

**ANALISIS UMUR DAN PENGARUH VARIABEL PROSES PADA
PEMESINAN SEKRAP PERMUKAAN BAJA KARBON TINGGI
TERHADAP KEAUSAN PAHAT KARBIDA**

(Skripsi)

Oleh

FAREL RAIN MARIDO



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2010**

ABSTRACT

TOOL LIFE ANALYSIS AND INFLUENCE OF PROCESS VARIABLE IN SHAPING PROCESS OF HIGH CARBON STEEL SURFACE TOWARD TO WEAR OF CARBIDE CUTTING TOOL

By

FAREL RAIN MARIDO

A tool life is an important data in planning a machining process. In this research, an experiment was done to study life and wear of carbide cutting tool used in shaping process of an high carbon steel of K460. Cutting speed was varied with other cutting variables (feeding and back rake angle) and depth of cut was set fixed in each cutting time.

Generalized Taylor's Equation method was used in the analysis to determine n exponential (n=0,3865) and a constant of Taylor Tool Life (C=25,1). An equation of Taylor Tool Life was obtained as $vT^{0,3865} = 25,1$, which give a value of tool life of 7,048 minutes at low cutting speed and 1 minutes at high cutting speed. Analysis of variance method was used in the wear analysis of carbide cutting tool to compute and comparative the influence of each process variable in shaping process of high carbon steel.

Keywords: Carbide cutting tool, high carbon steel, tool life, tool wear, Taylor's Equation, Analysis of variance and shaping.

ABSTRAK

ANALISIS UMUR DAN PENGARUH VARIABEL PROSES PADA PEMESINAN SEKRAP PERMUKAAN BAJA KARBON TINGGI TERHADAP KEAUSAN PAHAT KARBIDA

Oleh

FAREL RAIN MARIDO

Umur pahat merupakan suatu data permesinan yang sangat penting dalam perencanaan permesinan. Dalam penelitian ini dijelaskan percobaan menentukan umur dan keausan pahat karbida untuk menyekrap baja karbon tinggi (K460), sehingga dapat dimanfaatkan untuk melengkapi data permesinan mengenai umur pahat. Penelitian dilakukan dengan memperhatikan pengaruh kondisi pemotongan, dimana kecepatan potong divariasikan dan kondisi pemotongan lain, seperti gerak makan dan sudut geram pahat. Dalam penelitian ini kedalaman potong tetap dalam setiap waktu pemotongan yang berbeda secara bertahap.

Tujuan penelitian ini adalah menentukan umur pahat karbida yang digunakan untuk memotong baja karbon tinggi. Metoda Persamaan umur pahat karbida digunakan untuk analisa percobaan, untuk mendapatkan nilai eksponen n ($n=0,3865$) dan konstanta umur Pahat Taylor C ($C=25,1$). Persamaan umur Pahat Taylor yang dihasilkan adalah $vT^{0,3865} = 25,1$. Hasil penelitian mendapatkan umur pahat untuk kecepatan potong rendah adalah 7,048 menit dan pada kecepatan potong tinggi adalah 1 menit.

Metoda analisis variansi digunakan dalam analisis keausan pahat karbida untuk melakukan perhitungan dan melakukan perbandingan hubungan atau keterikatan dari setiap variabel proses dalam proses pemesinan sekrap baja karbon tinggi.

Kata kunci: Pahat karbida, baja karbon tinggi, umur pahat, keausan pahat, Persamaan rumus Taylor, Analisis variansi dan sekrap.

DAFTAR ISI

	Halaman
Lembar Pengesahan	i
Sanwacana.....	ii
Daftar Gambar.....	vi
Daftar Tabel.....	xi
Daftar Simbol.....	xiv
I. PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Tujuan	5
C. Batasan Masalah.....	5
D. Sistematika Penulisan Laporan.....	6
II. TINJAUAN PUSTAKA	
A. Mesin Sekrap	7
1. Rangka Mesin.....	7
2. Mekanik Penjalan.....	8
3. Lengan dan Support.....	8
4. Meja mesin sekrap.....	8
B. Proses Sekrap.....	9
1. Menyekrap bidang datar	10
2. Menyekrap bidang alur terus.....	11

3. Menyekrap bidang bertingkat.....	12
4. Menyekrap bidang bersudut.....	12
C. Variabel Proses Sekrap.....	14
D. Elemen , Bidang dan Mata Potong	16
E. Geometri Pahat	18
F. Material Pahat	22
G. Jenis-jenis Keausan.....	26
H. Baja	30
1. Baja menurut unsur sifat-sifatnya.....	30
2. Baja Amutit K460.....	31
3. Baja Menurut komposisi kimianya (Hasnan. 2006).....	32
I. Bidang Aktif Pahat Yang Mengalami Keausan.....	33
J. Kriteria Umur Pahat.....	35
K. Umur Pahat.....	38
L. Uji Kekerasan.....	40
1. Uji Kekerasan Rockwell.....	40
2. Uji Kekerasan Brinell.....	41
3. Uji Kekerasan Vickers.....	42
M. Kekasaran Permukaan (surface roughness).....	43
N. ANOVA (Analysis of Variance).....	47
III. METODE PENELITIAN	
A. Tempat Penelitian.....	51

B. Benda Kerja dan Pahat	51
C. Peralatan Pengujian.....	54
D. Prosedur Pengujian	59
E. Alur Penelitian.....	62
F. Prosedur Pengambilan Data.....	63

IV. ANALISA DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Kekerasan Benda Kerja dan Pahat.....	72
B. Prosedur Pengambilan Data Uji Kekerasan.....	73
C. Kondisi Pemotongan Pada Proses Sekrap.....	73
D. Prosedur Pengambilan Data.....	74
E. Pembahasan	88
F. Analysis Of Variance Keausan Tepi.....	91
G. Analysis Of Variance Kekasaran Permukaan.....	109
H. Umur Pahat Karbida.....	127

V. PENUTUP

A. Simpulan.....	132
B. Saran	134

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Bagian-bagian mesin sekrap	9
2. Menyekrap bidang datar	11
3. Menyekrap bidang alur terus	12
4. Menyekrap bidang bertingkat	13
5. Menyekrap bidang bersudut	13
6. Proses pemesinan pemotongan material	13
7. Hubungan dengan kecepatan potong	13
8. Elemen dasar proses sekrap	15
9. Permukaan dan sudut-sudut pahat	18
10. Sudut-sudut pahat	20
11. Perkiraan distribusi temperatur maksimum pada separuh permukaan pahat yang berinteraksi dalam tiga daerah, A.Bidang geram, B.Bidang gesek mata potong,C.Bidang permukaan dengan geram	22
12. Proses sintering alat potong karbida	23
13. Mekanisme keausan pahat	26
14. Skema ilustrasi keausan adhesive	27
15. Skema ilustrasi keausan abrasif	28
16. Keausan abrasif pahat, berupa kepingan kecil bubutan	28
17. Keausan abrasif tekanan tinggi	29
18. Keausan abrasif tekanan rendah	29

19.	Definisi Keausan kawah (<i>creater wear</i>) dan keausan tepi (<i>flank wear</i>) Standard ISO 3685-1977 (E).....	34
20.	Pertumbuhan Keausan Tepi pahat (TWF) <i>Tool Flank Wear</i> yang berdasar pada suatu kondisi waktu pemotongan	37
21.	Hubungan kecepatan potong terhadap umur pahat untuk baja.....	39
22.	Posisi profil referensi, profil tengah, dan profil alas terhadap profil terukur, untuk satu panjang sampel.....	44
23.	Halaman kerja pada SPSS 17 dan <i>Main Effecst Plot</i> pada MINITAB.....	50
24.	a). Material benda kerja K460, b). Dimensi benda kerja.....	52
25.	a). Pahat Karbida Insert TNGA 160408, b). Dimensi Pahat	53
26.	Mesin Gerinda Otomatis di Bengkel Manufaktur Produksi SMK N 2 Bandar Lampung	55
27.	Mesin sekrap konvensional San Hou di Laboratorium Teknologi Mekanik Teknik Mesin Universitas Lampung	56
28.	Profil proyektor Mitutoyo tipe PJ-3000 di Laboratorium Metrologi Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.....	56
29.	(<i>Surface Tester</i>) di Laboratorium Metrologi Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.....	57
30.	Mikroskop Mikro Olympus tipe SZ51 di Laboratorium Zoologi F-MIPA Jurusan Biologi Universitas Lampung.....	57
31.	(<i>Grinding/Polishing Machine</i>) di Laboratorium High Quality Control PT. AAI Karawang.....	58

32. (<i>Hardness Tester Future Tech</i>) di Laboratorium High Quality Control PT. AAI Karawang.....	58
33. Diagram Alur Pelaksanaan Penelitian.....	62
34. Input data analisis regresi linear berganda.....	68
35. Kotak dialog <i>explore</i>	69
36. Kotak dialog <i>explore plots</i>	69
37. Kotak dialog <i>Linear Regression</i>	70
38. Kotak dialog <i>statistics</i>	70
39. Kotak dialog <i>Plots</i>	71
40. Data Keausan tepi vb 2 menit dengan sudut geram pahat negatif 6 °, feeding 0,115 mm/langkah, kecepatan potong 11,8 m/min.....	76
41. Data Keausan tepi vb 2 menit dengan sudut geram pahat negatif 6 °, feeding 0,115 mm/langkah, kecepatan potong 19,2 m/min.....	76
42. Data Keausan tepi vb 2 menit dengan sudut geram pahat negatif 6 °, feeding 0,115 mm/langkah, kecepatan potong 25,1 m/min.....	77

43. Data Keausan tepi vb 2 menit dengan sudut geram pahat negatif 6° ,
feeding 0,245 mm/langkah, kecepatan potong 11,8 m/min.....77
44. Data Keausan tepi vb 2 menit dengan sudut geram pahat negatif 6° ,
feeding 0,245 mm/langkah, kecepatan potong 19,2 m/min.....78
45. Data Keausan tepi vb 2 menit dengan sudut geram pahat negatif 6° ,
feeding 0,245 mm/langkah, kecepatan potong 25,1 m/min.....78
46. Data Keausan tepi vb 2 menit dengan sudut geram pahat 0° , feeding
0,115 mm/langkah, kecepatan potong 11,8 m/min.....79
47. Data Keausan tepi vb 2 menit dengan sudut geram pahat 0° , feeding
0,115 mm/langkah, kecepatan potong 19,2 m/min.....79
48. Data Keausan tepi vb 2 menit dengan sudut geram pahat 0° , feeding
0,115 mm/langkah, kecepatan potong 25,1 m/min.....80
49. Data Keausan tepi vb 2 menit dengan sudut geram pahat 0° , feeding
0,245 mm/langkah, kecepatan potong 11,8 m/min.....80
50. Data Keausan tepi vb 2 menit dengan sudut geram pahat 0° , feeding
0,245 mm/langkah, kecepatan potong 19,2 m/min.....81

51. Data Keausan tepi vb 2 menit dengan sudut geram pahat 0° , feeding 0,245 mm/langkah, kecepatan potong 25,1 m/min.....81
52. Keausan kawah a) 0 mm. b) 0 mm. c) 0,8 mm Kedalaman potong 0.075 mm, gerak makan 0,115 mm/langkah dan sudut geram pahat (*back rake angle*) negatif 6° dalam waktu 0.5 menit.....84
53. Keausan kawah a) 0,5 mm. b) 0,16 mm. c) 0,21 mm Kedalaman potong 0.075 mm, gerak makan 0,115 mm/langkah dan sudut geram pahat (*back rake angle*) negatif 6° dalam waktu 1 menit.....84
54. Keausan kawah a) 0,10 mm. b) 0,20 mm. c) 0,33 mm Kedalaman potong 0.075 mm, gerak makan 0,115 mm/langkah dan sudut geram pahat (*back rake angle*) negatif 6° dalam waktu 2 menit.....84
55. Keausan kawah a) 0 mm. b) 0 mm. c) 0,18 mm Kedalaman potong 0.075 mm, gerak makan 0,245 mm/langkah dan sudut geram pahat (*back rake angle*) 0° dalam waktu 0,5 menit.....85
56. Keausan kawah a) 0,18 mm. b) 0,22 mm. c) 0,38 mm Kedalaman potong 0.075 mm, gerak makan 0,245 mm/langkah dan sudut geram pahat (*back rake angle*) 0° dalam waktu 1 menit.....85

57. Keausan kawah a) 0,20 mm. b) 0,35 mm. c) 0,42 mm Kedalaman potong 0.075 mm, gerak makan 0,245 mm/langkah dan sudut geram pahat (*back rake angle*) 0° dalam waktu 2 menit.....85
58. Keausan kawah a) 0 mm. b) 0 mm. c) 0,12 mm Kedalaman potong 0.075 mm, gerak makan 0,245 mm/langkah dan sudut geram pahat (*back rake angle*) negatif 6° dalam waktu 0,5 menit.....86
59. Keausan kawah a) 0,10 mm. b) 0,18 mm. c) 0,24 mm Kedalaman potong 0.075 mm, gerak makan 0,245 mm/langkah dan sudut geram pahat (*back rake angle*) negatif 6° dalam waktu 1 menit.....86
60. Keausan kawah a) 0,15 mm. b) 0,21 mm. c) 0,35 mm Kedalaman potong 0.075 mm, gerak makan 0,245 mm/langkah dan sudut geram pahat (*back rake angle*) negatif 6° dalam waktu 2 menit.....86
61. Keausan kawah a) 0 mm. b) 0 mm. c) 0,12 mm Kedalaman potong 0.075 mm, gerak makan 0,115 mm/langkah dan sudut geram pahat (*back rake angle*) 0° dalam waktu 0.5 menit.....87
62. Keausan kawah a) 0,13 mm. b) 0,20 mm. c) 0,33 mm Kedalaman potong 0.075 mm, gerak makan 0,115 mm/langkah dan sudut geram pahat (*back rake angle*) 0° dalam waktu 1 menit.....87

63. Keausan kawah a) 0,18 mm. b) 0,31 mm. c) 0,38 mm Kedalaman potong 0.075 mm, gerak makan 0,115 mm/langkah dan sudut geram pahat (*back rake angle*) 0° dalam waktu 2 menit.....87
64. Keausan Tepi *VB* Kedalaman potong 0.075 mm, gerak makan 0,245 mm/langkah dan sudut geram pahat (*back rake angle*) negatif 6° 89
65. Keausan Tepi *VB* Kedalaman potong 0.075 mm, gerak makan 0,115 mm/langkah dan sudut geram pahat (*back rake angle*) negatif 6° 89
66. keausan tepi *VB* Kedalaman potong 0.075 mm, gerak makan 0,115 mm/langkah dan sudut geram pahat (*back rake angle*) 0° 90
67. Keausan Tepi *VB* Kedalaman potong 0.075 mm, gerak makan 0,245 mm/langkah dan sudut geram pahat (*back rake angle*) 0° 90
68. Grafik Normality Plot Keausan Tepi94
69. Pengaruh penambahan kecepatan potong terhadap pertumbuhan keausan Tepi *VB* dengan kedalaman potong 0.075 mm, dan sudut geram pahat (*back rake angle*) $\gamma_0 =$ negatif 6° 103

70.	Pengaruh penambahan kecepatan potong terhadap pertumbuhan keausan Tepi VB dengan kedalaman potong 0.075 mm, dan sudut geram pahat (<i>back rake angle</i>) $\gamma_0 = 0^\circ$	103
71.	Output Scatterplot	108
72.	Grafik Main Effect Plot untuk variabel dependent keausan Tepi.....	108
73.	Grafik Normality Plot Kekasaran Permukaan.....	112
74.	Pengaruh penambahan kecepatan potong terhadap pertumbuhan Kekasaran Permukaan dengan kedalaman potong 0.075 mm, dan sudut geram pahat (<i>back rake angle</i>) $\gamma_0 = \text{negatif } 6^\circ$	119
75.	Pengaruh penambahan kecepatan potong terhadap pertumbuhan Kekasaran Permukaan dengan kedalaman potong 0.075 mm, dan sudut geram pahat (<i>back rake angle</i>) $\gamma_0 = 0^\circ$	119
76.	Output Scatterplot.....	124
77.	Grafik Main Effect Plot untuk kekasaran permukaan.....	125

