

Proses Milling CNC Sinumeric 808D Pada Material Acrylic Untuk Mendapatkan Kualitas Permukaan Yang Optimum Dengan Menggunakan Parameter Tebal Pemakanan, *Voeding* Dan Kecepatan Potong

Harun Satriya^{a,*}, Ir. Joko Waluyo, M.T.^b, Ir. Adi Purwanto, M.T.^c

^{a,b,c} Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Sains & Teknologi Akprind Yogyakarta
Jl. Kalisahak No. 28 Kompleks Balapan

*E-mail : MzSatriaMadangKara@Gmail.com

Abstract

The value of a product can be indicated by one of them is surface quality. The machining process has different fineness (roughness value), especially in CNC Milling machines. This study aims to determine the variability of tool path, Spindle Speed, and Feed Rate on flat surfaces machined CNC Milling Sinumerik 808D 3 Axis on Acrylic material, on the surface roughness produced in units (Ra) which results are good. The machining process of acrylic materials using CNC Milling machines is carried out at the Campus CNC Laboratory of the Akprind Institute of Science & Technology in Yogyakarta. Surface roughness testing was carried out at the Engineering Materials Laboratory, Department of Mechanical Engineering, Gadjah Mada University using the Surface SE 1700 roughness test equipment and material surfaces observed using a 200x magnification metal microscope. The machine parameters that are set are the spindle speed of 1000, 1500, 2000 rpm, Feed Rate 400, 800 mm / min and use the zigzag & one way tool path. The conclusion obtained is that at 1000 rpm spindle rotation, one way feed flow, 800 mm / minute feeding speed gets the highest roughness of 15.78 μm . While the spindle rotation of 2000 rpm feeding speed of 400 mm / min, and zig-zag tool flow get the lowest roughness value, the roughness value obtained is 7.074 μm . Then the CNC Milling Machining Process on Acrylic material if you want to have good roughness the parameters must be high rotating speed and low Feedrate using a one way tool pad.

Keywords : *Surface Treatment; Spindle Speed; Feed Rate; Tool Pad; Acrylic*

Abstrak

Nilai sebuah produk dapat diindikasikan salah satunya kualitas permukaan. Proses pemesinan mempunyai kualitas kehalusan (nilai kekasaran) yang berbeda terutama pada mesin CNC Milling. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui variasi *tool path*, *Spindle Speed*, dan *Feed Rate* pada permukaan yang datar hasil pemesinan *CNC Milling Sinumerik 808D 3 Axis* pada material *Acrylic*, terhadap kekasaran permukaan yang dihasilkan dalam satuan (Ra) mana yang hasilnya baik. Proses pemesinan material *acrylic* menggunakan mesin *CNC Milling* dilaksanakan di Laboratorium CNC Kampus Institut Sains & Teknologi Akprind Yogyakarta. Pengujian Kekasaran permukaan dilaksanakan di Laboratorium Bahan Teknik Departemen Teknik Mesin Universitas Gadjah Mada menggunakan alat uji kekasaran *Surface SE 1700* dan permukaan material diamati menggunakan mikroskop logam perbesaran 200x. Parameter mesin yang diatur adalah kecepatan *spindle* 1000, 1500, 2000 rpm, *Feed Rate* 400, 800 mm/min dan menggunakan *tool path zigzag & one way*. Kesimpulan yang didapat ialah Pada putaran *spindle* 1000 rpm, alur pemakanan *one way*, kecepatan makan 800 mm/menit mendapat kekasaran paling tinggi sebesar 15,78 μm . Sedangkan putaran *spindle* 2000rpm kecepatan makan 400 mm/min, dan alur pahat *zig – zag* mendapatkan nilai kekasaran terendah, nilai kekasaran yang didapat adalah 7,074 μm . Maka Proses Pemesinan *CNC Milling* pada material *Acrylic* jika ingin memiliki kekasaran yang baik parameternya harus kecepatan putar tinggi dan *Feedrate* yang rendah menggunakan *tool pad one way*.

Kata Kunci : *Kekasaran Permukaan, Spindle Speed, Feed Rate, Tool Pad & Acrylic.*

1. Pendahuluan

Mesin CNC (*Computer Numerically Controlled*) Milling adalah mesin milling yang diprogram oleh komputer yang sangat diandalkan oleh industri – industri manufaktur dalam membuat berbagai produk masal yang lebih murah, presisi, dan waktu produksi yang semakin cepat. Oleh karena itu, kebutuhan akan mesin CNC saat ini sangat diperlukan bila dibandingkan dengan mesin milling konvensional.

