

## **Surface Quality Comparison of Down and Up cut Technique on CNC Milling Machine toward ST-37 Steel Material**

### **Perbandingan Kualitas Permukaan Metode *Down dan up Milling* pada Mesin Frais CNC terhadap Material Baja ST-37**

Yufrizal A<sup>1</sup>, Eko Indrawan<sup>1\*</sup>, Abdul Aziz<sup>1</sup>, Rifelino<sup>1</sup>, Rahmad Fajri Ula Agus Hendrianto<sup>1</sup>

#### **Abstract**

*The purpose of this research is comparing down and up cut technique on milling process toward ST-37 steel material by using HSS Ø12 mm end mill cutter. The surface roughness result of down cut technique is achieved Ra 2.39 µm which is equivalent to N7 roughness level at lowest cutting speed 20 m/mnt. Moreover, the highest roughness Ra 3.61 µm obtained at highest cutting speed 30 m/mnt which is equivalent to N8 roughness level. While, the quality of up cut technique yield the roughnes Ra 3.94 µm, equivalent to N8 roughness level at lowest cutting speed 20 m/minute, whilst, Ra 6.01 µm that equivalent to N9 roughness level on highest cutting speed condition 30 m/minute. The surface roughnes value achieved between N7-N9 level (ISO). Down cut technique is recommended in order to achieve good surface quality, because it could be generate lower surface roughness on material.*

#### **Keywords**

*Surface quality, down and up cut technique, CNC milling machine, ST-37 steel.*

#### **Abstrak**

Tujuan dari penelitian ini adalah membandingkan teknik *down cut* dan *up cut* pada proses freis terhadap material baja ST-37 dengan menggunakan *end mill cutter* diameter Ø12 mm. Hasil kekasaran permukaan dari teknik *down cut* adalah Ra 2,39 µm yang setara dengan level kekasaran N7 pada kecepatan potong terendah 20 m/mnt. Selanjutnya, kekasaran tertinggi Ra 3,61 µm diperoleh pada kecepatan potong tertinggi 30 m/mnt yang setara dengan level kekasaran N8. Sementara itu, kualitas teknik *up cut* menghasilkan kekasaran Ra 3,94 µm yang setara dengan level kekasaran N8 pada kecepatan potong terendah 20 m/mnt, sedangkan Ra 6,01 µm yang setara dengan level N9 pada kecepatan potong tertinggi 30 m/mnt. Harga kekasaran permukaan material diperoleh di antara level N7-N9 (nomor kekasaran ISO). Teknik *down cut* direkomendasikan untuk memperoleh kualitas permukaan yang baik, karena teknik ini dapat menghasilkan kekasaran permukaan yang lebih rendah pada benda kerja.

#### **Kata Kunci**

Kualitas permukaan, teknik *down dan up cut*, mesin frais CNC, baja ST-37.

<sup>1</sup> Jurusan Teknik Mesin, Universitas Negeri Padang

Fakultas Teknik, Kampus UNP Air Tawar, Jl. Prof. Dr. Hamka, Padang

\*ekoindrawan@ft.unp.ac.id

Submitted November 19, 2019. Accepted : December 17, 2019. Published : January 15, 2020.

## PENDAHULUAN

Perkembangan zaman yang disertai dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang pesat saat ini menciptakan era globalisasi dan keterbukaan. Hal ini menuntut setiap individu untuk ikut serta di dalamnya, sehingga sumber daya manusianya harus menguasai IPTEK serta mampu untuk mengaplikasikannya dalam kehidupan. Teknik Mesin adalah cabang ilmu rekayasa (*engineering*) yang telah berkembang seiring dengan perkembangan zaman yang disertai dengan IPTEK. Metrologi disebut juga Ilmu Pengukuran adalah disiplin ilmu yang mempelajari jenis-jenis alat ukur keteknikan, metode pengukuran, kalibrasi dan akurasi di bidang industri, ilmu pengetahuan dan teknologi [1]. Teknik Mesin dapat diartikan ilmu rekayasa yang mengaplikasikan prinsip fisika untuk analisis, desain, pengembangan, pembuatan, operasi serta pemeliharaan perangkat dan komponen mekanikal.

Mesin produksi merupakan salah satu bidang dalam teknik mesin yang perkembangannya tidak bisa terpisahkan dari pertumbuhan peningkatan industri. Karena memegang peranan besar dalam rekayasa dan reparasi produksi logam. Hampir tidak mungkin suatu pabrik tanpa melibatkan unsur mesin produksi. Salah satu jenis dari mesin produksi adalah mesin CNC (*Computer Numerical Control*), dimana dalam pengoperasiannya sudah lebih canggih dibanding dengan mesin perkakas konvensional. Secara sederhana mesin CNC dapat diartikan suatu mesin perkakas yang dikendalikan dengan perintah angka atau *numeric* oleh komputer.