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Sudut geram optimum bagi pahat	19
2. Radius pojok yang dianjurkan sesuai kedalaman potong	22
3. Batas keausan kritis.....	35
4. Nilai eksponen n dan C untuk beberapa alat potong	38
5. Daftar Skala yang digunakan dalam kekerasan Rockwell.....	41
6. Ketidakteraturan suatu profil	43
7. Angka kekasaran permukaan	45
8. Tingkat kekasaran rata-rata menurut proses pengerjaannya	46
9. Spesifikasi Baja	52
10. Spesifikasi Pahat.....	53
11. Data hasil uji kekerasan pada sisi luar pahat.....	63
12. Data hasil uji kekerasan pada permukaan Benda Kerja.....	63
13. Data keausan tepi VB Kedalaman potong 0.075 mm dan sudut geram pahat (<i>back rake angle</i>) negatif 6°	64
14. Data keausan tepi VB Kedalaman potong 0.075 mm dan sudut geram pahat (<i>back rake angle</i>) 0°	64

15. Data keausan kawah K Kedalaman potong 0.075 mm dan sudut geram pahat (<i>back rake angle</i>) negatif 6°	65
16. Data keausan kawah K Kedalaman potong 0.075 mm dan sudut geram pahat (<i>back rake angle</i>) 0°	65
17. Data kekasaran permukaan kedalaman potong 0.075 mm dan sudut geram pahat (<i>back rake angle</i>) negatif 6°	66
18. Data kekasaran permukaan kedalaman potong 0.075 mm dan sudut geram pahat (<i>back rake angle</i>) 0°	66
19. Tabel Kondisi Pemotongan.....	67
20. Data Uji Kekerasan Pahat Karbida.....	73
21. Data Uji Kekerasan Baja Karbon tinggi.....	73
22. Data keausan tepi <i>VB</i> Kedalaman potong 0.075 mm dan sudut geram pahat (<i>back rake angle</i>) negatif 6°	74
23. Data keausan tepi <i>VB</i> Kedalaman potong 0.075 mm dan sudut geram pahat (<i>back rake angle</i>) 0°	74
24. Data keausan kawah K Kedalaman potong 0.075 mm dan sudut geram pahat (<i>back rake angle</i>) negatif 6°	82
25. Data keausan kawah K Kedalaman potong 0.075 mm dan sudut geram pahat (<i>back rake angle</i>) 0°	82

26. Data kekasaran permukaan kedalaman potong 0.075 mm dan sudut geram pahat (<i>back rake angle</i>) negatif 6°	83
27. Data kekasaran permukaan kedalaman potong 0.075 mm dan sudut geram pahat (<i>back rake angle</i>) 0°	83
28. Data Penelitian dalam waktu 2 menit.....	88
29. <i>Test of Normality</i> kecepatan potong.....	93
30. <i>Test of Normality</i> Gerak makan (<i>Feeding</i>).....	93
31. <i>Test of Normality</i> Sudut geram pahat (<i>rake angle</i>).....	93
32. Variables Entered/Removed.....	95
33. <i>Model Summary</i> ^b Keausan tepi.....	95
34. <i>ANOVA</i> ^b Keausan tepi	99
35. <i>Coefficients</i> ^a Keausan tepi.....	100
36. <i>Casewise Diagnostics</i> ^a Keausan tepi	106
37. <i>Residuals Statistics</i> ^a Keausan tepi	107
38. <i>Test of Normality</i> Kekasaran Permukaan	110
39. <i>Test of Normality</i> Gerak makan (<i>Feeding</i>).....	110
40. <i>Test of Normality</i> Sudut geram pahat (<i>rake angle</i>).....	111

41. Variables Entered/Removed.....	112
42. <i>Model Summary</i> ^b Kekasaran Permukaan.....	113
43. <i>ANOVA</i> ^b Kekasaran Permukaan	115
44. <i>Coefficients</i> ^a Kekasaran Permukaan.....	116
45. <i>Casewise Diagnostics</i> ^a Kekasaran Permukaan	123
46. <i>Residuals Statistics</i> ^a Kekasaran Permukaan	123
47. Tabel persentase pengaruh variabel terhadap keausan tepi dan kekasaran permukaan.....	126
48. Umur pahat Taylor untuk proses pemesinan sekrup baja karbon tinggi K460 dengan menggunakan pahat karbida WC-TiC-TaC-Co.....	130

DAFTAR SIMBOL

Simbol		Satuan
V	Kecepatan potong,	m/min
d	diameter rata-rata,	mm
VB	Keausan Tepi,	mm
d_o	Diameter awal	mm
d_m	Diameter akhir	mm
T	Umur Pahat,	menit
f	Gerak makan,	mm/langkah
a	Kedalaman potong,	mm
t_c	Waktu Pemotongan,	menit
l_w	Panjang pemotongan benda kerja,	mm
l_v	langkah pengawalan,	mm
l_n	Langkah pengakhiran,	mm
l_t	Panjang permesinan,	mm
γ_0	sudut geram pahat	x°
R_a	Kekasaran Permukaan	μm

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Perkembangan teknologi telah merubah industri manufaktur menjadi sebuah industri yang harus dapat berkembang dan bersaing secara global. Pada dasarnya seluruh elemen dalam sebuah industri akan ikut berkembang seiring dengan tingginya tuntutan dalam sebuah industri manufaktur yang mengharapkan produk hasil yang mengutamakan kualitas, kuantitas serta pencapaian target produksi dan biaya produksi yang ekonomis.

Sebuah industri manufaktur tidak lepas dari adanya proses pemesinan yang menjadi inti dari sebuah proses produksi. Peran mesin sebagai pembantu manusia tidak dapat di hindarkan lagi. Ketelitian geometri serta variasi produk menuntut sumber daya manusia untuk lebih berkembang. Dalam bidang perbengkelan misalnya, sudah banyak ditemukan alat-alat yang dapat meringankan pekerjaan manusia seperti mesin bubut, freis, skrap, gerinda, bor, dan sebagainya.

Pemesinan material baja keras (*hardened steels material: HRC>56*) menjadi sesuatu yang sangat penting dalam proses manufaktur, khususnya dalam industri mold dan dies yang mana ini mempunyai kontribusi dalam pembuatan komponen otomotif. Oleh karena kekerasannya, material baja keras umumnya dipotong

dengan proses abrasif seperti proses pemesinan gerinda (*grinding*). Seiring dengan pengembangan teknologi dalam mesin perkakas dan material pahat potong, pemesinan material baja keras dimungkinkan dengan menggunakan metode *hard machining* sehingga aplikasi pemesinan gerinda dapat digantikan. Penelitian tentang *hard machining* sudah dilakukan oleh beberapa peneliti, khususnya pada pemesinan *hard turning* dan *milling*. Dari penelitian mereka dapat disimpulkan bahwa aplikasi pemesinan *hard turning* dan *milling* dapat mengurangi biaya pengadaan pahat potong dan menghilangkan pengaruh negatif terhadap lingkungan akibat pemakaian *cutting fluid*. Bagaimanapun juga, berdasarkan studi literatur yang dilakukan, penelitian tentang penerapan *hard machining* pada pemesinan sekrap (*hard shaping*) masih belum dilakukan. Padahal proses pemesinan ini banyak digunakan untuk memotong material benda kerja pelat pejal dan panjang, terutama untuk proses pemotongan kasar (*roughing cutting*). Oleh karena itu, penelitian ini difokuskan untuk mempelajari penerapan *hard machining* pada mesin perkakas sekrap.

Hard shaping adalah berbeda dengan *shaping* konvensional dalam beberapa hal. Pertama, sudut geram pahat potong yang digunakan adalah negatif. Kedua, material yang dipotong umumnya mempunyai kekerasan yang tinggi ($HRC > 56$). Oleh karena material yang dipotong adalah keras maka biasanya gaya potong yang dihasilkan lebih besar atau dengan kata lain energi yang dibutuhkan untuk mendeformasi benda kerja juga besar. Hal ini menyebabkan temperatur pemotongan menjadi tinggi. Seperti kita ketahui bahwa temperatur pemotongan adalah salah faktor utama yang mempengaruhi keausan pahat atau umur pahat.

Kerusakan pahat atau umur pahat adalah aspek pertimbangan yang sangat penting dalam mengevaluasi unjuk kerja dari proses pemesinan

Keausan pahat akan semakin membesar sampai batas tertentu sehingga pahat tidak dapat digunakan lagi atau pahat telah mengalami kerusakan. Lamanya waktu untuk mencapai batas keausan ini yang didefinisikan sebagai umur pahat (*Tool Life Time*). Data mengenai umur pahat ini sangat diperlukan dalam perencanaan proses suatu komponen/produk. Misalnya untuk menghitung pada komponen beberapa pahat harus diganti, caranya adalah dengan menghitung waktu total yang diperlukan untuk memotong satu produk kemudian dibandingkan dengan umur pahat yang dipakai. Contoh lain sampai batas keausan yang bagaimana dari pahat sehingga tidak mengganggu ketelitian produk yang dihasilkan, karena diketahui bahwa pahat yang mengalami keausan akan mempengaruhi ketelitian produk yang dihasilkan. Umur pahat dapat diketahui dari brosur atau katalog yang dikeluarkan oleh produsen/penjual pahat, tetapi katalog ini tidak menginformasikan dengan jelas dan lengkap tentang pemakaian dalam pemotongan benda kerja. Umur Pahat dapat diketahui dari hasil pengujian pemesinan (secara empiris) untuk pasangan material benda kerja dan pahat tertentu.

Proses *Hard Cutting* berbeda dari pemotongan konvensional yang memotong permukaan material yang lunak, oleh karena benda kerja atau material yang digunakan sangat keras sehingga gaya yang dibutuhkan untuk pemotongan yang spesifik akan lebih besar dari pada proses pemotongan yang konvensional (Dawson, 2002). Perhitungan kumulatif waktu potong adalah suatu ukuran dari

keadaan waktu aktual selama pemotongan pahat terhadap benda kerja hingga membentuk geram pada benda kerja dan pahat mengalami kegagalan. Umur pahat sangat penting karena sangat mempengaruhi biaya yang digunakan dalam proses pemesinan (Dawson, 2002). Kecepatan potong memiliki pengaruh yang signifikan pada umur pahat diiringi dengan gerak makan dan kedalaman potong (M.A.Lajis, 2003).

Berdasarkan uraian tersebut diatas, penelitian ini dilakukan dengan menitikberatkan pada pengaruh variabel proses terhadap keausan pahat Karbida, sehingga dari keausan ini dapat diprediksi umur pahat tersebut. Kondisi seperti ini akan memberikan umur pahat yang akurat, sehingga pahat dapat diketahui kapan harus diganti kembali dan kerusakan pada pahat maupun benda kerja dapat dihindari. Oleh karena itu peneliti tertarik untuk melakukan penelitian tentang **“Analisis Umur dan Pengaruh Variabel Proses Pada Pemesinan Sekrap Permukaan Baja Karbon Tinggi Terhadap Keausan Pahat Karbida”**.

B. Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh variabel proses sekrap terhadap keausan tepi dan kekasaran permukaan baja karbon tinggi K-460 pada proses pemesinan sekrap baja karbon tinggi K-460 dengan pahat Karbida WC-TiC-TaC-Co.
2. Mengetahui persamaan umur pahat Karbida WC-TiC-TaC-Co yang digunakan sebagai pahat dalam proses pemesinan sekrap baja karbon tinggi K460 pada berbagai variasi kecepatan potong dan gerak makan dengan menggunakan Persamaan Frederick Winslow Taylor.

C. Batasan Masalah

Adapun dalam penelitian tugas akhir ini mengambil batasan masalah pada proses penyekrapan alur bidang datar pada pelat baja karbon tinggi K-460 dengan memakai pahat jenis Karbida WC-TiC-TaC-Co (*Carbide*). Parameter peubah yang dipakai adalah kecepatan potong (*Cutting Speed*), sudut geram pahat (*Back Rake Angle*) dan gerak makan (*Feeding*). Proses penyekrapan dilakukan dengan mesin sekrap konvensional. Dengan menggunakan kecepatan potong dan gerak makan yang telah ada pada mesin, ditentukan kecepatan potongnya yaitu 11,8 m/min (V_1), 19,2 m/min (V_2), dan 25,1 m/min (V_3). Sedangkan gerak makannya ditentukan 0,115 mm/langkah (f_1), dan 0,245 mm/langkah (f_2) serta sudut geram pahat (*Back Rake Angel*) yang digunakan adalah negatif 6° dan 0° sedangkan kedalaman potong (*depth of cut*) pada keadaan konstan yaitu 0,075 mm dan waktu yang digunakan dalam penelitian ini adalah 0,5 menit, 1 menit, dan 2 menit. Dari

variasi kecepatan potong, sudut geram pahat dan gerak makan maka dapat ditentukan keausan pahat Karbida, kekasaran permukaan baja karbon tinggi dan persamaan umur pahat karbida WC-TiC-TaC-Co untuk proses pemesinan sekrup baja karbon tinggi K460.

D. Sistematika Penulisan

Dalam penulisan laporan Tugas Akhir menggunakan standar penulisan karya ilmiah baku yang diterbitkan oleh Universitas Lampung yang terbagi dalam lima bab, yaitu Bab I Pendahuluan, dimana bab ini menjelaskan tentang latar belakang masalah, tujuan, batasan masalah, dan sistematika penulisan. Pada Bab II penulis mengemukakan landasan teori yang berisi teori-teori dasar yang bersesuaian dengan penelitian yang dilakukan. Bab III adalah bab yang berisi waktu dan tempat penelitian, prosedur penelitian dan pengujian, serta alur penelitian. Hasil dan pembahasan yang berisi data pengujian dan pembahasan ditempatkan pada Bab IV. Simpulan dan saran ditempatkan pada Bab V yang berisikan tentang pokok-pokok kesimpulan yang didapat melalui perhitungan dan pembahasan. Sebagai bahan pendukung penelitian ini adalah daftar pustaka yang berisikan kumpulan referensi yang dijadikan sebagai sumber dalam penulisan laporan tugas akhir ini. Pada lampiran ditambahkan data-data hasil pengujian serta keterangan-keterangan lainnya.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Mesin Sekrap

Mesin sekrap adalah suatu alat mesin perkakas dengan gerak utama lurus dan gerak putar dari motor listrik diubah menjadi gerak lurus melalui suatu engkol sehingga mesin ini digunakan untuk mengubah dan membentuk permukaan bidang rata, baik yang mendatar ataupun yang tegak (Boenasir, 1993). Mesin ini dapat dipakai untuk memotong permukaan benda kerja (*Workpiece*) sampai sepanjang 900 mm. Besar kecilnya mesin sekrap akan menentukan panjang bagian yang akan di sekrap, oleh karena itu ukuran mesin sekrap berdasarkan panjang langkah penyayatannya. Dalam pelaksanaan penyekrapan peneliti menggunakan mesin sekrap jenis datar. Adapun bagian-bagian utama mesin sekrap meliputi rangka mesin, mekanik penjalan, lengan, *support* dan meja.

1. Rangka Mesin

Rangka mesin berfungsi untuk menyangga seluruh bagian pada mesin sekrap. Pada mesin sekrap yang besar, rangka langsung dipasang pada lantai dan diikat dengan baut tanam yang dicor pada lantai yang fungsinya untuk menahan getaran apabila mesin dijalankan, sedangkan pada mesin sekrap yang berukuran kecil langsung dipasang pada meja atau suatu kaki.

2. Mekanik Penjalan

Fungsi dari mekanik penjalan adalah untuk menggerakkan maju mundurnya lengan dengan pahat, dan dengan perantaraan sabuk ban dan puli dihubungkan ke transmisi roda gigi, maka gerak putar motor listrik diubah menjadi gerak maju mundurnya lengan. Lengan dapat bergerak maju mundur karena dihubungkan dengan alur engkol. Ayunan engkol terjadi dengan perantaraan elektrik yang dihubungkan dengan roda gigi yang sedang berputar. Langkah lengan dapat diatur dengan cara memindahkan tap pengatur sesuai dengan yang dikehendaki.