Dalam Proses pemesinan secara manual maupun CNC (*Computer Numerical Control*), harus mampu melakukan proses pemesinan secara cepat dan skala yang benar dan spesifikasi geometri yang diharapkan. Namun pada hasil proses pemesinan sering terjadi kekasaran pada permukaan benda yang dikerjakan sangatlah berbeda. Kekasaran permukaan adalah salah satu penyimpangan yang disebabkan oleh kondisi pemotongan dari proses pemesinan. Oleh karena itu, untuk memperoleh produk bermutu berupa tingkat kepresisian yang tinggi serta kekasaran permukaan yang baik, perlu di dukung oleh proses pemesinan yang tepat. Karakteristik kekasaran permukaan dipengaruhi oleh beberapa parameter pemotongan diantaranya yaitu kecepatan spindle (*Spindle speed*), kedalaman potong (*Depth of cut*), alur pahat (*Tool Path*), kecepatan pemakanan (*Feed rate*) dan material benda kerjanya.

Karena mempunyai kelebihan dari mesin manual/konvensional alat yang digunakan adalah Mesin CNC Milling 3 Axis Sinumerik merupakan mesin perkakas yang digunakan untuk melakukan pemotongan benda kerja dengan pahat yang berputar pada sumbunya, permukaan yang di potong baik berbentuk datar, sudut atau melengkung.

Penulis beranggapan tentang kualitas produk yang dihasilkan, dengan alur pahat (*Tool path*) yang berbeda, kecepatan pemakanan (*Feed rate*) yang berbeda dan Kecepatan spindle (*Spindle Speed*) dengan tipe pahat yang sama pada pengujian bahan *Acrylic* nilai tingkat kekasaran yang dihasilkan dari mesin CNC Milling 3 Axis Sinumerik, maka berbeda - beda nilai kekasaran yang di hasilkan. Oleh karena itu, maka akan dicari nilai kekasaran yang terbaik dari setiap parameter yang berbeda – beda.

Tujuan Penelitian ini adalah :

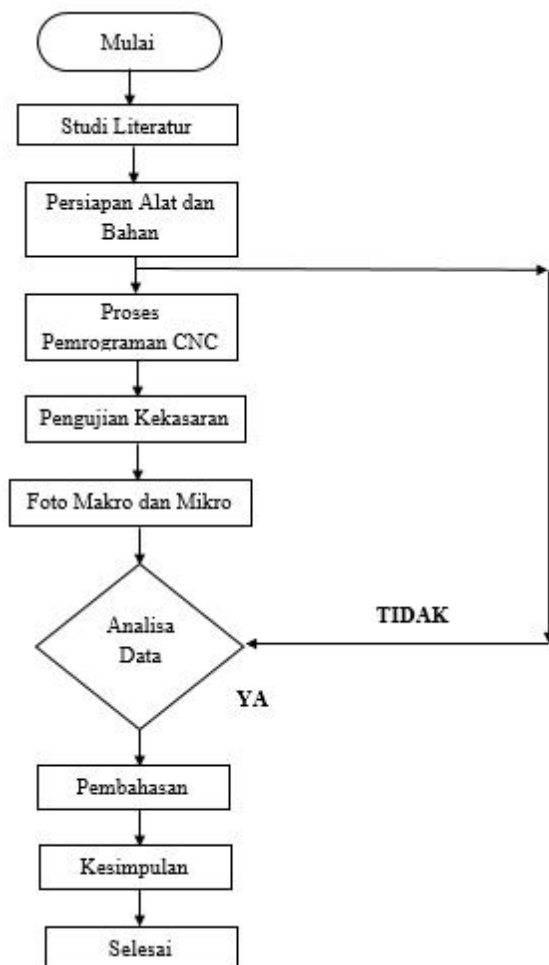
1. Untuk mencari variasi parameter yang terbaik meliputi : kecepatan pemakanan (*feed rate*), Kecepatan Spindle (*Spindle Speed*) dan Alur Pahat(*Tool Path*) terhadap tingkat kekasaran permukaan benda kerja hasil pemesinan Mesin CNC Milling Sinumerik 3 Axis melalui uji kekasaran permukaan (*Surface Roughness tester*).
2. Mengetahui berbandingan putaran spindle, Alur pahat, dan kecepatan pemakanan terhadap kekasaran permukaan material *acrylic*.
3. Untuk mengetahui nilai (Ra) terbaik dari variasi alur pahat (*Tool path*) dan kecepatan pemakanan (*Feed rate*) dan kecepatan spindle (*spindle speed*) terhadap tingkat kekasaran permukaan benda kerja hasil pemesinan Mesin CNC Milling 3 Axis melalui uji kekasaran permukaan (*Surface Roughness tester*).