Jenis dari mesin CNC salah satunya adalah mesin frais CNC merupakan mesin yang sering digunakan di Industri, akademik maupun pelatihan. Mesin frais CNC secara singkat dapat diartikan mesin frais yang dalam proses penyayatan benda kerja oleh pisau frais atau pahat dibantu dengan kontrol numerik komputer atau CNC[2]. Secara prinsip kerja mesin frais CNC sama dengan mesin frais konvensional manual, perbedaan mendasar terletak pada cara pengoperasiannya. Bila mesin frais konvensional cara pengopersaianya masih secara manual atau kata lain operator langsung yang menggerakkan bagian-bagian dari mesin sedangkan pada mesin frais CNC operator hanya membuat, mengedit dan menginput program, maka mesin akan memproses program dan menjalankannya secara otomatis mengikuti perintah program yang telah diinput dengan kontrol komputerisasi.

Parameter yang harus diperhitungkan pada proses frais yaitu kecepatan potong, *feeding* dan kedalaman pemotongan. Kondisi pemotongan tersebut memberikan kontribusi terhadap terhadap umur pisau frais dan kualitas permukaan yang dikerjakan, sehingga pemilihan parameternya haruslah mendapatkan perhatian khusus[3]. Pengerjaan pada proses pengefraisan perlu juga mengetahui metode penyayatan atau metode pengefraisan yang akan digunakan. Metode pengefraisan ditentukan berdasarkan arah relatif gerak makan meja mesin frais terhadap putaran pisau. Terdapat 2 metode pengefraisan, yaitu metode *downcut* dan metode *upercut* [4]. Secara singkat metode penyayatan *downcut* dapat diartikan dengan metode pengefraisan turun, arah putaran mata potong pada metode ini searah dengan gerak makan meja mesin frais. Sedangkan metode *upercut* merupakan pengefraisan naik dengan arah putaran mata potong berlawanan arah dengan gerak makan meja mesin frais.

Pada proses pengefraisan metode penyayatan juga perlu diperhatikan karena mempengaruhi kualitas permukaan benda kerja yang dihasilkan. Hasil penelitian bahwa kecepatan putaran spindle 740 rpm dengan sudut potong  $80^\circ$  menghasilkan permukaan yang lebih halus yaitu ( $\Sigma Rap$ ) = 5,76  $\mu m$  atau pada kelas kekasaran N9 sedangkan kecepatan putaran spindle 440 rpm dengan sudut potong  $80^\circ$  menghasilkan permukaan yang kasar ( $\Sigma Rap$ ) = 11,47  $\mu m$  dengan kelas kekasaran permukaan N10[5]. Hasil penelitian lain semakin tinggi nilai *feeding* pada proses pembubutan, maka nilai rata-rata kekasaran permukaan yang diperoleh semakin rendah bila dibandingkan dengan dengan harga rata-rata kekasaran hasil pembubutan yang menggunakan nilai *feeding* yang rendah [6].

Kualitas suatu permukaan memiliki peranan yang sangat penting dalam suatu komponen produk khususnya yang menyangkut masalah gesekan pelumasan, keausan, tahanan terhadap kelelahan dan sebagainya. Kekasaran permukaan merupakan salah satu kualitas yang memiliki peran sangat penting dari suatu komponen mesin yang bersinggungan atau bergesekan dengan komponen lainnya dalam suatu konstruksi mesin. Kekasaran permukaan material setelah melalui proses pemesinan dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya: kondisi pemotongan, jenis pahat yang digunakan, kualitas mesin yang dioperasikan, dan jenis material. Kondisi pemotongan memiliki peran yang sangat penting untuk mencapai kualitas pemesinan yang baik. Gerak makan, kecepatan potong dan kedalaman pemotongan merupakan kondisi pemotongan primer dalam proses pemesinan. Pada proses freis, dua metode umum yang sering diaplikasikan selama proses pemesinan berlangsung, yaitu: *down cut* dan *up cut*. Teknik *down cut* terjadi apabila arah putaran *cutter* searah terhadap arah gerakan benda kerja, sedangkan jika arah putaran *cutter* berlawanan arah terhadap arah gerakan benda kerja maka kondisi tersebut disebut sebagai teknik *up cut*.

### METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen yang membandingkan kualitas permukaan hasil sayatan pada Baja ST-37 antara metode *downcut* dengan *uppercut* menggunakan mesin frais CNC. Metode penelitian eksperimen dapat diartikan sebagai metode penelitian yang digunakan untuk mencari pengaruh perlakuan tertentu terhadap yang lain dalam kondisi yang terkendali [9]. Pengujian kualitas permukaan hasil penyayatan mesin frais CNC pada material baja karbon rendah ST-37 ini dilakukan dengan dua macam metode, yakni metode *downcut* dan metode *uppercut*, menggunakan alat potong *end mill* HSS Ø 12 mm dan mesin frais CNC vertical FEELER VMP-40A kontrol FANUC Oi-MD, dengan mengvariasikan kecepatan putaran mesin dan *feeding*.

Dari setiap metode penyayatan divariasikan kecepatan putaran mesin sebanyak 3 variasi dan *feeding* sebanyak 3 variasi juga setiap metode penyayatan menggunakan 9 buah spesimen, maka didapatkan keseluruhan spesimen benda uji sebanyak 18 buah, dan pada setiap spesimen dilakukan pengujian kekasaran sebanyak 3 kali pada titik pengujian yang berbeda. Alat yang digunakan untuk pengujian kualitas permukaan baja ST-37, dengan menggunakan alat *Surface Tester* Mitutoyo SJ 201P. Metode penyayatan pada mesin Frais CNC sangat mempengaruhi kualitas permukaan benda kerja yang dihasilkan. Metode penyayatan tersebut terdiri dari dua macam yakni, metode *downcut* dan metode *uppercut*. Maka dari itu untuk mendapatkan kualitas permukaan yang maksimal harus mempertimbangkan gerak makan atau metode penyayatan.

#### Kecepatan Putaran *Spindle*

Kecepatan putaran *spindle* adalah jumlah putaran *spindle* per-satuan waktu [7]. Dirumuskan dengan:

$$n = \frac{1000 \cdot Cs}{\pi \cdot D}$$

Kecepatan putaran dihitung berdasarkan *Cutting speed* ( $Cs$ ). untuk baja karbon rendah nilai  $Cs$  berada pada kisaran 17-33 mm/menit [10], maka untuk  $Cs$  yang penulis ambil divariasikan sebanyak 3 variasi, yaitu 20, 25 dan 30. Maka,

1) Kecepatan putaran untuk  $Cs$  20

$$n = \frac{1000 \cdot Cs}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 20}{3,14 \cdot 12} = 530,78 \text{ rpm}$$

2) Kecepatan putaran untuk Cs 25

$$n = \frac{1000 \cdot Cs}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 25}{3,14 \cdot 12} = 663,48 \text{ rpm}$$

3) Kecepatan putaran untuk Cs 30

$$n = \frac{1000 \cdot Cs}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 30}{3,14 \cdot 12} = 796,18 \text{ rpm}$$

### Feeding

Pemakanan (*feeding*) adalah jarak pemakanan *cutter* setiap putaran *spindle* [8]. Dirumuskan dengan:

$$f = fz \cdot Z \cdot n$$

*Feed* per gigi yang disarankan pada proses frais baja dengan menggunakan pahat HSS (*High Speed Steel*) [8]. Pada penelitian ini *Feeding* divariasikan menjadi 3 variasi tiap kecepatan putaran mesin untuk *feed* per gigi nya diambil 0,05 mm, 0,04 mm, dan 0,03 mm. Maka *feeding*:

1) *Feeding* untuk kecepatan putaran mesin 530,78 rpm

$$f = fz \cdot Z \cdot n = 0,05 \times 4 \times 530,78 = 106,15 \text{ mm/menit}$$

$$f = fz \cdot Z \cdot n = 0,04 \times 4 \times 530,78 = 84,92 \text{ mm/menit}$$

$$f = fz \cdot Z \cdot n = 0,03 \times 4 \times 530,78 = 63,69 \text{ mm/menit}$$

2) *Feeding* untuk kecepatan putaran mesin 663,48 rpm

$$F = fz \cdot Z \cdot n = 0,05 \times 4 \times 663,48 = 132,69 \text{ mm/menit}$$

$$F = fz \cdot Z \cdot n = 0,04 \times 4 \times 663,48 = 106,15 \text{ mm/menit}$$

$$F = fz \cdot Z \cdot n = 0,03 \times 4 \times 663,48 = 79,61 \text{ mm/menit}$$

