
Sudut Relief dan Kualitas Permukaan pada Proses *Slab Milling*

(No. 050/J.16.PL/DIK IIV - 2004)

Ismet Hari Mulyadi, M.Sc. (Ketua)

Endi Alta, ST. (Anggota)

Adam Malik, M.SEng. (Pembimbing)

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Andalas Padang

Abstrak

Proses freis dengan mempergunakan pahat freis bergigi miring mempunyai karakteristik yang khas, dimana pahat mempunyai sudut heliks yang fungsinya sama penting dengan sudut geram. Pemilihan sudut yang tidak tepat akan menyebabkan terjadinya gesekan; dan bukan proses pemotongan pada benda kerja. Dengan melihat pengaruh sudut relief terhadap kualitas permukaan produk, maka diharapkan proses pemesinan dengan mempergunakan pahat freis bergigi miring akan lebih optimum. Untuk mengetahui pengaruh sudut tersebut, digunakan metoda Taguchi dan Faktorial untuk mendapatkan data dan ANOVA untuk melihat kontribusi dari sudut relief terhadap kekasaran dan kerataan permukaan produk. Dari hasil terlihat bahwa dibandingkan faktor dominan yang mempengaruhi kekasaran permukaan; kedalaman potong. Sudut relief memberikan kontribusi yang lebih besar (7,06%). Semakin besar sudut relief, maka akan semakin besar juga kekasaran permukaan dari produk.

Kata kunci : *Sudut relief, kekasaran permukaan*

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Proses Freis adalah proses yang paling kompleks dalam proses pemesinan. Proses ini dapat menghasilkan bentuk-bentuk yang lebih beragam dibandingkan proses-proses utama lain yang termasuk ke dalam proses pemesinan seperti, proses bubut, gundi, skrap dan gerinda. Walaupun kualitas permukaan; kekasaran dan kedataran, yang dihasilkan tidak dapat menyamai proses gerinda, tetapi untuk kualitas permukaan produk pemesinan proses ini masih lebih baik

Proses ini secara umum dapat dikelompokkan atas dua jenis, yaitu proses freis datar (*Slab Milling*) dan proses freis tegak (*Face Milling*). Proses freis datar mempunyai beberapa jenis geometri pahat yang dipergunakan, salah satunya adalah pahat freis bergigi miring (*helical tools*). Pada geometri pahat bergigi miring, ada sebuah sudut yang biasa disebut sudut relief (atau disebut juga *Clearance Angle*). Sudut ini diukur dari permukaan referensi dengan sisi mata potong (Scheineder, 2000). Sudut ini sangat penting fungsinya dibandingkan dengan sudut geram atas (NN1, 2002). Adapun Fungsi utama dari sudut ini adalah untuk menghindari gesekan antara bagian yang tidak memiliki mata potong dengan sisi dan permukaan benda kerja. Pemakaian sudut relief ini bergantung pada kekerasan material yang akan diproses.

Berdasarkan fungsi utamanya yang telah disebutkan sebelumnya, dapat disimpulkan pemilihan sudut yang tidak tepat akan berakibat terjadinya gesekan antara bagian

yang tidak mempunyai mata potong dari pahat dengan; khususnya, permukaan benda kerja. Hal ini secara langsung juga akan berpengaruh kepada kualitas permukaan yang dihasilkan oleh proses, dalam hal ini kekasaran dan kedataran permukaan dari produk.

Pada penelitian ini, pengaruh sudut relief ini terhadap terutama kekasaran permukaan produk yang diproses dengan mempergunakan proses freis tegak akan dibahas.

1.2 Perumusan Masalah

Pada proses pemecinan dengan mempergunakan pahat freis datar yang mempunyai sudut heliks. Sudut relief akan menentukan besar kecilnya gesekan pahat pada permukaan benda kerja. Semakin kecil gesekan antara pahat dengan permukaan benda kerja (semakin besar proses pemotongan yang terjadi) akan mengakibatkan semakin bagus kualitas permukaan. Penggunaan yang tidak terlalu sering dalam perbengkelan umum, membuat hal ini tidak terlalu menarik perhatian. Walaupun efek yang diakibatkannya sangat besar seperti kenaikan gaya potong yang akan berpengaruh ke konstruksi mesin perkakas dan pada kualitas produk, baik kualitas permukaan maupun ketelitian dimensi.

Proses freis yang merupakan salah satu proses pemecinan yang mampu menghasilkan permukaan yang bagus, sehingga semua hal yang akan menimbulkan efek negatif perlu dipertimbangkan. Oleh karena itu dalam penelitian ini akan dilihat pengaruh pemilihan sudut relief terhadap kualitas permukaan.

