

# Analisis Jalan Pahat dan Biaya Produksi *Disc Brake* Sepeda Motor Menggunakan Metode *Taguchi* dan *Softwate Mastercam*

Muhammad Ikhlas<sup>1</sup>, Anita Susilawati<sup>2</sup>

Laboratorium CAD/CAM/CNC, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Riau  
Kampus Bina Widya Km 12.5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru, 28293, Indonesia

<sup>1</sup>ikhlasman.mi21@gmail.com, <sup>2</sup>anitasusilawati@yahoo.com

## Abstract

Tool path generation is very important to optimal time and cost of the production process of product. This research purpose is to analyze tool path generation and production cost of disc brake for roughing and finishing work on die casting product. This research was used the Taguchi method and simulation using by Software Mastercam 2020 (CNC Milling). The simulation result was obtained the estimates time for each variable that was tested. Then it can be analyzed the cost of production to obtaining the efficient tool path in the manufacturing of disc brake. This research was resulted a dynamic tool path in facing with face mill's tool for roughing process with a spindle speed of 2,825 rpm, the feed rate of 2,373 mm/minute, and depth of cut of 0.18 mm. The contour for roughing process with a spindle speed was 10,743 rpm, the feed rate of 4,673 mm/minute, and depth of cut 0.8 mm. Then the finishing process for facing with end mills's tool produces a dynamic toolpath with a spindle speed of 11,937 rpm, the feed rate of 8,595 mm/minute, and depth of cut of 0.05 mm. The finishing process for drilling produces a chip break toolpath with a spindle speed was 6,565 rpm and feed rate of 788 mm/minute. Finally the contour for finishing process with a spindle speed was 11,937 rpm, feed rate of 8,595 mm/minute, and depth of cut of 0.25 mm. Therefore, the final simulation was produced 7.2975 minutes for time of production, so the total of production cost was Rp 74,056/product.

Keywords : Disc brake, CNC milling, taguchi method, mastercam, cost production

## 1. Pendahuluan

Ongkos produksi merupakan suatu pengeluaran yang bisa menentukan berapa harga jual dari barang yang telah dibuat agar tahu berapa keuntungan maupun kerugiannya, sehingga dalam pembuatan komponen/produk perlu diperhitungkan segala macam ongkos produksi [1]. Pencarian ongkos produksi juga bisa dibatasi dalam beberapa hal agar pemahamannya menjadi lebih kuat sehingga bisa diaplikasikan pada dunia industri [2].

Ongkos produksi yang dianalisa merupakan komponen sepeda motor yang berupa piringan cakram (*disc brake*). Pada pembentukan *disc brake* ini ada beberapa langkah yang harus dilakukan terlebih dahulu, seperti: pengecoran, pemesinan (*roughing*), dan *finishing*. Pada pengecoran dengan menggunakan *die casting*, hasil pengecorannya belum rapi dan belum sesuai dengan dimensi aslinya, oleh karena itu dilakukanlah proses pemesinan dengan menggunakan CNC *milling* untuk proses *roughing* maupun *finishing* [3].

CNC *milling* merupakan mesin yang memotong benda kerja dengan bantuan komputer yang dipasang perangkat lunak lalu dimasukkan semacam perintah agar mesin tersebut bisa bergerak secara otomatis berdasarkan perintah tersebut [4]. Keuntungan dalam menggunakan CNC dibanding penggunaan mesin konvensional adalah menghasilkan produk yang lebih bagus, lebih akurat, dan lebih cocok dalam memproduksi secara masal sedangkan kekurangan

mesin konvensional adalah tidak akuratnya hasil yang didapatkan dan setiap produknya pun memiliki hasil yang berbeda-beda mengingat pemesinannya dilakukan oleh manusia serta waktu kerjanya pun akan terbatas untuk menghasilkan beberapa produk [5].

Simulasi dan analisis dalam penggunaan CNC dilakukan dengan bantuan *software Mastercam* karena *software* ini merupakan sebuah perangkat lunak yang menggambarkan benda kerja yang menggabungkan bentuk 2D dan 3D dengan kemampuan mengedit dan mengubah profilnya [6]. Penggunaan *software Mastercam* ini juga lebih menguntungkan daripada *software* lain yang mendukung simulasi CNC seperti SolidWorks CAM dikarenakan *software* ini lebih bagus dan lebih optimal dalam mengaplikasikan CAD sekaligus simulasi pembuatannya dan penggunaannya lebih mudah sehingga banyak digunakan dilapangan kerja [7].

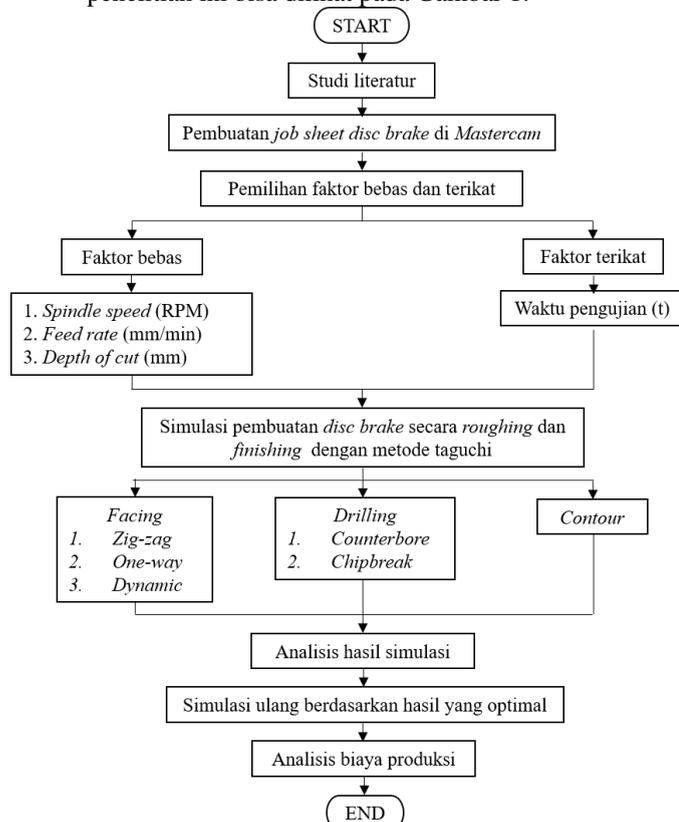
Untuk pengoptimalan pembuatan benda kerja dapat diaplikasikan metode Taguchi. Metode Taguchi merupakan metode yang dapat menghasilkan data yang optimal yang mana hasil akhirnya bisa menghasilkan parameter akhir yang diinginkan serta bisa memperoleh informasi-informasi dari perlakuan yang diberikan [8]. Metode Taguchi bisa didapatkan dari tahapan-tahapan sebagai berikut: menentukan level dan faktor yang akan dilakukan terhadap penelitian, menentukan *orthogonal array* agar tahu kombinasi apa saja yang akan dilakukan saat melakukan penelitian, lalu

