

Perbaikan Desain Produk Reamer Menggunakan Metode Taguchi Untuk Memaksimalkan *Durability*

Hery Hamdi Azwir^{1*}, Eko Fitria Wardani², Hirawati Oemar³

^{1,2}Program Studi Teknik Industri, Universitas President, Jababeka, Cikarang, Bekasi 17530

³Program Studi Teknik Industri, Universitas Islam Bandung, Bandung 40191

E-mail: hery.azwir@president.ac.id

ABSTRAK

Sebuah perusahaan yang memproduksi cutting tool mempunyai produk dengan nama reamer, yang sudah diproduksi sejak tahun 2015. Perusahaan mengalami masalah terhadap produk reamer ini, karena margin keuntungan yang terus berkurang yang disebabkan naiknya biaya material dan gaji karyawan setiap tahun dan juga keluhan dari pelanggan karena durabilitas yang dianggap rendah dan harga yang mahal. Pada tahun 2017 perusahaan hanya memperoleh keuntungan sekitar Rp.14.000 per reamer sedangkan harga reamer tidak mungkin dinaikkan. Disisi lain pelanggan meminta perbaikan umur produk dalam menghasilkan lubang, saat ini hanya mampu menghasilkan ± 690 lubang per reamer. Setelah melalui proses desain ulang produk dengan menggunakan Metode Taguchi, dapat dikembangkan produk reamer yang mampu memaksimalkan profit perusahaan dan juga meningkatkan durabilitasnya. Dengan pemilihan kombinasi parameter dan level yang terbaik menggunakan metode Taguchi saat melakukan trial didapatkan kenaikan umur produk dalam menghasilkan lubang naik menjadi ± 1036 lubang per reamer dan keuntungan sebesar Rp 195.000 per reamer.

Kata Kunci: Perbaikan, Reamer, ANOVA, Metode Taguchi, DoE.

ABSTRACT

A company that manufactures cutting tools has a product named reamer, which has been in production since 2015. The company experiences problems with this reamer product because profit margins continue to decrease due to rising material costs and employee salaries each year and also complaints from customers due to durability considered low and expensive prices. In 2017 the company only made a profit of around Rp.14,000 per reamer while the price of a reamer is not possible to increase. Besides, the customer also requested an improvement in the life of the product in producing holes, currently only able to produce ± 690 holes per reamer. After going through the product redesign process using the Taguchi Method, reamer products can be developed that can maximize the company's profit and also increase its durability. By selecting the best combination of parameters and levels during the trial, the increase in product life in producing a hole rises to ± 1036 holes per reamer and a profit of Rp 195,000 per reamer.

Keywords: *improvement, reamer, ANOVA, Taguchi method, DoE.*

1. PENDAHULUAN

Agar perusahaan dapat tumbuh dan berkembang maka filosofi perbaikan secara kontinyu yang melibatkan seluruh fungsi dari manajemen tingkat atas sampai manajemen tingkat bawah menjadi satu kewajiban yang harus disadari penuh oleh setiap perusahaan sehingga mampu bertahan dalam menghadapi persaingan yang semakin ketat di era globalisasi ini.

Salah satu bentuk implementasinya adalah desain produk harus selalu sesuai dengan yang diharapkan customer dan juga sesuai dengan kemampuan perusahaan sehingga dapat mencapai tujuan yang diharapkan yaitu peningkatan keuntungan usaha.

Fuji Presisi Tool Indonesia (FPTI) merupakan perusahaan manufaktur yang bergerak pada bidang pembuatan spesial cutting tool, holder jig and fixture untuk pasar domestik dan luar negeri, FPTI berdiri sejak 12 November 1993. Perusahaan ini beralamat di EJIP Plot 3B-2 Cikarang, Bekasi.

Salah satu customer FPTI yang dalam waktu tiga tahun terakhir selalu membeli produk jenis Reamer mengeluhkan harga yang diberikan FPTI karena sejak pertama kali dipesan sampai sekarang harga Reamer tidak pernah turun sedangkan customer dituntut untuk melakukan cost reduction. Dengan disain produk saat ini, FPTI merasa kesulitan untuk menurunkan harga karena biaya bahan baku utama selalu mengalami kenaikan setiap tahunnya sehingga setiap tahunnya perusahaan mengalami penurunan keuntungan. Hal lain yang dikeluhkan customer adalah mengenai durability produk yang sangat pendek (dalam satuan jumlah lubang yang dihasilkan) karena produk ini digunakan untuk mengerjakan pembesaran lubang oleh customer.

