

Modifikasi Bentuk Mata Bor Untuk Efisiensi Proses Pembuatan Lubang Baut

Wahid Hasim *), Amin Suhadi **)
STT Duta Bangsa Jawa Barat*),
Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT), Jakarta**)
Email: hasim_21@ymail.com, aminsuhadi@gmail.com

ABSTRAK

Untuk memenuhi jumlah permintaan produksi yang meningkat dan permintaan waktu proses yang lebih cepat pada proses pembuatan lubang baut pada komponen *flange companion*, maka digunakan metode dan alat potong yang tepat untuk memenuhi permintaan tersebut. Dalam praktiknya, penerapan elemen alat potong/*cutting*, sangat berpengaruh pada kualitas dan kuantitas produk. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menghemat waktu proses dan biaya pembelian mata bor dalam proses produksi *flange companion*, serta membandingkan proses dengan mata bor lama dengan yang baru dengan memperhatikan pengaruh-pengaruh perubahan desain mata bor, parameter mesin terhadap proses produksi, serta hasil produksi. Metode yang digunakan dalam penelitian ini, dengan memperbaiki kualitas produk dan proses dalam waktu yang bersamaan, sehingga bisa menekan biaya dan sumber daya seminimal mungkin, serta mengetahui kondisi optimal dari parameter pemesinan dan mengetahui performansi dari parameter pemesinan. Hasil modifikasi mata bor untuk proses pembuatan lubang baut waktu proses produksi berkurang serta *bottle neck* berkurang. Mata bor yang digunakan dengan parameter pemesinan *spindle speed* (n) : 1675, *feed* (f) : 0.048, *depth of cut* (H) : 12.5, dan *cutting condition* : coolant. Untuk kecepatan potong (V_c) : 62.21 m/menit, kecepatan pemakanan v_f : 80.4 mm/menit, dan waktu pemotongan (T) : 0.176 menit (1 lubang). Waktu proses produksi berkurang dari ± 1.97 menit menjadi ± 1.4 menit. Terdapat *cost reduction* ($cost/pcs$) Rp 2,804 , *cost reduction* per bulan Rp 13,815,308 , *cost reduction* per tahun Rp 165,783,696, sehingga biaya pembelian mata bor berkurang dibanding dengan mata bor yang lama sebesar 77.78 %.

Kata kunci : *drilling, optimasi, dan desain.*

ABSTRACT

To meet the increasing number of production demands and the demand for faster processing time in the process of making bolt holes in the flange companion components, then the right method and cutting tools are used to meet these demands. In practice, application cutting tool elements, very influential on the quality and quantity of products. The purpose of this study is to save processing time and purchase cost of the drill bit in the flange companion production process, as well as compare the process with the old drill bit to the new one by taking into account the effects of changes in drill bit design, machine parameters to the production process, and production results. The method used in this study, by improving the quality of products and processes at the same time, so as to reduce costs and resources to a minimum, as well as knowing the optimal conditions of machining parameters and knowing the performance of machining parameters. The result of the modification of the drill bit for the process of making bolt holes production time is reduced and the bottle neck is reduced. The drill bit used with machining parameters spindle speed (n): 1675, feed (f): 0.048, depth of cut (H): 12.5, and cutting condition: coolant. For cutting speed (V_c): 62.21 m / min, feeding speed v_f : 80.4 mm / min, and cutting time (T): 0.176 minutes (1 hole). The production process time is reduced from ± 1.97 minutes to ± 1.4 minutes. There is a cost reduction ($cost / pcs$) of Rp 2,804, a monthly cost reduction of Rp 13,815,308, an annual cost reduction of Rp 165,783,696, so the cost of purchasing a drill bit is reduced compared to the old drill bit by 77.78%.

Keywords : *drilling, optimization, and design.*

I. PENDAHULUAN

Proses *drilling* merupakan sebuah proses pemesinan dengan tujuan untuk membuat lubang pada benda kerja dan proses merupakan proses yang sederhana daripada proses pemesinan lain ini. Pada sebuah bengkel atau *workshop*, biasanya

proses ini disebut dengan proses *drill*. Proses *drilling* dapat diartikan sebuah proses untuk membuat lubang dengan alat yang dinamakan mata bor. Sedangkan untuk proses pembesaran lubang (*boring*) merupakan sebuah proses meluaskan atau memperbesar lubang yang bisa

dilakukan dengan batang bor yang tidak hanya dilakukan pada mesin bor, tetapi dapat juga dilakukan menggunakan mesin bubut, mesin *frais*, atau mesin bor [1,2].

