

PENGARUH VARIASI KECEPATAN SPINDEL DAN JUMLAH MATA PAHAT PADA PROSES MILLING TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN BAJA ST.60

Khoirunni'am Al Faiz^{1*)}, Unung Lesmanah², Cepi Yazirin³.

^{1*)} Teknik Mesin, Universitas Islam Malang, Jalan MT.Haryono 193, Malang.
Email : bocil240@gmail.com

² Teknik Mesin Universitas Islam Malang, Jalan MT.Haryono 193, Malang.
Email : ununglesmanah@yahoo.com

³ Teknik Mesin Universitas Islam Malang, Jalan MT.Haryono 193, Malang.
Email : cepiyazirin10@unisma.ac.id

ABSTRAK

Mesin frais, yang dikenal juga sebagai *milling machine*, ialah merupakan salah satu jenis dari mesin perkakas konvensional yang fungsinya digunakan alat untuk meratakan permukaan sebuah material. Mesin ini menggunakan pisau yang bergerak sementara benda kerja diam dijepit. Peran mesin frais dalam industri sangat penting karena mampu mengolah logam dalam skala besar. Mesin frais dapat membentuk benda dengan bentuk kubik, seperti pembuatan roda gigi dan pembuatan alur pada poros. Penelitian ini bertujuan untuk menguji pengaruh variasi jenis pahat dan kecepatan spindel terhadap kekasaran permukaan baja ST60. Dalam penelitian ini, digunakan jenis pahat *face milling cutter* dengan 4 dan 6 mata pahat. Kecepatan spindel varian yang digunakan adalah 1000 rpm, 1200 rpm, dan 1400 rpm. Selain itu, kedalaman potong yang digunakan adalah 2 mm, dan diameter benda kerja sebesar 25,8 mm. Hasil penelitian menunjukkan adanya perbedaan kekasaran permukaan pada benda kerja. Terdapat pengaruh signifikan antara jumlah mata pahat dan kecepatan spindel terhadap kekasaran permukaan. Nilai kekasaran permukaan terendah sebesar 1,69 μm terdapat pada jenis pahat face milling cutter dengan 6 mata pahat dan kecepatan spindel 1400 rpm. Sedangkan nilai kekasaran permukaan tertinggi sebesar 5,30 μm terdapat pada jenis pahat face milling cutter dengan 4 mata pahat dan kecepatan spindel 1000 rpm..

Kata Kunci: Kecepatan putaran Spindle; Jumlah Mata Pahat; Proses Milling; Baja ST60.

PENDAHULUAN

Dalam perkembangan zaman, teknologi di berbagai bidang termasuk produksi terus maju. Tuntutan akan produk-produk dengan hasil produksi sesuai standar internasional, baik dalam bentuk profil, presisi ukuran, kekasaran permukaan, dan aspek lainnya semakin meningkat. Hal ini mendorong pengembangan ilmu produksi yang meliputi desain, bahan, dan proses pemesinan [1]. Adanya mesin-mesin teknologi membantu mempermudah dan meringankan pekerjaan manusia, terutama dalam hal ini pembuatan komponen sebuah mesin, teknologi, dan bangunan. Contoh mesin-mesin tersebut antara lain mesin bubut (*turning machine*), mesin frais (*milling machine*), mesin bor (*drilling machine*), mesinmskrap (*shaping machine*), mesin las (*welding machine*), dan mesin grinda (*grinding machine*), CNC, dan lain-lain. Keberadaan mesin-mesin ini memudahkan manusia dalam menghasilkan produk dengan efisiensi dan presisi yang tinggi, dengan tingkat ketelitian yang tinggi

pula. Mesin frais adalah salah satu contoh mesin perkakas yang termasuk dalam kategori tersebut.