Penelitian ini bertujuan untuk medisain ulang produk reamer yang dapat menghasilkan durabilitas yang lebih baik (jumlah lubang yang dihasilkan meningkat) dan lebih murah sehingga terjadi peningkatan margin keuntungan penjualan produk

2. STUDI PUSTAKA

Permasalahan tersebut diatas memberikan ide untuk melakukan disain ulang produk. Salah satu metode yang cukup populer yang dapat membantu mendapatkan disain yang optimum adalah menggunakan metode

Taguchi (Mori & Tsai, 2011) dan (Roy, 2010) Melalui metode ini dapat ditemukan kombinasi parameter beserta level dan nilai yang terbaik untuk menghasilkan reamer yang durabilitynya lebih tinggi (jumlah lubang yang dihasilkan lebih banyak) namun dengan harga produk yang relatif tidak berbeda atau bahkan bisa lebih murah.

Cukup banyak penelitian yang sudah dilakukan untuk disain optimum menggunakan metode Taguchi. Beberapa diantaranya adalah: Optimasi parameter proses untuk pengelasan aluminium dan tembaga (Eslami et al., 2019), studi eksperimental ekstrak gula dari carob (Durmaz & Ozel, 2019), Optimasi parameter proses annealing kawat baja (Yang & Lu, 2018), implementasi optimasi bee colony untuk menentukan daya optimal output dari semua unit pembangkit untuk meminimalkan total biaya bahan bakar sambil menjaga kendala operasional dan kebutuhan beban (Tu et al., 2018), optimasi parameter proses untuk menghilangkan tembaga dan nikel dengan menumbuhkan *Aspergillus sp.* (Pundir et al., 2018), peningkatan mutu proses pembuatan cat solvent (Azwir & Mufadhol, 2018), optimasi parameter mesin laser cutting terhadap kekasaran dan laju pemotongan material (R. R et al., 2016), desain suspensi robust (Mitra et al., 2016), optimasi parameter coffee roasting untuk mendapatkan roasted bean dengan tingkat kematangan medium roast (A. A. R et al., 2015), perencanaan jumlah material tambahan yang optimum dalam memproduksi semen untuk meminimalkan biaya produksi (Irawati et al., 2015), optimasi parameter aliran dan geometris dalam saluran persegi panjang untuk sistem sistem heat exchanger (Chamoli, 2015), optimasi parameter proses dalam pengolahan aduk gesek Mg murni (Ahmadkhaniha et al., 2015).

3. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini, data awal yang digunakan sebagai dasar penelitian adalah data dari penjualan produk, data hasil proses produksi di lini pelanggan, dan data spesifikasi produk reamer. Semua data awal ini digunakan sebagai bahan diskusi dengan customer untuk menampung apa yang menjadi harapannya.

Hasil meeting dengan customer digunakan sebagai dasar untuk memperbaiki produk yang sudah ada dengan

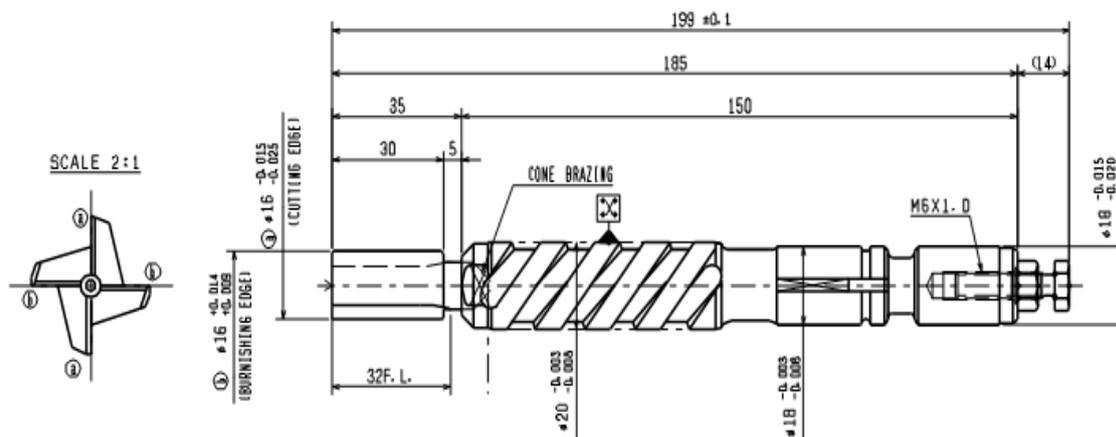
menerjemahkannya ke dalam beberapa konsep desain. Proses berikutnya mengikuti apa yang dijelaskan dalam metodologi product design and development (Ulrich & Eppinger, 2016), atau singkatnya terdiri dari enam tahapan yaitu: perencanaan produk, pengembangan konsep, perancangan level sistem, perancangan detil, pengujian dan perbaikan, dan diakhiri produksi awal.

