

Pengaruh Parameter Pemotongan Mesin Bubut CNC TU-2A *Retrofit* Terhadap Kekasaran Permukaan dan Keselindrisan

Irwin Syahri Cebro¹, Alfathier², Nawawi Juhan³, Fakhriza^{4*}, Martunis⁵

^{1,2,3,4,5} Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Lhokseumawe
Jalan. B.Aceh Medan Km.280 Buketrata 24301 INDONESIA

¹ owencebro@pnl.ac.id

^{4*} fakhriza@pnl.ac.id

Abstrak—Kekasaran permukaan dan keselindrisan dipengaruhi oleh parameter pemotongan seperti kecepatan potong, kedalaman potong, laju pemotongan, kondisi mesin dan beberapa faktor eksternal yang lain. Namun demikian belum banyak informasi tentang keterkaitan atau interaksi antara parameter pemotongan terhadap nilai kekasaran permukaan dan keselindrisan. Penelitian ini dilakukan secara eksperimental menggunakan mesin bubut CNC yang telah diretrofit dengan pahat bubut berbahan Karbida pada pemotongan AL 6061 tanpa menggunakan cairan pendingin (*dry machining*). Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh parameter pemotongan terhadap kekasaran permukaan dan keselindrisan AL6061 pada proses pembubutan yang menggunakan *surface roughness tester* dan *dial indicator*. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah AL 6061 berbentuk poros pejal dengan diameter 25 mm dan panjang 100 mm. Panjang pembubutan sebesar 60 mm, dibagi menjadi 4 bagian masing-masing 15 mm untuk variasi kedalaman potong 0,35, 0,4, 0,45 dan 0,5 mm. Variasi putaran spindle pada 750, 1000 dan 1250 rpm dengan kecepatan potong 60, 70 dan 80 m/min. Setiap panjang 15 mm diberikan tanda pembatas, sisa panjang 40 mm dimaksudkan untuk pegangan di *chuck* kepala tetap agar tidak bergerak ketika proses bubut. Pembuatan benda uji menggunakan mesin bubut CNC TU-2A yang telah diretrofit dan menggunakan Match 3 sebagai kontrol. Pahat bubut dari bahan Karbida DCMT 070204EN. Pengukuran kekasaran permukaan menggunakan *Surface Roughness Tester* SJ-310 dari Mitutoyo. Keselindrisan benda diukur menggunakan *dial indicator*. Hasil pengukuran menunjukkan adanya pengaruh parameter kecepatan potong dan kedalaman pemotongan terhadap keselindrisan dan kekasaran permukaan. Tingkat kekasaran terbaik diperoleh pada putaran spindle 750 rpm, kecepatan pemakanan 60 mm/min dan kedalaman pemotongan 0,35 mm dengan nilai $R_a = 1,413 \mu\text{m}$, sedangkan tingkat kekasaran tertinggi diperoleh pada putaran spindle 750 rpm, kecepatan pemakanan 80 mm/min dan kedalaman pemotongan 0,5 mm dengan nilai $R_a = 5,701 \mu\text{m}$

Kata kunci— putaran spindle, kecepatan potong, kedalaman pemotongan, kekasaran permukaan, keselindrisan.

Abstract— Surface roughness and cylindricity are influenced by cutting parameters such as cutting speed, depth of cut, cutting rate, machine conditions and several other external factors. However, there is not much information about the relationship or interaction between cutting parameters and surface roughness and slippage values. This study was conducted experimentally using a CNC lathe that had been retrofitted with a Carbide lathe tool on cutting AL 6061 without using coolant (*dry machining*). The purpose of this study was to determine the effect of cutting parameters on surface roughness and slippage of AL6061 in the turning process using a surface roughness tester and dial indicator. The material used in this study was AL 6061 in the form of a solid shaft with a diameter of 25 mm and a length of 100 mm. The turning length was 60 mm, divided into 4 parts of 15 mm each for variations in cutting depth of 0.35, 0.4, 0.45 and 0.5 mm. Variation of spindle rotation at 750, 1000 and 1250 rpm with cutting speeds of 60, 70 and 80 m/min. Every 15 mm length is given a limit mark, the remaining 40 mm length is intended for the handle in the fixed head chuck so that it does not move during the turning process. The manufacture of test objects using a retrofitted CNC TU-2A lathe and using Match 3 as a control. Lathe tool made of DCMT 070204EN Carbide. Surface roughness measurement using Surface Roughness Tester SJ-310 from Mitutoyo. The cylindricity of the object is measured using a dial indicator. The measurement results show the influence of cutting speed and cutting depth parameters on cylindricity and surface roughness. The best level of roughness was obtained at a spindle rotation of 750 rpm, a feed speed of 60 mm/min and a cutting depth of 0.35 mm with a value of $R_a = 1.413 \mu\text{m}$, while the highest level of roughness was obtained at a spindle rotation of 750 rpm, a feed speed of 80 mm/min and a cutting depth of 0.5 mm with a value of $R_a = 5.701 \mu\text{m}$.

