

Editibility Pemrograman CNC-Milling dengan Memperhatikan Pematangan Ekonomik Sebagai Pengurangan Waktu Proses pada CNC Milling Center Machine

Susy Susmartini, Lobes Herdiman*

Jurusan Teknik Industri, Universitas Sebelas Maret, Surakarta

Abstract

In numerical control, there are five reference angle points in machining of workpart surface that be done at the time of determining zero setting of cartesian scale. This process can be classified as surface milling work and cylinder milling work. In generally, workpart machining processes begin using flat end-cutter tools that is fixed with wide of surface machining like make simple of clamp direction with drive surface on reference points and check surface on processing plan of workpart geometric. This paper use two approaches based on geometric differential and analytical theory, namely (a) left hand offset or G54 and (b) right hand offset or G55 from reference angle points of workpart on drive surface. This application describes how to make tools exchange algorithm on CNC milling programming based on final point of tools at workpart machining processes.

Keywords: *left-hand offset, right-hand offset, reference points*

1. Latar Belakang

Dengan kemajuan teknologi proses, maka dalam waktu yang relatif singkat hampir semua jenis mesin perkakas akan merupakan jenis otomatis dengan kontrol numerik (*Computerized Numerical Control*) yang akan bekerja sesuai dengan program atau urutan perintah logik (*NC programs*). Selain itu, pemrogram harus juga melakukan penyiapan berbagai jenis pahat pada sistem penyimpanan dan penggantian pada mesin NC (*Automatic Tools Changer*) dan mungkin juga merancang atau menyiapkan berbagai jenis alat bantu (*fixture*) untuk bermacam-macam benda kerja sesuai dengan peralatan tambahan yang berupa sistem pengganti benda kerja (*Automatic Pallets Changer*). Mesin perkakas NC memang lebih fleksibel dan lebih produktif dibandingkan dengan mesin perkakas biasa, asal digunakan dengan benar, yang berarti pemakaiannya perlu direncanakan dengan lebih baik.

Optimisasi kondisi pemesinan diperlukan suatu algoritma (*algorithm*) yaitu urutan langkah logik yang menggunakan suatu model matematik untuk menghitung harga paling baik atau optimal bagi variabel proses pemesinan sehingga tujuan proses pemesinan dapat dipenuhi. Tujuan atau obyektif yang akan dicapai pada *paper* ini, antara lain :

1. Menghitung kecepatan produksi yang paling tinggi atau produktif, yang memberikan kondisi untuk menghasilkan produk secepat mungkin.
2. Menentukan penggantian pahat yang dipilih sesuai dengan pekerjaan yang akan dilakukan dari serangkaian tugas pada *layer geometry base-feature* yang diproses.

* *Correspondence:* E-mail: lobesh@yahoo.com

Sedangkan manfaat dari pemahaman *editability* pemrograman CNC-Milling yang merupakan korelasi (hubungan fungsional) antara waktu proses pengerjaan dengan penggantian pahat berdasarkan urutan proses, maka dapat diuraikan manfaatnya yaitu:

1. Efisiensi pemesinan untuk kondisi pemotongan yang telah dihitung berdasarkan daya pemesinan yaitu sewaktu proses pemotongan berlangsung pada kondisi yang direncanakan.
2. Adanya fleksibilitas dari kondisi pemesinan terhadap kemungkinan perubahan data pemesinan (data umur pahat dan gaya potong spesifik referensi), serta strategi penerapan kondisi pemesinan optimal.

2. Tinjauan Pustaka

Suatu langkah proses pemesinan yang optimal mulai dari penentuan kondisi optimal teoritik, kondisi optimal praktis dengan memperhitungkan kendala proses, sampai dengan penerapan dan penyesuaian sesuai dengan kondisi pemesinan yang sebenarnya, untuk membuat satu macam produk (komponen mesin) diperlukan beberapa langkah proses pemesinan.

Kecepatan Potong Pada Proses Milling

Kecepatan potong dari sebuah pemotong milling ditentukan oleh kecepatan keliling atau permukaan dari pemotong. Gerakan benda kerja melintasi pemotong tidak ditinjau dalam perhitungan ini, kecepatan potong dinyatakan dengan persamaan berikut :

$$v = \frac{\pi d n}{1000} \quad (1)$$

dengan, v : kecepatan potong, m/men

d : diameter pemotong, mm

n : putaran spindel per menit

Daya potong merupakan daya potong rata-rata yang harganya diketahui berdasarkan rata-rata harga momen puntir yang berfluktuasi sebagaimana yang dijelaskan pada rumusan dibawah ini.

$$N_{cm} = \frac{M_{tm} 2 \pi n}{60.000.000}; kW \quad (2)$$

dengan, M_{tm} : momen puntir rata-rata, N-mm

n : putaran spindel, r/ min

Komponen waktu untuk menghasilkan produk adalah sebagai berikut :

1. Komponen waktu yang dipengaruhi oleh variabel proses

Waktu penggantian pahat yang dibagi rata untuk sejumlah produk yang dihasilkan sejak pahat yang baru dipasang sampai pahat tersebut harus diganti karena akibat aus.