Konsep desain merupakan terjemah teknis dari apa yang diinginkan customer. Pemilihan konsep desain terbaik dilakukan melalui metode concept screening dan concept scoring. Setelah didapatkan konsep desain yang terbaik maka dilanjutkan dengan membandingkan desain yang lama dan konsep desain yang baru dari sudut pandang spesifikasi dan biaya atau harga jual. Kemudian dianalisis faktor apa saja yang

Setelah seluruh eksperimen dilaksanakan maka dilanjutkan dengan analisis hasil eksperimen dengan ANOVA dengan bantuan software Minitab untuk melihat signifikansi hasilnya. Dari software Minitab didapatkan susunan ortogonal dari hasil produk yang dihasilkan kemudian dilakukan uji hipotesis ANOVA dua arah untuk mengetahui faktor mana yang memiliki pengaruh paling signifikan terhadap hasil eksperimen yang dilakukan dan kombinasi parameter mana yang terbaik dimana dapat menghasilkan lubang yang paling banyak.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN
Spesifikasi current reamer

Reamer adalah salah satu jenis cutting tool dan merupakan produk utama dari FPTI, fungsi reamer adalah untuk membuat lubang



Gambar 1. Produk Current Reamer

mempengaruhi durabilitas.

Berikutnya konsep desain yang terpilih dilanjutkan ke proses produksi untuk pembuatan produk nyata. Selanjutnya untuk memaksimalkan performa durabilitas produk maka dilakukan sejumlah percobaan yang selanjutnya dianalisis dengan menggunakan metode Taguchi (Roy, 2001) (Roy, 2010). Pertama adalah melakukan identifikasi variabel bebas dan tak bebas. Kedua, pemisahan faktor kontrol dan faktor gangguan. Faktor kontrol juga disebut sebagai parameter percobaan dan diberikan nilai dan levelnya. Ketiga, penentuan derajat kebebasan untuk mencari jumlah minimum eksperimen. Keempat, pemilihan susunan ortogonal kombinasi parameter level beserta nilainya, kemudian dilakukan percobaan dengan parameter dan level.

presisi yang sudah ada awalan (pre hole) yang digunakan pada lini produksi. Disainnya dapat dilihat pada Gambar 1.

Data Kondisi Awal

Data pada Tabel 1 ini didapatkan dari lini produksi customer X sebelum produk reamer dilakukan perbaikan pada periode bulan Mei sampai Juli 2017.

Karena kebutuhan cost reduction, lini produksi customer X yang menggunakan reamer tersebut meminta agar durabilitas dalam arti jumlah lubang yang dapat dihasilkan dapat ditingkatkan dari kondisi sekarang, dimana penggunaan satu buah reamer saat ini hanya mampu menghasilkan rata-rata ±688 lubang sebagaimana diperlihatkan dalam Tabel 2.

Data penjualan reamer dapat dilihat pada Tabel 3 dimana harga per produknya adalah 1.230.000 rupiah.

Analisis

Proses selanjutnya adalah menganalisis reamer existing yang sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1. Analisis yang dilakukan meliputi material yang digunakan dan konsep mata potong reamer yang digunakan.