Keywords— Spindle speed, feedrate, depth of cut, surface roughness, cylindricity

I. PENDAHULUAN

Untuk mendapatkan hasil yang sehalus dan sebulat mungkin, ada beberapa faktor yang mempengaruhi kekasaran permukaan dan keselindrisan pada pengerjaan logam menggunakan mesin bubut, antara lain: Kecepatan potong, ketebalan pemakanan, kondisi mesin, mata pahat, pendingin dan operator yang mengoperasikan mesin. Operasi pembubutan adalah proses pemotongan atau proses

pembentukan benda kerja dengan menggunakan mesin bubut, ada pun hal yang harus diperhatikan sebelum pembubutan adalah, Permukaan pemotongan (*Cutting Condition*), adapun yang dimaksudkan dengan kondisi pemotongan, besarnya kecepatan potong (*Cutting Speed*), ketebalan pemakanan (*Feeding*), serta putaran yang ditentukan berdasarkan jenis pahat, benda kerja dan mesin pekasas yang digunakan. Dengan mengetahui bahwa hasil pembubutan dipengaruhi oleh kondisi pemotongan/penyayatan dan khususnya dalam

parameter pemotongan. Gerak makan sangat mempengaruhi kekasaran permukaan, diikuti kecepatan potong, dan kedalaman pemotongan dengan mempergunakan *Response Surface Methodology* [1].

Parameter pemotongan merupakan salah satu hal yang dapat mempengaruhi hasil pengerjaan pembubutan, Kualitas permukaan potong tergantung pada kondisi pemotongan, dengan pemakaian standarisasi parameter pemotongan kemungkinan didapat hasil kerataan yang sesuai dapat terlihat. Pemilihan bahan benda kerja untuk dijadikan komponen komponen pada mesin dan industri ada beberapa hal yang harus diperhatikan antara lain pertimbangan, fungsi, pembebanan, kemampuan bentuk dan kemudahan pencarian dipasaran. Kualitas hasil dari suatu proses pemesinan yang baik dapat dilihat salah satunya dari tingkat kekasaran permukaan material yang dihasilkan oleh proses pemesinan tersebut. Kekasaran permukaan merupakan salah satu cara yang paling umum untuk menilai kualitas suatu produk [2][3]. Beberapa komponen memerlukan tingkat kehalusan permukaan yang tinggi untuk mencegah terjadinya gesekan antar komponen, misalnya pada komponen mekanik elemen mesin yang memerlukan tingkat kehalusan yang tinggi untuk mencegah terjadinya gesekan antar komponen mesin, hal ini sangat penting karena akan mempengaruhi kinerja mesin [4].

Sejumlah penelitian telah dilakukan untuk mengkaji pengaruh parameter pemotongan mesin bubut terhadap tingkat kekasaran permukaan benda kerja. Misalnya, mengkaji parameter sudut potong dan putaran spindle, mengkaji pengaruh parameter kecepatan. Kemudian, Referensi [5] mengkaji pengaruh parameter kecepatan potong, kecepatan pamakanan, dan sudut potong. Hal yang sama juga dilakukan Referensi [6] yang mengkaji pengaruh parameter pemakanan yang terdiri dari kecepatan potong, kecepatan asutan, dan kedalaman pemakanan. Selanjutnya pengaruh penggunaan cairan pendingin dan sudut ujung pahat, sedangkan parameter kecepatan potong, kedalaman potong, gerak makan terhadap kekasaran permukaan dan konsumsi energi [7]. Dalam mengkaji pengaruh parameter tersebut, beberapa peneliti menggunakan mesin bubut konvensional, seperti [8]. Menggunakan mesin bubut CNC. Pengaruh parameter pemesinan terhadap kualitas kekasaran permukaan proses bubut dapat dikaji secara parsial maupun secara bersama melalui interaksi atau kombinasi antara setiap parameter [9]. Nilai setiap parameter atau kondisi pemesinan berbeda antara setiap peneliti, tergantung pada jenis dan diameter bahan uji, jenis pahat, jenis mesin bubut, dan penggunaan cairan pendingin. Analisis secara parsial disimpulkan bahwa semakin tinggi pemilihan kecepatan potong atau putaran mesin menghasilkan angka kekasaran permukaan paling rendah [10]. Hal yang terjadi sebaliknya pada parameter laju pemakanan, dimana semakin tinggi laju pemakanan semakin tinggi angka kekasaran permukaan.

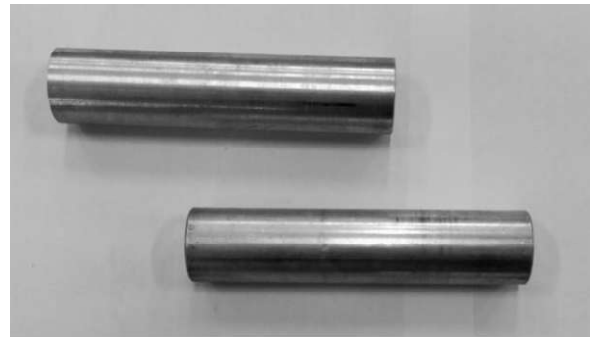
Dalam ilmu metalurgi dikenal dengan istilah aluminium murni dan aluminium paduan (*alloy*). Aluminium paduan adalah perpaduan antara logam aluminium dengan logam lainnya. Salah satunya adalah aluminium 6061 yang sering diaplikasikan pada berbagai jenis produk teknologi. Memiliki sifat mekanik yang cukup baik menjadikan aluminium tipe 6061 sebagai bahan material pilihan. Dengan tingkat ketahanan korosi yang tinggi, ringan, awet, dan tahan lama. Banyak jenis produk yang menggunakannya mulai dari kemasan hingga konstruksi.

Penelitian ini menitik beratkan pada "Pengaruh Parameter Pemotongan Terhadap Kekasaran Permukaan Aluminium dan Kesilindrisan Pada Proses Pembubutan", dengan alasan bahwa; penentuan parameter pemotongan yang digunakan pada proses pembubutan berpengaruh dalam menentukan kekasaran permukaan dan keselindrisan yang dihasilkan dan beberapa praktek pembubutan di bengkel, tinggi rendahnya parameter kurang diperhatikan dalam upaya untuk menghasilkan permukaan yang baik sesuai kualitas standar.