2. Kerangka Teori

Untuk menganalisa permasalahan ini, maka metodologi yang diambil adalah sebagai berikut :

1. Observasi Lapangan
Merupakan langkah awal yang dilakukan penulis untuk mendapatkan informasi yang berhubungan dengan objek penelitian.
2. Metode Literatur
Merupakan langkah penelusuran dan penelaah buku-buku referensi, untuk menambah wawasan teoritis yang lebih luas.
3. Proses pemesinan dilakukan di laboratorium Mesin produksi dan pemrograman NC IST Akprind Yogyakarta dan proses uji kekasaran permukaan dilakukan di laboratorium Bahan Departemen Teknik Mesin Sekolah Vokasi Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.

3. Metodologi



Gambar 1. Diagram Alir Peneitian

3.1. Material

Material penelitian yang digunakan adalah *Acrylic* yang sudah dipotong menggunakan *Laser Cutting* menjadi ukuran perbahan 150 mm x 120 mm, dengan gambar sebagai berikut :



Gambar 2. Material *Acrylic*

3.2. Mesin Milling

Dalam pengujian ini, mesin yang digunakan adalah *Mesin Milling Sinumerik 808D* yang berada di *Laboratorium NC Kampus 2 Institut Sains & Teknologi Akprind Yogyakarta*.



Gambar3. Mesin *CNC Milling Sinumerik 808D*

Berikut data spesifikasi mesin *CNC Milling* yang digunakan:

- Merk : SIEMENS
- Model : SINUMERIK 808D
- Serial No. : RS232C
- Made In : USA

Putaran Spindel : 4000 rpm diurutkan sesuai dengan urutan Abjad, dan dapat dilihat pada contoh daftar pustaka pada panduan ini.

3.3. Alat Potong (Cutter)

Alat potong (*cutter*) *milling* yang digunakan adalah jenis *End Mill HSS*, dengan diameter ukuran 10 mm. Alat potong (*cutter*) jenis ini merupakan alat potong yang paling umum digunakan pada proses *milling*.



Gambar 4. *End Mill HSS*

- Merk : SIEMENS
- Model : SINUMERIK 808D
- Serial No. : RS232C
- Made In: USA
- Putaran Spindel : 4000 rpm

3.4 Alat Uji Kekasaran Permukaan

Alat uji kekasaran permukaan untuk menguji tingkat kekasaran permukaan pada spesimen benda uji setelah proses *milling* dilakukan dengan menggunakan alat uji kekaasaran permukaan merk *Sufcorder SE 1700* terlihat pada gambar.5.,

alat ini merupakan jenis alat uji langsung (*direrct measure*) menggunakan metode jarum peraba (*stylus*) sebagai sensor pembacanya dan angka tingkat kekasaran permukaan hasil pengujian dapat dilihat langsung pada layar digital.



Gambar 5. *Sufcorder SE 1700*

3.5 Proses Pemrograman CNC

Setelah bahan dipotong sesuai dengan ukuran, kemudian dilakukan proses pemesinan, menggunakan mesin CNC Sinumerik yang telah ditentukan. Sebelum dilakukan proses pemesinan sampel diberi kode tertentu agar mudah diidentifikasi selama proses pemesinan dan proses pengujian kekasaran.

- a. Prosedur Operasi Mesin CNC Sinumerik 808D Milling
 1. Hidupkan main power dengan memutar saklar searah jarum jam.
 2. Hidupkan *power system* dengan menekan *power on*.
 3. Originkan mesin dengan menekan tombol gerak dimulai dengan tombol Z, lalu X dan Y, tunggu hingga proses selesai (posisi mesin 0,0,0)
 4. Tekan tombol *manual/jog* lalu tekan *spindle cw*.
 5. Setelah beberapa saat, matikan *spindle* dengan menekan tombol *spindleoff* atau *reset*.
 6. Hidupkan tombol M01.
- b. Proses pemesinan CNC dengan rincian sebagai berikut :
 1. Sampel 1, dilakukan proses pemesinan dengan putaran *spindle* (n) sebesar 1000