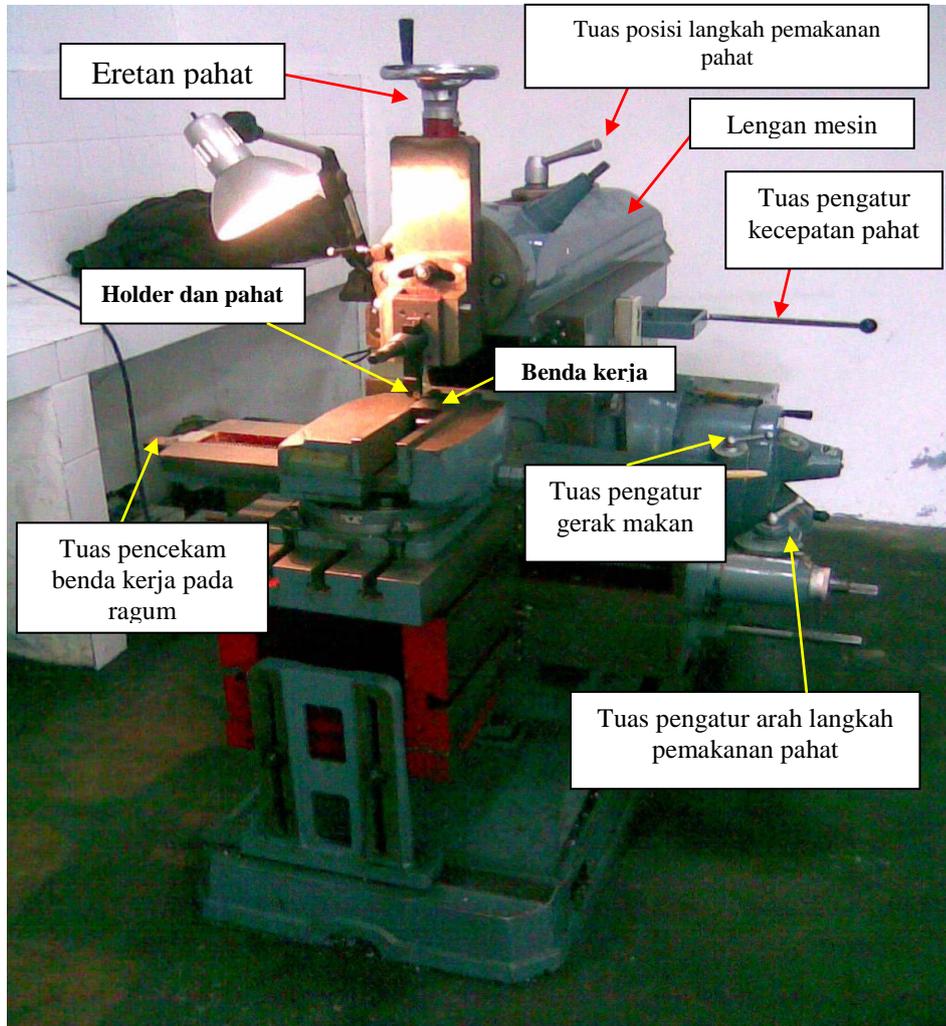
3. Lengan dan *Support*

Lengan dan *Support* merupakan gabungan langsung yang diikat dengan lengan sekrap yang bersama-sama melakukan gerak maju dan mundur. Lengan yang diikat pada alur engkol melaksanakan perubahan gerak dari gerak putar menjadi gerak lurus yang diteruskan ke pahat melalui *support* dan pemegang pahat. *Support* dapat diatur kedudukannya, baik naik maupun turun dengan memutar eretan *support*.

4. Meja mesin sekrap

Fungsi dari meja mesin sekrap disamping untuk menjaga sebagai pengikat benda kerja, juga menghasilkan gerak vertikal dan gerak lintang secara otomatis dan dapat mengatur tinggi rendahnya benda kerja dan teraturnya penyayatan, sedangkan gerak vertikal atau gerak naik turun untuk menyesuaikan benda kerja. Bagian lain dari meja sekrap ditahan oleh suatu tangan-tangan penahan yang

fungsinya menjaga agar meja tidak bergetar saat mesin bekerja dan meja ini dipasang pada eretan yang halus serta rata yang disatukan dengan badan meja.



Gambar 1. Bagian-bagian mesin sekrap

B. Proses Sekrap

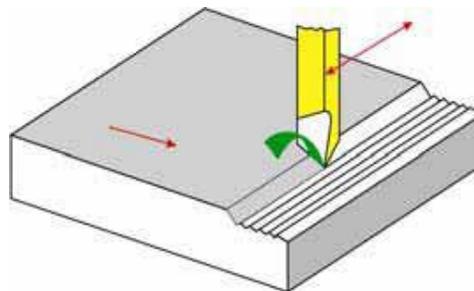
Proses sekrap merupakan proses yang hampir sama dengan proses bubut, dalam hal ini gerak potongnya bukan merupakan gerak rotasi melainkan gerak translasi yang dilakukan oleh pahat (pada mesin sekrap) atau oleh benda kerja (pada mesin sekrap meja). Benda kerja dipasang pada meja sementara pahat (serupa dengan

pahat bubut) dipasangkan pada pemegangnya. Kedalaman potong ditetapkan dengan cara menggeser pahat melalui skala pada pemutar (Rochim, 1993). Gerak makan seperti halnya pada proses bubut dapat ditentukan dan pada saat langkah balik berakhir atau pahat bergeser sejauh harga yang ditentukan tersebut. Panjang langkah pemotongan diatur sesuai dengan panjang benda kerja ditambah dengan jarak pengawalan dan jarak pengakhiran. Apabila panjang langkah telah ditetapkan, maka perbandingan kecepatan (R_s , *quick return ratio*) nilainya tergantung dari konstruksi mesin. Dalam hal ini kecepatan mundur, yaitu kecepatan pada saat tidak memotong harus lebih tinggi daripada kecepatan maju (kecepatan saat pahat memotong). Kecepatan potong rata-rata dan kecepatan makan ditentukan oleh jumlah langkah per menit, yang dapat dipilih dan diatur pada mesin perkakas yang bersangkutan (Rochim, 1993).

1. Menyekrap bidang datar

Untuk Menyekrap bidang datar, ada beberapa hal yang perlu diperhatikan pada proses pemotongannya. Pertama sekali adalah meletakkan benda kerja pada pencekam, mengencangkan pencekam agar benda kerja tidak goyang pada saat dilakukan pemotongan. Kemudian memasang dan menyetel pahat pada dudukannya dan mengencangkan baut padaudukan pahat. Tujuannya agar pahat tidak goyang dan pemotongannya sempurna. Selanjutnya menyetel langkah lengan sesuai dengan panjang benda kerja. Untuk memotong benda kerja pada kedalaman tertentu, maka langkah selanjutnya adalah menempatkan posisi mata pahat berada diatas benda kerja. Untuk selanjutnya menurunkan pahat sehingga menyentuh permukaan baja dengan cara memutar spindel pahat. Setelah

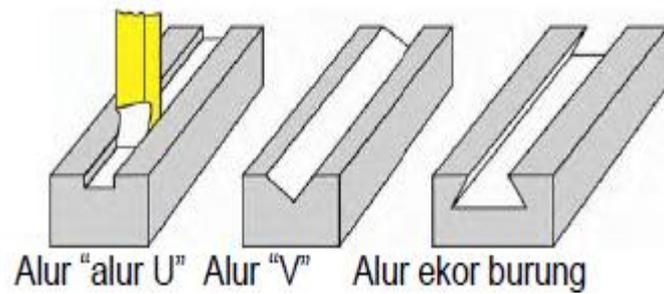
menyentuh permukaan benda kerja, baca angka pada jarum dial indicator yang terdapat pada tuas spindel. Langkah berikutnya mengangkat mata pahat dengan cara memutar tuas spindel dan meletakkannya persis didepan benda kerja, jarum dial indikator pada tuas spindel harus sama dengan pada saat mata pahat menyentuh permukaan benda kerja. Kemudian untuk memotong pada kedalaman tertentu, tinggal menambahkan berapa kedalaman potong yang akan diinginkan.



Gambar 2. Menyekrap bidang datar

2. Menyekrap bidang alur terus

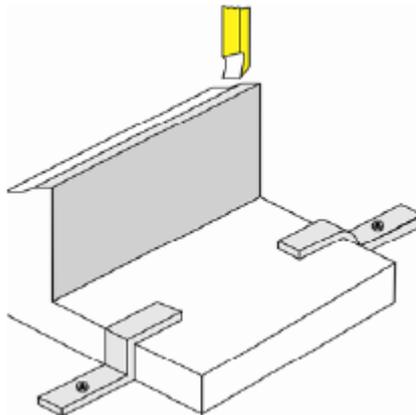
Untuk menyekrap bidang alur terus, maka langkah pertama yang harus dilakukan adalah menyetel pahat lengan sesuai dengan panjang alur ditambah dengan langkah bebas. Kemudian menyetel pahat dengan jarak tertentu antara ujung pahat dengan pelat pemegangnya, lalu menyetel kedudukan lengan agar letak ujung pahat tepat berada di atas benda yang akan dikerjakan. Mencoba menjalankan langkah bebas di atas benda kerja. Selanjutnya melaksanakan penyekrapan diantara batas alur hingga selesai batas ukuran alur.



Gambar 3. Menyekrap bidang alur terus

3. Menyekrap bidang bertingkat

Dalam melakukan penyekrapan bidang bertingkat sama seperti menyekrap bidang datar. Perbedaannya, dalam penyekrapan bidang bertingkat terdapat beberapa batas ukuran alur yang akan dipotong dan kedalaman potongnya bias berbeda

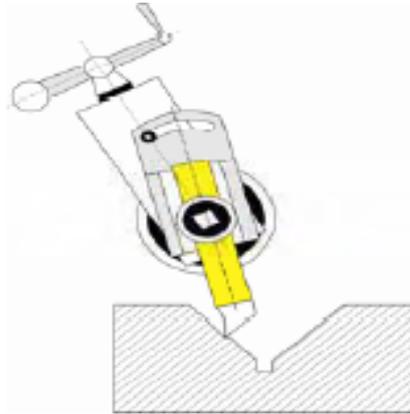


Gambar 4. Menyekrap bidang bertingkat

4. Menyekrap bidang bersudut

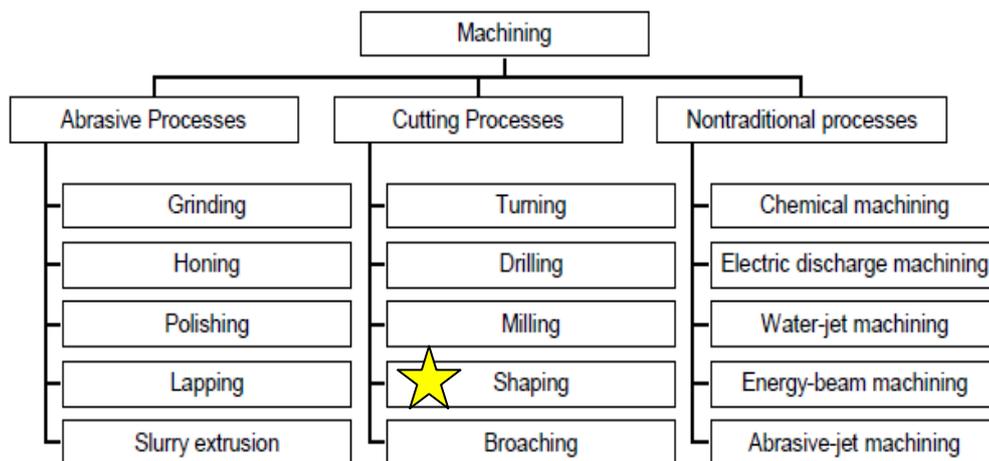
Untuk menyekrap bidang bersudut ini harus diketahui dahulu berapa derajat sudut yang akan dibentuk untuk dapat diatur miringnya *support*. Setelah diketahui berapa besarnya sudut yang akan dikehendaki, penyetelan sudut *support* dilakukan dengan petunjuk berjarum. Lihat arah panah untuk turunnya *support*

sesuai dengan besarnya sudut yang diinginkan. Setelah kedudukan support di pasang miring sampai membentuk sudut tertentu, maka untuk menghindari gesekan antara ujung pahat dengan benda kerja pada waktu langkah mundur, pahat harus dimiringkan lagi beberapa derajat (Rochim, 1993).



Gambar 5. Menyekrap bidang bersudut

Pada proses sekrap, hasil akhir yang didapatkan semuanya tergantung pada bentuk dari mata pahat yang digunakan, kecepatan potong yang digunakan, tebal pemakanan, serta langkah pemakanan yang dipakai.

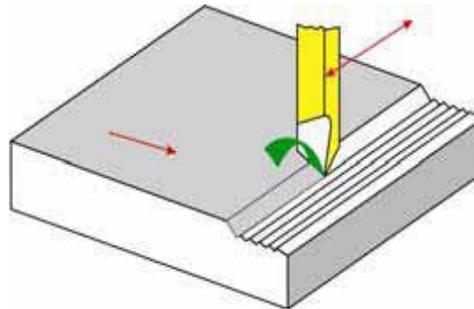


Gambar 6. Proses pemesinan pemotongan material (Dawson. 2002)

Pada bengkel-bengkel manufaktur skala menengah dan besar biasanya memakai pahat pengerjaan halus, dengan kecepatan potong yang tinggi, serta langkah pemakanan yang kecil serta tebal pemakanan tidak lebih dari 0,5 mm. Karena jika tidak menggunakan parameter tersebut maka permukaan material yang akan disekrap akan menjadi kasar dan tidak baik untuk digunakan (Rochim,1993).

C. Variabel Proses Sekrap

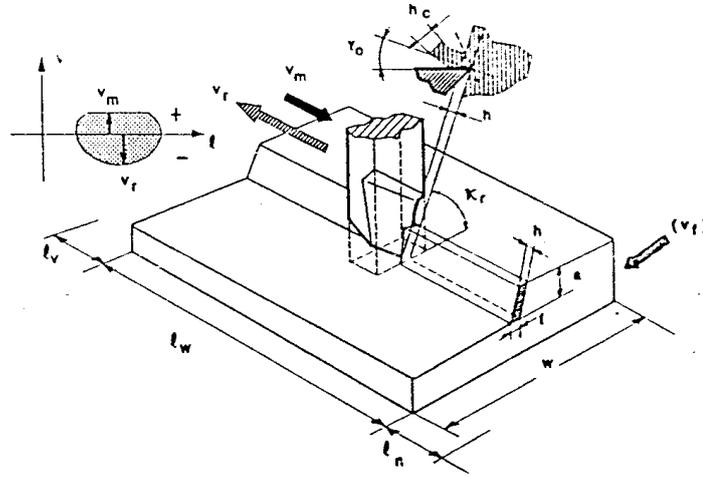
Variabel proses sekrap atau yang sering disebut sebagai elemen dasar proses sekrap dihitung berdasarkan dimensi benda kerja dan/atau pahat serta besaran dari mesin perkakas.



Gambar 7. Hubungan dengan kecepatan potong.

