

# PEMODELAN ANALITIS PANJANG LINTASAN PAHAT PEMESINAN BENTUK RONGGA SEGITIGA

*by Moch Chaeron*

---

**Submission date:** 13-May-2023 04:03PM (UTC+0700)

**Submission ID:** 2092027723

**File name:** 2019-Book\_Pemodelan\_Analitis.pdf (437.1K)

**Word count:** 4623

**Character count:** 24866

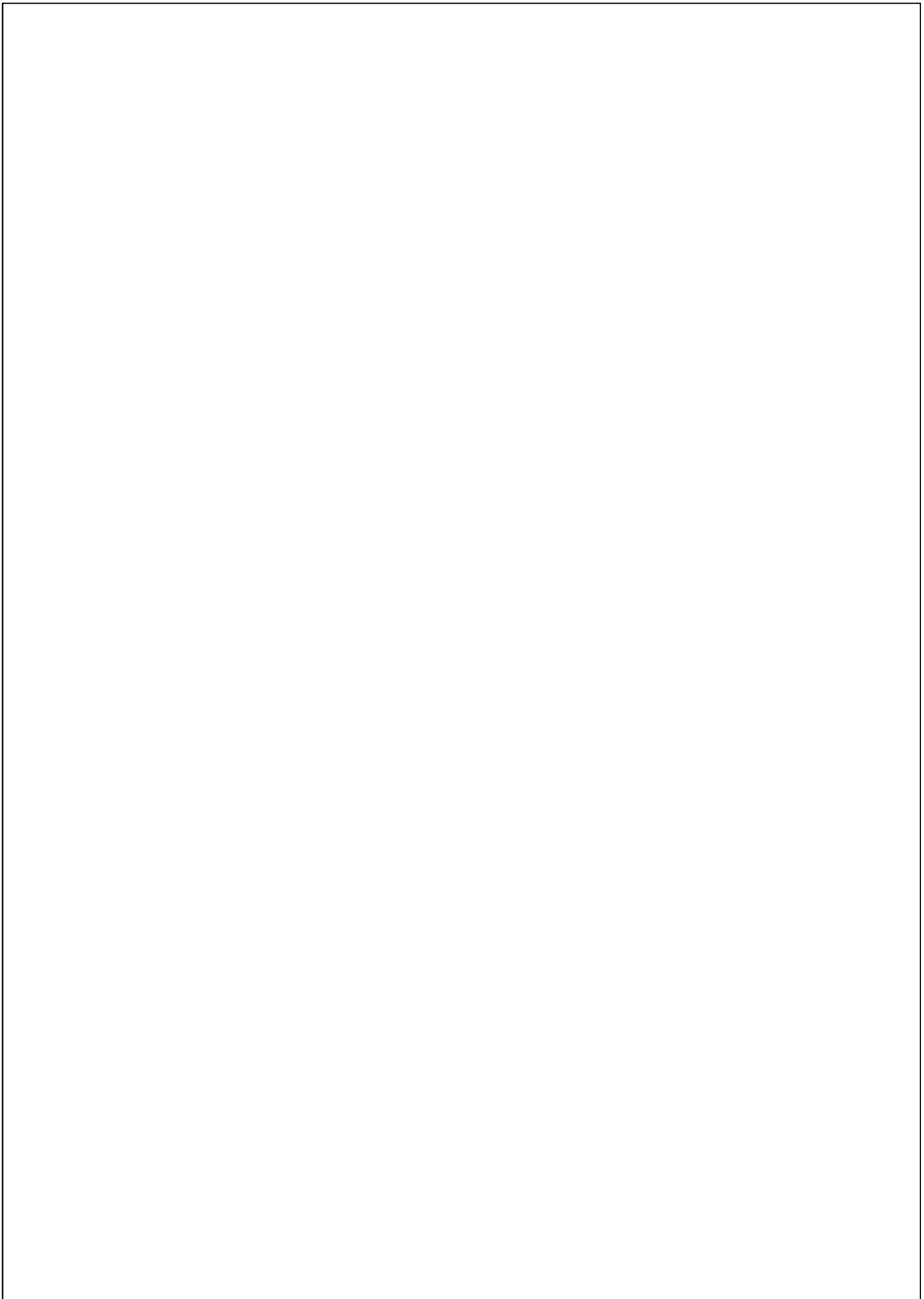
4  
**PEMODELAN ANALITIS**  
**PANJANG LINTASAN PAHAT**

**PEMESINAN BENTUK RONGGA SEGITIGA**

**LPPM UPNVY PRESS**

3  
Mochammad Chaeron  
Budi Saputro Wahyuaji  
Apriani Soepardi

PEMODELAN <sup>4</sup> ANALISIS PANJANG LINTASAN PAHAT  
PEMESINAN BENTUK RONGGA SEGITIGA



# PEMODELAN ANALITIS<sup>4</sup> PANJANG LINTASAN PAHAT

PEMESINAN BENTUK RONGGA SEGITIGA

*LPPM UPVY PRESS*

<sup>3</sup>  
Mochammad Chaeron  
Budi Saputro Wahyuaji  
Apriani Soepardi

4  
PEMODELAN ANALITIS PANJANG LINTASAN PAHAT  
PEMESINAN BENTUK RONGGA SEGITIGA

Oleh: Mochammad Chaeron, Budi Saputro Wahyuaji, Apriani Soepardi

Diterbitkan oleh:



**LPPM UPNVY PRESS**

UPN "Veteran" Yogyakarta  
LPPM Gd. Rektorat Lantai 4  
Jl. Padjajaran 104 (Lingkar Utara)  
Yogyakarta 55283  
Telp. (0274) 486733 ext. 154

© Hak cipta 2019 pada penulis

1  
Pasal 2

- (1) Hak Cipta merupakan hak eksklusif bagi pencipta atau pemegang Hak Cipta untuk mengumumkan atau memperbanyak ciptaannya yang timbul secara otomatis setelah suatu ciptaan dilahirkan tanpa mengurangi pembatasan menurut peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Pasal 72

- (1) Barang siapa dengan sengaja dan tanpa hak melakukan perbuatan sebagaimana dimaksud dalam pasal 2 ayat (1) atau pasal 49 ayat (1) dan ayat (2) dipidana dengan pidana penjara masing-masing paling singkat 1 (satu) bulan dan/atau denda paling sedikit Rp 1.000.000,00 (satu juta rupiah) atau pidana penjara paling lama 7 (tujuh) tahun dan/atau denda paling banyak Rp 5.000.000.000,00 (lima milyar rupiah)
- (2) Barang siapa sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu ciptaan atau barang hasil pelanggaran Hak Cipta atau Hak Terkait sebagaimana dimaksud pada ayat (1) dipidana dengan pidana penjara paling lama 5 (lima) tahun dan/atau denda paling banyak Rp 500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).

UU No. 19 Tahun 2002

Edisi Pertama

Cetakan Pertama, 2019

ISBN: 978-623-7594-19-2



*untuk keluarga tercinta*



## acknowledgments

Buku ini merupakan luaran hibah penelitian internal yang dibiayai  
oleh LPPM UPN Veteran Yogyakarta.  
Terima kasih.