- rpm, gerak makan (Vf) sebesar 400 mm / min dan Alur Pemakanan *Zig zag*.
2. Sampel 2, dilakukan proses pemesinan dengan putaran *spindle* (n) sebesar 1000 rpm, gerak makan (Vf) sebesar 800 mm / min dan Alur Pemakanan *One way*.
 3. Sampel 3, dilakukan proses pemesinan dengan putaran *spindle* (n) sebesar 1000 rpm, gerak makan (Vf) sebesar 400 mm / min dan Alur Pemakanan *One way*.
 4. Sampel 4, dilakukan proses pemesinan dengan putaran *spindle* (n) sebesar 1000 rpm, gerak makan (Vf) sebesar 800 mm / min dan Alur Pemakanan *Zig zag*.
 5. Sampel 5, dilakukan proses pemesinan dengan putaran *spindle* (n) sebesar 1500 rpm, gerak makan (Vf) sebesar 400 mm / min dan Alur Pemakanan *Zig zag*.
 6. Sampel 6, dilakukan proses pemesinan dengan putaran *spindle* (n) sebesar 1500 rpm, gerak makan (Vf) sebesar 800 mm / min dan Alur Pemakanan *One way*.
 7. Sampel 7, dilakukan proses pemesinan dengan putaran *spindle* (n) sebesar 1500 rpm, gerak makan (Vf) sebesar 400 mm / min dan Alur Pemakanan *One way*.
 8. Sampel 8, dilakukan proses pemesinan dengan putaran *spindle* (n) sebesar 1500 rpm, gerak makan (Vf) sebesar 800 mm / min dan Alur Pemakanan *Zig zag*.
 9. Sampel 9, dilakukan proses pemesinan dengan putaran *spindle* (n) sebesar 2000 rpm, gerak makan (Vf) sebesar 400 mm / min dan Alur Pemakanan *Zig zag*.
 10. Sampel 10, dilakukan proses pemesinan dengan putaran *spindle* (n) sebesar 2000 rpm, gerak makan (Vf) sebesar 800 mm / min dan Alur Pemakanan *One way*.
 11. Sampel 11, dilakukan proses pemesinan dengan putaran *spindle* (n) sebesar 2000 rpm, gerak makan (Vf) sebesar 400 mm / min dan Alur Pemakanan *One way*.
 12. Sampel 12, dilakukan proses pemesinan dengan putaran *spindle* (n) sebesar 2000 rpm, gerak makan (Vf) sebesar 800 mm / min dan Alur Pemakanan *Zig zag*.

3.6 Pengujian Kekasaran

Melakukan pengukuran tingkat kekasaran permukaan sebanyak tiga titik disetiap spesimen uji, alat yang digunakan adalah *Surfcorder SE 1700*. Alat ini digunakan untuk mengukur tingkat kekasaran permukaan benda kerja setelah dilakukan proses pemotongan atau pembubutan. Mengklasifikasi data-data nilai kekasaran permukaan dari setiap kombinasi perlakuan. Petunjuk pemakaian sebagai berikut :

- a. Menyiapkan *surfcorder* unit yang meliputi Pick-up (FU-A2), Drive unit (DR-30X31), Amplifier (AS-1700), Chart Paper Setting.
- b. Memasang Stylus Arm (AAS) pada Pick-up body
- c. Memasang Pick-up body pada Drive Unit
- d. Menghubungkan Drive Unit ke Amplifier
- e. Memasang Chart Paper di Printer
- f. Menekan tombol ON untuk menghidupkan system
- g. Memilih standar yang akan digunakan dalam pengukuran (ANSI)
- h. Menentukan parameter Condition, Magnification, Cut Off, Mode dan Sensitivity.
- i. Memasang benda kerja di bawah Stylus, Kemudian memutar Fine Adjust Knob hingga Stylus menyentuh benda kerja pada posisi Indikator berwarna hijau.
- j. Menekan tombol START agar proses pengukuran dilakukan
- k. Mengamati dan mencatat hasil pengukuran kekasaran seperti ditunjukkan pada Chart Paper.

