

**PENGARUH ARAH PEMAKANAN DAN SUDUT PERMUKAAN BIDANG KERJA
TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN MATERIAL S45C PADA MESIN FRAIS CNC
MENGUNAKAN BALLNOSE ENDMILL**

Imam Syafa'at*, M. Abdul Wahid dan S.M. Bondan Respati
Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Wahid Hasyim
Jl. Menoreh Tengah X/22, Sampangan, Semarang 50236.
*Email: i.syafaat@gmail.com

Abstrak

Nilai sebuah produk dapat diindikasikan salah satunya adalah kualitas permukaan. Bahan baja S45C banyak dipakai pada konstruksi mesin sehingga sering mengalami perlakuan proses pemesinan. Proses pemesinan mempunyai kualitas kehalusan (nilai kekasaran) yang berbeda terutama pada mesin frais CNC. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi arah pemakanan dan sudut permukaan bidang kerja pada proses mesin frais CNC pada material S45C menggunakan jenis alat potong ballnose endmill terhadap nilai kekasaran. Metode penelitian yang digunakan dengan memberikan variasi arah pemakanan searah 45°, searah 90° dan berputar konstan sumbu Z dengan variasi sudut permukaan bidang kerja sebesar 0, 30, 45 dan 60°. Pergeseran alat potong sebesar 0,3 mm berputar pada 3000 rpm dan feeding 429 mm/menit dengan kedalaman pemakanan 0,4 mm. Pengujian kekasaran hasil pemesinan menggunakan TR 100 Surface Roughness Tester dan diamati menggunakan mikroskop digital USB perbesaran 800x. Hasil yang didapat nilai kekasaran yang paling kecil (halus) adalah sebesar 0,85 µm terjadi pada arah pemakanan searah 45° bertemu dengan sudut bidang permukaan kerja 30°. Pada arah pemakanan searah 90° dan searah 45° nilai kekasaran semakin meningkat (semakin kasar) sebanding dengan bertambahnya sudut permukaan bidang kerja sedangkan pada arah pemakanan berputar konstan sumbu Z nilai kekasaran semakin menurun (semakin halus) berbanding terbalik dengan bertambahnya sudut permukaan bidang kerja.

Kata kunci : arah pemakanan, ballnose endmill, frais, kekasaran permukaan, S45C

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi sangat pesat menuntut persaingan semakin ketat. Mesin-mesin banyak dibuat untuk mempermudah proses produksi manufaktur, terus berkembang seiring dengan kemampuan sumber daya manusia. Mesin yang dulunya dioperasikan secara manual, kini telah berkembang menjadi otomatis yang dijalankan dengan menggunakan program komputer. Sebuah program dengan menggunakan bahasa numerik yang biasa disebut program CNC (*Computer Numerically Controlled*).

Kualitas sebuah produk yang dihasilkan berhubungan dengan kualitas harga jual produk. Nilai sebuah produk dapat diindikasikan salah satunya dengan kualitas permukaan produk, sementara untuk menghasilkan kualitas permukaan produk yang baik harus setara dengan proses dan mesin yang digunakan. Proses pemesinan mempunyai kualitas kehalusan (nilai kekasaran) yang berbeda. Perbedaan tersebut biasanya dipengaruhi oleh karakteristik mesin seperti metode pemakanan dan jenis *tool* yang digunakan. Tingkat

kehalusan produk yang dihasilkan oleh mesin frais CNC memberikan nilai jual yang sebanding mengikuti permintaan spesifikasi produk yang diinginkan oleh konsumen. Semakin halus yang dihasilkan semakin mahal nilai jual produk.

Baja S45C adalah baja karbon konstruksi mesin biasa digunakan untuk material poros dan kebutuhan dalam desain konstruksi mesin-mesin. Dari sejumlah mesin yang digunakan untuk memproses material tersebut adalah mesin frais CNC. Tingkat kehalusan komponen berdampak pada kualitas nilai jual. Untuk mendapatkan tingkat kehalusan yang berbeda pada proses frais dapat digunakan dengan memvariasikan metode pemakanan ataupun jenis *tool* yang digunakan. Variasi metode pemakanan dapat berupa kecepatan putar spindle, kecepatan pemakanan, kecepatan potong, arah pemakanan, atau sudut permukaan bidang kerja.

