

OPTIMASI PARAMETER PERMESINAN TERHADAP WAKTU PROSES PADA PEMROGRAMAN *CNC MILLING* DENGAN BERBASIS *CAD/CAM*

I G.N.K. Yudhyadi*, Tri Rachmanto, Adnan Dedy Ramadan,

Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mataram, Jl. Majapahit no. 62, Mataram, NTB, 83125, Indonesia

*Email: ik_yadhy@hotmail.com

ABSTRACT

Milling process is one of many machining processes for manufacturing component. The length of time in the process of milling machining is influenced by selection and design of machining parameters including cutting speed, feedrate and depth of cut. The purpose of this study to know the influence of cutting speed, feedrate and depth of cut as independent variables versus operation time at CNC milling process as dependent variables. Each independent variable consists of three level of factors; low, medium and high. Time machining process is measured from operation time simulation program, feed cut length and rapid traverse length. The results of statistically from software simulation MasterCam X Milling, then do comparison to CNC Milling machine. The data from experiments was statistical analyzed by Anova and Regression methods by software minitab 16. Results show that the greater feedrate and depth of cut shorten the operation time of machinery, whereas cutting speed is not significant influence. Depth of cut has the most highly contribution with the value of 49.56%, followed by feedrate 43% and cutting speed 0.92%. Optimal time of machining process total is 71.92 minutes, with machining parameter on the condition cutting speed is 75360 mm/minutes, feedrate is 800 mm/minutes and depth of cut = 1 mm. Results of comparison time machining process in software Mastercam X milling with CNC Milling machine indicates there is difference not significant with the value of 0,35%.

Keywords: machining parameter, CNC milling, optimize, CAD/CAM, anova.

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi manufaktur yang semakin pesat dan semakin tingginya kompetisi antara produsen produk-produk manufaktur, kebutuhan akan kualitas produk yang tinggi (*high quality product*) yang dihasilkan dengan kecepatan produksi yang tinggi (*high speed manufacturing*). Dimana pada saat ini dalam pengembangan dan perencanaan produk tidak terlepas akan kebutuhan teknologi, dengan kebutuhan yang sangat tinggi maka dikembangkanlah sistem otomasi. Otomasi dapat didefinisikan sebagai teknologi yang berlandaskan pada aplikasi sistem mekanik, elektronik dan computer, sehingga pekerjaan tahap pengembangan meliputi perencanaan, persiapan, perakitan, instalasi, pemrograman, inspeksi, komisioning. Dewasa ini filosofi yang banyak digunakan adalah *Concurrent Engineering (CE)*. *Concurrent Engineering* menurut *U. S. Institute of Defence* adalah suatu pendekatan sistematis terhadap desain produk dan proses yang terkait secara bersamaan dan terintegrasi, termasuk di dalamnya *manufacturing* dan pendukung lainnya.

Kesemuanya itu membutuhkan sistem pendukung proses manufaktur yang handal. Salah satu pendukung tersebut adalah sistem

CAD/CAM. *CAD/CAM* memiliki dua bagian yakni desain gambar *CAD (Computer Aided Design)* dan desain gambar *CAM (Computer Aided Machine)*. Desain yang dihasilkan oleh software *CAD/CAM* ini nantinya akan diubah menjadi bahasa pemrograman (*G Code*) yang selanjutnya dikerjakan oleh mesin *CNC (Computer Numerical Control)*. Penggunaan mesin *CNC* sebagai mesin perkakas dalam proses permesinan modern semakin banyak dijumpai dalam industri manufaktur, *CNC milling* dalam hal ini memiliki fungsi untuk mengerjakan suatu komponen secara efisien, hemat waktu, dan hemat biaya. Dengan program yang telah disiapkan sebelumnya, komponen-komponen yang sama dapat diproduksi berkali-kali dengan akurasi yang tepat (Krar dkk, 1999).

Proses permesinan yang dilakukan pada mesin *CNC milling* adalah proses penyayatan benda kerja menggunakan alat potong yang berputar. Beberapa parameter yang bisa mempengaruhi proses permesinan adalah *cutting speed* yang berhubungan dengan putaran motor dan diameter alat potong, *feedrate* berhubungan dengan kecepatan pemakanan dan *depth of cut* (kedalaman pemakanan). Ketiga parameter pemakanan tersebut merupakan parameter

penting dalam sebuah proses permesinan. Pemilihan parameter pemotongan yang tepat dalam proses permesinan adalah hal yang sangat penting untuk meraih kualitas produk yang baik serta proses yang ekonomis dan produktif (Draganescu dkk, 2001).

Kualitas produk hasil CNC milling dapat dilihat dari waktu proses pengerjaannya. Oleh karena itu hasil CNC milling perlu diperhatikan dan dicari solusi untuk mendapatkan waktu yang optimal. Untuk mengatasi hal ini, maka perlu diadakan penelitian sehingga nantinya dapat melakukan variasi parameter permesinan untuk menghasilkan waktu proses yang optimal pada pemrograman CNC Milling. Dari ketiga parameter tersebut diperkirakan akan mempengaruhi waktu proses dalam pemrograman mesin CNC Milling. Maka pada penelitian ini akan dicari waktu yang optimal dalam pemrograman pada CNC Milling berdasarkan variasi dari parameter-parameter tersebut selanjutnya untuk mengetahui pengaruh ketiga parameter tersebut.

TINJAUAN PUSTAKA

Proses Permesinan

Proses permesinan frais (*milling*) adalah proses penyayatan benda kerja menggunakan alat potong dengan mata potong jamak yang berputar (Rochim, 1993). Proses penyayatan dengan gigi potong yang banyak yang mengitari pisau ini bisa menghasilkan proses permesinan lebih cepat. Permukaan yang disayat bisa berbentuk datar, menyudut, atau melengkung. Permukaan benda kerja bisa juga berbentuk kombinasi dari beberapa bentuk. Mesin yang digunakan untuk memegang benda kerja, memutar pisau, dan penyayatannya disebut mesin frais (*milling machine*).

Proses permesinan *milling* sering digunakan dalam pembuatan cetakan (*mould*), untuk pekerjaan perataan permukaan, pembentukan roda gigi, pembentukan pola permukaan, dan pekerjaan bor. Pada proses permesinan *milling* terdapat beberapa parameter yang berpengaruh terhadap kekasaran permukaan komponen diantaranya adalah kecepatan pemotongan atau kecepatan putaran *spindel*, kedalaman pemakanan, geometri pahat, kecepatan pemakanan dan penggunaan cairan pendingin. Proses terbentuknya geram telah diteliti untuk menemukan bentuk yang mendekati ideal, berapa kecepatan (*speed*), gerak makan (*feed*) dan parameter yang lain, yang di masa yang lalu diperoleh dengan

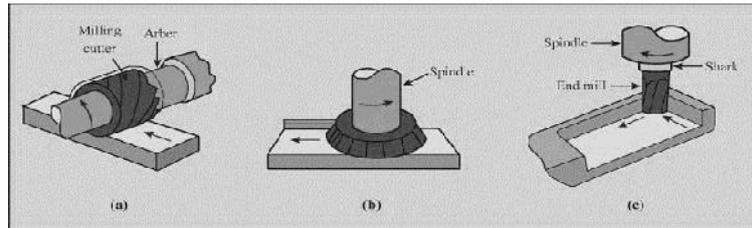
perkiraan oleh para ahli dan operator proses permesinan.