$$t_c = \frac{l_t}{v_f} = \frac{l_t}{n f}; \text{min/ produk} \quad (3)$$

dengan, t_c : waktu pemotongan sesungguhnya (*real cutting time*)

l_t : panjang permesinan; mm

v_f : kecepatan makan, mm/ min

$$\text{sehingga, } t_d = \frac{l_c}{T}; \text{min/ produk} \quad (4)$$

dengan, t_d : waktu penggantian atau pemasangan pahat, min (*tool changing time*)

T : umur pahat, min

$\frac{t_d}{T}$: bagian dari umur pahat yang digunakan untuk menyelesaikan satu produk

(harus diusahakan lebih kecil dari 1)

2. Komponen waktu *nonproduktif*

Dengan memperhatikan ukuran dan berat benda kerja, maka waktu *non produktif*, yaitu :

$$\text{dan } t_a = t_{LW} + t_{AT} + t_{RT} + t_{UV} + \frac{t_s}{n_t}; \text{ min/ produk} \quad (5)$$

dengan, t_a : waktu nonproduktif (*auxiliary time*); min/ produk

t_{LW} : waktu pemasangan benda kerja (*time for loading the workpiece*); min/ produk

t_{AT} : waktu penyiapan, yaitu waktu yang diperlukan untuk membawa atau menggerakkan pahat dari posisi mulai pada posisi siap untuk memotong (*advancing time*); min/ produk

t_{RT} : waktu pengakhiran, yaitu waktu yang diperlukan untuk membawa atau menggerakkan pahat kembali ke posisi mula (*retracting time*); min/ produk

t_{UV} : waktu pengambilan produk (*time for unloading the workpiece*); min/ produk

$\frac{t_s}{n_t}$: bagian dari waktu penyiapan mesin beserta perlengkapannya (*fixture and attachments*) yang dibagi rata untuk sejumlah produk yang direncanakan

untuk dibuat saat itu (n , *lot size*)

dengan demikian waktu permesinan per produk rata-rata adalah :

$$t_m = t_a + t_c + t_d \frac{t_c}{T}; \text{ min/ produk} \quad (6)$$

Sebagaimana yang telah dibahas, ongkos produksi dapat ditulis sebagai berikut :

$$C_p = C_r + C_m + C_e$$

$$= C_r + c_m t_m + c_e \frac{t_c}{T}$$

$$= C_r + c_m \left(t_a + t_c + t_d \frac{t_c}{T} \right) + c_e \frac{t_c}{T}$$

$$= C_r + c_m \left(t_a + t_c + t_d \frac{t_c}{T} + \frac{c_e}{c_m} \frac{t_c}{T} \right)$$

$$= C_r + c_m \left[t_a + t_c \left\{ 1 + \frac{1}{T} \left[t_d + \frac{c_e}{c_m} \right] \right\} \right]$$

sehingga,

$$C_p = C_r + c_m \left[t_a + t_c \left(1 + \frac{K_1}{T} \right) \right] \quad (7)$$

dengan, C_r : ongkos perkakas dan persiapan; (Rp/ produk)

C_m : ongkos operasi pemesinan per menit; Rp/ menit

t_a : waktu nonproduktif; menit

$$K_1 : t_d + c_c / c_m$$

t_d : waktu yang diperlukan untuk mengganti pahat, mesin tidak dapat bekerja. Bilamana digunakan mesin NC dan penggantian pahat ini dilakukan sewaktu pahat disimpan pada sistem ATC-nya (mesin tetap bekerja), maka t_d dianggap nol; menit

C_c : ongkos mata potong pahat; Rp/ mata potong

Sedangkan variabel yang ditulis diatas tidak mengandung atau dipengaruhi oleh variabel proses pemesinan. Selanjutnya dua variabel berikut dipengaruhi oleh kondisi pemotongan, yaitu :

T_c : waktu pemotongan; menit

$$: \frac{l_t}{v_f} - \frac{l_t}{(nf)} - \frac{l_t \pi d}{1000 f v} - K_2 v^{-1} \tag{8}$$

Penentuan Titik Reference Pada Base-Feature Benda Kerja

Waktu pemotongan dapat diturunkan dengan merencanakan titik *reference* yang tepat terhadap *base-feature* benda kerja. Penetapan titik *reference* juga termasuk mempertimbangkan waktu penggantian pahat (dengan pahat yang akan dipakai pada langkah pemesinan yang dimaksud). Hal ini berlaku bagi mesin perkakas NC, sebab pada umumnya benda kerja diselesaikan dalam beberapa langkah pemesinan tanpa mengambilnya dari mekanisme pemegang benda kerja (*chuck, fixture*) dan bersamaan dengan itu t_{LW} dan t_{UW} perlu dibagi dengan jumlah langkah pemesinan.

Titik-titik *reference* mesin CNC, penghitungan atau kompensasi yang meliputi (a) titik *reference* R, (b) titik nol mesin M, (c) titik *reference* pemegang alat potong N dan (d) titik nol benda kerja W. Titik *reference* R, titik *reference* dimaksudkan untuk sinkronisasi sistem pengukuran. Setelah menghidupkan mesin, titik *reference* harus dicapai. Kriteria penempatan posisi titik *reference* seyogyanya ditempatkan diluar ruang kerja. Dengan demikian memungkinkan untuk mencapainya, meski benda kerja atau alat potong terpasang.

Waktu pemotongan aktual berbanding terbalik dengan parameter pemotongan yang meliputi kecepatan potong, pemakanan dan kedalaman potong. Hal ini dimaksudkan yaitu bila kecepatan potong dan pemakanan dinaikkan serta kedalaman potong dipertebal, maka waktu penyelesaian yang diperlukan akan menurun.