## Daftar Isi

Halaman Judul  
Halaman Persembahan  
Acknowledment  
Daftar Isi  
Daftar Gambar  
Halaman Pendahuluan

BAB 1	PENDAHULUAN		
	1.1	Batasan	
	1.2	Asumsi	
	1.3	Manfaat	
BAB 2	STRATEGI PEMESINAN <i>DIRECTION PARALLEL</i>		
	2.1	Bagian Mendatar Strategi <i>Direction Parallel</i>	
	2.2	Bagian Menaik Strategi <i>Direction Parallel</i>	
	2.3	Bagian Pembuang <i>Scallop</i> Strategi <i>Direction Parallel</i>	
	2.4	Total Panjang Lintasan Pahat Strategi <i>Direction Parallel</i>	
BAB 3	PENGEMBANGAN STRATEGI <i>DIRECTION PARALLEL</i>		
	3.1	Bagian Mendatar Strategi <i>Direction Parallel</i> Pengembangan	
	3.2	Bagian Menaik Strategi <i>Direction Parallel</i> Pengembangan	
	3.3	Bagian Menurun Strategi <i>Direction Parallel</i> Pengembangan	
	3.4	Total Panjang Lintasan Pahat Strategi <i>Direction Parallel</i> Hasil Pengembangan	
BAB 4	STRATEGI PEMESINAN <i>CONTOUR PARALLEL</i>		
	4.1	Bagian yang Sejajar Keliling Bentuk Rongga	
	4.2	Panjang Bagian Penghubung Bagian Sejajar Batas <i>Pocket</i>	
	4.3	Total Panjang Lintasan Pahat <i>Contour Parallel</i>	
BAB 5	PENGEMBANGAN STRATEGI <i>CONTOUR PARALLEL</i>		XX
	5.1	Bagian yang Sejajar Keliling Bentuk Rongga	
	5.2	Bagian Penghubung Lintasan Sejajar	

	5.3	Bagian Pembuang <i>Unmachined Area</i>	
	5.4	Total Panjang Lintasan Pahat Pengembangan <i>Contour Parallel</i>	
BAB 6	CONTOH NUMERIK		
	6.1	Contoh Numerik 1	
	6.2	Contoh Numerik 2	
BAB 7	KESIMPULAN		
	Daftar Pustaka		

## Daftar Gambar

- Gambar 1. Strategi *direction parallel*
- Gambar 2. Lintasan pembuang *scallop* pada strategi *direction parallel*
- Gambar 3. Pengembangan strategi *direction parallel*
- Gambar 4. Pengurangan lintasan mendatar
- Gambar 5. Pemesinan *pocket* segitiga dengan strategi *contour parallel*
- Gambar 6. *Overlap* untuk menghindari daerah sisa
- Gambar 7. Nilai  $h$  untuk mencari jumlah segitiga yang sejajar batas *pocket*
- Gambar 8. *Unmachined area* pada strategi *contour parallel* tanpa *overlap*
- Gambar 9. *Overlap* pada strategi *contour parallel* menjadikan lintasan pahat lebih panjang
- Gambar 10. Pengembangan strategi *contour parallel*
- Gambar 11. Lintasan menaik penghubung lintasan sejajar
- Gambar 12. Lintasan pembuang *unmachined area*

## Halaman Pendahuluan

2 Terdapat dua strategi untuk pemesinan bentuk rongga segitiga yaitu: *direction parallel* dan *contour parallel*. Kedua strategi tersebut masing-masing mempunyai kekurangan. Pada strategi *direction parallel*, untuk menyelesaikan pemesinan, harus ditambahkan lintasan pahat mengelilingi batas untuk menghilangkan *scallop*. Sedangkan pada strategi *contour parallel*, pemesinan harus dilakukan secara *overlap* untuk menghindari timbulnya daerah sisa pemesinan di tengah area bentuk rongga.

Kedua hal tersebut menyebabkan terjadinya proses pemesinan berulang. Pengembangan terhadap strategi *contour parallel* dan *direction parallel* dilakukan untuk mengurangi sebanyak mungkin terjadinya proses pemesinan berulang itu. Penambahan ataupun penggantian lintasan pahat menjadi pilihan utama dalam pengembangan strategi ini.

Pada akhirnya strategi hasil pengembangan berhasil memberikan lintasan pahat yang lebih pendek, yang berarti dengan menggunakan strategi hasil pengembangan, proses pemesinan bentuk rongga dapat dilakukan lebih cepat.

Mochammad Chaeron  
Budi Saputro Wahyuaji  
Apriani Soepardi

## BAB 1 PENDAHULUAN

Operasi yang paling banyak dijumpai dalam pemesinan *part* logam adalah operasi pemesinan 2½ D bentuk rongga (*pocket*), yaitu membuang semua material yang terdapat di dalam suatu batas (*boundary*) tertutup pada permukaan datar benda kerja sampai ke kedalaman tertentu (Kramer, 1992 dan Arya, *et al.*, 2001). Bentuk rongga merupakan fitur khusus yang banyak dijumpai pada proses pemesinan di perusahaan pembuat *mould* dan *dies*. Daya saing perusahaan pembuat *mould* dan *dies* sangat ditentukan oleh kemampuan dalam memenuhi waktu penyelesaian pesanan. Karena itulah usaha-usaha untuk memperpendek waktu pemesinan selalu menjadi perhatian utama. Waktu penyelesaian pesanan mempunyai hubungan erat dengan perencanaan proses pemesinan. Waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan pemesinan suatu fitur tergantung pada banyak faktor, di antaranya adalah karakteristik mesin, strategi pemesinan, ukuran dan jenis pahat yang dipilih, geometri fitur dan spesifikasi toleransi serta parameter pemesinan (Chaeron, 2006).

Faktor terpenting dalam pemesinan bentuk rongga adalah ukuran pahat karena semua faktor yang lain tergantung pada ukuran pahat. Tugas perencana proses selanjutnya, setelah ukuran pahat diperoleh, adalah membangkitkan lintasan pahat. Ada dua strategi pemesinan yang banyak dipakai di dalam pembangkitan lintasan pahat untuk pemesinan bentuk rongga, yaitu: strategi *direction parallel* dan strategi *contour parallel* (Arkin *et al.*, 2000). Kedua strategi tersebut, masing-masing mempunyai kelebihan dan kekurangan. Strategi *direction parallel* memungkinkan lintasan pahat tanpa *overlap* tapi menyisakan *scallop* di sepanjang sisi bentuk rongga (Veeramani dan Gau, 1997). Sedangkan strategi *contour parallel* memungkinkan lintasan pahat yang bebas *scallop* di sepanjang sisi bentuk rongga tapi membutuhkan *overlap* antar lintasan untuk menghindari daerah sisa di tengah-tengah daerah

bentuk rongga. Kedua hal yang disebutkan di atas memungkinkan untuk mengembangkan strategi pemesinan baru, yang diharapkan dapat menghasilkan panjang lintasan pahat yang lebih pendek dibanding strategi *direction parallel* dan *contour parallel*.

Kemudian dalam rangka untuk dapat mengetahui berapa panjang lintasan pahat secara cepat, perlu dilakukan pemodelan analitis terhadap lintasan pahat sesuai strategi pemesinan yang digunakan. Dalam hal ini, pemodelan analitis lintasan pahat dikhususkan pada pemesinan bentuk rongga segitiga. Pemesinan bentuk rongga segitiga banyak dijumpai pada industri pesawat terbang (Bieterman, 2003).

### **1.1 Batasan**

1. Pemesinan yang dilakukan adalah pemesinan bentuk rongga segitiga menggunakan mesin milling,
2. Bentuk rongga segitiga yang ditinjau memiliki jari-jari kelengkungan yang sama pada ketiga sudutnya,
3. Pemesinan dilakukan menggunakan pahat tunggal dimana jari-jari pahat sama dengan jari-jari kelengkungan bentuk rongga,
4. Panjang lintasan pahat yang didapatkan merupakan panjang lintasan pahat pada satu pass pemesinan saja,
5. Pemesinan dilakukan tanpa retraksi pahat.