CAD/CAM & CNC

CAD/CAM merupakan program permesinan yang sangat efektif untuk proses pembentukan, dimana bentuk-bentuk yang tidak dapat diproses dengan mesin konvensional maka dengan menggunakan proses CAD/CAM tidak lagi mendapat kesulitan. *Product life cycle* yang makin singkat menuntut waktu pengembangan produk dan waktu produksi yang cepat. Keterkaitan berbagai parameter yang rumit dan saling berinteraksi dapat diselesaikan dengan cepat. Di dunia industri saat ini, fungsi CAD sangat vital. Dengan CAD kesalahan dalam proses pembuatan desain bisa diminimalkan, yang berarti waktu dan biaya dapat sangat dioptimalkan.

Sebagai *software* CAD, *solidworks* dipercaya sebagai perangkat lunak untuk membantu proses desain suatu benda atau bangunan dengan mudah. Keunggulan *solidworks* dari *software* CAD lain adalah mampu menyediakan sketsa 2D yang dapat diupgrade menjadi bentuk 3D. *Software* ini juga dapat melakukan simulasi pada desain yang telah buat. Analisis kekuatan desain juga dapat dilakukan secara sederhana dengan *solidworks* dan dapat membuat desain animasi menggunakan fitur yang telah disediakan *solidworks*.

Computer aided manufacturing (CAM) adalah penggunaan *software* komputer untuk mengontrol *tools* mesin ataupun bagian mesin lainnya yang berhubungan dengan proses permesinan. Definisi lain dari CAM juga berarti penggunaan komputer yang berfungsi untuk membantu dalam semua perencanaan manufaktur, termasuk didalamnya perencanaan, manajemen, transportasi dan penyimpanan (Ricky, 2009). Integrasi CAM dengan sistem CAD menghasilkan proses manufaktur yang lebih cepat dan lebih efisien. Digunakanlah mesin CNC untuk melakukan proses permesinan dan perancangan. Di banyak kasus sistem CAM akan bekerja dengan perancangan CAD yang dibuat di lingkungan 3 dimensi. Programmer CNC akan menentukan operasi mesin dan sistem CAM yang akan membuat program CNC. Kompatibilitas sistem CAD/CAM dibatasi untuk kebutuhan pengenalan kembali konfigurasi bidang kerja bagi sistem CAM. Dengan kata lain perangkat lunak CAM biasanya terdapat bersama dengan mesin CNC.



Gambar 1. Tiga klasifikasi proses frais : (a) Frais periperal (*slab milling*), (b) frais muka (*face milling*), dan (c) frais jari (*end milling*).

MasterCAM merupakan perangkat lunak yang dikembangkan dari *CNC Software Inc*, dimana *software* ini sebelumnya sudah familiar di pemesinan, *MasterCAM* adalah salah satu program CAM yang cukup populer. *Software MasterCAM* memungkinkan pengerjaan mendesain, kemudian merencanakan proses pembuatannya melalui simulasi yang dilaksanakan secara berurutan atau simultan dan kemudian membuatnya menjadi suatu program NC.

Hasil perpaduan teknologi komputer dan teknologi mekanik inilah yang selanjutnya dinamakan CNC (*Computer Numerical Control*). Sistem pengoperasian CNC menggunakan program yang dikontrol langsung oleh komputer. Secara umum konstruksi mesin perkakas CNC dan sistem kerjanya adalah sinkronisasi antara komputer dan mekaniknya. Jika dibandingkan dengan mesin perkakas konvensional yang setaraf dan sejenis, mesin perkakas CNC lebih unggul baik dari segi ketelitian (*accurate*), ketepatan (*precision*), fleksibilitas, dan kapasitas produksi.

Mesin CNC adalah suatu mesin yang dikontrol oleh komputer dengan menggunakan bahasa numerik (data perintah dengan kode angka, huruf dan simbol) sesuai standart ISO. Sistem kerja teknologi CNC ini akan lebih sinkron antara komputer dan mekanik, sehingga bila dibandingkan dengan mesin perkakas yang sejenis, maka mesin perkakas CNC lebih teliti, lebih tepat, lebih fleksibel dan cocok untuk produksi massal. Dengan dirancangnya mesin perkakas CNC dapat menunjang produksi yang membutuhkan tingkat kerumitan yang tinggi dan dapat mengurangi campur tangan operator selama mesin beroperasi. Untuk mengoperasikan mesin-mesin CNC diperlukan *software*. *Software* yang digunakan adalah *operating system software* dan *machine interface software*. *Software* digunakan untuk *Operating system*

menginterpretasikan program korespondensi antara kontrol mesin. *Machine interface* mengoperasikan *link* antara NC dan membangkitkan sinyal dengan *drive* dari *software* digunakan untuk komputer dan mesin CNC sehingga mesin dapat beroperasi. Mesin CNC yang terhubung dengan komputer tidak hanya memungkinkan operator untuk menjalankan program tetapi juga memodifikasi program tersebut, baik setelah diinputkan ataupun dijalankan.

Parameter Permesinan

Parameter proses permesinan frais adalah, dasar-dasar perhitungan yang digunakan untuk menentukan perhitungan perhitungan dalam proses pemotongan/penyayatan permesinan frais diantaranya, kecepatan potong (V_c), kecepatan putaran mesin (rpm), kecepatan pemakanan (V_f) dan kedalaman pemotongan (*depth of cut*). Pada proses permesinan dengan menggunakan mesin milling terdapat beberapa parameter pemotongan, antara lain:

(1). Kecepatan potong (*Cutting speed*)

Kecepatan potong merupakan kecepatan gerak putar pahat, yang dinyatakan dalam meter/menit. Kecepatan gerak pahat tergantung dari bahan benda kerja yang akan di-milling dan bahan dari pahat potong itu sendiri, untuk mencari kecepatan pemotong rumusnya dengan:

$$V_c = \pi d n \quad (1)$$

Dimana V_c adalah kecepatan potong (mm/menit), d menunjukkan diameter pisau (mm), n adalah putaran *spindle* (rpm).

Tabel 1. Kecepatan potong untuk beberapa jenis bahan.