Gerak makan (*feed*) menunjukkan kecepatan dari pahat pemotong atau Spindel maju sepanjang permukaan benda kerja dengan kedalaman yang ditentukan. Untuk mesin yang pahat atau benda kerjanya bergerak bolak balik hantaran dinyatakan dalam millimeter per langkah (Daryus, 2005). Hal ini dapat dicapai dengan cara menentukan penampang geram (sebelum terpotong). Setelah berbagai aspek teknologi ditinjau, kecepatan pembuangan geram dapat dipilih supaya waktu pemotongan sesuai dengan yang dikehendaki. Mekanisme diatas adalah merupakan bagian dari variabel proses. Elemen dasar dari proses sekrap dapat

diketahui dan dapat dihitung dengan menggunakan rumus yang dapat diturunkan dengan memperhatikan gambar 8 (Rochim, 1993):



Gambar 8. Elemen dasar proses sekrap (Rochim, 1993)

Kondisi pemotongan dapat ditentukan sebagai berikut (Rochim, 1993):

- 1. Benda Kerja;**
- l_w = Panjang pemotongan pada benda kerja (mm)
 - l_v = Langkah pengawalan (mm)
 - l_n = Langkah pengakhiran (mm)
 - L = Langkah permesinan = $l_v + l_n + l_w$ (mm)
 - W = Lebar pemotongan benda kerja (mm)
- 2. Pahat;**
- k_r = sudut potong utama ($^{\circ}$)
 - γ_o = sudut geram pahat ($^{\circ}$)
- 3. Mesin Sekrap;**
- f = Gerak makan (mm/langkah)
 - a = Kedalaman potong (mm)
 - n_p = Jumlah langkah per menit (langkah/menit)
 - R_s = Perbandingan kecepatan

$$= \frac{V_m}{V_r} = \frac{\text{Kec.maju}}{\text{kec.mundur}} < 1.$$

Elemen dasar proses sekrap adalah sebagai berikut:

1. Kecepatan potong rata-rata (\bar{v})

Kecepatan potong rata-rata pada mesin sekrap dapat dituliskan secara matematis sebagai berikut,

$$\bar{v} = \frac{n_p \cdot l_t \cdot (1 + R_s)}{2 \times 1000} ; \text{ mm/menit} \dots\dots\dots (1)$$

2. Kecepatan Makan (v_f)

Kecepatan makan didefinisikan sebagai jarak dari pergerakan benda kerja sepanjang jarak kerja untuk setiap putaran dari spindel [Krar, 1997].

$$v_f = f \times n_p ; \text{ mm/menit} \dots\dots\dots (2)$$

3. Waktu Pemotongan (t_c)

Waktu pemotongan adalah waktu yang dibutuhkan untuk menghasilkan suatu produk [Krar, 1997].

$$t_c = w/v_f ; \text{ menit,} \dots\dots\dots (3)$$

4. Kecepatan Penghasilan Geram

Geram adalah potongan dari material yang dipindahkan dari benda kerja oleh pahat potong [Krar, 1997].

$$Z = A \times \bar{v} ; \text{ cm}^3/\text{menit,} \dots\dots\dots (4)$$

Dimana, $A = f \cdot a ; \text{ mm}^2$

D. Elemen , Bidang dan Mata Potong Pahat

Untuk mengenal bentuk dan geometrinya, pahat harus diamati secara sistematis. Tiga hal pokok yang harus dibedakan yaitu elemen, bidang aktif dan mata potong pahat (Rochim, 1993).

1. Elemen Pahat

Elemen pahat terdiri dari :

- a) Badan (*Body*) : bagian pahat yang dibentuk menjadi mata potong atau tempat untuk sisipan pahat .
- b) Pemegang/gagang (*Shank*) : bagian pahat untuk dipasangkan pada mesin perkakas.
- c) Lubang pahat (*Tool bore*) : lubang pada pahat dimana pahat dapat dipasang pada poros utama (*Spindel*) atau poros pemegang dari mesin perkakas.
- d) Sumbu pahat (*tool axis*) : garis maya yang digunakan untuk mendefinisikan geometri pahat. Umumnya merupakan garis tengah dari pemegang atau lubang pahat.
- e) Dasar (*Base*) : bidang rata pada pemegang untuk meletakkan pahat sehingga mempermudah proses pembuatan, pengukuran ataupun pengasahan pahat.

2. Bidang Pahat

Bidang pahat merupakan permukaan aktif pahat yang terdiri dari :

- a) Bidang geram (A_γ , *Face*) : Bidang diatas dimana geram mengalir
- b) Bidang utama/*Mayor* (A_α , *Principal/mayor flank*) : bidang yang menghadap benda kerja.
- c) Bidang Bantu/*minor* ($A_{\alpha'}$, *Auxiliary/minor flank*) : bidang yang menghadap permukaan terpotong dari benda kerja.

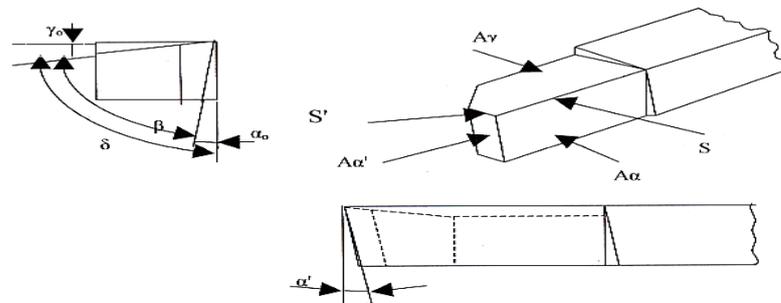
3. Mata Potong Pahat

Mata potong adalah tepi dari geram yang aktif memotong. Ada dua jenis mata potong yaitu:

- Mata potong utama : garis perpotongan antara bidang geram dan bidang utama.
- Mata potong bantu : garis perpotongan antara bidang geram dan bidang bantu.

E. Geometri Pahat

Proses pemesinan menggunakan pahat sebagai perkakas potongnya dan geometri pahat merupakan salah satu faktor penting yang menentukan keberhasilan proses pemesinan. Geometri pahat harus dipilih dengan benar disesuaikan dengan jenis material, material pahat, halusnya permukaan dan ketelitian geometri produk (Rochim, 2001).



$A\gamma$	= bidang pembuang geram	α'	= sudut bebas ujung
$A\alpha$	= bidang bebas	δ	= sudut potong
$A\alpha'$	= bidang bebas ujung	β	= sudut baji
S	= sisi potong	γ_0	= sudut geram orthogonal
S'	= sisi potong ujung	α_0	= sudut bebas orthogonal

Gambar 9. Permukaan dan sudut-sudut pahat (Rochim, 2001)

1. Sudut Geram Orthogonal, γ_0

Sudut geram mempengaruhi proses pembentukan geram. Untuk suatu kecepatan potong tertentu, sudut geram besar akan menurunkan rasio pemampatan tebal geram. Untuk lebih jelasnya didalam menentukan sudut geram dapat digunakan tabel di bawah ini (Rochim, 1993).

Tabel 1. Sudut geram optimum bagi pahat

Benda kerja	γ_0	
	HSS	Karbida
Baja karbon dan baja paduan (<i>Carbon dan Alloy Steel</i>) $<480 \text{ N/mm}^2$	25	5 s.d 10
Kuningan ulet (<i>Ductile brass</i>)	25	5 s.d 10
Baja karbon dan baja paduan $\sigma_u <480 \text{ s.d } 770 \text{ N/mm}^2$	18	-5
Besi tuang malleable (<i>malleable cast iron</i>) 160 BHN	18	-5
Baja karbon dan baja tuang $\sigma_u : 770 \text{ s.d } 1170 \text{ N/mm}^2$	12	-10
Besi tuang kelabu dan malleable(<i>gray malleale cast iron</i>) 160 BHN s.d 220 BHN	12	-5 s.d 0
Kuningan dan perunggu getas (<i>brittle brasses dan bronzes</i>)	12	-5 s.d 0
Besi tuang (<i>cast iron</i>) >220 BHN	5	-10 s.d 5

(Sumber : Rochim, 1993)

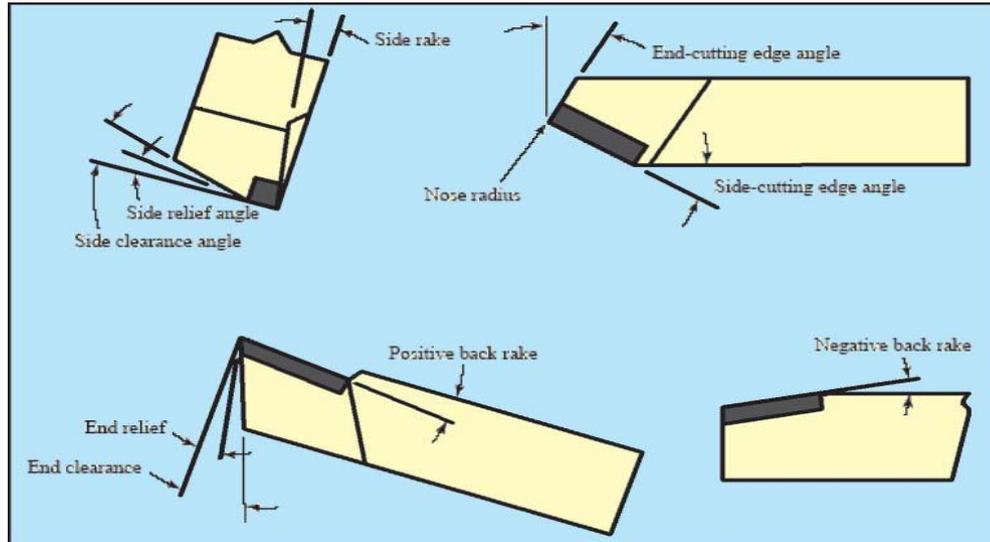
2. Sudut Bebas Orthogonal, α_0

Fungsi sudut bebas adalah mengurangi gesekan antara bidang utama ($A\alpha$) dengan bidang benda kerja. Dengan demikian temperatur yang tinggi akibat gesekan dapat dihindari dan keausan tepi V_B (*flank wear*) tidak cepat terjadi. Pemilihan sudut bebas ditentukan oleh jenis benda kerja dan kondisi pemotongan. Gerak makan akan menentukan harga sudut bebas. Semakin besar gerak makan maka gaya pemotongan akan semakin besar, oleh karena itu sudut bebas perlu diperkecil (Rochim, 1993).

3. Sudut Potong Utama, k_r

Sudut potong utama mempunyai peran antara lain (Rochim, 1993):

- a) Menentukan lebar dan tebal geram sebelum terpotong.
- b) Menentukan panjang mata potong yang aktif atau panjang kontak antara geram dengan bidang pahat.
- c) Menentukan besarnya gaya radial.



Gambar 10. Sudut-sudut pahat (Rochim, 2001)

Untuk kedalaman potong dan gerak makan yang tetap maka dengan memperkecil sudut potong utama akan menurunkan tebal geram sebelum terpotong (h) dan menaikkan lebar geram (b) (Rochim, 1993).

$$h = f \sin k_r \text{ dan } b = a / \sin k_r \quad (5)$$

dimana : h = tebal geram (mm)

b = lebar geram (mm)

f = gerak makan (mm/langkah)

a = kedalaman potong (mm)

k_r = sudut potong utama ($^\circ$)

4. Sudut Potong Bantu, k_r'

Orientasi bidang potong bantu ($A\alpha'$) terhadap permukaan benda kerja yang telah terpotong ditentukan oleh sudut potong bantu dan sudut bebas minor α_0' , apabila sudut bebas *minor* cukup besar untuk mengurangi gesekan pada prinsipnya sudut potong bantu dapat dipilih sekecil mungkin karena selain memperkuat pahat juga

dapat mempertinggi kehalusan produk (Rochim, 1993). Besarnya sudut potong bantu k_r' adalah sebagai berikut (Rochim, 1993):

1. untuk sistem pemotongan yang kaku besarnya k_r' adalah : 5^0 s.d. 10^0
2. untuk sistem pemotongan yang lemah besarnya k_r' adalah : 10^0 s.d. 20^0

5. Radius Pojok

Radius pojok berfungsi untuk memperkuat ujung pertemuan antara mata potong utama S dengan mata potong *minor* S' dan selain itu menentukan kehalusan permukaan hasil pemotongan, semakin besar penampang geram maka pojok pahat harus dipilih lebih kuat. Tabel 2 di bawah ini memberikan harga radius pojok yang dianjurkan sesuai dengan kedalaman potong yang dipilih (Rochim, 1993).

Tabel 2. Radius pojok yang dianjurkan sesuai kedalaman potong

a (mm)	$r \epsilon$
s.d 3	0,5 s.d 0,8
3 s.d 10	0,8 s.d 1,5
10 s.d 20	1,5 s.d 2.0

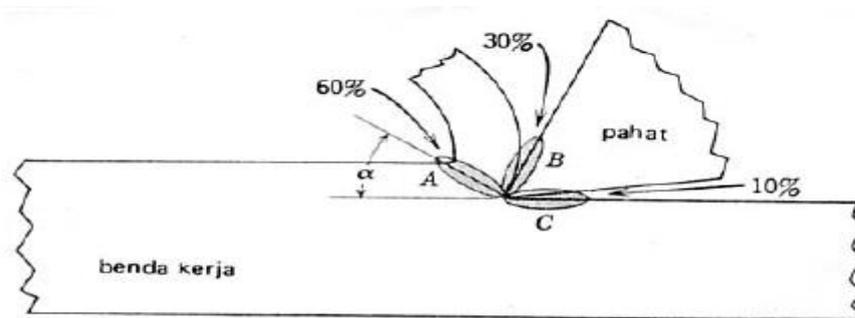
(Sumber : Rochim, 1993)

F. Material Pahat

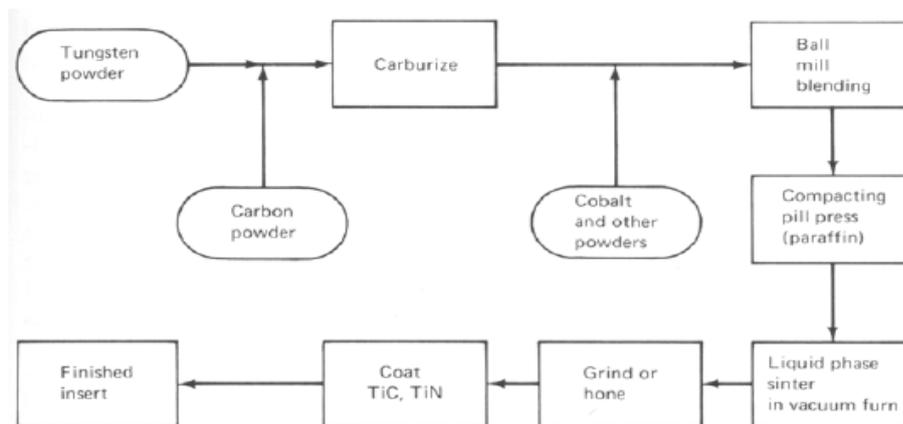
1. Karbida

Perkakas karbida yang hanya mengandung wolfram karbida dan kobalt (94% wolfram karbida dan 6% kobalt) adalah cocok untuk memesis besi cor dan semua bahan baja. Untuk mempresisi bahan baja ditambahkan titanium dan tantalum karbida. Kekerasan bahan karbida mengungguli bahan lain karena dapat mempertahankan tepi potong pada suhu diatas $1200^{\circ}C$. Unsur-unsur paduan dalam karbida diperlukan untuk memperoleh sifat-sifat tersebut dan kuat pada

temperatur tinggi dan Variabel yang paling berpengaruh terhadap pembangkitan panas adalah kecepatan pemotongan.



Gambar 11. Perkiraan distribusi temperatur maksimum pada separuh permukaan pahat yang berinteraksi dalam tiga daerah, A. Bidang geram, B. Bidang gesek mata potong, C. Bidang permukaan dengan geram (Daryus, 2005). Gambar tersebut. menunjukkan sumber utama dari panas yang akan bias mengakibatkan permukaan logam cenderung untuk melekat satu sama lain jika panasnya berlebihan. Meskipun sebagian besar panas pemotongan dibawa oleh geram, temperatur tertinggi justru terjadi pada bidang aktif pahat (pada bidang geram atau mata potong). Untuk suatu kombinasi pahat dan benda kerja yang tertentu, temperatur pahat lebih dipengaruhi oleh kecepatan potong daripada oleh gerak makan. Karena kecepatan potong menentukan tinggi rendahnya temperatur pahat, maka mekanisme penyebab keausan pahat sangat dipengaruhi oleh kecepatan potong (Rochim, 1993). Di dalam perbandingan perkakas potong yang memotong baja, peningkatan nilai kekerasan baik di dalam memotong logam, karena ada kenaikan temperatur alat potong selama pemotongan (Adams 1991, Amin 1991).