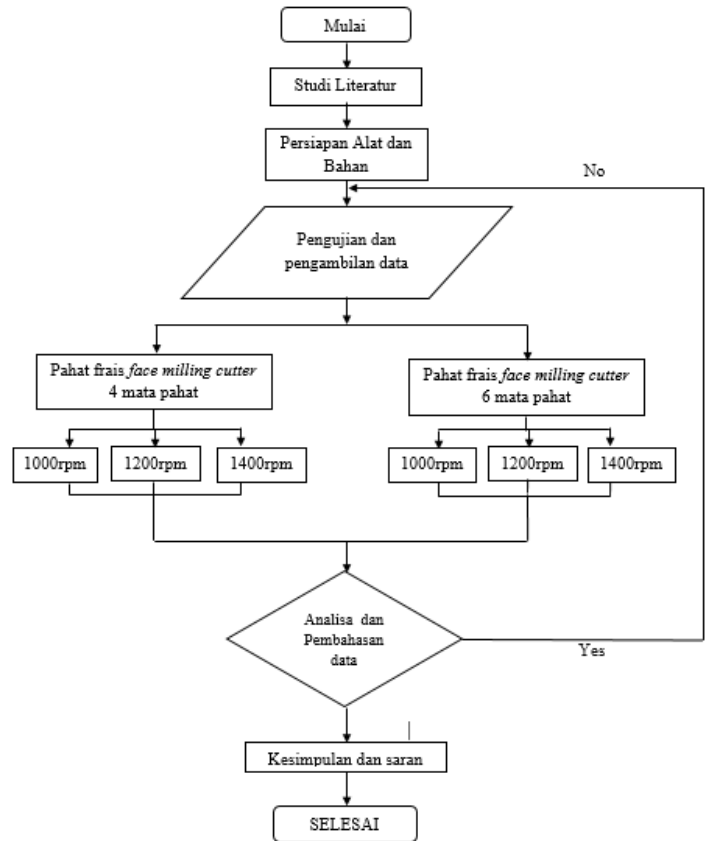
Mesin frais, yang juga dikenal sebagai *milling machine*, adalah salah satu jenis mesin perkakas konvensional yang digunakan untuk meratakan permukaan. Penggunaan mesin ini melibatkan pisau yang bergerak sedangkan benda kerja tetap dijepit. Mesin frais memiliki peranan yang krusial dalam industri karena mampu mengolah logam dalam ukuran besar dan menghasilkan produksi dalam skala yang besar. Fungsi mesin frais meliputi pembentukan dan pembuatan benda-benda dengan bentuk kubik, seperti pembuatan roda gigi dan pembuatan alur pada poros. Proses pemakanan (*feeding*) pada mesin frais dilakukan dengan memutar pahat dan menggerakkan benda kerja menggunakan meja cekam dengan sumbu x, y, z. Dalam proses frais, kecepatan putar spindel dan kecepatan pemotongan merupakan faktor-faktor penting yang mempengaruhi kekasaran permukaan. Kesesuaian kedua parameter pemotongan ini

diukur berdasarkan indikator kualitas permukaan, yaitu tingkat kekasaran permukaan benda kerjasetelah dipotong menggunakan mesin frais [2].

Kecepatan pemotongan merupakan salah satu parameter penting dalam proses pemersinan, terutama dalam proses pengefraisan, untuk mencapai permukaan yang rata pada benda kerja. Kerataan dan kekasaran permukaan sangatlah penting dalam proses pemersinan karena berpengaruh pada kualitas produk yang dihasilkan. Permukaan yang tidak rata pada komponen-komponen mesin dapat menyebabkan kerusakan, seperti keausan, yang menghambat kinerja mesin. Oleh karena itu, mencapai tingkat kerataan dan kekasaran permukaan yang rendah sangat diperhatikan dalam proses pengefraisan [3]. Pemilihan bahan bendankerja untuk komponen mesin dan industrin juga memerlukan beberapa pertimbangan, seperti pertimbangan fungsi, beban yang diterima, dan ketersediaan di pasaran. Dalam konteks ini, pemilihan bahan yang paling sesuai untuk proses pemotongan adalah baja ST60. Baja ST60 memiliki komposisi karbon pada besi antara 0,3% C hingga 0,59% C, dengan titik didih sekitar 1550°C dan titik lebur sekitar 2900°C [4]. Oleh karena itu, perlu banyak penelitian yang harus dilakukan untuk mempelajari pengaruh parameter-parameter proses pengefraisan secara detail terhadap kekasaran permukaan.

METODE

Penelitian ini dilakukan secara aktual di lapangan dengan tujuan untuk menentukan kekasaran permukaan optimal pada face milling cutter dengan 4 gigi pahat dan 6 gigipahat, serta variasihkecepatan spindel mesin sebesar 1000 rpm, 1200 rpm, dan 1400 rpm. Penelitian ini melibatkan perlakuan terhadap benda kerja dan dilakukan analisis terhadap hasil yang diperoleh. Dalam penelitian ini, perbedaan kekasaran permukaan pada benda kerja akan diamati dan dievaluasi. Dalam analisis tersebut, akan ditentukan mana kekasaran yang menghasilkan nilai kekasaranhoptimal pada *face milling* cutter dengan 4 gigi pahat dan 6 gigi pahat, serta dengan variasi kecepatan spindel mesin sebesar 1000 rpm, 1200 rpm, dan 1400 rpm. Data yang terkumpul akan dianalisis dan diinterpretasikan untuk menarik kesimpulan yang relevan dari penelitian ini. Penelitianh ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai kekasaran permukaan optimal yang dapat dicapai dengan kombinasi jenis pahat dan kecepatan spindel mesin yang berbeda. Hasil penelitian dan analisis ini akan menjadi acuan dalam memilih parameter pemotongan yang tepat untuk mencapai kekasaran permukaan yang diinginkan dalam proses face milling.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Spessimen dan Alat Penelitian.