No	Bahan Benda Kerja	V_c (m/menit)
1	Kuningan, Perunggu keras	30 – 45
2	Besi tuang	14 – 21
3	Baja >70	10 – 14
4	Baja 50-70	14 – 21
5	Baja 34-50	20 – 30
6	Tembaga, Perunggu lunak	40 – 70
7	Aluminium murni	300 – 500
8	Plastik	60 - 100

(Sumber : Sumbodo, 2008)

(2). Putaran *spindle* (*spindle speed*)

Kecepatan putaran mesin adalah kemampuan putaran mesin dalam satu menit. Dalam hal ini mengingat nilai kecepatan potong untuk setiap jenis bahan sudah ditetapkan secara baku, maka

komponen yang bisa diatur dalam proses penyayatan adalah putaran mesin/benda kerja. Nilai putaran dapat dihitung menggunakan persamaan (1).

(3). Kecepatan pemakanan (*Feedrate*)

Gerak makan (f) adalah jarak lurus yang ditempuh pisau dengan laju konstan relatif terhadap benda kerja dalam satuan waktu, biasanya satuan gerak makan yang digunakan adalah mm/menit.

$$V_f = n f_z z \quad (2)$$

Dengan V_f adalah kecepatan makan (mm/menit), n menunjukkan putaran *spindle* (rpm), z adalah jumlah gigi pada pahat (*tooth*) dan f_z adalah kecepatan makan per gigi (*mm/tooth*).

Tabel 2. Gerak makan (f) untuk berbagai kedalaman potong dan material benda kerja untuk beberapa diameter alat potong (*End Mill*)

Material	Diameter Alat Potong				
	Kedalaman (1,25 mm)			Kedalaman (6 mm)	
	3 mm	10 mm	12,5 mm	10 mm	18 mm
Low-carbon steel	0,0012 - 0,025	0,050 - 0,075	0,075 - 0,1	0,025 - 0,050	0,050 - 0,1
High-carbon steel	0,0003 - 0,025	0,025 - 0,075	0,050 - 0,1	0,0003 - 0,025	0,025 - 0,1
Tool Steel Cast	0,0012 - 0,025	0,025 - 0,075	0,050 - 0,1	0,025 - 0,050	0,075 - 0,1
Aluminium Alloy Cast	0,05	0,075	0,125	0,075	0,2
Aluminium Hard	0,025	0,075	0,125	0,075	0,15
Brass & Bronze	0,0012 - 0,025	0,075 - 0,1	0,1 - 0,15	0,05 - 0,075	0,1 - 0,15
Plastics	0,05	0,08	0,125	0,075	0,2

(Sumber: Wijanarka, 2011), Catatan: Harga gerak makan (f_z) dalam mm/gigi, sehingga perlu dikalikan dengan jumlah gigi (z).

(4). Kedalaman pemotongan (*Depth of cut*)

Kedalaman potong (a) ditentukan berdasarkan selisih tebal benda kerja awal terhadap tebal benda kerja akhir. Untuk kedalaman potong yang relatif besar diperlukan perhitungan daya potong yang diperlukan untuk proses penyayatan.

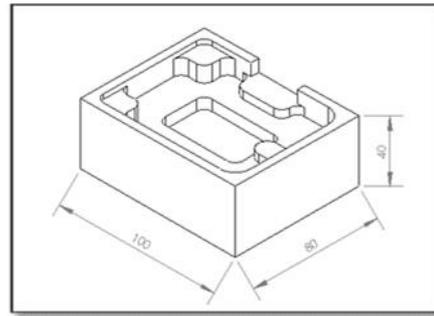
Besarnya kedalaman pemakanan berhubungan erat dengan kecepatan pemakanan dan juga dari diameter pahat tersebut. Semakin tinggi kecepatan pemakanan, maka pahat yang digunakan

semakin kecil diameternya dan kedalaman pemakanan pada benda kerja menjadi kecil.

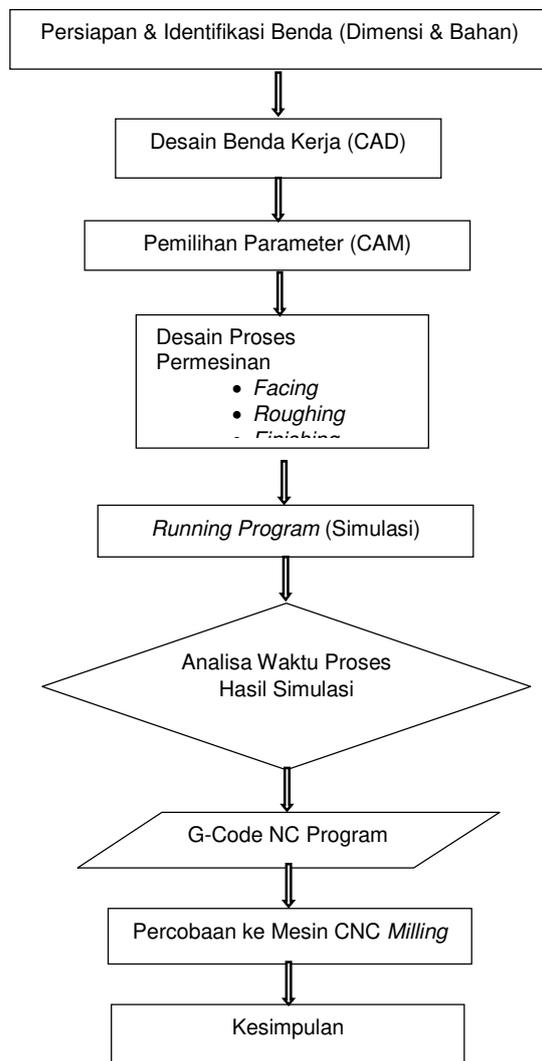
METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan Metode eksperimen, yaitu melakukan penelitian dan pengamatan langsung dilapangan secara sistematis dengan membangun hubungan sebab akibat guna mendapatkan data-data yang diinginkan untuk selanjutnya dianalisis (Sukardi, 2004). Tahapan dari penelitian diperlihatkan pada Gambar 2, menunjukkan langkah-langkah eksperimen. Subjek

penelitian ini berupa gambar benda kerja dengan dimensi seperti Gambar 3. Pengerjaan desain menggunakan *software SolidWork 2010* untuk proses CAD-nya, selanjutnya desain gambar dalam bentuk file di transfer ke *software MasterCam X* untuk dilakukan proses CAM. Dari *Software mastercam x* akan keluar NC Code yang selanjutnya dapat dipindah ke mesin CNC *Milling Mitsubishi M70* untuk dilakukan percobaan langsung. *Raw material* yang digunakan pada mesin CNC yaitu *Resin Polyester* dengan pahat berbahan HSS dengan pahat *Facemill* dan *Endmill*.



Gambar 3. Desain base feature dari benda kerja.



Gambar 2. Diagram alir penelitian

Pemilihan variabel bebas dan terikat dalam penelitian ini yaitu waktu proses sebagai variabel terikat dimana waktu proses adalah waktu aktual dari proses penyayatan benda kerja pada mesin CNC *Milling*. Pengukuran waktu proses pemesinan dilakukan dengan mensimulasikan proses pemesinan yang nantinya akan diketahui waktu pengerjaannya. Selanjutnya adapun yang menjadi variabel bebas yaitu kecepatan potong (*cutting speed*), laju pemakanan (*feedrate*), kedalaman pemakanan (*depth of cut*).