Penugasan Tools Traveler Distance pada Proses Milling

		Jenis Pahat				
		1	2	3	4 n
Sekelompok Proses	1	C_{11}	C_{12}	C_{13}	C_{14} C_{1n}
	2	C_{21}	C_{22}	C_{23}	C_{24} C_{2n}
	3	C_{31}	C_{32}	C_{33}	C_{34} C_{3n}
	:	:				
	m	C_{m1}	C_{m2}	C_{m3}	C_{m4} C_{mn}

Gambar 1. Matrik pelayanan antara jenis pahat dengan sekelompok proses

Maksud dari *tools traveler distance* adalah menetapkan jumlah pahat yang ditugaskan terhadap sejumlah proses, sedemikian sehingga didapat waktu jarak tempuh secara keseluruhan yang minim yang mengakibatkan produktifitas akan meningkat. Masalah *tools traveler distance* dapat dijelaskan dengan mudah oleh bentuk matrik segi empat, dimana baris-barisnya menunjukkan pahat yang dilibatkan atau digunakan dan kolom-kolom menunjukkan proses-proses yang akan dikerjakan. Dengan demikian diasumsikan bahwa $m = n$, secara matematis, model *tools traveler distance* ini dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$X_{ij} \begin{cases} 0, & \text{jika pekerjaan ke-}i \text{ tidak dinyatakan pada obyek ke-}j \\ 1, & \text{jika pekerjaan ke-}i \text{ ditugaskan pada obyek ke-}j \end{cases} \quad (9)$$

Dengan demikian, model matematis dari *tools traveler distance*, yaitu :

$$\text{Minimum} \Rightarrow \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij} X_{ij}$$

Dengan batasan :

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} = 1, \quad j = 1, 2, 3, \dots, n \quad (10)$$

$$\sum_{i=1}^m X_{ij} = 1, \quad j = 1, 2, 3, \dots, n$$

dan $X_{ij} \geq 0$ dengan C_{ij} adalah tetapan yang diketahui

3. Pemecahan Masalah

Penyelesaian mengenai *editability* pemrograman CNC *Milling* dengan memperhatikan pemotongan ekonomik sebagai pengurangan waktu proses pada CNC *Milling Center Machine*, dimana pembuatan struktur program CNC *Milling* menggunakan perangkat aplikasi, yaitu :

- a. *Software* desain CAD : Emco draft versi 7.54
- b. CAM untuk CNC *Milling* : Emco draft versi 7.54
- c. Bahasa pemrograman : Emcotronic
- d. Tempat : Laboratorium Perancangan dan Perencanaan Produk
- e. Bahan atau material : Duralium (Al) ukuran panjang 100 mm, lebar 50 mm, tebal 20 mm.
- f. *Clamping device* : *Hydraulic machine vice*

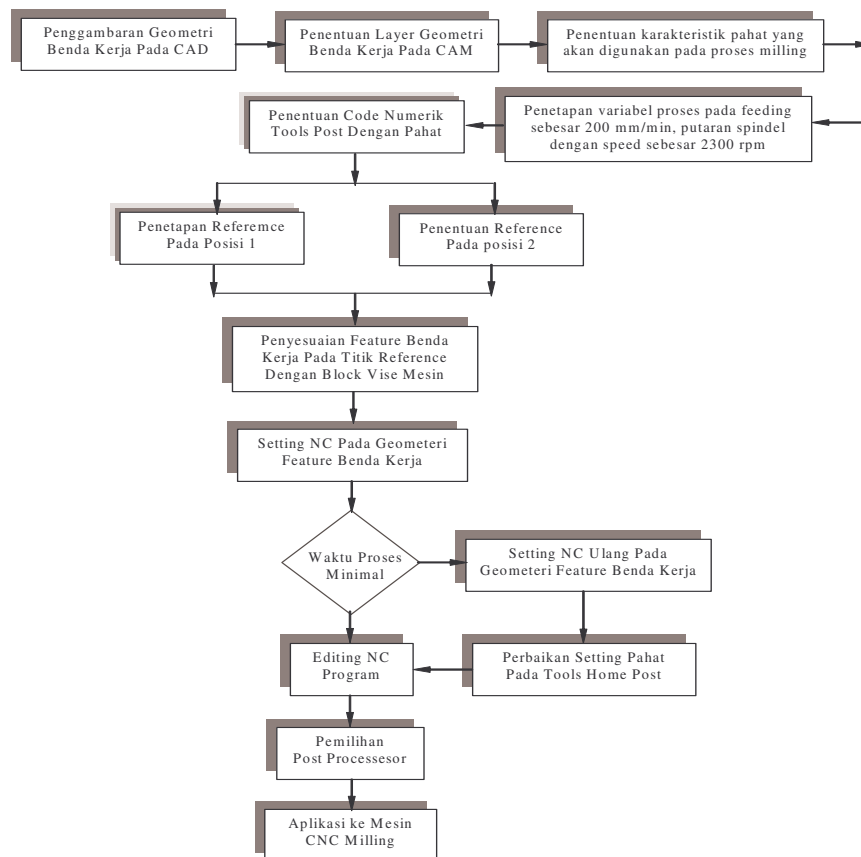
Pemecahan masalah yang dilakukan terhadap obyek *editability* pemrograman CNC *Milling* dengan memperhatikan pemotongan ekonomik sebagai pengurangan waktu proses pada CNC *Milling Center Machine* berawal dari identifikasi permasalahan yang sering terjadi atau berlaku umum dari seorang programer CNC dalam menentukan titik *reference*. Penempatan titik *reference* pada *base-feature* benda lebih banyak memandang sebagai faktor keterbiasaan programer, seperti halnya penempatan pojok kiri bawah dari benda kerja sebagai posisi 1 atau dikenal dengan kode numerik G54. Faktor keterbiasaan ini menjadikan langkah urutan program menjadi tidak efektif lagi untuk *base-feature* benda kerja dengan tingkat geometri cukup kompleks. Dalam identifikasi awal ditentukan bahwa kondisi awal yang diukur berdasarkan kode numerik G54 pada *base-feature* benda kerja dengan geometri yang cukup kompleks pada penempatan di *clamping machine vice*.