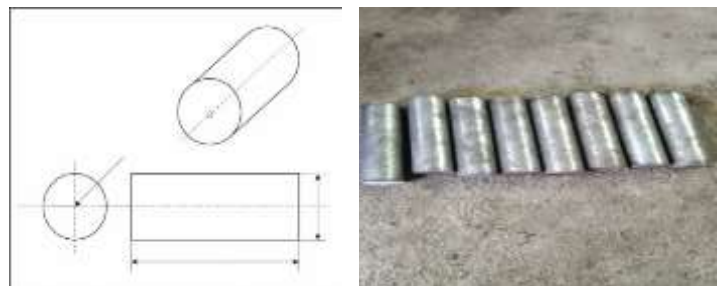
Bahan yang digunakan pada penelitian kali ini adalah bahan baja jenis ST 60 yang berbentuk silinder dengan dimensi benda kerja.

Table 3. 1 Dimensi benda kerja

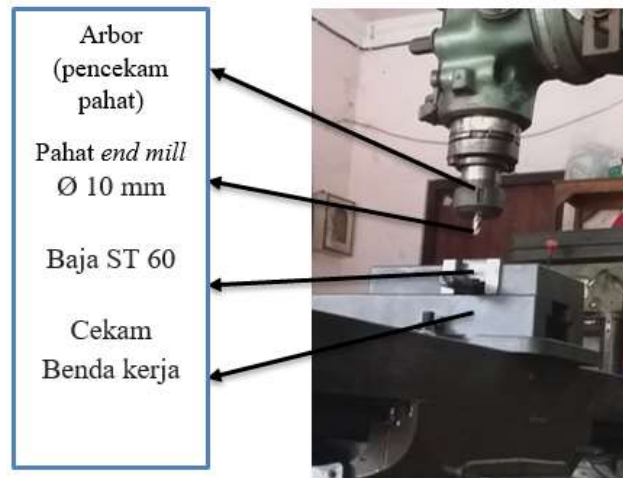
Dimensi	Satuan (mm)
Panjang (P)	40
Diameter (D)	25,8

Sumber: Dokumen Pribadi

Gambar 2. Spesimen benda kerja



Mesin Frais yang digunakan adalah merk Bridgeport Vertikal, pemasangan pahat face milling cutter $\varnothing$ 10 mm 4 dan 6 mata pahat di collet dan di pasang ke arbor mesin dikunci dengan rapat dan juga pengaturan spindle mesin dengan kecepatan 1000, 1200, dan 1400 rpm dilakukan saat mesin berputar di karenakan menggunakan sistem penggerak dari motor ke rotary head di gunakan fanbelt bukan roda gigi.



Gambar 3. Proses pengerjaan benda kerja dan pengambilan data.

Prosedur pengerjaan

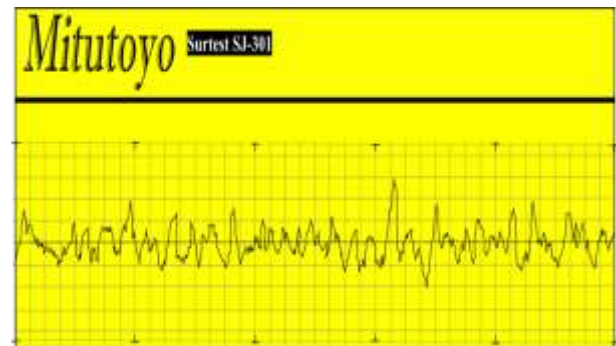
- Gunakan jangka sorong untuk mengukur panjang, lebar, dan tinggi benda kerja.
- Gunakan spidol untuk membuat garis panjang dengan garis horizontal di tengah-tengah benda kerja.
- Siapkan pahat HSS face milling dengan 4 mata pahat dan 6 mata pahat, serta collet untuk mengikat pahat pada arbor mesin frais vertikal.
- Persiapkan parallel strips, dial indicator, dan Surface Tester.
- Pasang parallel strips di meja mesin dan gunakan dial indicator untuk mengukur kerataan cekam.
- Tempatkan benda kerja di atas parallel strips dan pastikan bahwa permukaan benda kerja rata dengan menggunakan dial indicator.
- Atur posisi dial indicator pada titik nol cekam dan benda kerja.
- Mulai melakukan pengerjaan pada benda kerja dengan kedalaman pemotongan sebesar 2 mm.
- Setelah selesai melakukan pengerjaan, gunakan alat ukur surface gauge untuk mengambil data kekasaran permukaan.
- Catat data kekasaran tersebut ke dalam work sheet atau lembar kerja yang telah disiapkan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data hasil dari pengujian kekasaran permukaan yang di peroleh dari hasil proses milling dengan 2 jenis pahat face milling cutter dan variasi kecepatan putaran spindle mesin 1000, 1200, dan 1400 rpm sebagai berikut:

Pengujian tingkat kekasaran permukaan dilakukan untuk mengetahui nilai optimal kekasaran permukaan baja ST 60 pada proses pengefraisan. Pengujian tingkat kekasaran permukaan pada penelitian ini menggunakan alat uji Surface Tester dan diamati kenaikan nilai Ra (nilai rata-rata kekasaran permukaan), dimana hasil dari pengujian ini Akan digunakan sebagai hubungan perbandingan antara jumlah mata pahat dan variasi kecepatan spindle. Berikut ini Grafik hasil pengujian kekasaran dengan 2 jenis pahat face milling cutter dan variasi kecepatan putaran spindle mesin 1000, 1200, dan 1400 rpm:

- Grafik dan Tabel hasil uji kekasaran permukaan pengerjaan menggunakan pahat face milling cutter dengan 4 mata pahat merupakan pengerjaan pertama dengan variasi kecepatan putaran spindle sebesar 1000 rpm.



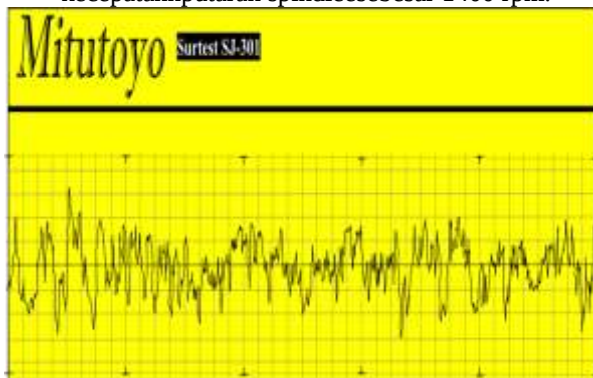
Gambar 4. Grafik Hasil Uji Kekasaran Permukaan

- Grafik dan Tabel hasil uji kekasaran permukaan pengerjaan menggunakan pahat face milling cutter dengan 4 mata pahat merupakan pengerjaan pertama dengan variasi kecepatan putaran spindle sebesar 1200 rpm.



Gambar 5. Grafik Hasil Uji Kekasaran Permukaan

- c. Grafik dan Tabel hasil uji kekasaran permukaan pengeraisan menggunakan pahat face milling cutter dengan 4 mata pahat merupakan pengerjaan pertama dengan variasi kecepatan putaran spindle sebesar 1400 rpm.



Gambar 6. Grafik Hasil Uji Kekasaran Permukaan

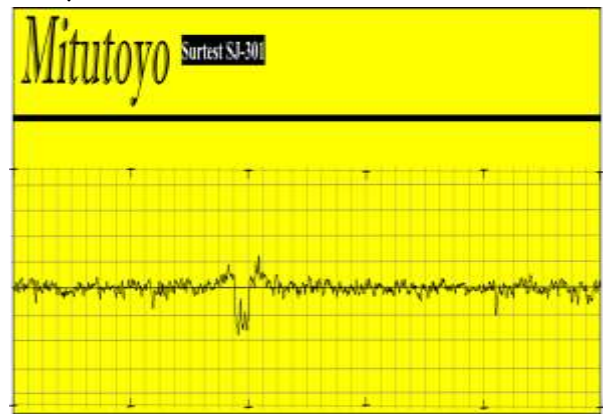
- d. Grafik dan Tabel hasil uji kekasaran permukaan pengeraisan menggunakan pahat face milling cutter dengan 6 mata pahat merupakan pengerjaan pertama dengan variasi kecepatan putaran spindle sebesar 1000 rpm.



