

# OPTIMASI JALAN PAHAT DAN ANALISIS BIAYA PRODUKSI PROSES PEMESINAN CNC LATHE PEMBUATAN PISTON MASTER CYLINDER REM SEPEDA MOTOR YAMAHA MENGGUNAKAN CAM

Nico Atmadio<sup>1</sup>, Anita Susilawati<sup>2</sup>

Jurusan Teknik Mesin, Universitas Riau, Kampus Bina Widya Panam, Pekanbaru, 28293

<sup>1</sup>nicoadmadio@gmail.com, <sup>2</sup>anitasusilawati@yahoo.com

## ABSTRACT

*Tool path optimization on CNC lathe machining can set up every movement of tools move optimally to minimize processing time of a workpiece. This research purpose is simulation of tool path the CNC lathe machining for the manufacture of piston master cylinder brake of Yamaha Motorcycle by using CAD/CAM software. First design was made geometry of piston master cylinder using Computer Aided Design (CAD). Tool path was designed into 3 variations of scheme with absolute and increment of programming system using Mastercam v9. Then it was simulated to get the most optimum processing time. Simulation result was obtained longitudinal scheme time for absolute coordinate system 14 minutes 45 seconds and increment coordinate system 14 minutes 5 seconds, surface to parallel scheme for absolute coordinate system 14 minutes 30 seconds and increment coordinate system 13 minutes 48 seconds, diametrical scheme for absolute coordinate system 17 minutes 39 seconds and increment coordinate system 17 minutes 12 Seconds. The optimal processing time for making the piston master cylinder brake of Yamaha Motorcycle used the toll path of surface to parallel increment coordinate system with production cost Rp. 6.912,81,-/pcs.*

*Keywords : Piston master cylinder, Tool Path, Absolut, Inkremen.*

## 1. Pendahuluan

CNC (*Computer Numerically Control*) merupakan pengembangan dari perkakas pemesian konvensional yang dikombinasikan dengan media kontrol komputer berupa program sehingga pengerjaannya dapat dilakukan dengan cepat, dan akurat. Untuk pemograman CNC dapat dilakukan dengan berbantuan *software CAD (Computer Aided Design)* dan *CAM (Computer Aided Manufacturing)*. Hal ini akan mempercepat waktu pengerjaan proses pemesian sehingga menurunkan biaya produksi yang mencakup dari biaya bahan baku, tenaga kerja sampai dengan biaya proses pemesiannya.

Maka dari itu, dengan memanfaatkan perkembangan ini, proses pemesian CNC masih bisa di optimalkan, yaitu dengan merancang jalan pahat yang digunakan untuk setiap pengerjaan pada pembuatan benda kerja. Jalan pahat (*tool path*) dapat dilakukan perancangan dengan menggunakan *software CAM* untuk mendapatkan waktu yang paling efisien dalam proses pembuatan suatu produk pada proses pemesian CNC.

Jalan pahat (*tool path*) merupakan tahap-tahapan gerak yang akan dilewati pahat pada permukaan benda kerja saat melakukan proses pemesian untuk menghasilkan geometri yang di