II. METODOLOGI PENELITIAN

A. Bahan dan Alat

a) *Bahan*: Bahan atau material yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja AL 6061 bulat pejal dengan ukuran panjang 100 mm dengan diameter 25 mm sebanyak 9 buah. Bentuk benda kerja dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Material penelitian AL 6061

b) *Mesin CNC TU-2A Retrofit dengan Kontroler Match 3 turn*: Mesin bubut CNC yang digunakan adalah mesin CNC TU-2A yang diproduksi oleh EMCO Industrial Training - EMCO MAIER GmbH in 1982 yang telah diretrofit dan menggunakan kontroler Match 3 Turn seperti terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Mesin CNC TU-2A dan Kontroler Match 3

c) *Mata pahat karbida*: Mata pahat yang digunakan adalah insert tool yang berbahan karbida, insert carbide CNMG120408 seperti diperlihatkan pada Gambar 3. Pada umumnya material dasar dari pahat karbida adalah Karbida Tungsten (WC+Co) yang dilapisi dengan bahan pelapis berupa *Titanium Nitrida* (TiN), *Titanium Carbida* (TiC), *Titanium Carbonitrida* (TiCN) dan *Aluminium Oksida* (Al₂O₃). Lapisan dibuat dengan dua cara yaitu dengan

proses PVD (*Physical Vapour Deposition*) dan proses CVD (*Chemical Vapour Deposition*). Pelapisan secara CVD (*Chemical Vapour Deposition*) menghasilkan ikatan yang lebih kuat dari pada PVD (*Physical Vapour Deposition*).



Gambar 3. Mata pahat yang kanan dengan insert tool karbida

d) *Surface Roughness Tester*: *Surface Roughness Tester* merupakan alat yang mampu mengukur Tingkat kekasaran permukaan secara digital. Setiap permukaan komponen dari suatu benda mempunyai beberapa bentuk dan variasi yang berbeda baik menurut strukturnya maupun dari hasil proses produksinya. Spesifikasi alat yang digunakan adalah SJ-310 produksi Mitutoyo (Gambar 4). Untuk mendapatkan hasil yang akurat pada proses pengambilan data dilengkapi dengan meja perata, stand, PC dan V-blok.



Gambar 4. *Surface Roughness Tester* SJ-310

B) Rancangan Penelitian

Metode penelitian merupakan suatu cara yang digunakan dalam penelitian dapat dipertanggung jawabkan secara ilmiah Metode proses bubut dengan kombinasi Parameter permesinan bubut seperti kecepatan spindle (N), kecepatan pemakanan (f) dan kedalaman pemakanan (a) telah dipilih sebagai faktor desain, sedangkan parameter lain dianggap konstan.

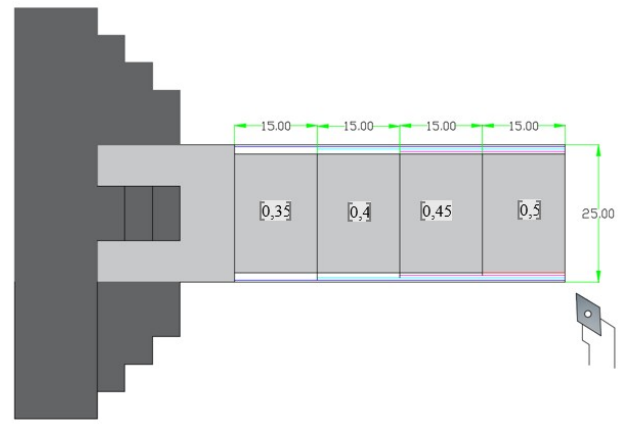
Berbagai pendekatan dan teknik, termasuk kecerdasan buatan atau metode komputasi lunak, metode Taguchi, metodologi permukaan respons, teori permesinan, desain eksperimental konvensional, dan jaringan saraf buatan, telah digunakan dalam studi kekasaran permukaan untuk memprediksi kualitas kekasaran permukaan [11][12]. Metode desain eksperimental (DOE) telah digunakan selama bertahun-tahun di berbagai industri untuk meningkatkan proses produksi dan produk [13].

Berikut ini adalah urutan penentuan prosedur penelitian yang akan dilakukan pada bahan AL 6061:

a) *Persiapan Bahan*: Aluminium 6061 merupakan paduan penguatan presipitasi, yang menggabungkan magnesium dan silikon sebagai unsur paduan utamanya. Komposisi nominal aluminium tipe 6061 adalah 97,9% Al, 0,6% Si, 1,0% Mg, 0,2% Cr, dan 0,28% Cu. Massa jenis paduan aluminium 6061 adalah 2,7 g/cm³ (0,0975 lb/in³). Material ini memiliki sifat mekanis yang baik, ringan, tahan lama, dan memiliki tingkat ketahanan korosi yang tinggi. Bahan Al 6061 berdiameter 25 mm dipotong

menggunakan gergaji mesin dengan panjang 100 mm. Kemudian pada ujungnya dibuat lubang dengan center drill menggunakan mesin bubut. Maksud dari pembuatan lubang ini adalah untuk meletakkan benda kerja pada posisi center kepala lepas saat pembubutan berlangsung.