Gambar 7. Grafik Hasil Uji Kekasaran Permukaan

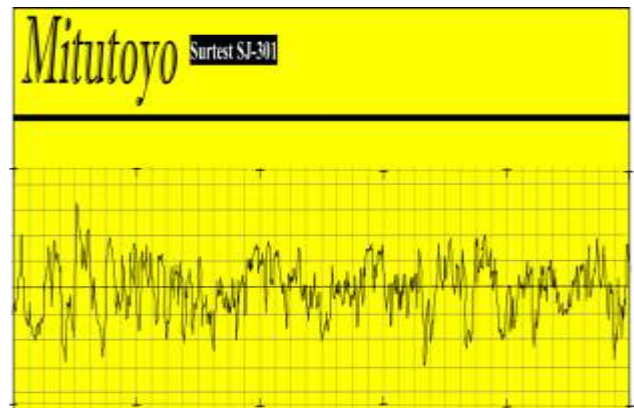
- e. Grafik dan Tabel hasil uji kekasaran permukaan

pengeraisan menggunakan pahat face milling cutter dengan 6 mata pahat merupakan pengerjaan pertama dengan variasi kecepatan putaran spindle sebesar 1200 rpm



Gambar 8. Grafik Hasil Uji Kekasaran Permukaan

- f. Grafik dan Tabel hasil uji kekasaran permukaan pengeraisan menggunakan pahat face milling cutter dengan 6 mata pahat merupakan pengerjaan pertama dengan variasi kecepatan putaran spindle sebesar 1400 rpm.



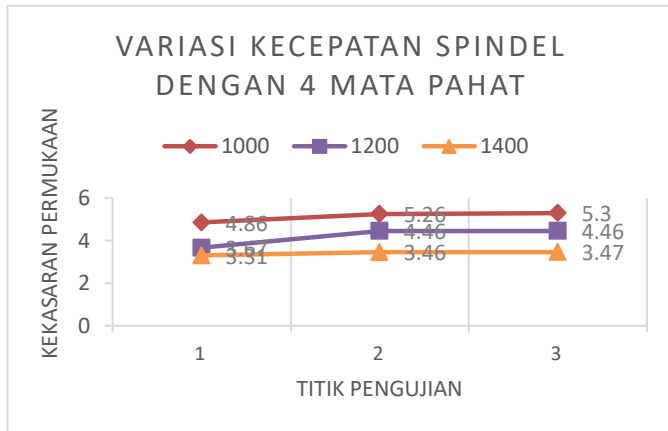
Gambar 9. Grafik Hasil Uji Kekasaran Permukaan

Table 2. Table Hasil Pengujian Kekasaran
Sumber: Dokumen Pribadi

Baja ST 60.		
Jenis Pahat Putaran Spindle Mesin	Pahat HSS <i>face</i> <i>milling cutter</i> Dengan 4 mata pahat (μm)	Pahat HSS <i>face</i> <i>milling cutter</i> Dengan 6 mata pahat (μm)
1000 rpm	4,86 μm	2,84 μm
	5,26 μm	2,90 μm
	5,30 μm	3,04 μm
Jumlah	15,42 μm	8,78 μm
Rata-rata	5,14 μm	2,92 μm
1200 rpm	3,67 μm	2,41 μm
	4,46 μm	2,45 μm
	4,79 μm	2,65 μm
Jumlah	12,92 μm	7,51 μm
Rata-rata	4,30 μm	2,50 μm
1400 rpm	3,31 μm	1,69 μm
	3,46 μm	1,94 μm
	3,47 μm	2,31 μm
Jumlah	10,24 μm	5,94 μm
Rata-rata	3,41 μm	1,98 μm

Analisa Grafik hasil pengujian perbandingan kekasaran dengan kecepatan putaran spindle mesin 1000 rpm, 1200 rpm, dan 1400 rpm.

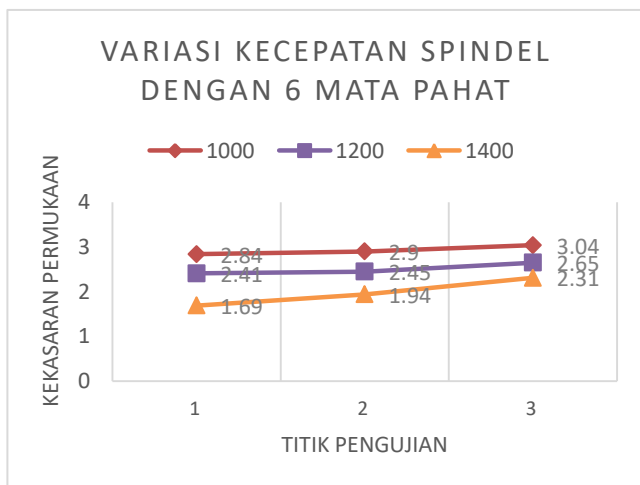
1. Kekasaran permukaan pada putaran spindle 1000 rpm, 1200 rpm, 1400 rpm menggunakan pahat HSS face milling cutter dengan 4 mata pahat.