1.3 Tujuan dan Manfaat

Tujuan :

1. Memperkirakan kontribusi sudut relief ini terhadap kekasaran permukaan dari produk dan selanjutnya melihat kedataran yang dihasilkannya secara umum
2. Melihat pengaruh besar kecilnya sudut relief terhadap kekasaran produk secara umum

Manfaat :

Dengan mengetahui kontribusi sudut relief maka diharapkan akan didapatkan rekomendasi penggunaan sudut relief untuk menentukan pemilihan yang tepat dalam menghasilkan suatu produk yang mempunyai kekasaran permukaan yang dikehendaki dari sebuah proses freis datar

2 TINJAUAN PUSTAKA

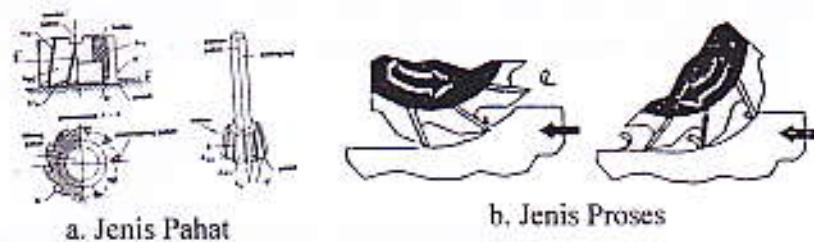
2.1 Proses Mengefreis (*Milling*)

Proses pemecinan (*machining*) merupakan proses yang penting dalam tahapan proses produksi suatu komponen logam. Pada masa sekarang untuk meningkatkan efisiensi biaya dalam pembuatan suatu komponen dari logam, maka proses pemecinan berada pada tingkatan dimana diharapkan produk yang dihasilkan mempunyai ketelitian yang cukup tinggi dengan kualitas permukaan yang bagus. Hal ini disebabkan karena proses pemecinan mampu menghasilkan bentuk-bentuk rumit, seperti profil, sudut-sudut tajam, kedataran, dan tekstur-tekstur permukaan yang mempunyai konfigurasi khusus (Kalpakjian, 1995).

Ada tujuh kelompok utama proses pemecinan, yang salah satunya yang mempunyai peranan penting adalah proses Freis. Proses Freis adalah proses pemecinan yang mempunyai banyak keunggulan. Proses ini mampu menghasilkan profil permukaan yang beraneka ragam Ada dua jenis utama pahat freis (*milling cutter*), yaitu pahat

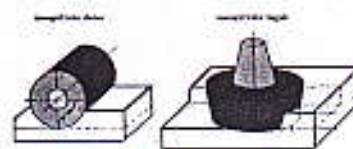
freis selubung (*slab*) dan freis muka (*face*). Keduanya termasuk klasifikasi pahat freis bermata potong jamak (*single point cutting tools*). Sedangkan berdasarkan prosesnya, proses mengefreis dikelompokkan atas mengefreis datar (*slab milling*) dan mengefreis tegak (*face milling*). Proses mengefreis datar dikelompokkan atas proses mengefreis naik (*Up milling*) dan mengefreis turun (*Down milling*).

Masing-masing proses mempunyai keuntungan dan kerugian masing-masing. Mengefreis naik akan mempercepat keausan pahat karena mata potong akan lebih menggesek benda kerja yang mengakibatkan permukaan benda kerja menjadi kasar. Sedangkan proses mengefreis turun me-nyebabkan benda kerja menjadi tertekan dan meja terdorong oleh pahat. Akibatnya apabila sistem kompensasi gerak balik (*backlash compensator*) tidak begitu baik akan menyebab-kan timbulnya getaran.



Gambar 1 Jenis pahat freis dan cara proses freis

Berbeda dari proses pemesinan lain, proses mengefreis menghasilkan geram berbentuk koma dengan tebal geram yang berubah-ubah dan di-pengaruhi oleh gerak makan gigi (f_z) dan su-dut posisi (ϕ) yang berubah tergantung posisi mata potong pahat freis. Gambar (2) menunjukkan perubahan tebal geram sebelum terpotong (h).



Gambar 2 Proses mengefreis datar dan tegak

Untuk mengefreis datar, bagi pahat bergigi lurus, lebar pemotongan b selalu tetap sehingga penampang geram hanya merupakan fungsi tebal geram, sesuai dengan sudut posisi gigi. Sedangkan pada pahat freis bergigi miring (bersudut heliks), lebar pemotongan akan berubah dan harganya dipengaruhi oleh sudut miring λ_s , kedalam potonga aksial a , diameter pahat freis d serta sudut posisi ϕ . Sudut miring umumnya berharga positif (Rochim,1993), maka pojok pahat akan menempati posisi di depan ujung lain untuk mata potong yang sama pada tepi luar. Oleh karena itu untuk menyatakan sudut posisi bagi salah satu gigi pahat freis harus dengan menyebutkan lokasi ujung pahat (*leading edge*) dan lokasi ujung belakang (*trailing edge*).