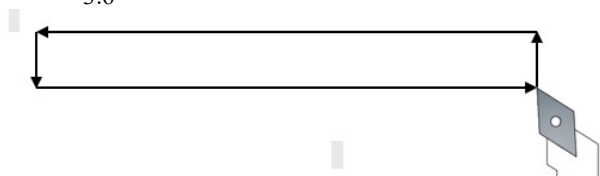
b) *Pemasangan Benda Kerja* : Pemasangan benda kerja dilakukan dengan teliti dan seksama agar benda kerja benar-benar senter atau tidak baling. Sebelum spesimen dipasang pada cekam, dilakukan sentering yaitu dengan memakai center kepala lepas yang dipasang pada chuck selanjutnya disentuhkan pada ujung mata cutter yang akan digunakan apabila belum senter dilakukan pengencangan pada bagian chuck. Bila diperkirakan sudah benar-benar senter barulah dilakukan proses pembubutan. Proses membubut lurus adalah menyayat benda kerja dengan gerak pahat sejajar dengan sumbu benda kerja dilakukan dengan cara menentukan arah gerakan pahat (Gambar 5).



Gambar 5. Rencana Cekaman, Penyayatan, Dan Lintasan Pahat.

Keterangan:

- ✓ Benda kerja dicekam sehingga bagian yang menonjol sekitar 70 mm.
- ✓ Penyayatan dilakukan dengan kedalaman potong 0.35, 0.4, 0.45 dan 0.5 mm.
- ✓ Panjang pemotongan 60, 45, 30 dan 15 mm dan panjang lintasan keluar pahat (sama dengan kedalaman potong).
- ✓ Rencana Gerakan pahat dapat dilihat pada Gambar 3.6



Gambar 6. Gambar Rencana Gerakan Dan Lintasan Pahat

c) *Pemasangan Pahat Bubut*: Pemasangan pahat dilakukan dengan cara menjepit pahat insert carbide CNMG120408 pada rumah pahat (tool post) dan menentukan sudut pahat berdasarkan tabel kecepatan pahat insert carbide CNMG120408 yaitu sudut bebas 10". Usahakan bagian pahat yang menonjol tidak terlalu panjang, supaya tidak terjadi getaran pada pahat ketika proses pemotongan dilakukan. Posisi ujung pahat harus pada sumbu benda kerja mesin bubut, atau pada sumbu benda kerja yang dikerjakan. Posisi ujung pahat yang terlalu rendah tidak

direkomendasi, karena menyebabkan benda kerja terangkat, dan proses pemotongan tidak efektif.

d) *Penentuan Parameter Pemotongan:* Dalam proses pembubutan penentuan parameter pemotongan ditentukan berdasarkan variabel antara lain variabel control, variabel tetap, serta variabel terikat. Berdasarkan beberapa variabel tersebut hasil pembubutan memiliki nilai kekasaran permukaan yang berbeda-beda akibat pengaruh parameter yang telah ditentukan operator. Yang merupakan dari variabel control yaitu gerak makan (*feed*), dan putaran spindle (*spindel speed*), sedangkan variabel tetap adalah kedalaman pemotongan (*a*), dan variabel terikat merupakan hasil yang dipengaruhi dari variabel control dengan variabel tetap yaitu kekasaran (*Ra*).

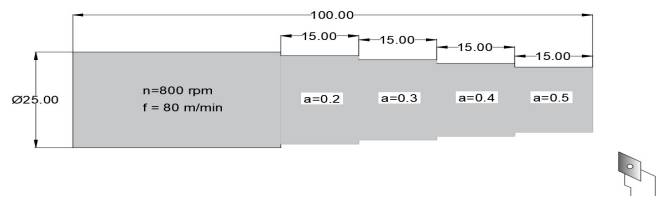
Dengan melihat tabel yang terdapat pada mesin bubut CNC TU-2A, penentuan variabel control dipilih dengan memvariasikan gerak makan (*feed*) terendah dan putaran spindle (*spindel speed*) terendah. Dengan memvariasikan gerak makan (*feed*), putaran spindle (*spindel speed*) dan kedalaman pemotongan (*a*) maka variabel tetap yang dipilih dalam penelitian ini sudut mata potong (0°). Dalam penelitian ini dilakukan dengan memvariasikan tiga gerak makan (*feed*), tiga putaran spindle (*spindel speed*) yang merupakan variabel control serta empat variasi kedalaman pemotongan. Adapun parameter yang digunakan dalam penelitian ini lihat Tabel 1.

Tabel 1. Parameter Permesinan

No.	<i>n</i> (Rpm)	Parameter Pengujian	
		<i>F</i> (mm/min)	<i>a</i> (mm)
1	750	60	0.35, 0.4, 0.45, 0.5
		70	
		80	
2	1000	60	0.35, 0.4, 0.45, 0.5
		70	
		80	
3	1250	60	0.35, 0.4, 0.45, 0.5
		70	
		80	

