

PENGEMBANGAN PROSES GERINDA SILINDER PERMUKAAN LUAR

Sony Harbintoro

Peneliti
Balai Besar Logam dan Mesin
sony-harbintoro@kemenperin.go.id

Agus Sutisna

Teknisi Penelitian dan Perekayasaan
Balai Besar Logam dan Mesin
agus-sutisna@kemenperin.go.id

Pujiyanto

Perekayasa
Balai Besar Logam dan Mesin
pujiyanto@kemenperin.go.id

Sarip Hidayat

Perekayasa
Balai Besar Logam dan Mesin
sarip-hidayat@kemenperin.go.id

Agus Suherman

Perekayasa
Balai Besar Logam dan Mesin
agus-suherman@kemenperin.go.id

The abrasive machining process is called the grinding process using a wheel grinding. The process of abrasive machining is usually in the final stages of making a product or finishing product so that it becomes essential in making products because it determines the final quality of a product. The purpose of this research is to develop the external cylindrical grinding process in column products for one of the components for drilling machines by modifying the grinding process in the lathe machine. The study was conducted using a wheel head of tools sharpening machine that is mounted on a lathe machine. The stages of this research began with the lathe process. Then without removing the product from the lathe, the external surface cylindrical grinding process is carried out so that there is no need to be set up the workpiece because the central inertia axis of the workpiece has one axis with its geometric axis. The measurement results of the external surface cylindrical grinding process are carried out using a bird-cage strategy by dividing the measurement into six segments. From each segment, the data is collected at eight measuring points. Based on the measurement results, in sample no.3 in segments B and D there is an increase in measurement results, that is $\varnothing 100 + 0.018$, but still below the maximum limit of $\varnothing 100 + 0.020$.

Keywords: Abrasive Machining, External Cylindrical Grinding, Lathe Machine, Bird-Cage Strategy.

1. PENDAHULUAN

Salah satu proses pemesinan yang banyak digunakan untuk pembuatan produk dengan karakteristik toleransi geometrik yang ketat yaitu proses pemesinan abrasif. Proses pemesinan abrasif adalah proses penghilangan material yang melibatkan penggunaan alat pemotong abrasif dalam hal ini alat pemotong yang digunakan adalah batu gerinda. Proses pemesinan abrasif biasa disebut dengan proses menggerinda dengan menggunakan batu gerinda (*wheel grinding*). Batu gerinda merupakan alat pemotong abrasif terikat, dimana butiran abrasif disatukan erat dengan material lainnya menjadi bentuk batu gerinda. Proses pemesinan abrasif yang menggunakan alat pemotong abrasif yaitu diantaranya: *honing* dan *superfinishing*. Ketika membutuhkan toleransi yang presisi dan kehalusan permukaan pada proses akhir *machining*, maka akan lebih baik menggunakan *cylindrical grinding process* (CGP) [1].

Berdasarkan data secara global terjadi peningkatan penggunaan proses pemesinan abrasif yaitu *high process grinding* (HPG) dari proses gerinda manual ke proses pemesinan presisi dan efisiensi tinggi [2]. Proses pemesinan abrasif menjadi sangat penting dalam pembuatan produk karena menentukan kualitas akhir dari suatu produk. Hal ini merupakan alasan utama untuk meningkatkan perhatian pada operasi pemesinan abrasif. Proses pemesinan abrasif biasanya berada pada tahapan akhir suatu pembuatan produk (*finishing*), sehingga apabila terjadi kegagalan dalam tahapan ini maka akan mengakibatkan kerugian waktu dan material dari proses pemesinan yang telah dilakukan sebelumnya [3]. Busur kontak pada proses gerinda permukaan datar akan berbeda dengan gerinda permukaan silinder yaitu pada panjang kontak geometri [4]. Panjang kontak area pemotongan berhubungan dengan intensitas tekanan batu gerinda terhadap benda kerja [5]. Sebelum dilakukan proses gerinda silinder, diperlukan proses bubut. Hasil dari proses bubut memerlukan ketepatan ukuran, dan kekasaran permukaan yang baik [6]. Timbulnya getaran pada proses bubut akan mempengaruhi hasil kekasaran permukaan [7]. Kekasaran permukaan akhir dipengaruhi juga oleh berbagai faktor di saat proses gerinda [8].