Gambar 10. Grafik Hasil Pengujian Variasi Spindle Dengan 4 Mata Pahat.

Ditinjau dari grafik di atas nilai kekasaran permukaan dengan kecepatan putaran spindle 1000, 1200, dan 1400 rpm dengan menggunakan pahat face milling cutter 4 mata pahat maka didapatkan nilai rata-rata kekasaran permukaan keduanya yaitu 5,14 μm , 4,30 μm , dan 3,41 μm .

2. Kekasaran permukaan pada putaran spindle 1000 rpm menggunakan pahat HSS face milling cutter dengan 6 mata pahat.



Gambar 11. Grafik Hasil Pengujian Variasi Spindle Dengan 6 Mata Pahat.

Ditinjau dari grafik di atas nilai kekasaran permukaan dengan kecepatan putaran spindle 1000, 1200, dan 1400 rpm dengan menggunakan pahat face milling cutter 6 mata pahat maka didapatkan nilai rata-rata kekasaran permukaan keduanya yaitu 2,92 μm , 2,50 μm , dan 1,98 μm .

Melihat dari dua gambar grafik 10 dan 11 menunjukkan bahwa nilai kekasaran permukaan terendah berada pada nilai kecepatan tertinggi putaran spindle, hal itu tersebut sejalan dengan teori umum, bahwa semakin tinggi putaran spindle maka semakin kecil kekasaran permukaan hasil frais, hal itu disebabkan oleh:

- Reduksi ukuran umpan: Dengan peningkatan putaran spindle, kecepatan pemakanan umpan juga dapat ditingkatkan. Hal ini berarti setiap gigi pemotong memotong lebih sedikit material pada setiap putaran. Dengan ukuran umpan yang lebih kecil, goresan yang dihasilkan pada permukaan benda kerja menjadi lebih halus, sehingga menghasilkan kekasaran permukaan yang lebih baik.
- Peningkatan kecepatan potong: Putaran spindle yang lebih tinggi memungkinkan peningkatan kecepatan potong. Kecepatan potong yang lebih tinggi memungkinkan gigi pemotong berinteraksi dengan material secara lebih efisien dan mengurangi getaran yang mungkin terjadi. Dalam kondisi yang lebih stabil, pemotongan yang lebih halus dapat dicapai, menghasilkan kekasaran permukaan yang lebih baik.
- Pengurangan tumpukan serpihan: Putaran spindle yang lebih tinggi membantu mengurangi tumpukan serpihan pada gigi pemotong. Serpihan yang terakumulasi dapat mempengaruhi kualitas permukaan hasil frais. Dengan putaran spindle yang lebih tinggi, serpihan dapat lebih efektif diarahkan jauh dari benda kerja, mengurangi kemungkinan terjadinya goresan atau cacat pada permukaan.

Analisa data

Dalam tahap penelitian ini, fokus diberikan pada hubungannantara kekasaran permukaan benda kerja dalam proses pemesinan dengan jenis jumlah mata pahat dan variasi kecepatan putaran spindle. Salah satu aspek penting dari penelitian ini adalah analisis data yang dilakukan untuk memperoleh hasil yang maksimal. Data yang telah diperoleh akan dianalisis menggunakan metode uji t, analisis varian duaarah (two-way analysis of variance), dan regresi linier berganda untuk kemudian memberikan kesimpulan. Berikut adalah data yang telah diperoleh:

Analisa dengan uji T

Dalam pengujian ini, untuk mengetahui perbedaan variasi antara kedua kelompok data, dianalisis dengan menggunakan Uji t. Namun, sebelum melakukan Uji t, diperlukan informasi apakah varian dari kedua kelompok yang diuji tersebut sama atau tidak. Dalam konteks ini, peneliti mendapatkan dua macam data sampel, yaitu data dari perlakuan pertama dan data dari perlakuan kedua.

1. Uji T kecepatan spindle mesin 1000 rpm dengan pahat face milling cutter 4 mata pahat (4 mp) dan 6 mata pahat (6 mp)

- **Hasil Analisa** : oleh karena $8,014 > 2,132$ maka H_0 ditolak, berarti nilai kekasaran pada baja ST 60 dengan perlakuan pengefraisan kecepatan spindle 1000 rpm dengan variasi 4 mata pahat kekasaran rata-rata $5,14 \mu\text{m}$ sedangkan yang 6 mata pahat $2,92 \mu\text{m}$.