3) *Feeding* untuk kecepatan putaran mesin 796,18 rpm

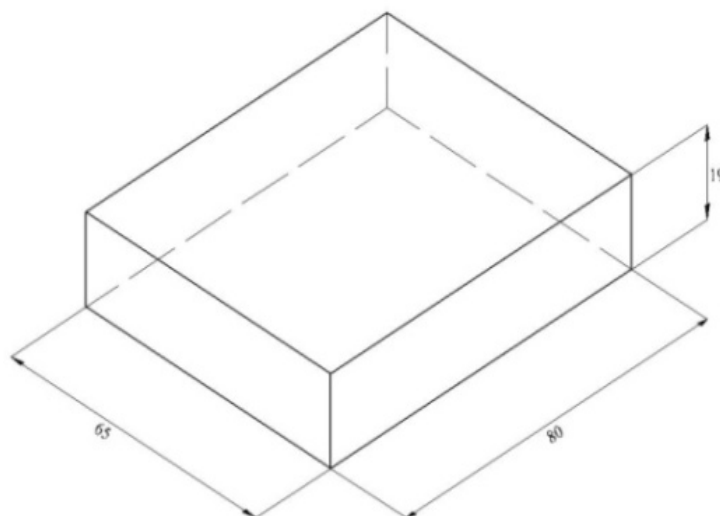
$$F = fz \cdot Z \cdot n = 0,05 \times 4 \times 796,18 = 159,23 \text{ mm/menit}$$

$$F = fz \cdot Z \cdot n = 0,04 \times 4 \times 796,18 = 127,38 \text{ mm/menit}$$

$$F = fz \cdot Z \cdot n = 0,03 \times 4 \times 796,18 = 95,54 \text{ mm/menit}$$

Dalamnya penyayatan ditentukan, yaitu 1 mm

Banyaknya penyayatan dalam satu spesimen sebanyak 3 kali.

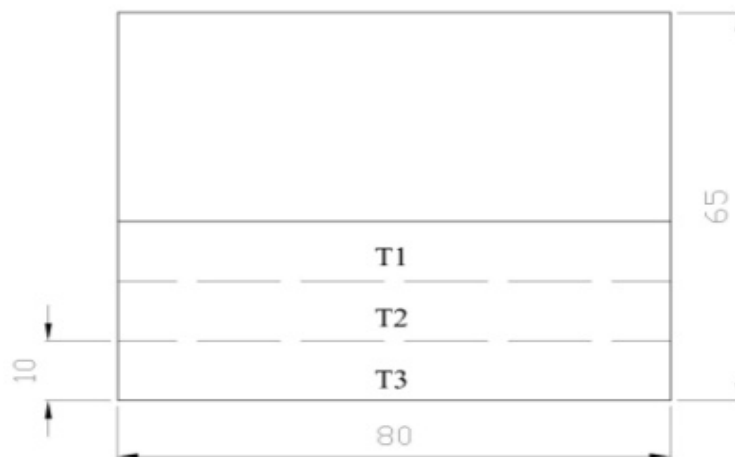


Gambar 1. Dimensi Material Bahan

### Proses Pengefraisan

Proses pengefraisan dilakukan setelah persiapan pengujian terpenuhi meliputi persiapan alat potong, benda uji, mesin frais CNC dan perlengkapannya beserta program, selanjutnya input program ke mesin, kemudian dilakukan proses penyayatan dengan variasi kecepatan potong dan *feeding* yang telah ditentukan. Pemotongan ini bertujuan untuk mendapatkan bentuk dasar spesimen yang akan di uji sesuai ukuran yang telah ditentukan yaitu 80 mm x 65 mm x 19 mm seperti pada Gambar 1.

Pengujian kualitas permukaan akan dilakukan dilaboratorium Metrologi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang. Setiap spesimen akan dilakukan pengujian sebanyak 3 kali dengan titik pengujian yang berbeda seperti terlihat pada Gambar 2.



Keterangan:

- Titik T1 = titik pengujian pertama
- Titik T2 = titik pengujian kedua
- Titik T3 = titik pengujian ketiga

Gambar 2. Titik Pengujian Kekasaran

Gambar 3 menunjukkan alat ukur yang digunakan yaitu *surface tester* merek *Mitutoyo* SJ-201P ketelitian 0,02  $\mu\text{m}$