Penelitian analisa tentang kekasaran permukaan sebelumnya pernah dilakukan oleh peneliti lain. Jonoadji dan Dewanto (1999), melakukan analisa pengaruh parameter potong

dan geometri pahat terhadap kekasaran permukaan pada mesin bubut. Material yang digunakan adalah baja S45C berdiameter 25,4 mm, sedangkan alat potong yang digunakan adalah insert keramik serta menggunakan pendingin Castrol Magna BMX 68 perbandingan 1:40. Pengukuran kekasaran menggunakan Mitutoyo Type SurfTest 301 series. Hasil dan kesimpulan dari penelitian adalah faktor yang paling besar pengaruhnya adalah gerak makan (*feeding*) dan yang paling kecil adalah kecepatan potong (*cutting speed*). Gerak makan yang bertambah besar menyebabkan naiknya nilai R_a (*Roughness Average*), sedangkan radius pahat (*nose radius*) dan kecepatan potong yang bertambah besar akan menurunkan nilai R_a .

Zulhendri, dkk (2007), telah meneliti analisa pengaruh tipe pahat dan arah pemakanan permukaan berkontur pada pemesinan milling awal dan akhir terhadap kekasaran permukaan. Jenis pahat yang digunakan yaitu profil rata (*flat end*), *toroid*, dan radius (*ballnose*), serta arah pemakanan sejajar dan melintang. Setelah itu dilakukan pengukuran kekasaran dengan *Surface Tester SURFCOM 120A*. Hasil penelitian adalah arah pemakanan *finishing* yang lebih halus adalah arah pemakanan searah dengan arah *roughing*. Sedangkan yang paling halus diperoleh menggunakan *ballnose endmill* pada arah searah dengan arah *roughing* yaitu sebesar 0,279 mm.



Gambar 1. Tipe pahat yang digunakan *flat*, *toroid*, dan *ball-nose* (Zulhendri, dkk., 2007)

Zubaidi (2012), telah meneliti analisa pengaruh kecepatan putar dan kecepatan

pemakanan terhadap kekasaran permukaan pada mesin bubut CNC dengan material FCD kemudian diukur dengan *Surface Roughness Tester TR 100*. Hasil dan kesimpulan dari penelitian adalah gerak makan (*feeding*) dan kecepatan putar mempengaruhi tingkat kekasaran permukaan. Semakin besar gerak makan semakin besar nilai kekasarannya. Semakin tinggi kecepatan putar maka semakin rendah tingkat kekasarannya, seperti ditunjukkan pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Hasil data rata-rata pengukuran kekasaran permukaan pada 5 spesimen dengan variasi *feeding* dan rpm tetap (Zubaidi, 2012)

<i>Feeding</i> (mm/put)	R_a (μm)	R_z (μm)
$f = 0,05$	2,33	18,1
$f = 0,10$	2,47	21,1
$f = 0,15$	2,61	18,5
$f = 0,20$	2,68	18,1
$f = 0,25$	3,65	22,0

Tabel 2. Hasil data rata-rata pengukuran kekasaran permukaan pada 5 spesimen dengan variasi rpm dan *feeding* tetap (Zubaidi, 2012)

Kec. Putar (rpm)	R_a (μm)	R_z (μm)
$n = 700$	3,19	23,7
$n = 800$	3,24	23,6
$n = 900$	2,83	20,0
$n = 1000$	2,97	22,0
$n = 1100$	2,87	19,7

Resume beberapa penelitian tentang kekasaran permukaan ditunjukkan pada Tabel 3 agar lebih jelas letak perbedaan yang diteliti. Melihat dari berbagai jenis penelitian yang telah dilakukan maka diperlukan analisa kekasaran permukaan material baja S45C dengan variasi arah pemakanan dan sudut permukaan bidang kerja pada proses mesin frais CNC.