Tabel 1. Hasil Proses Reamer

Produksi	Day	Tanggal	Jumlah (lubang)
1	Senin - Jumat	08-Mei-17 - 12-Mei-17	3436
2	Senin - Jumat	15-Mei-17 - 19-Mei-17	3417
3	Senin - Jumat	12-Juni-17 - 16-Juni-17	3451
4	Senin - Jumat	26-Juni-17 - 30-Juni-17	3443
5	Senin - Jumat	17-Juli-17 - 21-Juli-17	3464
Total			17211

Tabel 2. Data Pemakaian Reamer

Bulan	Banyak Pemakaian (pcs)	Jumlah produk (holes)
Mei	40	27.494
Juni	39	26.803
Juli	40	27.585

Tabel 3. Data Penjualan Reamer

Bulan	Jumlah penjualan (Rupiah)	Jumlah produk (holes)
Mei	49.200.000	27.494
Juni	47.920.000	26.803
Juli	49.200.000	27.585

A. Identifikasi Kebutuhan Pelanggan

Dalam tahap ini, dilakukan meeting antara anggota tim pengembang dengan pelanggan yang bertujuan untuk menggali informasi yang diinginkan pelanggan dan tugas utama tim pengembang adalah menerjemahkan kebutuhan pelanggan dari setiap pernyataan yang diberikan. Tabel 4 adalah kebutuhan pelanggan terhadap reamer, kemudian dari kebutuhan pelanggan tersebut diberikan tingkat kepentingan, dimana 1 adalah kebutuhan prioritas sampai 3 adalah kebutuhan pelengkap.

Tabel 5 adalah penjelasan dari kebutuhan pelanggan yang lebih detail, sehingga kebutuhan pelanggan dapat diukur dan dijadikan spesifikasi produk reamer. Tabel 6 adalah gabungan antara kebutuhan pelanggan dengan daftar metrik sehingga dari Tabel tersebut dapat diketahui mana yang mungkin dijadikan konsep pengembangan produk

B. Concept Generation and Selection

Tahap ini adalah kegiatan mencari konsep yang terbaik diantara konsep yang diberikan oleh anggotanya berdasarkan kebutuhan pelanggan, konsep yang terbaik akan dilanjutkan untuk pembuatan produk reamer. Tabel 6 dan 7 merupakan ide tim pengembang, dimana produk pembanding adalah produk current reamer, ide akan diberikan “+” artinya ada nilai lebih dari current reamer, jika “0” berarti konsepnya sama dengan current reamer dan jika “-“ maka konsep yang diberikan tidak lebih baik dari current reamer

Tabel 4. Kebutuhan Pelanggan

No.	Product	Need	Imp.
1	Reamer	Mudah dipasang	3
2		Saat dipegang tidak banyak sudut tajam	3
3		Mata potong tidak mudah tumpul	1
4		Reamer tidak mudah patah	1
5		Chip mudah keluar dan tidak menyumbat saat proses	2
6		Tidak menghasilkan lubang yang oval	3
7		Hasilnya produk halus	3
8		Hasil produk tidak taper	1
9		Tidak ada bagian reamer yang nabrak dengan work piece	1
10		Tidak mudah karat	3
11		Perawatan mudah	3
12		Panjang reamer dapat di setting	2
13		Tidak mudah lepas saat digunakan	1
14		Dapat digunakan dalam putaran tinggi	2
15		Mempunyai mata potong yang tajam	1
16		Dapat di regrinding dengan mudah	3

Tabel 5. Daftar Metrik

Matrik No.	Need Number	Matrix	Imp.	Units
1	3,4,7,15,16	Dengan mata potong carbide K10	1	Unit
2	4,5,7,14	Mekanisme flute pada mata potong 32 F.L	2	Unit
3	1,13,14	Toleransi shank Ø18h7	3	Mm
4	2	Pada proses produksi diberi C0.3mm	3	Mm
5	4,6,8	Kesejajaran yang bagus ±0.005mm	1	Mm
6	4,5,9	Pengecekan dengan work piece saat design	1	Mm
7	10,11	Memberikan blackening pada produk	1	Subj.
8	12	Menambahkan bolt M6	2	Unit

Tabel 6. Link Metric

Need	Metrik							
	Dengan mata potong carbide K10	Mekanisme flute pada mata potong 32 FL	Toleransi shank Ø18h7	Pada proses produksi diberi C0.3mm	Kesejajaran yang bagus ±0.005mm	Pengecekan dengan work piece saat design	Memberikan blacken pada produk	Menambahkan bolt M6
Mudah dipasang			O					
Saat dipegang tidak banyak sudut tajam				O				
Mata potong tidak mudah tumpul	O							
Reamer tidak mudah patah	O	O			O	O		
Chip mudah keluar dan tidak menyumbat saat proses		O				O		
Tidak menghasilkan lubang yang oval					O			
Hasilnya produk halus	O	O						
Hasil produk tidak taper					O			
Tidak ada bagian reamer yang nabrak dengan work piece						O		
Tidak mudah karat							O	
Perawatan mudah							O	
Panjang reamer dapat di setting								O
Tidak mudah lepas saat digunakan			O					
Dapat digunakan dalam putaran tinggi		O	O					
Mempunyai mata potong yang tajam	O							
Dapat di regrinding dengan mudah	O							

