-thesis, K.U. Leuven, Leuven 2001.
- [3]. Kiswanto G., Tool path generation for multi-axis milling based on faceted models, ISBN : 90-5682-449-X, K. U. Leuven, Leuven 2003.
- [4]. Lauwers B., Kiswanto G., Kruth J. -P., Development of five-axis milling tool path generation algorithm based on faceted models, *Annals of the CIRP*, vol. 52, no. 1, pp. 85-88, 2003.
- [5]. Hwang J.S., *Interference-free tool-path generation in the NC machining of parametric compound surfaces*, Computer Aided Design, 1992, vol. 24, no. 12, pp. 675-676.
- [6]. Hwang J.S., Chang T.-C., *Three-axis machining of compound surfaces using flat and filleted endmills*, Computer Aided Design, 1998, vol. 30, no. 8, pp. 641-647.
- [7]. Jensen C.G., Mullins S.H., Anderson D.C., *Scallop elimination based on precise 5-axis tool placement, orientation and step-over calculations*, ASME-Advances in Design Automation, 1993, vol. 65-2, pp. 535-544.
- [8]. Kiswanto G., Kruth J.-P., Lauwers B., *Tool path generation for 5-axis milling based on faceted models*, Journal of Engineering, Vol.1., 2002.
- [9]. Kruth J.-P., Klewais P., *Optimization and dynamic adaptation of the cutter inclination during 5-axis milling of sculptured surfaces*, Annals of CIRP, 1994, vol. 43/1, pp. 443-448.
- [10]. Lai J.-Y., Wang D.-J., *A strategy for finish cutting path generation of compound surfaces*, Computer in Industry, 1994, no. 25, pp. 189-209.
- [11]. Lee Y. -S., Choi B. K., Chang T. -C., Cut distribution and cutter selection for sculptured surface cavity machining, *International Journal of Production Research*, vol. 30, no. 6, pp. 1447-1470, 1992.
- [12]. Lee Y. -S., Chang T. -C., Machined surface error analysis for 5-axis machining, *International Journal of Production Research*, vol. 34, no. 1, pp. 111-135, 1996.
- [13]. Lee Y. -S., Ji H., Surface interrogation and machining strip evaluation for 5-axis CNC die and mold machining, *International Journal of Production Research*, vol. 35, no. 1, pp. 225-252, 1997.
- [14]. Lee Y. -S., Non-isoparametric tool path planning by machining strip evaluation for 5-axis sculptured surface machining, *Computer Aided Design*, vol. 30, no. 7, 1998.
- [15]. Lee Y. -S., Mathematical modelling using different endmills and tool placement problems for 4- and 5-axis NC complex surface machining, *International Journal of Production Research*, vol. 36, no. 3, pp. 785-814, 1998.