

Optimasi Parameter Pemesinan Untuk Minimasi Keausan Pahat Pada Pembubutan Baja Karbon Rendah

Optimization Of Machine Parameters For Minimation Of Tool Wear In Low Carbon Steel Manufacturing

Fahrizal¹, Edy Suprpto², Priyono³, Basri⁴

^{1,2,3,4}Program Studi Pendidikan Teknik Mesin
Universitas Nusa Cendana
Kupang, Indonesia

e-mail: fahrizal@staf.undana.ac.id, edysuprpto@staf.undana.ac.id,
priyono@staf.undana.ac.id, basrik@staf.undana.ac.id

Abstrak

Metode optimasi merupakan salah satu metode yang digunakan untuk pengambilan keputusan dengan fungsi tujuan minimasi atau maksimasi. Optimasi kecepatan potong, kedalaman potong, dan gerak makan mesin bubut bertujuan untuk mencari respon yang optimal dengan melakukan kombinasi antar parameterinya. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan kombinasi parameter pemotongan optimal untuk meminimalkan keausan pahat pada proses pembubutan baja karbon rendah. Tujuan penelitian selanjutnya adalah mendapatkan urutan parameter pemotongan yang berpengaruh signifikan terhadap minimasi keausan pahat. Mesin bubut yang digunakan dalam penelitian adalah HMT type L17, sedangkan pahat bubut dari bahan HSS (*High Speed Steel*). Penelitian dilaksanakan Laboratorium Pemeliharaan dan Pengujian Material Politeknik Negeri Kupang. Optimasi parameter pemotongan menggunakan metode Taguchi dengan matriks orthogonal $L_9(3^3)$. Persentase kontribusi masing-masing parameter menggunakan ANOVA (*Analysis of Variance*). Hasil penelitian diperoleh bahwa keausan pahat minimal diperoleh pada kombinasi jumlah putaran 180 rpm, kedalaman potong 1,5 mm, dan gerak makan 0,8 mm/menit. Berdasarkan hasil analisis variasi diperoleh kontribusi setiap faktor terhadap keausan pahat, masing-masing gerak makan memberikan kontribusi terbesar yaitu 35%, kemudian disusul kedalaman potong 10%, dan faktor kecepatan potong tidak memberikan kontribusi.

Kata kunci: Parameter pemotongan, Metode Taguchi, ANOVA

Abstract

Optimization is one of the methods used for decision making with the objective function of minimization or maximization. The optimization of cutting speed, depth of cut, and feeding of turning aim to find the optimal response by combining the parameters. This study aims to obtain the optimal combination of cutting parameters to minimize tool wear in the low carbon steel turning process. The purpose of further research was to obtain a sequence of cutting parameters that have a significant effect on minimizing tool wear. The lathe used in this research is HMT type L17, while the lathe is made of HSS (High Speed Steel). The research was carried out at Kupang State Polytechnic Materials Testing and Maintenance Laboratory. Optimizing the cutting parameters used taguchi method with an orthogonal matrix $L_9(3^3)$. The percentage contribution of each parameter used ANOVA (Analysis

of Variance). The results showed that minimal tool wear was obtained at a combination of 180 rpm rotation, 1.5 mm depth of cut, and 0.8 mm/minute of feeding. Based on the results of the analysis of variation, it was found that the contribution of each factor to tool wear, i.e. feeding gave the largest contribution, namely 35%, followed by the depth of cut 10%, and the cutting speed did not contribute.

Keywords : Cutting parameters, Taguchi method, ANOVA

1. PENDAHULUAN

Proses bubut (*turning*) merupakan salah satu proses yang digunakan dalam pemotongan logam dalam industri manufaktur. Sekitar 80% dari keseluruhan kegiatan yang ada pada operasi proses pemotongan logam menggunakan proses bubut (Nakaminami, *et al.* 2007). Proses bubut menggunakan perkakas berupa pahat sebagai alat potong. Berbagai jenis material yang biasanya digunakan untuk membuat pahat bubut. Jenis material pahat yang digunakan sangat tergantung pada benda kerja dan proses bubut yang digunakan.

Perkembangan perkakas potong seperti pahat bubut jenis *carbide*, CBN, keramik, dan *inserts tool* sudah semakin maju. Meskipun demikian, jenis pahat konvensional seperti pahat HSS (*high speed steel*) masih tetap digunakan (Rochim, 1993) terutama di bengkel produksi yang berskala kecil sampai menengah. Hal ini dimungkinkan karena pahat jenis HSS bersifat liat, mudah diasah, harga lebih rendah, mudah didapat serta memungkinkan aplikasi pengerjaan dengan kecepatan sayat (*cutting speed*) dan gerak makan (*feed rate*) yang lebih rendah.