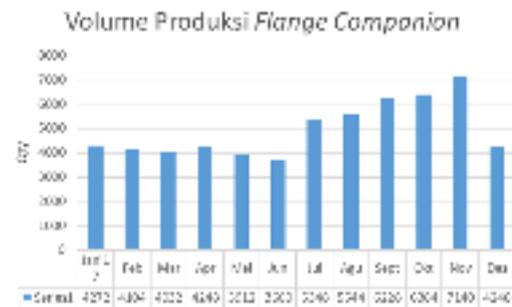
Dalam prosesnya kita harus menentukan mata bor yang digunakan dengan material yang akan diproses. Detail proses *drilling* bila mata bor dan benda kerja saling bertemu, serta salah satu dari keduanya harus dalam keadaan berputar [3].

Dalam manufaktur pemesinan di Indonesia, pemikiran serta inovasi baru sangat dibutuhkan karena bertujuan untuk mempermudah pekerjaan manusia. Untuk itu perlu dipelajari ilmu teknik, khususnya teknik mesin yang selalu dihadapkan pada sebuah pemikiran untuk menciptakan atau memodifikasi suatu hal yang berhubungan dengan suatu proses. Disamping dapat mempermudah pengerjaan suatu produk, juga diharapkan dapat mempercepat proses produksi.

Sebelum membahas lebih lanjut tentang modifikasi suatu alat ataupun proses, diperlukan sebuah pendekatan masalah. Menganalisa setiap masalah yang timbul dari berbagai kendala di setiap pengerjaan proses produksi. Modifikasi merupakan mengubah bentuk agar lebih baik dari bentuk awalnya dan lebih efisien dalam penggunaannya.

Di industri manufaktur komponen otomotif, proses *drilling* merupakan proses pemesinan yang penting, salah satunya komponen *flange companion* yang berfungsi untuk meneruskan putaran dari *propeller shaft* ke *drive pinion shaft*. Komponen ini mempunyai jumlah lubang baut sebanyak empat lubang sesuai dengan ukuran, tipe dan diameternya. Dalam proses pembuatan lubang baut untuk komponen tersebut menggunakan mata bor dengan spesifikasi standar pembuatan umum.

Seiring dengan jumlah permintaan produksi yang meningkat dan permintaan waktu proses yang lebih cepat, timbullah kendala-kendala dalam prosesnya, diantaranya mata bor cepat aus sehingga mempengaruhi konsumsi mata bor dan waktu produksi semakin bertambah karena pergantian tool. Tidak itu saja, untuk proses pembuatan lubang baut untuk komponen tersebut menggunakan mesin CNC *milling* Op 50 (mesin no 50), pada proses tersebut terjadilah *bottle neck*, sehingga mempengaruhi *output* produksi per hari. Berikut data permintaan produksi dan waktu proses untuk komponen *flange companion* dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Grafik data volume produksi *flange companion*

Gambar 1 menunjukkan volume produksi *flange companion* setelah bulan Juni meningkat, walaupun untuk bulan Desember menurun biasanya disebabkan hari kerja berkurang karena libur akhir tahun.

Tabel 1. Data waktu operasi proses *machining flange companion*

No	Mach No	Process Name	Main Time (Minutes)	
			Machine	Loading/Unloading
1	10	Turning Inner Diameter	1.69	0.25
2	20	Turning Outer Diameter	1.58	0.25
3	15	Turning Inner Diameter	1.68	0.25
4	25	Turning Outer Diameter	1.6	0.25
5	30	Induction Hardening	0.42	0.25
6	35	Broaching Inner Diameter	0.75	0.42
7	45	Finish Turning Joint Face	0.83	0.25
8	50	Drilling Bolt Hole	1.97	0.75
9	60	Grinding Outer Diameter	1.35	0.25
10	70	Lapping Outer Diameter	0.92	0.25
11	80	Crack Check	0.28	0.5