Sedangkan pembandingan kinerja untuk mengukur sejauhmana keefektifan dari penempatan dalam penentuan titik *reference* adalah menilai waktu proses yang diselesaikan selama penyelesaian pengerjaan benda kerja, dimana sebagai pembandingan hasil pengukuran titik *reference* benda kerja pada pergeseran posisi 2 dengan kode numerik G55 atau penempatan posisi pojok kanan atas benda kerja. Ukuran yang digunakan dalam pembuatan program CNC-*milling* memakai sistem *absolut*, *feeding* yang digunakan sebesar 200 mm/min, *speed* yang dipakai 2300 rpm dan putaran *spindel* pada searah jarum jam (*clock wise*). Pada permasalahan ini data informasi *tools* yang digunakan untuk memproses pembuatan *feature* benda kerja seperti yang tercantum pada tabel 1 dibawah ini.

Tabel 1. Pahat dan diameter pahat yang digunakan

Nomor Tools Post	Jenis Pahat	Diameter Pahat (Ø)
T606	Slotting tool	10 mm
T707	End mill	16 mm
T505	Slotting tool	8 mm
T4040	Angular mill	16 mm
T1717	Ball cutter	4 mm

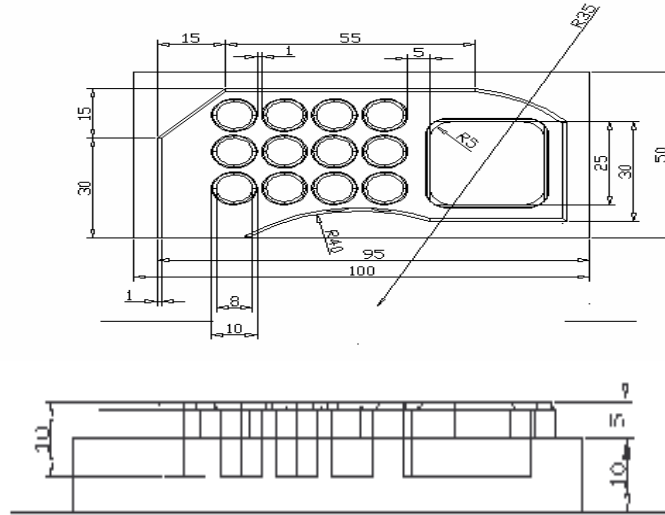
Pendekatan pemecahan masalah dapat dijelaskan pada diagram dibawah ini seperti berikut :



Gambar 2. Diagram alir pemecahan masalah

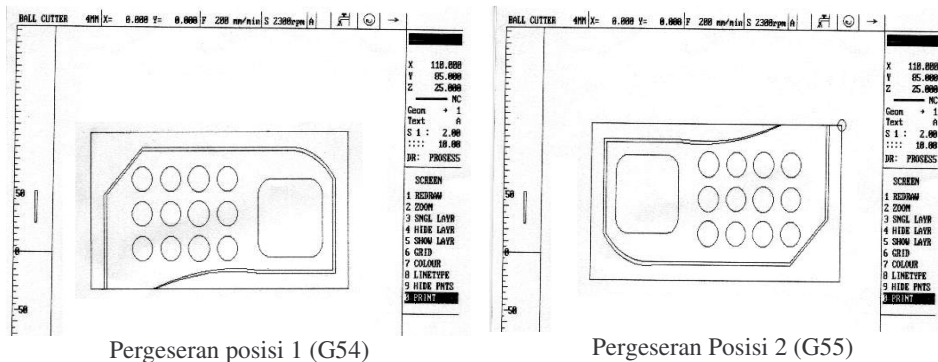
4. Pembahasan

Gambar teknik diperlukan dalam menggambarkan suatu produk atau komponen dari *base-feature* beserta bentuk dan ukuran bahan yang ada, maka dapat direncanakan langkah pengerjaan dengan urutan yang paling baik (logik). Gambar kerja yang digunakan sebagai pengukuran terhadap pengurangan waktu proses seperti pada gambar 3 dibawah ini.