Menghasilkan produk sesuai kualitas yang ditentukan dengan menggunakan pahat dengan tingkat keausan minimal merupakan salah satu tujuan utama kegiatan produksi menggunakan mesin perkakas. Tujuan ini dipengaruhi oleh sejumlah variabel seperti kecepatan potong, kedalaman potong, dan gerak makan (Prasetyo, 2015; Giyatno 2009; Sriyanto, *et al.* 2015), serta cairan pendingin dan sudut ujung pahat (Sunengsih, *et al.* 2017) dan juga konsumsi energi (Pawanr, *et al.* 2019).

Penentuan kombinasi parameter yang tepat untuk produk-produk pemesinan yang memiliki beberapa performansi karakteristik cukup sulit dilakukan karena kompleksitas yang dimiliki dan harus mengandalkan sejumlah besar rangkaian percobaan. Pada proses pemesinan, penentuan nilai parameter proses yang tepat untuk mencapai respon yang optimum sangat penting dilakukan secara efektif.

Metode Taguchi digunakan untuk menentukan rancangan eksperimen dengan parameter proses yang meliputi kecepatan potong, kedalaman potong, dan gerak makan. Berdasarkan hal-hal yang dipaparkan, maka akan dilakukan penelitian tentang penentuan nilai parameter pemesinan pada proses bubut untuk meminimalkan keausan pahat menggunakan rancangan percobaan dengan metode Taguchi. Material yang akan digunakan dalam proses bubut adalah ST. 37 dan pahat bubut dari bahan HSS. Baja ST. 37 merupakan salah jenis baja karbon rendah yang memiliki sifat mudah ditempa dan mudah di proses pemesinan. Pahat bubut HSS (*high speed steel*) banyak digunakan untuk melakukan proses pemesinan baja ST 37 dalam pembuatan roda gigi, poros, dan baut (Schey, 2009).

Pahat merupakan *tool* yang mengalami keausan selama proses pembubutan. Keausan ini terjadi sebagai akibat interaksi antara mata pahat dengan benda kerja. Keausan didefinisikan sebagai peristiwa terlepasnya material dari permukaan material akibat deformasi platis dan gaya mekanik. Keausan pada pahat bubut akan menyebabkan perubahan bentuk benda kerja dan mengakibatkan geometri dan kualitas benda kerja mengalami penurunan. Selama proses pemotongan logam, keausan terjadi pada pada bidang utama pahat atau yang disebut keausan tepi (*flank wear*) dan keausan muka pahat. Sisi pahat yaitu suatu tepi yang kecil, menonjol dari ujungnya sampai bagian bawahnya,

sedangkan pada muka pahat dalam bentuk kawah kecil di belakang ujungnya. Keausan pahat yang terjadi pada proses bubut disebabkan oleh faktor beban mekanis dan termal yang terjadi akibat interaksi dengan benda kerja. Semakin cepat pahat mengalami keausan, maka semakin cepat pula pahat harus diganti. Tingkat keausan pahat dipengaruhi oleh parameter pemotongan mesin bubut. Semakin pendek umur pahat, semakin cepat pula pahat harus diganti, sehingga biaya yang harus dikeluarkan juga semakin besar. Sejumlah penelitian menunjukkan bahwa kecepatan potong (*cutting speed*), kedalaman potong (*depth of cut*), dan gerak makan (*feed rate*) memiliki pengaruh terhadap keausan pahat dan kekasaran permukaan benda kerja.

Kecepatan potong diartikan sebagai kemampuan alat potong menyayat benda kerja dengan aman menghasilkan tatal dalam satuan panjang dibagi waktu yang digunakan. Kedalaman potong adalah tebal bagian benda kerja yang dibuang atau jarak antara permukaan yang dipotong terhadap permukaan yang belum terpotong. Gerak makan adalah besarnya pergeseran pahat bubut dalam setiap putaran mesin bubut.

Kajian tentang parameter meter mesin bubut telah banyak dilakukan. Misalnya Sriyanto, *et al.* (2015) mengkaji pengaruh geometri pahat bubut terhadap nilai kekasaran permukaan dan keausan pahat. Selanjutnya Prasetyo (2015) melakukan optimasi kecepatan potong, kedalaman potong, dan gerak makan mesin bubut terhadap kekasaran permukaan dan keausan pahat. Demikian pula halnya Pawanr, *et al.* (2019) melakukan optimasi kecepatan potong, kedalaman potong, dan gerak makan mesin bubut untuk minimasi kekasaran permukaan dan konsumsi daya.