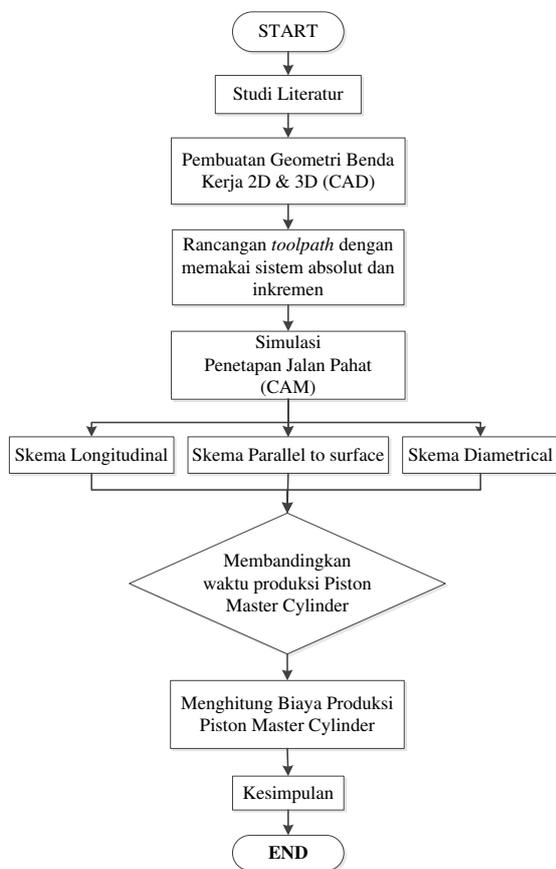
inginkan dari benda kerja. Dengan berbantuan *software CAM* dapat dilakukan perancangan untuk jalan pahat kemudian disimulasikan variasi rancangan jalan pahat (*toolpath*) untuk mendapatkan jalan pahat dan waktu yang paling optimal.

Sistem dan perangkat untuk menghasilkan jalan pahat (*toolpath*) pada mesin perkakas CNC dengan cara mengidentifikasi fitur geometris dari bagian model CAD untuk mengkondisikan prosedur proses (siklus mesin, sub program) dan memilih jalan pahat (*toolpath*) yang paling cocok [1]. Untuk meminimalisasi waktu proses pemesian dapat dilakukan dalam dua cara, yaitu meminimalisasi *toolpath parameters* dan mengoptimalkan *cutting parameters* [2]. Berdasarkan pengoptimalan jalan pahat mesin bubut cnc untuk pembuatan *Horizontal Arbor* terdapat 3 skema jalan pahat, yaitu longitudinal, diametrical dan *parallel to surface* [3].

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui jalan pahat yang optimal pada proses pemesian CNC *lathe* pembuatan piston *master cylinder* rem sepeda motor yamaha dengan membandingkan waktu proses pemesian serta biaya produksi yang dihasilkan *software MasterCAM V9*.

## 2. Metode

Pada penelitian pengoptimalan jalan pahat proses pemesinan CNC *lathe* untuk pembuatan piston *master cylinder* dengan menggunakan *software mastercam v9* terdapat beberapa tahapan. Penelitian ini dimulai dari mempelajari jalan pahat pada pemesinan CNC *lathe* serta *software mastercam v9*, pembuatan geometri benda kerja menggunakan *software autocad 2004*, penetapan sistem referensi jalan pahat dan perancangan jalan pahalnya kemudian dilakukan simulasi untuk membandingkan waktu proses setiap masing-masing rancangan jalan pahat untuk mendapat kan jalan pahat yang optimal, seperti terlihat pada Gambar 1.

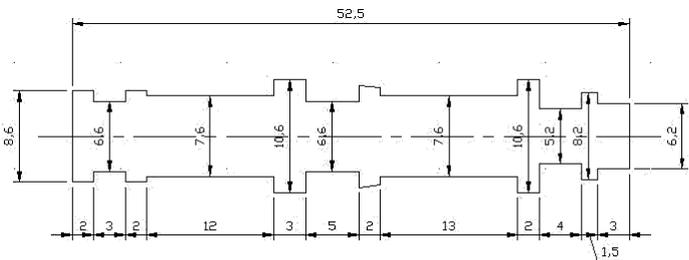


Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

### 2.1 CAD

CAD (*Computer Aided Design*) adalah suatu program komputer untuk menggambar suatu produk. CAD bisa berbentuk gambar 2D ataupun 3D. Keuntungan dari program komputer CAD ini untuk mempermudah dan mempercepat dalam membuat dan mengubah suatu gambar produk atau komponen [4]. CAD pada penelitian ini digunakan untuk mendesain geometri benda kerja yaitu piston *master cylinder* sepeda motor Yamaha, dapat

dilihat pada Gambar 2. Desain geometri benda kerja ini kemudian di ekspor ke *software mastercam v9* untuk dilakukan perancangan jalan pahat.