### **1.2 Asumsi**

1. Waktu pemesinan hanya dipengaruhi oleh faktor panjang lintasan pahat,
2. Pahat yang digunakan tidak mengalami perubahan (penyusutan) ukuran,
3. Hasil pemakanan pahat adalah selebar diameter pahat.

### **1.3 Manfaat**

Mampu memperkirakan panjang lintasan pahat secara cepat sehingga dapat memilih strategi pemesinan yang tepat.





Pahat yang digunakan dalam pemesinan mempunyai diameter sebesar  $2 \cdot r$ . Untuk membangkitkan lintasan pahat, pertama dilakukan *offset* ke dalam sejauh setengah diameter pahat ( $= r$ ). Hasil *offset* adalah segitiga ABC. Selanjutnya ditarik garis-garis yang sejajar dengan sisi terpanjang segitiga. Karena pemesinannya dapat dilaksanakan tanpa *overlap* ( $\rho = 0$ ) maka jarak antar garis sejajar tersebut sama dengan diameter pahat.

Dari Gambar 1 dan Gambar 2 terlihat bahwa lintasan pahat pada strategi *direction parallel* terdiri atas 3 bagian, yaitu:

1. Bagian mendatar ( AB, DE, FG dan seterusnya)
2. Bagian menaik (BD, EF, GH dan seterusnya)
3. Bagian pembuang *scallop* (AB, BC, CA)

### 2.1. Bagian Mendatar Strategi *Direction Parallel*

Panjang bagian mendatar dapat dimodelkan sebagai berikut:

$$\overline{AB} = a - r \cdot \cot \frac{\beta}{2} - r \cdot \cot \frac{\gamma}{2} = a - r \cdot \left( \cot \frac{\beta}{2} - \cot \frac{\gamma}{2} \right)$$

$$\overline{DE} = \overline{AB} - 2 \cdot r \cdot (\cot \beta + \cot \gamma)$$

$$\overline{DE} = a - r \cdot \left( \cot \frac{\beta}{2} + \cot \frac{\gamma}{2} \right) - 2 \cdot r \cdot (\cot \beta + \cot \gamma)$$

Banyaknya bagian mendatar atau garis sejajar AB ( $n$ ) dapat dihitung =

$$n = \frac{\overline{CC'}}{2 \cdot r}$$

di mana

$$\overline{CC'} = \overline{AC} \cdot \sin \beta$$

$$\overline{CC'} = \left( c - r \cdot \cot \frac{\alpha}{2} - r \cdot \cot \frac{\beta}{2} \right) \cdot \sin \beta$$

sehingga

$$n = \frac{\left( c - r \cdot \cot \frac{\alpha}{2} - r \cdot \cot \frac{\beta}{2} \right) \cdot \sin \beta}{2 \cdot r}$$

maka total panjang bagian mendatar ( $TPD$ ) adalah sebagai berikut:

$$TPD = \sum_{i=1}^n \left( a - r \cdot \left( \cot \frac{\beta}{2} + \cot \frac{\gamma}{2} \right) - 2 \cdot r \cdot (i - 1)(\cot \beta + \cot \gamma) \right)$$

## 2.2. Bagian Menaik Strategi *Direction Parallel*

Panjang bagian menaik dapat dimodelkan sebagai berikut, total panjang bagian menaik (*TPN*) dapat diestimasi sebagai rata-rata dari  $\overline{AC} + \overline{BC}$ .

$$TPN = \frac{\overline{AC} + \overline{BC}}{2}$$

dimana

$$\overline{AC} = c - r \cdot \cot \frac{\alpha}{2} - r \cdot \cot \frac{\beta}{2}$$

$$\overline{BC} = b - r \cdot \cot \frac{\alpha}{2} - r \cdot \cot \frac{\gamma}{2}$$

sehingga

$$TPN = \frac{c - r \cdot \cot \frac{\alpha}{2} - r \cdot \cot \frac{\beta}{2} + b - r \cdot \cot \frac{\alpha}{2} - r \cdot \cot \frac{\gamma}{2}}{2}$$

## 2.3. Bagian Pembuang *Scallop* Strategi *Direction Parallel*

Total Panjang lintasan untuk menghilangkan *scallop* (*TPS*) di sepanjang batas *pocket* adalah:

$$TPS = \overline{AB} + \overline{BC} + \overline{AC}$$

dimana

$$\overline{AB} = a - r \cdot \cot \frac{\beta}{2} - r \cdot \cot \frac{\gamma}{2}$$

$$\overline{BC} = b - r \cdot \cot \frac{\alpha}{2} - r \cdot \cot \frac{\gamma}{2}$$

$$\overline{AC} = c - r \cdot \cot \frac{\alpha}{2} - r \cdot \cot \frac{\beta}{2}$$

sehingga

$$TPS = (a + b + c) - 2 \cdot r \cdot \left( \cot \frac{\alpha}{2} + \cot \frac{\beta}{2} + \cot \frac{\gamma}{2} \right)$$

## 2.4. Total Panjang Lintasan Pahat Strategi *Direction Parallel*

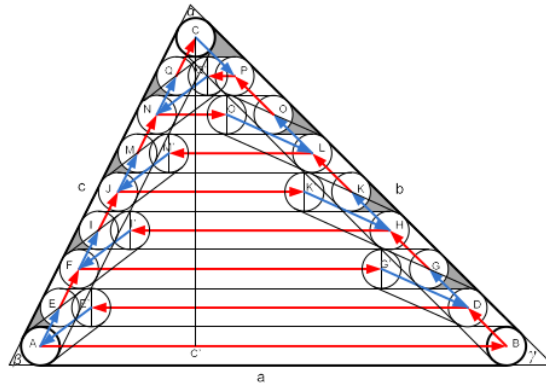
Total panjang lintasan pahat untuk pemesinan bentuk rongga segitiga menggunakan strategi *direction parallel* (*TPSD*) dapat dituliskan sebagai fungsi  $f(\alpha, \beta, \gamma, a, b, c, \rho, r)$  dimana:

$$TPSD = TPD + TPN + TPS$$

### BAB 3

#### PENGEMBANGAN STRATEGI *DIRECTION PARALLEL*

Pada BAB 2 telah dijelaskan bahwa strategi *direction parallel* dapat melakukan pemesinan bentuk rongga tanpa *overlap* tapi menyisakan *scallop* pada kedua dinding bentuk rongga segitiga. Pengembangan strategi terhadap strategi *direction parallel* dilakukan dengan menambahkan lintasan untuk membuang *scallop* sedemikian sehingga proses pembuangan *scallop* dilakukan menggunakan lintasan yang terintegrasi dengan lintasan pembuangan daerah bentuk rongga segitiga (Chaeron et al., 2019a). Hasil pengembangannya dapat dilihat pada Gambar 3. Lintasan pahatnya adalah: A-B-D-E'-A-E-F-G'-D-G-H-I'-F-I-J-K'-H-K-L-M'-J-M-N-O'-O-P-Q'-N'-Q-C-P.