Tabel 3. Resume beberapa penelitian tentang kekasaran permukaan

Peneliti (Tahun)	Tema	Variabel	Hasil
Jonoadji dan Dewanto (1999)	Analisa pengaruh parameter potong dan geometri pahat terhadap kekasaran permukaan pada mesin bubut. bahan S45C	Parameter potong <ul style="list-style-type: none"> Kecepatan potong (<i>cutting speed</i>) Gerak makan (<i>feeding</i>) Radius pahat 	1. Gerak makan bertambah besar maka akan menaikkan nilai R_a 2. Radius pahat (<i>nose radius</i>) dan kecepatan potong yang bertambah besar akan menurunkan nilai R_a
Zulhendri, dkk (2007)	Analisa pengaruh tipe pahat dan arah pemakanan permukaan berkontur pada	Tipe pahat <ul style="list-style-type: none"> Rata (<i>flat</i>) <i>Toroid</i> 	1. Arah pemakanan berpengaruh terhadap <i>roughness</i> dengan tingkat signifikan $F_{uji} (40.21) > F (5.987)$, dimana arah pemakanan <i>finishing</i> yang sejajar dengan

Peneliti (Tahun)	Tema	Variabel	Hasil
	pemesinan <i>milling</i> .	<ul style="list-style-type: none"> • Radius • Arah pemakanan • Memanjang • Melintang 	arah <i>roughing</i> , menghasilkan <i>roughness</i> yang lebih halus dibandingkan dengan arah melintang. 2. Kombinasi perlakuan yang menghasilkan <i>roughness</i> yang paling halus adalah pahat <i>roughing flat</i> pahat <i>finishing ballnose</i> dan arah pemakanan searah <i>roughing</i> .
Nur dan Andriyanto (2009)	Pengaruh variabel pemotongan terhadap kualitas permukaan produk baja ST 37	Kec. potong <ul style="list-style-type: none"> • 37.39 m/min • 38.69 m/min • 51.11 m/min 	1. Kecepatan makan akan menaikkan kekasaran permukaan dan sebaliknya kecepatan potong akan menurunkan kekasaran permukaan. 2. Parameter untuk meningkatkan produktifitas dimana akan naik apabila kecepatan makan dan potong naik tetapi kekasaran akan meningkat.
Zubaidi, dkk (2012)	Pengaruh kecepatan putar dan kecepatan pemakanan terhadap kekasaran permukaan pada mesin bubut CNC Besi FCD	<i>Feeding</i> <ul style="list-style-type: none"> • 0,05; 0,1; 0,15; 0,20; 0,25 (mm/min) Kec. Putar <ul style="list-style-type: none"> • 700, 800, 900, 1000, 1100 (rpm) 	1. Harga <i>feeding</i> berpengaruh pada tingkat kekasaran permukaan, semakin besar harga <i>feeding</i> semakin besar tingkat kekasarnya. 2. Kecepatan putar juga mempengaruhi tingkat kekasaran semakin cepat putarannya maka semakin rendah tingkat kekasarnya.
Pratama, dkk (2013)	Pengaruh variasi <i>feeding</i> dan rasio L/D terhadap kekasaran permukaan hasil proses bubut tirus	<i>Feeding</i> <ul style="list-style-type: none"> • 0,05; 0,10; 0,15; 0,20 (mm/put) Rasio L/D <ul style="list-style-type: none"> • 2, 2,5, dan 3 	1. Kekasaran permukaan pada proses pembubutan tirus akan semakin meningkat pada titik pengujian 3 yang memiliki diameter paling besar 2. Semakin besar <i>feeding</i> dan semakin besar rasio L/D maka akan meningkatkan kekasaran permukaan pada benda kerja.
Ibrahim (2014)	Identifikasi nilai kekasaran permukaan pada pemesinan paduan magnesium	Kec. potong <ul style="list-style-type: none"> • 23,86 ; 32,15 ; 42,7 (mm/mnt) <i>Feeding</i> <ul style="list-style-type: none"> • 0,15 ; 0,2 ; 0,25 (mm/put) 	1. Kecepatan potong (<i>cutting speed</i>) juga berpengaruh signifikan terhadap nilai kekasaran peningkatan nilai kekasaran permukaan bila beroperasi pada kadar gerak makan yang konstan. 2. Semakin tinggi gerak makan yang digunakan maka semakin tinggi nilai kekasaran.
Penelitian Sekarang	Analisa arah pemakanan dan sudut permukaan bidang kerja terhadap kekasaran permukaan pada proses <i>finish milling</i> mesin frais CNC	Arah pemakanan <ul style="list-style-type: none"> • Searah 90° • Searah 45° • Berputar konstan sumbu Z Sudut permukaan bidang kerja <ul style="list-style-type: none"> • 0°; 30°; 45°; 90° 	