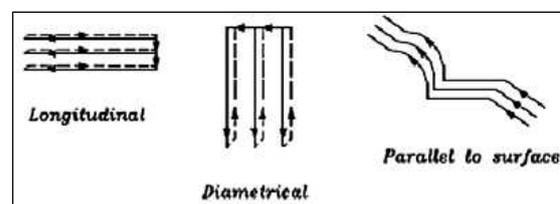
Gambar 2 Piston Master Cylinder 2D

### 2.2 Sistem pemograman CNC

Sistem pemograman yang digunakan pada penelitian ini yaitu pemograman absolut dan pemograman inkremen untuk masing-masing perancangan jalan pahat. Hal ini bertujuan untuk mengetahui perbedaan lintasan jalan pahat dari masing- masing perancangan jalan pahat itu sendiri serta perbedaan waktu yang dihasilkan. Pemograman absolut adalah pemrograman dalam menentukan titik koordinatnya selalu mengacu pada titik nol benda kerja. Sedangkan sistem pemrograman inkremental dikenal juga dengan sistem pemrograman berantai atau koordinat relative. Penentuan pergerakan alat potong dari titik satu ke titik berikutnya mengacu pada titik pemberhentian terakhir alat potong [5].

### 2.3 Optimasi Tool Path

Berdasarkan [6], pengoptimalan lintasan pahat ada tiga skema yang dilakukan untuk melakukan proses pemesinan untuk mendapatkan waktu yang optimal sehingga biaya produksi dapat berkurang yaitu *longitudinal*, sejajar permukaan dan *diametrical* seperti pada Gambar 3.



Gambar 3 Tool path schemes for turning processes

Jalan pahat (*tool path*) merupakan tahap-tahapan gerak pengerjaan yang akan dilewati pahat pada permukaan benda kerja saat melakukan proses pemesinan untuk menghasilkan geometri yang di

inginkan dari benda kerja. Jalan pahat inilah yang akan diterapkan pada perancangan menggunakan *software mastercam v9* dengan sistem pemrograman absolut dan pemrograman inkremen untuk masing-masing jalan pahat tersebut.

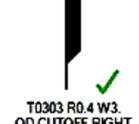
## 2.4 Perancangan Mastercam V9

*Computer Aided Manufacturing (CAM)* adalah pemakaian *software* pada media komputer yang mengkonversi rancangan teknik sampai produk akhir. Integrasi *Computer Aided Manufacture (CAM)* dengan sistem *Computer Aided Design* menghasilkan proses manufaktur yang lebih cepat dan lebih efisien. *Programmer CNC* akan menentukan operasi mesin dan sistem CAM yang akan membuat program CNC [7].

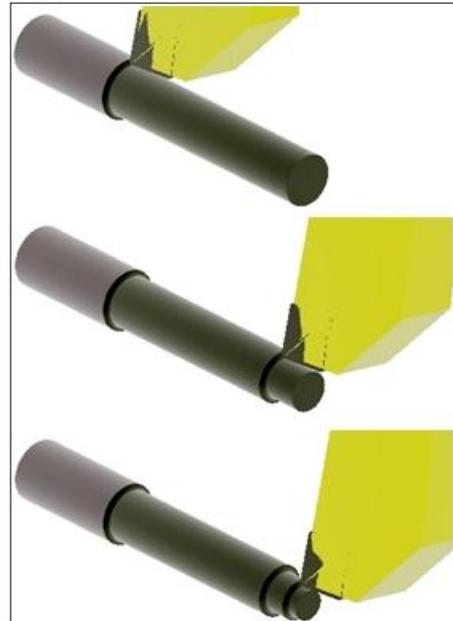
Perancangan optimasi jalan pahat pada proses pemesinan *CNC lathe* pada penelitian ini hanya dilakukan pada pengerjaan kasarnya (*roughing*). Untuk program perancangan penyelesaiannya dilanjutkan dengan proses *finishing*, *grooving*, *chamfering* dan *cutting*. Perancangan ini terdiri dari 3 skema dengan masing-masing skema menggunakan sistem pemrograman absolut dan inkremen dengan parameter pemesinan yang sama untuk masing-masing rancangan skema jalan pahat yang digunakan.

