

Perbandingan Gaya Potong pada Pembuatan Lubang Menggunakan Kode G02 dan G03 dengan Proses *Helical Interpolation Milling*

Udink Aulia, Muhammad Tadjuddin, Syahriza, Auzan Alfandra

Program Studi Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala
Jl. Tgk. Syekh Abdurrauf No.7 Darussalam – Banda Aceh 23111, Indonesia
E-mail: uaulia2@unsyiah.ac.id

Abstract

Cutting force is a crucial factor in the machining process. These forces will be discovered during the machining procedure. This study aims to compare the cutting force in hole making using the codes G02 and G03 with the helical interpolation milling process. This study uses a CNC Milling FOCUS ESEMKA VMC-L540, medium carbon steel S45C with dimensions of 110 x 50 x 15 mm and 4 flute endmill type of carbide cutter with 10 mm diameter with a variety of cutting conditions: cutting speeds of 80, 90, 100 m/min; spindle rotation of 2548, 2866, 3185 rpm; and feed speed of 102, 115, 127 mm/min. The results showed that the cutting conditions had an influence on the resulting cutting force. The best cutting force is obtained at cutting conditions 1 ($v = 80$ m/min, $n = 2548$ rpm, $vf = 102$ mm/min) using the code G03 because in these cutting conditions the minimum value is 141.74 N, while the cutting force value is 141.74 N, maximum cutting was obtained at cutting conditions 3 ($v = 100$ m/min, $n = 3185$ rpm, $vf = 127$ mm/min) using the G02 code with a value of 893.64 N. The use of G02 and G03 codes in the helical interpolation milling process also has an effect on the cutting force. In this study, based on the resultant value of the resulting cutting force, the use of the G03 code is better because it has a smaller value than the G02 code with each value; 479.61 N, 358.16 N, 893.64 N for the G02 code and 141.74 N, 288.10 N, 461.10 N for G03 code.

Keywords: Helical Interpolation Milling, Cutting Force, Cutting Condition, G02, G03

1. Pendahuluan

Proses produksi menggunakan mesin-mesin perkakas (proses pemesinan) merupakan sebuah proses manufaktur yang tujuan utamanya adalah melepaskan atau menghilangkan sebagian material dari suatu bahan dasar yang dapat berupa blok, pelat atau silinder pejal sehingga memenuhi bentuk dan dimensi yang dikehendaki. Selain itu, proses pemesinan juga dianggap sebagai salah satu proses manufaktur yang bersifat kompleks karena harus mempertimbangkan banyak faktor agar produk yang dihasilkan sesuai dengan spesifikasi dan kualitas yang ditetapkan [1].

Seiring berkembangnya zaman, teknologi pemesinan pada industri manufaktur mengalami perkembangan serta kemajuan yang sangat pesat. Kebutuhan yang kian beraneka ragam dan semakin meningkat menjadi salah satu faktor pemicu berkembangnya teknologi tersebut. Cara yang dipilih untuk memenuhi kebutuhan itu adalah dengan membuat produk dengan waktu yang relatif lebih cepat dan sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan, salah satu diantaranya dengan cara proses frais (*milling*) [2].

Sebuah perusahaan/pabrik yang bergerak di bidang manufaktur menyediakan beragam jenis mesin untuk proses produksi, baik yang bekerja secara manual maupun berbasis CNC (*Computer*

Numerically Controlled), termasuk mesin frais. Mesin CNC *milling* sering dipilih oleh perusahaan karena mempunyai banyak kelebihan dibandingkan mesin manual/konvensional, seperti tingkat ketelitian, efisiensi dan juga produktifitas.

Faktanya, pada saat sekarang ini mesin CNC *milling* kerap digunakan untuk pembuatan lubang. Selain untuk memperoleh suatu produk dengan kualitas yang lebih baik, pembuatan lubang menggunakan mesin CNC *milling* juga diharapkan dapat menjadi lebih mudah dan efisien serta dapat menghasilkan gaya potong yang baik menurut kondisi pemotongan yang telah ditentukan sebelumnya. Lubang hasil proses ini dapat berupa lubang tembus (*through holes*) dan lubang tidak tembus (*blind holes*) [3].