C. *Proses Pengerjaan*

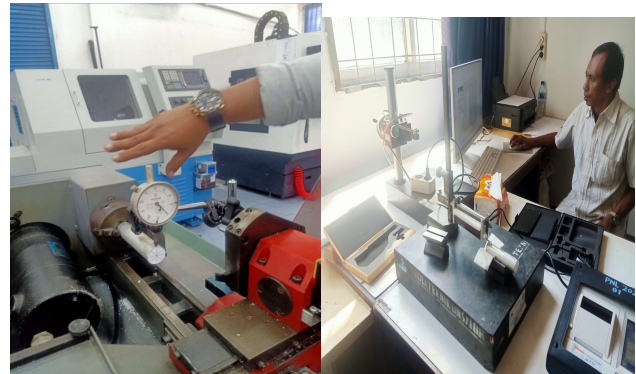
Pembubutan dilakukan berdasarkan tiga variabel yaitu variabel control, dan variabel tetap, sehingga akan diperoleh nilai kekasaran permukaan hasil pembubutan yang merupakan variabel terikat. Proses pengerjaan yang dilakukan dalam penelitian ini adalah dengan memvariasikan variabel control yaitu lima gerak makan (*feed*) dan lima putaran sindel (*spindel speed*) serta kedalaman pemotongan 0.35, 0.4, 0.45, dan 0.5 mm yang merupakan variabel tetap dari parameter permesinan tersebut. Maka pada tiap-tiap putaran spindle (*spindel speed*) tersebut dilakukan proses pemotongan berdasarkan lima gerak makan (*feed*) sehingga hasil pembubutan memiliki nilai kekasaran permukaan yang berbeda-beda akibat pengaruh parameter pemotongan yang dilakukan setiap proses permesinan. Selesaiannya proses permesinan, maka dilakukan pengukuran dimensi kekasaran permukaan Al 6061 langsung dengan mengeluarkan benda kerja dari kepala tetap setelah selesaiannya proses pemotongan pada tiap-tiap parameter yang divariasikan (7).



Gambar 7. Proses pengerjaan specimen

D. *Proses Pengukuran*

Pengukuran kekasaran permukaan dan kesilindrisan dengan menggunakan *surface tester* dan *dial indicator* menghasilkan data berupa angka. Proses pengukuran dilakukan dengan cara mengukur lima sisi dari benda kerja tersebut dan catat angka setiap dilakukannya pengukuran kemudian rata-ratakan hasil dari lima sisi benda kerja yang diukur tersebut. Hasil nilai kekasaran permukaan diperoleh berdasarkan nilai rata-rata hasil perhitungan. Dengan cara yang sama proses pengukuran dilakukan terhadap pemotongan lainnya (Gambar 8).



Gambar 8. Pengukuran hasil pengerjaan

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. *Hasil Pengukuran Keselindrisan*

Pengukuran keselindrisan dilakukan menggunakan alat *dial indicator* dengan akurasi 98%. Pengukuran dilakukan sebanyak 2 kali yaitu sebelum dan sesudah pengerjaan. Pengukuran dilakukan saat benda kerja telah dipasang pada *chuck* dan dipastikan tidak baling secara visual dengan melihat pada saat benda kerja diam dan berputar. Pengukuran dilakukan pada 16 titik sudut yaitu dari 0, 22.5, 45, 67.5, 90, 112.5, 135, 157.5, 180, 202.5, 225, 247.5, 270, 292.5 dan 315. Hasil pengujian keselendrisan sebelum pengerjaan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengukuran keselindrisan sebelum pengerjaan

Sudut	Putaran Spindel		
	750	1000	1250
0	0	0	0
22,5	-0,0027	-0,0180	0,0000
45	-0,0053	-0,0720	-0,0483
67,5	0,0030	-0,0620	-0,0103
90	0,0113	-0,0200	-0,0863
112,5	-0,0101	0,0740	-0,0437
135	-0,0315	-0,0520	-0,1077
157,5	-0,0488	-0,0520	-0,0957
180	-0,0660	-0,0520	-0,1117
202,5	-0,0612	-0,0727	-0,3144
225	-0,0563	-0,0468	-0,0610
247,5	-0,0374	-0,1243	-0,2778
270	-0,0185	-0,0313	-0,0177
292,5	-0,0134	-0,2163	-0,1858
315	-0,0083	-0,0005	0,0103
337,5	-0,0058	-0,0110	0,0850
360	-0,0033	0,0010	-0,0003
Rerata	-0,0208	-0,0445	-0,0744

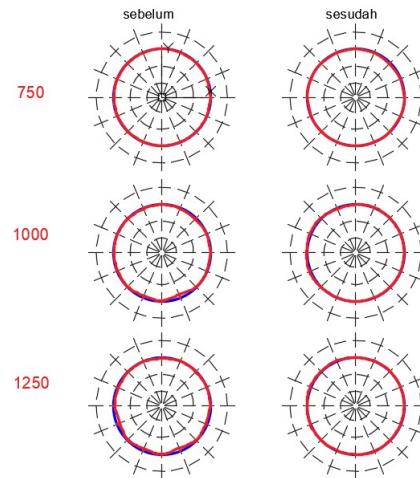
Dari tabel dapat dilihat ketidakselindrisan rerata untuk putaran spindle 750 rpm sebesar -0.0208 mm, putaran spindle 1000 rpm sebesar -0,0445 mm dan pada putaran 1250 rpm sebesar -0.0744 mm, ketidakselindrisan ini masih dalam toleransi yang diizinkan.

Setelah proses permesinan selanjutnya dilakukan pengukuran keselindrisan untuk melihat apakah sebelum dan sesudah pengerjaan terjadi perubahan keselindrisan.