Dalam penelitian ini menggunakan desain eksperimen berdasarkan pendekatan *orthogonal array* dengan tiga faktor dan tiga level, dimana kolom merupakan faktor yang dapat diubah dalam eksperimen dan baris merupakan kombinasi level dari faktor dalam eksperimen. Sesuai dengan pola *orthogonal* didapatkan seperti pada Tabel 3.

Tabel 3. Faktor parameter dan level penelitian.

Parameter	Faktor	Level		
		1 <i>Low</i>	2 <i>Medium</i>	3 <i>High</i>
<i>Cutting Speed</i> (mm/menit)	A	56520	75360	94200
<i>Feedrate</i> (mm/menit)	B	500	650	800
<i>Depth of cut</i> (mm)	C	0,5	0,75	1

Tabel 4. Desain kombinasi parameter percobaan.

Percobaan	Faktor		
	A	B	C
1	1	1	1
2	1	2	2
3	1	3	3
4	2	1	2
5	2	2	3
6	2	3	1
7	3	1	3
8	3	2	1
9	3	3	2

Teknik Pengambilan dan Analisa Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data-data hasil dari proses eksperimen mengenai parameter yang diuji, data hasil penelitian yang didapatkan meliputi:

a. Hasil percobaan

Hasil percobaan adalah hasil dari pembuatan *toolpath geometry* sesuai parameter yang telah ditentukan dalam desain eksperimen.

b. Hasil pengukuran waktu proses permesinan

Hasil pengukuran yang dikumpulkan yaitu hasil pengukuran waktu (*Operation Time*) dari simulasi proses pemesinan, hasil pengukuran panjang langkah pemotongan (*feed cut length*), dan hasil pengukuran panjang langkah tanpa pemotongan (*rapid traverse length*) pada

masing-masing percobaan yang dilakukan.

Data yang didapatkan kemudian diolah untuk mendapatkan hubungan antara pengaruh dari tiap-tiap parameter terhadap waktu pemrograman yang dihasilkan dan optimasi waktu dari masing-masing parameter, sehingga waktu yang optimal dari pengujian tersebut merupakan kesimpulan yang dapat diambil. Pada penelitian ini menggunakan analisis ragam (*Anova*), dimana metode ini digunakan untuk mencari hubungan antara variabel bebas dengan variabel terikatnya, sehingga akan dapat diketahui besarnya pengaruh masing-masing variabel bebas terhadap variabel terikatnya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengambilan data

Berdasarkan pada metode penelitian yang telah ditetapkan, pelaksanaan penelitian ini dilakukan dengan memvariasikan pengaturan parameter pada setiap percobaannya. Pengukuran waktu proses permesinan sebagai variabel respon dalam penelitian ini dilakukan dengan mensimulasikan terlebih dahulu proses permesinannya dengan menggunakan *software MasterCam X Mill*. Dengan menggunakan fasilitas *Command 'Setup Sheet'* didapatkan data hasil dari tiap-tiap percobaan diantaranya waktu proses permesinan (*operation time*), panjang langkah pemotongan (*feed cut length*) dan panjang langkah tanpa pemotongan (*rapid tranverse length*).

Tabel 5. Hasil pengukuran waktu proses permesinan

No	Parameter			Toolpath			Total (menit)
	<i>Cutting Speed</i> (mm/menit)	<i>Feedrate</i> (mm/menit)	<i>Depth of cut</i> (mm)	<i>Face</i> (menit)	<i>Rough</i> (menit)	<i>Finish</i> (menit)	
1	56520	500	0,5	16,84	143,13	28,29	188,26
2	56520	650	0,75	9,44	75,84	21,90	107,18
3	56520	800	1	6,73	48,18	17,91	72,82
4	75360	500	0,75	12,24	98,33	28,29	138,86
5	75360	650	1	8,26	59,10	21,90	89,26
6	75360	800	0,5	10,57	89,82	17,91	118,30
7	94200	500	1	10,71	76,57	28,29	115,57
8	94200	650	0,5	12,98	110,32	21,90	145,20

9	94200	800	0,75	7,69	61,79	17,91	87,39
---	-------	-----	------	------	-------	-------	-------

Tabel 6. Hasil pengukuran panjang langkah pemotongan

No	Parameter			Toolpath			Total (mm)
	Cutting Speed (mm/menit)	Feedrate (mm/menit)	Depth of cut (mm)	Face (mm)	Rough (mm)	Finish (mm)	
1	56520	500	0,5	8091,96	69894,31	13598,66	91584,92
2	56520	650	0,75	5880,97	47904,39	13598,66	67384,02
3	56520	800	1	5143,97	37217,87	13598,66	55960,50
4	75360	500	0,75	5880,97	47904,39	13598,66	67384,02
5	75360	650	1	5143,97	37217,87	13598,66	55960,50
6	75360	800	0,5	8091,96	69894,31	13598,66	91584,92
7	94200	500	1	5143,97	37217,87	13598,66	55960,50
8	94200	650	0,5	8091,96	69894,31	13598,66	91584,92
9	94200	800	0,75	5880,97	47904,39	13598,66	67384,02

Tabel 7. Hasil pengukuran panjang langkah tanpa pemotongan

No	Parameter			Toolpath			Total (mm)
	Cutting Speed (mm/menit)	Feedrate (mm/menit)	Depth of cut (mm)	Face (mm)	Rough (mm)	Finish (mm)	
1	56520	500	0,5	1659,57	5695,14	2640,24	9994,95
2	56520	650	0,75	1344,59	4787,00	2640,24	8771,83
3	56520	800	1	1239,59	4368,32	2640,24	8248,15
4	75360	500	0,75	1344,59	4787,00	2640,24	8771,83
5	75360	650	1	1239,59	4368,32	2640,24	8248,15
6	75360	800	0,5	1659,57	5695,14	2640,24	9994,95
7	94200	500	1	1239,59	4368,32	2640,24	8248,15
8	94200	650	0,5	1659,57	5695,14	2640,24	9994,95
9	94200	800	0,75	1344,59	4787,00	2640,24	8771,83

Analisa variansi (Anova)

Dari hasil percobaan yang telah dilakukan kemudian dilanjutkan dengan analisa menggunakan analisa varian sesuai faktor parameter, level dan pengolahan data berdasarkan statistik Anova untuk mengetahui pengaruh dari masing-masing variabel bebas (*cutting speed, feedrate dan depth of cut*) terhadap variabel respon (waktu proses pemesian). Hasil analisa tersebut disajikan dalam bentuk tabel, sebagai berikut.