Pengoperasian mesin CNC *milling* tidak terlepas dari parameter proses frais sendiri. Parameter proses frais meliputi kecepatan putaran spindle (*spindle speed*), kecepatan potong (*cutting speed*), kedalaman potong (*dept of cut*), kecepatan pemakanan (*feed*), gerak makan per gigi dan waktu pemotongan. Besar kecepatan potong, putaran spindle, kecepatan pemakanan dan kedalaman potong pada mesin CNC *milling* dapat dipilih sesuai dengan yang tertera pada mesin itu sendiri, perubahan kondisi pemotongan ini akan berpengaruh terhadap hasil proses pemesinan, hal ini dapat dilihat dari kualitas dimensi lubang dan juga gaya potong yang dihasilkan [1].

Gaya potong merupakan salah satu hal penting yang terdapat pada proses pemesinan. Gaya-gaya tersebut akan ditemukan saat proses pemesinan berlangsung [4].

Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan dan menemukan perbedaan gaya potong pada penggunaan kode G02 dan G03 untuk pembuatan lubang dengan proses *helical interpolation milling* serta menentukan kondisi pemotongan yang baik berdasarkan nilai resultan gaya potong yang dihasilkan.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Proses Frais (Milling)

Proses frais (*milling*) merupakan proses penyayatan benda kerja yang menggunakan alat potong jamak yang berputar [5]. Mesin frais (*milling*) ada yang dikendalikan secara konvensional (manual) dan juga berbasis CNC (*Computer Numerically Controlled*). Biasanya, mesin frais (*milling*) konvensional/manual posisi spindelnya hanya ada dua macam, yaitu horizontal dan vertikal. Sedangkan mesin frais dengan kendali CNC hampir semuanya adalah jenis mesin frais vertikal [6]. Terdapat beberapa elemen pada proses frais (*milling*) dan dapat dihitung menggunakan persamaan berikut [5]:

- Kecepatan Potong : $v = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000}$; m/min..... (1)
- Putaran Spindel : $n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot d}$; rpm (2)
- Kecepatan Pemakanan : $v_f = f_z \cdot n \cdot z$; mm/min.. (3)
- Gerak Makan per Gigi : $f_z = \frac{v_f}{n \cdot z}$; mm/gigi (4)
- Waktu pemotongan : $t_c = \frac{l_t}{v_f}$; menit..... (5)

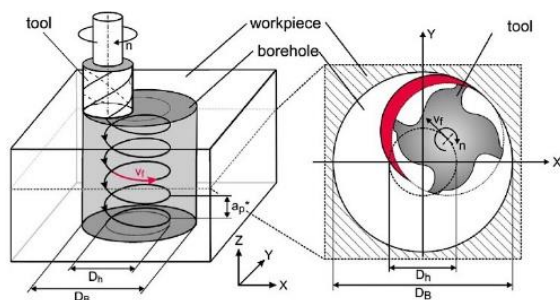
Dimana,

- d = diameter pahat potong ; mm
- z = jumlah gigi pada pahat (*flute*) ; gigi
- l_t = panjang pemesinan ; mm

a. Helical Interpolation Milling

Helical interpolation milling merupakan salah satu metode pemakanan benda kerja secara melingkar dimana sumbu x, y, dan z bergerak secara bersamaan membentuk lingkaran yang menurun kebawah (*spiral*) untuk memotong benda kerja sesuai dengan kedalaman potong aksial yang telah ditentukan [7].

Skema proses *helical interpolation milling* dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema proses *helical interpolation milling*

b. Kode G02 dan G03

Kode G02 dan G03 merupakan kode pada program mesin CNC yang memiliki fungsi untuk melakukan pemotongan benda kerja secara melingkar. Lintasan potong pada kode G02 bergerak melingkar searah jarum jam (CW), sedangkan pada kode G03 memiliki lintasan yang bergerak melingkar berlawanan arah jarum jam (CCW) [8].

2.2 Pahat Karbida Semen (Cemented Carbide)

Karbida semen (*cemented carbide*) atau disebut juga *sintered carbide* merupakan material pahat yang diformulasikan dari *tungsten carbide* (WC) menggunakan teknik metalurgi serbuk yang ditambahkan dengan campuran lain sesuai kebutuhan. Sebagai contoh, paduan antara *tungsten carbide* dan *cobalt* (WC-Co) yang biasanya hanya dapat digunakan untuk menyayat benda kerja non baja (*non steel-cutting*) saja. Dan karena kelemahannya ini, selanjutnya *tungsten carbide* dan *cobalt* (WC-Co) ditambah dengan *titanium carbide* (TiC) dan *tantalum carbide* (TaC) yang secara signifikan mampu memperlambat laju keausan sehingga juga dapat digunakan untuk menyayat benda kerja dari baja (*steel cutting*) [9].