2. Uji T kecepatan spindle mesin 1200 rpm dengan pahat face milling cutter 4 mata pahat (4 mp) dan 6 mata pahat (6 mp)

- **Hasil Analisa** : oleh karena $7,192 > 2,132$ maka H_0 ditolak, berarti nilai kekasaran pada baja ST 60 dengan perlakuan pengefraisan kecepatan spindle 1200 rpm dengan variasi mata pahat 4 kekasaran rata-rata $4,30 \mu\text{m}$ sedangkan yang 6 mata pahat $2,43 \mu\text{m}$.

3. Uji T kecepatan spindle mesin 1400 rpm dengan pahat face milling cutter 4 mata pahat (4 mp) dan 6 mata pahat (6 mp)

- **Hasil Analisa** : oleh karena $3,819 > 2,132$ maka H_0 ditolak, berarti nilai kekasaran pada baja ST 60 dengan perlakuan pengefraisan kecepatan spindle 4 mata pahat 4 kekasaran rata-rata $3,41 \mu\text{m}$ sedangkan yang 6 mata pahat $1,98 \mu\text{m}$.

4. Perhitungan uji hipotesis menggunakan Analisis Variance Dua Arah

Kesimpulan

- a. $F_{hitung} < f_{tabel} \alpha = 0,05$ ($-10,283 < 5,59$) artinya H_0 diterima dan H_1 ditolak bahwa tidak ada perbedaan hasil variasi jenis mata pahat terhadap kekasaran permukaan.
- b. $F_{hitung} > f_{tabel} \alpha = 0,05$ ($59,29 > 4,74$) artinya H_0 ditolak dan H_1 diterima bahwa ada perbedaan hasil variasi putaran spindle mesin terhadap kekasaran permukaan.
- c. $F_{hitung} < f_{tabel} \alpha = 0,05$ ($-5,035 < 4,74$) artinya H_0 diterima bahwa tidak ada interaksi antara variasi jenis mata pahat dan variasi putaran spindle mesin terhadap kekasaran permukaan.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian tersebut, dilakukan analisis perbandingan kekasaran permukaan saat melakukan proses pengefraisan pada permukaan Baja ST 60. Penelitian ini menggunakan dua jenis pahat face milling cutter, yaitu dengan 4 mata pahat dan 6 mata pahat. Selain itu, variasi kecepatan putaran spindle yang digunakan adalah 1000, 1200, dan 1400 rpm. Pahat yang digunakan dalam proses pengefraisan ini adalah jenis HSS (High Speed Steel). Maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Didalam penelitian ini terdapat sedikit perbedaan kekasaran permukaan benda kerja, terdapat pengaruh kekasaran yang signifikan terhadap nilai kekasaran permukaan dari jumlah mata pahat dan kecepatan spindle mesin.
2. Nilai kekasaran terendah adalah $1,69 \mu\text{m}$ terdapat pada jenis pahat face milling cutter 6 mata pahat dengan kecepatan 1400 rpm. Nilai kekasaran tertinggi adalah $5,30 \mu\text{m}$ terdapat pada jenis pahat face milling cutter 4 mata pahat dengan kecepatan 1000 rpm.
3. Ditinjau dari perhitungan manual analisa uji t didapatkan hasil :
 - Perbandingan kekasaran permukaan dalam proses pengefraisan antara pahat face milling cutter 4 mata pahat dengan pahat face milling cutter 6 mata pahat dengan kecepatan 1000 rpm didapatkan hasil $t_{hitung} > t_{tabel} = 8,014 > 2,132$ maka H_0 ditolak, berarti nilai kekasaran pada baja ST 60 dengan perlakuan pengefraisan kecepatan spindle 1000 rpm dengan variasi 4 mata pahat kekasaran rata-rata $5,14 \mu\text{m}$ sedangkan yang 6 mata pahat $2,92 \mu\text{m}$.
 - Perbandingan kekasaran permukaan dalam proses pengefraisan antara pahat face milling cutter 4 mata pahat dengan pahat face milling cutter 6 mata pahat dengan kecepatan 1200 rpm didapatkan hasil $t_{hitung} > t_{tabel} = 7,192 > 2,132$ maka H_0 ditolak, berarti nilai kekasaran pada baja ST 60 dengan perlakuan pengefraisan kecepatan spindle 1200 rpm dengan variasi mata pahat 4 kekasaran rata-rata $4,30 \mu\text{m}$ sedangkan yang 6 mata pahat $2,43 \mu\text{m}$.
 - Perbandingan kekasaran permukaan dalam proses pengefraisan antara pahat face milling cutter 4 mata pahat dengan pahat face milling cutter 6 mata pahat dengan kecepatan 1400 rpm didapatkan hasil $t_{hitung} > t_{tabel} = 3,819 > 2,132$ maka H_0 ditolak, berarti nilai kekasaran pada baja ST 60 dengan perlakuan pengefraisan kecepatan spindle 4 mata pahat 4

kekasaran rata-rata 3,41 μm sedangkan yang 6 mata pahat 1,98 μm .