Gambar 3. *Surface Tester* Mitutoyo SJ-201P

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil

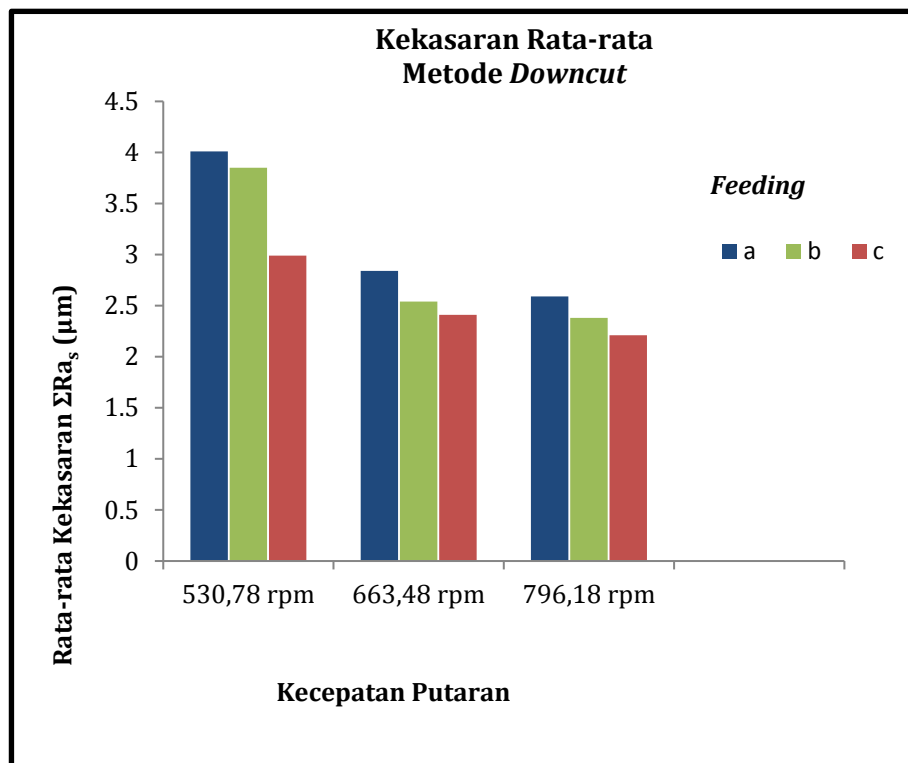
Tabel 1. Data hasil pengujian

Kedalaman Pemakanan	Metode Penyayatan	Kecepatan Putaran (rpm)	Feeding (mm/mnt)	Tingkat Kualitas Permukaan Benda			$\Sigma R_{as}$	Nilai Kekasaran	
				T1	T2	T3			
1 mm	Downcut	530,78	a. 106,15	4,26	3,95	3,83	4,01		
			b. 84,92	4,05	3,74	3,77	3,85		
			c. 63,69	3,11	3,02	2,86	2,99		
			$\Sigma R_{ap}$						3,61
		663,48	a. 132,69	2,93	2,84	2,75	2,84		
			b. 106,15	2,60	2,53	2,50	2,54		
			c. 79,61	2,43	2,40	2,41	2,41		
			$\Sigma R_{ap}$						2,59
		796,18	a. 159,23	2,64	2,56	2,59	2,59		
			b. 127,38	2,35	2,39	2,42	2,38		
			c. 95,54	2,23	2,31	2,11	2,21		
			$\Sigma R_{ap}$						2,39
	Uppercut	530,78	a. 106,15	3,25	3,31	3,26	3,27		
			b. 84,92	3,35	3,50	3,76	3,53		
			c. 63,69	4,26	5,33	5,50	5,03		
			$\Sigma R_{ap}$						3,94
		663,48	a. 132,69	4,18	4,30	5,02	4,50		
			b. 106,15	5,28	5,20	5,88	5,45		
			c. 79,61	6,09	5,97	6,35	6,13		
			$\Sigma R_{ap}$						5,36
		796,18	a. 159,23	5,49	5,35	5,36	5,40		
			b. 127,38	5,95	5,98	6,04	5,99		
			c. 95,54	6,49	6,66	6,81	6,65		
			$\Sigma R_{ap}$						6,01

### Pembahasan

Berdasarkan Tabel 1, pengujian kualitas permukaan pada metode penyayatan *downcut* didapat nilai rata-rata kekasaran per kecepatan potong terendah adalah ( $\Sigma R_{ap}$ -min) = 2,39  $\mu\text{m}$  dengan kelas kekasaran N7 dan nilai kekasaran tertinggi ( $\Sigma R_{ap}$ -max) = 3,61  $\mu\text{m}$  dengan kelas kekasaran N8. Sedangkan pada metode penyayatan *upercut* didapat nilai rata-rata kekasaran per kecepatan potong terendah adalah ( $\Sigma R_{ap}$ -min) = 3,94  $\mu\text{m}$  dengan kelas

kekasaran N8 dan nilai kekasaran tertinggi ( $\Sigma Ra_p\text{-max}$ ) = 6,01  $\mu\text{m}$  dengan kelas kekasaran N9. Jadi nilai kekasaran yang dicapai dari hasil penelitian perbandingan kualitas permukaan hasil sayatan antara metode *downcut* dan *uppercut* mesin Frais CNC pada baja ST-37 adalah antara N7-N9 (*ISO Roughness Number*).