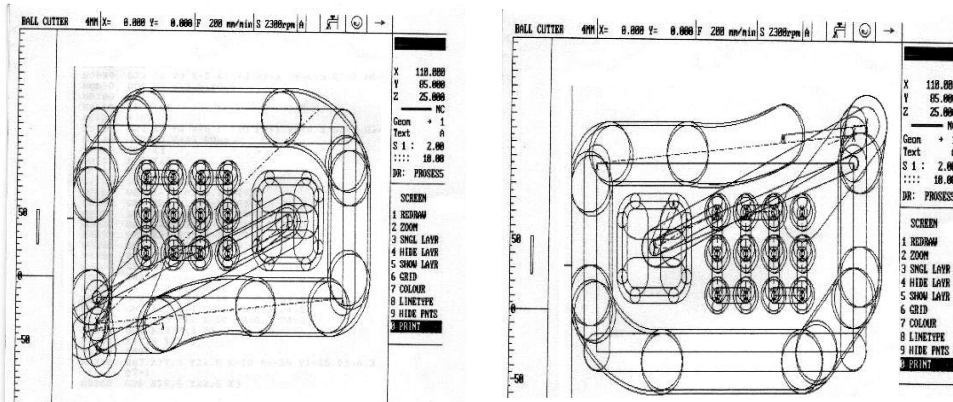
Gambar 3. Base-feature benda kerja (sebagai eksperimen)

Penggambaran desain base-feature benda kerja yang akan dirancang pada CAD pada fasilitas Emco draft 7.45 antara lain pendefinisian titik *reference* awal gambar, menggambar garis sumbu, menggambar *contour* benda kerja yang berupa garis lurus, menggambar *contour* benda kerja yang berupa garis lengkung, membuat *fillet* dan membuat *chamfer*, seperti gambar 6 dibawah ini. Posisi benda kerja dengan *block vise* dijelaskan bahwa posisi letak benda kerja terhadap posisi pergeseran 1 atau G54 sebagai *left hand offset (below reference point)* atupun posisi pergeseran 2 atau G55 sebagai *right hand offset (above reference point)* seperti yang digambarkan pada gambar 4 dibawah ini.



Gambar 4. Posisi titik *reference* benda kerja pada G54 ataupun G55

Time studi dari pergerakan pahat sebagai *tools traveler distance* ditentukan berdasarkan posisi *layer geometri base-feature* benda kerja dengan posisi pergeseran pahat terdekat dari tools home post. Hasil waktu proses pengerjaan geometri *contour* proses pada benda kerja dari *tools traveler distance* ini dibandingkan antara pergerakan pahat pada posisi 1 dan pergerakan pahat pada posisi 2 dari titik *reference* yang berbeda pada benda kerja, seperti dijelaskan pada gambar 5 di bawah ini.



Gambar 5. Pergerakan pahat pada *contour* geometri benda kerja

Bahasa program kendali numerik (NC) untuk pergerakan pahat dengan pergeseran posisi 1 atau *left hand offset* (G54) diperoleh bahasa geometri pada bahasa numerik yang dijelaskan pada tabel 2 dibawah ini.

Tabel 2. Waktu pemesinan pada posisi pergeseran 1 (G54)

Program : PROSES2.SD2		Page : 1
Time study		Machining time
N0010	G55 G56 G40 G67 F11	0:00:00
N0020	G94 G90 F200 S2300 T101 M9 M3	0:00:00
N0030	G64 X60 Y75 Z30	0:00:00
N0040	G92 X0 Y0 Z25	0:00:00
N0050	G59	0:00:00
N0060	G00 X0 Y-7.5	0:01:48
N0070	T606 M8	0:00:39
N0080	G22 X0 Y0 Z-5 L1110 P7=1 P8=0.5 D1=1 D5=50	6:35:76
N0090	G00 X0 Y-7.5 Z0.5	0:00:30
N0100	G01 Z3	0:00:76
N0110	X0 Y-15	0:02:26
N0120	T707	0:00:00
N0130	G22 X5 Y0 Z-5 L1120 P7=1 P8=0.5 D1=1 D2=1 D5=50	9:23:71
N0140	G00 X5 Y-15 Z0.5	0:00:33
N0150	G01 Z3	0:00:76
N0160	X20 Y13	0:09:54
N0170	T505	0:00:10
N0180	G00 X20 Y13 Z0.3	0:00:23
N0190	G82 Z-10 P3=0.3 D4=3	0:03:86