2.3 Baja Karbon Sedang S45C

Menurut AISI (*American Iron and Steel Institute*), baja karbon terbagi atas 3 jenis, yaitu baja karbon rendah; mengandung kadar karbon (C) $\leq 0,3\%$ dan Mn antara 0,4-1,5%, baja karbon menengah; mengandung kadar karbon (C) antara 0,3-0,6% dan Mn antara 0,6-1,65% serta baja karbon tinggi; mengandung kadar karbon (C) 0,6-1% dan Mn antara 0,3-0,9% [10].

Berdasarkan keterangan tersebut, baja karbon S45C tergolong dalam baja karbon menengah dikarenakan mengandung kadar karbon (C) sekitar 0,45%. Adapun komposisi kimia lain yang terkandung pada S45C, antara lain; Si 0,25%, Mn 0,67%, P 0,012%, S 0,023%, Cr 0,23%, Ni 0,14%, Mo 0,03% dan Cu 0,31% [11].

2.4 Gaya Potong

Gaya potong dalam proses pemesinan merupakan hal yang sangat penting untuk diketahui. Gaya potong yang besar akan memperbesar getaran dan bunyi pada proses pemesinan serta meningkatkan gesekan antara pahat dengan benda kerja, sehingga dapat mempengaruhi kualitas produk yang dihasilkan, misalnya produk akan memiliki kekasaran permukaan yang besar, begitu pula sebaliknya. Salah satu faktor yang mempengaruhi besar kecilnya gaya potong adalah kondisi pemotongan [12].

3. Metodologi Penelitian

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juni 2021 bertempat di *Workshop Teknik Mesin Produksi SMKN 2 Banda Aceh*.

3.2 Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini antara lain:

a. Mesin CNC Milling

Mesin *milling* yang digunakan pada penelitian ini adalah Mesin CNC FOCUS ESEMKA VMC-L540 seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Mesin CNC FOCUS ESEMKA VMC-L540

b. Pahat Potong

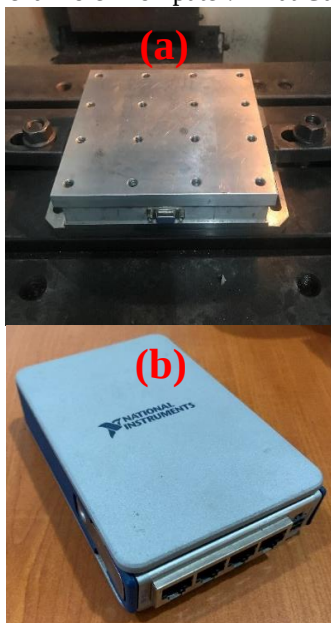
Adapun pahat yang digunakan untuk penelitian ini adalah pahat karbida dengan merk ZCC-CT jenis *endmill* 4 *flute* berdiameter 10 mm. Perhatikan Gambar 3.



Gambar 3. Pahat karbida ZCC-CT *endmill* 4 *flute* 10 mm

c. Alat Ukur Gaya Potong

Gaya potong pada penelitian ini diukur menggunakan *dynamometer* berbasis *strain gauge* semi konduktor. Data yang diperoleh kemudian ditransmisikan ke *national instrument amplifier* sebelum direkam oleh komputer. Lihat Gambar 4.



Gambar 4. (a) *Dynamometer* semi konduktor, dan (b) *National Instrument Amplifier*

d. Benda Kerja

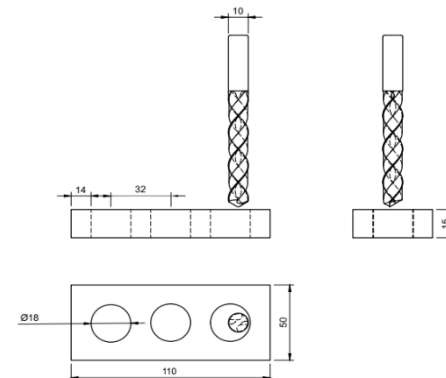
Benda kerja (spesimen) yang digunakan pada penelitian ini adalah baja karbon sedang S45C dengan ukuran panjang 110 mm dan lebar 50 mm serta ketebalan 15 mm sebagaimana yang diperlihatkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Baja karbon sedang S45C

3.3 Rancangan Penelitian

Lubang yang dibuat pada penelitian ini merupakan lubang tembus (*through holes*) dengan diameter 18 mm, kedalaman 15 mm dan jarak antar sumbu 32 mm. Pada penelitian ini terdapat 3 kali pengulangan pada masing-masing kode G02 dan G03 serta pada setiap kondisi pemotongan. Lihat Gambar 6.