Perancangan pada penelitian ini menggunakan material yang digunakan Aluminium 6061, pahat karbida dengan parameter pemesinan yang digunakan sama untuk setiap skema seperti pada Tabel 1.

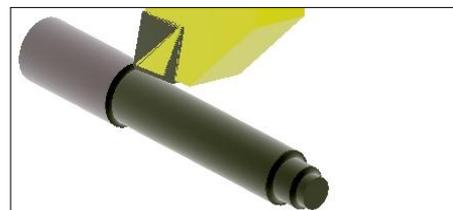
Tabel 1 Parameter Pemesinan

No	Proses Pengerjaan	Tools	Parameter pemesinan
1	<i>Facing, Roughing and Chamfering</i>		$n = 550 - 2200 \text{ rpm}$ $f = 0,25 \text{ mm/rev}$ $a = 0,01 - 2 \text{ mm}$
2	<i>Finishing</i>		$n = 550 - 2200 \text{ rpm}$ $f = 0,1 \text{ mm/rev}$
3	<i>Grooving</i>		$n = 302 - 1000 \text{ rpm}$ $f = 0,1 \text{ mm/rev}$
4	<i>Cutting</i>		$n = 302 - 1000 \text{ rpm}$ $f = 0,1 \text{ mm/rev}$

Setelah semua parameter pemesinan disesuaikan dan perancangan jalan pahat di tetapkan, kemudian disimulasikan. Simulasi masing-masing skema rancangan jalan pahat dapat dilihat pada Gambar 4 – 6.



Gambar 4 Skema *Longitudinal*



Gambar 5 Skema *Parallel to surface*



Gambar 6 Skema *Diametrical*

## 2.5 Perhitungan Ongkos Proses Produksi

Setelah perancangan jalan pahat menggunakan *software mastercam v9* untuk keseluruhan pengerjaan berdasarkan masing-masing skema selesai dan disimulasikan. Parameter waktu dari simulasi yang dihasilkan akan digunakan untuk melakukan perhitungan biaya produksi. Dalam melengkapi data-data untuk

melakukan perhitungan biaya produksi, kita harus menyesuaikan terlebih dahulu simulasi dari *software mastercam v9* dengan tipe mesin CNC *lathe* yang di digunakan dan daerah penggunaan mesin agar dapat mengetahui harga mesin, waktu penyusutan, daya mesin serta upah operator mesin tersebut.

Pada penelitian ini, peneliti mengambil sampel mesin *CNC Turning Machine Hyundai-KIA SKT160A FANUC Series Oi-TC* yang berada di Riau. Menurut [8] hal- hal yang perlu diperhitungkan dalam melakukan proses produksi dapat dilakukan menggunakan Persamaan 1 – 5 sebagai berikut:

1). Ongkos Material ( $C_M$ )

$$C_M = C_{M_0} + C_{M_i} \text{ (Rp/batang)} \quad (1)$$

Keterangan :

$C_{M_0}$  : Harga pembelian

$C_{M_i}$  : Ongkos angkut material (diasumsikan dalam %)

2). Tabel Data Harga dan Umur Mesin

Tabel 2 Data harga dan umur mesin

Mesin CNC	Harga	Penyusutan
Bubut	Rp. 500.000.000,-	10 tahun

3). Ongkos Sewa Mesin ( $C_f$ )

$$C_f = \frac{\text{Harga mesin}}{(\text{Penyusutan} \times 365 \text{ Hari} \times 24 \text{ Jam})} \text{ (Rp/Jam)} \quad (2)$$