dilakukan analisis dengan S/N agar dapat mengetahui apa saja faktor-faktor yang mempengaruhi variasi dari suatu percobaan [9]. Minquiz, et al.(2020) [10] melakukan penelitian tentang “*Machining Parameters and Toolpath Productivity Optimization Using a Factorial Design and Fit Regression Model in Face Milling and Drilling Operations*”. Pada penelitian tersebut menjelaskan efek pergerakan jalannya pahat pada proses *facing* dan *drilling* dengan material pahat karbida terhadap pemotongan dengan material baja karbon sedang dimana jalan pahat yang digunakan pada *facing* adalah *zig-zag*, *one-way*, dan *dynamic*, lalu pada *drilling* adalah *counterbore* dan *chip break*. Hasilnya pergerakan pahat *dynamic* pada *facing* dan *chip break* pada *drilling* membuat kinerja mesin lebih mudah dengan pembuktian energi konsumsinya lebih kecil daripada pergerakan pahat yang lain.

Penelitian ini bertujuan untuk pengoptimasian jalan pahat dengan metode Taguchi dan simulasi dengan *Software Mastercam 2020* serta menganalisis biaya produksi terhadap pembuatan *disc brake* yang telah di *die casting*

## 2. Metode Penelitian

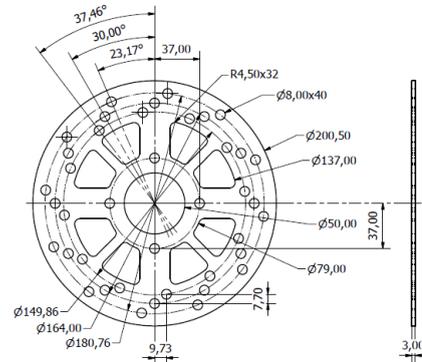
Penelitian ini menggunakan metode Taguchi dan simulasi berbantuan *Software Mastercam 2020* (CNC *milling*). Sehingga menghasilkan waktu yang optimal dari parameter yang ada dan didapatkan biaya produksi berdasarkan jalan pahat beserta waktu pemesinannya. Tahapan metodologi penelitian ini bisa dilihat pada Gambar 1.



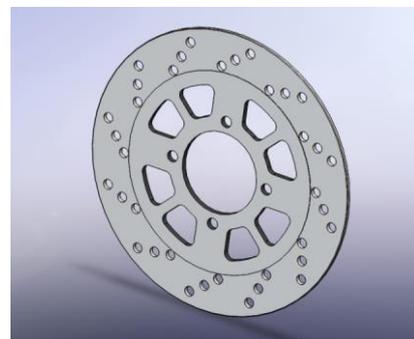
Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

## 2.1 CAD

Pembuatan gambar benda kerja 2D dan 3D menggunakan *Software Mastercam 2020*, dimana gambar 2D (dalam satuan mm) bisa dilihat pada Gambar 2 dan gambar 3D yang diadopsi dari Taryo (2014) [11] bisa dilihat pada Gambar 3.



Gambar 2 Disc Brake 2D



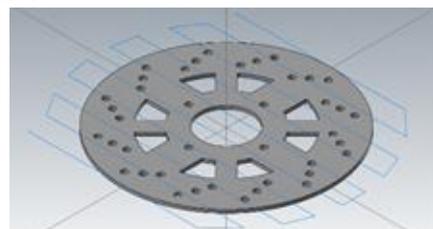
Gambar 3 Disc Brake 3D

## 2.2 Jalan Pahat

Pada *Software Mastercam 2020* sudah tergabung beberapa proses pemesinan didalamnya, salah satunya adalah proses *milling*, dan juga dilengkapi dengan beberapa jalan pahat seperti *zig-zag* dan sebagainya [12]. Adapun jalan pahat yang digunakan adalah sebagai berikut:

### a) Jalan Pahat Zig-zag

Jalan pahat *zig-zag* merupakan pergerakan pada proses *facing*, dimana pergerakannya secara *zig-zag* yang diukur dari positif untuk sumbu X dan arah pergerakan CCW [13], dimana bisa dilihat pada Gambar 4.

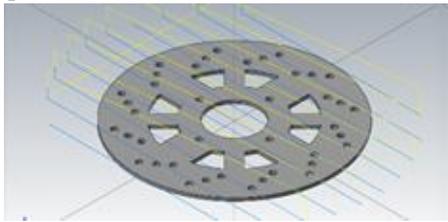


Gambar 4 Jalan Pahat Zig-zag

### b) Jalan Pahat One-way

Jalan pahat *one-way* merupakan jalan pahat pada proses *facing*, dimana pergerakannya bergerak searah

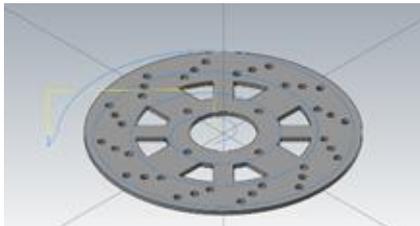
dalam sekali proses pemesinan [14], dimana bisa dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5 Jalan Pahat *One-way*

c) Jalan Pahat *Dynamic*

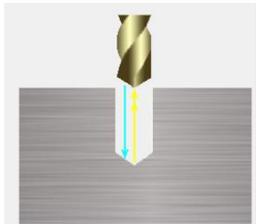
Jalan pahat *dynamic* merupakan jalan pahat pada proses *facing*, dimana pergerakannya bergerak memutar benda kerja [15], dimana bisa dilihat pada Gambar 6



Gambar 6 Jalan Pahat *Dynamic*

d) Jalan Pahat *Counterbore*

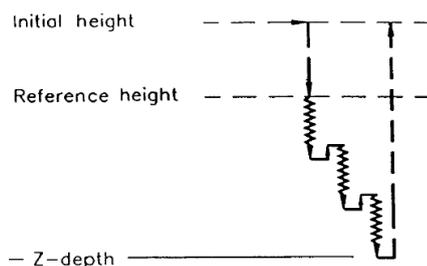
Jalan pahat *counterbore* merupakan jalan pahat pada proses *drilling*, dimana pahat bergerak kembali ketempat semula sesaat setelah diamnya pahat di titik terdalam saat mengebor benda kerja [16], dimana bisa dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7 Jalan Pahat *Counterbore*

e) Jalan Pahat *Chip Break*

Jalan pahat *chip break* merupakan jalan pahat pada proses *contour*, dimana pergerakan pahat saat mengebor benda kerja secara bertahap sampai ke kedalaman yang diinginkan dengan catatan bahwa diamnya pahat pada saat pengeboran bertahap dilakukan agar bisa mengeluarkan *chip* ketika sedang mengebor benda kerja [13], hal ini bisa dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8 Jalan Pahat *Chip Break*