Salah satu faktor lainnya yang menentukan hasil proses pemesinan adalah system pemeliharaan me-

sin untuk menjaga keakurasian dan menimalisir *down time* dari mesin tersebut [9]. Getaran mesin merupakan indikasi kerusakan mesin yang dapat mempengaruhi hasil proses pemesinan [10]. Proses menggerinda merupakan proses pemesinan untuk meningkatkan kualitas permukaan dan akurasi dimensi geometri benda kerja [11]. Proses gerinda akan mempengaruhi kualitas produk dan proses perakitan.

Batu gerinda yang dipasang pada spindel/poros utama tersebut berputar dengan kecepatan tertentu, tergantung pada diameter batu gerinda dan putarannya, kecepatan periferial pada benda tepi luar batu gerinda [12]. Dengan rumus :

Kecepatan periferial batu gerinda

$$v_s = \frac{\pi \cdot d_s \cdot n_s}{60000} \quad (1)$$

keterangan:

v_s = kecepatan periferial batu gerinda (m/s)

d_s = diameter batu gerinda (mm)

n_s = kecepatan putaran batu gerinda (rpm)

Kecepatan periferial benda kerja

$$v_w = \frac{\pi \cdot d_w \cdot n_w}{60000} \quad (2)$$

keterangan:

v_w = kecepatan periferial benda kerja (m/s)

d_w = diameter awal benda kerja (mm)

n_w = kecepatan putaran benda kerja (rpm)

Rasio kecepatan (q):

$$q = \frac{v_s}{v_w} \quad (3)$$

Proses Gerinda Silindrik Pemakanan Melintang (*Cylindrical Traverse Grinding*)

$$h_{eq} = \frac{\pi \cdot d_w \cdot v_{fa}}{v_s} \quad (4)$$

keterangan:

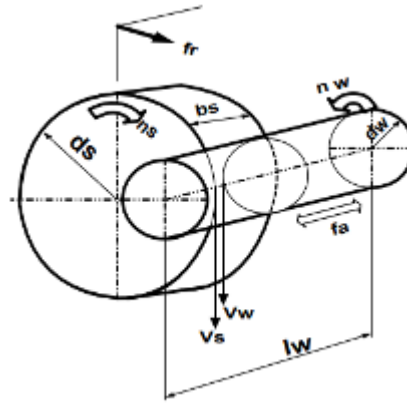
h_{eq} = tebal geram ekuivalen (μm)

d_w = diameter benda kerja (mm)

v_{fa} = kecepatan makan aksial atau gerak translasi benda kerja (mm/s)

v_s = kecepatan periferial batu gerinda (m/s)

Pada Gambar 1 menunjukkan proses gerinda silinder permukaan luar, dimana pada saat proses berlangsung, batu gerinda berputar dengan kecepatan potong tertentu yang bergerak secara linear pada benda kerja silinder yang berputar.



Gambar 1: Proses gerinda silinder permukaan luar

Tujuan dari penelitian ini adalah melakukan pengembangan proses gerinda silinder permukaan luar pada produk *column* untuk komponen mesin bor tipe *pillar* (*pillar type drilling machine*) dengan melakukan modifikasi proses gerinda pada mesin bubut. Penambahan fungsi pada mesin perkakas seperti halnya mesin bubut difungsikan sebagai mesin gerinda silinder merupakan suatu nilai tambah bagi industri kecil yang mempunyai keterbatasan dalam asset mesin dan peralatan yang dimilikinya [13]. Pada penelitian ini tidak dibahas mengenai proses bubut namun ditekankan pada proses gerinda silinder permukaan luar pada produk *column* untuk komponen mesin bor tipe *pillar* (*pillar type drilling machine*).

2. METODE DAN BAHAN

Penelitian ini dilakukan dengan melakukan proses gerinda silinder permukaan luar menggunakan *attachment* gerinda (*wheel head*) mesin gerinda pengasahan (*tools sharpening machine*) yang dipasangkan pada mesin bubut. Hal ini dilakukan karena benda kerja yang akan dilakukan proses gerinda permukaan luar adalah komponen tiang mesin bor (*column*), dengan panjang 1000 mm. Ketiadaan mesin cylindrical grinding yang mempunyai area kerja jarak antar senter 1000 mm, mengharuskan dilakukan modifikasi proses pengerindaan pada mesin bubut.

Pada penelitian ini, mesin bubut yang digunakan yaitu mesin bubut dengan tipe horizontal, dengan spesifikasi dijelaskan pada tabel 1 berikut ini.