Penerapan metode Taguchi untuk optimasi parameter mesin bubut telah banyak digunakan oleh para peneliti. Misalnya Mahendra dan Anggara (2020) menggunakan metode Taguchi untuk menentukan rancangan eksperimen dengan parameter proses yang meliputi kecepatan potong, kedalaman potong, dan gerak makan mesin bubut CNC pada proses bubut ST 42. Apreza, *et al.* (2017) menggunakan metode Taguchi untuk optimasi kekasaran permukaan proses pembubutan baja ST 42. Sejumlah peneliti juga menggunakan gabungan metode Taguchi dengan metode lain, seperti Taguchi-TOPSIS (Sunengsih, *et al.* 2017). TOPSIS- *Grey Relation Analysis* (Pawarn, *et al.* 2019). Gupta dan Kumar (2013) menggunakan metode *Grey Relation Analysis* (GRA) untuk melakukan optimasi parameter pemesinan pada proses bubut. Chukwu dan Augustine (2016) menggunakan pendekatan *Geometric Programming* untuk optimasi parameter pemotongan mesin bubut. Selanjutnya Wibowo, *et al.* (2013) mengkombinasikan metode Taguchi dan *Grey Relation Analysis* (GRA) untuk melakukan optimasi pada proses bubut.

Penelitian ini bertujuan bertujuan untuk menentukan level parameter pemotongan proses bubut meliputi kecepatan potong, kedalaman pahat, dan laju pemakanan yang menghasilkan tingkat keausan pahat minimal pada pembubutan baja karbon rendah, dan menentukan besarnya kontribusi masing-masing variabel terhadap tingkat keausan pahat. Manfaat yang dapat diperoleh dalam penelitian ini adalah memberikan informasi kepada pengguna atau pengambil keputusan terutama kepada manajer atau operator mesin dalam menentukan parameter bubut yaitu kecepatan potong, kedalaman potong, dan gerak makan yang optimal dalam mencapai tujuan meminimalkan keausan pahat.

2. METODE

Penelitian ini dilaksanakan di Workshop Unit Produksi Jasa Pemesinan SMK Negeri 2 Kupang dan Laboratorium Pemeliharaan dan Pengujian Material Politeknik Negeri Kupang pada April sampai dengan Juni 2021. Alat utama yang digunakan dalam penelitian berupa

1 unit mesin bubut merk HMT (*Hindustan Machine Technology*) Type L17 yang terdapat di Workshop Unit Produksi Jasa Teknik Pemesinan SMK Negeri 2 Kupang. Jenis pahat bubut yang digunakan adalah HSS (*High Speed Steel*) Cr 5%, sedangkan bahan atau spesimen dari baja lunak ST 37. Baja ST 37 diartikan baja tersebut putus pada suatu tegangan tarik sebesar 37 daN/mm² (Schonmetz dan Gruber, 2013; Sularso dan Suga, 2013).

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen mengacu pada rancangan eksperimen faktorial (Sudjana, 1991). Rancangan eksperimen tersebut diselesaikan menggunakan metode Taguchi. Penerapan metode Taguchi dalam penelitian yang bersifat eksperimen merupakan metode yang terbaik digunakan karena metode ini dapat meyerahkan jumlah eksperimen, sehingga dapat menekan biaya dan waktu penelitian. Triastuti (2009) menyatakan bahwa metode Taguchi menawarkan disain sederhana dan sistematis untuk mengoptimalkan efisiensi, kualitas, dan biaya.

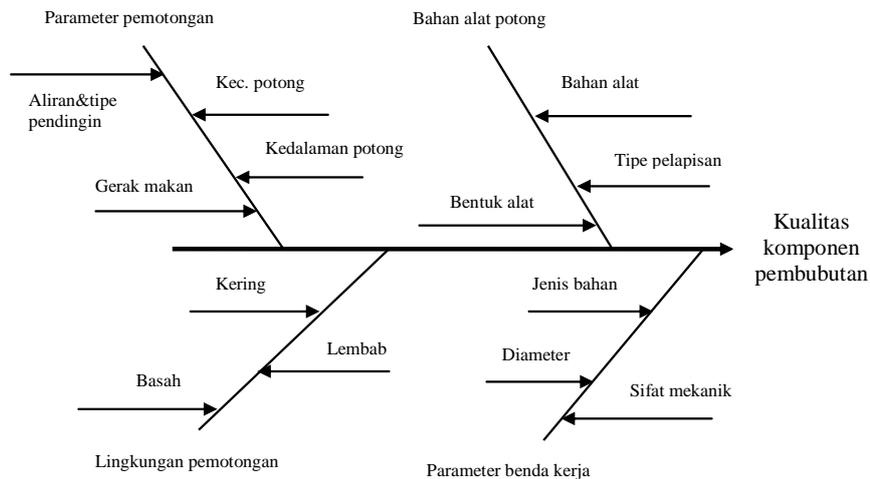
Rancangan eksperimen dalam metode Taguchi diawali dengan pemilihan matriks ortogonal yang tergantung pada banyaknya variabel bebas (parameter pemotongan) dan level dari masing-masing variabel tersebut. Matriks ortogonal menunjukkan jumlah kombinasi perlakuan atau eksperimen yang akan dilakukan.