Gambar 3. Pengembangan strategi *direction parallel*

Dari Gambar 3 dapat dilihat bahwa strategi hasil pengembangan terhadap strategi *direction parallel* memiliki 3 bagian utama yaitu:

1. Lintasan mendatar (AB, DE', FG' dan seterusnya)
2. Lintasan menaik (BD, AE, EF, DG, GH dan seterusnya)
3. Lintasan menurun (E'A, G'D, I'F, K'H dan seterusnya)

### 3.1. Bagian Mendatar Strategi *Direction Parallel* Pengembangan

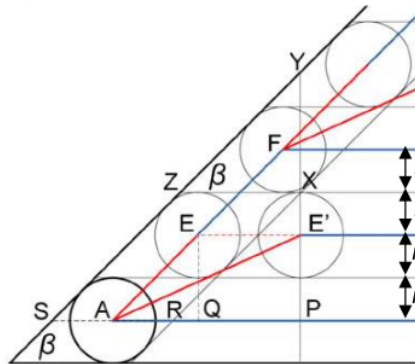
Panjang lintasan mendatar pada pengembangan strategi *direction parallel* diperoleh dari total panjang bagian mendatar strategi *direction parallel* (TPD) dikurangi bagian pengurang sebagai awal untuk membuang *scallop*. Dari Bab 2 diperoleh nilai TPD yaitu:

$$TPD = \sum_{i=1}^n \left( a - r \cdot \left( \cot \frac{\beta}{2} + \cot \frac{\gamma}{2} \right) - 2 \cdot r \cdot (i - 1) (\cot \beta + \cot \gamma) \right)$$

dimana

$$n = \frac{\left( c - r \cdot \cot \frac{\alpha}{2} - r \cdot \cot \frac{\beta}{2} \right) \cdot \sin \beta}{2 \cdot r}$$

Penghematan atau pengurangan lintasan terjadi karena ada pengurangan panjang lintasan mendatar,  $DE$  menjadi  $DE'$ ,  $FG$  menjadi  $FG'$  dan seterusnya.



Gambar 4. Pengurangan lintasan mendatar

Dari Gambar 4, tinjau segitiga XYZ

$$\overline{AQ} = \overline{AE} \cdot \cos \beta = \frac{2 \cdot r}{\sin \beta} \cdot \cos \beta$$

$$\overline{AE} = \frac{2 \cdot r}{\sin \beta}$$

$$\overline{AQ} = \frac{2 \cdot r}{\sin \beta} \cdot \cos \beta$$

$$\overline{EE'} = \overline{QP} = \overline{AP} - \overline{AQ}$$

Untuk mencari  $\overline{AP}$  :

$$\overline{XZ} = \overline{RS} = \frac{2 \cdot r}{\sin \beta}$$

$$\overline{XY} = \overline{XZ} \cdot \tan \beta = \frac{2 \cdot r}{\sin \beta} \cdot \frac{\sin \beta}{\cos \beta} = \frac{2 \cdot r}{\cos \beta}$$

Segitiga XYZ sebangun dengan segitiga PXR, sehingga:

$$\frac{\overline{RP}}{\overline{XZ}} = \frac{\overline{PX}}{\overline{XY}}$$

$$\overline{RP} = \frac{\overline{PX}}{\overline{XY}} \cdot \overline{XZ} = \frac{3 \cdot r}{\frac{2 \cdot r}{\cos \beta}} \cdot \frac{2 \cdot r}{\sin \beta} = 3 \cdot r \cdot \frac{\cos \beta}{\sin \beta}$$

$$\overline{AR} = \frac{\overline{RS}}{2} = \frac{r}{\sin \beta}$$

$$\overline{AP} = \overline{AR} + \overline{RP} = 3 \cdot r \cdot \frac{\cos \beta}{\sin \beta} + \frac{r}{\sin \beta} = \frac{3 \cdot r \cdot \cos \beta + r}{\sin \beta}$$

sehingga

$$\overline{EE'} = \overline{QP} = \frac{3 \cdot r \cdot \cos \beta + r}{\sin \beta} - \frac{2 \cdot r}{\sin \beta} \cdot \cos \beta$$

$$\overline{EE'} = \frac{3 \cdot r \cdot \cos \beta + r - 2 \cdot r \cdot \cos \beta}{\sin \beta} = \frac{r \cdot \cos \beta + r}{\sin \beta}$$

$$\overline{EE'} = \frac{r \cdot (\cos \beta + 1)}{\sin \beta}$$

Selanjutnya untuk  $i$  genap

$$\overline{EE'} = \overline{II'} = \dots = \frac{r \cdot (\cos \beta + 1)}{\sin \beta}$$

Dan untuk  $i$  ganjil

$$\overline{GG'} = \overline{KK'} = \dots = \frac{r \cdot (\cos \gamma + 1)}{\sin \gamma}$$

Karena jumlah lintasan mendatar yang mendapat pengurangan panjang adalah sebanyak  $(n - 1)$ , maka total pengurang lintasan mendatar (*TPLD*) dapat dituliskan sebagai berikut:

$$TKLD = \frac{(n - 1) \cdot r \cdot (\cos \beta + \cos \gamma + 2)}{2 \cdot \sin \beta}$$

Sehingga panjang bagian mendatar strategi *direction parallel* hasil pengembangan (*PLDP*) adalah:

$$PLDP = TPD - TKLD$$

### 3.2. Bagian Menaik Strategi *Direction Parallel* Pengembangan

Dari Gambar 3, Panjang Lintasan menaik strategi *Direction Parallel* hasil pengembangan (*PLNP*) adalah penjumlahan *AC* dan *BC*, dimana:

$$\overline{AC} = c - r \cdot \cot \frac{\alpha}{2} - r \cdot \cot \frac{\beta}{2}$$

$$\overline{BC} = b - r \cdot \cot \frac{\alpha}{2} - r \cdot \cot \frac{\gamma}{2}$$

maka:

$$PLNP = \left( c - r \cdot \cot \frac{\alpha}{2} - r \cdot \cot \frac{\beta}{2} \right) + \left( b - r \cdot \cot \frac{\alpha}{2} - r \cdot \cot \frac{\gamma}{2} \right)$$

### 3.3. Bagian Menurun Strategi *Direction Parallel* Pengembangan

Pada Gambar 3, lintasan menurun strategi *Direction Parallel* hasil pengembangan adalah *E'A*, *I'F* dan seterusnya (*i* genap), pada sebelah kiri serta *G'D*, *K'H* dan seterusnya (*i* ganjil), pada sebelah kanan.

$$\overline{E'A} = \sqrt{(\overline{E'P})^2 + (\overline{AP})^2}$$

dimana

$$\overline{E'P} = 2 \cdot r$$

$$\overline{AP} = \overline{AR} + \overline{RP} = 3 \cdot r \cdot \frac{\cos \beta}{\sin \beta} + \frac{r}{\sin \beta} = \frac{3 \cdot r \cdot \cos \beta + r}{\sin \beta}$$

sehingga

$$\overline{E'A} = \sqrt{(2 \cdot r)^2 + \left( \frac{3 \cdot r \cdot \cos \beta + r}{\sin \beta} \right)^2} = 2 \cdot r \cdot \sqrt{\left( \frac{3 \cdot \cos(\beta) + 1}{2 \cdot \sin(\beta)} \right)^2 + 1}$$

Selanjutnya untuk *i* genap

$$\overline{E'A} = \overline{I'F} = \dots = 2 \cdot r \cdot \sqrt{\left( \frac{3 \cdot \cos(\beta) + 1}{2 \cdot \sin(\beta)} \right)^2 + 1}$$

Dan untuk *i* ganjil

$$\overline{G'D} = \overline{K'H} = \dots = 2 \cdot r \cdot \sqrt{\left( \frac{3 \cdot \cos(\gamma) + 1}{2 \cdot \sin(\gamma)} \right)^2 + 1}$$