Untuk pahat freis dengan diameter dan sudut miring yang tertentu, maka kedalam potong aksial (a) akan menentukan pertemuan antara mata potong dengan benda kerja sehingga didefinisikan suatu sudut persentuhan heliks (*helical engagement angle*), ϕ_h , yaitu :

$$\phi_h = \frac{a \tan \lambda_s}{d / 2} \dots\dots\dots 1$$

Sudut persentuhan heliks ini bersama dengan sudut persentuhan ϕ_x akan menentukan jumlah gigi efektif z_e , yaitu

$$z_e = \frac{\phi_\lambda + \phi_c}{\phi_z} = \frac{\phi_\lambda + \phi_c}{2\pi / z} \quad \dots\dots\dots 2$$

Tergantung pada harga kedalaman potong aksial (a) yang dipilih maka dapat terjadi kondisi yang merupakan salah satu dari ketiga posisi yang mungkin, yaitu :

Kondisi posisi 1, dimana $\phi_\lambda = \phi_c$

Kondisi posisi 2, dimana $\phi_\lambda < \phi_c$

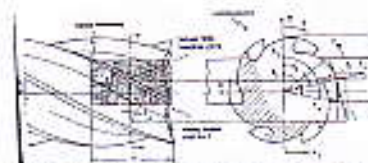
Kondisi posisi 3, dimana $\phi_\lambda > \phi_c$

Apabila permukaan kontak antara pahat dengan benda kerja dengan busur sepanjang sudut persentuhan dibuka, maka lebar geram pada tiap saat pada masing-masing periode dan kondisi posisi di atas dapat ditentukan berdasarkan hubungan geometris sederhana, yaitu :

$$b_i = (\phi_1 - \phi_i) \frac{d}{2 \sin \lambda_s} \quad \dots\dots\dots 3$$

Tebal geram akan mencapai harga maksimum pada ;

$$b_{\max} = \phi_{\min} \frac{d}{2 \sin \lambda_s} \quad \dots\dots\dots 4$$



Gambar 3 Proses mengefreis dengan pahat bergigi miring

2.2 Keausan Pahat

2.2.1 Kerusakan dan keausan pahat

Dalam praktek umur pahat tidak hanya dipenga-ruhi oleh geometri pahat tetapi juga oleh faktor-faktor lain yang berkaitan dengan proses pemessinan, yaitu ;

- Jenis material benda kerja dan pahat
- Kondisi pemotongan (kecepatan potong, kedalaman potong dan gerak makan)
- Cairan pendingin
- Jenis proses pemessinan

Material Pahat

Proses pembentukan geram dengan cara pemessinan berlangsung dengan mempertemukan dua jenis material. Untuk menjamin kelangsungan proses, maka diperlukan material pahat yang lebih unggul daripada material benda kerja.

Keunggulan tersebut dicapai karena pahat dibuat dengan memperhatikan herbagai segi, yaitu :

- a. Kekerasan
- b. Keuletan
- c. Ketahanan terhadap beban kejut termal
- d. Sifat adhesi yang rendah

e. Daya larut elemen yang rendah

Jenis material pahat yang didasarkan sifat-sifat di atas telah ditemukan dan diproduksi menjadi pahat yang dapat diurutkan berdasarkan sifat keuletannya dari yang tinggi ke yang rendah sebagai berikut :

- a. Baja Karbon (*High Carbon Steels*)
- b. HSS (*High Speed Steels*)
- c. Paduan Cor Non Ferro (*Cast Nonferrous Alloy*)
- d. Karbida (*Cemented Carbides*)
- e. Keramik (*Ceramics*)
- f. CBN (*Cubic Boron Nitrides*)
- g. Intan (*Sintered Diamonds & Natural Diamonds*)

Dari jenis material pahat di atas yang umum dipergunakan adalah HSS dan Karbida. Dan untuk penggunaan pada proses freis di bengkel-bengkel yang menjadi pilihan utama adalah pahat HSS.