4. Ditinjau dari perhitungannmanual analisa uji f two way analisis of variance didapatkan hasil :
 - Antar jenis pahat
F hitung < f table $\alpha = 0,05$ ($-10,283 < 5,59$) artinya h_0 diterima dan h_1 ditolak bahwa tidak ada perbedaan hasil variasi jenis mata pahat terhadap kekasaran permukaan.
 - Antar kecepatan putaran *spindel*
F hitung > f table $\alpha = 0,05$ ($59,29 > 4,74$) artinya h_0 ditolak bahwa ada perbedaan hasil variasi putaran spindle mesin terhadap kekasaran permukaan.
 - Antar interaksi
F hitung < f table ($-5,035 < 4,74$) artinya h_0 di terima bahwa tidak ada interaksi antara variasi jenis mata pahat dan variasi putaran spindle mesin terhadap kekasaran lpermukaan.

Saran

Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam pelaksanaan penelitian adalah:

1. Menghilangkan rasa takut dan kurang percaya diri terhadap data yang diperoleh dari hasil penelitian.
2. Sebelum memulai penelitian, penting untuk memperhitungkan harga setiap material atau bahan baku serta faktor-faktor lainnya agar biaya pengeluaran dapat diminimalkan.
3. Memastikan persiapan bahan dan alat uji dilakukan dengan baik jauh sebelum penelitian dimulai, untuk mendapatkan hasil yang memuaskan dan menghemat waktu.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Pratama, "Pengaruh Feedrate dan Jumlah Mata Sayat Pisau Frais terhadap Nilai Kekasaran Permukaan Baja EMS 45," 2017.
- [2] D. Bangun, "Pengaruh Variasi Kecepatan dan Variabel Putaran Spindel Mesin Frais Terhadap Kekasaran Permukaan Pada Proses Frais MMC Matriks Kuningan Penguat Fly Ash," pp. 15–22, 2012.
- [3] A. W. Hermawan and A. M. Sakti, "Pengaruh Kecepatan Putaran Spindle dan Kedalaman Pemakanan Terhadap Tingkat Kerataan dan Kekasaran Permukaan Alumunium 6061 pada Mesin Frais CNC Headman," *Jtm*, vol. 03, 2014.
- [4] Gusti R. F. Syahrillah, M. Firman, and M. A. Sugeng .P, "Analisa Uji Kekerasan pada Poros Baja ST 60 dengan Media Pendingin yang Berbeda," *Al-Jazari J. Ilm. Tek. Mesin*, vol. 01, 2016.
- [5] A. A. Shiddieqy and A. M. Sakti, "Pengaruh Jenis Pahat, Kecepatan Spindel, dan Kedalaman Pemakanan Terhadap Tingkat Kekasaran Permukaan dan Bentuk Geram Baja ST.41 Pada Proses Milling Konvensional," 2014.
- [6] A. M. Sakti and N. A. Assegaf, "Pengaruh Jenis Pahat, Kedalaman Pemakanan, Dan Jenis Cairan Pendingin Terhadap Tingkat Kekasaran Dan Kerataan Permukaan Baja St. 41 Pada Proses Milling Konvensional," *JTM*, vol. 03, no. 01, pp. 40–48, 2014.
- [7] T. Rochim, *Teori dan Teknologi Teknik Pemesinan*. Bandung, 1993.
- [8] Paridawati, "Pengaruh Kecepatan Dan Sudut Potong Terhadap Kekasaran Benda Kerja Pada Mesin Bubut," *J. Ilm. Tek. Mesin*, vol. 3, no. 1, 2015.
- [9] S. Jokosisworo, "Analisa Kekuatan Puntir, Lentur Putar Dan Kekerasan Baja St 60 Untuk Poros Propeller Setelah Diquenching," 2009.
- [10] R. R. Putra, S. Jokosisworo, and A. W. Budi, "Analisa Kekuatan Puntir, Kekuatan Tarik dan Kekerasan Baja ST 60 sebagai Bahan Poros Baling-baling Kapal (Propeller Shaft) setelah Proses Tempering," *Tek. Perkapalan*, 2017.
- [11] Y. Suntoyo, *Dasar-dasar statistika : dengan penekanan terapan bidang agrokompleks, teknologi dan sosial / Suntoyo Yitnosumarto.*, Ed. 1, Cet. Jakarta: Jakarta: Rajawali Pers, 1990.