Tabel 8. Hasil analisis *means* dari waktu proses

Sumber Varian	Nilai rata-rata tiap level (menit)		
	1	2	3
Cutting Speed	122,75	115,47	116,05
Feedrate	147,56	113,88	92,84
Depth of cut	150,59	111,14	92,55

Tabel 9. Hasil analisa statistik Anova

Sumber Variansi	db	JK	JKT	Fh	Signifikan	Ft
Cutting Speed	2	98,2	49,1	1,00	0,505	4,46
Feedrate	2	4572,4	2286,2	46,53	0,021	4,46
Depth of cut	2	5269,7	2634,9	53,63	0,018	4,46
Error	2	98,3	49,1			
Total	8	10633,5				

Tabel analisa statistik Anova dengan $\alpha = 5\%$. Nilai dari F tabel dari masing-masing varian ($F_{0,05, 2, 8}$) adalah 4,46, sehingga

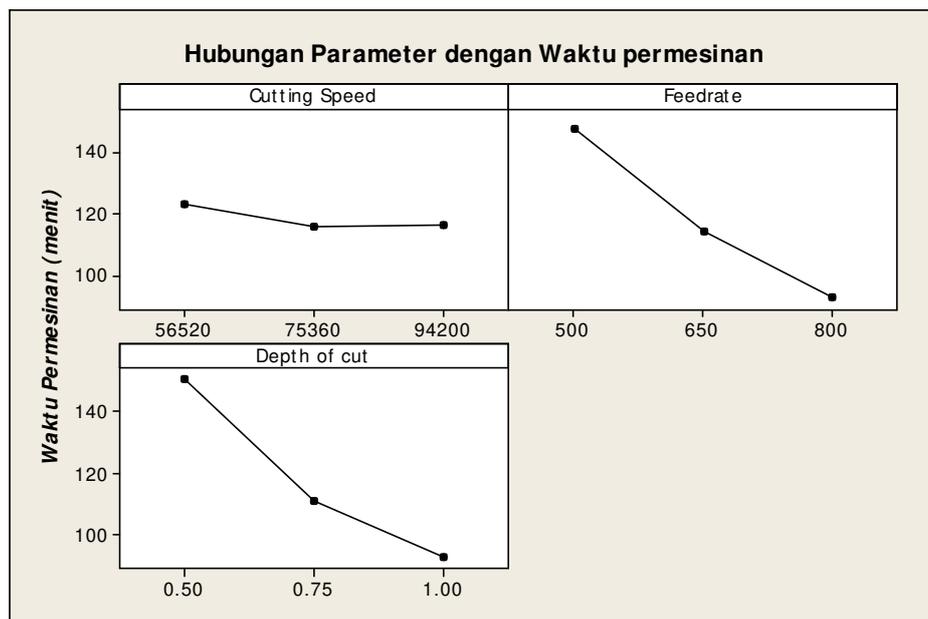
diketahui bahwa nilai F tabel lebih tinggi dari F hitung pada varian *cutting speed* dan nilai F tabel kurang dari F hitung pada varian *feedrate* dan *depth of cut*. Nilai ini

menunjukkan bahwa tidak ada pengaruh dari *cutting speed* dan ada pengaruh dari *feedrate* dan *depth of cut* terhadap waktu proses permesinannya. Pengaruh dari masing – masing varian dijelaskan sebagai berikut:

(1). Hubungan *cutting speed* (V_c) terhadap waktu proses permesinan

Berdasarkan tabel Anova diketahui nilai F-hitung untuk varian *cutting speed* lebih kecil dari F-tabel ($F_{\text{hitung}} = 1,00 < F_{\text{tabel}} = 4,46$) dan nilai sig. = $0,505 > 0,05$. Hal ini menunjukkan bahwa *cutting speed* tidak

mempengaruhi secara signifikan terhadap waktu proses permesinan. Dari tabel pengukuran waktu proses permesinan dapat dibuat grafik hubungannya (Gambar 4), dapat dilihat bahwa dengan nilai pada faktor lain (*feedrate* dan *depth of cut*) yang sama atau konstan, *cutting speed* = 56520 mm/menit memiliki *mean* waktu proses permesinan 122,75 menit, *cutting speed* = 75360 mm/menit memiliki *mean* waktu proses permesinan 115,47 menit dan *cutting speed* = 94200 mm/menit memiliki *mean* waktu proses permesinan 116,05 menit.



Gambar 4. Hubungan parameter permesinan terhadap waktu proses

(2). Hubungan *feedrate* (f) terhadap waktu proses permesinan

Berdasarkan tabel Anova diketahui nilai F-hitung untuk varian *feedrate* lebih besar dari F-tabel ($F_{\text{hitung}} = 46,53 > F_{\text{tabel}} = 4,46$) dan nilai sig. = $0,021 < 0,05$. Hal ini menunjukkan bahwa *feedrate* mempengaruhi secara signifikan terhadap waktu proses permesinan. Dari tabel pengukuran waktu proses permesinan dapat dibuat grafik hubungannya (Gambar 4), dilihat bahwa dengan nilai pada faktor lain (*cutting speed* dan *depth of cut*) yang sama atau konstan, *feedrate* = 500 mm/menit memiliki *mean* waktu proses permesinan 147,56 menit, *feedrate* = 650 mm/menit memiliki *mean* waktu proses permesinan 113,88 menit dan *feedrate* = 800 mm/menit

memiliki *mean* waktu proses permesinan 92,84 menit. Hal ini menunjukkan bahwa adanya hubungan bahwa semakin besar *feedrate*, maka semakin singkat waktu proses permesinannya.

(3). Hubungan *depth of cut* terhadap waktu proses permesinan

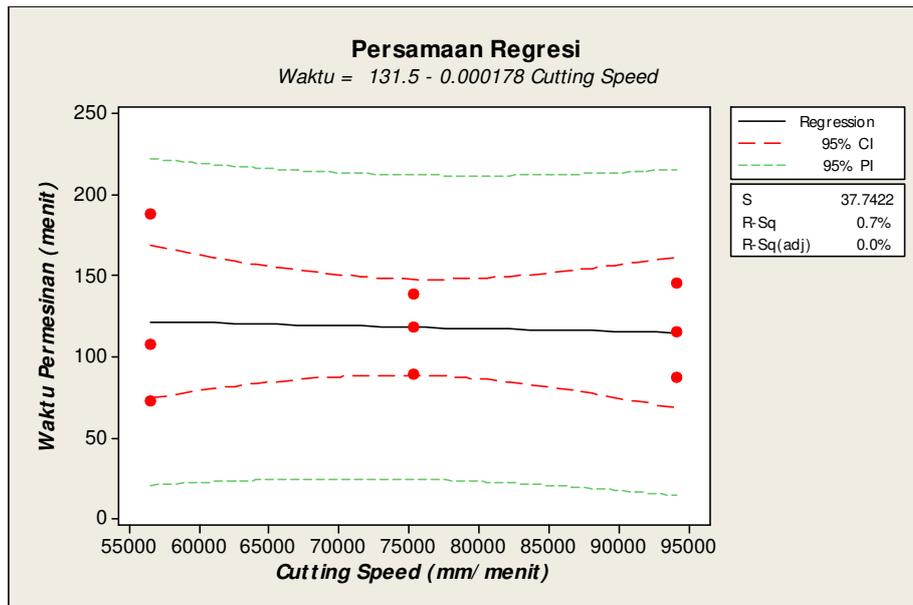
Berdasarkan tabel Anova diketahui nilai F-hitung untuk varian *depth of cut* lebih besar dari F-tabel ($F_{\text{hitung}} = 53,63 > F_{\text{tabel}} = 4,46$) dan nilai sig. = $0,018 < 0,05$. Hal ini menunjukkan bahwa *depth of cut* mempengaruhi secara signifikan terhadap waktu proses permesinan. Dari tabel pengukuran waktu proses permesinan dapat di buat grafik hubungannya (Gambar 4), dapat dilihat bahwa grafik cenderung menurun