2.2.2 Bidang aktif yang mengalami kerusakan/ keausan.

Selama proses pembentukan berlangsung, pahat dapat mengalami kegagalan dari fungsi normalnya karena berbagai sebab antara lain :

- Keausan yang secara bertahap membesar (tumbuh) pada bidang aktif pahat
- Retak yang menjalar sehingga menimbulkan patahan pada mata potong pahat
- Deformasi plastis yang akan mengubah bentuk/ geometri pahat

Jenis kerusakan yang terakhir di atas disebabkan oleh tekanan dan temperatur yang tinggi pada bidang aktif pahat dimana kekerasan dan kekuatan material pahat akan turun bersama dengan naiknya temperatur. Keausan dapat terjadi pada bidang geram (A_y) dan/ atau pada bidang utama (A_x) dari pahat. Berdasarkan posisi terjadinya keausan, maka dapat dibagi atas, Gambar 4.:

1. Keausan tepi (*flank wear*), terjadi pada bidang utama
2. Keausan kawah (*crater wear*), terjadi pada bidang geram



Gambar 4 Keausan kawah dan keausan tepi

2.2.3 Mekanisme keausan dan kerusakan pahat

Penyebab keausan dan kerusakan pahat dapat merupakan suatu faktor dominan atau gabungan dari beberapa faktor, yaitu :

a. Proses Abrasif

Proses yang terjadi karena adanya partikel-partikel keras pada benda kerja yang menggesek bersama-sama dengan aliran material benda kerja pada bidang geram dan bidang utama.

b. Proses Kimiawi

Dua permukaan yang saling bergesekan dengan tekanan yang cukup besar beserta lingkungan kimiawi yang aktif (udara maupun cairan pendingin dengan komposisi tertentu) dapat menyebabkan interaksi antara material pahat dengan benda kerja.

c. Proses Adhesi

Pada tekanan dan temperatur yang relatif tinggi, permukaan metal yang baru saja terbentuk akan menempel dengan permukaan logam benda kerja, Gambar 5..



Gambar 5 Daerah penempelan material benda kerja

Pada semua kondisi pemotongan, proses ini terjadi pada daerah dekat mata potong. Daerah tersebut dinamakan Daerah Aliran (Flow Zone). Karena aliran logam pada kecepatan potong yang rendah dan bila afinitas material benda kerja dengan material pahat cukup kuat, maka akan terjadi penumpukan lapisan material benda kerja pada daerah dekat mata potong. Penumpukan tersebut pada proses pemesian dikenal dengan nama BUE (*Built Up Edge*) yang akan mengubah sudut geram (γ_0).

d. Proses Difusi

Pada daerah terjadinya proses adhesi antara material benda kerja dengan pahat di bawah tekanan dan temperatur yang tinggi serta adanya aliran logam

e. Proses Oksidasi

Pada kecepatan potong yang tinggi ketahanan karbida atas proses oksidasi akan menurun. Akibatnya struktur material pahat akan melemah dan tidak tahan terhadap deformasi yang disebabkan oleh gaya pemotongan.

f. Proses deformasi plastis

Kekuatan pahat untuk menahan tegangan tekan (*compressive stress*) merupakan sifat material pahat yang dipengaruhi oleh temperatur.

2.3. Temperatur Pemotongan

Kerja mekanis yang bebas getaran, seluruhnya akan diubah seluruh menjadi panas. Hal ini dapat diuraikan dari persamaan (8).

$$Q = Q_{sh} + Q_{\gamma} + Q_{\alpha} \quad \dots\dots\dots 5$$

Dimana;

Q_{sh} = panas pada bidang geser

Q_{γ} = panas pada bidang geram

Q_{α} = panas pada bidang utama

Berdasarkan penelitian (Rochim,1993), persentase panas yang ditimbulkan pada masing-masing bidang adalah 80%, 18%, dan 2%. Panas tersebut sebagian akan dibawa oleh geram (75%), merambat melalui pahat (20%) dan merambat melalui benda kerja (5%).

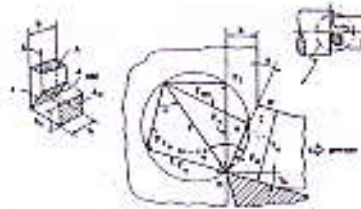
$$\theta_E = \frac{C k_s v^{0.44} A^{0.22}}{\lambda_w^{0.44} c_{vw}^{0.56}} \quad \dots\dots\dots 6$$

Dengan melakukan analisis dimensional, maka pengaruh variabel proses terhadap temperatur pemotongan, maka berdasarkan persamaan (2), dapat disimpulkan bahwa:

1. Besaran fisik yang mempengaruhi temperatur pemotongan θ_E adalah gaya potong spesifik, k_s .
2. Temperatur pemotongan berbandingan terbalik dengan akar dari besaran panas. Benda kerja yang mempunyai konduktivitas panas, λ_w dan panas spesifik volumetrik, c_{vw} yang rendah akan menunjukkan suhu yang tinggi apabila dipotong
3. Kondisi pemotongan yang dipilih (V_c dan A) akan menentukan tinggi rendah-nya suhu pemotongan

2.3.2 Gaya pemotongan pada proses freis

Dengan mengacu pada diagram Lingkaran Merchant (Gambar 6.), maka gaya pemotongan teoritik untuk semua proses pemesinan dapat diperkirakan. Tetapi karena gaya pemotongan teoritik dianalisa dari proses pemotongan *Orthogonal* sedangkan proses pemesinan yang sebenarnya merupakan proses pemotongan *Oblique*, maka hasilnya tidak dapat menggambarkan keadaan sebenarnya.