4). Upah Opetaror ( $C_d$ )

$$C_d = \frac{\text{UMR}}{\text{Jam kerja} \times \text{Hari kerja perbulan}} \text{ (Rp/Jam)} \quad (3)$$

5). Ongkos Daya Mesin ( $C_i$ )

$$C_i = \text{Daya nominal mesin} \times \text{Harga/Kwh} \quad (4)$$

Tabel 3 Data daya mesin

Daya Nominal	Harga/ Kwh	Total
2,5 Kwh	Rp.961,-	Rp.2.402,5,-

6). Total Ongkos Operasi Mesin ( $C_j$ )

$$C_j = C_f + C_d + C_i \text{ (Rp/Produk)} \quad (5)$$

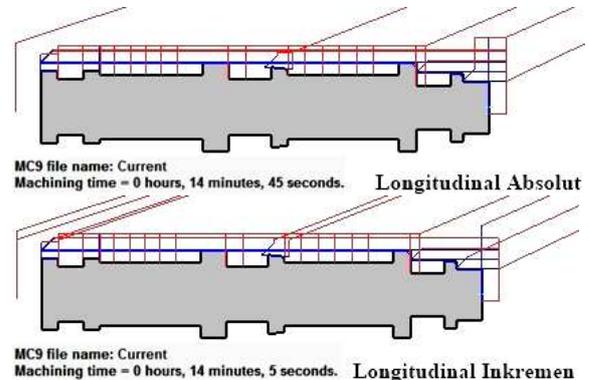
7). Total Ongkos Per Produk ( $C$ )

$$C = C_M + C_j \text{ (Rp/Produk)} \quad (6)$$

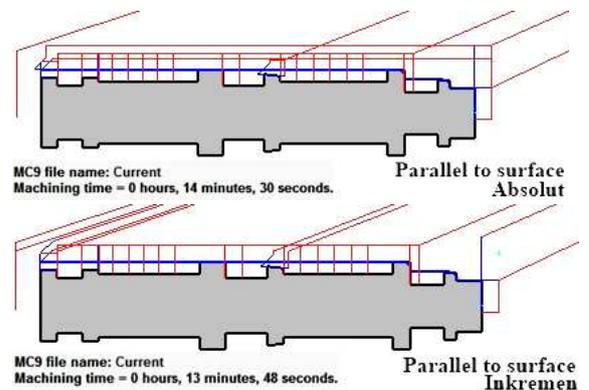
### 3. Hasil

Optimasi jalan pahat proses pemesinan CNC *lathe* untuk pembuatan piston *master Cylinder* dengan menggunakan *software Mastercam V9* ini berdasarkan 3 skema dengan sistem pemograman absolut dan inkremen didapatkan 6 varian data. Untuk keseluruhan proses pemesinannya dari

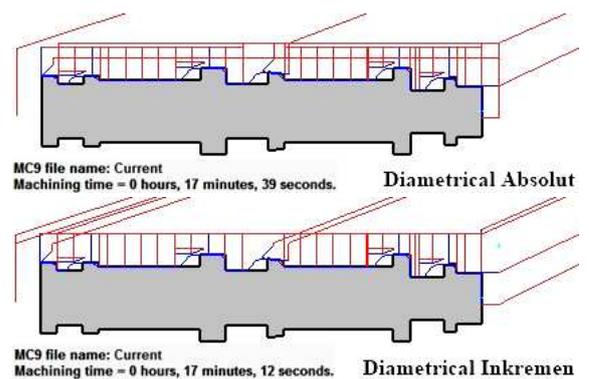
masing-masing skema jalan pahat dapat dilihat pada Gambar 7 – 9 dan waktu produksi yang dihasilkan dari keseluruhan proses pemesinan untuk masing-masing skema dapat dilihat pada Tabel 4.