Gambar 12. Proses sintering alat potong karbida (DeGarmo et al.1988)

Karbida merupakan bahan yang paling keras dan mempunyai kekuatan kompresi yang sangat tinggi. namun bahan ini rapuh, tidak tanggap terhadap kondisi kerja panas. Untuk pengerjaan dengan mesin pada yang memiliki laju potong lebih tinggi, perkakas karbida dikembangkan di tahun 1930 (Kalpakjian,1997). Perkakas karbida dibentuk dengan proses (*sintering*) dari serbuk. Jenis Karbida (*Cemented Carbide*) ditemukan pada tahun 1923 (KRUPP WIDIA). *Cemented Carbide* ada dalam satu kelompok dari alat potong yang terbuat dari karbida tungsten (WC) merupakan bahan pahat yang dibuat dengan cara (*sintering*) serbuk karbida (Nitrida dan Oksida) dengan pengikat yang umumnya dari Cobalt (Co). Dengan cara *Carburizing* Masing-masing bahan dasar (serbuk) Tungsten (Wolfram,W) Titanium (Ti) Tantalum) dibuat menjadi karbida yang kemudian digiling (*ball mill*) dan disaring kemudian dicampur dengan bahan pengikat Cobalt (Co) kemudian dilakukan *Presintering* (pemanasan 1000 °C untuk menguapkan bahan pelumas lilin dan kemudian *Sintering* ((pemanasan 1600 °C) sehingga bentuk keping menyusut 80 % dari volume semula (Groover. 2000). Kekerasannya dapat mencapai 87-92 Rc adalah cocok untuk memahat besi cor dan semua bahan lain. Selain itu merupakan bahan yang paling keras yaitu,

memiliki standar Hardness (HV) 500-3000kg/mm² dan mempunyai kekuatan kompresi yang sangat tinggi. namun bahan ini rapuh, tidak tanggap terhadap perlakuan panas. (Rochim, 1993). Ada tiga macam perkakas karbida yaitu:

a. Ada tiga jenis utama pahat karbida, yaitu :

1. Karbida Tungsten (WC+Co).

Merupakan jenis pahat karbida untuk memotong besi tuang (*cast iron cutting grade*).

2. Karbida Tungsten Paduan (WC-TiC+Co; WC-TiC-TaC-Co; WC-TaC+Co; WC-TiC-TiN+Co; TiC+Ni,Mo). Merupakan jenis pahat karbida untuk pemotongan baja (*steel cutting grade*) dan ada beberapa jenis jenis karbida paduan antara lain:

a. Karbida Tungsten (WC+Co).

Karbida Tungsten Murni yang merupakan jenis yang paling sederhana terdiri dari Karbida Tungsten (WC) dan pengikat (Co) Cobalt. Jenis yang cocok untuk permesinan dimana mekanisme keausan pahat terutama disebabkan oleh proses abrasi seperti terjadi pada berbagai besi tuang, apabila digunakan untuk baja maka akan terjadi keausan kawah yang berlebihan. Untuk pemesian baja digunakan jenis karbida tungsten paduan (Rochim, 1993).

b. Karbida (WC-TiC+Co)

Pengaruh utama dari TiC adalah mengurangi tendensi dari geram untuk melekat pada muka pahat (BUE: *Built Up Edge*) serta menaikkan daya

keausan kawah (Rochim, 1993).

c. Karbida (WC-TiC-TaC-Co)

Penambahan TaC menambah efek samping TiC yang menurunkan *Transverse Rupture Strength*, *Hot Hardness* dan *Compressive Strength* dipertinggi sehingga ujung pahat tahan terhadap deformasi plastik (Rochim 1993).

d. Karbida (WC-TaC+Co)

Pengaruh TaC adalah hampir serupa dengan pengaruh TiC, akan tetapi TaC lebih lunak dibandingkan dengan TiC. Jenis ini lebih tahan terhadap *Thermal Shock* cocok untuk pembuatan alur (Rochim, 1993).

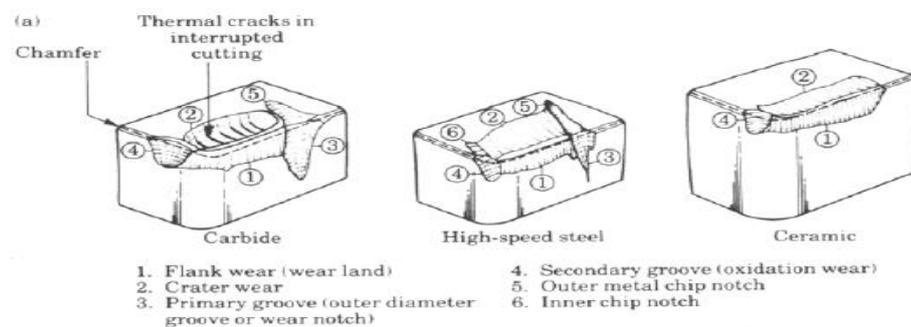
3. Karbida Lapis (*Cemented Carbide*)

Merupakan jenis karbida tungsten yang dilapisi karbida, nitrida atau oksida lain. Umumnya sebagai material dasar menggunakan karbida tungsten (WC+Co) yang dilapisi dengan bahan keramik (karbida, nitrida, dan oksida yang tahan temperatur tinggi serta non adhesif). (Rochim 1993).

G. Jenis-jenis Keausan

Keausan dapat didefinisikan sebagai terlepasnya material/atom dari permukaan material akibat dari deformasi plastis dan aksi mekanik. Keausan dapat menyebabkan perubahan bentuk benda kerja sehingga akan mengakibatkan ukuran dan kualitas material akan mengalami penurunan. Masalah besar yang diakibatkan dari keausan adalah komponen yang mengalami keausan harus terus

menerus diganti atau diperbaiki. Keausan biasanya diklasifikasikan menjadi keausan adhesif, keausan abrasif, keausan erosi, keausan kavitasi, keausan fretting, dan keausan akibat tumbukan. Keausan yang disebabkan oleh gesekan adalah hasil dari suatu gesekan yang meluncur, dapat juga secara berputar dari suatu permukaan logam dengan permukaan logam lain. Kontak lunturnan yang terus menerus sampai permukaan yang aus mencapai titik dimana bagian dari elemen mesin harus diganti.

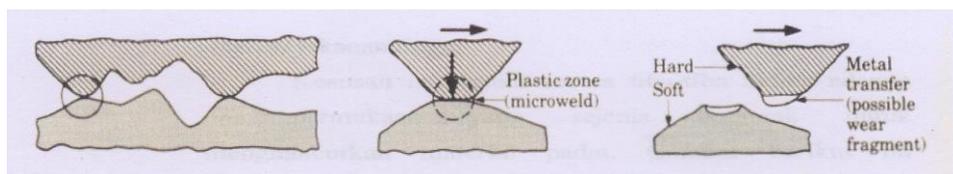


Gambar 13. mekanisme keausan pahat (Kalpakjian.1997)

Keausan abrasif diakibatkan oleh dorongan keras dalam material benda kerja ke sebarang muka suatu alat yang memotong. Mekanisme ini dapat mendominasi ketika pengerjaan dengan perkakas karbida, gabungan metal, karbida, dan keramik. Adhesi diakibatkan oleh gesekan antara benda kerja dan material alat potong, yang dapat menyebabkan gesekan antara alat yang memotong benda kerja dapat menyebabkan pecah sepanjang batas butiran yang membuat butir pecah ke luar (Sibold 1991). Beberapa dari Keausan abrasif dan adhesif dapat mengijinkan alat potong untuk tetap dipakai dalam upaya mencegah retak alat prematur atau keausan tepi yang besar dalam pemesinan (Mehrotra 1998).

Keausan adhesif

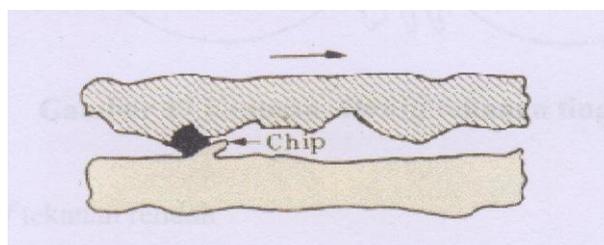
Keausan *adhesif* terjadi akibat dua permukaan yang saling bergesekan dengan tekanan tertentu. Mekanisme keausan *adhesif* ini terjadi karena adanya gaya tarik menarik antar logam, disebabkan oleh adanya pergerakan relatif maka akan terjadi perpatahan pada daerah yang lemah dengan adanya gesekan selanjutnya menyebabkan bagian yang menempel pada permukaan yang lebih keras akan terpotong-potong oleh puncak-puncak kekerasan disekitarnya sehingga akan meninggalkan serpihan yang disebut dengan keausan. Serpihan ini dapat mempunyai kekerasan yang lebih besar dari logam induknya. Serpihan ini menyebabkan keausan *adhesif* terjadi pada logam induknya. Keausan akan berkurang jika kekerasan bahan meningkat dan kekasaran permukaan berkurang.



Gambar 14. Skema ilustrasi keausan adhesif (Rochim, 2001).

Keausan abrasif

Keausan abrasif adalah keausan yang terjadi akibat terjebaknya partikel keras diantara dua permukaan. Keausan ini biasanya terjadi pada alat berat, pisau, *scraper*, dan *crusher*.



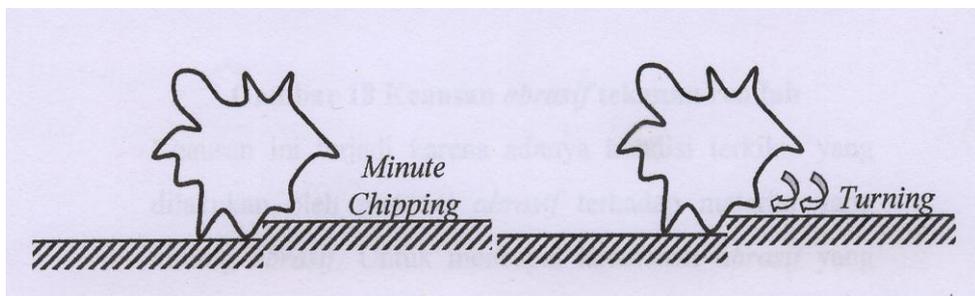
Gambar 15. Skema ilustrasi keausan abrasif (Rochim, 2001).

Mekanisme keausan *abrasif* yaitu permukaan yang kasar bergerak di antara permukaan yang lunak. Pada keausan *abrasif* mengakibatkan adanya material

yang pindah dari permukaan logam sehingga akan timbul celah. Keausan *abrasif* mempunyai beberapa bentuk diantaranya:

(1). *Abrasif* pahat

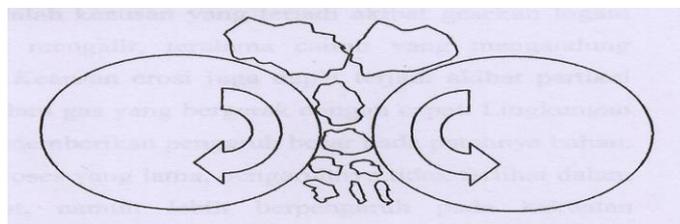
Keausan ini terjadi ketika adanya permukaan material yang kasar merusak partikel yang permukaannya lebih lunak.



Gambar 16. Keausan abrasif pahat, berupa kepingan kecil bubutan (Rochim, 2001).

(2). *Abrasif* tekanan tinggi

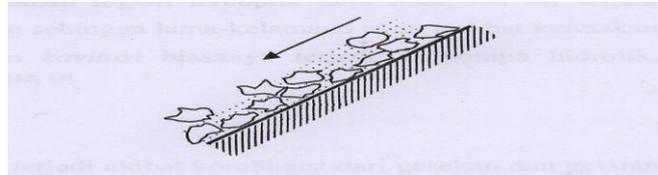
Keausan ini terjadi secara tiba-tiba ketika adanya dua permukaan yang sejenis bergerak untuk menghancurkan material padat. Gambar berikut ini memperlihatkan *abrasif* tekanan tinggi.



Gambar 17. Keausan abrasif tekanan tinggi (Rochim, 2001).

(3). *Abrasif* tekanan rendah

Tekanan ini terjadi terutama disebabkan adanya material *abrasif* yang meluncur bebas di atas permukaan material yang mempunyai ketahanan *abrasif* yang lebih rendah seperti gambar di bawah ini :



Gambar 18. Keausan abrasif tekanan rendah (Rochim, 2001).

Keausan ini terjadi karena adanya kondisi terkikis yang dilakukan oleh material *abrasif* terhadap material yang kurang *abrasif*. Untuk mencapai ketahanan *abrasif* yang tinggi diperlukan logam yang mempunyai ketahanan yang tinggi. Kekerasan logam menunjukkan kemampuan permukaan terhadap adanya deformasi plastis. Semakin keras suatu bahan, semakin tahan bahan tersebut terhadap deformasi plastis.

H. Baja

Baja merupakan paduan yang terdiri dari unsur besi (Fe), karbon (C), dan unsur lainnya. Baja dapat dibentuk melalui pengecoran, pencanaian, atau penemperan. Karbon merupakan salah satu unsur terpenting karena dapat meningkatkan kekerasan dan kekuatan baja. Baja merupakan logam yang paling banyak digunakan dalam teknik, dalam bentuk pelat, pipa, batang, profil dan sebagainya. Secara garis besar baja dapat dikelompokkan menjadi dua yaitu baja karbon dan baja paduan. Baja karbon ini terbagi menjadi tiga macam yaitu, baja karbon rendah ($< 0,30\% \text{ C}$), baja karbon sedang ($0,30\% < \text{C} < 0,70\%$), baja karbon tinggi

($0,70\% < C < 1,40\%$). Sedangkan baja paduan terdiri dari baja paduan rendah dan baja paduan tinggi (Sriatie, 1990).

1. Baja menurut unsur sifat-sifatnya

Baja adalah salah satu bahan yang banyak dipakai sebagai bahan industri. Sifat dari baja bervariasi, yaitu bahwa bahan tersebut mempunyai berbagai sifat dari yang paling lunak dan mudah dibuat sampai yang paling keras. Selain itu baja dapat dibentuk menjadi bentuk apapun dengan cara pengecoran dan berikut ini adalah pengelompokan baja (Surdia, 1984).

- 1) **Baja Karbon.** Baja karbon adalah paduan besi karbon di mana unsur karbon sangat menentukan sifat-sifatnya, sedang unsur-unsur paduan lainnya yang biasa terkandung di dalamnya terjadi karena proses pembuatannya. Sifat baja karbon biasa ditentukan oleh persentase karbon dan mikrostruktur.
- 2) **Baja Paduan.** Baja paduan adalah baja yang mengandung sebuah unsur lain atau lebih dengan kadar yang berlebih daripada karbon biasanya dalam baja karbon. Menurut kadar unsur paduan, baja paduan dapat dibagi ke dalam dua golongan yaitu baja paduan rendah dan baja paduan tinggi. Baja rendah unsur paduannya di bawah 10% sedangkan baja paduan tinggi di atas 10%.
- 3) **Baja Khusus.** Baja khusus mempunyai unsur-unsur paduan yang tinggi karena pemakaian yang khusus. Baja khusus yaitu baja tahan karat, baja tahan panas, baja perkakas, baja listrik. Unsur utama dari baja tahan karat adalah Khrom sebagai unsur terpenting untuk memperoleh sifat tahan

terhadap korosi. Baja tahan karat ada tiga macam menurut strukturnya yaitu baja tahan karat feritis, baja tahan karat martensitas dan austenitis. Baja tahan panas, tahan terhadap korosi. Baja ini harus tahan korosi pada suhu lingkungan lebih tinggi atau oksidasi. Baja perkakas adalah baja yang dibuat tidak berukuran besar tetapi memegang peranan dalam industri-industri.. Baja listrik banyak dipakai dalam bidang elektronika.

2. Baja Amutit K-460

Baja K-460 merupakan baja produk BOHLER, baja ini mengandung karbon (C) = 0,95%, Mangan (Mn) = 1%, Chrom (Cr) = 0,5%, Vanadium (V) = 0,1%, dan Wolfram (W) = 0,5%. Baja K-460 termasuk jenis baja karbon tinggi yaitu antara (0,70 < 0,95 < 1,40). Baja ini digunakan untuk alat-alat perkakas potong karena kekerasannya. (Dwi Haryadi, 2005).

3. Menurut komposisi kimianya (Hasnan. 2006):

Baja karbon (*carbon steel*), dibagi menjadi tiga yaitu;

1) Baja karbon rendah (*low carbon steel*)

machine, machinery dan mild steel 0,05 % - 0,30% C. Sifatnya mudah ditempa dan mudah di mesin. Penggunaannya 0,05 % - 0,20 % C untuk *automobile bodies, buildings, pipes, chains, rivets, screws, nails*. 0,20 % - 0,30 % C untuk *gears, shafts, bolts, forgings, bridges, buildings*.

2) Baja karbon menengah (*medium carbon steel*)

Kekuatan lebih tinggi daripada baja karbon rendah. Sifatnya sulit untuk dibengkokkan, dilas, dipotong. Penggunaan 0,30 % - 0,40 % C untuk *connecting rods, crank pins, axles*. 0,40 % - 0,50 % C untuk *car axles, crankshafts, rails, boilers, auger bits, screwdrivers*. 0,50 % - 0,60 % C untuk *hammers dan sledges*.