### 2.3 Metode Taguchi

Metode Taguchi merupakan metode yang dapat menghasilkan data yang optimal yang mana hasil akhirnya bisa menghasilkan parameter akhir yang diinginkan serta bisa memperoleh informasi-informasi dari perlakuan yang diberikan [8]. Parameter yang dibutuhkan dalam metode Taguchi untuk pemesinan berupa parameter yang bisa dikendalikan sendiri oleh operator [17]. Metode Taguchi bisa didapatkan dari tahapan-tahapan sebagai berikut: menentukan level dan faktor yang akan dilakukan terhadap penelitian, menentukan *orthogonal array* agar tahu kombinasi apa saja yang akan dilakukan saat melakukan penelitian, lalu dilakukan analisis dengan S/N agar dapat mengetahui apa saja faktor-faktor yang mempengaruhi variasi dari suatu percobaan [9].

a) Menentukan faktor dan level

Faktor diartikan pada sesuatu yang akan diuji dan level diartikan pada nilai dari variasi setiap faktor-faktor yang ada [9].

b) Menentukan *orthogonal array*

*Orthogonal array* merupakan sebuah matriks yang menampilkan jumlah percobaan yang akan dilakukan. Matriks ini disusun sedemikian rupa dengan menggabungkan beberapa faktor dan level yang ada [9], dimana bisa dilihat pada rumus 1.

$$L_a(b^c) = 1 + (c) \cdot (b - 1) \quad (1)$$

Dimana:

- L : Notasi *orthogonal array*
- a : Jumlah dari nomor baris
- b : Jumlah level
- c : Jumlah variabel

Proses Pembuatan *disc brake* setelah dilakukan *die casting* adalah *roughing* dan *finishing*, dimana parameter yang dibutuhkan adalah sebagai berikut:

- I. *Roughing*
  - i. *Facing*

*Facing* merupakan pemotongan di permukaan benda kerja, dimana pahat yang digunakan adalah *face mill* dan karakteristik pahat ini diadopsi dari Sandvik (2017) [18]. Adapun parameternya bisa dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Parameter *Roughing* Terhadap *Facing* dengan Pahat *Face Mill*

Parameter	1	2	3	4	5
<i>Spindle speed</i> (rpm)	2706	2735	2765	2795	2825
<i>Feed rate</i> (mm/min)	1515	1723	1936	2152	2373
<i>Depth of cut</i> (mm)	0,1	0,12	0,14	0,16	0,18

Pahat *end mill* merupakan pahat yang bisa digunakan pada berbagai macam bentuk benda kerja sedangkan untuk *face mill* digunakan hanya untuk memotong

permukaan benda kerja [19]. Oleh karena itu, pengoptimalan waktu dilakukan sebisa mungkin, salah satunya adalah dilakukannya simulasi tanpa adanya penukaran pahat, seperti proses *facing* dilakukan dengan pahat *end mill* yang setelah itu dipakai pada proses *contour* tetapi dengan *depth of cut* yang tetap. Adapun parameternya bisa dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Parameter *Roughing* Terhadap *Facing* dengan Pahat *End Mill*

Parameter	1	2	3	4	5
<i>Spindle speed</i> (rpm)	9151	9549	9947	10345	10743
<i>Feed rate</i> (mm/min)	2151	2722	3332	3983	4673
<i>Depth of cut</i> (mm)	0,1	0,12	0,14	0,16	0,18

ii. *Contour*

Proses *contour* merupakan pemotongan ditepi (sesuai profil) benda kerja. Pada pemesinan *disc brake* ini, *contour* dibagi dengan 3 jenis, yaitu: *contour* 1 (sisi dalam), *contour* 2 (sisi tengah), dan *contour* 3 (sisi luar), dimana karakteristik pahat untuk *contour* ini diadopsi pada Sandvik (2018) [20], dimana parameternya bisa dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Parameter *Roughing* Terhadap *Contour*

Parameter	1	2	3	4	5
<i>Spindle speed</i> (rpm)	9151	9549	9947	10345	10743
<i>Feed rate</i> (mm/min)	2151	2722	3332	3983	4673
<i>Depth of cut</i> (mm)	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8

II. *Finishing*

i. *Facing*

Parameter pahat *face mill* yang diadopsi dari Sandvik (2017) [18] bisa dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4 Parameter *Finishing* Terhadap *Facing* dengan Pahat *Face Mill*

Parameter	1	2	3	4	5
<i>Spindle speed</i> (rpm)	2825	2845	2865	2885	2905
<i>Feed rate</i> (mm/min)	791	996	1203	1414	1627
<i>Depth of cut</i> (mm)	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05

Pada proses *finishing* ini juga diterapkan tanpa adanya penukaran pahat, oleh karena itu proses ini juga memakai pahat *end mill* yang ada pada proses *contour*. Adapun parameternya bisa dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5 Parameter *Finishing* Terhadap *Facing* dengan Pahat *End Mill*

Parameter	1	2	3	4	5
<i>Spindle speed</i> (rpm)	10345	10743	11141	11539	11937
<i>Feed rate</i> (mm/min)	4966	5801	6685	7616	8595
<i>Depth of cut</i> (mm)	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05

ii. *Drilling*

*Drilling* dengan proses lanjutannya yang bernama proses *boring* merupakan proses pelebaran diameter pada lubang benda kerja, dimana karakteristik pahat ini diadopsi dari Sandvik (2018) [20]. Adapun parameternya bisa dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6 Parameter *Finishing* Terhadap *Drilling*

Parameter	1	2	3	4	5
<i>Spindle speed</i> (rpm)	4974	5372	5769	6167	6565
<i>Feed rate</i> (mm/min)	199	322	462	617	788

iii. *Contour*

Parameter pahat *end mill* yang diadopsi dari Sandvik (2018) [20] bisa dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7 Parameter *Finishing* Terhadap *Contour*

