

OPTIMASI PARAMETER PEMESINAN TERHADAP WAKTU PROSES PADA PEMROGRAMAN CNC MILLING

Triono Priohutomo¹, Muhammad Ali Mubin Junior²
Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknologi Mandala Bandung

ABSTRAK

Permasalahan yang diungkap dalam penelitian ini adalah tentang Optimasi Parameter Pemesinan Terhadap Waktu Proses Pada Pemrograman CNC Milling. Tujuan dalam penelitian ini yaitu mengevaluasi pengaruh *cutting speed*, *feed rate*, *depth of cut*, dan *retract* terhadap waktu proses pada pemrograman CNC Milling dan mengetahui parameter pemesinan yang menghasilkan waktu proses yang optimal pada pemrograman CNC Milling. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen faktorial, dimana *cutting speed*, *feed rate*, *depth of cut*, dan *retract* merupakan variabel bebas dari waktu proses pemesinan sebagai variabel responnya. Masing-masing variabel bebas mempunyai dua *level* faktor yaitu *level low* dan *level high*. Pengukuran waktu proses pemesinan didapatkan dari hasil simulasi software MasterCam X5 Milling melalui fasilitas *sheet-up*. Hasil yang didapat dalam simulasi meliputi waktu proses pemesinan atau *operation time*, Panjang Langkah pemakanan atau *feed cut length*, dan Panjang Langkah tanpa pemakanan atau *rapid trverse length*. Data hasil eksperimen kemudian dilakukan analisis statistik ANOVA untuk melihat adanya pengaruh dan presentase kontribusi dari masing-masing parameter terhadap waktu proses pemesinannya. Kecepatan potong atau *cutting speed* memiliki kontribusi dengan nilai 74,77 %. Kedalaman pemakanan atau *depth of cut* dengan nilai 9,74 %. Laju pemakanan atau *feed rate* dengan nilai 9,57 %. Jarak penarikan pahat atau *retract* dengan nilai 5,26 %.

Kata kunci : Parameter pemesinan, waktu proses, pemrograman CNC Milling.

1. PENDAHULUAN

Salah satu kunci keberhasilan negara-negara industri maju dalam membangun kekuatan ekonominya adalah kemampuan suatu industri dalam membuat produk manufaktur secara efisien. Dengan perkembangan teknologi manufaktur yang semakin pesat dan semakin tinggi persaingan antara produsen produk – produk manufaktur, kebutuhan akan kualitas produk yang tinggi (*high quality product*) yang dihasilkan dengan kecepatan produksi yang tinggi (*high speed manufacturing*) dengan efisien biaya produksi yang rendah (*low cost production*) menjadi suatu persyaratan. Semuanya itu membutuhkan sistem pendukung proses manufaktur yang handal. Salah satu pendukung tersebut adalah sistem *CAD/CAM*.

CAD/CAM memiliki dua bagian yaitu desain gambar *CAD* (*Computer Aided Design*) dan desain gambar *CAM* (*Computer Aided Machine*). Desain gambar *CAD* berisikan tentang desain produk meliputi ukuran dan bentuk geometri sedangkan desain gambar *CAM* adalah berupa desain tentang proses pemakanan, *toolpath*, *set-up* mesin dan hal-hal lainnya yang berkaitan dengan proses *CAD*. Desain yang dihasilkan oleh *software CAD/CAM* ini nantinya akan diubah menjadi bahasa pemrograman (*NC Code*).

MasterCam ialah salah satu *software CAD/CAM* yang tergolong popular dalam dunia pendidikan keteknikan maupun dunia praktis, khususnya bagi sekolah-sekolah teknik dan perguruan tinggi,

serta industri pengguna teknologi CNC yang memerlukan keakuratan proses manufakturnya. Melalui fitur-fitur strategis yang terdapat pada *MasterCam* seorang programmer dapat melakukan variasi parameter pemesinan untuk menghasilkan waktu proses yang optimal pada pemrograman *CNC Milling*.

1.1. 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.