3) Baja karbon tinggi (*high carbon steel*)

Sifatnya sulit dibengkokkan, dilas dan dipotong. Kandungan 0,60 % - 1,50 % C. Penggunaan untuk *screw drivers, blacksmiths hammers, tables knives, screws, hammers, vise jaws, knives, drills. tools for turning brass and wood, reamers, tools for turning hard metals, saws for cutting steel, wire drawing dies, fine cutters*.

I. Bidang Aktif Pahat Yang Mengalami Keausan

Selama proses pembentukan geram berlangsung, pahat dapat mengalami kegagalan dari fungsinya yang normal karena berbagai sebab. Salah satu diantara sebabnya, yaitu keausan yang secara bertahap membesar (tumbuh) pada bidang aktif pahat (Rochim,1993).

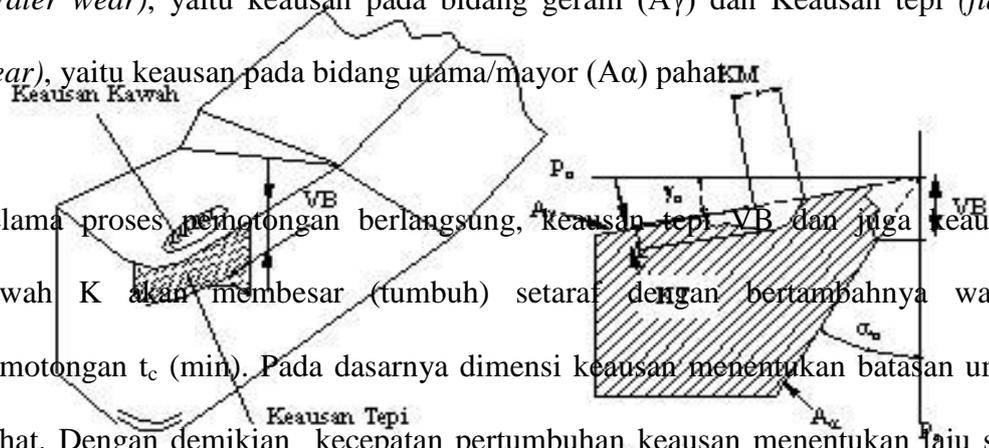
Keausan dapat terjadi pada bidang geram (A_γ) atau bidang utama (A_α) pahat. Karena bentuk dan letaknya yang spesifik, keausan pada bidang geram disebut dengan keausan kawah (*creater wear*) dan keausan pada bidang utama (*flank wear*), Keausan dapat terjadi pada bidang geram (A_γ) dan atau pada bidang utama (A_α) pahat. Keausan dibedakan menjadi dua macam, yaitu, Keausan kawah

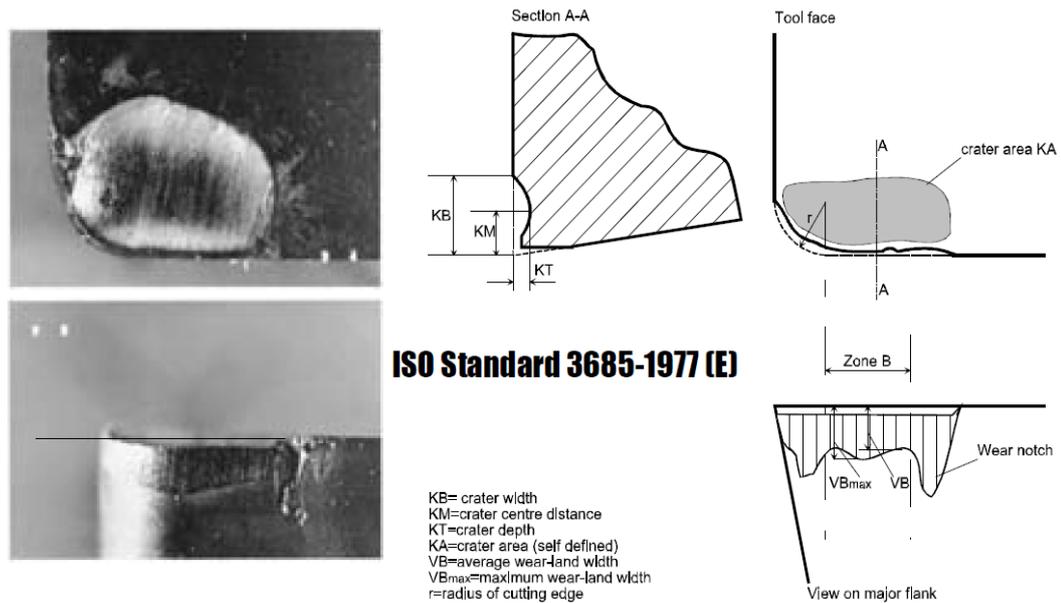
(*crater wear*), yaitu keausan pada bidang geram ($A\gamma$) dan Keausan tepi (*flank wear*), yaitu keausan pada bidang utama/mayor ($A\alpha$) pahat.

Selama proses pemotongan berlangsung, keausan tepi VB dan juga keausan kawah K akan membesar (tumbuh) setaraf dengan bertambahnya waktu pemotongan t_c (min). Pada dasarnya dimensi keausan menentukan batasan umur pahat. Dengan demikian kecepatan pertumbuhan keausan menentukan laju saat berakhirnya masa guna pahat.

$$K = \text{rasio kawah} = \frac{KT}{KM}$$

Pertumbuhan keausan tepi (*flank wear*) pada umumnya mengikuti bentuk, yaitu dimulai dengan pertumbuhan yang relatif cepat sesaat setelah pahat digunakan diikuti pertumbuhan yang linier setaraf dengan bertambahnya waktu pemotongan dan kemudian pertumbuhan yang cepat terjadi lagi.





Keterangan :

KT	= (<i>crater depth</i>) kedalaman keausan kawah
KM	= (<i>crater center distance</i>) jarak pusat kawah
KA	= (<i>crater area (self defined)</i>) area keausan kawah
KB	= (<i>crater width</i>) lebar keausan kawah
VB	= (<i>average wear-land width</i>) area keausan tepi rata-rata
VBmax	= (<i>maximum wear-land width</i>) area keausan tepi maksimum
r	= (<i>radius of cutting edge</i>) radius pojok pahat pemotong

Gambar 19. Definisi Keausan kawah (*crater wear*) dan keausan tepi (*flank wear*) Standard ISO 3685-1977 (E) (Rochim 1993, Onwubolu 2006)

J. Kriteria Umur Pahat

Umur pahat merupakan seluruh waktu pemotongan sehingga dicapai batas keausan tepi yang telah ditetapkan. Keausan pada pahat harus dihindari, hal ini dikarenakan keausan tepi pahat akan menimbulkan efek samping, yaitu (Krar, 1997):

1. Kenaikan gaya potong
2. Getaran/*chatter*
3. Penurunan kehalusan permukaan hasil permukaan hasil pemesinan.

4. Perubahan dimensi/geometri produk.

Semakin besar keausan yang diderita pahat maka kondisi pahat akan semakin kritis. Jikalau pahat tersebut masih tetap digunakan maka pertumbuhan keausan akan semakin cepat dan pada suatu saat ujung pahat sama sekali akan rusak, untuk menghindari hal tersebut ditetapkan suatu batas harga keausan (dimensi dari keausan tepi atau keausan kawah) yang dianggap sebagai batas kritis dimana pahat tidak boleh digunakan, seperti ditunjukkan pada Tabel 3 dan Standard ISO 3685-1977 (E) untuk pengujian umur alat potong.

Tabel 3. Batas keausan kritis.

Pahat	Benda Kerja	VB (mm)	K
HSS	Baja & Besi Tuang	0.3 s.d. 0.8	-
Karbida	Baja	0.2 s.d. 0.6	0.3
Karbida	Besi Tuang & Non Ferrous	0.4 s.d. 0.6	0.3
Keramik	Baja & Besi Tuang	0.3	-

(Sumber : Rochim. 1993)

Standard ISO 3685-1977(E) untuk pengujian umur alat potong yaitu (Onwubolu 2006):

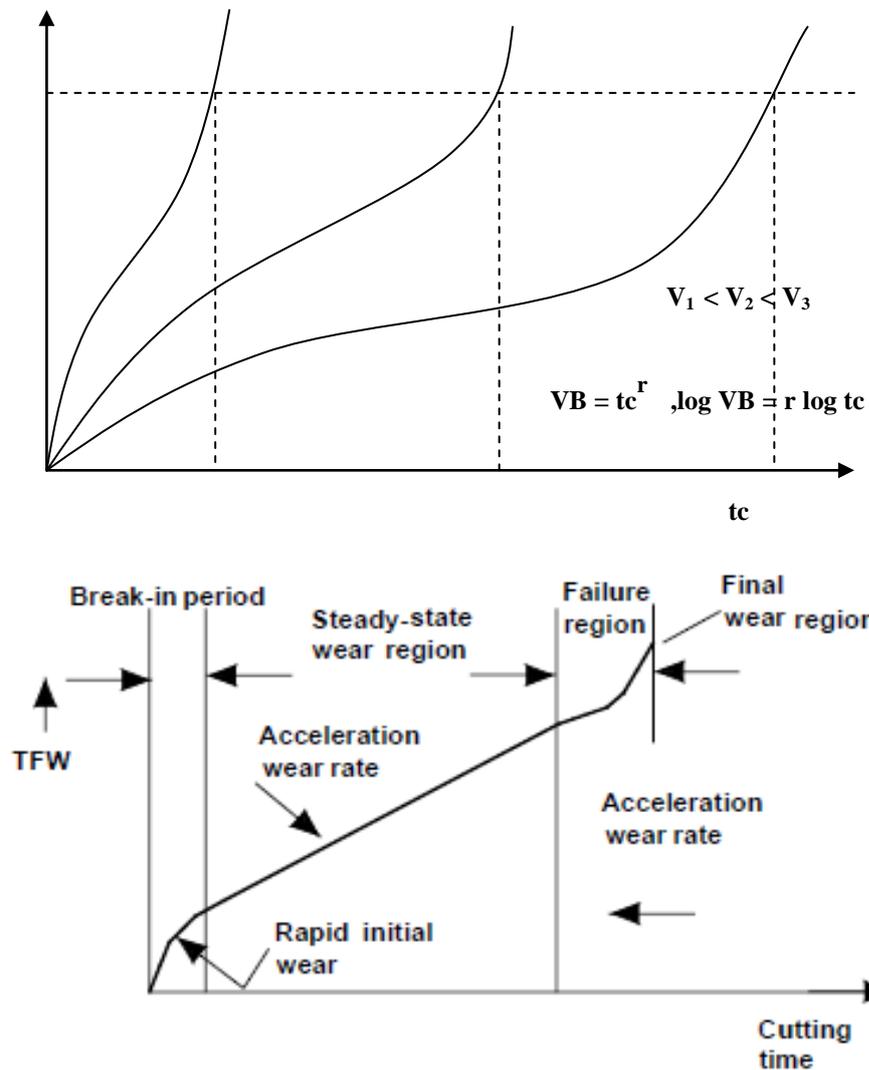
- 1) Keausan Tepi rata-rata (*Average flank wear*) ≥ 0.4 mm.
- 2) Keausan Tepi Maksimum (*Maximum flank wear*) ≥ 0.7 mm.
- 3) Keausan radius sudut bebas (*Nose wear*) ≥ 0.5 mm.
- 4) Derajat kedalaman garis potong (*Notching at the depth of cut line*) ≥ 1.0 mm.
- 5) kekasaran permukaan (*Surface roughness*) ≥ 6.0 mm.

Keausan Tepi (VB) merupakan suatu model yang dikembangkan dalam memprediksi kemajuan dari umur dari suatu alat potong dan keausan tepi menyertakan prediksi umur pahat sehingga kerugian waktu dapat diprediksi untuk

mendapatkan kondisi pemotongan yang aktual (Dawson 2002). Keausan tepi terjadi pada bidang utama mayor, dan pengukuran keausan tepi (VB) dilakukan dengan mengukur panjang (VB) yaitu, jarak antara mata potong sebelum terjadi keausan (mata potong pahat didekatnya dijadikan referensi) sampai kegaris rata-rata bekas keausan pada bidang utama. Batas keausan tepi untuk pahat Karbida dengan material benda kerja baja adalah sebesar 0,2 mm–0,6 mm dengan waktu pemotongan yang berbeda (Rochim 1993).

Dimana dalam kriteria saat berakhirnya umur pahat (T) adalah pada harga keausan tepinya ($VB_{maks} = 0,7 \text{ mm}$). Saat dimana pertumbuhan keausan cepat mulai berulang lagi dianggap sebagai batas umur pahat, dan hal ini umumnya terjadi pada harga keausan tepi (VB) yang relatif sama untuk kecepatan potong yang berbeda. Sampai saat batas ini, keausan tepi (VB) dapat dianggap merupakan fungsi pangkat (*power function*) dari waktu pemotongan (t_c) dan bila digambarkan pada skala dobel logaritma maka mempunyai hubungan linier. Pertumbuhan keausan tepi (*flank wear*) pada umumnya mengikuti bentuk sebagaimana pada gambar berikut ini.

VB **V₃** **V₂** **V₁**



Gambar 20. Pertumbuhan Keausan Tepi pahat (TWF) *Tool Flank Wear* yang berdasar pada suatu kondisi waktu pemotongan (Rochim 1993, Onwubolu 2006)

Pertumbuhan keausan tepi (VB) umumnya mulai dengan pertumbuhan yang relatif cepat sesaat setelah pahat digunakan, diikuti pertumbuhan linier setaraf dengan bertambahnya waktu pemotongan (Jumlah waktu yang digunakan untuk proses memotong), dan kemudian pertumbuhan yang cepat terjadi lagi. Saat dimana pertumbuhan keausan cepat mulai berulang lagi dianggap sebagai batas umur pahat, dan hal ini umumnya terjadi pada harga keausan tepi (VB) yang relatif sama untuk kecepatan potong yang berbeda (Rochim,1993). Persamaan

yang menunjukkan hubungan kecepatan potong dengan umur pahat pertama kali dikemukakan oleh Frederick Winslow Taylor pada tahun 1907. Untuk harga yang tetap bagi batas dimensi keausan serta kombinasi pahat dan benda kerja tertentu, maka hubungannya sebagai berikut :

$$VT^n = C$$

Keterangan :

V = kecepatan potong, (*cutting speed*) m/min

T = umur pahat, (*tool life*) menit

n = eksponen penyimpangan dari alur tergantung pada kondisi pemotongan

C = konstanta = penahanan pada poros kecepatan

Tabel 4. Nilai eksponen n dan C untuk beberapa alat potong

Tool material	n	C (m/min)	C (ft/min)
High speed steel:			
Non-steel work	0.125	120	350
Steel work	0.125	70	200
Cemented carbide			
Non-steel work	0.25	900	2700
Steel work	0.25	500	1500
Ceramic			
Steel work	0.6	3000	10,000

(Sumber : Onwubolu 2006)

K. Umur Pahat

Pada dasarnya dimensi keausan menentukan batasan umur pahat, dengan demikian kecepatan pertumbuhan keausan menentukan laju saat berakhirnya masa guna pahat. Umur pahat tidak hanya dipengaruhi oleh geometri pahat saja melainkan juga oleh semua faktor yang berkaitan dengan proses pemesinan yaitu: jenis material benda kerja dan pahat, kondisi pemotongan (kecepatan potong,

kedalaman potong dan gerak makan), cairan pendingin dan jenis proses pemesinan (Rochim, 1993).

$$VT^n = C$$

Keterangan :

V = kecepatan potong, (*cutting speed*) m/min

T = umur pahat, (*tool life*) menit

n = eksponen penyimpangan dari alur tergantung pada kondisi pemotongan

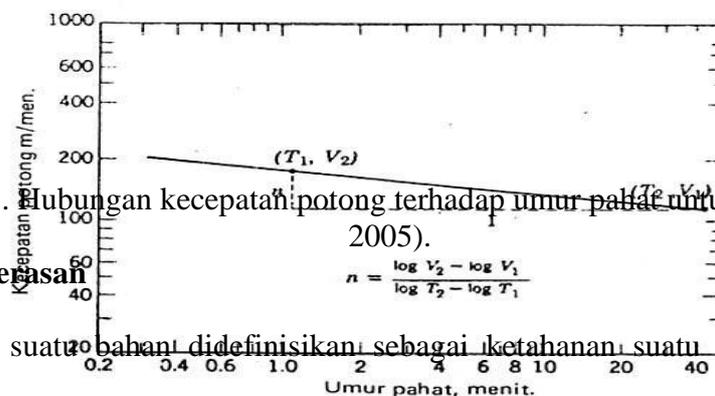
C = konstanta = penahanan pada poros kecepatan

Persamaan di atas dikenal dengan nama (*Generalized Taylor's Equation*)

Persamaan Umur Pahat Taylor. Harga Konstanta C dan eksponen n diperoleh

dengan melakukan praktek pemotongan/permesinan material benda kerja.