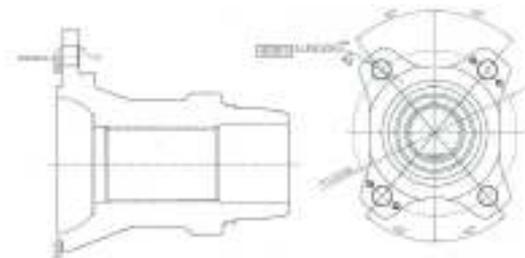
Tabel 1, pada mesin CNC *milling* Op 50 waktu proses pemesinannya lebih lama dibanding proses pemesinan dimesin lain, yaitu 1.97 menit dan proses *loading/unloading* 0.75 menit. Sehingga waktu proses pemesinan yang cepat sangat dibutuhkan demi produktivitas dan biaya pemesinan. Sehingga untuk memaksimalkan daripada hasil pengeboran maka dibutuhkan parameter pemesinan yang sesuai. Sehingga nantinya dapat diperoleh hasil yang optimal seperti waktu proses *drilling* yang pendek dan kondisi mata bor tersebut bisa dijaga agar tidak cepat mengalami aus/patah [2].

Dalam penelitian ini, dilakukan modifikasi bentuk mata bor dengan dievaluasi berdasarkan karakteristik kinerja seperti siklus waktu proses, keausan mata bor serta laju pelepasan material dan berkorelasi kuat dengan parameter pemotongan seperti kecepatan potong, besar pemakanan, kecepatan pemakanan dan putaran spindle. Dalam konteks ini, kedua parameter yaitu kecepatan pemotongan dan pemakanan dipilih sebagai parameter terikat dan parameter yang dapat dikontrol seperti siklus waktu proses [2].

II. METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini yang menjadi obyek penelitian adalah sebuah alat potong mata bor yang mempunyai fungsi untuk membuat lubang baut pada komponen *flange companion* dengan diameter 12.3 mm. Nantinya dengan adanya proses modifikasi mata bor ini diharapkan dapat mempercepat proses pembuatan lubang baut pada komponen *flange companion*, sehingga dapat mengurangi waktu *idle* pada mesin proses dibanding menggunakan mata bor sebelumnya, serta dapat mengurangi biaya pembelian mata bor untuk proses tersebut.

Komponen *flange companion* terbuat dari material besi FCD700.



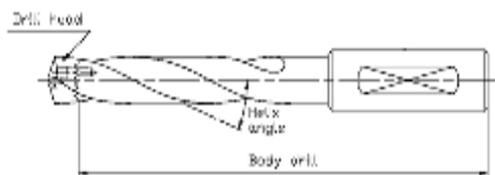
Gambar 2. Kompone *Flange Companion*

Untuk proses *drilling* dalam penelitian ini menggunakan mesin CNC *milling* dari Okuma MX-45VA dengan spesifikasi:

Kontrol sistem	: OSP-U10M
Dimensi meja	: 760 x 460 mm
Kecepatan rotasi spindle	: 7000 rpm
Tenaga motor utama	: 4.5 kw

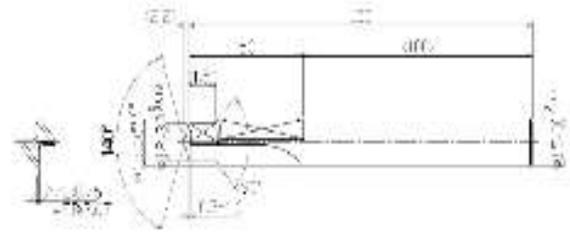
Mata bor awal/lama dari PT. S kode SMDT1230MTL dengan spesifikasi:

Bodi mata bor	: besi baja
Mata potong (<i>insert</i>)	: karbida
Detail coating	: DEX coating



Gambar 3. Body Mata Bor SMDT dan Insert Mata Bor

Mata bor baru dengan material karbida sudah ditentukan yaitu K10 dengan *coating* TiAlN.