Parameter	1	2	3	4	5
<i>Spindle speed</i> (rpm)	10345	10743	11141	11539	11937
<i>Feed rate</i> (mm/min)	4966	5801	6685	7616	8595
<i>Depth of cut</i> (mm)	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25

c) Analisis data

Analisis data dapat digunakan dengan persamaan S/N rasio (*Signal to Noise*) pada rumus 2. S/N merupakan analisis data yang dapat mengetahui apa saja faktor-faktor yang mempengaruhi variasi dari suatu percobaan. Adapun salah satu karakteristik dari S/N adalah *smaller is better*, dimana hasilnya mendekati nol dan nilai yang dipilih adalah nilai yang terbesar [9].

$$S/N = -10 \log_{10} \left( \frac{1}{r} \sum_{i=1}^r y_i^2 \right) \quad (2)$$

Dimana:

r : Jumlah percobaan yang dilakukan

y<sub>i</sub> : Hasil yang diperoleh dari percobaan

2.4 Ongkos Produksi

Pengoptimalan jalan pahat beserta parameter yang digunakan berkaitan dengan waktu produksi dan

dan ongkos produksinya. Pencarian ongkos produksi bisa dibatasi dalam beberapa hal agar pemahamannya menjadi lebih kuat sehingga bisa diaplikasikan pada dunia industri [2]. Adapun ongkos produksi yang dibutuhkan adalah sebagai berikut [2]:

a) Tabel data harga dan umur mesin  
Tabel ini merupakan tabel yang berisi harga dari mesin beserta umur pemakaian dari mesin tersebut.

b) Ongkos sewa mesin ( $C_f$ )  
Ongkos sewa mesin merupakan biaya yang dikeluarkan untuk menyewa mesin, dimana bisa dilihat pada rumus 3.

$$C_f = \frac{\text{Harga mesin}}{\text{Waktu penyusutan} \cdot 365 \text{ Hari} \cdot 24 \text{ Jam}} (Rp/jam) \quad (3)$$

c) Ongkos daya mesin ( $C_i$ )  
Ongkos daya mesin merupakan ongkos yang dikeluarkan berdasarkan daya mesin yang digunakan dalam memproduksi produk, dimana bisa dilihat pada rumus 4.

$$C_i = \text{Daya nominal mesin} \cdot \text{Harga per kWh} \quad (4)$$

d) Upah operator tiap mesin ( $C_d$ )  
Upah operator merupakan upah yang diberikan kepada operator karena telah mengoperasikan mesin berdasarkan jam kerja, dimana bisa dilihat pada rumus 5.

$$C_d = \frac{\text{Upah Operator}}{\text{Jam kerja} \cdot \text{Hari kerja perbulan}} (Rp/jam) \quad (5)$$

e) Ongkos material ( $C_M$ )  
Ongkos material merupakan ongkos yang dikeluarkan terhadap semua pembelian material dalam memproduksi setiap produk serta biaya material yang diletakkan di gudang yang bisa membebani perusahaan (ongkos tak langsung), dimana bisa dilihat pada rumus 6.

$$C_M = C_{MO} + C_{MI} (Rp/produk) \quad (6)$$

Dimana:

- $C_M$  : Ongkos material (Rp/produk),
- $C_{MO}$  : Harga material (Rp/produk), dan
- $C_{MI}$  : Ongkos tak langsung (Rp/produk).

f) Total ongkos operasi mesin ( $C_j$ )  
Ongkos operasi mesin merupakan gabungan terhadap ongkos-ongkos yang berhubungan dengan mesin, hal ini bisa dilihat pada rumus 7.

$$C_j = C_f + C_d + C_i (Rp/produk) \quad (7)$$

Dimana:

- $C_j$  : Total ongkos operasi mesin (Rp/produk),
- $C_f$  : Ongkos sewa mesin (Rp/jam),
- $C_d$  : Upah operator tiap mesin (Rp/jam), dan

$C_i$  : Ongkos daya mesin (Rp).

g) Total ongkos per produk ( $C_u$ )

Total ongkos per produk merupakan total dari keseluruhan pengeluaran per produk, hal ini bisa dilihat pada rumus 8.

$$C_u = C_M + (C_j \cdot t_m) (Rp/produk) \quad (8)$$

Dimana:

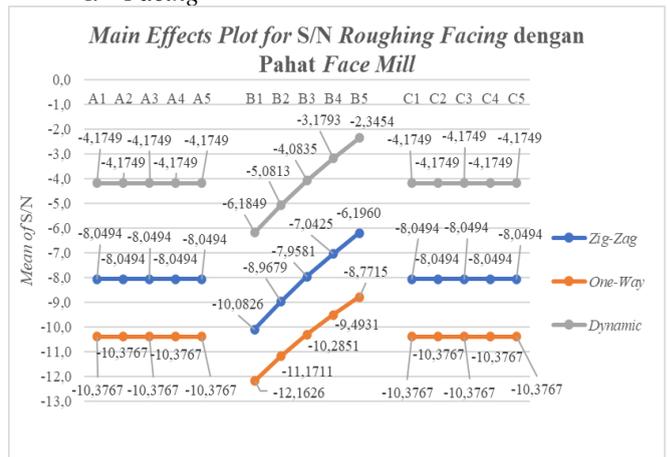
- $C_u$  : Total ongkos per produk (Rp/produk), dan
- $t_m$  : Waktu pemesinan (Menit/produk).

### 3. Hasil

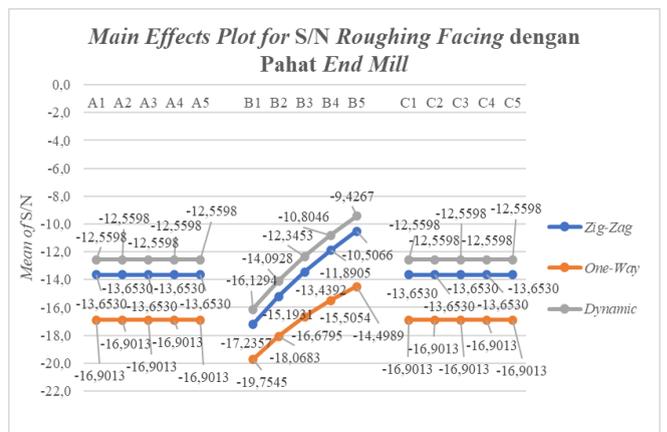
Hasil dari simulasi yang dilakukan pada benda kerja *disc brake* setelah di *die casting* pada masing-masing proses dengan menerapkan parameter sesuai jalan pahat yang telah ditetapkan bisa dilihat pada grafik yang ditunjukkan pada Gambar 9 sampai dengan Gambar 19.