Semakin kecil harga eksponen n , maka umur pahat yang bersangkutan sangat dipengaruhi oleh kecepatan potong.



Gambar 21. Hubungan kecepatan potong terhadap umur pahat untuk baja (Daryus, 2005).

L Uji Kekerasan

Kekerasan suatu bahan didefinisikan sebagai ketahanan suatu bahan terhadap penetrasi material lain pada permukaannya. Terdapat tiga jenis mengenai ukuran

kekerasan, yang tergantung pada cara melakukan pengujiannya (Sriatie, 1990).

Ketiga jenis tersebut adalah :

1. Kekerasan goresan (*Scratch hardness*)
2. Kekerasan lekukan (*Indentation hardness*)
3. Kekerasan pantulan (*rebound hardness*) atau kekerasan dinamik (*dynamic hardness*).

1. Uji Kekerasan Rockwell

Pada pengujian kekerasan menurut Rockwell diukur kedalaman pembenaman (t) penekan. Sebagai penekan pada baja yang dikeraskan digunakan sebuah kerucut intan. Untuk menyeimbangkan ketidakrataan yang diakibatkan oleh permukaan yang tidak bersih, maka kerucut intan ditekan keatas bidang uji, pertama dengan beban pendahuluan 10 kg. setelah ini, beban ditingkatkan menjadi 150 kg sehingga tercapai kedalaman pembenaman terbesar. Sebagai ukuran digunakan kedalaman pembenaman menetap t dalam mm yang ditinggalkan beban tambahan. Sebagai satuan untuk ukuran t berlaku $e = t$ dalam 0,002 mm. Kekerasan Rockwell, Pengujian Rockwell HRC sebagai cara yang paling cocok untuk pengujian bahan yang keras. Makin keras bahan yang diuji, makin dangkal masuknya penekan dan sebaliknya makin lunak bahan yang diuji, makin dalam masuknya (Dietser, 1987). Cara Rockwell sangat disukai karena dengan cepat dapat diketahui kekerasannya tanpa menghitung dan mengukur. Nilai kekerasan dapat dibaca setelah beban utama dilepaskan, dimana beban awal masih menekan bahan. Untuk mendefinisikan tipe bahan dan pengujian yang sesuai untuk

pengujian kekerasan maka digunakan klasifikasi skala untuk material pengujian tertentu. Seperti daftar skala untuk kekerasan Rockwell dibawah ini.

Tabel 5. Daftar Skala yang digunakan dalam kekerasan Rockwell.

<i>Scale Designation</i>	<i>Type of Indentor</i>	<i>Major Load (Kg)</i>	<i>Typical Field of Applications</i>
A	Brale	60	Usually for Harder Material
B	1/16 in, diameter steel ball	100	Medium-Hardness Material
C	Brale	150	Hardened Steel > HRB100
D	Brale	100	Case-Hardened Steel
E	1/8 in, diameter steel ball	100	Al and Mg alloys
F	1/16 steel ball diameter steel ball	60	Annealed Cu and Brass
L	¼ in, diameter steel ball	60	Pb or Plastics
N	N Brale	15,30 or 45	Superficial Rockwell for thin sample or small impressions

$$HRC = 100 - \frac{t}{0,002}$$

Contoh :

$$t = 0,07$$

$$HRC = 100 - \frac{0,07}{0,002}$$

$$= 100 - 35$$

$$= 65 \text{ HRC}$$

2. Uji Kekerasan Brinell

Uji kekerasan brinell merupakan suatu penekanan bola baja (identor pada permukaan benda uji. Bola baja berdiameter 10 mm, sedangkan untuk material uji yang sangat keras identor terbuat dari paduan karbida tungsten, untuk menghindari distorsi pada identor. Beban uji untuk logam yang keras adalah 3000

kg, sedangkan untuk logam yang lebih lunak beban dikurangi sampai 500 kg untuk menghindari jejak yang dalam. Lama penekanan 20 – 30 detik dan diameter lekukan diukur dengan mikroskop daya rendah, setelah beban tersebut dihilangkan. Permukaan dimana lekukan akan dibuat harus relatif halus, bebas dari debu atau kerak. Angka kekerasan Brinell (*Brinell hardness number*, BHN) dinyatakan sebagai beban P dibagi luas permukaan lekukan, persamaan untuk angka kekerasan tersebut adalah sebagai berikut (Dietser, 1987)

$$BHN = \frac{P}{\left(\frac{\pi D}{2}\right) \left(D - \sqrt{D^2 - d^2}\right)}$$

Dimana :

P = Beban yang digunakan (kg)

d = Diameter indentor (mm)

D = Diameter lekukan (mm)

3. Uji Kekerasan Vickers

Uji kekerasan Vickers menggunakan indentor yang berbentuk pyramid intan yang dasarnya berbentuk bujur sangkar dengan sudut 136° . Angka kekerasan Vickers (*Vickers hardness number*, VHN) didefinisikan sebagai beban dibagi dengan luas permukaan lekukan. VHN ditentukan oleh persamaan berikut (Dietser, 1987)

$$VHN = \frac{2P \sin(\theta / 2)}{L^2} = \frac{1,854P}{D^2}$$

Dimana :

P = Beban yang digunakan (kg)

L = Panjang diagonal rata-rata (mm)

θ = Sudut antara permukaan intan yang berlawanan (136°)

M. Kekasaran Permukaan (*surface roughness*)

Yang dimaksud dengan permukaan adalah batas yang memisahkan benda padat dengan sekelilingnya. Jika ditinjau dengan skala kecil pada dasarnya konfigurasi permukaan suatu elemen mesin (produk) juga merupakan suatu karakteristik geometrik, yang dalam hal ini termasuk dalam golongan *mikrogeometrik*. Sementara itu yang termasuk *makrogeometrik* adalah permukaan secara keseluruhan yang membuat bentuk atau rupa yang spesifik misalnya permukaan poros, lubang, dan sisi. yang dalam hal ini perancangannya toleransinya telah tercakup dalam elemen geometrik ukuran bentuk dan posisi (Rochim, 2001).

Tabel 6. Ketidakteraturan suatu profil

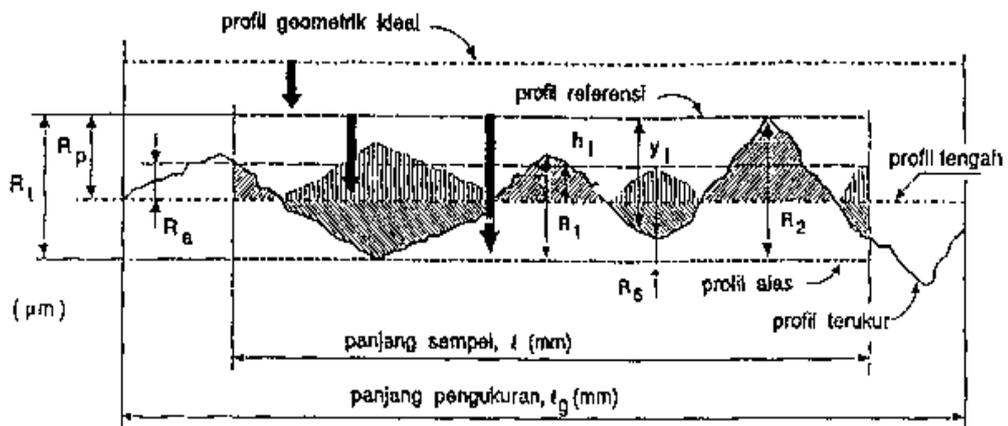
Tingkat	Profil terukur; bentuk grafik hasil pengukuran	Istilah	Contoh kemungkinan penyebabnya
1		Kesalahan bentuk (form error)	Kesalahan bidang-bidang pembimbing mesin perkakas dan benda kerja, kesalahan posisi pencekaman benda kerja.
2		Gelombang (waviness)	Kesalahan bentuk perkakas, kesalahan penyenteran perkakas, getaran dalam proses pemesinan.
3		Alur (grooves)	Jejak/bekas pemotongan (bentuk ujung pahat, gerak makan).
4		Serpihan (flakes)	Proses pembentukan geram, deformasi akibat proses pancar pasir, pembentukan modula pada proses electroplating.
			Kombinasi ketidakteraturan dari tingkat 1 sampai dengan 4.

Sumber : Rochim, 2001

Karakteristik suatu permukaan memegang peranan penting dalam perancangan komponen mesin/peralatan. Banyak hal dimana karakteristik permukaan perlu dinyatakan dengan jelas misalnya dalam kaitannya dengan gesekan, keausan, pelumasan, tahanan kelelahan, perekatan dua atau lebih komponen-komponen mesin dan sebagainya. Setiap proses pengerjaan mempunyai ciri yang tertentu/khas atas permukaan benda kerja yang dihasilkannya. Dalam memilih proses pengerjaan aspek permukaan ini perlu dipertimbangkan. Ketidakteraturan konfigurasi suatu permukaan bila ditinjau dari profilnya dapat diuraikan menjadi

beberapa tingkatan, seperti yang dijelaskan pada tabel 5 (Rochim, 2001). Sepintas perbedaan antara tingkat ketidakteraturan ini dapat dimengerti dan dapat pula diperkirakan faktor-faktor penyebabnya. Akan tetapi persoalannya adalah bagaimana membuat dan menyatakan secara kuantitatif suatu parameter yang dapat menjelaskan satu-persatu tingkat ketidakteraturan suatu permukaan yang sekaligus mempunyai kombinasi ketidakteraturan.

Untuk memproduksi profil suatu permukaan, sensor/peraba (*stylus*) alat ukur harus digerakkan mengikuti lintasan yang berupa garis lurus dengan jarak yang telah ditentukan terlebih dahulu. Panjang lintasan ini disebut dengan panjang pengukuran (*traversing length, l_g*). Sesaat setelah jarum berhenti secara elektronik alat ukur melakukan perhitungan berdasarkan data yang dideteksi oleh jarum peraba. Reproduksi profil sesungguhnya adalah seperti yang ditunjukkan pada gambar 22 (Rochim, 2001).



Gambar 22. Posisi profil referensi, profil tengah, dan profil alas terhadap profil terukur, untuk satu panjang sample

Parameter R_a cocok apabila digunakan untuk memeriksa kualitas permukaan komponen mesin yang dihasilkan dalam jumlah yang banyak dengan menggunakan suatu proses pemesinan tertentu. Hal ini dikarenakan harga R_a lebih sensitif terhadap perubahan atau penyimpangan yang terjadi pada proses pemesinan. Dengan demikian, jika permukaan produk dimonitor dengan menggunakan R_a maka tindakan pencegahan permukaan dapat dilakukan jika ada tanda-tanda bahwa ada peningkatan kekasaran (misalnya dengan mengasah atau mengganti perkakas potong atau batu gerindanya). Harga tingkat kekasaran R_a dapat dilihat pada tabel 7 (Rochim, 2001).

Tabel 7. Angka kekasaran permukaan

Tingkat Kekasaran, ISO Number	Mean Roughness (R_a , μm)	Simbol Segitiga	Keterangan
N12	50,0		Sangat kasar
N11	25,0		
N10	12,5	V	Kasar
N9	6,3		
N8	3,2	VV	Normal
N7	1,6		
N6	0,8		
N5	0,4	VVV	Halus
N4	0,2		
N3	0,1	VVVV	Sangat halus

(Sumber : Rochim, 2001)

Untuk memperoleh profil suatu permukaan, digunakan suatu alat ukur yang disebut *surface tester*. Dimana jarum peraba (*Stylus*) dari alat ukur bergerak mengikuti lintasan yang berupa garis lurus dengan jarak yang ditentukan terlebih dahulu. Panjang lintasan disebut panjang pengukuran sesaat setelah jarum bergerak dan sesaat sebelum jarum berhenti, maka secara elektronik alat ukur melakukan perhitungan berdasarkan data yang diperoleh dari jarum peraba. Bagian dari panjang ukuran dilakukan analisa dari profil permukaan yang disebut sebagai panjang sampel. (Rochim, 1993), Pengukuran adalah suatu proses mengukur atau menilai kualitas sesuatu yang belum diketahui dengan cara membandingkan, dengan acuan standar atau menguji dengan suatu alat.

Pada dasarnya ada dua metode pokok pengukuran yaitu pengukuran langsung dan pengukuran tidak langsung. Pengukuran langsung adalah pengukuran yang dilakukan secara langsung dengan membandingkan sesuatu atau benda dengan besaran atau ukuran standar.

Tabel 8. Tingkat kekasaran rata-rata menurut proses pengerjaannya

Proses pengerjaan	Selang (N)	Harga Ra
<i>Flat and cylindrical lapping</i>	N1-N4	0,025 - 0,2
<i>Superfinishing diamond turning</i>	N1-N6	0,025 - 0,8
<i>Flat and cylindrical grinding</i>	N1-N8	0,025 - 3,2
<i>Finishing</i>	N4-N8	0,1 - 3,2
<i>Face and cylindrical turning, milling and reaming</i>	N5-N12	0,4 - 50,0
<i>Drilling</i>	N7-N10	12,5 - 25,0
<i>Shaping, planing, horizontal milling</i>	N6-N12	0,8 - 50,0
<i>Sandcasting and forging</i>	N10-N11	12,5 - 25,0

<i>Extruding, cold rolling, drawing</i>	N6-N8	0,8 - 3,2
<i>Die casting</i>	N6-N7	0,8 - 1,6

(Sumber : Munadi, 1988)

Dimana N1 sampai N12 adalah kelas kekasaran dari permukaan dan Ra adalah rata-rata harga kekasarannya. Pengertian kasar dan halus dalam penelitian ini adalah kasar berarti tidak halus atau halus berarti tidak kasar saat diraba, jadi yang dimaksud pengukuran kekasaran/kehalusan dalam penelitian ini adalah proses pengukuran kekasaran/kehalusan suatu permukaan benda kerja dari material baja karbon dengan cara membandingkan terhadap acuan standar atau menguji dengan peralatan khusus.

N. ANOVA (*Analysis of Variance*)

Dasar perhitungan ANOVA ditetapkan oleh Ronald A. Fisher. Analisis ragam atau *Analysis of Variance* (ANOVA) adalah suatu metode untuk menguraikan keragaman total data menjadi komponen-komponen yang mengukur berbagai sumber keragaman. Secara aplikatif, ANOVA digunakan untuk menguji rata-rata lebih dari dua sampel berbeda secara signifikan atau tidak.

Sebelum menguji ANOVA suatu data, terlebih dahulu dilakukan tes *normality* yang merupakan syarat untuk melakukan analisis parametrik seperti independen sample t test, korelasi bivariate, ataupun regresi. Data harus terdistribusi secara normal, test ini menggunakan uji kolmogorov-Smirov menggunakan kriteria pengujian sebagai berikut.

- Signifikansi > 0.05 , maka data berdistribusi normal.
- Signifikansi < 0.05 , maka data tidak berdistribusi normal.

Prosedur pengolahan data yang dilakukan dalam ANOVA yaitu untuk menguji perbedaan nilai rata-rata diantara dua atau lebih kelompok. Perbedaan nilai rata-rata yang diuji bisa disebabkan oleh variabel bebas. Untuk mengetahui perbedaan mean dari dua sampel atau kelompok, biasanya digunakan t-test. Akan tetapi, banyak penelitian dibidang teknik yang tidak semata-mata menggunakan dua sampel atau dua kelompok, melainkan lebih dari dua variabel. Jika suatu penelitian memiliki sampel lebih dari dua, sebaiknya menggunakan (ANOVA) *Analysis of Variance*.