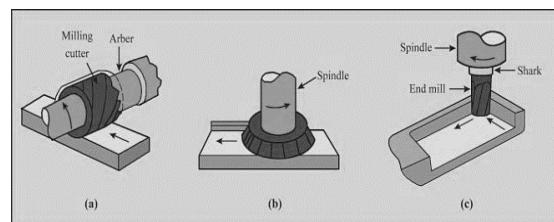
CAD/CAM & CNC

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. Analisi 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, managemen, 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*).

Parameter Pemesinan

Parameter proses pemesinan frais adalah, dasar-dasar perhitungan yang digunakan untuk menentukan perhitungan perhitungan dalam proses pemotongan/penyayatan pemesinan frais

diantaranya, kecepatan potong (V_c), kecepatan putaran mesin (rpm), kecepatan pemakanan (V_f) dan kedalaman pemotongan (*depth of cut*). Pada proses pemesinan dengan menggunakan mesin *milling* terdapat beberapa parameter pemotongan, antara lain:

- Kecepatan potong (*Cutting Speed*). Kecepatan potong atau *cutting speed* yang umum dinyatakan dalam meter/menit, ialah kecepatan relative mata pahat dengan benda kerja saat proses pemesinan berlangsung. Kecepatan potong ini bergantung pada kecepatan putar *spindle* (n) dan diameter (d) pahat yang digunakan. Berdasarkan *cutting speed* dinyatakan persamaan berikut:

$$V_c = \frac{\pi \times n \times d}{1000}$$

Dengan :

V_c = Kecepatan Potong (m/min)

n = Putaran Spindle (rpm)

d = Diameter Pahat (mm)

- Kecepatan Pemakanan (*feed rate*). Kecepatan pemakan atau *feed rate* adalah jarak yang ditempuh oleh pahat setiap pahat berputar satu kali sehingga satuan *feed rate* adalah milimeter per putaran (mm/rev).

$$V_f = f \times n$$

Dengan :

V_f = kecepatan pemakanan (mm/min)

f = gerakan pemakanan (mm/put)

n = putaran spindle (rpm)

Kecepatan pemakanan ditentukan berdasarkan kekuatan mesin, material benda kerja, material pahat, bentuk pahat, dan terutama kehalusan permukaan yang diinginkan. Gerak makan biasanya ditentukan dalam hubungannya dengan kedalaman potong.

- Kedalaman Pemakanan (*dept of cut*)

Kedalaman pemotongan atau *depth of cut*, adalah tebal bagian benda kerja yang dibuang dari benda kerja, atau jarak antara permukaan yang dipotong terhadap permukaan yang belum terpotong.

Panjang Pemakanan.

Panjang pemakanan adalah panjang bagian benda yang disayat atau dipotong sejajar dengan sumbu *spindle*. Pada proses pemesinan *cnc milling* Panjang pemakanan, Panjang benda kerja ditambah diameter pahat.

$$l_t = l_n + l_w + l_v$$

Dengan :

l_t = panjang total pemakanan (mm)

l_w = panjang benda kerja (mm)

l_n = setengah dia.pahat (mm)

l_v = setengah dia.pahat (mm)

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen. Desain eksperimen adalah evaluasi secara serentak dua atau lebih faktor atau parameter terhadap kemampuannya untuk mempengaruhi rata-rata hasil atau variabilitas hasil gabungan dari karakteristik produk atau proses tertentu. Untuk mengetahui pengaruh faktor atau parameter terhadap rata-rata hasil secara efektif, selanjutnya dianalisis untuk menentukan faktor mana yang berpengaruh serta mengetahui hasil maksimal yang dapat diperoleh. Metode eksperimen yang dipakai dalam penelitian ini adalah metode eksperimen faktorial. Eksperimen faktorial adalah salah satu metode yang banyak dipakai dalam eksperimen yang bertujuan untuk memperbaiki kualitas produk dan proses dalam waktu yang bersamaan, sehingga bisa menekan biaya dan sumber daya seminimal mungkin.

Pemilihan faktor terkendali dan tidak terkendali. Faktor terkendali adalah faktor yang ditetapkan atau dikendalikan selama tahap perancangan. Faktor tidak terkendali adalah faktor yang tidak dapat dikendalikan. Sesuai perumusan masalah, pada percobaan ini faktor terkendali yang digunakan yaitu:

- Kecepatan potong (*cutting speed*).
- Laju pemakanan (*feed rate*).
- Kedalaman pemakanan (*dept of cut*).
- Jarak penarikan pahat (*retract*).