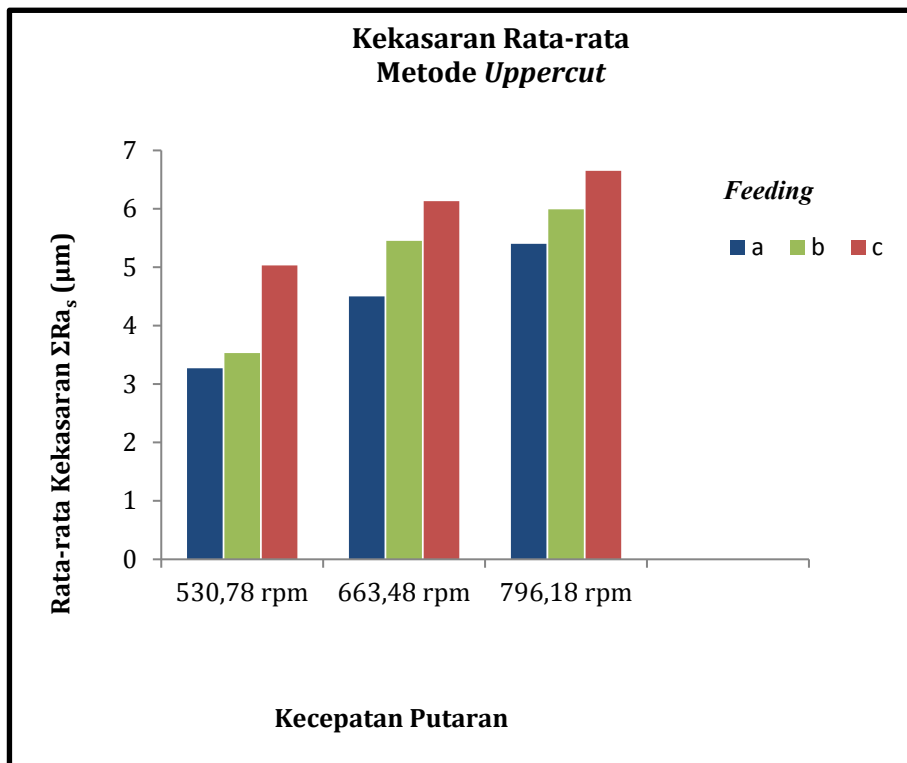


Gambar 4. Rata-rata kekasaran metode *downcut*

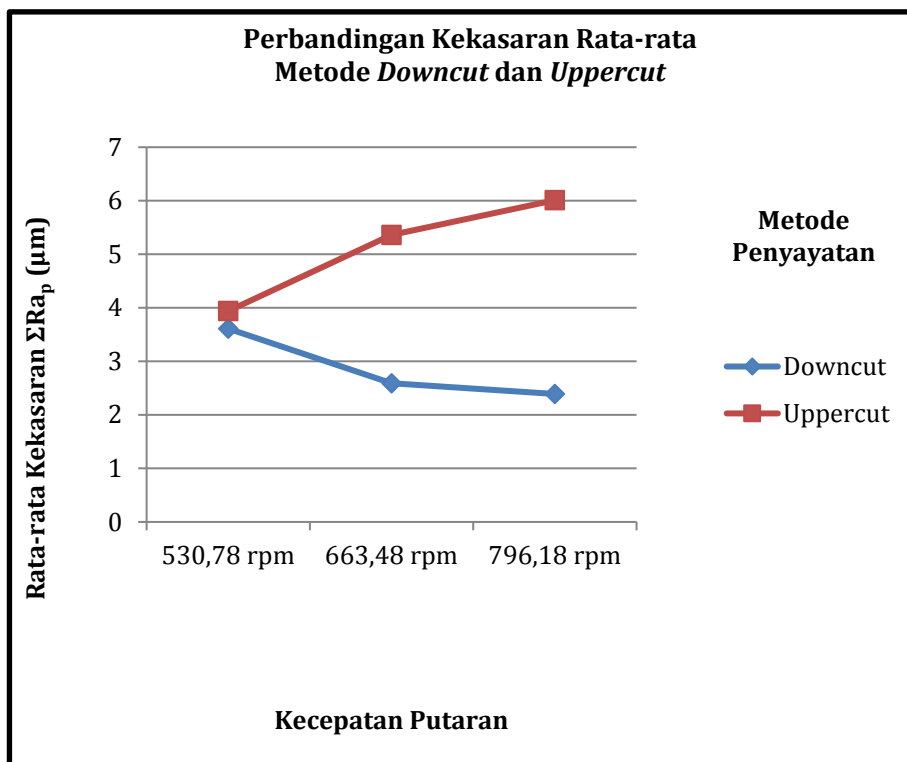
Metode penyayatan *downcut* menghasilkan permukaan yang lebih halus dibandingkan dengan metode penyayatan *uppercut* lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 4 dimana harga rata-rata kekasaran per *feeding* terendah terdapat pada kecepatan putara 796,18 rpm dan *feeding* "c" (95,54 mm/mnt) dengan harga rata-rata kekasaran per *feeding* ( $\Sigma Ra_s$ ) 2,21  $\mu\text{m}$ . Sedangkan rata-rata kekasaran per *feeding* tertinggi terdapat pada kecepatan putara 530,78 rpm dan *feeding* "a" (106,15 mm/mnt) dengan harga rata-rata kekasaran per *feeding* ( $\Sigma Ra_s$ ) 4,01  $\mu\text{m}$ . Pada metode ini lebih baik digunakan kecepatan putaran tinggi dan *feeding* rendah, karena arah dari putaran alat potong sama dengan arah gerak makan meja mesin. Bila konstruksi mesin kuat maka akan menghasilkan kualitas permukaan yang baik. Metode penyayatan *downcut* apabila semakin tinggi kecepatan putaran maka permukaan benda kerja yang dihasilkan akan lebih halus, dan apabila *feeding* yang semakin besar maka permukaan benda kerja yang dihasilkan semakin kasar.

Sedangkan Gambar 5 menunjukkan harga rata-rata kekasaran per *feeding* terendah terdapat pada kecepatan putara 530,78 rpm dan *feeding* "a" (106,15 mm/mnt) dengan harga rata-rata kekasaran per *feeding* ( $\Sigma Ra_s$ ) 3,27  $\mu\text{m}$ . Sedangkan harga rata-rata kekasaran per *feeding* tertinggi terdapat pada kecepatan putara 796,18 rpm dan *feeding* "c" (95,54 mm/mnt) dengan harga rata-rata kekasaran per *feeding* ( $\Sigma Ra_s$ ) 6,65  $\mu\text{m}$ . Pada metode ini