Penelitian bertujuan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh arah pemakanan dan sudut bidang permukaan kerja terhadap nilai kekasaran permukaan material S45C pada proses *finish milling* menggunakan *ballnose endmill*. Penelitian dengan melakukan percobaan terhadap tingkat kekasaran material pada proses frais dengan variasi arah pemakanan dan sudut permukaan bidang kerja. Jenis alat potong yaitu *ballnose endmill solid carbide* diameter 8 mm, sedangkan spesimen material uji coba menggunakan S45C. Dalam penelitian ini faktor keausan alat potong diabaikan.

METODOLOGI

Desain Penelitian

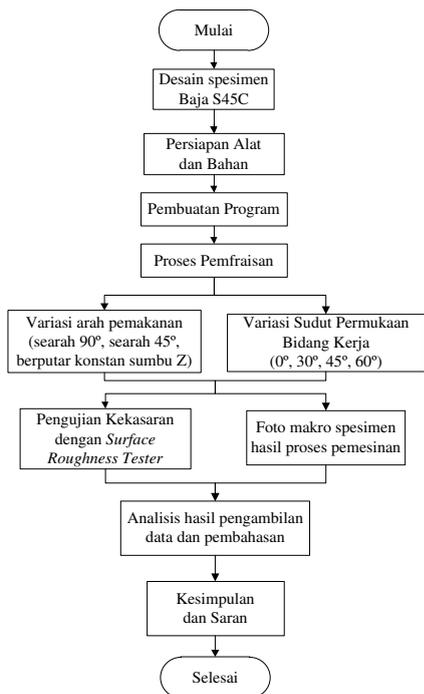
Proses pembentukan spesimen pada penelitian ini menggunakan mesin frais CNC Deckel FP4NC (Gambar 2). Penelitian percobaan tanpa memperhatikan faktor-faktor yang mempengaruhi kekasaran permukaan

khususnya kecepatan putar (rpm), *feeding*, dan diameter alat potong.



Gambar 2. Mesin Frais CNC Deckel FP4NC

Setelah pembentukan selesai dilanjutkan pengukuran kekasaran spesimen dengan alat TR 100 *Surface Roughness Tester* dan diamati dengan mikroskop digital USB perbesaran 800x. Skema desain percobaan ditunjukkan pada Gambar 3.