Tabel 7. Screening

No.	Selection criteria	Member				Ref.
		A	B	C	D	
1	Mudah dipasang	0	0	0	0	0
2	Saat dipegang tidak banyak sudut tajam	0	0	0	0	0
3	Mata potong tidak mudah tumpul	0	+	+	0	0
4	Reamer tidak mudah patah	-	-	+	0	0
5	Chip mudah keluar dan tidak menyumbat saat proses	0	0	0	0	0
6	Tidak menghasilkan lubang yang oval	0	0	0	0	0
7	Hasilnya produk halus	0	+	+	0	0
8	Hasil produk tidak taper	0	0	0	0	0
9	Tidak ada bagian reamer yang nabrak dengan work piece	0	0	0	0	0
10	Tidak mudah karat	0	0	0	0	0
11	Perawatan mudah	0	0	0	0	0
12	Panjang reamer dapat di setting	0	0	0	0	0
13	Mempunyai mata potong yang tajam	+	+	+	0	0
14	Dapat di regrinding dengan mudah	-	0	0	0	0
	Plus	1	3	4	0	
	Same	13	12	12	16	
	Minus	2	1	0	0	
	Rank.	-1	2	4	0	
	Continue	No	Yes	Yes	No	

Panjang lintasan produk

$$= \frac{\text{kedalaman work piece}}{\text{feed per revolution cutting edge}} \times \pi \times \phi \text{ reamer}$$

Lubang yang dihasilkan

$$= \frac{\text{nilai lintasan produk berdasarkan material}}{\text{panjang lintasan}}$$

Old Reamer:

Panjang lintasan produk

$$= \frac{29}{0.2 : 4} \times \pi \times \phi 16 \text{ mm}$$

$$= 29153.98 \text{ mm}$$

Lubang yang dihasilkan

$$= \frac{20.000.000}{29153.98} = 686.0 \text{ hole}$$

Harga material shank	:	Rp.	20.000
Harga material carbide	:	Rp.	150.000
Biaya produksi	:	Rp.	1.116.000
Total biaya	:	Rp.	1.286.000
Harga jual reamer	:	Rp.	1.300.000
Keuntungan	:	Rp.	14.000

New Reamer:

Panjang lintasan produk

$$= \frac{29}{0.45 : 6} \times \pi \times \phi 16 \text{ mm}$$

$$= 19435.99 \text{ mm}$$

Lubang yang dikerjakan

$$= \frac{20.000.000}{19435.99} = 1029 \text{ hole}$$

Harga material shank	:	Rp.	21.000
Harga material carbide	:	Rp.	50.000
Biaya produksi	:	Rp.	1.035.000
Total biaya	:	Rp.	1.105.000
Harga jual reamer	:	Rp.	1.300.000
Keuntungan	:	Rp.	195.000

D. Metode Taguchi

Penggunaan metode ini dilakukan pada lini produksi customer saat melakukan kegiatan trial produk reamer. Sebelum eksperimen dilakukan, terlebih dahulu dilakukan identifikasi faktor kontrol dan faktor noise, kemudian dilanjutkan dengan penentuan level faktor kontrol sebagaimana diperlihatkan dalam Tabel 9.

Susunan ortogonal array didapatkan dari software minitab dengan memasukkan jumlah

parameter dan jumlah levelnya sehingga didapatkan ortogonal array pada Tabel 10. Dari susunan ortogonal tersebut dilakukan percobaan ke mesin dan didapatkan hasil yang dapat diperlihatkan oleh Tabel 11. Dari hasil percobaan yang telah didapatkan, selanjutnya dilakukan uji dengan Anova dua arah menggunakan Minitab yang hasilnya dapat dilihat pada Gambar 4. Selain didapatkan hasil seperti pada Gambar 4 juga didapatkan diagram main effects plot for Signal to noise ratios (SN ratios) pada Gambar 5.