Tabel 3 Hasil pengukuran keselindrisan setelah pengerjaan

Sudut	Putaran Spindel		
	750	1000	1250
0	0	0	0
22,5	-0,0192	-0,0017	0,0000
45	-0,0383	-0,0033	0,0106
67,5	-0,0223	0,0270	0,0011
90	-0,0063	-0,0337	0,0200
112,5	-0,0117	-0,1610	0,0267
135	-0,0170	0,0300	0,0167
157,5	-0,0168	0,0750	0,0476
180	-0,0166	0,0150	0,0063
202,5	-0,0169	0,0457	0,0410
225	-0,0172	0,0073	-0,0023
247,5	-0,0165	0,0073	-0,0023
270	-0,0158	0,0073	-0,0023
292,5	-0,0220	0,0163	0,0637
315	-0,0282	0,0058	-0,0133
337,5	-0,0178	0,0028	-0,0093
360	-0,0075	-0,0003	-0,0052
Rerata	-0,0171	0,0023	0,0117

Setelah proses permesinan nilai rerata ketidakselindrisan untuk putaran spindle 750 rpm sebesar -0.01783 mm, putaran spindle 1000 rpm sebesar -0,0023 mm dan pada putaran 1250 rpm sebesar -0.0117 mm terlihat adanya penurunan nilai ketidaksilindrisan walaupun tidak signifikan. Selain itu terlihat pengaruh putaran spindle terhadap kesilindrisan Dimana semakin tinggi putaran semakin silindris benda hasil pembubutan. Ketidaksilindrisan yang terjadi sebelum dan sesudah proses permesinan dapat dilihat pada gambar 9.



Gambar 9. Kebulatan spesimen sebelum dan sesudah proses permesinan

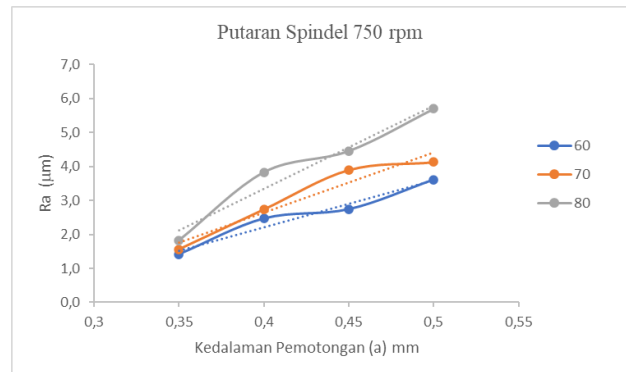
B. Hasil Pengukuran Kekasaran Permukaan

Pengukuran kekasaran permukaan dilakukan setelah dilakukan proses permesinan sesuai dengan prosedur untuk setiap spesimen uji pada setiap tingkat *feedrate* pada tiga titik yang berbeda maka untuk parameter putaran spindle 750 rpm hasilnya ditampilkan pada tabel 4.

Tabel 4. Hasil pengukuran kekasaran permukaan pada putaran 750 rpm

Spesimen	Kecepatan Pemakanan (mm/min)	Kedalaman Pemotongan (mm)	Kekasaran Permukaan			Rerata
			T1	T2	T3	
A1	60	0,35	1,089	2,004	1,146	1,413
		0,4	2,650	2,493	2,267	2,470
		0,45	2,500	2,928	2,804	2,744
		0,5	3,517	3,755	3,586	3,619
A2	70	0,35	1,647	1,566	1,466	1,560
		0,4	2,128	3,426	2,665	2,740
		0,45	3,890	3,604	4,211	3,902
		0,5	4,244	4,074	4,074	4,131
A3	80	0,35	1,583	1,955	1,935	1,824
		0,4	3,504	3,670	4,331	3,835
		0,45	3,093	4,762	5,523	4,459
		0,5	4,429	6,825	5,849	5,701

Selanjutnya hasil pengukuran kekasaran permukaan dapat ditampilkan dalam grafik seperti ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Grafik kedalaman pemotongan vs kekasaran permukaan pada putaran 750 rpm

Dari grafik dapat dilihat tren bahwa semakin dalam kedalaman pemotongan semakin tinggi kekasaran permukaan yang dihasilkan atau semakin kasar permukaan yang dihasilkan demikian juga dengan parameter kecepatan

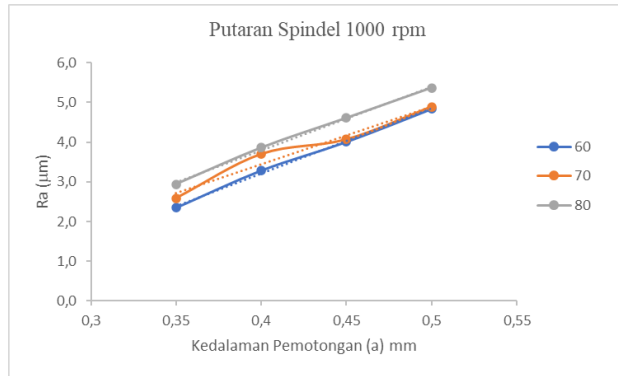
pemotongan, semakin tinggi kecepatan pemotongan atau pemakanan semakin kasar pula permukaan yang dihasilkan. Pada putaran spindel 750 rpm kekasaran permukaan yang paling halus dicapai pada kedalaman pemotongan 0,35 dan kecepatan potong pada 60 mm/min dengan nilai Ra = 1,413 μm, sedangkan Tingkat kekasaran yang paling tinggi dihasilkan oleh kedalaman pemotongan 0,5 mm pada kecepatan pemotongan 80 mm/min yaitu sebesar Ra = 5,701 μm.