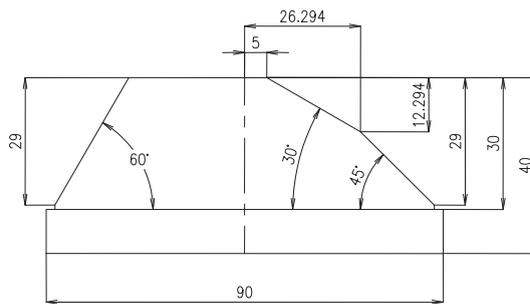


Gambar 3. Desain percobaan

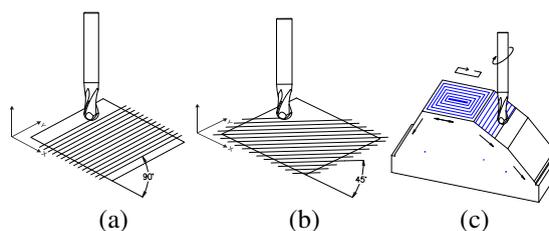
Spesimen Baja S45C

Subyek penelitian yang digunakan pada penelitan ini adalah baja karbon konstruksi mesin S45C dengan ukuran awal 90 mm x 40 mm x 40 mm berjumlah 3 buah. Proses pembentukan dilakukan dengan proses *rough milling* dengan menyisakan 0,4 mm dari ukuran finish dan dilanjutkan dengan proses *finish milling* dengan beberapa variasi arah pemakanan sehingga tercapai dimensi seperti pada Gambar 4.

Pemberian variasi pada masing-masing spesimen adalah variasi arah pemakanan yaitu arah pemakanan searah 90°, arah pemakanan searah 45° dan arah pemakanan berputar searah konstan sumbu Z dan variasi sudut permukaan bidang kerja. Arah pemakanan searah 90° dan 45° yang dimaksud adalah sudut 90° dan 45° terhadap sumbu X pada bidang XY. Jarak pergeseran pada arah ini adalah konstan, sedangkan arah pemakanan berputar konstan sumbu Z jarak pergeseran alat potong bernilai konstan pada sumbu Z terhadap bidang XZ, seperti disajikan pada Gambar 5.

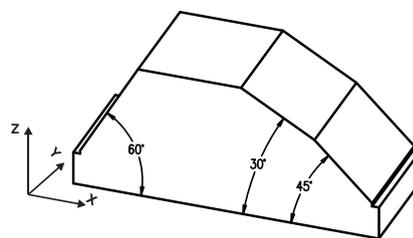


Ukuran dalam mm
Gambar 4. Dimensi spesimen



Gambar 5. Arah pemakanan (a) searah 90° (b) searah 45° (c) Berputar konstan sumbu Z

Sudut permukaan bidang kerja yang dimaksud adalah sudut pada permukaan bidang XZ. Besar sudut diukur berdasarkan sumbu X. Variasinya adalah 0°, 30°, 45°, dan 60°, seperti disajikan pada Gambar 6.



Gambar 6. Sudut permukaan bidang kerja diukur dari sumbu X pada bidang XZ

Pembuatan Program CNC dan kondisi pemotongan

Proses penggambaran 3D spesimen dan pembuatan program CNC dilakukan menggunakan bantuan software CAD/CAM Autodesk Fusion 360 Student Edition. Modul CAM aplikasi ini mempunyai beberapa *toolpath* untuk proses *rough milling* ataupun *finish milling*, tetapi pada penelitian ini hanya menggunakan *Adaptive clearing* untuk *rough milling* dan *Parallel searah 90° (finish milling)*, *Parallel searah 45° (finish milling)*, dan *contour (Berputar konstan sumbu Z) (finish milling)*.

Kondisi pemotongan penelitian adalah pada saat proses *finish milling*. Alat potong

menggunakan Iscar *ballnose endmill solid carbide* diameter 8 mm dengan nomer seri EB080A11-2C08 IC90 yang memiliki dua *flute*, bekerja pada putaran spindle 3000 rpm, kecepatan potong 429 mm/mnt dengan pergeseran alat potong 0,3 mm dan ketebalan pemotongan 0.4 mm.