lebih baik digunakan kecepatan rendah, karena apabila putaran tinggi akan terjadi getaran yang mengakibatkan benda bergetar dan menyebabkan permukaan benda kerja menjadi lebih kasar. Metode penyayatan *uppercut* apabila kecepatan putaran diperbesar maka permukaan akan semakin kasar dan jika *feeding* yang diperbesar maka permukaannya semakin halus, ini

dikarenakan gesekan lebih pada alat potong yang mengakibatkan alat potong menjadi cepat tumpul karna kecepatan putaran yang berlebihan.



Gambar 5. Rata-rata kekasaran metode *upercut*



Gambar 6. Perbandingan kekasaran rata-rata metode *downcut* dan *upercut*



Metode *downcut* dan *uppercut* berbanding terbalik terhadap hasil penyayatannya lihat Gambar 6, apabila pada metode penyayatan *downcut* terlihat pada grafik semakin tinggi kecepatan putaran maka kualitas permukaan benda kerja yang dihasilkan semakin halus, dan pada metode penyayatan *uppercut* apabila semakin tinggi kecepatan putaran maka kualitas permukaan yang dihasilkan semakin kasar. Pada metode *uppercut* gesekan alat potong lebih besar dibandingkan dengan metode *downcut* yang menyebabkan alat potong menjadi cepat tumpul dan membuat permukaan benda kerja menjadi kasar. Tetapi apabila menggunakan metode penyayatan *downcut* mesin yang digunakan harus mempunyai konstruksi mesin yang baik, karna apabila konstruksi mesin kurang baik maka akan menimbulkan getaran yang dapat membuat permukaan benda kerja menjadi kasar bahkan dapat mematahkan alat potong. Oleh karna itu, mesin frais CNC memiliki konstruksi mesin yang baik, dapat disimpulkan bahwa dalam melakukan pengerjaan menggunakan mesin frais CNC lebih baik menggunakan metode penyayatan *downcut*.