Tabel 9. Nilai Level dari Faktor Kontrol

No.	Lambang	Parameter	Level			Satuan
			1	2	3	
1	A	Kedalaman pemakanan	0.20	0.45	0.60	fr, mm/rev
2	B	Proses bertahap	1.8	3.6	5.4	Mm
3	C	Putaran mesin	400	500	600	n, rpm
4	D	Coolant	1	3	5	Bar

Tabel 10. Susunan Ortogonal Array L9(3⁴)

Percobaan	Parameter			
	A	B	C	D
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

Tabel 11. Hasil Eksperimen

Trial	Parameter				Hasil percobaan (holes)	
	Kedalaman pemakanan (mm/rev)	Proses bertahap (mm)	Putaran mesin (rpm)	Coolant (bar)	1	2
1	0.20	1.8	400	1	1024	1029
2	0.20	3.6	500	3	1018	1031
3	0.20	5.4	600	5	1028	1020
4	0.45	1.8	500	5	1024	1029
5	0.45	3.6	600	1	1035	1034
6	0.45	5.4	400	3	1022	1029
7	0.60	1.8	600	3	1025	1022
8	0.60	3.6	400	5	1022	1026
9	0.60	5.4	500	1	1032	1024

Dalam Percobaan ini, karakteristik yang dicari adalah larger is the best yaitu kombinasi yang menghasilkan lubang terbanyak

Tabel 12. Hasil Yang Didapatkan Dari Percobaan Metode Taguchi

Trial	Parameter				Hasil percobaan (holes)		SNRA	Mean
	Kedalaman pemakanan (mm/rev)	Proses bertahap (mm)	Putaran mesin (rpm)	Coolant (bar)	1	2		
1	0.20	1.8	400	1	1024	1029	60,2271	1026,5
2	0.20	3.6	500	3	1018	1031	60,2097	1024,5
3	0.20	5.4	600	5	1028	1020	60,2058	1024,0
4	0.45	1.8	500	5	1024	1029	60,2271	1026,5
5	0.45	3.6	600	1	1035	1034	60,2946	1034,5
6	0.45	5.4	400	3	1022	1029	60,2186	1025,5
7	0.60	1.8	600	3	1025	1022	60,2017	1023,5
8	0.60	3.6	400	5	1022	1026	60,2059	1024,0
9	0.60	5.4	500	1	1032	1024	60,2397	1028,0

Tabel 12 memperlihatkan hasil percobaan secara lebih lengkap berikut SNRA dan Mean yang didapatkan dari percobaan menggunakan metode Taguchi dengan software minitab. Mean yang didapatkan selanjutnya di analisis menggunakan ANOVA Dua Arah dan hasilnya dapat dilihat pada Tabel 13, Dengan indikator nilai rasio yang tinggi menjadi faktor utama yang mempengaruhi percobaan sampai dengan nilai rasio terkecil

SNRA yang didapatkan juga dianalisis dengan ANOVA Dua Arah dan hasilnya dapat dilihat pada Tabel 14. Nilai rasio error percobaan sebesar $2,1 \times 10^{-7}\%$, dapat dikatakan bahwa keseluruhan variabel memiliki pengaruh yang signifikan terhadap hasil produk yang didapatkan (dalam satuan lubang) dimana untuk metode taguchi syarat kontribusi error adalah $\leq 50\%$.

Session

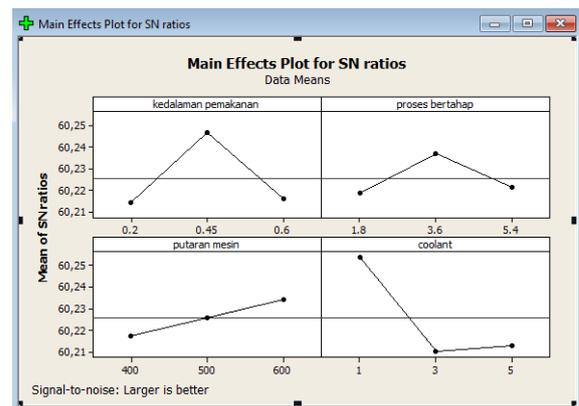
Taguchi Analysis: 1; 2 versus kedalaman pe; proses berta; putaran mesi; coolant
 Response Table for Signal to Noise Ratios
 Larger is better

	kedalaman pemakanan	proses bertahap	putaran mesin	coolant	
Level	60,21	60,22	60,22	60,25	
1	60,25	60,24	60,23	60,21	
2	60,22	60,22	60,23	60,21	
3	Delta	0,03	0,02	0,02	0,04
Rank	2	3	4	1	