HASIL DAN PEMBAHASAN

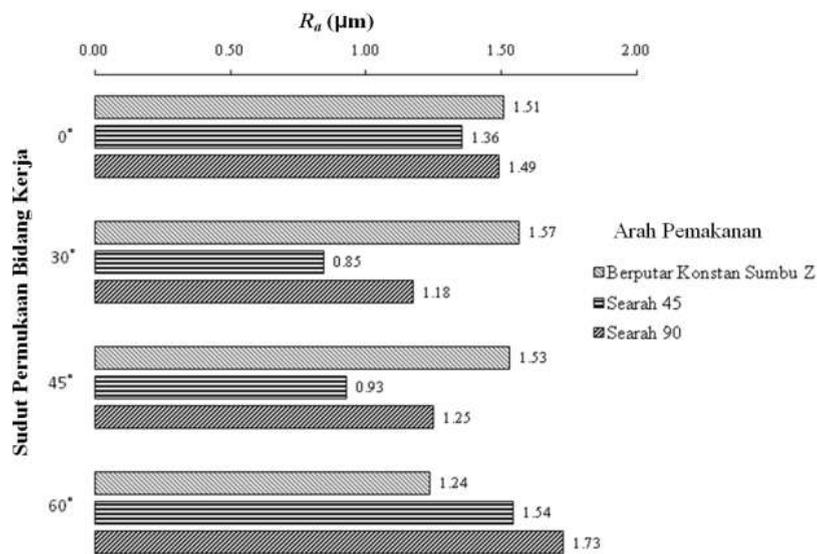
Pengujian Kekasaran Permukaan

Hasil yang didapat pada pengujian adalah data nilai kekasaran rata-rata dari variasi arah pemakanan terhadap sudut permukaan bidang kerja pada proses *finish milling* menggunakan

ballnose endmill diameter 8 mm seperti disajikan dalam Tabel 4.

Tabel 4. Nilai kekasaran rata-rata dari variasi arah pemakanan terhadap variasi sudut permukaan bidang kerja

Arah Pemakanan	Nilai kekasaran (R_a) pada sudut permukaan bidang kerja (μm)			
	0°	30°	45°	60°
Searah 90°	1.49	1.18	1.25	1.73
Searah 45°	1.36	0.85	0.93	1.55
Berputar Konstan	1.51	1.57	1.53	1.24

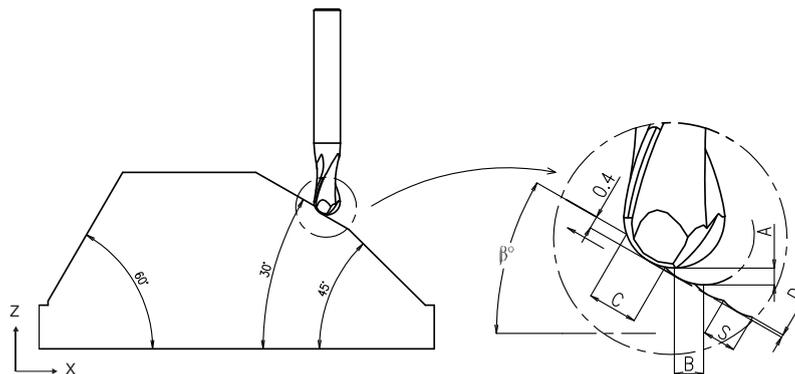


Gambar 7. Diagram perbandingan nilai R_a antara variasi arah pemakanan terhadap variasi sudut permukaan bidang kerja

Pada Gambar 7 dapat dilihat bahwa nilai R_a pada arah pemakanan searah baik 45° atau 90° apabila dihubungkan mempunyai bentuk kurva yang sebanding sedangkan pada arah pemakanan konstan sumbu Z yaitu berbanding terbalik terhadap keduanya. Nilai R_a yang paling kecil ditunjukkan pada arah pemakanan 45° pada sudut bidang datar 30° sedangkan nilai R_a yang paling besar ditunjukkan pada arah pemakanan searah 90° terhadap bidang datar 60°.

Pergeseran alat potong pada pembuatan program CNC adalah berdasarkan pergeseran

salah satu sumbu, berdasarkan sumbu X, sumbu Y, ataupun sumbu Z saja. Proses *finish milling* pada arah pemakanan searah 90° dan searah 45° pergeseran alat potong pada arah sumbu X adalah konstan sedangkan nilai A menyesuaikan besar sudut β , sehingga pada arah pemakanan tersebut nilai B adalah konstan, sedangkan pada arah berputar konstan sumbu Z pergeseran alat potong pada arah sumbu Z adalah konstan sedangkan nilai B menyesuaikan besar sudut β , sehingga nilai A adalah konstan.