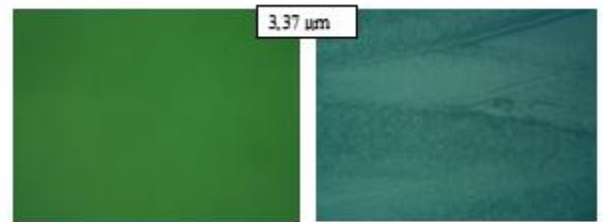
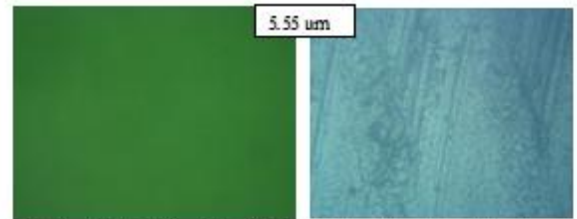
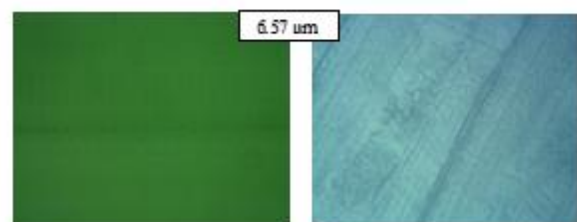
Setelah dilakukan proses pemesinan dan pengujian kekasaran pada benda kerja maka akan diperoleh data – data yang menyatakan tentang kekasaran pada permukaan benda tersebut dan data yang diperoleh kita masukkan dalam tabel untuk mengklasifikasikan nilai kekasaran permukaan dari setiap kombinasi pemesinan, dan melakukan pengolahan data dengan metode statistik untuk mengetahui pengaruh yang signifikan dari beberapa variabel serta menganalisa dari perbedaan respon dari kombinasi perlakuan.

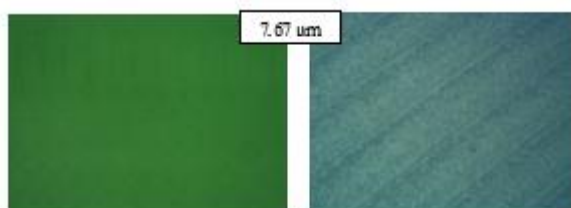
No	Putaran <i>Spindle</i> rpm	Kecepatan Makan <i>Vf</i> (mm/min)	Alur Pemakan (<i>Tool path</i>)	Waktu (Time)	Dept of cut	Tingkat Kekasaran Ra (um)		
						Ra	Rz	Rq
1.	1000	400	Zig zag	3	0.2	11.14	54.35	11.58
2.	1000	800	One way	3	0.2	15.89	89.06	21.07
3.	1000	400	One way	3	0.2	11.68	57.04	15.33
4.	1000	800	Zig zag	3	0.2	15.01	74.53	18.60
5.	1500	400	Zig zag	3	0.2	7.67	38.99	9.27
6.	1500	800	One way	3	0.2	14.16	64.59	16.90
7.	1500	400	One way	3	0.2	10.25	47.48	12.02
8.	1500	800	Zig zag	3	0.2	12.08	57.95	14.45
9.	2000	400	Zig zag	3	0.2	3.37	17.38	4.090
10.	2000	800	One way	3	0.2	7.98	38.72	9.73
11.	2000	400	One way	3	0.2	5.55	23.85	6.44
12.	2000	800	Zig zag	3	0.2	6.57	32.36	7.85

Gambar 6. Data Hasil Uji Kekasaran Permukaan

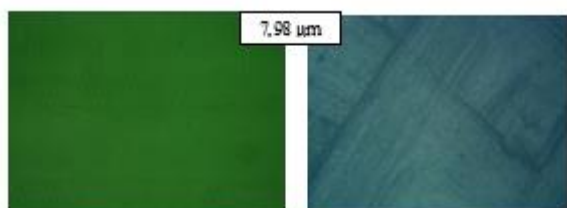
3.7 Foto Makro dan Mikro

Pengujian foto makro dilakukan dengan mikroskop digital USB Makro dengan perbesaran 10x, sedangkan mikroskop mikro dengan perbesaran 200x. Pengujian ini hanya menggunakan metode berdasarkan visual sehingga hanya dapat menghasilkan perbandingan sebagai pendukung dari pengujian kekasaran permukaan menggunakan *surface roughness tester*. Pengamatan dilakukan pada posisi tegak lurus sehingga diperoleh seperti Gambar dibawah ini.