Tabel 1. Spesifikasi mesin bubut

Spesifikasi	Ukuran	Satuan
Jarak antara dua senter	3.000	mm
Tinggi senter (r)	300	mm
<i>Spindle Bore</i>	72	mm
Daya Motor	15	HP
Tegangan	380	volt
Frekuensi	50	Hz

Sedangkan *attachment* gerinda (*wheel head*) mesin gerinda pengasahan (*tools sharpening machine*) yang dipasangkan pada *tool post* mesin bubut, dijelaskan pada tabel 2. Spesifikasi batu gerinda yang digunakan pada penelitian ini mempunyai spesifikasi dijelaskan pada tabel 3.

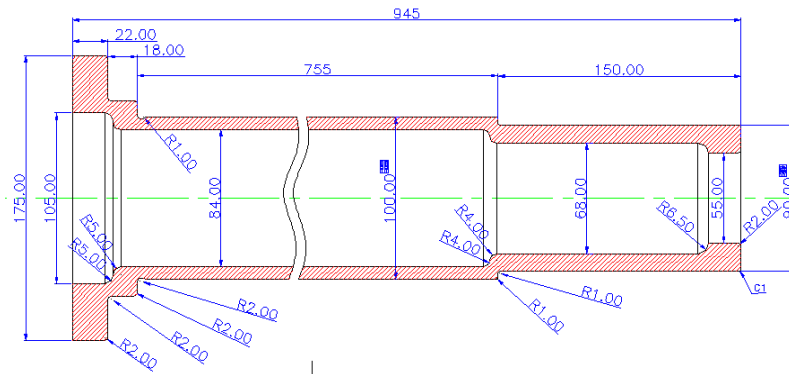
Tabel 2. Spesifikasi motor wheel head

Spesifikasi	Ukuran	Satuan
Daya	0,18	kw
Putaran	1350/1635	rpm
Arus	1,1 / 0,64	A
IP	44	
Pole	4	
Frekuensi	50	Hz
Effisiensi	68,5	%

Tabel 3. Spesifikasi batu gerinda

Spesifikasi	Ukuran	Satuan
Diameter batu	254	mm
Tebal batu	25	mm
Diameter <i>pulley</i> motor	75	mm
Diameter <i>pulley wheelhead</i>	190	mm
Grit	55	

Benda kerja yang akan dikerjakan adalah produk tiang mesin bor (*column*), dengan data-data Gambar dan ukuran seperti ditunjukkan pada Gambar 2 dan Tabel 4. dibawah ini.



Gambar 2: Gambar 2 dimensi benda Kerja *Column*

Tabel 4. Keterangan spesifikasi geometrik benda kerja

Spesifikasi	Dimensi	Toleransi	Satuan
Panjang Benda Kerja	945	± 0.1	mm
Diameter Luar	$\text{Ø } 175 \times 22$	± 0.1	mm
	$\text{Ø } 120 \times 18$	± 0.1	mm
	$\text{Ø } 100 \times 755$	h6 $\begin{matrix} +0.020 \\ -0.022 \end{matrix}$	mm
	$\text{Ø } 90 \times 150$	g $\begin{matrix} +0.012 \\ -0.047 \end{matrix}$	mm

Pada Tabel 4, dijelaskan mengenai spesifikasi geometrik benda kerja disertai dengan toleransi dimensi batas atas dan batas bawah pada permukaan benda kerja yang merupakan daerah kritis karena mempunyai toleransi kesilindrikan dan kebulatan yang ketat.

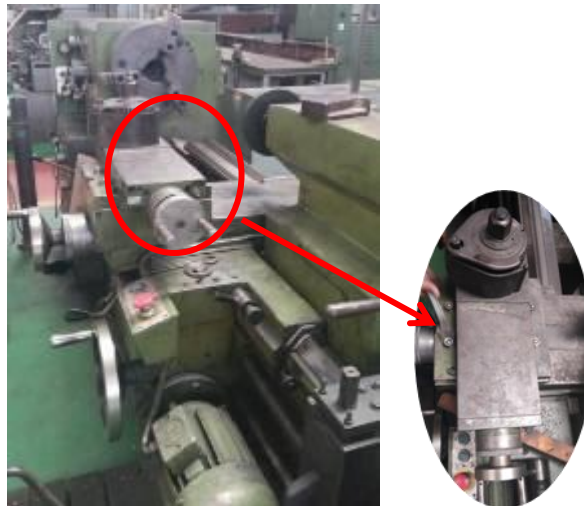


Gambar 3: Tiang mesin bor (*column*) yang dikerjakan dengan proses bubut dan gerinda silinder

Pada Gambar 3 ditunjukkan benda kerja untuk tiang mesin bor (*column*) yang dikerjakan dengan proses bubut dan dilakukan proses *finishing* dengan gerinda silinder permukaan luar.