secara linier dengan kemiringan negatif. Dari grafik dapat diketahui bahwa waktu proses permesinan akan turun dengan bertambahnya nilai *depth of cut* pada setiap pemotongannya. Dengan nilai pada faktor lain (*cutting speed* dan *feeding*) yang sama

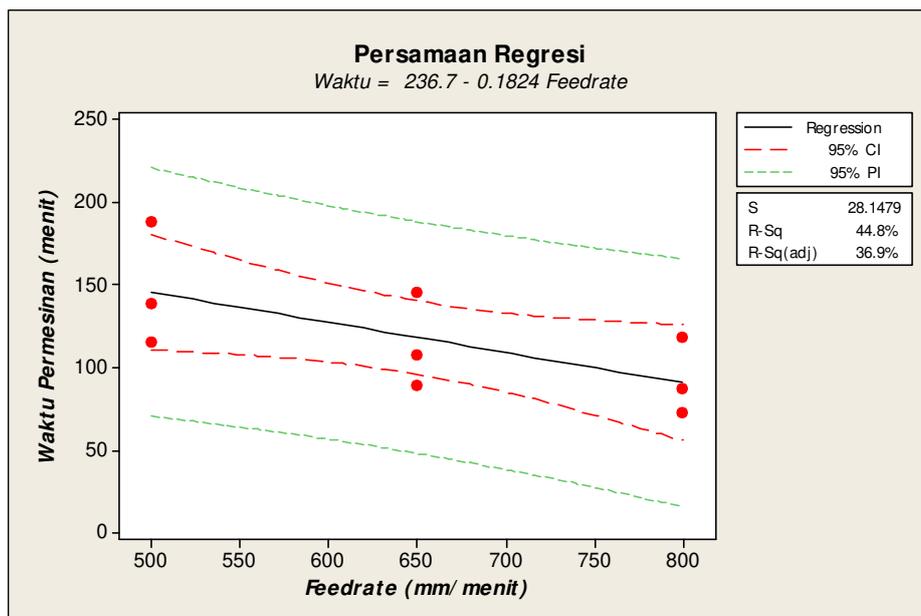
Analisa Regresi

Dari hasil yang didapatkan diketahui bahwa hubungan *cutting speed* dengan waktu proses permesinan telah memenuhi asumsi distribusi secara normal seperti terlihat pada Gambar 5,6,7, bahwa tampak secara visual gambar pada grafik dimana titik-titik hasil data

atau konstan, *depth of cut* = 0,5 mm memiliki *mean* waktu proses permesinan 150,59 menit, *depth of cut* = 0,75 mm memiliki *mean* waktu proses permesinan 111,14 menit dan *depth of cut* = 1 mm memiliki *mean* waktu proses permesinan 92,55 menit. percobaan masih berada dalam rentang nilai yang didefinisikan yang menunjukkan hubungan fungsional negatif dengan persamaan regresinya yaitu $Waktu = 131.5 - 0.000178 \text{ Cutting Speed}$, begitu juga yang terjadi untuk *feedrate* dan *depth of cut* dengan persamaan regresinya yaitu $Waktu = 236.7 -$



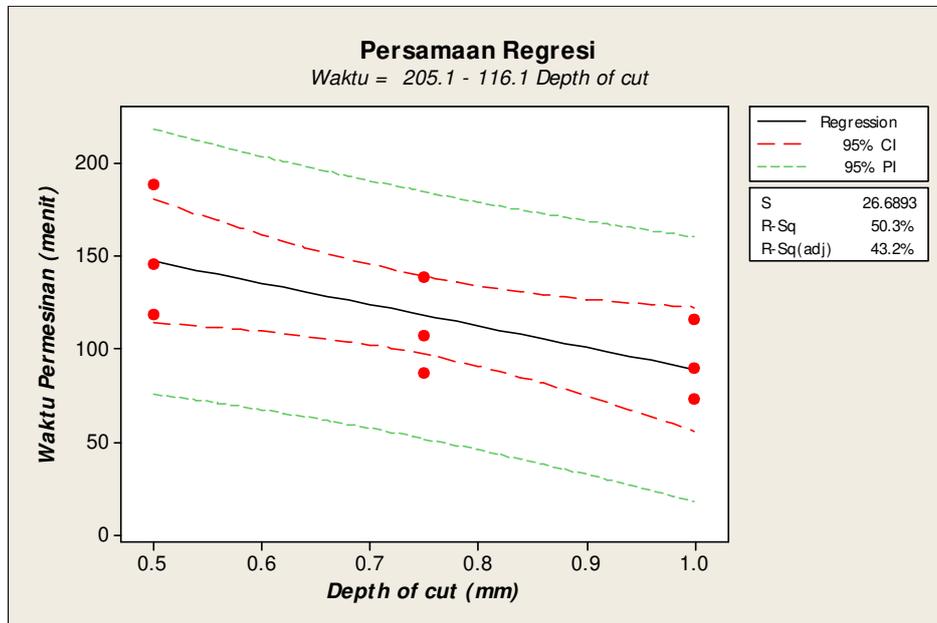
Gambar 5. Sebaran titik data pada hubungan *cutting speed* dengan waktu



Gambar 6. Sebaran titik data pada hubungan *feedrate* dengan waktu

0.1824 Feedrate, Waktu = 205.1 - 116.1 Depth of cut
 Depth of cut.

permesinan. Seperti yang telah ditunjukkan dalam grafik (Gambar 4) bahwa semakin besar nilai *cutting speed* tidak akan mempengaruhi waktu proses permesinannya secara signifikan karena tidak tetapnya grafik secara linier antara level rendah ke tinggi yang cenderung naik turun pada tiap levelnya. Level *low* menghasilkan *mean* waktu proses