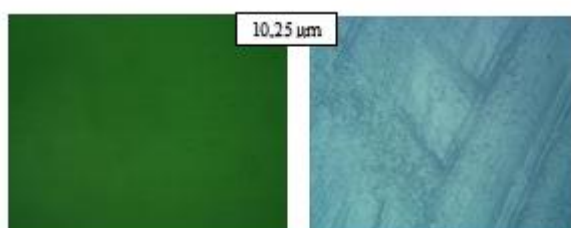
Gambar 7. Foto Makro 10x (Kiri) dan Mikro 200x (Kanan) Spesimen 9 (Kecepatan *spindle* 2000 Rpm, *Feed rate* 400 mm/min dan *Tool Path* Zig Zag)Gambar 8. Foto Makro 10x (Kiri) dan Mikro 200x (Kanan) Spesimen 11 (Kecepatan *spindle* 2000 Rpm, *Feed rate* 400 mm/min dan *Tool path* One Way)Gambar 9. Foto Makro 10x (Kiri) dan Mikro 200x (Kanan) Spesimen 12 (Kecepatan *spindle* 2000 Rpm, *Feed rate* 800 mm/min dan *Tool path* Zig Zag)



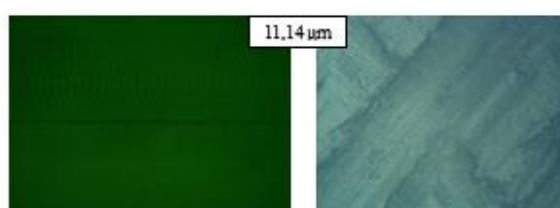
Gambar 10. Foto Makro 10x (Kiri) dan Mikro 200x (Kanan) Spesimen 5 (Kecepatan *spindle* 1500 Rpm, *Feed rate* 400 mm/min dan *Tool path* Zig Zag)



Gambar 11. Foto Makro 10x (Kiri) dan Mikro 200x (Kanan) Spesimen 10 (Kecepatan *spindle* 2000 Rpm, *Feed rate* 800 mm/min dan *Tool path* One Way)



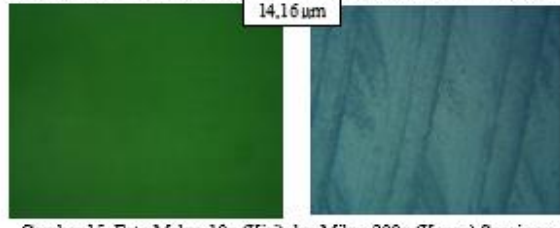
Gambar 12. Foto Makro 10x (Kiri) dan Mikro 200x (Kanan) Spesimen 7 (Kecepatan *spindle* 1500 Rpm, *Feed rate* 400 mm/min dan *Tool path* One Way)



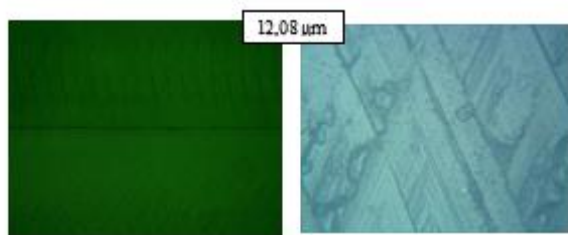
Gambar 13. Foto Makro 10x (Kiri) dan Mikro 200x (Kanan) Spesimen 1 (Kecepatan *spindle* 1000 Rpm, *Feed rate* 400 mm/min dan *Tool path* Zig Zag)



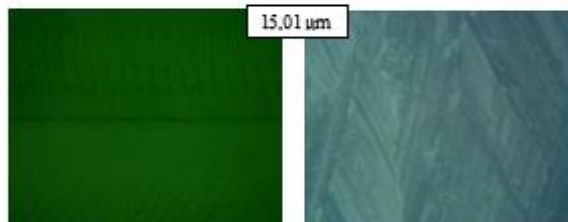
Gambar 14. Foto Makro 10x (Kiri) dan Mikro 200x (Kanan) Spesimen 3 (Kecepatan *spindle* 1000 Rpm, *Feed rate* 400 mm/min dan *Tool path* One Way)



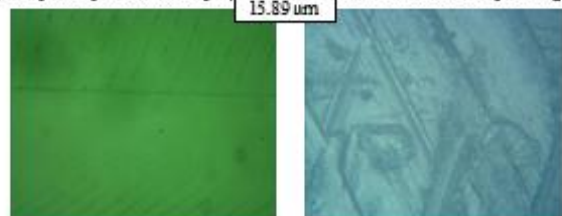
Gambar 15. Foto Makro 10x (Kiri) dan Mikro 200x (Kanan) Spesimen 6 (Kecepatan *spindle* 1500 Rpm, *Feed rate* 800 mm/min dan *Tool path* One Way)



Gambar 16. Foto Makro 10x (Kiri) dan Mikro 200x (Kanan) Spesimen 3 (Kecepatan *spindle* 1500 Rpm, *Feed rate* 800 mm/min dan *Tool path* Zig Zag)