Program : PROSES2.SD2		Page : 2
Time study		Machining time
N0200	G82 X20 Y13 Z-10 P3=0.3 D4=3	0:03:86
N0210	G82 X20 Y24 Z-10 P3=0.3 D4=3	0:04:32
N0220	G82 X20 Y35 Z-10 P3=0.3 D4=3	0:04:32
N0230	G82 X31 Y35 Z-10 P3=0.3 D4=3	0:04:32
N0240	G82 X31 Y24 Z-10 P3=0.3 D4=3	0:04:32
N0250	G82 X31 Y13 Z-10 P3=0.3 D4=3	0:04:32
N0260	G82 X42 Y13 Z-10 P3=0.3 D4=3	0:04:32
N0270	G82 X42 Y24 Z-10 P3=0.3 D4=3	0:04:32
N0280	G82 X42 Y35 Z-10 P3=0.3 D4=3	0:04:32
N0290	G82 X53 Y35 Z-10 P3=0.3 D4=3	0:04:32
N0300	G82 X53 Y24 Z-10 P3=0.3 D4=3	0:04:32
N0310	G82 X53 Y13 Z-10 P3=0.3 D4=3	0:04:32
N0320	G01 X53 Y13 Z3	0:00:82
N0330	X77.5 Y22.5	0:07:89
N0340	T606 M8	0:00:00
N0350	G87 X77.5 Y22.5 Z-10 P0=25 P1=25 P3=0.3 D3=1000 D5=3 D7=1	3:55:07
N0360	G00 X77.5 Y22.5 Z3	0:00:23
N0370	G01 X-5 Y-10	0:26:31
N0380	T4040	0:00:09
N0390	G22 X5 Y0 Z-1 L1130 P7=1 P8=0.5 D1=1 D2=1 D5=50	3:02:37
N0400	G00 X-5 Y-10 Z0.5	0:00:22
N0410	G22 X6 Y0 Z-3 L1150 P7=1 P9=0.5 D2=1 D5=50	5:36:17
N0420	G00 X-5 Y-10 Z0.5	0:00:00
N0430	G01 Z3	0:00:76
N0440	X77.5 Y22.5	0:26:61
N0450	T1717	0:01:20
N0460	G22 X65 Y15 Z-1 L1160 P7=0.5 P8=0.5 D1=1 D2=3 D5=50	1:39:92
N0470	G00 X77.5 Y22.5 Z0.5	0:00:22
N0480	G01 Z3	0:00:76
N0490	X53 Y13	0:07:89
N0500	G88 Z-2 P1=10 P3=0.3 D3=1000 D5=3 D7=1	0:44:47
N0510	G01 X53 Y13 Z3	0:00:82
N0520	Y24	0:03:31
N0530	G88 Z-2 P1=10 P3=0.3 D3=1000 D5=3 D7=1	0:44:47
N0540	G01 X53 Y24 Z3	0:00:82
N0550	Y35	0:03:31
N0560	G88 Z-2 P1=10 P3=0.3 D3=1000 D5=3 D7=1	0:44:47
N0570	G01 X53 Y35 Z3	0:00:82
N0580	Y42	0:03:31
N0590	G88 Z-2 P1=10 P3=0.3 D3=1000 D5=3 D7=1	12:44:46
N0600	G01 X42 Y35 Z3	0:00:82
N0610	Y24	0:03:31
N0620	G88 Z-2 P1=10 P3=0.3 D3=1000 D5=3 D7=1	12:44:46
N0630	G01 X42 Y24 Z3	0:00:82
N0640	Y13	0:03:31
N0650	G88 Z-2 P1=10 P3=0.3 D3=1000 D5=3 D7=1	12:44:46
N0660	G01 X42 Y13 Z3	0:00:82
N0670	Y31	0:03:31
N0680	G88 Z-2 P1=10 P3=0.3 D3=1000 D5=3 D7=1	12:44:46
N0690	G01 X31 Y13 Z3	0:00:82

Program : PROSES2.SD2		Page : 3
Time study	Machining time	
N0700	Y24	0:03:31
N0710	G88 Z-2 P1=10 P3=0.3 D3=1000 D5=3 D7=1	12:44:46
N0720	G01 X31 Y24 Z3	0:00:82
N0730	G88 Z-2 P1=10 P3=0.3 D3=1000 D5=3 D7=1	0:44:46
N0740	G01 X31 Y24 Z3	0:00:82
N0750	Y35	0:03:31
N0760	G88 Z-2 P1=10 P3=0.3 D3=1000 D5=3 D7=1	0:44:46
N0770	G01 X31 Y35 Z3	0:00:82
N0780	X20	0:03:31
N0790	G88 Z-2 P1=10 P3=0.3 D3=1000 D5=3 D7=1	0:44:46
N0800	G01 X20 Y35 Z3	0:00:82
N0810	Y24	0:03:31
N0820	G88 Z-2 P1=10 P3=0.3 D3=1000 D5=3 D7=1	0:44:46
N0830	G01 X20 Y24 Z3	0:00:82
N0840	Y13	0:03:31
N0850	G88 Z-2 P1=10 P3=0.3 D3=1000 D5=3 D7=1	0:44:46
N0860	G01 X20 Y13 Z3	0:00:82
N0870	X0 Y0	0:07:17
N0880	Z25	0:06:61
Total		43:17:07
Totl. Main		42:24:38
Totl. Misc		0:52:68

Posisi pergerakan pahat pada pergeseran posisi 1 dengan titik *reference* berada pada tangan kiri bawah, yang mana waktu pemesinan dicapai adalah 43 menit 17,07 detik. Sedangkan posisi pergerakan pahat pada posisi 2 dengan titik *reference* berada pada tangan kanan atas, waktu pemesinan yang dicapai dapat dijelaskan pada tabel 3 berikut ini.