## SIMPULAN DAN SARAN

### Simpulan

Terdapat perbedaan antara metode penyayatan *downcut* dan *uppercut* mesin Frais CNC terhadap kualitas permukaan benda kerja material baja ST-37 dengan variasi kecepatan putaran dan *feeding*. Dibuktikan dengan nilai  $Ra_p$  terendah pada metode *downcut* adalah 2,39  $\mu\text{m}$  dan nilai  $Ra_p$  tertingginya adalah 3,61  $\mu\text{m}$ . Sedangkan pada metode *uppercut* nilai  $Ra_p$  terendah adalah 3,94  $\mu\text{m}$  dan nilai  $Ra_p$  tertingginya adalah 6,01  $\mu\text{m}$ .

Metode penyayatan *downcut* nilai kekasaran terendah adalah N7 dan nilai kekasaran tertinggi adalah N8. Sedangkan pada metode penyayatan *uppercut* nilai kekasaran terendah adalah N8 dan nilai kekasaran tertinggi adalah N9. Dari data tersebut dapat diambil kesimpulan bahwa metode *downcut* menghasilkan kualitas permukaan yang lebih baik dari pada metode *uppercut*.

Proses penyayatan *downcut* adalah semakin tinggi kecepatan putaran maka semakin halus permukaan benda yang dihasilkan, Sedangkan pada proses penyayatan *uppercut* semakin tinggi kecepatan putaran maka semakin kasar permukaan benda yang dihasilkan. pada proses penyayatan *downcut* adalah semakin rendah *feeding* maka permukaan yang dihasilkan semakin halus, Sedangkan pada proses *uppercut* semakin rendah *feeding* maka permukaan yang dihasilkan semakin kasar

### Saran

Untuk mendapatkan hasil kekasaran yang baik (paling rendah) sebaiknya dalam proses finishing menggunakan *feeding* paling kecil. Untuk proses roughing sebaiknya digunakan *feeding* lebih besar karena untuk mengefisiensikan waktu dan biaya dalam proses pemesinan frais. Untuk penelitian tindak lanjut, sebaiknya digunakan pisau yang baru, karena pisau yang telah diasah mengalami penurunan kualitas hasil kekasaran pada *feeding* yang besar.

## DAFTAR RUJUKAN

- [1] E. Indrawan and R. Rifelino, "PENINGKATAN AKTIFITAS BELAJAR MAHASISWAMELALUI PENGGUNAAN MULTIMEDIA DALAM MATA KULIAH METROLOGI INDUSTRI," *Penelit. Pendidik.*, vol. 5, no. 1, 2014, Accessed: May 07, 2020. [Online]. Available: <http://ejournal.unp.ac.id/index.php/penelitianpendidikan/article/view/4132>.
- [2] B. S. Wijanarka, "PENGEMBANGAN MODUL DAN PEMBELAJARAN KOMPETENSI KEJURUAN TEKNIK PEMESINAN CNC SMK," p. 63, 2012.

- 
- [3] H. Soewito, *Mesin Frais*. Bandung: Defisi Pengembangan Bahan Ajar PPPG Teknologi Bandung, 1992.
- [4] D. Rahdiyanta, "Buku 3 Proses Frais (Milling)," *Jur. Pendidik. Tek. Mesin Univ. Negeri Yogyakarta*, 2010.
- [5] Y. A, E. Indrawan, N. Helmi, A. Aziz, and Y. A. Putra, "Pengaruh Sudut Potong dan Kecepatan Putaran Spindel Terhadap Kekasaran Permukaan pada Proses Bubut Mild Steel ST 37," *INVOTEK J. Inov. Vokasional Dan Teknol.*, vol. 19, no. 2, pp. 29–36, Oct. 2019, doi: 10.24036/invotek.v19i2.582.
- [6] A. Yufrizal, E. Indrawan, and N. Helmi, "Analysis Comparative Feeding Variation to Quality Surface Processes Blocking Equipment of Ems Steel 45on Cnc Latheing Machine," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1387, p. 012100, Nov. 2019, doi: 10.1088/1742-6596/1387/1/012100.
- [7] H. Mursidi and D. Jamaludin, *Melakukan Pengerjaan Dengan Mesin Frais*. Bandung: P4TK BMTI, 2012.
- [8] Groover Mikel P., *Fundamental of Modern Manufacturing: material, process and systems 4th edition*. USA: John wiley and sons, Inc., 2010.