Gambar 6 Lingkaran Merchant Gaya Pemotongan Teoritik

Pada proses freis, gerakan dari setiap mata potong (gigi) adalah merupakan gerakan sikloidal. Oleh karena itu setiap posisi relative pahat freis terhadap lebar pemotongan akan selalu memotong benda kerja dengan ketebalan geram yang berubah. Jarak antara sikloidal yang berurutan, pada arah kecepatan makan, akan selalu sama dan disebut dengan gerak makan pergigi (f_z , r/mm). Gerak makan pergigi ini juga dipengaruhi oleh kecepatan potong (V_c) atau putaran (n) serta jumlah gigi efektif yang memotong. Oleh sebab itu maka gaya pemotongan yang terjadi akan selalu berfluktuasi sesuai dengan perubahan sudut masuk gigi.

Selanjutnya karena terjadi perubahan gaya pemotongan yang terjadi selama proses berlangsung yang disebabkan oleh perubahan sudut masuk gigi, maka juga akan terjadi perubahan daya pemotongan. Pemilihan kondisi pemotongan yang tepat mampu menurunkan fluktuasi gaya pemotongan sehingga getaran dapat diminimalkan dan kekasaran permukaan benda kerja yang dihasilkan juga menjadi lebih baik (halus) (Rochim, 1993)

3. METODOLOGI

3.1 Perancangan Pengujian

3.1.1 Peralatan dan bahan yang dipergunakan

Bahan

Bahan yang digunakan baik itu untuk benda kerja, pahat maupun cairan pendingin adalah baja karbon menengah S45C dengan kekerasan sebesar 13,2 HRC dan kekuatan tarik 65 – 80 kg/mm² yang mengandung unsur-unsur Karbon, C (0,43 – 0,5 %); Mangan, Mn (0,6 – 0,9 %); Fosfor, P (0,04 %); dan Sulfur, S (0,05 %).

Sedangkan bahan untuk pahat yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Plain milling cutter* HSS 63 x 90 x 27 mm, dan cairan pendingin (*coolant*), campuran air dan *Bromus* dengan perbandingan (1 : 3).

Peralatan

1. Peralatan Utama

- Mesin Freis Universal (*Universal Milling Machine*) PINDAD PM-2HU
- Mesin Asah Universal (*Universal Grinding Machine*) Heavy Duty FCG-714

2. Alat Ukur

- a. Alat ukur mikroskop (*Tool Maker Mikroscope*), Mitutoyo yang digunakan untuk mengukur sudut relief
- b. Alat ukur kerataan permukaan dengan menggunakan batang lurus (*straight edges*) yang digunakan untuk menjamin kerataan bidang ukur sebelum kekasaran permukaan diukur agar harga kekasaran yang diperoleh benar.
- c. Untuk mengukur kekasaran permukaan dipergunakan alat ukur kekasaran permukaan (*Surface Roughness Tester*), Mitutoyo Surflest

3.1.2 Metoda Pengujian

Untuk menghemat waktu dan biaya, dipilih Metoda Pengujian *Taguchi* seperti pada Tabel 1.

Tabel 1 Faktor/variabel dan tingkatannya

Faktor	Nilai Rendah	Nilai Tinggi
Faktor A : Kedalaman potong (mm)	0,35	0,45
Faktor B : Sudut relief	6°	10°
Faktor C : Putaran Spindel (rpm)	98	204
Faktor D : Kecepatan makan (mm/min)	34	213

Disamping variabel – variabel di atas, terdapat juga variabel tetap dan asumsi-asumsi dalam pengujian, adalah sebagai berikut :

1. Sudut heliks pahat = 39,5°
2. Material benda kerja dianggap homogen
3. Kedalaman potong yang dilakukan setiap tingkatan kedalaman adalah sama
4. Alat-alat ukur yang digunakan terkalibrasi (toleransi penyimpangan dalam batas yang diizinkan)
5. Pengaruh *chatter* dalam pemesinan dapat diabaikan.
6. Pemesinan yang dilakukan adalah *wet machining*.

Pengujian dengan metoda **Taguchi** lebih diutamakan untuk membantu dalam melakukan analisis dengan mempergunakan ANOVA (*Analysis of Variant*). Sedangkan untuk melihat distribusi data dan kecenderungan hasil digunakan *Susunan Ortogonal*. Dalam pemilihan susunan *orthogonal* ini tergantung pada :

- a. Jumlah tingkatan nilai untuk setiap faktor.
- b. Jumlah faktor dan interaksi.