Tahapan proses penelitian ini diawali dengan melakukan proses bubut pada produk tiang mesin bor (*column*) di mesin bubut dengan menggunakan pahat bubut sebagai *cutting tools*. Setelah dilakukan proses bubut, maka dilakukan *finishing* dengan proses gerinda silinder permukaan luar di mesin bubut yang sama tanpa melepas produk *column* dari *chuck* mesin bubut. Tempat dudukan pahat bubut (*toolpost*) pada mesin bubut dipasang *attachment* gerinda dari mesin gerinda pengasahan. Untuk proses pengukuran hasil proses gerinda silindrik permukaan luar, digunakan alat ukur *portable arm coordinate measurement machine (CMM)*.

Pada Gambar 4 Ditampilkan tempat dudukan pahat bubut (*toolpost*) yang akan digunakan sebagai landasan untuk pemasangan alat bantu gerinda. Sedangkan pada Gambar 5. ditunjukkan proses gerinda silindrik permukaan luar dengan menggunakan alat bantu gerinda pengasahan yang telah dipasang pada landasan tempat dudukan pahat bubut mesin bubut.



Gambar 4: Dudukan pahat pada mesin bubut



Gambar 5: Proses gerinda silindrik permukaan luar pada mesin bubut dengan menggunakan *attachment* batu gerinda dari mesin gerinda pengasahan

3. HASIL DAN DISKUSI

Proses gerinda merupakan proses pemesinan yang memiliki karakteristik tertentu dibanding dengan proses pemesinan lainnya seperti bubut atau *milling*. Salah satu karakteristik proses gerinda ialah kecepatan penghasilan geram yang rendah, dimana geram hanya dihasilkan pada bidang kontak antara batu gerinda dan benda kerja [14][11]. Sehingga pada proses gerinda hanya mungkin dilakukan pengerindaan pada lapisan tipis permukaan benda kerja. Untuk itu beberapa parameter proses ditunjukkan pada Tabel 5 berikut ini.

Tabel 5. Parameter proses gerinda

Simbol	Keterangan	Ukuran	Satuan
d_w	Diameter awal benda kerja	Ø 100,3	mm
d_m	Diameter akhir benda kerja	Ø 99,98	mm
l_w	Panjang benda kerja	946	mm
n_w	Putaran benda kerja	55, 63, 78	rpm
d_s	Diameter batu gerinda	Ø 250	mm
n_s	Putaran batu gerinda	640	rpm

b_s	Lebar batu gerinda	14	mm
π	Jari-jari	3,14	
m/s	Millimeter perdetik	60000	m/s
a_p	Kedalaman pengerindaan	0,04	mm
v_{fa}	Kecepatan makan	0,005	mm/s

Pada proses gerinda silindrik, benda kerja dan batu gerinda berputar dengan kecepatan tertentu. Kecepatan periferal batu gerinda tergantung pada diameter batu gerinda, ditentukan dengan persamaan (1) :

$$v_s = \frac{\pi \cdot d_s \cdot n_s}{60000}$$

$$v_s = \frac{3.14 \cdot 250 \cdot 640}{60000} = \frac{502400}{60000} = 8.373 \text{ m/s}$$

Kecepatan periferal benda kerja, dihitung dengan persamaan (2)

$$v_s = \frac{\pi \cdot d_w \cdot n_w}{60000}$$

$$v_s = \frac{3.14 \cdot 100.3 \cdot 78}{60000} = \frac{24.57}{60000} = 0.409 \text{ m/s}$$