Matriks ortogonal yang digunakan harus memiliki derajat kebebasan yang sama atau lebih dari pada total derajat kebebasan faktor dan level yang ditetapkan. Penelitian ini menggunakan matriks ortogonal jenis L9, yaitu terdiri masing-masing 3 faktor dan 3 level. Penentuan faktor dan nilai setiap *level* pada setiap faktor dilakukan melalui diskusi secara mendalam (*dept interview*) dengan narasumber sekaligus Guru Senior pada Program Keahlian Teknik Pemesinan SMK Negeri 2 Kupang. Penentuan nilai didasarkan pada jenis benda uji (spesimen) dan jenis mesin bubut yang akan digunakan dalam penelitian. Parameter angka putaran atau kecepatan potong (*cutting speed*) sudah tersedia pada tabel mesin bubut. Penentuan parameter lainnya dipilih atau ditentukan berdasarkan parameter kecepatan potong yang telah ditentukan sebelumnya.

Variabel penelitian terdiri dari variabel bebas dan variabel terikat. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah parameter pemotongan mesin bubut yang dicari nilai level optimalnya, yaitu kecepatan potong, kedalaman potong, dan gerak makan. Variabel terikat adalah variabel respon yang diukur, yaitu nilai rerata keausan pahat hasil pembubutan. Dalam penelitian ini, parameter mesin bubut disebut **Faktor**. Besaran setiap faktor disebut **Level**. Tujuan yang akan dicapai disebut **Respon**. Karakteristik kualitas dari variabel respon tersebut yaitu *smaller the best* artinya jika nilai rerata keausan pahat semakin kecil atau rendah maka akan semakin baik. Ini berarti bahwa nilai keausan pahat yang minimum adalah yang paling diinginkan. Pada Tabel 1 disajikan jenis variabel bebas (faktor), jumlah level yang digunakan dalam penelitian eksperimen.

Faktor-faktor penyebab terjadinya keausan pahat atau kualitas komponen pembubutan dipetakan pada sebuah diagram sebab akibat (*cause and effect* diagram) seperti disajikan pada Gambar 1. Diagram sebab-akibat kadang juga disebut Diagram Tulang Ikan (*Fish Bone Diagram*) atau Diagram Ishikawa. Seperti diketahui, diagram ini pertama kali diperkenalkan oleh Dr. Kauro Ishikawa pada tahun 1943, sehingga sering juga disebut dengan diagram Ishikawa. Diagram Ishikawa menggambarkan garis dan simbol-simbol yang menunjukkan hubungan antara akibat dan penyebab suatu masalah. Diagram tersebut digunakan untuk mengetahui akibat dari suatu masalah untuk selanjutnya diambil tindakan perbaikan (Ariani, 2004). Diagram ini juga digunakan untuk melihat keterkaitan semua faktor dan sub faktor. Parameter pemotongan proses bubut terdiri dari kecepatan potong, kedalaman potong, gerak makan, dan aliran tipe pendingin adalah salah satu faktor kendali dalam eksperimen penelitian yang ditentukan berdasarkan identifikasi faktor-faktor penyebab

terjadinya keausan pahat. Pemetaan faktor-faktor menggunakan diagram sebab-akibat seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram sebab-akibat proses pembubutan

Instrumen utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah lembar disain eksperimen berupa tabel yang berisi kombinasi dari 3 faktor, 3 level, serta 1 variabel respon dari rancangan faktorial yang telah disusun seperti yang telah diuraikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Faktor dan level dalam disain eksperimen

| Faktor | Level 1 | Level 2 | Level 3 |
|---------------------------|---------|---------|---------|
| Kecepatan potong (n, rpm) | 125 | 180 | 280 |
| Kedalaman potong (a, mm) | 0,5 | 1,0 | 1,5 |
| Gerak makan (f, mm/menit) | 0,2 | 0,4 | 0,8 |

Instrumen selanjutnya adalah petunjuk pemilihan kecepatan potong berupa tabel yang terdapat pada mesin bubut.

Pengumpulan data dilakukan dengan melakukan eksperimen atau pengujian berdasarkan lembar disain eksperimen yang terdiri dari masing-masing kriteria dan level yang telah disiapkan. Jumlah kriteria dan level masing-masing terdiri dari tiga. Pengambilan data eksperimen dilakukan secara acak dengan kombinasi parameter mengacu pada rancangan percobaan yang sesuai dengan matrik orthogonal. Pengacakan ini dilakukan dengan menggunakan bantuan perangkat lunak Minitab 14. Pada setiap kombinasi parameter, eksperimen akan dilakukan pengulangan sebanyak tiga kali untuk mewakili pengujian keandalan data. Data yang terkumpul melalui eksperimen kemudian dianalisis menggunakan metode Taguchi dan analisis variasi.