Gambar 8. Prinsip pergeseran alat potong pada variasi arah pemakanan terhadap sudut permukaan bidang kerja

Tabel 5. Pergeseran alat potong pada proses frais dengan ketebalan pemakanan sebesar 0,4 mm

Arah pemakanan	β	A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)	S (mm)
Searah 90°	0°	0,3	0	1,95	0,003	0,3
	30°	0,3	0,173	1,957	0,004	0,346
	45°	0,3	0,3	1,995	0,006	0,424
	60°	0,3	0,52	2,08	0,011	0,6
Searah 45°	0°	0,3	0	1,95	0,003	0,3
	30°	0,3	0,173	1,957	0,004	0,346
	45°	0,3	0,3	1,995	0,006	0,424
Berputar konstan sumbu Z	0°	0	0,3	1,95	0,003	0,3
	30°	0,52	0,3	2,08	0,011	0,6
	45°	0,3	0,3	1,995	0,006	0,424
	60°	0,173	0,3	1,957	0,004	0,346

Pergeseran alat potong yang sesungguhnya adalah S. Tebal pemakanan sebesar 0,4 mm dengan pergeseran alat potong S menghasilkan ketinggian beda permukaan sebesar D pada sudut permukaan bidang kerja sebesar β° . Tabel 5 akan menjelaskan proses pergeseran alat potong pada proses frais dengan ketebalan pemakanan sebesar 0,4 mm berdasarkan Gambar 8.

Harga D pada Tabel 5 berdasarkan analisa secara grafis masih terdapat penyimpangan antara nilai aktual dan analisa, karena nilai kekasaran tidak hanya berdasarkan pada nilai D saja, tetapi nilai D dapat digunakan sebagai tolak ukur bahwa perbedaan nilai kekasaran aktual yang dipengaruhi oleh arah pemakanan dan sudut permukaan bidang kerja mempunyai fenomena yang sama apabila dianalisa berdasarkan grafis.

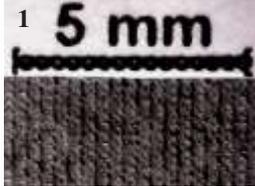
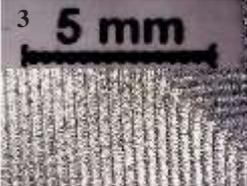
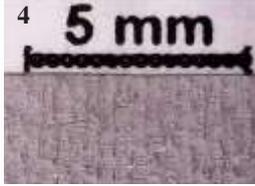
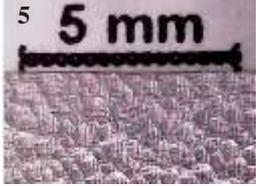
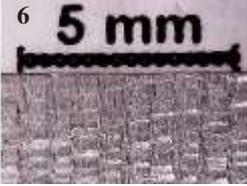
Arah pemakanan mempengaruhi nilai kekasaran karena ketika membuat program

CNC harus memasukkan jarak pergeseran alat potong. Pergeseran alat potong dengan jarak yang konstan apabila bertemu dengan sudut permukaan bidang kerja yang berbeda akan menghasilkan perbedaan jarak pergeseran alat potong yang sesungguhnya. Dari ketiga arah pemakanan terhadap sudut permukaan bidang kerja, hasil yang paling halus terlihat pada sudut permukaan bidang kerja 45° yaitu sebesar 0,85 μm .

Pengujian Foto Makro

Pengujian foto makro dilakukan dengan mikroskop digital USB perbesaran 800x. Pengujian menggunakan metode ini hanya 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 Tabel 6.