Pemilihan matriks orthogonal (*orthogonal array*) Matriks orthogonal adalah suatu matrik yang elemen-elemennya disusun menurut baris dan

kolom. Kolom merupakan faktor yang dapat diubah dalam eksperimen. Baris merupakan kombinasi level dari faktor dalam eksperimen. Dengan prinsip *full factorial*, dalam penelitian ini percobaan dengan 2 *level* dan faktor yang diuji berjumlah 4 faktor, maka harus dipersiapkan 24 atau 16 kali percobaan. Kombinasi (Tabel 1 dan Tabel 2) kolom A (*cutting speed*) dibuat penggantian setiap 1 (2^0) baris. Kombinasi kolom B (*feed rate*) dibuat penggantian setiap 2 (2^1) baris. Kombinasi kolom C (*depth of cut*) dibuat penggantian setiap 4 (2^2) baris. Kombinasi kolom D (*retract*) dibuat penggantian setiap 8 (2^3) baris.

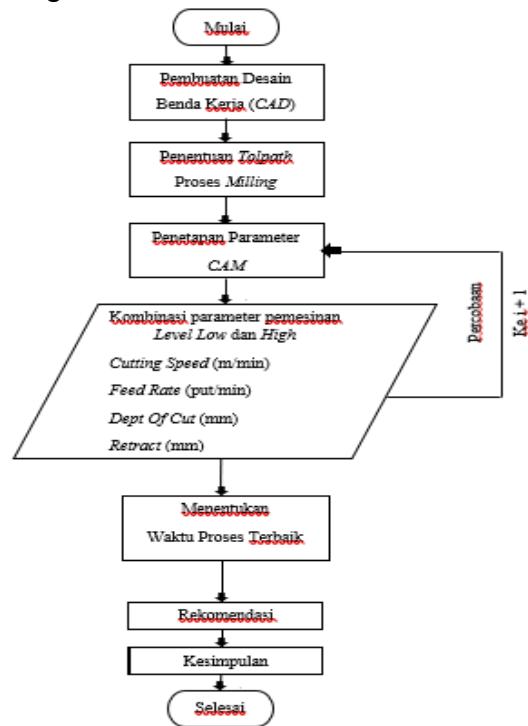
Tabel 1 Desain Kombinasi Parameter Percobaan.

No	Cutting Speed (m/min)	Feed Rate (mm/put)	Dept of Cut (mm)	Retract (mm)
1	100	0.4	0.15	5
2	150	0.4	0.15	5
3	100	0.6	0.15	5
4	150	0.6	0.15	5
5	100	0.4	0.25	5
6	150	0.4	0.25	5
7	100	0.6	0.25	5
8	150	0.6	0.25	5
9	100	0.4	0.15	10
10	150	0.4	0.15	10
11	100	0.6	0.15	10
12	150	0.6	0.15	10
13	100	0.4	0.25	10
14	150	0.4	0.25	10
15	100	0.6	0.25	10
16	150	0.6	0.25	10

Tabel 2 Nilai Parameter Pemesinan.

Parameter	Level Low	Level High
Cutting Speed	100 m/min	150 m/min
Feed Rate	0.4 mm/put	0.6 mm/put
Depth of Cut	0.15 mm	0.25 mm
Retract	5 mm	10 mm

Rancangan penelitian disusun dengan tujuan adanya arah yang jelas dan target yang hendak dicapai dalam penelitian. Rancangan penelitian secara skematis dapat dilihat pada gambar diagram alir dibawah ini:



Gambar 2 diagram alir penggerjaan.

2.1. 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:

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

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. 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 X5 Mill*. Dengan menggunakan fasilitas *Command 'Setup Sheet'* didapatkan data hasil dari tiap-tiap

percobaan diantaranya waktu proses pemesinan (*operation time*), panjang langkah pemotongan (*feed cut length*) dan panjang langkah tanpa pemotongan (*rapid tranverse length*).

Tabel 3 Hasil pengukuran waktu proses pemesinan.