Kecepatan periferal benda kerja, jauh lebih kecil daripada kecepatan periferal batu gerinda. Rasio kecepatan antara kecepatan periferal batu gerinda dan kecepatan periferal benda kerja, dapat dihitung dengan formula (3) sebagai berikut :

$$q = \frac{v_s}{v_w}$$

$$q = \frac{8.373}{0.409} = 20.44$$

Tebal geram ekuivalen pada saat proses gerinda silinder permukaan luar, dapat dihitung dengan formula (4),

$$heq = \frac{\pi \cdot d_w \cdot v_{fa}}{v_s}$$

$$heq = \frac{3.14 \cdot 100.3 \cdot 0.005}{8.373} = 0.18 \mu\text{m}$$

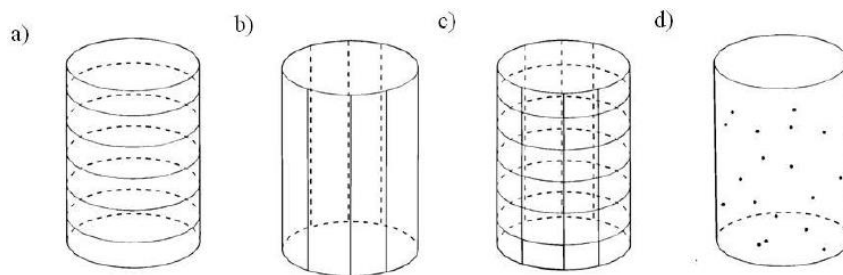
Berdasarkan hasil perhitungan maka dilakukan proses gerinda silindrik permukaan luar pada produk tiang mesin bor (*column*) dengan menggunakan *attachment* gerinda pengasahan yang telah dipasang pada landasan pemegang pahat bubut (*toolpost*). Keuntungan dari proses gerinda silindrik permukaan luar yang dikerjakan pada mesin bubut yaitu, benda kerja produk tiang mesin bor (*column*) tidak perlu dilepas dari cekaman dua senter (*three jaw chuck* dan *center life* di *tailstock*) mesin bubut, sehingga tidak perlu dilakukan setting ulang karena sumbu utama inersia benda kerja telah satu sumbu dengan sumbu geometrisnya.

Pada saat pemasangan *attachment* gerinda pengasahan, dilakukan beberapa penyesuaian/*adjustment*, diantaranya yaitu setting *leveling* kerataan, setting kelurusan dan setting ketinggian *center* batu gerinda pengasahan terhadap benda kerja yang dicekam dengan dua *center* yaitu pada *three jaw chuck* dan *tailstock*. Sedangkan untuk mengukur besaran kedalaman pemakanan batu gerinda terhadap benda kerja, dipasang alat ukur dial indicator. Hal ini dilakukan karena kedalaman pemakanan pada proses gerinda sangat kecil, tidak bisa diukur dengan skala nonius yang terpasang pada mesin bubut, seperti ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6: Pemasangan dial indicator

Pengukuran hasil proses gerinda silindrik permukaan luar, dilakukan dengan membagi segmen pengukuran menjadi 6 segmen (A – F) dan dari setiap segmen dilakukan pengambilan data ukur pada sekeliling segment sebanyak 8 titik ukur. Pengukuran dengan membagi menjadi beberapa segmen ukur dan setiap segmen sekelilingnya diambil titik pengukuran, merupakan strategi pengukuran sangkar burung (*bird cage strategy*) [15]. Pengambilan data ukur dilakukan dengan alat *Portable Arm CMM*. Menurut penelitian aplikasi pengukuran penyimpangan silinder oleh S. Adamczak *et.al* [16], menunjukkan bahwa pengukuran permukaan benda kerja silinder, dibagi menjadi 4 strategi pengukuran seperti ditunjukkan pada Gambar 7.



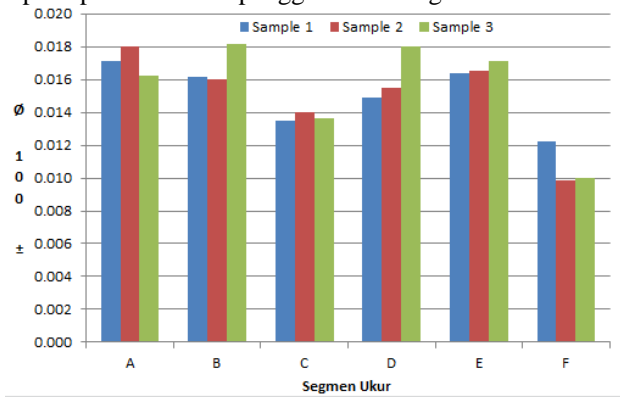
Gambar 7: Strategi pengukuran pada benda kerja silinder [16] : (a) strategi pengukuran profil kebulatan, (b) strategi pengukuran garis generatrix, (c) strategi pengukuran sangkar burung, (d) strategi pengukuran sebaran titik ukur