Response Table for Means

	kedalaman pemakanan	proses bertahap	putaran mesin	coolant	
Level	1025	1026	1025	1030	
1	1029	1028	1026	1025	
2	1025	1026	1027	1025	
3	Delta	4	2	2	5
Rank	2	3	4	1	

Gambar 4. Hasil Analisis Taguchi Dengan Software Minitab



Gambar 5. Main Effects Plot For Signal To Noise Ratios (SN Ratios)

Dengan melihat pencapaian hasil pada Tabel 12 dimana kriterianya adalah larger is better maka didapatkan parameter yang terbaik yaitu dapat dilihat pada Tabel 15. Kemudian kombinasi parameter yang terbaik tersebut dimasukkan program pada mesin untuk melakukan produksi dan hasilnya dapat dilihat pada Tabel 16. Dari total jumlah lubang yang dapat dikerjakan mengalami kenaikan sebanyak 8.692 lubang.

Tabel 13. ANOVA Dua Arah Untuk Mean

Variabel	SS	Df	MS	F Rasio	SS'	Rasio
A	56,33	2	28,17	1,2	9,44	2,38
B	16,33	2	8,17	0,35	-30,56	-7,72
C	12	2	6	0,26	-34,89	-8,81
D	100,33	2	50,17	2,14	53,44	13,50
Error	211	9	23,44	1	398,56	100,65
SST	396	17	115,94	4,95	396	100
Mean	18960482	1				
Total	18960878	18				

Tabel 14. ANOVA Dua Arah Untuk SN Ratio

Variabel	SS	Df	MS	F Rasio	SS'	Rasio
A	$2,0 \times 10^{-3}$	2	$1,0 \times 10^{-3}$	1250274047	$2,0 \times 10^{-3}$	30,6
B	$5,7 \times 10^{-4}$	2	$2,9 \times 10^{-4}$	354367161	$5,7 \times 10^{-4}$	8,7
C	$4,3 \times 10^{-4}$	2	$2,1 \times 10^{-4}$	263142497	$4,3 \times 10^{-4}$	6,4
D	$3,6 \times 10^{-3}$	2	$1,8 \times 10^{-3}$	2222909160,8	$3,6 \times 10^{-3}$	54,3
Error	$7,3 \times 10^{-12}$	9	$8,1 \times 10^{-13}$	1,0	$1,4 \times 10^{-11}$	$2,1 \times 10^{-7}$
SST	0,01	17	$3,3 \times 10^{-3}$	4090692867	0,01	100
Mean	32644,086	1				
Total	32644,092	18				

Tabel 15. Kombinasi Parameter Yang Terbaik

Parameter	Level	Satuan
Kedalaman pemakanan	0.45	(mm/rev)
Proses bertahap	3.6	(mm)
Putaran mesin	600	(rpm)
Coolant	1	(bar)

Tabel 16. Perbandingan Hasil Proses Reamer Dalam Satuan Lubang

<i>Trials</i>	Day	Tanggal	Jumlah (lubang)	Tanggal	Jumlah Lubang
1	Senin -Jumat	08-Mei-17 - 12-Mei-17	3436	08-Jan-18 - 12-Jan-18	5176
2	Senin -Jumat	15-Mei-17 - 19-Mei-17	3417	15-Jan-18 - 19-Jan-18	5186
3	Senin -Jumat	12-Jun-17 - 16-Jun-17	3451	22-Jan-18 - 26-Jan-18	5173
4	Senin -Jumat	26-Jun-17 - 30-Jun-17	3443	29-Jan-18 - 02-Feb-18	5190
5	Senin -Jumat	17-Jul-17 - 21-Jul-17	3464	05-Feb-18 - 09-Feb-18	5178
Total			17211		25903

5. KESIMPULAN

Dengan melakukan desain ulang produk dan pemilihan parameter yang terbaik diperoleh kenaikan jumlah lubang yang dapat dihasilkan sebesar 50,50%. Selain itu dengan mengubah desain dan material mata potong ternyata dapat menurunkan biaya material dan biaya proses sehingga diperoleh kenaikan keuntungan sebesar 1292.86% atau menaikkan keuntungan hampir 13 kali lipat dari sebelumnya.