Gambar 4. Mata Bor Baru

Mata bor disiapkan 4 pilihan :

- Mata bor A = Mata bor *step straight flute* dengan sudut *cutting edge* 135°
- Mata bor B = Mata bor *step straight flute* dengan sudut *cutting edge* 140°
- Mata bor C = Mata bor *step straight flute* dengan 2 sudut pembebas + sudut *cutting edge* 135°
- Mata bor D = Mata bor *step straight flute* dengan 2 sudut pembebas + sudut *cutting edge* 140°

Berikut beberapa elemen pada proses pengeboran (*drilling*) dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut [4].

Benda kerja :

$$l_w = \text{panjang pemotongan benda kerja (mm)}$$

Mata bor :

$$d = \text{diameter mata bor (mm)}$$

$$K_r = \text{sudut potong utama (}^\circ\text{)}$$

$$= \frac{1}{2} \text{ sudut ujung (point angle)}$$

Mesin bor :

$$n = \text{putaran spindle utama (rpm/min)}$$

$$V_f = \text{kecepatan pemakanan (mm/min)}$$

Untuk menghitung kecepatan potong dapat dihitung menggunakan rumus [5]:

$$V_c = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} \quad (\text{m/min}) \quad (1)$$

Untuk menghitung gerak makan permata potong dapat dihitung menggunakan rumus [4]:

$$f_z = \frac{V_f}{z \cdot n} \quad (\text{mm/rev}) \quad (2)$$

Untuk menghitung kedalaman potong dapat dihitung menggunakan rumus [4]:

$$a = d/2 \quad (\text{mm}) \quad (3)$$

Untuk menghitung waktu pemotongan dapat dihitung menggunakan rumus [4]:

$$t_c = l_t / V_f \quad (\text{min}) \quad (4)$$

dimana:

$$l_t = l_v + l_w + l_n \quad (\text{mm})$$

$$l_n = (d/2) \tan K_r \quad (\text{mm})$$

Untuk menghitung kecepatan penghasilan geram dapat dihitung menggunakan rumus [4]:

$$Z = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot V_f}{4 \cdot 1000} \quad (\text{cm}^3/\text{m}) \quad (5)$$

Dalam proses pengeboran, mata bor umumnya memiliki dua mata potong. Gaya Salah satu gaya pemotongan pada mata bor dibagi menjadi dua komponen yaitu F_v (gaya potong) dan F_f (gaya makan) [4].

Untuk menghitung gaya potong pada proses pengeboran dapat dihitung menggunakan rumus [4]:

$$F_v = \frac{F_s \times \cos(\eta - \gamma_0)}{\sin \phi \cdot \cos(\phi + \eta - \gamma_0)} \quad (6)$$

Dimana :

- F_s : gaya geser (N)
- $\tau_{shi} \times A_{shi}$
- τ_{shi} : Tegangan geser material
- A_{shi} : Luas penampang bidang geser
- ϕ : Sudut geser
- η : Sudut gesek
- γ_0 : Sudut geram

Untuk gaya makan (F_f) pada proses pengeboran dapat dihitung menggunakan rumus [4]:

$$F_f = F_v \times \tan(\eta - \gamma_0) \quad (7)$$

dimana :

- F_v : gaya potong (N)
- η : Sudut gesek
- γ_0 : Sudut geram

Dalam proses pengeboran, daya potong mata bor ditentukan oleh gaya pemakanan dengan kecepatan pemakanan, atau momen punter pada mata bor dengan kecepatan putarannya, jadi daya potong untuk proses pengeboran dapat dihitung menggunakan rumus [4]:

$$N = \frac{M_t \cdot 2\pi \cdot n}{60000000} \quad (8)$$

dimana :

- N : daya potong (kW)
- M_t : momen punter (Nmm)

$$M_t = F_f \cdot \frac{d}{2} \quad (9)$$

- n : putaran spindle (rpm)

Kekasaran memainkan peranan yang penting dalam menentukan kualitas produk. Proses pemesinan tentang kualitas kekasaran permukaan yang paling umum adalah harga kekasaran rata-rata (R_a) yaitu, sebagai standar

kualitas permukaan dari hasil pemotongan maksimum yang diijinkan. Spesifikasi, kekasaran permukaan untuk R_a pada produk *flange companion* adalah $R_a < \pm 4,0 \mu\text{m}$, nilai kekasaran permukaan yang merupakan standar spesifikasi industri dari hasil operasi mesin Milling Tegak, dengan nilai maksimum $4,0 \mu\text{m}$ (N8) [6].