No	Parameter				Toolpath							total (min)
	VC (m/min)	f (mm/put)	doc (mm)	retract (mm)	Facing	Cross Drill	Drill	Side Mill 1	Side Mill 2	Surface roughing	Surface finishing	
	A	B	C	D	1	2	3	4	5	6	7	
1	100	0.4	0.15	5	0,04	0,85	0,08	4,2	5,12	8,2	8,1	26,2
2	150	0.4	0.15	5	0,6	0,03	0,07	2,42	3,31	8,3	8,1	23,3
3	100	0.6	0.15	5	0,6	0,03	0,06	2,42	3,31	6,29	6,28	19,55
4	150	0.6	0.15	5	0,4	0,03	0,05	1,49	2,24	6,8	6,7	16,59
5	100	0.4	0.25	5	0,04	0,85	0,08	2,29	3,36	4,47	4,44	15,57
6	150	0.4	0.25	5	0,6	0,03	0,07	1,4	2,7	4,47	4,44	13,71
7	100	0.6	0.25	5	0,6	0,03	0,06	1,4	2,7	3,51	3,5	12,11
8	150	0.6	0.25	5	0,4	0,03	0,05	1,8	1,24	3,39	3,37	10,24
9	100	0.4	0.15	10	0,04	0,06	0,1	4,2	5,12	8,9	8,6	26,34
10	150	0.4	0.15	10	0,6	0,05	0,09	2,42	3,31	8,8	8,6	23,87
11	100	0.6	0.15	10	0,6	0,04	0,07	2,42	3,31	6,34	6,33	20,7
12	150	0.6	0.15	10	0,42	0,04	0,07	1,49	2,24	6,33	6,11	17,11
13	100	0.4	0.25	10	0,87	0,06	0,1	2,29	3,36	4,48	4,47	16,15
14	150	0.4	0.25	10	0,6	0,06	0,09	1,4	2,7	4,48	4,47	13,74
15	100	0.6	0.25	10	0,6	0,04	0,07	1,4	2,7	3,55	3,52	12,2
16	150	0.6	0.25	10	0,42	0,04	0,07	1,8	1,28	3,42	3,4	10,32

Tabel 4 Hasil pengukuran feed cut length.

No	Parameter				Toolpath							total (mm)
	VC (m/min)	f (mm/put)	doc (mm)	retract (mm)	Facing	Cross Drill	Drill	Side Mill 1	Side Mill 2	Surface roughing	Surface finishing	
	A	B	C	D	1	2	3	4	5	6	7	
1	100	0.4	0.15	5	524,246	24	72	6364,88	8070	10667,5	10667,5	36390,18
2	150	0.4	0.15	5	524,246	24	72	6364,88	8070	10667,5	10667,5	36390,18
3	100	0.6	0.15	5	524,246	24	72	6364,88	8070	10667,5	10667,5	36390,18
4	150	0.6	0.15	5	524,246	24	72	6364,88	8070	10667,5	10667,5	36390,18
5	100	0.4	0.25	5	524,246	24	72	3896,98	4710	6286,97	6282,22	21796,43
6	150	0.4	0.25	5	524,246	24	72	3896,98	4710	6286,97	6282,22	21796,43
7	100	0.6	0.25	5	524,246	24	72	3896,98	4710	6286,97	6282,22	21796,43
8	150	0.6	0.25	5	524,246	24	72	3896,98	4710	6286,97	6282,22	21796,43
9	100	0.4	0.15	10	524,246	44	92	6364,88	8070	10667,5	10667,5	36430,18
10	150	0.4	0.15	10	524,246	44	92	6364,88	8070	10667,5	10667,5	36430,18
11	100	0.6	0.15	10	524,246	44	92	6364,88	8070	10667,5	10667,5	36430,18
12	150	0.6	0.15	10	524,246	44	92	6364,88	8070	10667,5	10667,5	36430,18
13	100	0.4	0.25	10	524,246	44	92	3896,98	4710	6286,97	6282,22	21836,43
14	150	0.4	0.25	10	524,246	44	92	3896,98	4710	6286,97	6282,22	21836,43
15	100	0.6	0.25	10	524,246	44	92	3896,98	4710	6286,97	6282,22	21312,18
16	150	0.6	0.25	10	524,246	44	92	3896,98	4710	6286,97	6282,22	21836,43

Tabel 5 Hasil pengukuran rapid trvese length.