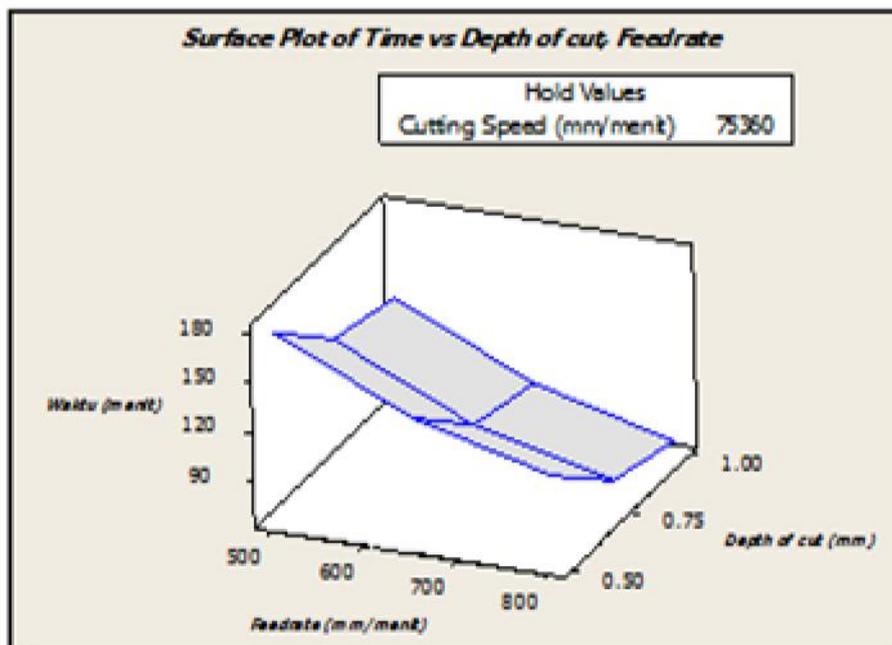


Gambar 7. Sebaran titik data pada hubungan *depth of cut* dengan waktu

Pembahasan hasil dengan software CAM

Cutting speed berpengaruh secara tidak nyata terhadap waktu proses

permesinan 122,75 menit, level *medium* 115,47 menit sedangkan pada level *high* 116,05 menit. Pemilihan nilai *cutting speed*



Gambar 8. Konfirmasi kondisi waktu optimal.

akan menentukan nilai putaran spindle secara linier, dimana semakin besar nilai *cutting speed* dan memperbesar nilai putaran dalam *rpm*. Pada persamaan waktu proses permesinan, putaran *spindel* bersama dengan *feedrate* akan menentukan waktu proses permesinan. *Feedrate* secara signifikan mempengaruhi waktu proses permesinan. Seperti yang telah ditunjukkan dalam grafik (Gambar 4) bahwa semakin besar nilai *feedrate* semakin mempercepat waktu proses permesinan. Level *low* menghasilkan *mean* waktu proses permesinan 147,56 menit, level *medium* 113,88 menit selanjutnya pada level *high* 92,84 menit. *Depth of cut* secara signifikan mempengaruhi waktu proses permesinan. Seperti yang telah ditunjukkan dalam grafik (Gambar 4) bahwa semakin besar nilai *depth of cut* akan semakin mempercepat waktu proses permesinan. Level *low* menghasilkan *mean* waktu proses permesinan 150,59 menit, level *medium* 111,14 menit sedangkan pada level *high* 92,55 menit. Pada permesinan CNC *milling* secara sistematis *depth of cut* akan menentukan berapa kali suatu kontur akan diselesaikan.

Dalam penelitian ini penentuan kondisi optimal menggunakan bantuan program *Minitab* 16 yang berdasarkan hasil dari nilai *mean* level dari masing-masing varian (Tabel 9) sehingga diketahui pengaturan parameter permesinan yang optimal pada kondisi *cutting speed* level 2 = 75360 mm/menit, *feedrate*

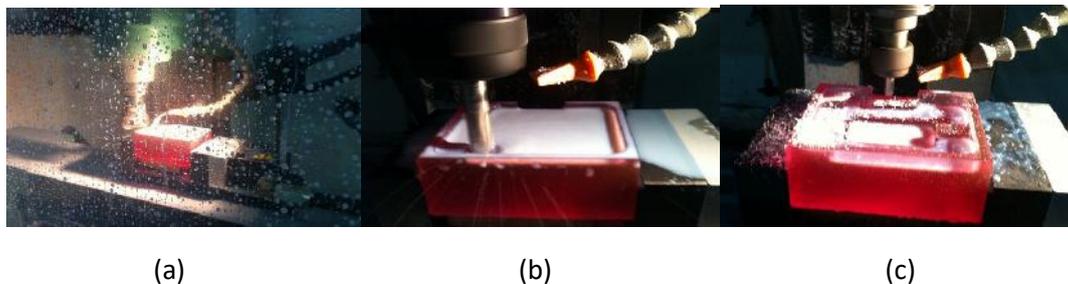
level 3 = 800 mm/menit, *depth of cut* level 3 = 1 mm, grafik pada kondisi tersebut terlihat pada Gambar 8. Kondisi optimal dalam penelitian ini dilihat berdasarkan dari lamanya waktu yang ditempuh dalam proses permesinannya. Hasil percobaan ini ditunjukkan pada Tabel 10.

Tabel 10. Hasil pengukuran dari waktu optimal.

<i>Toolpath</i>	<i>Time</i> (menit)	<i>Feed cut</i> <i>length</i> (mm)	<i>Rapid</i> <i>length</i> (mm)
<i>Face</i>	6,73	5143,97	1239,59
<i>Rough</i>	47,67	37217,87	4368,32
<i>Finish</i>	17,52	13598,66	2640,24
Total	71,92	55960,5	8248,15

Hasil percobaan pada Mesin CNC (Sampling)

Berdasarkan prosedur dalam pelaksanaan penelitian, proses percobaan pada Mesin CNC mengacu pada pemilihan parameter yang optimal yang didapatkan dari analisis data yaitu *spindle speed* = 2000 rpm; *feedrate* = 800 mm/menit; *depth of cut* = 1 mm. Adapun tahapan dalam percobaan pada mesin CNC berdasarkan proses pengerjaan masing-masing *toolpath* yakni *face* dengan *facemill* 40 mm, *rough* dengan *end mill* 12 mm, *finish* dengan *end mill* 6 mm, hasil dari tiap-tiap proses pengerjaan yang terjadi terlihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Hasil tampilan percobaan pada Mesin CNC Milling (a).facing,(b).roughing, (c).finishing.

Pembahasan percobaan pada mesin CNC

Percobaan pada Mesin CNC yang dilakukan pada penelitian ini dengan menggunakan Mesin CNC Milling *Mitsubishi M70*, yang berdasarkan dengan parameter hasil waktu optimum yang didapatkan pada analisa data yang telah dilakukan sebelumnya. Proses percobaan pada mesin CNC ini merupakan rangkaian dari tahapan

proses pada penelitian ini yang sebelumnya proses pembuatan gambar benda kerja dengan menggunakan *Software Solidworks* yang kemudian ditransfer ke *Software Mastercam X* sebagai perantara untuk proses perencanaan dan pembuatan lintasan pahat (*Toolpath Geometry*) dengan dilakukan simulasi terlebih dahulu sampai didapatkan *G Code*, selanjutnya *G Code* tersebut ditransfer

ke Mesin CNC Milling Mitshubishi M70 melalui USB Flash.