Karena jumlah lintasan menurun adalah sebanyak  $(n - 1)$ , maka Panjang Lintasan menurun strategi *Direction Parallel* (PLTP) hasil pengembangan dapat diestimasi sebagai berikut:

$$PLTP = \frac{(n - 1) \cdot 2 \cdot r \cdot \left( \sqrt{\left(\frac{3 \cdot \cos(\beta) + 1}{2 \cdot \sin(\beta)}\right)^2 + 1} + \sqrt{\left(\frac{3 \cdot \cos(\gamma) + 1}{2 \cdot \sin(\gamma)}\right)^2 + 1} \right)}{2}$$

#### 3.4. Total Panjang Lintasan Pahat Strategi *Direction Parallel* Hasil Pengembangan

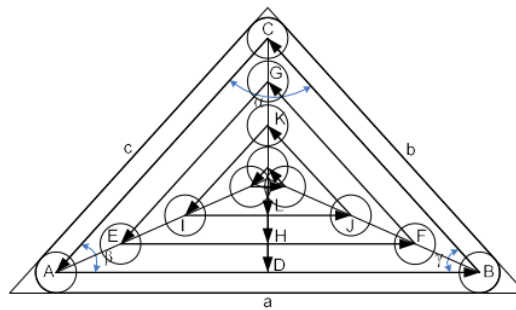
Total panjang lintasan pahat pengembangan strategi *direction parallel* (TPLPDP) sebagai fungsi  $f(\alpha, \beta, \gamma, a, b, c, r)$  dapat dinyatakan sebagai:

$$TPSDP = PLDP + PLNP + PLTP$$

## BAB 4

### STRATEGI PEMESINAN *CONTOUR PARALLEL*

Strategi *contour parallel* ini memungkinkan untuk melakukan pembangkitan lintasan pahat yang tidak menyisakan daerah sisa tapi pada antar lintasan pahat harus ada *overlap* yang besarnya tergantung pada besar sudut terkecil pada segitiga. Pahat yang dipakai mempunyai diameter =  $2 \cdot r$ . Pembangkitan lintasan pahat dilakukan dengan, pertama *offset* ke dalam sejauh setengah diameter pahat ( $= r$ ). Hasil *offset* adalah segitiga ABC. Selanjutnya dilakukan lagi *offset* ke dalam terhadap segitiga ABC tersebut sejauh  $2(r-p)$ . Demikian seterusnya. Pemesinan bentuk rongga segitiga dengan strategi *direction parallel* dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Pemesinan *pocket* segitiga dengan strategi *contour parallel*  
Dari Gambar 5 dapat diketahui bahwa lintasan pahatnya terdiri dari 2 bagian yaitu:

1. Bagian yang mengelilingi (sejajar) *boundary pocket* (ABC, EFG, IJK dan seterusnya)
  2. Bagian yang menghubungkan bagian-bagian yang sejajar batas *pocket* (DH, HL dan seterusnya)
- 4.1. Bagian yang Sejajar Keliling Bentuk Rongga  
Garis *offset* yang paling dekat dengan batas bentuk rongga (lintasan pahat terluar) berjarak sebesar *radius* ( $r$ ) pahat dari garis



kontur bentuk rongga sehingga membentuk segitiga ABC (Gambar 5). Panjang *offset* terluar (*POT*) adalah penjumlahan ketiga sisi segitiga ABC.

$$POT = \overline{AB} + \overline{BC} + \overline{CA}$$

dimana

$$\overline{AB} = a - r \cdot \cot \frac{\beta}{2} - r \cdot \cot \frac{\gamma}{2}$$

$$\overline{BC} = b - r \cdot \cot \frac{\alpha}{2} - r \cdot \cot \frac{\gamma}{2}$$

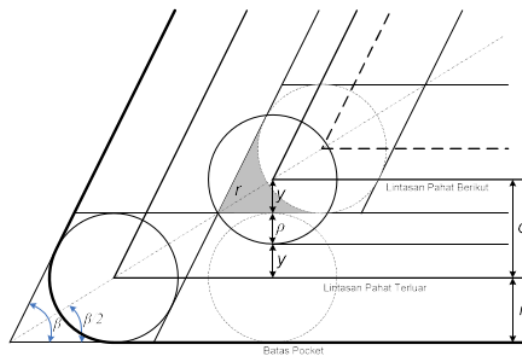
$$\overline{AC} = c - r \cdot \cot \frac{\alpha}{2} - r \cdot \cot \frac{\beta}{2}$$

sehingga

$$POT = (a + b + c) - 2 \cdot r \cdot \left( \cot \frac{\alpha}{2} + \cot \frac{\beta}{2} + \cot \frac{\gamma}{2} \right)$$

Selanjutnya semua garis *offset* sebelah dalam harus di-*overlap* untuk menghindari adanya daerah sisa (bagian yang diarsir dalam Gambar 6).  $\beta$  adalah sudut terkecil antara dua garis lurus yang bersesuaian dengan garis kontur pada *pocket* segitiga. Dari Gambar 6 terlihat bahwa:

$$\sin \left( \frac{\beta}{2} \right) = \frac{y}{r}$$



Gambar 6. *Overlap* untuk menghindari daerah sisa

Lebar *overlap* dua garis offset terdekat adalah :

$$\rho = r - y$$

$$\rho = r - r \cdot \sin \frac{\min(\alpha, \beta, \gamma)}{2}$$

$$\rho = r \left( 1 - \sin \frac{\min(\alpha, \beta, \gamma)}{2} \right)$$

Sehingga jarak *offset* (lintasan pahat),  $d$ , adalah:

$$d = 2 \cdot y + \rho$$

$$d = 2 \cdot (r - \rho) + \rho$$

$$d = 2 \cdot r - \rho$$

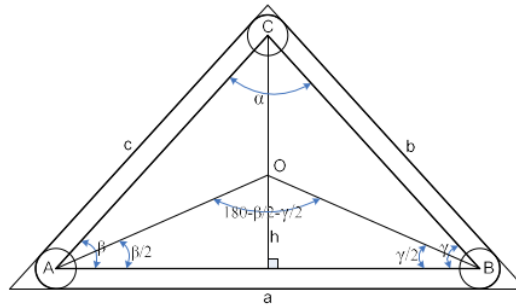
Dengan jarak *offset* sebesar  $2 \cdot r - \rho$  maka panjang *offset* kedua ( $POK$ ), yaitu segitiga  $EFG$  (Gambar 5.), dapat dihitung:

$$POK = \overline{EF} + \overline{FG} + GE$$

$$POK = (\overline{AB} + \overline{BC} + \overline{CA}) - 2 \cdot (2 \cdot r - \rho) \cdot \left( \cot \frac{\alpha}{2} + \cot \frac{\beta}{2} + \cot \frac{\gamma}{2} \right)$$

$$POK = (a + b + c) - (2 \cdot r + 2 \cdot (2 \cdot r - \rho)) \cdot \left( \cot \frac{\alpha}{2} + \cot \frac{\beta}{2} + \cot \frac{\gamma}{2} \right)$$

Untuk mencari jumlah segitiga yang sejajar batas *pocket*, perlu dicari terlebih dulu besarnya  $h$  (lihat Gambar 7).