No	Parameter				Toolpath							total (mm)
	VC (m/min)	f (mm/put)	doc (mm)	retract (mm)	Facing	Cross Drill	Drill	Side Mill 1	Side Mill 2	Surface roughing	Surface finishing	
	A	B	C	D	1	2	3	4	5	6	7	
1	100	0.4	0.15	5	5,25	144	192	10	67,426	1414,94	1414,94	3248,55
2	150	0.4	0.15	5	5,25	144	192	10	67,426	1410,09	1414,94	3243,71
3	100	0.6	0.15	5	5,25	144	192	10	67,426	1414,94	1414,94	3248,55
4	150	0.6	0.15	5	5,25	144	192	10	67,426	1414,94	1414,94	3248,55
5	100	0.4	0.25	5	5,25	144	192	10	67,426	846,756	851,5	2116,93
6	150	0.4	0.25	5	5,25	144	192	10	67,426	846,756	851,5	2116,93
7	100	0.6	0.25	5	5,25	144	192	10	67,426	846,756	851,5	2116,93
8	150	0.6	0.25	5	5,25	144	192	10	67,426	2440,09	2444,94	5358,71
9	100	0.4	0.15	10	10,3	164	212	15	72,426	2444,94	2444,94	5363,55
10	150	0.4	0.15	10	10,3	164	212	15	72,426	2444,94	2444,94	5363,55
11	100	0.6	0.15	10	10,3	164	212	15	72,426	2444,94	2444,94	5363,55
12	150	0.6	0.15	10	10,3	164	212	15	72,426	2444,94	2444,94	5363,55
13	100	0.4	0.25	10	10,3	164	212	15	72,426	1461,5	1461,5	3396,68
14	150	0.4	0.25	10	10,3	164	212	15	72,426	1461,5	1461,5	3396,68
15	100	0.6	0.25	10	10,3	164	212	15	72,426	1456,56	1461,5	3391,74
16	150	0.6	0.25	10	10,3	164	212	15	72,426	1456,76	1461,5	3391,94

Tabel 6 Hasil Perhitungan Anova.

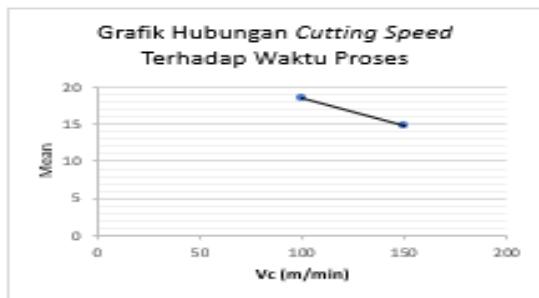
source of variation	ss	db	ms	f	Contribusi %	
					%	
K _a	134.452,24	15	44.847,41	266,42	74,77	
F	17.213,44	15	5737,81	34,08	9,57	
Doc	17.529,76	15	5843,25	34,71	9,74	
Retract	10.650,24	15	3550,08	21,09	5,92	
Total	179.935,68	60			100	

Tabel analisa statistik Anova dengan $\alpha = 5\%$. Nilai dari F tabel dari masing-masing varian (**F0.05, 3, 60**) adalah 2,76, sehingga Dari hasil perhitungan analisis varian F-hitung *Cutting Speed, Feed rate, Depth of cut, dan retract* lebih

besar dari f-tabel maka *Cutting Speed*, *Feed rate*, *Depth of cut*, dan *retract* berpengaruh secara signifikan.

- Pengaruh *Cutting Speed* (V_c) terhadap waktu proses pemesinan.

Berdasarkan tabel ANOVA diketahui nilai F-hitung untuk varian cutting speed lebih besar dari f-tabel ($F\text{-hitung} = 226,42 > F\text{-tabel} = 2,76$). Hal ini menunjukkan bahwa cutting speed mempengaruhi secara signifikan terhadap waktu proses pemesinan dengan kontribusi 74,77%. Dari tabel pengukuran waktu proses pemesinan dapat dibuat Gambar 3 grafik hubungan sebagai berikut.