Kualitas permukaan dari proses pemesinan dapat dipengaruhi beberapa faktor diantaranya jenis proses pemesinan, parameter pemotongan dan penggunaan cairan pendingin, baik jenis ataupun perbandingan komposisi antara cairan pendingin itu sendiri dengan air [4].

Perhitungan penyimpangan kekasaran permukaan dapat dihitung menggunakan rumus [7]:

$$q = \frac{1}{n} \sum_{qk=1}^n qk \quad (10)$$

Dimana :

- $S(qk)$: Standar deviasi
 - q : Nilai rata-rata penyimpangan
 - qk : Nilai penyimpangan
 - n : Jumlah pengukuran
- Perhitungan simpangan baku (qk)

$$s(qk) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n (qk - q)^2} \quad (11)$$

Perhitungan ketidakpastian tipe A

$$U_a = \pm \frac{s(qk)}{\sqrt{n}} \quad (12)$$

Dimana :

- U_A : Ketidakpastian tipe A
 - $S(qk)$: Diambil dari simpangan baki terbesar
- Perhitungan ketidakpastian tipe B
- Ketidakpastian B1 (U_{B1}) diambil dari sertifikat kalibrasi alat ukur.
- Ketidakpastian B2 (U_{B2}) diambil dari resolusi alat ukur yang dipakai.
- Ketidakpastian B3 (U_{B3}) diambil dari mekaisme system alat ukur.
- Ketidakpastian B4 (U_{B4}) diambil dari perbedaan suhu pengukuran.
- Jadi ketidakpastian gabungan :

$$U_c = \pm \sqrt{U^2 a + U^2 b_1 + U^2 b_2 + U^2 b_3 + U^2 b_4} \quad (13)$$

Perhitungan ketidakpastian terentang

$$U = \pm(k \cdot U_c) \quad (14)$$

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada proses *drilling* lubang baut komponen flange companion diperlukan mata bor yang memiliki ketahanan aus yang lama dan dapat memperses dengan waktu yang lebih cepat dibanding dengan yang lama. Elemen proses pengeboran yang akan dianalisa meliputi kecepatan potong, kecepatan pemakanan, kedalaman pemakanan, waktu pemakanan dan kecepatan penghasilan geram serta kekasaran permukaan hasil pengeboran.

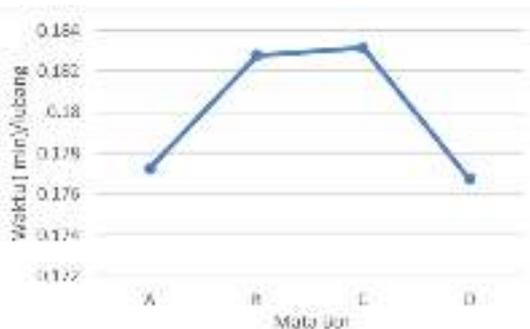
Tabel 2. Hasil Perhitungan parameter untuk mata bor baru

Mata Bor	n	f	th	Vc (m/min)
A	1665	0.049	12.5	57.96
B	1690	0.046	12.5	64.72
C	1680	0.047	12.5	62.99
D	1675	0.048	12.5	62.21

Mata Bor	Vf (mm/min)	a (mm)	T (min)	Z (cm ³ /min)
A	81.585	6.15	0.177	9.69
B	77.74	6.15	0.182	9.23
C	78.96	6.15	0.183	9.38
D	80.4	6.15	0.176	9.55

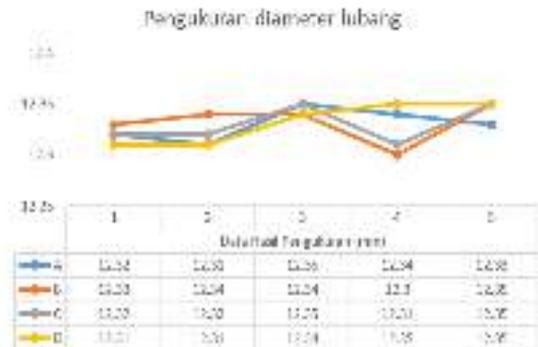
Mata Bor	A (mm ²)	τ (N/mm ²)	Fs (N)
A	0.1507	404.25	94.76
B	0.1415	404.25	88.96
C	0.1445	404.25	90.89
D	0.1476	404.25	92.83