Gambar 6. Rancangan penelitian

3.4 Kondisi Pemotongan

Penelitian ini menggunakan 3 kondisi pemotongan, yaitu kondisi pemotongan 1 ($v = 80$ m/min, $n = 2548$ rpm, $vf = 102$ mm/min), kondisi pemotongan 2 ($v = 90$ m/min, $n = 2866$ rpm, $vf = 115$ mm/min) dan kondisi pemotongan 3 ($v = 100$ m/min, $n = 3185$ rpm, $vf = 127$ mm/min) pada masing-masing kode yaitu G02 dan G03.

Kondisi pemotongan yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 1.

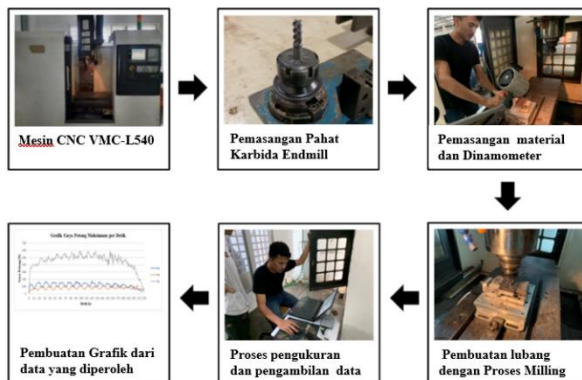
Tabel 1. Kondisi pemotongan

Kondisi Pemotongan	Nilai
Diameter Pahat (d) ; mm	10
Gerak makan per gigi (f_z); mm/gigi	0,01
Kecepatan Potong (v); m/menit	80, 90, 100
Kecepatan Putaran Spindel (n); rpm	2548, 2866, 3185
Kecepatan Pemakanan (v_f); mm/menit	102, 115, 127
Kedalaman Potong Aksial (a_p); mm	1

3.4 Langkah Penelitian

Sebelum melaksanakan penelitian, yang dipersiapkan terlebih dahulu adalah benda kerja (spesimen) dan pahat potong serta pembuatan program NC (*Numerical Controller*) menggunakan software *MasterCAM X7* yang bertujuan untuk menentukan kondisi pemotongan seperti nilai kecepatan potong (v) yang diikuti dengan nilai putaran spindle (n) dan nilai kecepatan pemakanan (v_f) serta nilai kedalaman potong aksial (a_p) pada masing-masing kode yaitu G02 dan G03. Setelah itu barulah dilakukan pengoperasian mesin sekaligus pengambilan data yang dimulai dengan pemasangan *dynamometer* pada meja mesin, mengikat benda kerja (spesimen) pada *fixture* (pencekam) dan pemasangan pahat pada spindle mesin. Setelah semuanya terpasang, selanjutnya *dynamometer* dihubungkan ke komputer melalui *national instrument amplifier* agar data dan grafik gaya potong dapat direkam didalam komputer.

Langkah berikutnya yaitu mengimput program NC pada *control panel* Mesin CNC melalui *flashdisk* untuk setiap kondisi pemotongan pada masing-masing kode. Selanjutnya menyalakan/mengoperasikan mesin CNC untuk melakukan pembuatan lubang dengan proses *helical interpolation milling*. Disaat yang bersamaan komputer merekam data dan grafik gaya potong melalui software *Neo-MoMac*. Langkah penelitian dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Langkah Penelitian

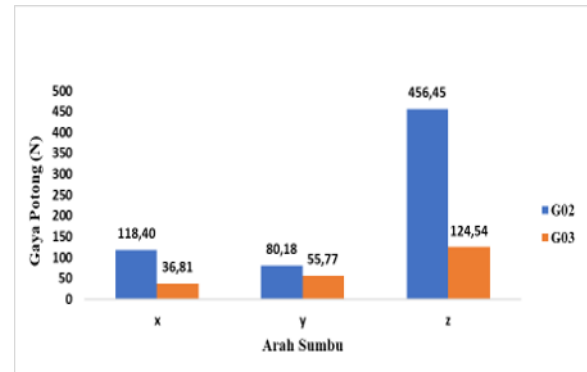
4. Hasil dan Pembahasan

Setelah memperoleh dan melakukan pengolahan data dengan cara mencari nilai rata-rata dari gaya potong maksimum di setiap detiknya, maka diperoleh data seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengukuran gaya potong