Tahapan pembuatan benda uji meliputi: pengukuran, pemotongan, dan pembubutan. Sebelum dilakukan pengambilan data, benda uji terlebih dahulu dibubut agar diperoleh keseragaman ukuran diameter dan panjang pembubutan. Diameter benda uji sebesar 40 mm, sedangkan panjang pembubutan sebesar 200 mm. Setelah semua benda uji memiliki keseragaman ukuran diameter dan panjang pembubutan, kemudian dilanjutkan dengan proses eksperimen pembubutan sesuai *setting* parameter yang telah ditetapkan. Adapun langkah-langkah eksperimen yang dilakukan pada penelitian ini untuk mendapatkan nilai keausan pahat sebagai berikut:

1. Menyiapkan benda uji yang meliputi: penyesuaian ukuran panjang, perataan, pembersihan specimen dari kotoran-kotoran yang dapat mengganggu proses pemotongan dan penomoran.
2. Menyiapkan pahat bubut HSS dengan memberi penomoran pengujian.
3. Memasang benda uji baru pada cekam (*chuck*) mesin bubut. Mesin bubut yang digunakan memiliki 3 cekam. Panjang benda uji yang dicekam sepanjang 4 cm. Selanjutnya dilakukan pemeriksaan bahwa benda kerja berada pada posisi terpusat. Senter kepala lepas digunakan untuk menyanggah benda uji, sehingga diharapkan tidak terjadi isolasi atau getaran pada saat pembubutan.
4. Memasang pahat baru pada pemegang pahat. Sebelum dipasang pahat ini diukur dulu panjangnya mula-mula, diberi simbol L_0 .
5. Menghidupkan mesin bubut dan mengatur dan menentukan parameter-parameter yang telah ditetapkan sesuai dengan rancangan eksperimen.
6. Melaksanakan proses pembubutan sesuai kombinasi parameter pada benda uji. Pembubutan dilakukan tanpa media pendingin atau pembubutan kering.
7. Melepas benda kerja dari cekam (*chuck*) setelah proses pemotongan selesai.
8. Melepas pahat bubut HSS pada pemegang pahat dan mengukur panjang pahat, diberi simbol L_t . Keausan pahat diperoleh dari pengurangan panjang awal dengan akhir, atau $(L_t - L_0)$.
9. Mengulang langkah kedua hingga kesembilan untuk benda uji baru dan kombinasi parameter berikutnya.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Keausan Pahat

Pelaksanaan eksperimen dilakukan dengan mengkombinasikan faktor-faktor yang terdapat pada mesin bubut serta level yang ditentukan. Data hasil eksperimen yang diperoleh pada penelitian ini adalah keausan pahat yang diukur berdasarkan tingkat keausan tepi pahat sebelum dan sesudah digunakan. Pengambilan data dilakukan sebanyak 3 kali pengulangan dengan menggunakan benda uji yang sama pada tiap pengulangannya. Data keausan pahat hasil eksperimen pada setiap kombinasi faktor (parameter) pemotongan disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Data keausan pahat hasil eksperimen

| Matriks Ortogonal $L_9(3^3)$ | | | | |
|------------------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|--|
| Eksperimen | Faktor | | | Rerata keausan pahat (μm) |
| | Kecepatan potong (rpm) | Kedalaman potong (mm) | Gerak makan (mm/menit) | |
| 1 | 125 | 0,5 | 0,2 | 0,005 |
| 2 | 125 | 1 | 0,4 | 0,040 |
| 3 | 125 | 1,5 | 0,8 | 0,120 |
| 4 | 180 | 0,5 | 0,4 | 0,030 |
| 5 | 180 | 1 | 0,8 | 0,060 |
| 6 | 180 | 1,5 | 0,2 | 0,050 |
| 7 | 280 | 0,5 | 0,8 | 0,040 |
| 8 | 280 | 1 | 0,2 | 0,020 |
| 9 | 280 | 1,5 | 0,4 | 0,022 |