Gambar 7. Nilai  $h$  untuk mencari jumlah segitiga yang sejajar batas *pocket*

Dari Gambar 7, dengan hukum sinus dapat dicari nilai  $h$  sebagai berikut:

$$\frac{\overline{AB}}{\sin \left( 180 - \frac{\beta}{2} - \frac{\gamma}{2} \right)} = \frac{\overline{OA}}{\sin \frac{\gamma}{2}} = \frac{\overline{OB}}{\sin \frac{\beta}{2}}$$

$$\overline{OA} = \frac{\overline{AB} \cdot \sin \frac{\gamma}{2}}{\sin \left( 180 - \frac{\beta}{2} - \frac{\gamma}{2} \right)}$$

$$\overline{OB} = \frac{\overline{AB} \cdot \sin \frac{\beta}{2}}{\sin \left( 180 - \frac{\beta}{2} - \frac{\gamma}{2} \right)}$$

Sehingga,

$$h = \overline{OA} \cdot \sin \frac{\beta}{2}$$

$$h = \frac{\overline{AB} \cdot \sin \frac{\beta}{2} \cdot \sin \frac{\gamma}{2}}{\sin \left( 180 - \frac{\beta}{2} - \frac{\gamma}{2} \right)}$$

$$h = \overline{OB} \cdot \sin \frac{\gamma}{2}$$

$$h = \frac{\overline{AB} \cdot \sin \frac{\beta}{2} \cdot \sin \frac{\gamma}{2}}{\sin \left( 180 - \left( 90 - \frac{\alpha}{2} \right) \right)}$$

$$h = \frac{\overline{AB} \cdot \sin \frac{\beta}{2} \cdot \sin \frac{\gamma}{2}}{\cos \frac{\alpha}{2}}$$

$$h = \frac{\left( a - r \cdot \left( \cot \frac{\beta}{2} + \cot \frac{\gamma}{2} \right) \right) \cdot \sin \frac{\beta}{2} \cdot \sin \frac{\gamma}{2}}{\cos \frac{\alpha}{2}}$$

Selanjutnya jumlah segitiga dalam yang sejajar batas *pocket* adalah:

$$n = \frac{h}{2 \cdot r - \rho}$$

$$n = \frac{\left( a - r \cdot \left( \cot \frac{\beta}{2} + \cot \frac{\gamma}{2} \right) \right) \cdot \sin \frac{\beta}{2} \cdot \sin \frac{\gamma}{2}}{(2 \cdot r - \rho) \cos \frac{\alpha}{2}}$$

Total panjang lintasan pahat yang sejajar batas *pocket* (TPLSB):

$$TPLSB = \sum_{i=1}^n (a + b + c) - (2 \cdot r + 2 \cdot (2 \cdot r - \rho) \cdot (1 - i)) \cdot \left( \cot \frac{\alpha}{2} + \cot \frac{\beta}{2} + \cot \frac{\gamma}{2} \right)$$

dimana nilai  $n$  merupakan pembulatan ke atas.

#### 4.2. Panjang Bagian Penghubung Bagian Sejajar Batas *Pocket*

Total Panjang bagian yang menghubungkan bagian-bagian sejajar batas *pocket* (*TPLHS*) adalah:

$$TPLHS = (n - 1) \cdot (2 \cdot r - \rho)$$

#### 4.3. Total Panjang Lintasan Pahat Contour Parallel

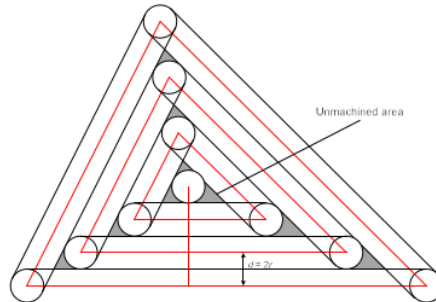
untuk pemesinan *pocket* segitiga menggunakan strategi *contour parallel* (*TPLCP*) dapat dituliskan sebagai fungsi  $f(\alpha, \beta, \gamma, a, b, c, \rho, r)$  sebagai berikut:

$$TPLCP = TPLSB + TPLHS$$

## BAB 5

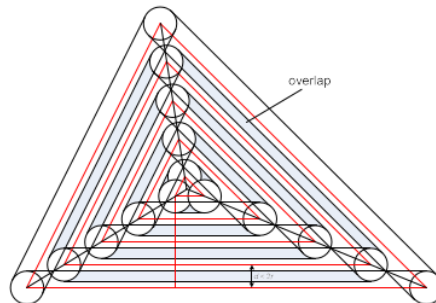
### PENGEMBANGAN STRATEGI *CONTOUR PARALLEL*

Strategi *contour parallel* merupakan strategi pemesinan bentuk rongga dengan membangkitkan lintasan pahat yang sejajar batas (*boundary*) bentuk rongga. Ketika jarak antar lintasan pahat dipasang sebesar diameter pahat ( $d = 2r$ ) untuk menghindari *overlap*, maka akan muncul *unmachined area* di dalam daerah bentuk rongga (Gambar 8).



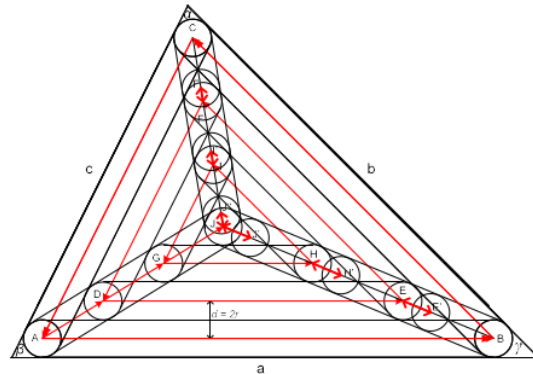
Gambar 8. *Unmachined area* pada strategi *contour parallel* tanpa *overlap*

Untuk menghindari timbulnya *unmachined area* tersebut lalu lintasan pahatnya harus dibuat dengan *overlap* yang mengakibatkan lintasan pahat menjadi semakin panjang (Gambar 9).



Gambar 9. *Overlap* pada strategi *contour parallel* menjadikan lintasan pahat lebih panjang

Pengembangan strategi *countour parallel* dilakukan dengan menambahkan lintasan pahat untuk membuang *unmachined area* pada lintasan tanpa *overlap* (Chaeron et al., 2019b). Pengembangan strategi *countour parallel* ditunjukkan pada Gambar 10. Langkah-langkah pembangkitan lintasan pahat diawali dengan melakukan *offset* ke arah dalam sejauh setengah diameter pahat ( $r$ ) terhadap batas rongga. Hasil *offset* itu adalah segitiga ABC. Dilanjutkan dengan melakukan *offset* ke dalam terhadap segitiga ABC sejauh diameter pahat atau  $2r$ . Begitu seterusnya sampai lintasan ke  $n$ . Lalu menambahkan lintasan yang khusus untuk membuang *unmachined area*. Lintasannya adalah: A-B-C-A-D-E-E'-E-F-F'-F-D-G-J'-J-J''.



Gambar 10. Pengembangan strategi *countour parallel*

Lintasan pahat strategi *countour parallel* hasil pengembangan terdiri dari tiga bagian (Gambar 10), yaitu:

1. Lintasan sejajar batas (*boundary*) bentuk rongga (A-B-C-A, D-E-F-D, G-H-I-G, ...)
2. Lintasan menaik yang menghubungkan lintasan sejajar batas rongga (AD, DG, ...)
3. Lintasan pembuang *unmachined area* (E-E'-E, H-H'-H, F-F'-F, ...)