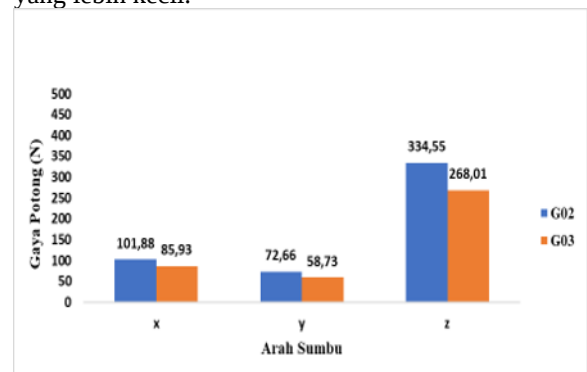
Kondisi Pemotongan	1	2	3			
d; mm	10					
a _p ; mm	1					
f _z ; mm/gigi	0,01					
v; m/menit	80	90	100			
n; rpm	2548	2866	3185			
v _f ; mm/menit	102	115	127			
Kode	G02	G03	G02	G03	G02	G03
F _x ; N	118,40	36,81	101,88	85,93	201,43	118,16
F _y ; N	80,18	55,77	72,66	58,73	112,83	83,63
F _z ; N	456,45	124,54	334,55	268,01	862,02	437,00
Resultan; N	479,61	141,74	358,16	288,10	893,64	461,10

Berdasarkan data pada tabel diatas, maka dapat dibuat grafik perbandingan gaya potong hasil G02 dan G03 pada masing-masing kondisi pemotongan seperti pada Gambar 8., Gambar 9. dan Gambar 10.



Gambar 8. Grafik Perbandingan gaya potong hasil kode G02 dan G03 pada kondisi pemotongan 1

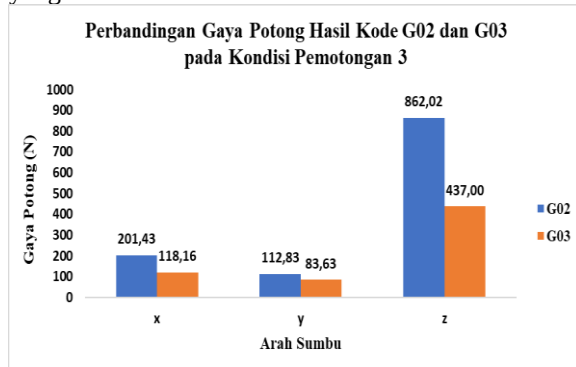
Gambar 8 menunjukkan bahwa terdapat perbedaan nilai gaya potong yang dihasilkan oleh penggunaan kode G02 dan G03 pada kondisi pemotongan 1. Pada kondisi pemotongan ini, nilai gaya potong yang dihasilkan oleh penggunaan kode G02 lebih besar dibandingkan gaya potong yang dihasilkan oleh penggunaan kode G03. Penggunaan kode G02 memperoleh nilai gaya potong pada masing-masing sumbu sebesar $F_x = 118,4$ N, $F_y = 80,18$ N dan $F_z = 456,45$ N. Sedangkan penggunaan kode G03 memperoleh nilai gaya potong pada masing-masing sumbu sebesar $F_x = 36,81$ N, $F_y = 55,77$ N dan $F_z = 124,54$ N. Data tersebut menunjukkan bahwa gaya potong yang lebih baik pada pembuatan lubang dengan proses *helical interpolation milling* diperoleh pada penggunaan kode G03 karena memiliki nilai yang lebih kecil.