Tabel 3. Waktu pemesinan pada posisi pergeseran 2 (G55)

Program : PROSES3.SD2		Page : 1
Time study	Machining time	
N0010	G55 G56 G40 G67 F11	0:00:00
N0020	G94 G90 F200 S2300 T101 M9 M3	0:00:00
N0030	G64 X60 Y75 Z30	0:00:00
N0040	G92 X0 Y0 Z27	0:00:00
N0050	G59	0:00:00
N0060	G00 X0 Y-7.5	0:00:45
N0070	T606 M8	0:00:39
N0080	G22 X0 Y0 Z-5 L1500 P7=1 P8=0.5 D1=1 D5=50	6:35:68
N0090	G00 X0 Y7.5 Z0.5	0:00:22
N0100	G01 Z3	0:00:76
N0110	Y10	0:00:76
N0120	T707	0:00:00
N0130	G00 X5 Y10 Z3	0:00:31
N0140	G22 X-5 Y0 Z-5 L1510 P7=1 P8=0.5 D1=1 D2=1 D5=50	8:35:40
N0150	G00 X5 Y10 Z0.5	0:00:22
N0160	G01 Z3	0:00:76
N0170	X-20 Y-13	0:10:20
N0180	T505	0:00:10

Program : PROSES3.SD2		Page : 2
Time study		Machining time
N0190	G00 X-20 Y-13 Z0.3	0:00:23
N0200	G82 Z-10 P3=0.3 D4=3	0:03:86
N0210	G82 X-20 Y-24 Z-10 P3=0.3 D4=3	0:04:32
N0220	G82 X-20 Y-35 Z-10 P3=0.3 D4=3	0:04:32
N0230	G82 X-31 Y-35 Z-10 P3=0.3 D4=3	0:04:32
N0240	G82 X-31 Y-24 Z-10 P3=0.3 D4=3	0:04:32
N0250	G82 X-31 Y-13 Z-10 P3=0.3 D4=3	0:04:32
N0260	G82 X-42 Y-13 Z-10 P3=0.3 D4=3	0:04:32
N0270	G82 X-42 Y-24 Z-10 P3=0.3 D4=3	0:04:32
N0280	G82 X-42 Y-35 Z-10 P3=0.3 D4=3	0:04:32
N0290	G82 X-53 Y-35 Z-10 P3=0.3 D4=3	0:04:32
N0300	G82 X-53 Y-24 Z-10 P3=0.3 D4=3	0:04:32
N0310	G82 X-53 Y-13 Z-10 P3=0.3 D4=3	0:04:32
N0320	G82 X-53 Y-13 Z3	0:00:82
N0330	T606	0:00:00
N0340	G00 X-77.5 Y-22.5	0:00:72
N0350	G87 Z-10 P0=25 P3=0.3 D3=1000 D5=3 D7=1	3:55:07
N0360	G01 X-77.5 Y-22.5 Z3	0:00:82
N0370	X5 Y10	0:26:61
N0380	T4040	0:00:09
N0390	G22 X-6 Y0 Z-3 L1560 P7=1 P8=0.5 D1=1 D2=1 D5=50	5:36:40
N0400	G00 X5 Y10 Z0.5	0:00:22
N0410	G01 Z3	0:00:76
N0420	X-20 Y-13	0:10:20
N0430	T1717	0:01:20
N0440	G88 X-20 Y-13 Z-2 P1=10 P3=0.3 D3=1000 D5=3 D7=1	0:44:47
N0450	G00 X-20 Y-13 Z3	0:00:23
N0460	Y-24	0:00:46
N0470	G88 Z-2 P1=10 P3=0.3 D3=1000 D5=3 D7=1	0:44:47
N0480	G01 X-20 Y-24 Z3	0:00:82
N0490	Y-35	0:03:31
N0500	G88 Z-2 P1=10 P3=0.3 D3=1000 D5=3 D7=1	0:44:47
N0510	G01 X-20 Y-35 Z3	0:00:82
N0520	X-31	0:03:31
N0530	G88 Z-2 P1=10 P3=0.3 D3=1000 D5=3 D7=1	0:44:47
N0540	G01 X-31 Y-35 Z3	0:00:82
N0550	Y-24	0:03:31
N0560	G88 Z-2 P1=10 P3=0.3 D3=1000 D5=3 D7=1	0:44:47
N0570	G01 X-31 Y-24 Z3	0:00:82
N0580	Y-13	0:03:31
N0590	G88 Z-2 P1=10 P3=0.3 D3=1000 D5=3 D7=1	0:44:47
N0600	G01 X-31 Y-13 Z3	0:00:82
N0610	X-42	0:03:31
N0620	G88 Z-2 P1=10 P3=0.3 D3=1000 D5=3 D7=1	0:44:47
N0630	G01 X-42 Y-13 Z3	0:00:82
N0640	Y-24	0:03:31
N0650	G88 Z-2 P1=10 P3=0.3 D3=1000 D5=3 D7=1	0:44:47
N0660	G01 X-42 Y-24 Z3	0:00:82
N0670	Y-35	0:03:31
N0680	G88 Z-2 P1=10 P3=0.3 D3=1000 D5=3 D7=1	0:44:47
N0690	G01 X-42 Y-35 Z3	0:00:82

Program : PROSES3.SD2		Page : 3
Time study	Machining time	
N0700	X-53	0:03:31
N0710	G88 Z-2 P1=10 P3=0.3 D3=1000 D5=3 D7=1	0:44:47
N0720	G01 X-53 Y-35 Z3	0:00:82
N0730	Y-24	0:03:31
N0740	G88 Z-2 P1=10 P3=0.3 D3=1000 D5=3 D7=1	0:44:47
N0750	G01 X-53 Y-24 Z3	0:00:82
N0760	Y-13	0:03:31
N0770	G88 Z-2 P1=10 P3=0.3 D3=1000 D5=3 D7=1	0:44:46
N0780	G01 X-53 Y-13 Z3	0:00:82
N0790	X-77.5 Y-22.5	0:07:89
N0800	G22 X-70 Y-10 Z-1 L1590 P7=1 P8=0.5 D1=1 D5=50	1:06:86
N0810	G00 X-77.5 Y-22.5 Z0.5	0:00:22
N0820	G01 Z3	0:00:76
N0830	X0 Y0	0:24:22
N0840	Z25	0:06:61
Total		37:53:19
Totl. Main		37:00:96
Totl. Misc		0:52:23