### 5.1. Bagian yang Sejajar Keliling Bentuk Rongga

Seperti yang telah dibahas pada Sub Bab 4.1. garis *offset* yang paling dekat dengan batas bentuk rongga (lintasan pahat terluar) berjarak sebesar *radius* ( $r$ ) pahat dari garis kontur bentuk rongga sehingga membentuk segitiga ABC. Panjang *offset* terluar ( $POT$ ) adalah penjumlahan ketiga sisi segitiga ABC.

$$POT = \overline{AB} + \overline{BC} + \overline{CA}$$

dimana

$$\overline{AB} = a - r \cdot \cot \frac{\beta}{2} - r \cdot \cot \frac{\gamma}{2}$$

$$\overline{BC} = b - r \cdot \cot \frac{\alpha}{2} - r \cdot \cot \frac{\gamma}{2}$$

$$\overline{AC} = c - r \cdot \cot \frac{\alpha}{2} - r \cdot \cot \frac{\beta}{2}$$

sehingga

$$POT = (a + b + c) - 2 \cdot r \cdot \left( \cot \frac{\alpha}{2} + \cot \frac{\beta}{2} + \cot \frac{\gamma}{2} \right)$$

Untuk mencari jumlah segitiga yang sejajar dengan batas bentuk rongga, perlu dicari terlebih dahulu besarnya  $h$  (lihat Gambar 7).

Dari Gambar 7, dengan hukum sinus dapat dicari nilai  $h$  sebagai berikut:

$$\frac{\overline{AB}}{\sin \left( 180 - \frac{\beta}{2} - \frac{\gamma}{2} \right)} = \frac{\overline{OA}}{\sin \frac{\gamma}{2}} = \frac{\overline{OB}}{\sin \frac{\beta}{2}}$$

$$\overline{OA} = \frac{\overline{AB} \cdot \sin \frac{\gamma}{2}}{\sin \left( 180 - \frac{\beta}{2} - \frac{\gamma}{2} \right)}$$

$$\overline{OB} = \frac{\overline{AB} \cdot \sin \frac{\beta}{2}}{\sin \left( 180 - \frac{\beta}{2} - \frac{\gamma}{2} \right)}$$

Sehingga,

$$h = \overline{OA} \cdot \sin \frac{\beta}{2}$$

$$h = \frac{\overline{AB} \cdot \sin \frac{\beta}{2} \cdot \sin \frac{\gamma}{2}}{\sin \left( 180 - \frac{\beta}{2} - \frac{\gamma}{2} \right)}$$

$$h = \overline{OB} \cdot \sin \frac{\gamma}{2}$$

$$h = \frac{\overline{AB} \cdot \sin \frac{\beta}{2} \cdot \sin \frac{\gamma}{2}}{\sin \left( 180 - \left( 90 - \frac{\alpha}{2} \right) \right)}$$

$$h = \frac{\overline{AB} \cdot \sin \frac{\beta}{2} \cdot \sin \frac{\gamma}{2}}{\cos \frac{\alpha}{2}}$$

$$h = \frac{\left( a - r \cdot \left( \cot \frac{\beta}{2} + \cot \frac{\gamma}{2} \right) \right) \cdot \sin \frac{\beta}{2} \cdot \sin \frac{\gamma}{2}}{\cos \frac{\alpha}{2}}$$

Selanjutnya jumlah segitiga dalam yang sejajar batas *pocket* adalah:

$$n = \frac{h}{2 \cdot r}$$

$$n = \frac{\left( a - r \cdot \left( \cot \frac{\beta}{2} + \cot \frac{\gamma}{2} \right) \right) \cdot \sin \frac{\beta}{2} \cdot \sin \frac{\gamma}{2}}{(2 \cdot r) \cos \frac{\alpha}{2}}$$

Total panjang lintasan pahat yang sejajar batas *pocket* hasil pengembangan (*TPLSBP*):

$$TPLSBP = \sum_{i=1}^n (a + b + c) - (2 \cdot r + 2 \cdot (2 \cdot r) \cdot (1 - i)) \cdot \left( \cot \frac{\alpha}{2} + \cot \frac{\beta}{2} + \cot \frac{\gamma}{2} \right)$$

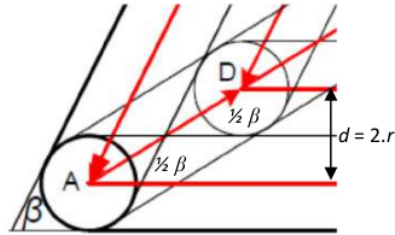
dimana nilai  $n$  merupakan hasil pembulatan ke atas.

## 5.2. Bagian Penghubung Lintasan Sejajar

Panjang lintasan menaik (*PLM*) yang menghubungkan lintasan sejajar batas rongga digunakan juga sebagai pembuang *unmachined area* pada diagonal sudut terkecil segitiga. Dari Gambar 11,

$$\overline{AD} = \overline{DG} = \dots = \frac{2 \cdot r}{\sin \left( \frac{\beta}{2} \right)}$$





Gambar 11. Lintasan menaik penghubung lintasan sejajar

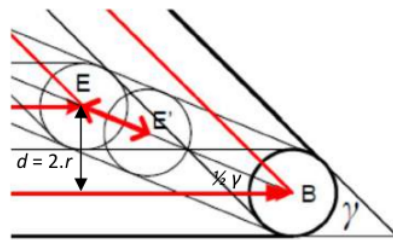
Jumlah lintasan menaik adalah sejumlah  $(n - 1)$ , sehingga panjang lintasan menaik ( $PLM$ ) adalah:

$$PLM = (n - 1) \cdot \frac{2 \cdot r}{\sin\left(\frac{\beta}{2}\right)}$$

### 5.3. Bagian Pembuang *Unmachined Area*

Lintasan pembuang *unmachined area* berupa lintasan bolak-balik pada diagonal segitiga dimana *unmachined area* akan muncul ketika lintasan pahat dibuat tanpa *overlap*. Dari Gambar 12,

$$\overline{EE'} = \overline{HH'} = \dots = \frac{r}{\sin\left(\frac{\gamma}{2}\right)} - r$$



Gambar 12. Lintasan pembuang *unmachined area*

Dengan cara yang sama bisa dicari panjang  $FF'$ ,  $II'$ , ..., lintasan ini jumlahnya  $n - 1$  dan harus dilakukan bolak-balik atau dua kali, maka panjang lintasan pembuang *unmachined area* ( $PLU$ ) adalah:

$$PLU = 2 \cdot (n - 1) \cdot \left\{ \left( \frac{r}{\sin\left(\frac{\gamma}{2}\right)} - r \right) + \left( \frac{r}{\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)} - r \right) \right\}$$

#### 5.4. Total Panjang Lintasan Pahat Pengembangan *Contour Parallel*

Total panjang lintasan pahat pengembangan strategi *contour parallel* ( $TPLPCP$ ) untuk pemesinan bentuk rongga segitiga dapat dituliskan sebagai fungsi  $f(\alpha, \beta, \gamma, a, b, c, \rho, r)$  sebagai berikut:

$$TPLPCP = TPLSBP + PLM + PLU$$

## BAB 6

### CONTOH NUMERIK

#### 6.1. Contoh Numerik 1

Hasil perhitungan pada sebuah *pocket* segitiga sama sisi yang memiliki sudut ( $\alpha = \beta = \gamma = 60^\circ$ ) dengan panjang sisi ( $a, b, c$ ) = 10 cm dan jari-jari kelengkungan sudut dan radius pahat 10 mm. Panjang lintasan pahat strategi *direction parallel* adalah 388,231 mm dan strategi *contour parallel* adalah 251,28 mm. Pengembangan strategi *direction parallel* menghasilkan panjang lintasan pahat yang lebih pendek, yaitu sebesar 297,175 mm. Namun pengembangan strategi *contour parallel* tanpa *overlapping* memberikan lintasan pahat yang lebih panjang, yaitu sebesar 276,08 mm.