Gambar 9. Grafik Perbandingan gaya potong hasil kode G02 dan G03 pada kondisi pemotongan 2

Gambar 9 menunjukkan bahwa terdapat perbedaan nilai gaya potong yang dihasilkan oleh penggunaan kode G02 dan G03 pada kondisi pemotongan 2. Pada kondisi pemotongan ini, nilai gaya potong yang dihasilkan oleh penggunaan kode G02 lebih besar dibandingkan gaya potong yang dihasilkan oleh penggunaan kode G03. Kode G02 memperoleh nilai gaya potong pada masing-masing sumbu sebesar $F_x = 101,88$ N, $F_y = 72,66$ N dan $F_z = 334,55$ N. Sedangkan kode G03 memperoleh nilai gaya potong pada masing-

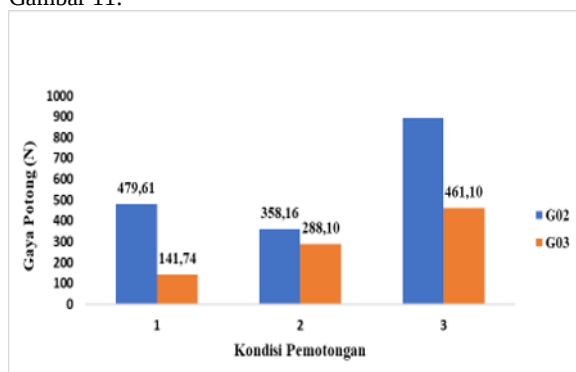
masing sumbu sebesar $F_x = 85.93$ N, $F_y = 58.73$ N dan $F_z = 268.01$ N. Data tersebut menunjukkan bahwa gaya potong yang lebih baik pada pembuatan lubang dengan proses *helical interpolation milling* diperoleh pada penggunaan kode G03 karena memiliki nilai yang lebih kecil.



Gambar 10. Grafik Perbandingan gaya potong hasil kode G02 dan G03 pada kondisi pemotongan 3

Gambar 10 menunjukkan bahwa terdapat perbedaan nilai gaya potong yang dihasilkan oleh penggunaan kode G02 dan G03 pada kondisi pemotongan 3. Pada kondisi pemotongan ini, nilai gaya potong yang dihasilkan penggunaan kode G02 lebih besar dibandingkan gaya potong yang dihasilkan oleh penggunaan kode G03. Kode G02 memperoleh nilai gaya potong pada masing-masing sumbu sebesar $F_x = 201.43$ N, $F_y = 112.83$ N dan $F_z = 862.02$ N. Sedangkan kode G03 memperoleh nilai gaya potong pada masing-masing sumbu sebesar $F_x = 118.16$ N, $F_y = 83.63$ N dan $F_z = 437$ N. Data tersebut menunjukkan bahwa gaya potong yang lebih baik pada pembuatan lubang dengan proses *helical interpolation milling* diperoleh pada penggunaan kode G03 karena memiliki nilai yang lebih kecil.

Berdasarkan ketiga Grafik diatas, maka dapat dibuat grafik perbandingan resultan gaya potong hasil kode G02 dan G03 pada setiap kondisi pemotongan seperti pada Gambar 11.



Gambar 11. Grafik Perbandingan resultan gaya potong hasil kode G02 dan G03 pada setiap kondisi pemotongan

Gambar 11 menunjukkan bahwa nilai resultan gaya potong yang dihasilkan oleh penggunaan kode G02 lebih besar dibandingkan kode G03 pada semua kondisi pemotongan. Kondisi pemotongan 1 memperoleh nilai resultan gaya potong sebesar 479.61 N untuk penggunaan kode G02 dan 141.74 N untuk penggunaan kode G03, kondisi pemotongan 2

memperoleh nilai resultan gaya potong sebesar 358.16 N untuk penggunaan kode G02 dan 288.1 N untuk penggunaan kode G03 serta kondisi pemotongan 3 memperoleh nilai resultan gaya potong sebesar 893.64 N untuk penggunaan kode G02 dan 461.1 N untuk penggunaan kode G03. Grafik tersebut juga menunjukkan bahwa penggunaan kode G03 lebih baik dibandingkan kode G02 untuk pembuatan lubang dengan proses *helical interpolation milling* karena memiliki nilai resultan gaya potong yang lebih kecil. Gaya potong yang paling baik diperoleh pada kondisi pemotongan 1 yang menggunakan kode G03 karena memiliki nilai resultan gaya potong minimum dengan nilai sebesar 141.74 N. Sebaliknya, nilai resultan gaya potong maksimum diperoleh pada kondisi pemotongan 3 menggunakan kode G02 dengan nilai sebesar 893.64 N.