Gambar 17. Foto Makro 10x (Kiri) dan Mikro 200x (Kanan) Spesimen 4 (Kecepatan *spindle* 1000 Rpm, *Feed rate* 800 mm/min dan *Tool path* Zig Zag)



Gambar 18. Foto Makro 10x (Kiri) dan Mikro 200x (Kanan) Spesimen 2 (Kecepatan *spindle* 1000 Rpm, *Feed rate* 800 mm/min dan *Tool path* One Way)

4. Hasil dan Pembahasan

Variasi putaran *spindle* dengan kekasaran permukaan dapat dilihat dalam tabel 7. dan Grafik 8 yang mana terlihat jelas bahwa untuk mengetahui kekasaran permukaan tersebut. Bahwa semakin tinggi putaran *spindle* (rpm) maka semakin rendah tingkat kekasaran permukaannya. Dan untuk mengetahui hasil dari pengaruh *spindle* terhadap kekasaran permukaan juga dapat diketahui dengan melakukan cara perhitungan statistik/korelasi dan uji hipotesis.

Tabel 1. Hubungan Putaran *Spindle* (*n*) dengan kekasaran Permukaan R_a

No.	Putaran <i>Spindle</i> <i>n</i> (rpm)	Kecepatan makan V_f (mm/min)	Alur Pemakanan (<i>Tool path</i>)	Kekasaran Permukaan R_a
1.	1000	400	Zig zag	11.14
2.			One way	11.68
3.		800	Zig zag	15.01
4.			One way	15.89
5.	1500	400	Zig zag	7.67
6.			One way	10.25
7.		800	Zig zag	12.80
8.			One way	14.16
9.	2000	400	Zig zag	3.37
10.			One way	5.50
11.		800	Zig zag	6.57
12.			One way	7.98



Gambar 19 Grafik Hubungan antara kecepatan *spindle* dan kekasaran permukaan.

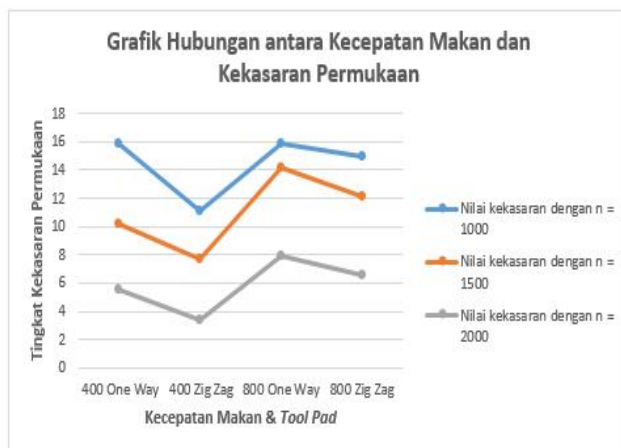
Pada grafik 4.1 menunjukkan bahwasanya penggunaan putaran *spindle*, *feed rate* dan menggunakan *tool pad* yang berbedasangat berpengaruh terhadap kekasaran permukaan benda kerja. Garis berwarna biru dan orange menunjukkan dua variasi *feed rate* 400 dan 800 mm/mnt. Angka 0 – 18 menunjukkan nilai tingkat kekasaran.

Adapun hasil dari perbandingan variasi antara kecepatan *spindle* dengan kekasaran permukaan ini adalah :

1. kekasaran terendah yang dihasilkan hubungan putaran *spindle* 2000 rpm, *tool pad* Zig zag dengan *feed rate* 400 mm/minute pada garis biru Grafik 4.1 memiliki tingkat kekasaran adalah 3.37 μm .
2. kekasaran terendah kedua yang dihasilkan hubungan putaran *spindle* 2000 rpm, *tool pad* Zig - zag dengan perbedaan *feed rate* 800 mm/minute pada garis merah memiliki tingkat kekasaran adalah 6.57 μm .
3. kekasaran tertinggi yang dihasilkan hubungan putaran *spindle* 1000 rpm, *tool pad* one - way dengan *feed rate* 800 mm/minute pada garis biru Grafik 4.1 memiliki tingkat kekasaran adalah 15,89 μm .
4. kekasaran tertinggi yang dihasilkan hubungan putaran *spindle* 1000 rpm, *tool pad* One Way dengan *feed rate* 400 mm/minute pada garis biru memiliki tingkat kekasaran adalah 11,68 μm dan memiliki hasil makro.