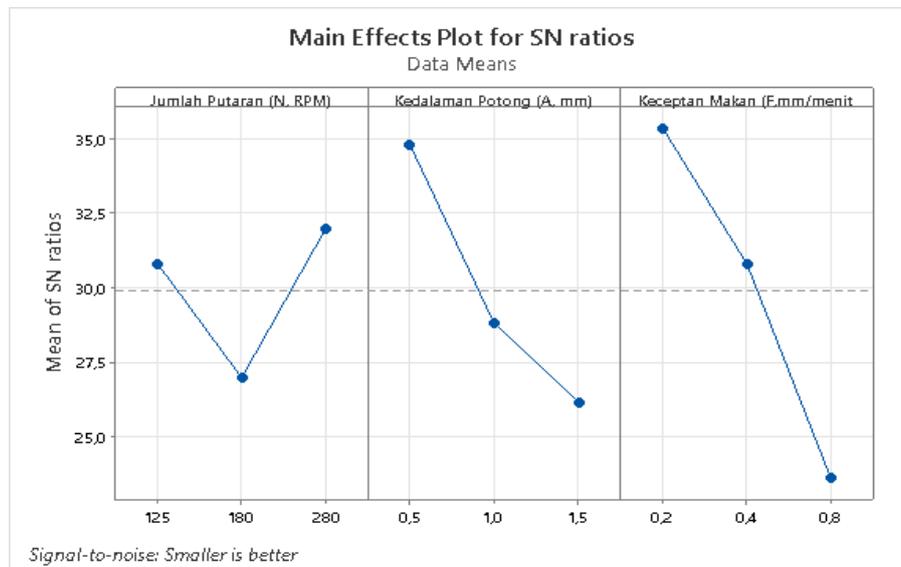
Nilai Rata-rata S/N Rasio

Faktor kontrol untuk mengidentifikasi pengaruh setiap level dari setiap faktor terhadap rata-rata keausan pahat dilakukan pengolahan data respon yang diperoleh langsung dari pengujian keausan pahat. Perhitungan rata-rata nilai respon dilakukan dengan cara mengkombinasikan setiap level dari masing-masing faktor. Nilai S/N rasio pada setiap level dan faktor untuk respon keausan pahat disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. S/N rasio untuk respon keausan pahat

| Level | Kecepatan potong | Kedalaman potong | Gerak makan |
|---------|------------------|------------------|-------------|
| 1 | 30,80 | 34,81 | 35,34 |
| 2 | 26,97 | 28,79 | 30,52 |
| 3 | 31,97 | 25,86 | 23,60 |
| Delta | 4,72 | 8,95 | 11,74 |
| Ranking | 3 | 2 | 1 |

Berdasarkan hasil rata-rata S/N rasio pada Tabel 3, grafik respon S/N rasio dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik S/N rasio untuk keausan pahat

Berdasarkan Tabel 3 dan Gambar 2 ditunjukkan bahwa faktor yang mempengaruhi respon keausan pahat adalah kecepatan potong pada level 3, kedalaman potong pada level 1, dan kecepatan makan pada level 1, seperti disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Respon optimum yang mempengaruhi respon keausan pahat

| Faktor | Tingkatan Level | Nilai Level |
|------------------|-----------------|--------------|
| Kecepatan potong | Level 2 | 180 rpm |
| Kedalaman potong | Level 3 | 1,5 mm |
| Gerak makan | Level 3 | 0,8 mm/menit |

Analisis Variasi

Analisis variasi digunakan untuk mengetahui variabel proses yang memiliki pengaruh secara signifikan. Dengan menggunakan *software minitab*, hasil analisis variasi respon keausan pahat dengan faktor kecepatan potong, kedalaman potong, dan gerak makan disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Analisis variasi untuk respon keausan pahat

| Sumber Variasi | DF | Adj SS | Adj MS | F-Value | P-% Value |
|------------------|----|--------|--------|---------|-----------|
| Kecepatan potong | 2 | 0,001 | 0,0006 | 1,06 | 0 |
| Kedalaman potong | 2 | 0,002 | 0,001 | 1,86 | 10 |
| Gerak makan | 2 | 0,004 | 0,002 | 3,52 | 35 |
| Error | 2 | 0,001 | 0,0006 | | |
| Total | 8 | 0,008 | | | |

Optimasi Parameter Pemesinan

Metode optimasi merupakan salah satu metode yang digunakan dalam statistika untuk pengambilan keputusan. Fungsi tujuan optimasi secara umum adalah meminimumkan biaya atau penggunaan bahan baku dan memaksimalkan hasil atau pemanfaatan material produksi atau proses produksi (Djami dan Sunaryo, 2014). Tujuan optimasi dalam penelitian ini adalah mencari respon yang optimal dengan melakukan kombinasi parameter kecepatan potong, kedalaman potong, dan gerak makan pada proses pembubutan baja karbon rendah. Respon penelitian adalah minimasi keausan pahat yang bersifat respon tunggal (*single-respon*). Metode optimasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode Taguchi. Tidak adanya asumsi statistik yang mengikuti tahapan analisisnya membuat metode ini banyak dipilih oleh para praktisi (Sunengsih, *et al.* 2017). Metode Taguchi menggunakan perancangan eksperimen sebagai alat untuk membuat produk menjadi lebih kokoh (*robust*), yakni produk menjadi tidak terpengaruh terhadap faktor *noise* (variabel gangguan atau gangguan luar), karena itu sering disebut sebagai *Robust Design*. Namun demikian, metode Taguchi hanya dapat digunakan untuk menyelesaikan masalah optimasi respon tunggal. Untuk menyelesaikan permasalahan dengan respon banyak atau multi-respon, metode Taguchi biasanya digabung metode lain, seperti Taguchi-TOPSIS (Sunengsih, *et al.* 2014).