Mata Bor	Fv (N)	Ff (N)	Mt (Nmm)	N (kW)
A	316.14	147.42	906.63	0.34
B	296.79	138.39	851.12	0.32
C	303.24	141.40	869.63	0.33
D	309.69	144.41	888.13	0.33



Gambar 5. Grafik waktu pengeboran dengan mata bor baru

Untuk pengukuran diameter lubang Ø12.3 + 0.15 mm menggunakan alat jangka sorong. Berdasarkan hasil penelitian berikut:



Gambar 6 Grafik hasil pengukuran lubang no 2 pada tiap sampel mata bor terhadap produk

Nilai kekasaran permukaan yang didapat dari hasil penelitian pada kondisi perbedaan kondisi geometri mata bor serta parameter pemesian, berpengaruh pada variasi hasil kekasaran permukaan lubang baut.

Tabel 3. Data Pengukuran Kekasaran Permukaan

Mata bor	Posisi lubang	Data Hasil Pengukuran (µm)				
		1	2	3	4	5
A	2	2.485	2.495	2.501	2.477	2.533
B	2	2.679	2.846	2.65	2.65	2.667
C	2	2.68	2.609	2.499	2.531	2.544
D	2	2.807	2.799	2.753	2.812	2.793

Rata-rata penyimpangan kekasaran permukaannya dapat ditentukan menggunakan persamaan:

$$q = \frac{1}{n} \sum_{qk=1}^n qk \quad (15)$$

Berikut adalah tabel hasil pengukuran q dan qk:

Tabel 4. Data Pengukuran

Mata bor	Posisi lubang	q (µm)	s(qk) (µm)
A	2	2.4982	0.0127
B	2	2.6984	0.0819
C	2	2.5726	0.0707
D	2	2.7928	0.0234

Perhitungan ketidakpastian tipe A dengan persamaan:

$$Ua = \pm \frac{s(qk)}{\sqrt{n}} \quad (16)$$

Berdasarkan data diatas, maka didapat perhitungan untuk *cost reduction* yang diperoleh dari penelitian ini dengan rata-rata *order* perbulan adalah 4927 produk. Untuk alat potong, *cost reduction* maka didapat dari selisih biaya yang dibutuhkan untuk membuat 1 produknya (*cost/part*) dengan menggunakan alat potong yang baru dibandingkan dengan alat potong yang lama. Maka biaya proses per produk (*cost/part*) ini sendiri didapat dari [8]:

$$\text{Biaya proses per produk (cost/part)} = \text{harga cutting tool} / \text{lifetime tool}$$

Kemudian untuk *cost reduction* perbulan serta per tahun dapat dihitung sebagai berikut [9]:

$$\text{Cost reduction per bulan} = \text{Biaya proses per produk} \times \text{rata-rata jumlah produksi per bulan}$$

$$\text{Cost reduction per tahun} = \text{Cost reduction per bulan} \times 12$$

Berikut perhitungan *cost reduction* Sebelum



Diketahui :
 Harga tool : Rp 1,081,789
 Total : Rp 1,081,789
 Lifetime : 300 lubang
 Regrind :-
 $\text{Cost/produk} = \text{harga cutting tool} / \text{lifetime tool}$
 $\text{Cost/produk} = 1,081,789/300$
 $\text{Cost/produk} = 3,605$ (rupiah)

Sesudah



Diketahui :
 Harga tool : Rp 1,922,000
 Total : Rp 1,922,000
 Lifetime : 600 lubang
 Regrind 3x : 1800 lubang
 $\text{Cost/produk} = \text{harga cutting tool} / \text{lifetime tool}$
 $\text{Cost/produk} = 1,081,789/2400$