Pada tahapan percobaan yang dilakukan pada Mesin CNC, dibagi dalam tiga tahapan proses permesinan yaitu pengerjaan permukaan (*Facing*), pengerjaan kasar (*Rough*) dan pengerjaan halus (*Finishing*). Proses permesinan dengan pengerjaan kasar kemudian dilakukan dalam 5 bagian berdasarkan dengan *toolpath* masing – masing yaitu; *contour1*, *contour2*, *contour3*, *pocket1* dan *pocket2*, data pengukuran waktu proses pemrograman pada pengerjaan kasar terlihat pada tabel 11. Adapun penggunaan parameter permesinan dan *toolpath* yang digunakan mengacu pada yang telah ditetapkan pada metode penelitian dan hasil dari simulasi dengan *software Mastercam X*.

Tabel 11. Data hasil pengukuran waktu proses *Rough*.

<i>Rough Toolpath</i>	Time (menit)
<i>Contour 1</i>	19,95
<i>Contour 2</i>	5,21
<i>Contour 3</i>	8,26
<i>Pocket 1</i>	9,40
<i>Pocket 2</i>	4,75
Total	47,57

Proses permesinan dengan pengerjaan halus (*Finishing*) dilakukan dalam 4 bagian berdasarkan dengan *toolpath* masing – masing yaitu; *contour1*, *contour2*, *pocket1* dan *pocket2*, data pengukuran waktu proses pemrograman pada pengerjaan halus terlihat pada tabel 12. Adapun penggunaan parameter permesinan dan *toolpath* yang digunakan mengacu pada yang telah ditetapkan pada metode penelitian dan hasil dari simulasi dengan *software Mastercam X*, selanjutnya pada tabel 16 menunjukkan total hasil pengukuran waktu proses permesinan yang dilakukan pada percobaan menggunakan mesin CNC milling Mitshubishi M70.

Tabel 12. Data hasil pengukuran waktu proses *Finishing*.

<i>Finishing Toolpath</i>	Time (menit)
<i>Contour 1</i>	3,40
<i>Contour 2</i>	5,82
<i>Pocket 1</i>	6,26
<i>Pocket 2</i>	2,40
Total	17,88

Tabel 13. Data total hasil pengukuran waktu proses permesinan pada Mesin CNC.

<i>Toolpath</i>	Time (menit)
<i>Face</i>	6,72
<i>Rough</i>	47,57
<i>Finish</i>	17,88
Total	72,17

Perbandingan waktu hasil CAM dengan CNC Milling

Hasil pengukuran waktu proses permesinan yang dilakukan pada mesin CNC Milling kemudian dilakukan perbandingan dengan waktu proses yang didapatkan pada proses CAM dengan *software Mastercam X*, adapun perbedaan hasilnya terlihat pada (Tabel 14) dimana waktu yang dihasilkan hampir persis sama, karena tidak adanya perbedaan waktu secara nyata antara proses pada CAM dengan proses pada mesin CNC diketahui pada proses CAM didapatkan waktu proses permesinannya yaitu 71,92 menit, sedangkan pada proses dengan mesin CNC didapatkan waktu proses permesinannya yaitu 72,17 menit. Sehingga diketahui selisih waktu yang terjadi yaitu 0,25 menit atau 15 detik dengan persentase 0,35%. Hal ini menunjukkan bahwa adanya perbedaan waktu yang tidak signifikan antara proses pada CAM dengan proses pada mesin CNC. Hasil perbandingan tersebut memberikan arti bahwa tanpa dilakukannya percobaan langsung pada mesin CNC, waktu proses permesinannya sudah bisa disimpulkan dari hasil percobaan simulasi pada proses CAM dengan menggunakan *software Mastercam X*.

Tabel 14. Data perbandingan waktu proses permesinan pada CAM dan Mesin CNC.

<i>Toolpath</i>	Time (menit)	
	Proses CAM	Proses CNC
<i>Face</i>	6,73	6,72
<i>Rough</i>	47,67	47,57
<i>Finish</i>	17,52	17,88
Total	71,92	72,17

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari hasil eksperimen dan Analisa Statistik dengan Anova pada taraf signifikansi 5% didapatkan hasil:

1. Bahwa *cutting speed* berpengaruh secara tidak nyata dengan kontribusi persentase 0,92%, sementara *feedrate dan depth of cut* berpengaruh secara signifikan terhadap waktu proses

- permesinan dengan kontribusi persentase 43% dan 49.56%.
2. Waktu proses permesinan optimal yang dihasilkan dari simulasi *software CAM* adalah 71,92 menit, pada kondisi *cutting speed* = 75360 mm/menit, kondisi *federate* = 800 mm/menit, kondisi *depth of cut* = 1 mm. Selanjutnya hasil percobaan langsung pada mesin *CNC Milling* menunjukkan adanya perbedaan yang tidak signifikan dengan persentase 0,35%.

Saran

Adapun saran yang dapat diberikan setelah melakukan penelitian adalah sebagai berikut:

1. Pada penelitian selanjutnya, dapat dilakukan dengan optimasi menggunakan tambahan variabel respon seperti kualitas produk.
2. Penelitian ini dapat dilakukan pengembangan dengan melakukan perbandingan dengan menggunakan *software CAD/CAM* yang lain.
3. Penelitian ini masih bisa dikembangkan lagi dengan cara menambah parameter lain seperti jenis material benda kerja, sebagai perbandingan.
4. Untuk menghasilkan waktu proses permesinan optimal pada mesin *CNC milling* dapat dilakukan dengan cara mengoptimalkan nilai *depth of cut* dan *feedrate*.

DAFTAR PUSTAKA

- Draganescu F., Gheorghe M., Doicin C.V., 2003, *Models of machine tool efficiency and specific consumed energy*, Journal of Materials Processing Technology, Vol.141, No.1, pp. 9 - 15.
- Krur S., Gill A., 1999, *Computer numerical control programming basics*, Industrial Press Inc. New York.
- Ricky, 2009, *Computer aided manufacturing (CAM)*, tersedia di <https://r1ck.wordpress.com/2009/11/23/computer-aided-manufacturing-cam>.
- Rochim T., 1993, *Teori & teknologi proses permesinan*, Higher Education Development Support Project, ITB, Jakarta.
- Sukardi, 2004, *Metodologi Penelitian*, PT. Bumi Aksara, Jakarta.
- Wijanarka B.S., 2011, *Teknik permesinan frais CNC*, Universitas Negeri Yogyakarta.