Gambar 7 Lintasan Pahat Skema *Longitudinal*



Gambar 8 Lintasan Pahat Skema *Parallel to surface*



Gambar 9 Lintasan Pahat Skema *Diametrical*

Tabel 4 Waktu Produksi

No	Skema Jalan Pahat	MasterCAM V9	
		Absolut	Inkremen
1	<i>Longitudinal</i>	14menit 45s	14menit 5s
2	<i>Parallel To Surface</i>	14menit 30s	13menit 48s
3	<i>Diametrical</i>	17menit 39s	17menit 12s

Setelah waktu produksi diperoleh, persiapan awal yang dilakukan untuk menghitung biaya produksi adalah sebagai berikut.

1). Ongkos Material ( $C_M$ )

Harga material Aluminium dipasaran berdasarkan kilogram berkisar Rp. 100.000,-/Kg. Bahan aluminium yang digunakan yaitu  $\varnothing\frac{1}{2}$ 'x 52.5 mm dengan berat 18 gram. Untuk ongkos material dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 1 sebagai berikut.

$$\begin{aligned} C_M &= C_{M_0} + C_{M_i} \text{ (diasumsikan 10\% } C_{M_0}) \\ &= (\text{Harga/gram} \times \text{Berat material}) + (10\% C_{M_0}) \\ &= (\text{Rp.100/ gram} \times 18 \text{ gram}) + (10\% C_{M_0}) \\ &= \text{Rp. 1.800,-} + (10\% \text{ Rp. 1.800,-}) \\ &= \text{Rp. 1.800,-} + \text{Rp. 180,-} \\ &= \text{Rp. 1.980,-} \end{aligned}$$

2). Ongkos Sewa Mesin Bubut CNC ( $C_f$ )

Berdasarkan Tabel 2, untuk ongkos sewa mesin bubut CNC dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 2 sebagai berikut t.

$$\begin{aligned} C_f &= \text{Rp. 500.000.000,-} / (10 \text{ tahun} \times 365 \text{ hari} \times 24 \text{ jam}) \\ &= \text{Rp. 5.707,76,-} / \text{jam} \end{aligned}$$

3). Upah Opetaror ( $C_d$ )

Upah Minimum Regional kota seperti Pekanbaru tahun 2017 sebesar Rp. 2.352.570,- untuk upah operator mesin dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3 sebagai berikut.

$$\begin{aligned} C_d &= \frac{\text{UMR}}{8 \text{ jam} \times 22 \text{ hari}} = \frac{\text{Rp. 2.352.570,-}}{8 \text{ jam} \times 22 \text{ hari}} \\ &= \text{Rp.13.336,87,-} / \text{jam} \end{aligned}$$

4). Ongkos Daya Mesin ( $C_i$ )

Berdasarkan Tabel 3, untuk ongkos sewa mesin bubut CNC dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 4 sebagai berikut.

$$\begin{aligned} C_i &= \text{Daya nominal mesin CNC} \times \text{Harga Per Kwh} \\ &= 2,5 \text{ Kwh} \times \text{Rp.961,-} \\ &= \text{Rp. 2.402,5,-} / \text{jam} \end{aligned}$$

5). Total Ongkos Operasi Mesin ( $C_j$ )

Total ongkos operasi mesin dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 5 sebagai berikut.

$$\begin{aligned} C_j &= C_f + C_d + C_i \\ &= \text{Rp.5.707,76,-} + \text{Rp.13.336,87,-} + \text{Rp. 2.402,5,-} \\ &= \text{Rp. 21.447,13,-} / \text{jam} \\ &= \text{Rp. 357,45,-} / \text{menit} \end{aligned}$$

Berdasarkan waktu produksi yang diperoleh menggunakan software Mastercam V9 seperti pada Tabel 4, maka dapat dihitung biaya produksi untuk

masing-masing skema dengan menggunakan Persamaan 6 adalah sebagai berikut.