Data Segmen	Data Titik Pengukuran	Keterangan
		<p><u>Segmen</u></p> <ul style="list-style-type: none"> a. <u>Segmen A</u> b. <u>Segmen B</u> c. <u>Segmen C</u> d. <u>Segmen D</u> e. <u>Segmen E</u> f. <u>Segmen F</u> <p><u>Titik Pengukuran</u></p> <ul style="list-style-type: none"> a. <u>Titik 1</u> b. <u>Titik 2</u> c. <u>Titik 3</u> d. <u>Titik 4</u> e. <u>Titik 5</u> f. <u>Titik 6</u> g. <u>Titik 7</u> h. <u>Titik 8</u>

Gambar 8: Pengukuran hasil gerinda silindrik permukaan luar

Pada Gambar 8., posisi pengukuran segmen A berada di dekat *spindle chuck* sedangkan posisi F berada di dekat *tailstock*. Pembagian segmen dalam proses pengukuran dilakukan agar memudahkan dalam proses analisa pengukuran kesilindrikan dan kebulatan. Hasil pengukuran kebulatan dari proses gerinda permukaan luar sangat tergantung pada berbagai faktor yang saling berkaitan [17]. Salah satu faktor yang mempengaruhi

kesilindrikan dari benda kerja yaitu, kerataan permukaan *bed* pada mesin bubut yang digunakan, hal ini karena *toolpost* yang dipasang dengan *attachment* batu gerinda, bergerak longitudinal pada Z axis dengan bertumpu pada *bed* mesin bubut. Berbeda dengan konstruksi mesin gerinda silinder, dimana batu gerinda (*wheel head*) tidak bertumpu pada *bed* mesin. Faktor lainnya yang dapat mempengaruhi kesilindrikan dari benda kerja pada proses gerinda silinder permukaan luar yaitu kerataan permukaan batu gerinda, sehingga apabila ingin mendapatkan hasil proses penggerindaan yang baik, maka batu gerinda harus sering diasah (*dressing*), namun hal ini akan mengakibatkan waktu setting tambahan serta keausan batu gerinda menjadi cepat dan akan berdampak pada periode waktu penggantian batu gerinda.



Gambar 9: Hasil pengukuran berdasarkan segmen ukur

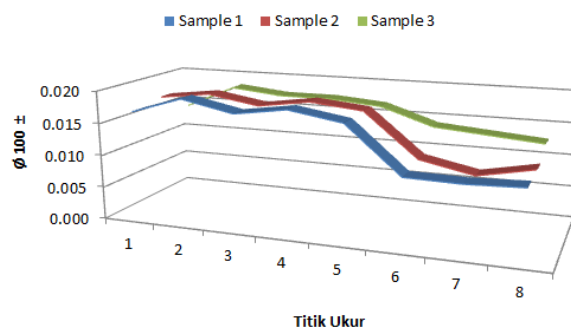
Pada grafik diatas ditunjukkan hasil pengukuran kesilindrikan hasil gerinda di sepanjang segmen ukur A – F. Pada sample no.3 di segmen B dan D terdapat kenaikan hasil pengukuran, yaitu $\text{Ø } 100^{+0.018}$, namun masih dibawah batas maksimal yaitu $\text{Ø } 100^{+0.020}$. Hal ini disebabkan adanya penurunan kerataan *bed* pada mesin bubut di area segmen B dan D.

Menurut ISO 12180 tentang *Geometrical Product Specification (GPS) - cylindricity*, seluruh penyimpangan kesilindrikan pada benda kerja terdiri atas tiga penyimpangan, yaitu diantaranya penyimpangan kelurusan terhadap *axis cylinder*, bentuk penyimpangan pada arah *longitudinal cylinder*, dan penyimpangan pada daerah persilangan silinder. Dari ketiga kategori penyimpangan tersebut, maka benda kerja hasil eksperimen gerinda silinder permukaan luar memenuhi kategori penyimpangan arah longitudinal silinder dan penyimpangan pada daerah persilangan silinder.

Penyimpangan arah longitudinal silinder biasa disebut juga sebagai penyimpangan perubahan diameter secara relatif, merupakan penyimpangan yang terjadi dimana diameter benda kerja tidak seragam pada setiap segment ukur, hal ini ditunjukkan pada pengukuran di sample benda kerja nomor 2 dan 3.