Rerata keausan pahat diperoleh melalui eksperimen dengan melakukan kombinasi parameter pemotongan. Jumlah eksperimen yang dilakukan sebanyak 9 kali yang menunjukkan jumlah baris matriks ortogonal yang digunakan. Matriks ortogonal $L_9(3^3)$, artinya matriks memiliki 3 kolom dan 9 baris yang digunakan untuk 3 buah variabel bebas yang masing-masing memiliki 3 level. Pada Tabel 2 disajikan variasi nilai variabel bebas dan level yang digunakan dalam penelitian serta nilai respon keausan pahat yang dihasilkan.

Penentuan *Signal Noise to Ratio* (S/N rasio) dilakukan sesuai dengan karakteristik kualitas dari setiap respon. Karakteristik kualitas yang dipilih adalah *Smaller-the-Better* yang berarti karakteristik kualitas semakin rendah nilainya, maka kualitas semakin baik (Soejanto 2009). Semakin rendah keausan pahat pada proses bubut semakin baik kualitasnya. Nilai S/N rasio dan Grafik Respon S/N rasio diperoleh dengan menggunakan aplikasi Minitab 14, seperti disajikan pada Tabel 3 dan Gambar 2. Pada Tabel 2 ditunjukkan bahwa nilai S/N rasio terendah pada faktor kecepatan potong adalah 26,97 yang berada pada level 2. Sementara faktor kedalaman potong adalah 25,86 yang berada pada level 3, dan faktor gerak makan adalah 23,60 yang berada pada level 3. Berdasarkan perolehan nilai S/N rasio dan Grafik S/N rasio ditunjukkan bahwa parameter optimal untuk mendapatkan respon keausan pahat paling rendah adalah kecepatan potong sebesar 180 rpm, kedalaman potong sebesar ,5 mm, dan gerak makan sebesar 0,8 mm/menit.

Pengaruh atau persentase kontribusi masing-masing faktor terhadap respon diketahui melalui analisis variasi (Anava) seperti disajikan pada Tabel 5. Jika nilai $P \leq 0,05$ berarti faktor tidak berpengaruh signifikan terhadap respon. Nilai P dari ketiga faktor yang diuji adalah masing-masing 0 untuk faktor kecepatan potong, 0.1 untuk faktor kedalaman potong, dan

gerak makan sebesar 0.35. Dengan demikian faktor yang memberikan kontribusi terbesar adalah gerak makan yaitu 35%.

4. Kesimpulan dan Saran

Meminimalkan keausan pahat merupakan salah satu tujuan yang ingin dicapai dalam proses bubut. Keausan pahat yang minimal juga menjadi salah satu indikator kualitas pembubutan. Keausan pahat berkaitan dengan biaya yang harus dikeluarkan dalam proses bubut. Semakin cepat pahat aus atau habis, maka semakin besar biaya yang harus dikeluarkan untuk penggantian pahat baru. Oleh karena itu dalam proses bubut, keausan pahat dan kekasaran permukaan yang rendah menjadi suatu keputusan yang harus dipertimbangkan. Untuk menghasilkan keausan pahat, maka yang harus dilakukan adalah mengkombinasikan parameter bubut menjadi optimal melalui pengujian eksperimen. Berdasarkan hasil eksperimen pada baja karbon rendah didapatkan hasil bahwa keausan pahat minimal diperoleh pada kombinasi kecepatan potong 180 rpm, kedalaman potong 1,5 mm, dan gerak makan 0,8 mm/menit.

Berdasarkan hasil analisis variasi diperoleh kontribusi masing-masing setiap faktor terhadap keausan pahat. Faktor gerak makan memberikan kontribusi terbesar yaitu 35%, kemudian disusul kedalaman potong 10%, dan faktor kecepatan potong tidak memberikan kontribusi.

Kajian parameter mesin bubut sebaiknya tidak terbatas hanya pada kecepatan potong, kedalaman potong, dan gerak makan, tetapi juga parameter lain, misalnya cairan pendingin, sudut pemotongan, dan juga konsumsi energi. Tujuan penelitian sebaiknya mempertimbangkan juga tingkat kekasaran permukaan benda kerja. Dengan demikian terdapat sejumlah in-put dan out-put yang dikaji secara bersamaan. Untuk itu, pendekatan optimasi dengan tujuan banyak (*multi-objective*) melalui penggabungan dua metode menjadi saran untuk dilakukan.