Tabel 2 Bentuk tabel Orthogonal L-16 (2^4)

Jumlah Pengujian	Faktor			
	A	B	C	D
1	1	1	1	1
2	2	1	1	1
3	1	2	1	1
4	2	2	1	1
5	1	1	2	1
6	2	1	2	1
7	1	2	2	1
8	2	2	2	1
9	1	1	1	2
10	2	1	1	2
11	1	2	1	2
12	2	2	1	2
13	1	1	2	2
14	2	1	2	2
15	1	2	2	2
16	2	2	2	2

Dalam pengujian yang dilakukan, jumlah tingkatan/level dalam sebuah faktor ditetapkan tiga buah, maka susunan *orthogonal* yang sesuai yang dipilih adalah susunan *orthogonal* tiga level/tingkatan. Dengan jumlah faktor dan interaksi empat maka dipilih susunan *orthogonal* L-16.

3.1.3 Metoda pengolahan data

Untuk menganalisa data digunakan metoda *Single-way ANOVA (Analysis of Variant)* yang berguna untuk mengetahui kontribusi masing-masing faktor. Sehingga dapat diketahui faktor-faktor yang mempunyai pengaruh dominan terhadap objek yang diteliti

3.1.4 Metoda pengukuran

Sudut Relief

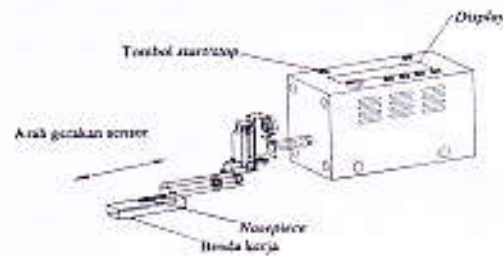
Pengukuran sudut relief dilakukan dengan cara :

Sudut relief diletakkan pada dasar pahat pada meja ukur, dimana garis tengah (diameter pahat) diletakkan sejajar dengan sumbu horizontal pada mikroskop, dalam hal ini ujung mata potong dari pahat ditempatkan pada pusat sumbu yang tampil pada mikroskop. Kemudian besar sudut relief dapat diukur dengan menggerakkan sumbu tersebut dengan pengatur besar sudut pada mikroskop sehingga sumbu vertikalnya sejajar dengan sisi miring dari gigi pahat, dan hasilnya dapat kita ketahui dari besarnya pergeseran yang dilakukan pada pengatur besar sudut.

Kekasaran permukaan benda kerja

Metoda pengukurannya adalah, benda kerja yang sudah diproses (terletak di meja mesin), kemudian sensor alat ukur kekasaran permukaan (*stylus*) digerakkan di atas

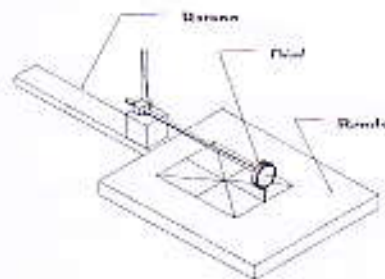
permukaan yang akan diukur. Pengukuran dilakukan menyeluruh pada semua permukaan benda kerja yang diwakilkan oleh beberapa titik dengan pola *Union Jack*. Kemudian hasil pengukuran ini dirata-ratakan. Pengambilan jarak antar masing-masing titik ditentukan oleh kemampuan pembacaan alat ukur, dalam hal ini panjang sampel dan jarak titik uji.



Gambar 7 Alat ukur kekasaran permukaan

Kerataan permukaan referensi

Pengukuran kerataan permukaan sebagai referensi dari nilai kekasaran yang didapatkan pada pengujian dilakukan dengan menggunakan batang lurus (*straight edge*) yang diletakkan diatas meja mesin. Pada batang lurus ini ditempatkan sebuah *dial indicator* dengan ketelitian $1 \mu\text{m}$ dengan bantuan *magnetic stand*. Selanjutnya dilakukan pengukuran ketinggian titik-titik dari permukaan hasil freis sesuai dengan pola pada metoda *Union Jack*. Pada proses pengukuran posisi sensor *dial indicator* harus tegak lurus terhadap permukaan yang akan diukur untuk menghindari kesalahan kosinus (gambar di bawah).