1). Skema *Longitudinal*

$$\begin{aligned} C_{Absolut} &= C_M + (C_j \times 14 \text{menit} 45 \text{detik}) \\ &= \text{Rp. 1.980,-} + (\text{Rp. 357,45,-} / \text{menit} \times 14,75 \text{ menit}) \\ &= \text{Rp. 1.980,-} + \text{Rp. 5.272,38,-} \\ &= \text{Rp. 7.252,38,-} / \text{pcs} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_{Inkremen} &= C_M + (C_j \times 14 \text{menit} 5 \text{detik}) \\ &= \text{Rp. 1.980,-} + (\text{Rp. 357,45,-} / \text{menit} \times 14,08 \text{ menit}) \\ &= \text{Rp. 1.980,-} + \text{Rp. 5.032,89,-} \\ &= \text{Rp. 7.012,89,-} / \text{pcs} \end{aligned}$$

2). Skema *Parallel to surface*

$$\begin{aligned} C_{Absolut} &= C_M + (C_j \times 14 \text{menit} 30 \text{detik}) \\ &= \text{Rp. 1.980,-} + (\text{Rp. 357,45,-} / \text{menit} \times 14,5 \text{ menit}) \\ &= \text{Rp. 1.980,-} + \text{Rp.5.183,03,-} \\ &= \text{Rp. 7.163,03,-} / \text{pcs} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_{Inkremen} &= C_M + (C_j \times 13 \text{menit} 48 \text{detik}) \\ &= \text{Rp. 1.980,-} + (\text{Rp. 357,45,-} / \text{menit} \times 13,8 \text{ menit}) \\ &= \text{Rp. 1.980,-} + \text{Rp.4.932,81,-} \\ &= \text{Rp. 6.912,81,-} / \text{pcs} \end{aligned}$$

3). Skema *Diametrical*

$$\begin{aligned} C_{Absolut} &= C_M + (C_j \times 17 \text{menit} 39 \text{detik}) \\ &= \text{Rp. 1.980,-} + (\text{Rp. 357,45,-} / \text{menit} \times 17,65 \text{ menit}) \\ &= \text{Rp. 1.980,-} + \text{Rp.6.308,99,-} \\ &= \text{Rp. 8.288,99,-} / \text{pcs} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_{Inkremen} &= C_M + (C_j \times 17 \text{menit} 12 \text{detik}) \\ &= \text{Rp. 1.980,-} + (\text{Rp. 357,45,-} / \text{menit} \times 17,2 \text{ menit}) \\ &= \text{Rp. 1.980,-} + \text{Rp.6.148,14,-} \\ &= \text{Rp. 8.128,14,-} / \text{pcs} \end{aligned}$$

Jalan pahat yang optimal pada proses pemesinan CNC *lathe* untuk pembuatan piston *master cylinder* rem sepeda motor yamaha menggunakan *software mastercam v9* didapat pada skema *parallel to surface* sistem pemrograman inkremen dengan waktu produksi keseluruhan proses pengerjaan 13 menit 48 detik dengan biaya produksi yaitu Rp. 6.912,81,-/pcs.

4. Pembahasan

Variasi lintasan pahat (*toolpath*) pada proses pemesinan CNC *lathe* untuk membuat piston *master cylinder* rem sepeda motor Yamaha ini

hanya dilakukan pada pengerjaan kasarnya (*roughing*). Hal ini dibatasi oleh bentuk geometri dari benda kerja dengan *tool* yang digunakan yang tidak memungkinkan untuk pengerjaan *roughing* ini dilakukan untuk keseluruhan proses pembuatan benda kerja tersebut.

Pada sistem pemograman absolut titik referensinya berdasarkan titik 0 *tools*, sedangkan pada sistem pemograman inkremen titik referensinya berdasarkan titik terakhir *tools* dalam setiap pengerjaannya sehingga waktu proses yang dihasilkan pada sistem pemograman ini lebih cepat dibandingkan sistem pemograman absolut.