Tabel 2. Hubungan antara kecepatan Makan dan Kekasaran Permukaan Akrilik

No.	Kecepatan makan V_f (mm/min)	Putaran <i>Spindle</i> n (rpm)	Alur Pemakanan (<i>Tool pad</i>)	Kekasaran Permukaan R_a
1.	400	Zig zag	1000	11.14
2.		One way		11.68
3.	800	Zig zag	1500	15.01
4.		One way		15.89
5.	400	Zig zag	2000	3.37
6.		One way		5.55
7.	800	Zig zag	2000	6.57
8.		One way		7.98
9.	400	Zig zag	2000	3.37
10.		One way		5.55
11.	800	Zig zag	2000	6.57
12.		One way		7.98



Grafik 9. Hubungan antara kecepatan Makan dan Kekasaran Permukaan Akrilik

Variasi kecepatan makan dengan kekasaran permukaan dapat dilihat dalam tabel 4.3. dan Grafik 4.2. Adapun hasil dari perbandingan variasi hubungan antara kecepatan makan dengan kekasaran permukaan ini adalah :

1. Pada garis biru pada putaran *spindle* 1000 rpm dengan dengan kecepatan pemakanannya (V_f) 400 mm/mnt dan *tool path zig zag* memiliki kekasaran terendah yaitu 11,14 μm . Sedangkan kekasaran tertingginya adalah 11,68 μm dengan perbedaan hanya pada *tool path one way*.
2. Pada garis oranye pada putaran *spindle* 1500 rpm dengan dengan kecepatan pemakanannya (V_f) 400 mm/mnt dan *tool path zig zag* memiliki kekasaran terendah yaitu 7,67 μm . Sedangkan kekasaran tertingginya adalah 10,25 μm dengan perbedaan pada (V_f) 400 mm/mnt dan *tool path one way*.
3. Pada garis abu – abu pada putaran *spindle* 2000 rpm dengan dengan kecepatan pemakanannya (V_f) 400 mm/mnt dan *tool path zig zag* memiliki kekasaran terendah yaitu 3,37 μm . Sedangkan kekasaran tertingginya adalah 7,98 μm dengan perbedaan pada (V_f) 800 mm/mnt dan *tool path one way*.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, analisa, dan pembahasan yang telah dilakukan dapat disimpulkan :

1. kecepatan pemakanan (*feed rate*), Kecepatan *Spindle* (*Spindle Speed*) dan Alur Pahat (*Tool Path*) sangat berpengaruh pada kekasaran material *acrylic*. Putaran *spindle* yang rendah menyebabkan kekasaran yang tinggi. Pada putaran *spindle* 1000 rpm alur pemakanan one way, kecepatan makan 15,71 mendapat kekasaran paling tinggi.
2. Pada putaran *spindle* 2000rpm dan kecepatan makan 400 mm/min mendapatkan nilai kekasaran terendah, nilai kekasaran yang didapat adalah 7,074 μm .
3. nilai (R_a) terbaik dari variasi alur pahat (*Tool path*) dan kecepatan pemakanan (*Feed rate*) dan kecepatan *spindle* (*spindle speed*) terhadap tingkat kekasaran permukaan benda kerja hasil pemesinan Mesin CNC Milling 3 Axis melalui uji kekasaran permukaan (*Surface Roughness tester*) adalah 7,074 μm .

Daftar Pustaka (Time New Roman, 10 Bold)

- Amstead, B.H. 1989. Teknologi Mekanik. Jakarta : Pradnya Paramita.
- Rochim & Taufiq. 1993. Teori dan Teknologi Proses Pemesinan, ITB Bandung.
- Rochim & Taufiq. 2001. Spesifikasi, Metrologi, & Kontrol Kualitas Geometrik, ITB.
- Sato Takeshi G, N Sugiarto H, 2003. Menggambar Mesin Standart ISO, Balai Pustaka.
- Musthafa Nurul, 2017. Penelitian “Analisa Pengaruh Putaran Spindle dan Kecepatan Makan Terhadap Kekasaran Permukaan Baja ST 60 pada Proses Milling” IST Akprind Yogyakarta
- Subagio, Dalsamius Ganjar, 2008. “Teknik Pemrograman CNC Bubut dan Freis (CNC Lathe and CNC Milling Machine Programming)” Jakarta : LIPI Press

Iskandar Seni, 2017. Penelitian “Analisa Pengaruh Putaran *Spindle* Dan Kecepatan Makan Terhadap Kekasaran Permukaan *Austenitic Stainless Steel* Pada Proses *Milling*”