Penyimpangan pada daerah persilangan silinder merupakan penyimpangan kebulatan pada titik ukur, hal ini dapat dilihat dari hasil pengukuran kebulatan di titik ukur 6, 7, dan 8 pada sample benda kerja nomor 1 dan 2.

Dari empat strategi pengukuran menurut penelitian [16] seperti ditunjukkan pada Gambar 7, penulis memilih strategi pengukuran dengan metode sangkar burung, dimana pengukuran benda kerja silinder dilakukan dengan membagi pengukuran berdasarkan segment ukur, kemudian dari setiap segment ukur dibagi menjadi beberapa titik ukur sehingga dapat mengGambarkan profil kesilindrikan dan kebulatan hasil proses gerinda silinder permukaan luar



Gambar 10. Hasil pengukuran berdasarkan titik ukur

Pada Gambar diatas, ditunjukkan hasil pengukuran kebulatan dari setiap titik ukur di sekeliling silinder *column*. Metode pengukuran sangkar burung diaplikasikan untuk mengukur kebulatan dari objek ukur dengan mengukur keliling penampang silinder. Dari grafik pada Gambar 10, terdapat keseragaman hasil ukur kebulatan dari ketiga sample, pada sample no. 3 terdapat perbedaan di posisi 6, 7 dan 8 sebesar 2 – 4 μm namun masih di dalam batas toleransi kebulatan.

Salah satu faktor yang mempengaruhi kehalusan permukaan pada proses gerinda silinder permukaan luar yaitu diantaranya oleh pengaruh benda kerja yang tidak seimbang (*imbalance*). Benda kerja silinder yang tidak seimbang bisa diakibatkan oleh berat eksentrisitas pada benda kerja silinder yang tidak merata karena sumbu utama inersia benda kerja tidak satu sumbu dengan sumbu geometrisnya. Pada penelitian proses gerinda silinder dengan benda kerja yang tidak seimbang menurut Y.Yan *et.al* [18], menunjukkan bahwa ketidakseimbangan benda kerja yang diakibatkan oleh eksentrisitas massa di benda kerja akan menimbulkan *chatter* sebagai akibat dari ketidakstabilan proses gesekan antara benda kerja dengan batu gerinda yang dipengaruhi oleh kecepatan putaran dari benda kerja. Putaran benda kerja yang lambat pada proses penggerindaan benda kerja yang besar akan menghasilkan stabilitas pemakanan/gesekan batu gerinda terhadap benda kerja, dimana amplitudo *imbalance* akibat eksentrisitas massa di benda kerja berada pada area-area subkritis. Hal ini sejalan dengan penelitian yang telah dilakukan, untuk menghindari timbulnya *chatter* pada permukaan benda kerja, dilakukan pengurangan kecepatan putaran benda kerja dengan mengatur tuas transmisi rasio roda gigi spindle ke putaran yang lebih lambat.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengumpulan data, proses *finishing* pada pembuatan komponen mesin bor *column* dapat dikerjakan dengan proses gerinda silinder permukaan luar dengan menggunakan *attachment* mesin gerinda pengasahan yang dipasang pada mesin bubut. Kesilindrikan terbesar yaitu pada sample no. 3 di segmen ukur B dan F dengan hasil pengukuran, yaitu $\varnothing 100^{+0.018}$, namun masih dibawah batas maksimal yaitu $\varnothing 100^{+0.020}$. Dari 3 produk *column* yang dikerjakan, terdapat keseragaman hasil gerinda permukaan luar. Hasil proses gerinda silindrik permukaan luar yang telah dilakukan diatas mungkin akan berbeda, tergantung dengan kondisi dari mesin bubut serta *attachment* mesin gerinda pengasahan yang digunakan. Untuk itu disarankan perlunya penelitian lanjutan pada proses gerinda silindrik permukaan luar dengan memperhitungkan waktu proses gerinda serta material produk yang akan digerinda.

5. PERNYATAAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih kepada Bapak Edi dan Bapak Asep dari PT. RPU yang telah membantu pengumpulan data dan diskusi yang bermanfaat pada penelitian ini.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] N.C. DERESSE, V. DESPHANDE, dan ISMAIL W.R. TAIFA, "Experimental Investigation of the Effects of Process Parameters on Material Removal Rate Using Taguchi Method in External Cylindrical Grinding Operation," *Engineering Science and Technology, and International Journal*, vol. 23, issue 2, pp. 405-420, 2020
- [2] F. KLOCKE, S. BARTH, dan P. MATTFELD, "High Performance Grinding," *Procedia CIRP*, vol. 46, pp. 266–271, 2016.
- [3] D. SIDOROV, S. SAZONOV, dan D. REVENKO, "Building a Dynamic Model of the Internal Cylindrical Grinding Process," *Procedia Eng.*, vol. 150, pp. 400–405, 2016.
- [4] J. PANG, C. WU, B. LI, dan Y. ZHOU, "Arc Length Measurement In The Cylindrical," *Procedia Eng* .vol. 05023, pp. 1–7, 2016.
- [5] P. PEREVERZEV, A. AKINTSEVA, dan M. ALSIGAR, "Improvement of the quality of designed cylindrical grinding cycle with traverse feeding based on the use of digital twin options," *Procedia Eng* ,vol. 01033, 2018.
- [6] DIAN RIDLO PAMUJI, dan NURAINI LUSI, "Optimasi Parameter Proses Bubut Material ST 60 dengan Pendinginan Ramah Lingkungan Menggunakan Metode Taguchi-Grey, *Jurnal Rekayasa Mesin*, Vol 10. No. 3, Desember, pp. 245–255, 2019.
- [7] P. LAJMERT, M. SIKORA, dan D. OSTROWSKI, "A dynamic model of cylindrical plunge grinding process for chatter phenomena investigation," *Procedia Manuf* ,vol. 09004, pp. 4–7, 2018.
- [8] P. PEREVERZEV, A. AKINTSEVA, dan M. ALSIGAR, "Impact of Metal Removal Features In The Reverse Zones on Shaping of the Machined Surface in the Process of Cylindrical Grinding with Traverse Feed," *Procedia Manuf* , vol. 01034, 2018.
- [9] DWI HADI SULISTYARINI, PUTU HADI SETYARINI, dan AMANDA NUR CAHYAWATI, "Ana-

- lisis Keandalan Mesin Produksi Tissue Basah” *Jurnal Rekayasa Mesin*, Vol. 10 No. 1, Mei, pp. 95–104, 2019.
- [10] J. LIN dan C. LIN, “Fatigue and Model Analysis of the CNC Cylindrical Grinder,” *Procedia Manuf.*, vol. 04009, pp. 5–7, 2016.
- [11] R. V. BRIJ, M. B. R. SRIKANTH, dan R. B. N, “Performance Enhancement of Cylindrical Grinding Process with a Portable Diagnostic System,” *Procedia Manuf.*, vol. 5, pp. 1320–1336, 2016.
- [12] T. ROCHIM, *Spesifikasi Produk Geometrik - Toleransi geometrik, ISO 1101:2012(E) dan Contoh Teknik Pengukurannya*. Bandung: Penerbit ITB, 2016.
- [13] B. LINKE, P. HARRIS, dan M. ZHANG, “Development of Desktop Multipurpose Grinding Machine for Educational Purposes,” *Procedia Manuf.*, vol. 1, pp. 740–746, 2015.
- [14] L. V SHIPULIN dan A. A. D, “Imitation Model of Forecasting Surface Relief when Forming it During Cylindrical Grinding,” *Procedia Eng.*, vol. 150, pp. 936–941, 2016.
- [15] D. JANECKI, J. ZWIERZCHOWSKI, dan L. CEDRO, “A Problem Of Optimal Cylindricity Profile Matching,” *Procedia Manuf.*, vol. 63, no. 3, pp. 771–779, 2015.
- [16] S. ADAMCZAK, D. JANECKI, dan K. STĘPIEŃ, “Practical Application Of The Bird-Cage Strategy In Measurements Of Out-Of-Cylindricity,” XXI IMEKO World Congress : Measurement in Research and Industry August 30 - September 4, 2015, Prague, Czech Republic
- [17] J. PANG, B. LI, Y. LIU, dan C. WU, “Heat Flux Distribution Model in the Cylindrical Grinding Contact Area,” *Procedia Manuf.*, vol. 5, pp. 158–169, 2016.
- [18] Y. YAN, J. XU, dan M. WIERCIGROCH, “Influence of Workpiece Imbalance on Regenerative and Frictional Grinding Chatters”, *Procedia IUTAM.*, Vol. 22, pp 146 -153, 2017.