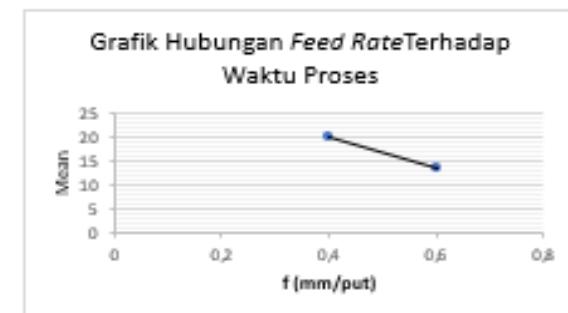
Gambar 3 Grafik Hubungan *Cutting speed* terhadap waktu proses.

Hal ini menunjukkan adanya hubungan bahwa semakin besar cutting speed (V_c), maka semakin singkat waktu proses pemesinannya.

- pengaruh feed rate (f) terhadap waktu proses pemesinan.

Berdasarkan tabel ANOVA diketahui F-hitung untuk varian feed rate lebih besar dari f-tabel ($F\text{-hitung} = 34,08 > F\text{-tabel} = 2,76$). Hal ini menunjukkan bahwa feed rate mempengaruhi secara signifikan terhadap waktu proses pemesinan dengan kontribusi sebesar 9,57 %. Dari tabel pengukuran waktu proses

pemesinan dapat dibuat Gambar 4 grafik hubungan sebagai berikut.

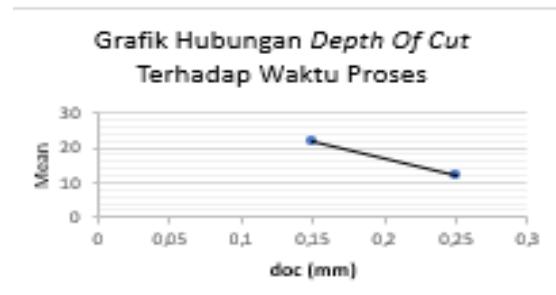


Gambar 4 Grafik Hubungan *Feed rate* terhadap waktu proses.

hal ini menunjukkan bahwa feed rate mempengaruhi waktu proses pemesinan, bahwa semakin besar feed rate (f), maka semakin rendah waktu proses pemesinannya.

- pengaruh Depth Of Cut (doc) terhadap waktu proses pemesinan.

Berdasarkan tabel ANOVA diketahui nilai f-hitung untuk varian depth of cut lebih besar dari F-tabel ($F\text{-hitung} = 34,71 > F\text{-tabel} = 2,76$). Hal ini menunjukkan bahwa depth of cut mempengaruhi secara signifikan terhadap waktu proses pemesinan dengan kontribusi sebesar 9,74 %. Dari tabel pengukuran waktu proses pemesinan dapat di buat Gambar 5 grafik hubungan sebagai berikut.

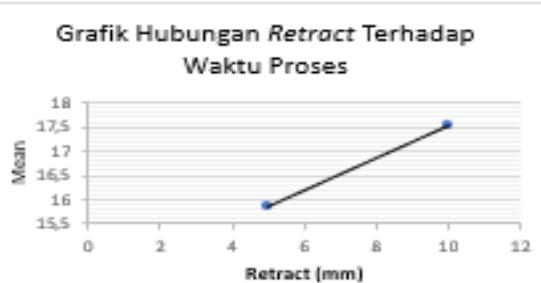


Gambar 5 Grafik Hubungan *Depth of cut* terhadap waktu proses.

hal ini menunjukkan bahwa kedalaman pemotongan mempengaruhi Panjang lintasan pahat (*toolpath*). Semakin besar kedalaman pemotongan akan semakin singkat waktu proses pemesinannya.

- Pengaruh *retract* terhadap waktu proses pemesinan.

Berdasarkan tabel ANOVA diketahui nilai F-hitung lebih besar dari f-tabel ($F\text{-hitung} = 21,09 > F\text{-tabel} = 2,76$). Hal ini menunjukkan bahwa *retract* mempengaruhi secara signifikan terhadap waktu proses pemesinan dengan kontribusi sebesar 5,29 %. Dari tabel pengukuran waktu proses pemesinan dapat dibuat Gambar 6 grafik hubungan sebagai berikut.