Selanjutnya untuk putaran spindel 1000 rpm hasil pengukuran kekasaran permukaan dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5. Hasil pengukuran kekasaran permukaan pada putaran 1000 rpm

Putaran Spindel (n)		1000 (rpm)		Kekasaran Permukaan			Rerata
Spesimen	Kecepatan Pemakanan (mm/min)	Kedalaman Pemotongan (mm)	T1	T2	T3		
B1	60	0,35	2,812	2,056	2,179	2,349	
		0,4	3,617	3,188	3,058	3,288	
		0,45	3,237	4,885	3,902	4,008	
		0,5	5,623	4,270	4,619	4,837	
B2	70	0,35	2,627	2,587	2,531	2,582	
		0,4	3,885	3,594	3,608	3,696	
		0,45	4,480	3,029	4,688	4,066	
		0,5	4,912	4,571	5,187	4,890	
B3	80	0,35	2,979	2,638	3,201	2,939	
		0,4	3,618	4,129	3,826	3,858	
		0,45	5,155	4,155	4,509	4,606	
		0,5	6,091	5,330	4,674	5,365	

Hasil pengukuran kekasaran permukaan ditampilkan dalam grafik seperti ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Grafik kedalaman pemotongan vs kekasaran permukaan pada putaran 1000 rpm

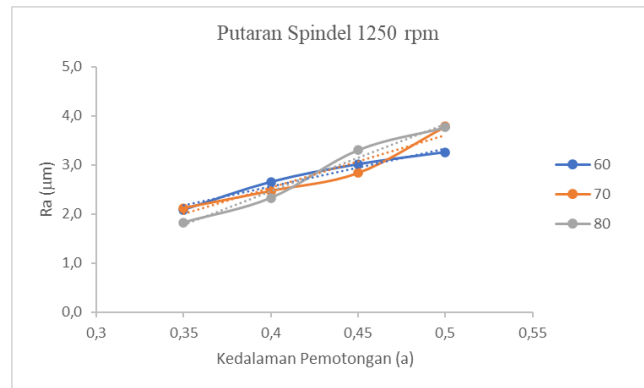
Pada grafik Gambar 11 terlihat tren yang sama dengan grafik Gambar 10 (putaran 750 rpm) dimana semakin dalam kedalaman potong semakin kasar nilai kekasaran permukaan, demikian halnya dengan kecepatan potong, dimana semakin besar kecepatan pemotongan semakin besar pula nilai kekasaran permukaan yang dihasilkan. Nilai kekasaran permukaan yang terendah diperoleh pada kedalaman pemotongan 0,35 mm dan kecepatan potong pada 80 mm/min yaitu Ra = 2,349 μm sedangkan nilai kekasaran permukaan tertinggi diperoleh pada kedalaman pemotongan 0,5 mm dan kecepatan potong 80 mm/min dengan nilai Ra = 5,365 μm.

Pada putaran spindel tertinggi yaitu 1000 rpm hasil pengukuran kekasaran permukaan spesimen dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil pengukuran kekasaran permukaan pada putaran 1000 rpm

Putaran Spindel (n)		1250 (rpm)		Kekasaran Permukaan			Rerata
Spesimen	Kecepatan Pemakanan (mm/min)	Kedalaman Pemotongan (mm)	T1	T2	T3		
C1	60	0,35	2,284	1,416	2,565	2,088	
		0,4	2,094	2,865	3,005	2,655	
		0,45	2,611	3,401	3,034	3,015	
		0,5	3,931	2,021	3,826	3,259	
C2	70	0,35	2,116	2,038	2,203	2,119	
		0,4	2,384	2,301	2,721	2,469	
		0,45	2,487	3,581	2,435	2,834	
		0,5	2,996	4,045	4,303	3,781	
C3	80	0,35	1,632	1,809	2,039	1,827	
		0,4	2,860	2,021	2,109	2,330	
		0,45	3,083	3,373	3,469	3,308	
		0,5	3,736	3,604	3,972	3,771	

Selanjutnya hasil pengukuran kekasaran permukaan dapat ditampilkan dalam grafik seperti ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 12. Grafik kedalaman pemotongan vs kekasaran permukaan pada putaran 1250 rpm

Pada grafik Gambar 12 secara keseluruhan masih mengikuti tren yang sama dengan pada putaran 750 dan 1000 rpm, namun tingkat kekasaran paling rendah yang dicapai terlihat tidak signifikan, pada putaran 1000 rpm diperoleh nilai kekasaran permukaan terendah yaitu Ra = 1,422 μm, hal ini tentu bertentangan secara teoritis dimana semakin tinggi putaran spindel semestinya semakin halus permukaan yang diperoleh. Untuk nilai kekasaran tertinggi pada putaran 1250 rpm Ra = 3,771 μm, nilai tersebut terlihat perbedaan yang signifikan dibandingkan dengan perlakuan spesimen pada putaran 750 rpm dan 1000 rpm

C. Diskusi

Hasil pengukuran kesilindrisan spesimen sebelum dan sesudah proses permesinan terlihat adanya pengaruh putaran spindel, kecepatan pemotongan dan kedalaman pemotongan walaupun terlihat tidak signifikan, selain itu nilai ketidakselindrisan masih pada nilai toleransi yang diizinkan untuk benda silinder.

Dari data yang diperoleh berdasarkan hasil penelitian eksperimen bahwa pengaruh parameter pemotongan yaitu, kecepatan potong dan kedalaman potong pada mesin bubut CNC TU-2A retrofit sangat berpengaruh pada tingkat kekasaran permukaan disamping faktor-faktor lainnya. Dimana semakin besar kedalaman potong semakin kasar permukaan yang dihasilkan demikian halnya untuk parameter kecepatan makan, semakin cepat kecepatan potong semakin kasar permukaan yang dihasilkan. Lain halnya dengan parameter putaran spindel dari grafik yang ditampilkan tidak dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi putaran spindel

semakin rendah (halus) tingkat kekasaran permukaan yang dihasilkan. Tingkat kekasaran terendah justeru diperoleh pada putaran 750 rpm yaitu dengan nilai $R_a = 1,413 \mu\text{m}$ sementara pada putaran tertinggi Tingkat kekasaran terendah $R_a = 1,827 \mu\text{m}$ dalam hal ini perlu dilakukan penelitian lanjutan terkait dengan performansi mesin terutama vibrasi yang dialami oleh mesin, diperkirakan vibrasi adalah salah satu faktor penyebab dari ketidaklaziman pengaruh putaran spindel terhadap kekasaran permukaan.