Gambar 8. Metoda dan alat ukur kerataan permukaan

3.2 Pengujian

3.2.1 Prosedur pengujian

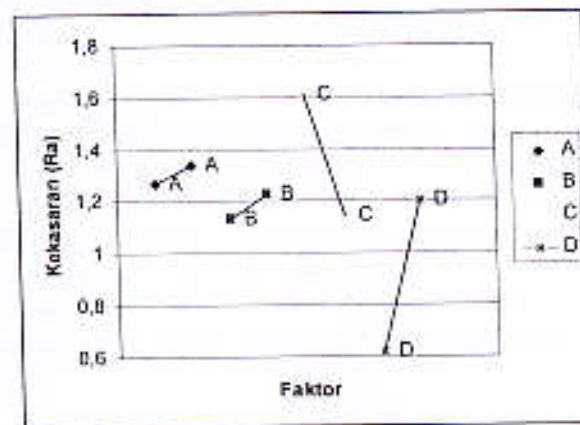
1. Siapkan benda kerja dan pahat pengujian
2. Lakukan pengasahan pahat untuk mendapatkan sudut relief yang digunakan pada pengujian dan mengukurnya dengan *toolmaker microscope*.
3. Tempatkan benda kerja diatas meja mesin untuk pemotongan, pastikan benda kerja tercekam dengan kuat pada meja mesin.
4. Pasang pahat yang dengan sudut relief yang diinginkan pada mesin.
5. Atur semua setting mesin (elemen dasar pemesinan yang divariasikan) sesuai dengan nilai pada tabel *ortogonal* L16.
6. Gunakan *dial indicator* 0,01 mm untuk mendapatkan kedalaman potong yang akurat.
7. Lakukan proses pemotongan (*up milling*)
8. Ukur kakasaran permukaan hasil satu kali pemotongan dengan arah membujur terhadap arah gerak makan dan ukur kerataan permukaan hasil

- pemesinan tersebut sebagai refensi terhadap nilai kekasaran yang didapatkan pada percobaan diatas meja mesin (benda kerja tetap).
9. Periksa kondisi mata pahat, apabila terjadi penumpukan, maka lakukan proses pengasahan tanpa mengubah sudut relief semula (apabila pengujian selanjutnya masih menggunakan sudut relief yang sama).
 10. Lakukan langkah – langkah seperti diatas sesuai dengan metoda percobaan yang digunakan untuk pengujian.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengaruh Sudut Relief terhadap Kekasaran Permukaan

Dari perhitungan dengan ANOVA single-way, maka didapatkan grafik seperti pada Grafik 1.



Grafik 1 Kontribusi Sudut Relief terhadap kekasaran permukaan

Dari grafik terlihat bahwa faktor D (kecepatan makan) memberikan kontribusi yang paling besar terhadap kekasaran permukaan produk, diikuti oleh faktor C (putaran spindel) diikuti oleh Sudut relief (faktor A) dan kedalaman potong (faktor B). Secara teoritis permukaan produk pemesinan yang paling baik diberikan oleh kecepatan potong yang tinggi, kecepatan makan yang rendah dan kedalaman potong yang kecil. Tetapi dalam penelitian ini yang memberikan kontribusi yang paling besar adalah kecepatan makan. Hal ini disebabkan oleh karena semakin dengan perubahan sudut relief maka pengaruh yang paling berarti adalah kualitas permukaan yang berhubungan dengan kecepatan makan. Dengan kecepatan makan yang rendah makan proses gesekan yang merupakan efek negatif dari pemilihan sudut relief yang tidak tepat tidak terlalu terasa. Hal itu dapat dilihat pada Grafik 1., yang mana permukaan yang dihasilkan oleh kecepatan makan yang rendah lebih halus.

Dengan semakin kecilnya gesekan, maka distribusi temperatur yang terjadi selama proses pemesinan disebabkan hanya oleh karena proses pemotongan dan bukan proses penggesekan. Sehingga kemungkinan terjadinya deformasi plastis pada pahat yang akan dapat meningkatkan gaya pemotongan sehingga terjadi getaran yang tinggi dapat dihindari.

Selanjutnya kalau dilihat antara kedalaman potong dengan sudut relief, maka sudut relief memberikan kontribusi yang lebih besar sekitar 7,06% (Tabel 3.). Hal tersebut dapat kita lihat pada Grafik 1 yang mana perubahan sudut relief menghasilkan kekasaran permukaan yang lebih rendah dari kedalaman potong.. Dari hasil analisa dengan ANOVA, kedalaman potong hanya memberikan kontribusi sebesar 0,55%.

Ini berarti pemilihan sudut relief yang tidak tepat akan lebih berpengaruh terhadap kekasaran permukaan. Hal ini berhubungan dengan penggunaan sudut heliks pada pahat freis yang mana sudut ini menyebabkan terjadinya fluktuasi gaya pemotongan.

Tabel 3 Kontribusi masing-masing faktor pengujian terhadap kekasaran permukaan

No	Faktor	Kontribusi terhadap kekasaran (%)
1	Sudut relief	7,06
2	Kedalaman potong	0,55
3	Putaran spindel	29,59
4	Kecepatan makan	62,8

Selanjutnya dari hasil analisis ANOVA, maka diketahui bahwa sudut relief optimum akan menghasilkan kekasaran permukaan sebesar 0,031. Ini berarti sudut relief yang optimum berada di bawah level yang paling kecil, yaitu 6° .