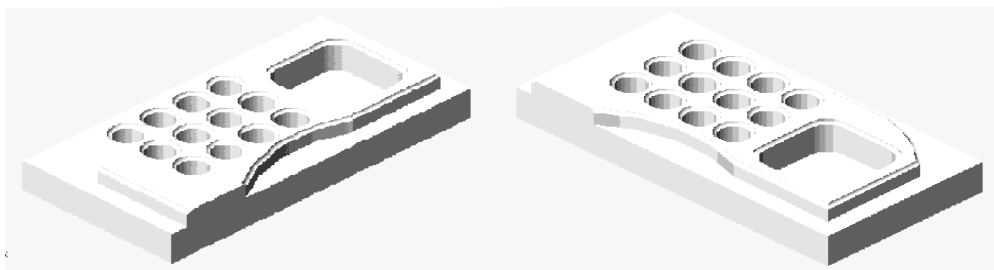
Posisi pergerakan pahat pada pergeseran posisi 2 dengan titik *reference* berada pada tangan kanan atas, yang mana waktu pemesinan dicapai adalah 37 menit 53,19 detik. Hasil dari titik *reference* ini sebagai nilai dari pengurangan waktu proses. Sehingga hasil dari perbaikan ini, maka persentase efisiensi dari pengurangan waktu proses diperoleh yaitu :

$$\% \text{ efisiensi} = \frac{\sum \text{Time studi lama} - \sum \text{Time studi perbaikan}}{\sum \text{Time studi lama}} \times 100\% \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \% \text{ efisiensi} &= \frac{43 : 17 : 07 - 37 : 53 : 19}{43 : 17 : 07} \times 100 \\ &= \frac{6 : 04 : 28}{43 : 17 : 07} \times 100 \\ &= 13,99746 \% \text{ atau } 14 \% \end{aligned}$$

Peningkatan kinerja pada pergerakan pahat posisi 1 pada benda kerja dapat dicapai 14 %.

Sedangkan benda kerja yang dihasilkan dari rancangan program numerik diatas seperti gambar 6 dibawah ini.



Gambar 6. Feature benda kerja hasil rancangan program numerik

Agar mampu program yang dibuat sesuai dengan hasil kinerja program numerik (NC) terhadap mesin perkakas CNC tertentu, dimana *listing* program diperlukan terlebih dahulu adanya penyesuaian di post processor dari program Emco draft 7.54. Hal ini dilakukan agar supaya program numerik yang telah tersusun dan terevaluasi menjadi lebih maksimal dalam aplikasinya di mesin CNC *Center Milling*.

5. Kesimpulan dan Saran

Penurunan waktu pemesinan dicapai 14% dibandingkan kondisi pergerakan posisi 1 dengan waktu penyelesaian yang diperlukan sebesar 37 menit 53,10 detik. Hasil kinerja ini dapat diperoleh dengan cara menterjemahkan metode *tools traveler distance* terlebih dahulu dengan penyesuaian dasar titik *reference* yang akan menjadi titik nol proses. Sedangkan penggantian pahat yang terbaik berdasarkan penugasan dari jenis pahat dengan proses yang akan dikerjakan berdasarkan *layer* geometri yaitu pahat *slotting tools* Ø 10 mm - pahat *end mill* Ø 16 mm - pahat *slotting tools* Ø 10 mm - pahat *angular mill* 16 mm - pahat *ball cutter* Ø 4 mm. Dengan mengatur penugasan pahat pada bidang geometri *layer* proses terhadap *contour* maka urutan penggantian pahat menjadi optimal dari *tools traveler distance* yang dimulai dari manajemen *tools home post*.

Sedangkan pengaturan penggantian pahat yang berdasarkan *layer* geometri pada *contour* proses diupayakan dengan menghinadri pembesaran gerak makan, dikarenakan pembesaran gerak makan akan menaikkan gaya potong dan mengakibatkan permukaan produk akan menjadi kasar. Sedangkan pembesaran putaran *spindel* akan menaikkan daya potong. Apabila hal ini dipaksakan sebagai pertimbangan maka masih harus dipertimbangkan pengaruh penurunan umur pahat.

Daftar Pustaka

-, *CAD-CAM Emco draft versi 7.54 Programmer's Reference Manual*.
- Chang, T., Wysk, R., Wang, H. (1991). *Computer Aided Manufacturing*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall.
- Groover, M.P. (2001). *Automation, Production System, and Computer-Integrated Manufacturing*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall.
- Hollebrandse, J.J.M. (1988). *Teknik Pemrograman dan Aplikasi CNC*, Terjemahan. Jakarta: PT. Rosda Jaya Putra.
- Sharma, P.C. (1997). *A Textbook of Production Engineering*. New Delhi: S. Chand & Company Ltd.
- Susmartini, S., dan Herdiman, L. (2002). Optimasi *Retract Plane* Pemrograman NC dalam Pembuatan Struktur Program CNC *Milling*, *Prosiding Seminar Nasional Teknik Industri III Tahun 2002*. Surakarta, pp. 678-690.