#### I. Roughing

##### i. Facing

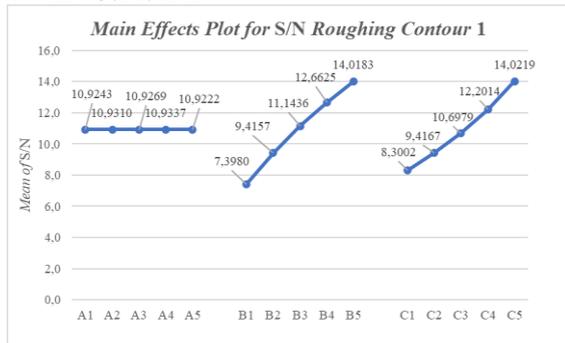


Gambar 9 Main Effects Plot for S/N Roughing Facing dengan Pahat Face Mill



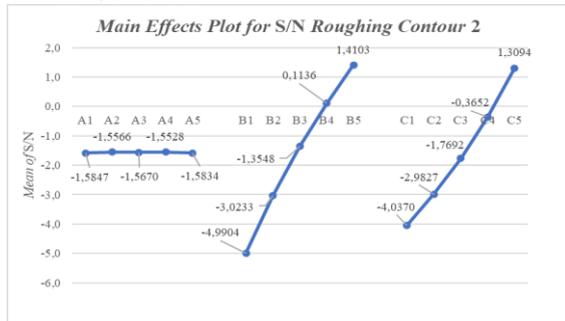
Gambar 10 Main Effects Plot for S/N Roughing Facing dengan Pahat End Mill

ii. Contour 1



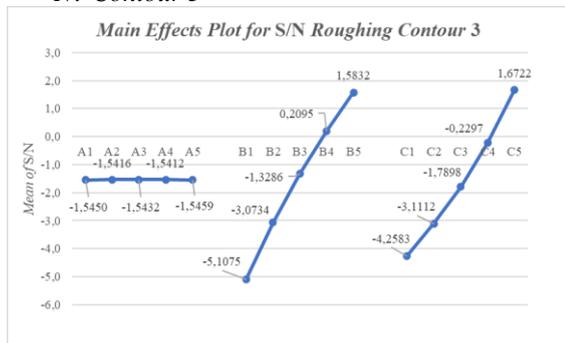
Gambar 11 Main Effects Plot for S/N Roughing Contour 1

iii. Contour 2

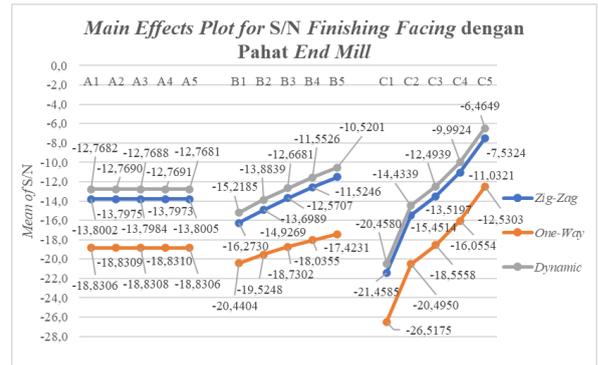


Gambar 12 Main Effects Plot for S/N Roughing Contour 2

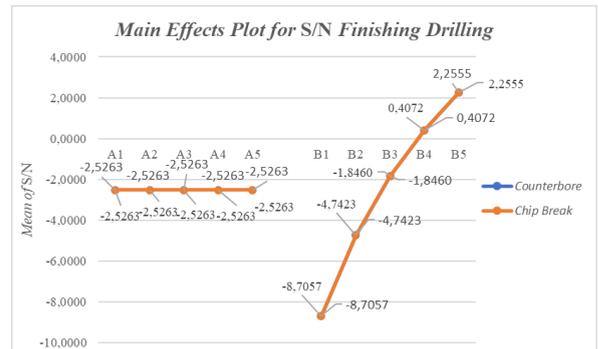
iv. Contour 3



Gambar 13 Main Effects Plot for S/N Roughing Contour 3

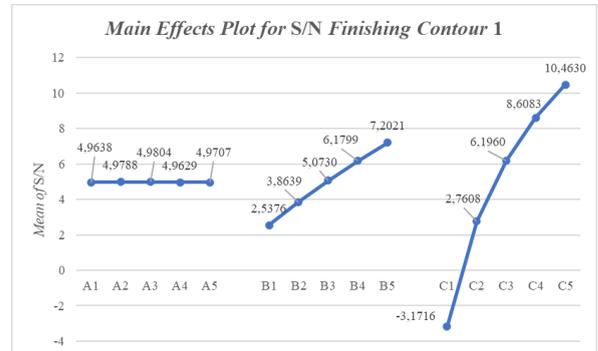


Gambar 15 Main Effects Plot for S/N Finishing Facing dengan Pahat End Mill



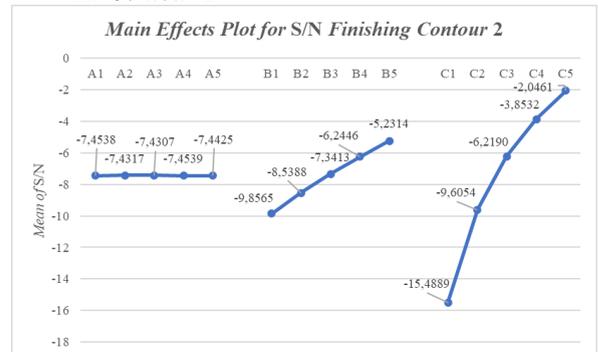
Gambar 16 Main Effects Plot for S/N Finishing Drilling