5. Kesimpulan

Berdasarkan data hasil penelitian, maka diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Kondisi pemotongan cukup berpengaruh terhadap nilai gaya potong yang dihasilkan. Hal ini ditunjukkan pada perolehan nilai gaya potong pada tiap kondisi pemotongan yang memiliki perbedaan cukup signifikan.
2. Pada pembuatan lubang dengan proses *helical interpolation milling*, penggunaan kode G03 lebih baik daripada kode G02 karena memiliki nilai resultan gaya potong yang lebih kecil pada setiap kondisi pemotongan. Resultan gaya potong yang dihasilkan pada masing-masing kondisi pemotongan yaitu pada kondisi pemotongan 1 memiliki nilai resultan gaya potong sebesar 479.61 N untuk penggunaan kode G02 dan 141.74 N untuk penggunaan kode G03, pada kondisi pemotongan 2 memiliki nilai resultan gaya potong sebesar 358.16 N untuk penggunaan kode G02 dan 288.1 N untuk penggunaan kode G03 serta pada kondisi pemotongan 3 memiliki nilai resultan gaya potong sebesar 893.64 N untuk penggunaan kode G02 dan 461.1 N untuk penggunaan kode G03.
3. Gaya potong yang paling baik diperoleh pada kondisi pemotongan 1 yang menggunakan kode G03 karena memiliki nilai resultan gaya potong minimum dengan nilai sebesar 141.74 N. Sebaliknya, nilai resultan gaya potong maksimum diperoleh pada kondisi pemotongan 3 menggunakan kode G02 dengan nilai sebesar 893.64 N.

6. Daftar Pustaka

- [1] Romiyadi, 2016, Pengaruh Kemiringan Benda Kerja dan Kecepatan Pemakanan terhadap Getaran Mesin Frais Universal Knuth UFM 2. *Jurnal Mechanical*, 7 (9), 52–60.
- [2] Yessika, F. A., 2019, Pengaruh Variasi Baja Terhadap Keausan *End Mill Cutter* HSS Pada Proses Pemesinan CNC *Milling*. 15 (2), 1–4.
- [3] Retyawan, O. N., Yaningsih, I., & Sukanto, H.,

- 2018, Pengaruh Jenis Proses Pemotongan Pada Mesin *Milling* Terhadap Getaran Dan Kekasaran Permukaan Dengan Material Aluminium 6061. *Jurnal Teknik Mesin Indonesia*, 12 (1).
- [4] Agung Faza, Muhammad, 2019, Analisis Perbandingan Gaya Pada Proses *End Milling* Balok Terhadap *Thin Walled* Menggunakan *Software FEM Deform-3D*. Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya.
- [5] Rahdianti, Dwi., 2016, Proses Frais (*Milling*). Fakultas Teknik, Universitas Negeri Yogyakarta.
- [6] Rochim, Taufiq, 1993, Teori dan Teknologi Proses Pemesinan. Lab. Teknik Produksi, Dept. Teknik Mesin, FTI-ITB, Bandung.
- [7] Juniansyah, Rizky, 2019, Analisis Perbandingan Kekasaran Permukaan Benda Kerja Metode *Up Milling* dan *Down Milling* dengan Proses *Helical Interpolation Cutting* Pada Mesin CNC Agma A-8. Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala.
- [8] Suharyadi, K., 2014, Pengaruh Jumlah Mata Sayat *End Mill Cutter* Menggunakan Kode Program G02 Dan G03 Terhadap Kerataan Aluminium 6061 Pada Mesin CNC TU-3A. Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya.
- [9] Groover, M. P. (2010). *Fundamentals of Modern Manufacturing: Material, Processes and Systems*, 4th Edition.
- [10] Wiguna, K. D., 2005, Komparasi Hasil Proses Pengelasan SMAW Antara Material SCM440 Dengan S35C Dan S25C *Hardened* Dengan Variasi Temperatur *Post Heat*. Metalurgi Manufaktur, Teknik Material, FTI-ITS.
- [11] Sarjono, K., 2012, Pengaruh *Hardening* Pada Baja JIS G 4051 *Grade S45C* Terhadap Sifat Mekanis Dan Struktur Mikro. *Jurnal Sains Dan Teknologi Indonesia*, 11 (2), 95–100.
- [12] Rusnaldy, Tauviqirrahman, M., & Ranuaji, W., 2009, Proses Simulasi Untuk Menentukan Besarnya Gaya Potong Pada Proses Bubut, 11 (1), 29–32.