Berdasarkan perancangan 3 skema menggunakan *software Mastercam V9* dengan skema sistem pemograman absolut dan pemograman inkremen, simulasi pada *software* menghasilkan waktu proses produksi yaitu pada skema *longitudinal* dengan 3 langkah jalan pahat untuk proses pengerjaan kasar (*roughing*) memanjang untuk *absolut* 14 menit 45 detik dan *inkremen* 14 menit 5 detik, skema *parallel to surface* dengan 1 langkah jalan pahat untuk proses pengerjaan kasar (*roughing*) untuk *absolut* 14 menit 30 detik dan *inkremen* 13 menit 48 detik, skema *diametrical* untuk *absolut* 17 menit 39 detik dan *inkremen* 17 menit 12 detik dengan pengerjaan *rough* tegak lurus terhadap sumbu benda kerja menggunakan pahat alur (*groove*) untuk masing-masing jalan pahat tanpa dilakukan pengerjaan bubut memanjang terlebih dahulu.

## 5. Simpulan

Proses pemesinan *cnc lathe* untuk pembuatan piston *master cylinder* rem sepeda motor yamaha berdasarkan optimasi jalan pahat menggunakan *Mastercam V9* dapat disimpulkan sebagai berikut:

- 1). Optimasi jalan pahat pada penelitian ini yang paling optimal yaitu menggunakan skema *surface to parallel* sistem pemograman inkremen.
- 2). Berdasarkan simulasi didapatkan skema *longitudinal* dengan 3 langkah jalan pahat untuk proses pengerjaan kasar (*roughing*) memanjang untuk *absolut* dan *inkremen*, skema *parallel to surface* dengan 1 langkah jalan pahat untuk proses pengerjaan kasar (*roughing*) untuk *absolut* dan *inkremen*, skema *diametrical* dengan pengerjaan *rough* tegak lurus terhadap sumbu benda kerja menggunakan pahat alur (*groove*) pada sepanjang geometri benda kerja tanpa

dilakukan pengerjaan bubut memanjang terlebih dahulu untuk *absolut* dan *inkremen*.

- 3). Waktu proses tercepat dalam *software mastercam v9* adalah 13 menit 48 detik pada skema lintasan pahat (*tool path*) *parallel to surface* sistem pemograman Inkremen dengan biaya produksi Rp. 6.912,81,-/pcs.
- 4). Sistem pemograman inkremen lebih optimal dibandingkan sistem pemograman absolut.

## Daftar Pustaka

- [1] Kadono, M. 2001. Tool Path Data Generation Apparatus for NC Machine Tool and Numerical Controller. *Patent*. Nr. US2001/0000805 A1.
- [2] Pinar, A.M. dan. A. Gullu. 2005. Time Minimization of CNC Part Programs in a Vertical Machining Center in Terms of Tool Path and Cutting Parameter Criteria. *Turkish Journal of Engineering & Environmental Sciences*. Vol. 29: 75-88.
- [3] Susilawati, A. 2009. Tool Path Optimization for CNC Turning Machine in Development of Horizontal Arbor. *The International Seminar on Science and Technology (ISST 2009)*. The Hills Hotel, Bukittinggi, West Sumatera, Indonesia October 24-25, 2009.
- [4] Ganjar, D. 2012. *Pemograman CNC dan Aplikasi di dunia Industri*. Informatika. Bandung.
- [5] Sumbodo, W. 2008. *Teknik Produksi Mesin Industri Jilid II Untuk Sekolah Menengah Kejuruan*. Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan. Jakarta.
- [6] Sharmazanashvili A.N. & Megrelishvili L., 1998, Feature-based Approach in CAD/CAM/CNC Integration, *Proceedings of the Tools and Methods of Competitive Engineering*.
- [7] Handayani, D. 2005. Computer Aided Design / Computer Aided Manufactur [CAD/CAM]. *Jurnal Teknologi Informasi DINAMIK*. Vol X No. 3 : 143-149.
- [8] Rochim, T. (1993). *Teori dan Teknologi Proses Pemesinan*. Institut Teknologi Bandung. Bandung.