ii. Contour 1



Gambar 17 Main Effects Plot for S/N Finishing Contour 1

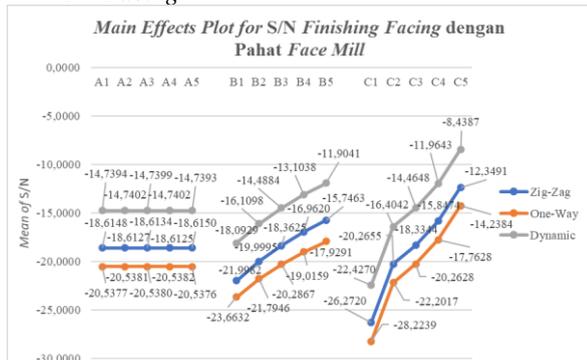
iii. Contour 2



Gambar 18 Main Effects Plot for S/N Finishing Contour 2

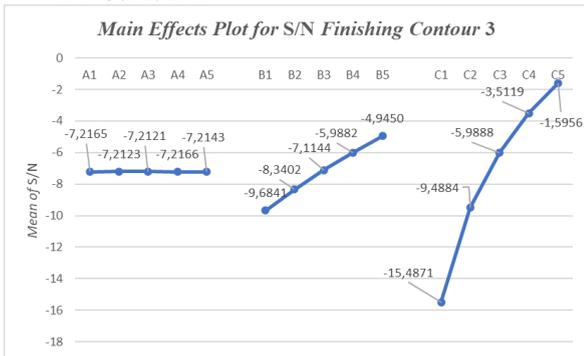
II. Finishing

i. Facing



Gambar 14 Main Effects Plot for S/N Finishing Facing dengan Pahat Face Mill

iv. Contour 3



Gambar 19 Main Effects Plot for S/N Finishing Contour 3

4. Pembahasan

Proses lanjutan dari *die casting* terhadap *disc brake* berupa *roughing* dan *finishing* yang mana dilakukan dengan simulasi dengan bantuan *Software Mastercam 2020*. Berdasarkan Gambar 9 dan Gambar 10 yang mana simulasi dilakukan dengan menggunakan pahat *face mill* dan *end mill*, perbandingan ini menunjukkan bahwa penggunaan pahat *face mill* mendapatkan hasil S/N yang lebih besar daripada pahat *end mill*, hal ini didukung oleh besarnya diameter yang dimiliki oleh pahat *face mill* dibanding dengan pahat *end mill*. Pada *spindle speed* dan *depth of cut* memiliki hasil S/N yang sama, hal ini menandakan bahwa tidak adanya faktor yang signifikan yang dapat memengaruhi waktu pemesinan dan untuk *depth of cut* dikarenakan sedikitnya siklus pemakanannya maka perbedaannya pun tidak tampak jelas, sedangkan untuk *feed rate* memiliki perbedaan yang signifikan dikarenakan adanya perbedaan besar kecilnya pemakanan yang dilakukan dalam sekali waktu pemakanan. Umumnya jalan pahat memiliki bentuk grafik yang sama tetapi mempunyai perbedaan rata-rata efek faktor S/N yang berbeda, dimana efek rata-rata yang terbesar dimiliki oleh jalan pahat *dynamic*, oleh karena itu jalan pahat yang dipilih adalah jalan pahat *dynamic* dengan parameter yang dipilih adalah A5 (*spindle speed* 2825 rpm), B5 (*feed rate* 2373 mm/min), dan C5 (*depth of cut* 0,18 mm).

Berdasarkan Gambar 11, Gambar 12, dan Gambar 13, rata-rata *spindle speed* menghasilkan nilai S/N yang sama, hal ini menandakan bahwa tidak adanya faktor yang signifikan yang dapat memengaruhi waktu pemesinan sedangkan untuk *feed rate* dan *depth of cut* memiliki perbedaan yang signifikan dimana hal ini menunjukkan bahwa semakin besar *feed rate* maka semakin cepat waktu pemesinannya dikarenakan jarak yang dibutuhkan saat melakukan pemakanan dalam satuan per waktu lebih panjang dan begitu juga untuk *depth of cut*, semakin dalam pemakanan yang dilakukan dalam sekali siklus maka semakin cepat waktu pemesinan yang dihasilkan. Oleh karena itu parameter yang akan diambil adalah A5 (*spindle speed* 10743 rpm), B5 (*feed rate* 4673 mm/min), dan C5 (*depth of cut* 0,8 mm).

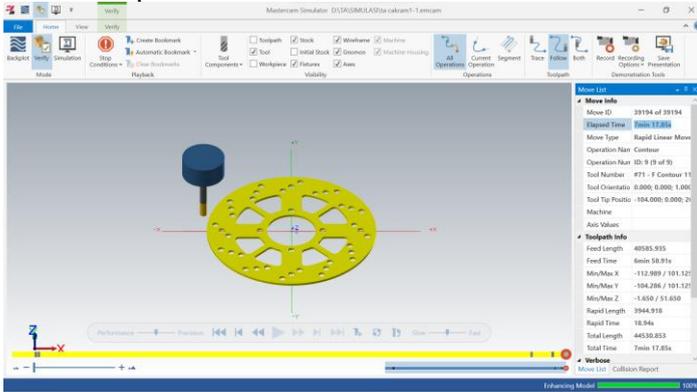
Berdasarkan Gambar 14 dan Gambar 15 yang mana simulasi dilakukan dengan menggunakan pahat *face mill* dan *end mill*, perbandingan ini menunjukkan bahwa penggunaan pahat *end mill* mendapatkan hasil S/N yang lebih besar daripada pahat *face mill*, hal ini didukung oleh jauh lebih besarnya *feed rate* yang dimiliki oleh pahat *end mill* dibanding dengan pahat *face mill*. Oleh karena itu, laju pemakanan pahat *end mill* semakin cepat daripada penggunaan pahat *face mill*. Pada *spindle speed* memiliki hasil S/N yang sama, hal ini menandakan bahwa tidak adanya faktor yang signifikan yang dapat memengaruhi waktu pemesinan, sedangkan untuk *feed rate* dan *depth of cut* memiliki perbedaan yang signifikan dimana hal ini menunjukkan bahwa semakin besar *feed rate* maka semakin cepat waktu pemesinannya dikarenakan jarak yang dibutuhkan saat melakukan pemakanan dalam satuan per waktu lebih panjang dan begitu juga untuk *depth of cut*, semakin dalam pemakanan yang dilakukan dalam sekali siklus maka semakin cepat waktu pemesinan yang dihasilkan. Umumnya jalan pahat memiliki bentuk grafik yang sama tetapi rata-rata mempunyai perbedaan pada efek faktor S/N, dimana rata-rata efek faktor yang terbesar dimiliki oleh jalan pahat *dynamic*, oleh karena itu jalan pahat yang dipilih adalah jalan pahat *dynamic* dengan parameter yang dipilih adalah A5 (*spindle speed* 11937 rpm), B5 (*feed rate* 8595 mm/min), dan C5 (*depth of cut* 0,05 mm).