DAFTAR PUSTAKA

Ahmadkhaniha, D., Heydarzadeh Sohi, M., Zarei-Hanzaki, A., Bayazid, S. M., & Saba, M. (2015). Taguchi optimization of process parameters in friction stir processing of pure Mg. *Journal of Magnesium and Alloys*, 3(2), 168–172. <https://doi.org/10.1016/j.jma.2015.04.002>

Azwarz, H. H., & Mufadhhol, M. (2018). Peningkatan Mutu Proses Pembuatan Cat Solvent dengan Metode Taguchi di PT JI. *Jurnal Optimasi Sistem Industri*, 17(1), 46. <https://doi.org/10.25077/josi.v17.n1.p46-54.2018>

Chamoli, S. (2015). A Taguchi approach for optimization of flow and geometrical parameters in a rectangular channel roughened with V down perforated baffles. *Case Studies in Thermal Engineering*, 5, 59–69. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2015.01.001>

Durmaz, U., & Ozel, M. B. (2019). An Experimental Study on Extraction of Sugar from Carob Using with Taguchi Method. *Sakarya University Journal of Science*, 916–923. <https://doi.org/10.16984/saufenbilder.541940>

- Eslami, N., Hischer, Y., Harms, A., Lauterbach, D., & Böhm, S. (2019). Optimization of Process Parameters for Friction Stir Welding of Aluminum and Copper Using the Taguchi Method. *Metals*, 9(1), 63. <https://doi.org/10.3390/met9010063>
- Irawati, N., Putri, N. T., & Herryandie, A. (2015). Strategi Perencanaan Jumlah Material Tambahan Dalam Memproduksi Semen Dengan Pendekatan Taguchi Untuk Meminimalkan Biaya Produksi (studi Kasus Pt Semen Padang). *Jurnal Optimasi Sistem Industri*, 14(1), 176–191.
- Mitra, A. C., Jawarkar, M., Soni, T., & Kiranchand, G. R. (2016). Implementation of Taguchi Method for Robust Suspension Design. *Procedia Engineering*, 144, 77–84. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.05.009>
- Mori, T., & Tsai, S. (2011). *Taguchi Methods: Benefits, Impacts, Mathematics, Statistics and Applications*. ASME.
- Pundir, R., Chary, G. H. V. C., & Dastidar, M. G. (2018). Application of Taguchi method for optimizing the process parameters for the removal of copper and nickel by growing *Aspergillus* sp. *Water Resources and Industry*, 20, 83–92. <https://doi.org/10.1016/j.wri.2016.05.001>
- R, A. A., Puspitasari, N. B., & Arvianto, A. (2015). Menentukan Kombinasi Optimal Parameter Coffee Roasting Untuk Mendapatkan Roasted Bean Dengan Tingkat Kematangan Medium Roast Menggunakan Metode Taguchi. *J@TI UNDIP: JURNAL TEKNIK INDUSTRI*, 10(3). <https://doi.org/10.12777/jati.10.3.163-168>
- R, R., Bw, K., & Juniani, A. I. (2016). Optimasi Parameter Mesin Laser Cutting Terhadap Kekasaran Dan Laju Pemotongan Pada Sus 316L Menggunakan Taguchi Grey Relational Analysis Method. *J@ti Undip: Jurnal Teknik Industri*, 11(2), 97. <https://doi.org/10.14710/jati.11.2.97-106>
- Roy, R. K. (2001). *Design of Experiments Using The Taguchi Approach_ 16 Steps to Product and Process Improvement*. Wiley-Interscience.
- Roy, R. K. (2010). *A primer on the Taguchi method* (2nd ed). Society of Manufacturing Engineers.
- Tu, C.-S., Huang, H.-S., Tsai, M.-T., & Cheng, F.-S. (2018). Bee colony optimization with Taguchi method for solving the dynamic economic dispatch. *MATEC Web of Conferences*, 185, 00033. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201818500033>
- Ulrich, K. T., & Eppinger, S. D. (2016). *Product design and development* (Sixth edition). McGraw-Hill Education.
- Yang, C.-C., & Lu, N.-H. (2018). Optimization of Intercritical Annealing Process Parameters for SCM435 Alloy Steel Wires by Using Taguchi Method. *Advances in Materials*, 7(4), 144–152.