Berdasarkan hasil perhitungan pada Contoh Numerik 1 menunjukkan bahwa strategi pemesinan *contour parallel* dengan *overlapping* memberikan lintasan pahat yang paling pendek. Hal ini disebabkan oleh besarnya sudut batas rongga segitiga sama sehingga penentuan besarnya *overlapping* ( $\rho$ ) juga sama. *Scallop* atau daerah sisa hasil pemotongan diselesaikan oleh lintasan pahat ke ( $n+1$ ).

#### 6.2. Contoh numerik 2

*Pocket* segitiga memiliki sudut  $\alpha = 90^\circ$ ,  $\beta = 53^\circ$ ,  $\gamma = 37^\circ$  dengan panjang sisi  $a = 100$  mm,  $b = 80$  mm,  $c = 60$  mm. Hitung panjang lintasan pahat jika jari-jari kelengkungan sudut dan radius pahat = 5 mm. Strategi *direction parallel* menghasilkan panjang lintasan pahat = 407,846 mm dan strategi *contour parallel* dengan *overlapping* menghasilkan panjang lintasan pahat = 316,0176 mm. Hasil pengembangan strategi *direction parallel* mampu memberikan panjang lintasan yang lebih pendek yaitu sebesar 318,347 mm dan pengembangan strategi *contour parallel* tanpa *overlapping* juga mampu memberikan panjang lintasan pahat yang lebih pendek sebesar 296,578 mm.

Berdasarkan hasil perhitungan pada sebuah segitiga yang memiliki sudut-sudut yang tidak sama pada ketiga sisinya. Pengembangan strategi *direction parallel* mampu menghasilkan lintasan pahat yang lebih pendek daripada strategi *contour parallel* dengan *overlapping*. Hal ini disebabkan oleh besarnya *overlapping* ditentukan oleh sisi yang memiliki *scallop* terpanjang sedangkan setiap sisi memiliki panjang *scallop* yang tidak sama sehingga terdapat lintasan yang mengalami pemesinan berulang yang terlalu panjang.

Strategi *direction parallel* yang dikembangkan bukanlah strategi pemesinan yang paling cepat pada contoh kasus ini. Strategi pemesinan yang paling cepat adalah strategi pemesinan *contour parallel* tanpa *overlapping*. Strategi ini memiliki lintasan pahat yang paling pendek karena lintasan menaik yang digunakan merupakan lintasan miring terpanjang yang dibentuk oleh sudut terkecil. Sementara lintasan untuk menghilangkan sisa pemotongan adalah lintasan pada batas *pocket* yang memiliki sudut lebih besar.

## **BAB 7**

### **KESIMPULAN**

Berdasarkan hasil perhitungan pada contoh numerik 1 dan contoh numerik 2 diketahui bahwa strategi pemesinan *contour parallel* mampu memberikan lintasan pahat yang paling pendek. Strategi *contour parallel* dengan *overlapping* cocok untuk segitiga sama sisi ( $\alpha = \beta = \gamma = 60^\circ$ ), sedangkan strategi *contour parallel* tanpa *overlapping* cocok untuk segitiga yang memiliki sudut berlainan ( $\alpha \neq \beta \neq \gamma$ ). Pemilihan strategi untuk pemesinan bentuk rongga segitiga harus mempertimbangkan ukuran pahat dan bentuk segitiga untuk memperoleh lintasan pahat yang paling pendek.

## DAFTAR PUSTAKA

- Arkin, E.M.; Held, M.; Smith, C.L. (2000). "Optimization problems related to zigzag pocket machining." *Algorithmica*, 26 (2), 197-236.
- Arya, S.; Cheng, S.W.; Mount, D.M. (2001). "Approximation algorithm for multiple-tool milling." *International Journal of Computational Geometry & Applications*, 11 (3), 339-72.
- Bieterman, M.B., Sandstrom, D.R., (2003), "A Curvilinear Tool-Path Method for Pocket Machining", *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, Vol. 125.
- Chaeron, M. (2006). "Model analitis panjang lintasan pahat untuk pemesinan bentuk rongga (pocket) segitiga". *Jurnal Teknologi Industri*, 10 (3).
- Chaeron, M., Wahyuaji, B.S., Soepardi, A. (2019a). "Development of a direction-parallel strategy for shorting a tool path in the triangular pocket machining". *Jurnal Ilmiah Teknik Industri*, 18(1)
- Chaeron, M., Wahyuaji, B.S., Soepardi, A. (2019b). "Extension of An Analytical Model for A Contour-parallel Strategy in The Triangular Pocket Machining". Proceeding iMEC APCOMS
- Kramer, T.R. (1992). "Pocket milling with tool engagement detection." *Journal of Manufacturing System*, 11 (2), 114-123.
- Veeramani, D.; Gau, Y.S. (1997). "Selection of an optimal set of cutting-tools for a general triangular pocket." *International Journal of Production Research*, 35 (9), 2621-2638.

## PEMODELAN ANALITIS PANJANG LINTASAN PAHAT PEMESINAN BENTUK RONGGA SEGITIGA

Pemesinan bentuk rongga (*pocket*) merupakan operasi pemesinan yang paling banyak dijumpai dalam pemesinan part-part logam, yaitu membuang semua material yang terdapat di dalam suatu batas (*boundary*) tertutup pada permukaan datar benda kerja sampai ke kedalaman tertentu. Bentuk rongga merupakan fitur khusus yang banyak dijumpai pada proses pemesinan di perusahaan pembuat *mould* dan *dies*. Ada dua strategi yang digunakan pada pemesinan bentuk rongga yaitu: strategi *direction parallel* dan *contour parallel*. Kedua strategi tersebut akan dikembangkan dengan melakukan *trade off* antara 'daerah tak termesin' dan 'pemesinan berulang'.

Strategi pemesinan yang berbeda akan menghasilkan lintasan pahat yang berbeda pula sehingga panjang lintasan pahatnya juga berbeda. Untuk memudahkan dalam mengetahui panjang lintasan pahat pada masing-masing strategi, lalu dilakukan pemodelan analitis lintasan pahat menggunakan pendekatan trigonometri. Buku ini akan fokus pada bentuk rongga segitiga.

### **LPPM UPNVY PRESS**

UPN "Veteran" Yogyakarta  
LPPM Gd. Rektorat Lantai 4  
Jl. Padjajaran 104 (Lingkar Utara)  
Yogyakarta 55283  
Telp. (0274) 486733 ext. 154



# PEMODELAN ANALITIS PANJANG LINTASAN PAHAT PEMESINAN BENTUK RONGGA SEGITIGA

## ORIGINALITY REPORT

13%

SIMILARITY INDEX

10%

INTERNET SOURCES

10%

PUBLICATIONS

3%

STUDENT PAPERS

## PRIMARY SOURCES

1	<a href="https://repository.untad.ac.id">repository.untad.ac.id</a> Internet Source	3%
2	<a href="http://www.neliti.com">www.neliti.com</a> Internet Source	3%
3	Mochammad Chaeron, Budi Saputro Wahyuaji, Apriani Soepardi. "Development of Direction-Parallel Strategy for Shorting A Tool Path in The Triangular Pocket Machining", Jurnal Ilmiah Teknik Industri, 2019 Publication	3%
4	<a href="http://link.springer.com">link.springer.com</a> Internet Source	2%
5	<a href="http://matematikalpha.de">matematikalpha.de</a> Internet Source	2%

Exclude quotes On

Exclude matches < 2%

Exclude bibliography On