Tabel 6. Hasil foto makro

		Arah pemakanan		
		Searah 90°	Searah 45°	Berputar konstan sumbu Z
Sudut permukaan bidang kerja	0°	1 5 mm 	2 5 mm 	3 5 mm 
	30°	4 5 mm 	5 5 mm 	6 5 mm 
	45°	7 5 mm 	8 5 mm 	9 5 mm 
	90°	10 5 mm 	11 5 mm 	12 5 mm 

Pergeseran alat potong dapat ditunjukkan pada sudut permukaan bidang kerja 0° sebesar 17 buah per 5 mm, artinya besar pergeseran alat potong yaitu sekitar 0,3 mm. Hasil yang paling halus ditunjukkan pada sampel nomer 4 (arah pemakanan 90° dan sudut permukaan bidang kerja 30°), sedangkan hasil yang paling kasar ditunjukkan pada sampel nomer 6 dan nomer 10, terlihat dari perbedaan warna yang sangat mencolok pada permukaan, ini menandakan adanya perbedaan kedalaman yang lebih besar.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian ini didapat kesimpulan :

Pergeseran alat potong dengan variasi arah pemakanan dengan jarak yang konstan apabila bertemu dengan sudut permukaan bidang kerja yang berbeda akan menghasilkan perbedaan jarak pergeseran alat potong yang sesungguhnya yang menyebabkan mempengaruhi nilai kekasaran. Dari ketiga arah pemakanan terhadap sudut permukaan bidang kerja, nilai kekasaran yang paling kecil (halus) terjadi pada sudut permukaan bidang kerja 30° dengan arah pemakanan searah 45° yaitu sebesar 0.85 μm .

Sudut permukaan bidang kerja sangat berpengaruh pada tingkat kekasaran hasil pemakanan benda kerja. Pada arah pemakanan searah 90° dan searah 45° nilai kekasaran semakin meningkat (semakin kasar) sebanding dengan bertambahnya sudut permukaan bidang kerja sedangkan pada arah pemakanan berputar konstan sumbu Z nilai kekasaran semakin menurun (semakin halus) berbanding terbalik dengan bertambahnya sudut permukaan bidang kerja.

DAFTAR PUSTAKA

- Amstead, B.H., 1981, *Teknologi Mekanik*, Erlangga, Jakarta.
- Ibrahim, A., 2014, Identifikasi Nilai Kekasaran Permukaan pada Pemesinan Paduan Magnesium, *Jurnal Mechanical Fakultas Teknik, Vol. 5, 2014*, Universitas Lampung.
- Jonoadji, N., dan Dewanto, J., 1999, Pengaruh Parameter Potong dan Geometri Pahat Terhadap Kekasaran Permukaan Pada Proses Bubut, *Jurnal Teknik Mesin, Vol. 1, 1999, 82-88*, Jurusan Teknik Mesin – Universitas Kristen Petra.
- Nur, I., dan Andriyanto, 2009, Pengaruh Variabel Pemoangan Terhadap Kualitas

- Permukaan Produk dalam Meningkatkan Produktifitas, *Jurnal Poli Rekayasa, Vol. 5, 2009*, Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Padang.
- Rochim, T., 2001, Spesifikasi, Metrologi, dan Kontrol Kualitas Geometri, Penerbit ITB, Bandung.
- Shigley, J.E., 1999, *Perencanaan Teknik Mesin*, Erlangga, Jakarta.
- Sularso, 1979, *Dasar Perencanaan Mesin Dan Pemilihan Elemen Mesin*, Pradnya Paramita, Jakarta.
- Zubaidi, A., Syafa'at, I., dan Darmanto, 2012, Pengaruh Kecepatan Putar dan Kecepatan Pemakanan Terhadap Kekasaran Permukaan Material FCD 40 pada Mesin Bubut CNC, *Jurnal Momentum Fakultas Teknik, Vol.8, 2012, 40-47*, Universitas Wahid Hasyim Semarang.
- Zulhendri, Kiswanto, G., dan Rosa, Y., 2007, Pengaruh Tipe Pahat Dan Arah Pemakanan Permukaan Berkontur pada Pemesinan Milling Awal dan Akhir Terhadap Kekasaran Permukaan. *Jurnal Teknik Mesin, Vol. 4, No.1, Juni 2007, ISSN 1829-8958*, Politeknik Negeri Padang.