Gambar 6 Grafik Hubungan *Retract* terhadap waktu proses.

hal ini menunjukkan bahwa *retract* mempengaruhi Panjang lintasan pahat. Semakin rendah nilai *retract* maka semakin pendek Panjang lintasan pahat yang berarti semakin singkat pula waktu proses pemesinannya.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil data dan analisis percobaan dengan menagacu pada perumusan masalah, maka penelitian ini dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Ada perbedaan pengaruh yang signifikan pada taraf signifikan 5% pada variasi *cutting speed* terhadap waktu proses pemesinan pada pemrograman CNC *Milling*. Pengaruh dilihat dari hasil analisis statistik ANOVA, dimana $F\text{-hitung}$ lebih besar dari $F\text{-tabel}$ ($F\text{-hitung} = 226,42 > F\text{-tabel} = 2,76$) dan dengan kontribusi sebesar 74,77%.
- Ada perbedaan pengaruh yang signifikan pada taraf 5% pada variasi *feed rate* terhadap waktu proses pemesinan pada pemrograman CNC *Milling*. Pengaruh dapat dilihat dari hasil analisis statistic ANOVA, dimana $F\text{-hitung}$ lebih besar dari $F\text{-tabel}$ ($F\text{-hitung} = 34,08 > F\text{-tabel} = 2,76$) dan dengan kontribusi sebesar 9,57 %.
- Ada perbedaan pengaruh yang signifikan pada taraf 5% pada variasi *depth of cut* terhadap waktu proses pemesinan pada pemrograman CNC *Milling*. Pengaruh dapat dilihat dari hasil analisis statistic ANOVA, dimana $F\text{-hitung}$ lebih besar dari $F\text{-tabel}$ ($F\text{-hitung} = 34,71 > F\text{-tabel} = 2,76$) dan dengan kontribusi sebesar 9,74 %.
- Ada perbedaan pengaruh yang signifikan pada taraf 5% pada variasi *retract* terhadap waktu proses pemesinan pada pemrograman CNC *Milling*. Pengaruh dapat dilihat dari hasil analisis statistic ANOVA, dimana $F\text{-hitung}$ lebih besar dari $F\text{-tabel}$ ($F\text{-hitung} = 21,09 > F\text{-tabel} = 2,76$) dan dengan kontribusi sebesar 5,29 %.
- Parameter yang menghasilkan waktu proses pemesinan yang optimal pada pemrograman CNC *Milling* adalah

pada kondisi *cutting speed* = 150 m/min, kondisi *feed rate* = 0,6 mm/put, kondisi *depth of cut* = 0,25 mm, dan *retract* = 5 mm. waktu proses pemesinan yang dihasilkan pada kondisi tersebut adalah 10,24 menit.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Azhari, M. Chusnul. 2018. *Proses Produksi 1*. Bandung: Sekolah Tinggi Teknologi Mandala Bandung.
- [2] Gunarto.A, Pramono Joko. 2017. *Teknik Pemesinan Frais*. Jakarta: Penerbit Andi.
- [3] Kristanto. H. 2015. *Parameter Pemesinan pada Proses Pembubutan*.jakarta: Bumi Aksara.
- [4] Prawoko.H.S.B. 2020. *Dasar-Dasar Memprogram CNC*. Yogyakarta: UNY Press.
- [5] Sutarto. 2013. *Teknik Pemesinan NC/CNC dan CAM*, Jakarta : Bumi Aksara.
- [6] BHAVIKATI,S.S. 2017. *ENGINEERING MECHANICS*. London.
- [7] Outokompu. 2013. *Manual Book of Stainless Steel*. Sweden.
- [8] Overby Alan. 2013. *CNC Machining Hand Book, Building, Programing, and Implementation*. McGraw Hill TAB : 1st edition.
- [9] PT.MITSUBITSI. 2017. *CNC Milling Tool Catalog*. Cikarang.
- [10] Anto, Edi. 2013. *Optimasi parameter pemesinan terhadap waktu proses pada pemrograman CNC Turning*. Skripsi. Semarang : Universitas Negeri Semarang.