Dengan semakin kecilnya sudut relief, maka hasil yang didapatkan akan semakin bagus. Sudut relief yang besar akan mengurangi gesekan pada bagian belakang dari mata potong pahat sehingga deformasi plastis terhadap keseluruhan mata potong dapat dihindari. Tetapi harus diperhatikan juga bahwa sudut relief yang terlalu kecil juga tidak baik karena akan mengurangi kekuatan mata potong. Dengan berkurangnya kekuatan mata potong maka pahat akan cenderung cepat aus yang disebabkan oleh mekanisme keausan secara deformasi. Pahat aus akan meningkatkan gaya pemotongan sehingga terjadi getaran yang menyebabkan kualitas permukaan menjadi tidak bagus.

Tabel 4 Penentuan variabel pada keadaan optimum

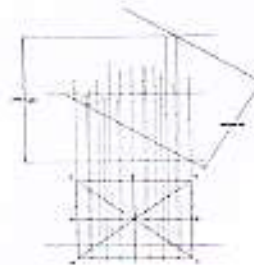
Faktor	Nilai	Tingkat	Sumbangan	Keutamaan
Sudut relief	10°	3	- 0,218	3
Kedalaman potong	-	-	-	-
Putaran spindel	204 rpm	3	-0,366	2
Kecepatan makan	34 mm/min	1	-0,5578	1

Setelah didapatkan kondisi yang optimum dilakukan pengujian selang kepercayaan dan didapat hasil sebagai berikut :

- Hasil yang diperkirakan pada keadaan optimum : 0,031 (μm)
- Selang kepercayaan (CL=90%) : 0,24 (μm)
- Interval nilai yang didapatkan : 0 – 0,271 (μm)

4.2 Pengaruh Sudut Relief terhadap Kerataan Permukaan

Nilai kerataan referensi dalam pengujian ini didapatkan dari pengolahan data pengujian kerataan permukaan dengan metode *Union Jack*.



Grafik 2 Kerataan Permukaan Referensi

Grafik 2 Kerataan Permukaan Referensi

Dari hasil pengujian kedataran permukaan referensi (Grafik 2.) terlihat bahwa permukaan datar yang diambil sebagai referensi sebelum proses pengukuran kekasaran dilakukan cukup tinggi. Disini jelas terlihat bahwa hasil proses freis dengan mempergunakan sudut relief yang kecil, maupun besar menghasilkan kerataan yang tidak baik ($158,386 \mu\text{m}$ pada luas daerah pengukuran sebesar $120 \times 90 \text{ mm}$). Jadi dari hasil ini maka pemilihan sudut relief yang tepat harus benar-benar diperhatikan.

5 PENUTUP

5.2 Kesimpulan

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan beberapa hal :

1. Sudut relief memberikan kontribusi yang lebih besar dari kedalaman potong pada kekasaran permukaan (7,06%)
2. Semakin besar sudut relief, maka permukaan produk juga akan semakin kasar
3. Pemilihan sudut relief yang optimum akan memberikan kekasaran permukaan sebesar $0,031 \mu\text{m}$

5.3 Saran

Untuk mendapatkan data yang lebih akurat, penelitian mengenai sudut relief sebaiknya dilakukan dengan percobaan (trial dan error) terlebih dahulu untuk menentukan besar sudut relief yang paling kecil yang mampu dibuat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dibiayai dengan dana DIK dan DIKS 2004 Unand dengan nomor kontrak No. 050/J16-PL/Diks-2004. Untuk itu diucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Lembaga Penelitian Unand yang telah memfasilitasi sehingga penelitian ini dapat dilaksanakan.

DAFTAR PUSTAKA

- DeGarmo, E.P, J. T. Black, Ronald A.K., 1999, Material and Processes in Manufacturing, New York, Macmillan Publishing Company, 7th edition.
- Kalpakjian, S., 1995, Manufacturing Engineering And Technology, New York, Addison-Wesley Publishing Company, 3rd edition.
- NN1, 2002, Tool: The 1911 Edition Encyclopedia [Online]. Available from: <http://3.1911encyclopedia.org/T/TO/TOOL.htm> [Accessed: 17 Januari 2004]
- NN2, 2002, MAS: Milling [Online]. Available from: <http://www.industrialpress.com/handbook/index/index25.htm> [Accessed: 15 Februari 2004]
- Rochim, T., 1993, Teori dan Teknologi Proses Pemesinan, Ganesa. Bandung,

Scheineder, G., Milling Cutters and Operation [Online], Available from:
http://www.manufacturingcenter.com/online_book/TP%20Chapter%2012.pdf/www.toolingandproduction.com [Accessed: 15 Februari 2004]