UCAPAN TERIMAKASIH

Tim peneliti mengucapkan terima kasih kepada Pimpinan Universitas Nusa Cendana, Ketua Lembaga Penelitian dan Pengabdian pada Masyarakat Universitas Nusa Cendana, Pimpinan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Nusa Cendana, dan Ketua Program Studi Pendidikan Teknik Mesin FKIP Universitas Nusa Cendana, serta tim pengelola penelitian dan pengabdian pada masyarakat Undana atas pendanaan penelitian melalui skema Penelitian Terapan, kontrak penelitian No. 50/UN15.9.2/PPK/IV/2021 tanggal 19 April 2021.

DAFTAR RUJUKAN

- Ariani, D.W. (2003). *Pengendalian Kualitas Statistik Pendekatan Kuantitatif dalam Manajemen Kualitas*. Yogyakarta: Penerbit Andi
- Apreza, S., Kurniawan, Z. & Subhan, M. (2017). Optimasi Kekasaran Permukaan Proses Pembubutan Baja ST. 42 dengan Menggunakan Metode Taguchi. *Jurnal Manutech*, 9(1): 74-85
- Chukwu, W.I.E. & Augustine, S. (2016). Optimization of Cutting Parameters of Turning Process in Engineering Machining Operation Using a Geometric Programming Approach. *International Journal of Advanced Engineering Research and Technology*, 4(11): 335-351

- Djami, R.J. & Sunaryo. (2014). Metode PCR-TOPSIS untuk optimasi Taguchi Multirespon. *Jurnal Statistika*, 2(1): 46-55
- Giyatno (2009). *Optimasi Parameter Proses Pemesinan terhadap Keausan Pahat dan Kekasaran Permukaan Benda Hasil Proses CNC Turning dengan Menggunakan Metode Taguchi*. Tesis tidak diterbitkan. Semarang: Prodi Teknik Mesin Universitas Diponegoro
- Gupta, M., & Kumar, S. (2013). Multi-Objective Optimization of Cutting Parameters in Turning Using Grey Relation Analysis. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 4(4): 547-558
- Mahendra, R.A., Anggara, M.R.A., Kapel, K.E. & Miftahuddin, A.M. (2020). Analisa Efektifitas Uji Kekasaran Permukaan Baja ST 42 dengan Variabel Mekanik Mesin dengan Metode Taguchi. *Jurnal JMMME*, 1(1): 5-8
- Nakaminami, M., Tokuma, T., Moriwaki, T., & Nakamoto, K. (2007). *Optimal Structure Design Methodology for Compound Multiaxis Machine Tool-I-Analysis of Requirements and Specification*. Paper Manufacturing Technology Department. MORI SEIKI CO. LTD
- Prasetyo, A.B. (2015). Aplikasi Metode Taguchi pada Optimasi Parameter Permesinan terhadap Kekasaran Permukaan dan Keausan Pahat HSS pada Proses Bubut Material ST 37. *Mekanika*, 13(2): 86-97
- Pawanr, S., Garg, G.K., & Routroy, S. (2019). *Multi-objective optimization of machining parameters to minimize surface roughness and power consumption using TOPSIS*. *Procedia 7th CIRP Global Web Conference*, 86: 116-120
- Rochim, T. (1993). *Teori dan Teknologi Proses Pemesinan*. Bandung: Institut Teknologi Bandung
- Sudjana. (1991). *Desain dan Analisis Eksperimen*. Bandung: Penerbit Tarsito
- Schey, J.A. (2009). *Proses Manufaktur*. Edisi Ketiga. Yogyakarta: Penerbit Andi
- Sriyanto, Faisal, & Parkhan, A. (2015). Pengaruh Geometri Pahat Bubut HSS terhadap Nilai Kekasaran Permukaan dan Keausan Pahat Proses Bubut dengan Metode Taguchi. *Jurnal Teknik*, 13: 35-46
- Soejanto, I. (2019). *Desain Eksperimen dengan Metode Taguchi*. Surabaya: Graha Ilmu
- Sunengsih, N., Winarni, S. & Amazaina, T.G. (2017). Kajian Terhadap Metode Taguchi-TOPSIS pada Optimasi Multirespon. Seminar Statistika FMIPA Unpad. Bandung: Universitas Padjajaran
- Schonmetz, A. & Gruber, K. (2013). *Pengetahuan Bahan dalam Pengerjaan Logam*. Bandung: Penerbit Angkasa.
- Sularso & Suga, K. (2013). *Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita
- Triastuti, W. (2009). *Metode Taguchi untuk Optimalisasi Produk pada Rancangan Faktorial*. *Media Statistika*, 2(2): 81-92
- Wibowo, D.B., Soepangkat, B.O., & Pramujati, B. (2013). *Optimasi Gaya Potong, Kekasaran Permukaan, dan Keausan Tepi Pahat pada Proses Bubut Baja S45C dengan Menggunakan Kombinasi Metode Taguchi dan Grey Relation Analysis*. Seminar Nasional. Surabaya: Institut Teknologi Surabaya