IV. KESIMPULAN

Dari hasil pengukuran data dan pembahasannya, kesimpulan yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Ada pengaruh putaran spindel, kecepatan pemotongan dan kedalaman pemotongan terhadap kesilindrisan spesimen.
2. Secara umum tingkat kekasaran permukaan aluminium Al 6061 dipengaruhi oleh parameter kecepatan potong dan kedalaman potong, semakin besar kecepatan potong dan semakin dalam kedalaman potong menghasilkan kekasaran permukaan yang semakin kasar.
3. Parameter putaran spindel pada mesin CNC TU-2A retrofit tidak berpengaruh secara jelas terhadap kekasaran permukaan
4. Tingkat kekasaran terbaik diperoleh pada putaran spindel 750 rpm, kecepatan pemakanan 60 mm/min dan kedalaman pemotongan 0,35 mm dengan nilai $R_a = 1,413 \mu\text{m}$, sedangkan tingkat kekasaran tertinggi diperoleh pada putaran spindel 750 rpm, kecepatan pemakanan 80 mm/min dan kedalaman pemotongan 0,5 mm dengan nilai $R_a = 5,701 \mu\text{m}$.

REFERENSI

[1] A. Doniavi, M. Eskandarzade and M. Tahmasebian, "Empirical Modelling of Surface Roughness in Turning Process of 1060 Steel using Reponse Surface Methodology", *Journal of Applied Sciences* 7 (17) : 2509-2513, 2007.

[2] M. Z. Rahman, A. Das, S. Chattopadhyaya, M. Reyaz, M. T. Raza, and S. Farzeen, "Regression modelling and comparative analysis on CNC wet-turning of AISI-1055 & AISI-4340 steels," *Mater. Today Proc.*, vol. 24, pp. 841–850, Jan. 2020, doi: 10.1016/j.matpr.2020.04.393

[3] H. Shagwira, T. O. Mbuya, E. Akinlabi, F. Mwema, and T. Buddi, "Optimization of material removal rate in the CNC milling of polypropylene + 60 wt% quarry dust composites using the Taguchi technique," *Mater. Today Proc.*, vol. 44, Dec. 2020, doi: 10.1016/j.matpr.2020.11.229.

[4] K. Bukhari, Y. Azwar, I. Yusuf, Darmein, and Mawardi, "Optimization of CNC machining parameters to improve surface roughness quality of the AL6061 material using the Taguchi method," *Jurnal Polimesin*, vol. 21, no. 4, pp. 408–413, 2023.

[5] Gultom, P. I. "Pengaruh Kecepatan Potong, Kecepatan Pemakanan Dan Sudut Potong Utama Terhadap Kekasaran Permukaan Pada Proses Bubut Medium Carbon Steel". *JURNAL FLYWHEEL*, 11(2), 13–18. 2020.

[6] Fauzi, A., & Sumbodo, W. "Pengaruh Parameter Pemakanan Terhadap Kekasaran Permukaan ST 40 pada Mesin Bubut CNC". *Jurnal: Dinamika Vokasional Teknik Mesin*. 6(1), 46-57, 2021.

[7] Gupta, A., Mittal, A., & Gupta, A. K. Colon targeted drug delivery systems—a review. *Asian J. Pharm. Res*, 1(2), 25–33, 2011.

[8] Yufrizal, A., Indrawan, E., Helmi, N., Aziz, A., & Putra, Y.A. "Pengaruh Sudut Potong dan Kecepatan Putaran Spindel Terhadap Kekasaran Permukaan pada Proses Bubut Mild Steel ST" 37. *INVOTEK: Jurnal Inovasi Vokasional dan Teknologi*. 19(2), 29–36. 2019.

[9] Septiadi, R., & Sunarto, S. "Kinerja pahat karbida berlapis titanium Aluminium Nitrida (TiAlN) pada pembubutan kering baja ASTM A 29 grade 1038". *Jurnal Polimesin*, 18(2), 74–81. 2020.

[10] Siswanto, B., & Sunyoto, S. "Pengaruh Kecepatan dan Kedalaman Potong Pada Proses Pembubutan Konvensional Terhadap Kekasaran Permukaan Lubang". *Jurnal Dinamika Vokasional Teknik Mesin*, 3(2), 82–86. 2018.

[11] N. Qehaja, K. Jakupi, A. Bunjaku, M. Bruçi, and H. Osmani, "Effect of Machining Parameters and Machining Time on Surface Roughness in Dry Turning Process," *Procedia Eng.*, vol. 100, pp. 135–140, 2015, doi: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.01.351>.

[12] E. Kilickap, A. Yardimeden, and Y. H. Çelik, "Mathematical modelling and optimization of cutting force, tool wear and surface roughness by using artificial neural network and response surface methodology in milling of Ti-6242S," *Appl. Sci.*, vol. 7, no. 10, 2017, doi: 10.3390/app7101064.

[13] A. Razavykia, N. M. Yusof, and M. R. Yavari, "Determining the Effects of Machining Parameters and Modifier on Surface Roughness in Dry Turning of Al-20%Mg2Si-PMMC using Design of Experiments (DOE)," *Procedia Manuf.*, vol. 2, pp. 280–285, 2015, doi: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.07.049>.