Berdasarkan Gambar 16, hasil S/N yang didapat oleh kedua jalan pahat adalah sama, hal ini mengacu pada simulasi jalan pahat *counterbore* dan *chip break*, masing-masing memiliki waktu berdiamnya pahat sama, seperti total waktu diamnya pahat (*chip break*) pada jarak tertentu sama dengan diamnya pahat (*counterbore*) saat sebelum kembalinya pahat ketempat semula setelah pengeboran berlangsung. Oleh karena itu, untuk mengatasi kejadian yang tak terduga saat pemakanan berlangsung, dipilihlah jalan pahat *chip break* karena lebih aman melakukan pengeboran ketika dilakukan secara bertahap. Pada *spindle speed*, rata-rata menghasilkan nilai S/N yang sama, hal ini menandakan bahwa tidak adanya faktor yang signifikan yang dapat memengaruhi waktu pemesinan sedangkan untuk *feed rate* memiliki perbedaan yang signifikan dimana hal ini menunjukkan bahwa semakin besar *feed rate* maka semakin cepat waktu pemesinannya. Oleh karena itu parameter yang akan diambil adalah A5 (*spindle speed* 6565 rpm) dan B5 (*feed rate* 788 mm/min)

Berdasarkan Gambar 17, Gambar 18, dan Gambar 19, rata-rata *spindle speed* menghasilkan nilai S/N yang sama, hal ini menandakan bahwa tidak adanya faktor yang signifikan yang dapat memengaruhi waktu pemesinan sedangkan untuk *feed rate* dan *depth of cut* memiliki perbedaan yang signifikan dimana hal ini menunjukkan bahwa semakin besar *feed rate* maka semakin cepat waktu pemesinannya dikarenakan jarak yang dibutuhkan saat melakukan pemakanan dalam satuan per waktu lebih panjang dan begitu juga untuk *depth of cut*, semakin dalam pemakanan yang dilakukan dalam

sekali siklus maka semakin cepat waktu pemesinan yang dihasilkan. Oleh karena itu parameter yang akan diambil adalah A5 (*spindle speed* 11937 rpm), B5 (*feed rate* 8595 mm/min), dan C5 (*depth of cut* 0,25 mm).

Berdasarkan parameter-parameter yang telah ditetapkan, maka dilakukan simulasi ulang agar mendapatkan total waktu yang dilakukan selama proses pemesinan *disc brake*, dimana hal ini bisa dilihat pada Gambar 20.



Gambar 20 Total Waktu Produksi *Disc Brake*

Pada Gambar 20, didapatkanlah total waktu selama 7 menit 17,85 detik yang disederhanakan menjadi 7,2975 menit. Langkah selanjutnya adalah dengan menghitung ongkos-ongkos produksi yang ada pada Sub bab 2.4.

a) Tabel data harga dan umur mesin

Jenis CNC milling yang digunakan berupa CNC milling dengan jenis Fanuc dengan harga yang dipublikasikan sebesar € 39.500 dengan harga €1 saat ini adalah Rp 16.217,52 sehingga harga mesin CNC milling dalam rupiah adalah Rp 640.592.040 dengan penyusutan 10 tahun (Exapro, 2021) [21].

Tabel 8 Tabel Data Harga dan Umur Mesin

Mesin	Harga Mesin (€)	Harga €1 (Rp)	Harga Mesin (Rp)	Penyusutan (Tahun)
Machining Center - Vertical	39.500	16.217,52	640.592.040	10

b) Ongkos sewa mesin

$$C_f = \frac{\text{Harga mesin}}{\text{Waktu penyusutan} \cdot 365 \text{ Hari} \cdot 24 \text{ Jam}} \text{ (Rp/jam)}$$

$$C_f = \frac{\text{Rp } 640.592.040}{10 \text{ Tahun} \cdot 365 \text{ Hari} \cdot 24 \text{ Jam}} \text{ (Rp/jam)}$$

$$C_f = \text{Rp } 7.313/\text{jam}$$

c) Ongkos daya mesin

Adapun biaya listrik per kWh dan daya nominal mesin yang ditetapkannya adalah sebesar Rp 1.380/kWh dan 25 kWh [22].

$$C_i = \text{Daya nominal mesin} \cdot \text{Harga per kWh (Rp)}$$

$$C_i = 25 \text{ kWh} \cdot \text{Rp } 1380/\text{kWh}$$

$$C_i = \text{Rp } 34.500$$

d) Upah operator tiap mesin

Upah operator rata-rata pada tahun 2021 adalah sebesar Rp 4.100.000 [23].

$$C_d = \frac{\text{Upah Operator}}{\text{Jam kerja} \cdot \text{Hari kerja per bulan}} \text{ (Rp/jam)}$$

$$C_d = \frac{\text{Rp } 4.100.000}{7 \text{ jam} \cdot 24 \text{ hari}}$$

$$C_d = \text{Rp } 24.405/\text{jam}$$

e) Upah material

Ongkos tak langsung ditetapkan sebesar 10% dari  $C_{MO}$  [22] dan ongkos material dari die casting adalah ± Rp 60.000 [24].

$$C_M = C_{MO} + C_{MI} \text{ (Rp/produk)}$$

$$C_M = \text{Rp } 60.000 + (10 \% \cdot C_{MO})$$

$$C_M = \text{Rp } 60.000 + (10 \% \cdot \text{Rp } 60.000)$$

$$C_M = \text{Rp } 60.000 + \text{Rp } 6.000$$

$$C_M = \text{Rp } 66.000/\text{produk}$$

f) Total ongkos operasi mesin

$$C_j = C_f + C_d + C_i \text{ (Rp/jam)}$$

$$C_j = \text{Rp } 7.313/\text{jam} + \text{Rp } 24.405/\text{jam} + \text{Rp } 34.500/\text{jam}$$

$$C_j = \text{Rp } 66.218/\text{jam}$$

$$C_j = \text{Rp } 1.104/\text{min}$$

g) Total ongkos per produk

$$C_u = C_M + (C_j \cdot t_m) \text{ (Rp/produk)}$$

$$C_u = \text{Rp } 66.000/\text{produk} + (\text{Rp } 1.104/\text{min} \cdot 7,2975 \text{ min/produk})$$

$$C_u = \text{Rp } 66.000/\text{produk} + \text{Rp } 8.056/\text{produk}$$

$$C_u = \text{Rp } 74.056/\text{produk}$$

Berdasarkan harga pasaran *disc brake* pada saat ini sebesar Rp 435.000 [25], maka keuntungan yang diperoleh oleh pihak produsen adalah:

$$\text{Keuntungan} = \text{Rp } 435.000 - \text{Rp } 74.056$$

$$\text{Keuntungan} = \text{Rp } 360.944$$

## 5. Simpulan

Adapun simpulan yang didapat dari hasil penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) Pengoptimasian jalan pahat dengan metode Taguchi dalam pembuatan *disc brake* merupakan metode yang bagus sehingga dalam pembuatan *disc brake* tersebut tidak memakan waktu yang terlalu lama, oleh karena itu dipilihlah jalan pahat beserta parameter yang terbaik seperti:
  - a. *Roughing* pada *facing (dynamic)* dengan pahat *face mill* adalah *spindle speed* 2825 rpm, *feed rate* 2373 mm/min, dan *depth of cut* 0,18 mm.
  - b. *Roughing* pada seluruh *contour* adalah *spindle speed* 10743 rpm, *feed rate* 4673 mm/min, dan *depth of cut* 0,8 mm.
  - c. *Finishing* pada *facing (dynamic)* dengan pahat *end mill* adalah *spindle speed* 11937 rpm, *feed rate* 8595 mm/min, dan *depth of cut* 0,05 mm.
  - d. *Finishing* pada *drilling (chip break)* adalah *spindle speed* 6565 rpm dan *feed rate* 788 mm/min.
  - e. *Finishing* pada seluruh *contour* adalah *spindle speed* 11937 rpm, *feed rate* 8595 mm/min, dan *depth of cut* 0,25 mm.
- 2) Pembuatan *disc brake* dari proses *die casting* berdasarkan simulasi yang telah dilakukan menghasilkan waktu sebanyak 7,2975 menit, dari waktu tersebut dilakukanlah beberapa perhitungan ongkos produksi sehingga menghasilkan ongkos sebesar Rp 74.056/produk dan apabila dibandingkan dengan harga pasaran, maka keuntungan yang diperoleh adalah Rp 360.944.

## Daftar Pustaka

- [1] Setyaningrum dan Hamidy. 2008. Analisis Biaya Produksi dengan Pendekatan Theory of Constraint untuk Meningkatkan Laba. Fakultas Ekonomi. Universitas Pembangunan Nasional.
- [2] Rochim, T. 1993. Teori dan Teknologi Proses Pemesinan. Bandung.
- [3] Saifullah, Ahmad. 2015. Proses Pembentukan Cakram dan Velg pada Sepeda Motor. <http://asaifullah.blogspot.com/2015/09/proses-pembentukan-cakram-dan-velg-pada.html> (diakses pada 29 Juni 2021).
- [4] Jufrizal, M. 2020. Rancang Bangun Mesin CNC Milling Menggunakan System Kontrol GRBL untuk Pembuatan Layout PCB. *Jurnal Mesin Sains Terapan*, 4(1).
- [5] Amala, M., dan Susilo, A. W. 2014. Pengembangan Perangkat Lunak Sistem Operasi Mesin Milling CNC Trainer. *Jurnal Teknik Mesin S-1* 2(3).
- [6] Fahlevi. M. R., Syafri, dan Anita S. 2017. Perencanaan CAD CAM Mesin CNC Milling Router 3 Axis dengan Perangkat Lunak Mastercam. *Jom FTEKNIK* 4(2).
- [7] Lappalainen, P. 2020. Computer Aided Manufacturing with SolidWorks CAM and Mastercam. Degree Thesis. Material Processing Technology.
- [8] Pang, J. S., et al. 2013. Taguchi Design Optimization of Machining Parameters on the CNC End Milling Process of Halloysite Nanotube with Aluminium Reinforced Epoxy Matrix (HNT/Al/Ep) Hybrid Composite. *HBRC Journal* 10, 138-144.
- [9] Zayendra, Siska, Hazmira Yozza, dan Maiyastri. 2012. Penerapan Metode Taguchi untuk Optimalisasi Hasil Produksi Roti di Usaha Roti Meyza Bakery, Padang Sumatera Barat. *Jurnal Matematika UNAND* 5(3), 122-130.
- [10] Minquiz, G. M., et al. 2020. Machining Parameters and Toolpath Productivity Optimization Using a Factorial Design and Fit Regression Model in Face Milling and Drilling Operations. *Mathematical Problems in Engineering*. 2020.
- [11] Taryo, Y. 2014. Cakram Rem Depan Mio Soul. <https://grabcad.com/library/cakram-depan-mio-soul-1> (diakses 30 Maret 2021).
- [12] Prajapati, R., Avadhoot R., dan Vijaykumar C. 2013. Tool Path Optimization of Contouring Operation and Machining Strategies for Turbo Machinery Blades. *International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT)* 4(5).
- [13] Yahuza, R. 2010. Teknologi CNC. Jakarta: Universitas Tarumanegara.
- [14] Yazid, MZA dan Munzir, R. (2020). Influence of Tool Path Strategies and Pocket Geometry on Surface Roughness in Pocket Milling. *International Journal of Recent Technology and Engineering* 9(2).
- [15] Fulton, Jody 2016. Face Mill Spiral. <https://forums.autodesk.com/t5/featurecam-forum/face-mill-spiral/m-p/6775277#M366> (diakses 24 April 2021).
- [16] Iswahyudi, A. 2021. Training Mastercam Basic. G-CAD Tech.

- [17] Permana, Diki Ismail dan Yayat. 2019. Optimasi Parameter Permesinan Terhadap Tingkat Kekasaran Permukaan Aluminium Proses Pembubutan dengan Metode Taguchi. *METAL : Jurnal Sistem Mekanik dan Termal*, 3(1).
- [18] Sandvik, Coromant. 2017. Rotating Tools.
- [19] Kalpakjian, Serope dan Steven R. Schmid. 2009. Manufacturing Engineering and Technology 6th edition. New Jersey: Pearson Prentice Hall.
- [20] Sandvik, Coromant. 2018. Solid Round Tools.
- [21] Exapro. 2021. DMG DMU 60 T Machining center – vertical. <https://www.exapro.com/dmg-dmu-60-t-p91108140/?exaspot=1> (diakses pada 26 November 2021).
- [22] Sugeng, Ucock Mulyo dan Widodo. 2021. Penghitungan Biaya Produksi dan Kebutuhan Pahat untuk Proses Fabrikasi Shaft Menggunakan CAM. *Journal Presisi* 23(1), 75-84.
- [23] Gajimu.com. 2021. Cek Gaji. <https://gajimu.com/gaji/cek-gaji?job-id=8189010000000#/> (diakses 17 November 2021).
- [24] Alibaba.com. 2021. Professional Custom Metal Die Casting Supplier Die Cast Mould Maker Aluminum Die Casting Molds. [https://www.alibaba.com/product-detail/Professional-custom-metal-die-casting-supplier\\_1600343813560.html?spm=a2700.12243863.0.0.68964b60RxcLGj](https://www.alibaba.com/product-detail/Professional-custom-metal-die-casting-supplier_1600343813560.html?spm=a2700.12243863.0.0.68964b60RxcLGj) (diakses 26 November 2021).
- [25] Aplikasi Yamaha PartsCatalogue IDN. 2015. (diakses 28 Oktober 2021).