$\text{Cost/produk} = 801$ (rupiah)
 $\text{Cost reduction} = \text{Rp } 3,605 - \text{Rp } 801$
 $= \text{Rp } 2,804$
 $\text{Cost reduction/bulan} = \text{Rp } 2,804 \times 4927$
 (rata-rata produksi/bulan)
 $= \text{Rp } 13,815,308$
 $\text{Cost reduction/tahun} = \text{Rp } 13,815,308 \times 12$
 $= \text{Rp } 165,783,696$

IV. KESIMPULAN

Dari hasil dan pembahasan penelitian diatas maka dapat diambil beberapa hal yang menjadi kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil modifikasi mata bor untuk proses pembuatan lubang baut memenuhi tahapan desain sesuai dengan kebutuhan, yaitu dengan menggunakan metode *FMEA (Failure Mode and Effects Analysis)*, sehingga didapatkan hasil waktu proses produksi berkurang serta *bottleneck* berkurang. Evakuasi chip lebih baik dari pada mata bor sebelumnya, dengan flute lurus memungkinkan chip keluar dengan cepat dibanding bentuk flute spiral. Tool life lebih bagus daripada mata bor sebelumnya, dengan perubahan desain geometri mata bor gesekan antara mata bor dan benda kerja berkurang. Efisiensi waktu tercapai dengan menggunakan mata bor baru, sehingga waktu proses produksi dapat berkurang dan dapat memperlancar alur produksi.
2. Dari penelitian maka diperoleh mata bor yang digunakan adalah mata bor D, dengan parameter pemesinan spindle speed (n) : 1.675 rpm, feed (f) : 0,048, depth of cut (th) : 12,5 mm, dan cutting condition : coolant. Untuk kecepatan potong (Vc) : 62,21 m/menit, kecepatan pemakanan Vf : 80,4 mm/menit, dan waktu pemotongan (T) : 0,176 menit (1 lubang). Waktu proses produksi berkurang dari $\pm 1,97$ menit/produk menjadi $\pm 1,4$ menit/produk.
3. Dengan adanya modifikasi alat potong maka terdapat *cost reduction (cost/part)* Rp 2.804 , *cost reduction* per bulan Rp 13.815.308 , *cost reduction* per tahun Rp 165.783.696, sehingga biaya pembelian mata bor berkurang dibanding dengan mata bor yang lama sebesar 77,78 %.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Waluyo, J. T. Mesin, and F. T. Industri, "Keausan Pahat Bor Dan Parameter Pengeboran Pada Proses," *Keausan Pahat Bor Dan Param. Pengeboran Pada Proses*, pp. 138–144, 2010.
- [2] T. B. Santoso, P. Studi, T. Mesin, and U.

- ...
- Pancasila, "Optimasi Parameter Pemotongan Proses Drilling Terhadap Kekasaran Permukaan Dan Laju Pelepasan Material," vol. 1, pp. 117–124, 2018.
- [3] B. A. B. Ii, T. Pustaka, and D. A. N. Landasan, "Gambar II. 1 Bor Tangan Pneumatik Tranmax," pp. 1–20, 2018.
- [4] M. Perwira, "Rancang Bangun Mesin *Drill* Dengan 6 Spindel Untuk Proses Pelubangan Sandal *Design*," 2014.
- [5] J. T. Mesin and P. N. Lhokseumawe, "Analisa Perhitungan Waktu dan Biaya Produksi pada Proses *Drilling*," vol. 02, no. 02, pp. 1–6, 2015.
- [6] B. Atedi and D. Agustono, "Standar Kekasaran Permukaan Bidang Pada Yoke Flange Menurut ISO R.1302 dan DIN 4768 Dengan Memperhatikan Nilai Ketidakpastiannya," *Media Mesin Maj. Tek. Mesin*, vol. 6, no. 2, pp. 63–69, 2015.
- [7] Rinto, Ryan Krista, Analisis Implementasi Kaizen Project untuk Meningkatkan Kapasitas Produksi *Body Caliper R2* di *Machining Line body Caliper* PT. Tri Dharma Wisesa. 2010.
- [8] Robin E. McDermott, Raymond J. Mikulak, and Michael R. Beauregard, *The Basics of FMEA*. 2009.
- [9] Rahmadi, Fajar. Optimasi Parameter Proses Pemesinan CNC *Milling* Terhadap Kekasaran Permukaan Baja ST 40 Dengan Metode Taguchi. 2010.