Uji ANOVA termasuk uji *parametric*, dimana terdapat hubungan antara variabel independen terhadap keputusan variabel dependen. Berdasarkan hal tersebut, maka metode ini dapat digunakan untuk mengetahui hubungan yang terjadi antara parameter potong dan geometri pahat secara kuantitatif terhadap keausan tepi pahat dan kekasaran permukaan benda kerja hasil penyekrapan dengan mengetahui apakah variabel-variabel independent tersebut berpengaruh secara signifikan atau tidak terhadap variabel-variabel dependen.

Dalam Analisis variansi menggunakan metoda regresi linier, regresi linier adalah metode statistika yang digunakan untuk membentuk model hubungan antara variabel terikat (dependen; respon; Y) dengan satu atau lebih variabel bebas (independen, prediktor, X). analisis regresi setidaknya-tidaknya memiliki 3 kegunaan,

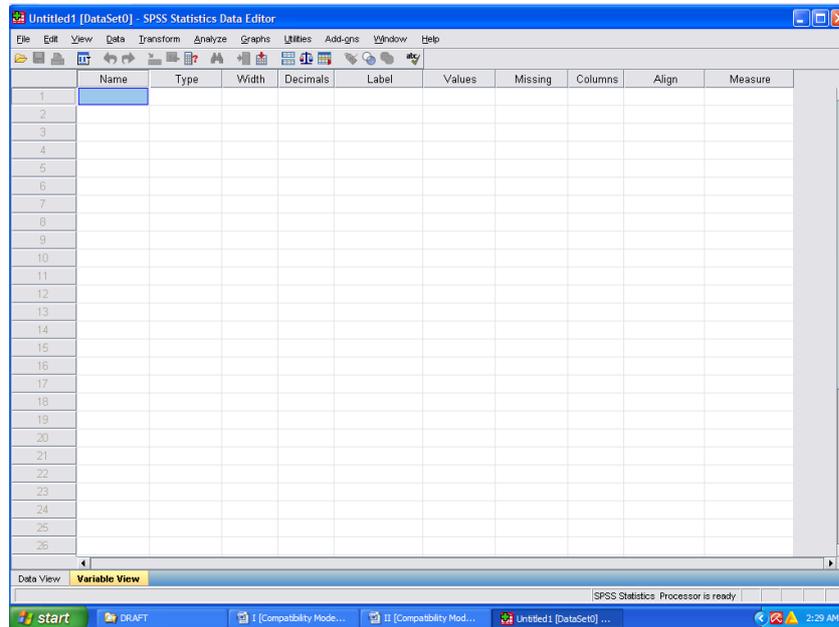
yaitu untuk tujuan deskripsi dari fenomena data atau kasus yang sedang diteliti, untuk tujuan kontrol, serta untuk tujuan prediksi. Untuk mengetahui apakah koefisien regresi yang didapatkan telah benar dan dapat diterima, maka pengujian terhadap kemungkinan adanya pelanggaran asumsi klasik linier perlu dilakukan. Asumsi klasik regresi linier adalah Uji Normalitas dan Autokorelasi (Sugiyono, 2004).

Uji Normalitas dilakukan untuk menguji apakah dalam sebuah model regresi, variabel terikat, variabel bebas atau keduanya memiliki distribusi normal atau tidak. Model regresi yang baik memiliki distribusi data yang normal, dan dikatakan normal jika model tersebut menghasilkan grafik data yang mengikuti arah garis diagonal.

Autokorelasi merupakan gejala terjadinya korelasi diantara data pengamatan, karena data dipengaruhi data sebelumnya. Uji autokorelasi dilakukan dengan menggunakan uji Durbin-Watson. Persamaan regresi dikatakan memenuhi syarat autokorelasi jika nilai Durbin-Watson hitung terletak diantara DU dan 4-DU pada tabel Durbin-Watson.

Program komputer yang dapat digunakan untuk ANOVA antara lain adalah SPSS dan MINITAB. SPSS merupakan program untuk olah data statistik yang banyak digunakan oleh para peneliti untuk berbagai keperluan riset. Dengan analisis varian menggunakan program komputer SPSS (*Statistical Product And Service Solution*), *Output* yang diperoleh pada umumnya adalah tingkat signifikan dari

keterkaitan pengaruh antara variabel independen terhadap variabel dependen.
(Duwi Priyatno, 2008).



Gambar 23. Halaman kerja pada SPSS 17.

III. METODE PENELITIAN

A. Tempat Penelitian

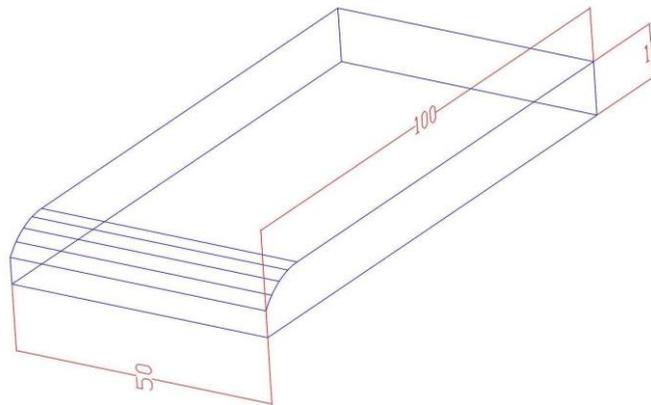
Penelitian dilakukan di beberapa tempat yang mendukung penelitian ini yaitu, Bengkel Manufaktur Produksi SMK N 2 Bandar Lampung, Laboratorium *Quality Control* PT. AAI (*Aichikiki Autoparts Indonesia*) Karawang, Laboratorium Zoologi F-MIPA Jurusan Biologi Universitas Lampung, Laboratorium Teknologi Mekanik dan Laboratorium Metrologi Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.

B. Benda Kerja dan Pahat

Benda kerja yang digunakan dalam penelitian ini adalah pelat baja karbon tinggi K460 dengan panjang 100 mm, lebar 50 mm dan tinggi 10 mm. Dalam penelitian ini menggunakan dua variasi gerak makan dimana setiap variasi gerak makan terdapat tiga variasi kecepatan potong Sedangkan pahat yang digunakan yaitu pahat karbida tungsten WC-TiC-TaC-Co yang dipasang diatas dudukan pahat yang telah diatur sudut geram pahalnya (*Back Rake Angle*) yang digunakan adalah negatif 6° dan 0° . Spesifikasi baja serta pahat tersebut dapat kita lihat pada tabel dan gambar berikut.



a). Material benda kerja yang sudah disiapkan

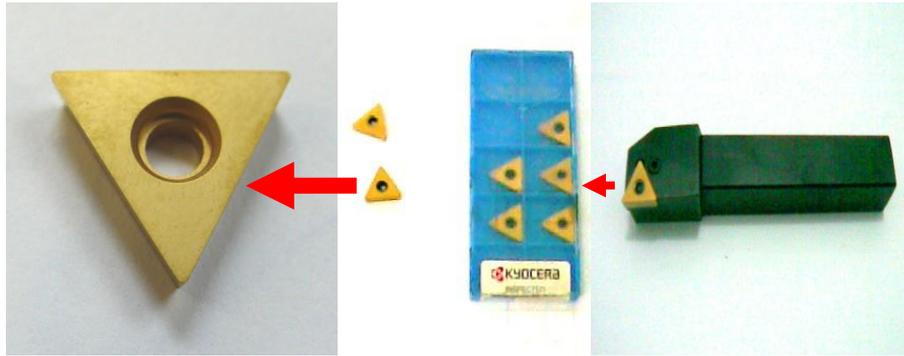


b). Dimensi benda kerja

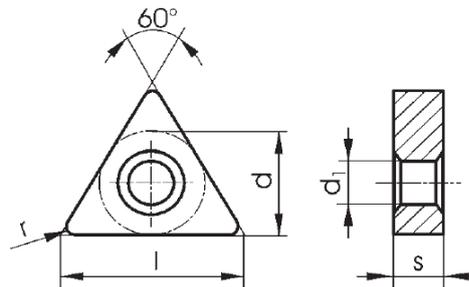
Gambar 24. a). Material benda kerja K460, b). Dimensi benda kerja.

Tabel 9. Spesifikasi Baja

No	Spesifikasi	Keterangan
1	Jenis	Baja Karbon Tinggi
2	Tipe	K460, AISI 01
3	Dimensi	100mm x 50mm x 10mm
4	Kekerasan	95,5 HRB



a). Pahat Karbida Inset TNGA 160408 dan Holder



b). Dimensi Pahat

Gambar 25. a). Pahat Karbida Inset ISO TNGA 160408, b). Dimensi Pahat

Tabel 10. Spesifikasi Pahat

No	Spesifikasi	Keterangan
1	Jenis	Karbida Inset ISO TNGA 160408 T = Triangle . N = Clearance Angle = (negatif 6°). G = Tolerance. A = Flat Inset
2	Tipe	Holder PTGNR-2020K16 Karbida WC-TiC-TaC-Co
3	Dimensi	I = 16,5 mm. S = 4,76 mm. d1 = 3,81 mm. d = 9.525 mm
4	Kekerasan	83.8 HRC
5	Besar sudut (α_0)	(60°)
6	Sudut geram pahat (γ_0)	Negatif 6° dan 0°
7	Radius pojok ($r \text{ \& } \epsilon$)	0,8

C. Peralatan Pengujian

Untuk mendukung terlaksananya penelitian ini maka digunakan berbagai macam peralatan baik yang terdapat di Bengkel Manufaktur Produksi SMK N 2 Bandar Lampung, Laboratorium *High Quality Control* PT. AAI (*Aichikiki Autoparts Indonesia*) Karawang, Laboratorium Zoologi F-MIPA Jurusan Biologi Universitas Lampung, Laboratorium Teknologi Mekanik dan Laboratorium Metrologi Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung. Peralatan-peralatan tersebut antara lain:

1. Mesin Gerinda Otomatis

Mesin Gerinda Otomatis di Bengkel Manufaktur Produksi SMK N 2 Bandar Lampung, digunakan untuk membersihkan permukaan benda kerja dan meratakan permukaan sesuai dengan ukuran yang dibutuhkan, dan dapat memodifikasi benda yang akan diteliti. Adapun spesifikasi Gerinda Otomatis adalah sebagai berikut:

- Jenis mesin : Gerinda Otomatis
- Merek : Marwijk
- Jumlah langkah : 4
- Motor : 3 HP
- Tingkat kecepatan : 2 transmisi



Gambar 26. Mesin Gerinda Otomatis di Bengkel Manufaktur Produksi SMK N 2 Bandar Lampung

2. Mesin Sekrap

Mesin sekrap digunakan untuk menyekrap benda kerja sesuai dengan ukuran dan variasi variabel pemotongan benda yang akan diteliti. Adapun spesifikasi mesin sekrap adalah sebagai berikut:

- Jenis mesin : High Speed Heavy Duty Shaping Machine
- Merek : San Hou
- Tipe : SH-18K
- Panjang ram maksimum : 457 (18")
- Jumlah langkah : 8
- Motor : 2 HP
- Tingkat kecepatan : 4 transmisi
- Jumlah pergeseran meja : 11



Gambar 27. Mesin sekrap konvensional San Hou di Laboratorium Teknologi Mekanik Teknik Mesin Universitas Lampung.

3. Profil proyektor Mitutoyo tipe PJ-3000

Profil proyektor digunakan untuk melihat berapa besar keausan tepi *VB* yang terjadi pada pahat Karbida akibat proses penyekrapan dengan menggunakan pembesaran 50X.



Gambar 28. Profil proyektor Mitutoyo tipe PJ-3000 di Laboratorium Metrologi Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.

4. Surface Tester

Alat ini digunakan untuk melihat nilai kekasaran permukaan yang dihasilkan pada proses penyekrapan benda kerja



Gambar 29. (*Surface Tester*) di Laboratorium Metrologi Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.

5. Mikroskop Mikro Olympus tipe SZ51

Profil mikroskop di Laboratorium Zoologi F-MIPA Jurusan Biologi Universitas Lampung, digunakan untuk melihat berapa besar keausan kawah yang terjadi pada pahat Karbida akibat proses penyekrapan dengan meletakkan lensa skala obyektif diatas pahat menggunakan pembesaran 40 X.



Gambar 30. Mikroskop Mikro Olympus tipe SZ51 di Laboratorium Zoologi F-MIPA Jurusan Biologi Universitas Lampung

6. Mesin Polishing

Mesin Polishing di Laboratorium *High Quality Control* PT. AAI Karawang, digunakan untuk membersihkan dan mengamplas permukaan benda kerja yang akan di uji kekerasannya.



Gambar 31. (*Grinding/Polishing Machine*) di Laboratorium *High Quality Control* PT. AAI Karawang.

7. Hardness Tester Future Tech

Alat uji kekerasan (*Hardness Tester Future Tech*) di Laboratorium *High Quality Control* PT. AAI Karawang, digunakan untuk melihat nilai kekerasan benda kerja yang akan di uji nilai kekerasannya.



Gambar 32. (*Hardness Tester Future Tech*) di Laboratorium *High Quality Control* PT. AAI Karawang.

D. Prosedur Pengujian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental yang terbagi dalam beberapa tahapan yaitu :

a. Penyiapan Pahat dan Benda Kerja

Material pahat yang digunakan dalam penelitian ini adalah Karbida Tungsten WC-TiC-TaC-Co (*Tungsten Carbide*). Dimana pemilihan sudut geram pahat (*Back Rake Angle*) yang digunakan adalah negatif 6° dan 0° karena asumsi pemotongan kaku dan kedalaman potong sebesar 0,075 mm. Sedangkan benda kerjanya yaitu baja karbon tinggi K460.

b. Pemilihan Variabel Pemesinan

Dalam penelitian mengenai pembubutan pada baja karbon tinggi K460 ini dilakukan dengan memvariasikan kecepatan potong serta gerak makan. Dengan menggunakan kecepatan potong dan gerak makan yang telah ada pada mesin, ditentukan kecepatan potongnya yaitu 11,8 m/min (V_1), 19,2 m/min (V_2), dan 25,1 m/min (V_3). Sedangkan gerak makannya ditentukan 0,115 mm/langkah (f_1), dan 0,245 mm/langkah (f_2) serta sudut geram pahat (*Back Rake Angle*) yang digunakan adalah negatif 6° dan 0° kedalaman potongnya konstan sebesar 0,075 mm

c. Proses Polishing dan Pengujian Kekerasan

Dalam pengambilan data kekerasan pada pahat dan Benda Kerja, maka benda kerja tersebut terlebih dahulu kita lakukan pengamplasan. Hal ini dilakukan agar benda kerja tersebut bersih dari kotoran, korosi dan cat yang terdapat pada

permukaan benda kerja. Sehingga diharapkan data yang didapatkan pada saat melakukan pengujian benar-benar aktual dan akurat. Pengujian kekerasan Rockwell dari pahat dan benda kerja di dapat dengan melakukan penbenaman indentor pada 3 titik penekanan yang merata sepanjang permukaan pahat dan benda kerja. Nilai kekerasan di dapat secara aktual pada indikator digital yang terdapat pada Alat uji kekerasan (*Hardness Tester Future Tech*) yang masing-masing menggunakan skala berbeda yaitu skala HRB untuk benda kerja dan skala HRC untuk pahat.

d. Proses Sekrap dan Pengujian Keausan

Sebelum melakukan pengambilan data keausan pada pahat, maka benda kerja tersebut terlebih dahulu kita lakukan penyekrapan awal. Hal ini dilakukan agar benda kerja tersebut benar-benar bersih dari kotoran, korosi dan cat. Sehingga diharapkan data yang didapatkan pada saat melakukan pengujian benar-benar maksimal.

Pengukuran dimensi keausan tepi *VB* dan keausan kawah setiap pahat secara langsung memerlukan penghentian proses pemesinan, pengambilan pahat dari setiap waktu penyekrapan yang berbeda yang dimulai dari 0,5 menit, 1 menit dan 2 menit, lalu dilakukan pengukuran keausan dengan menggunakan profil proyektor untuk keausan tepi *VB* dan dilakukan pengukuran keausan kawah dengan menggunakan mikroskop, kemudian pemasangan kembali pahat pada kecepatan dan gerak makan yang sama dengan waktu penyekrapan yang berbeda dari 0,5 menit, 1 menit dan 2 menit. Setelah didapatkan harga keausan tepi *VB*

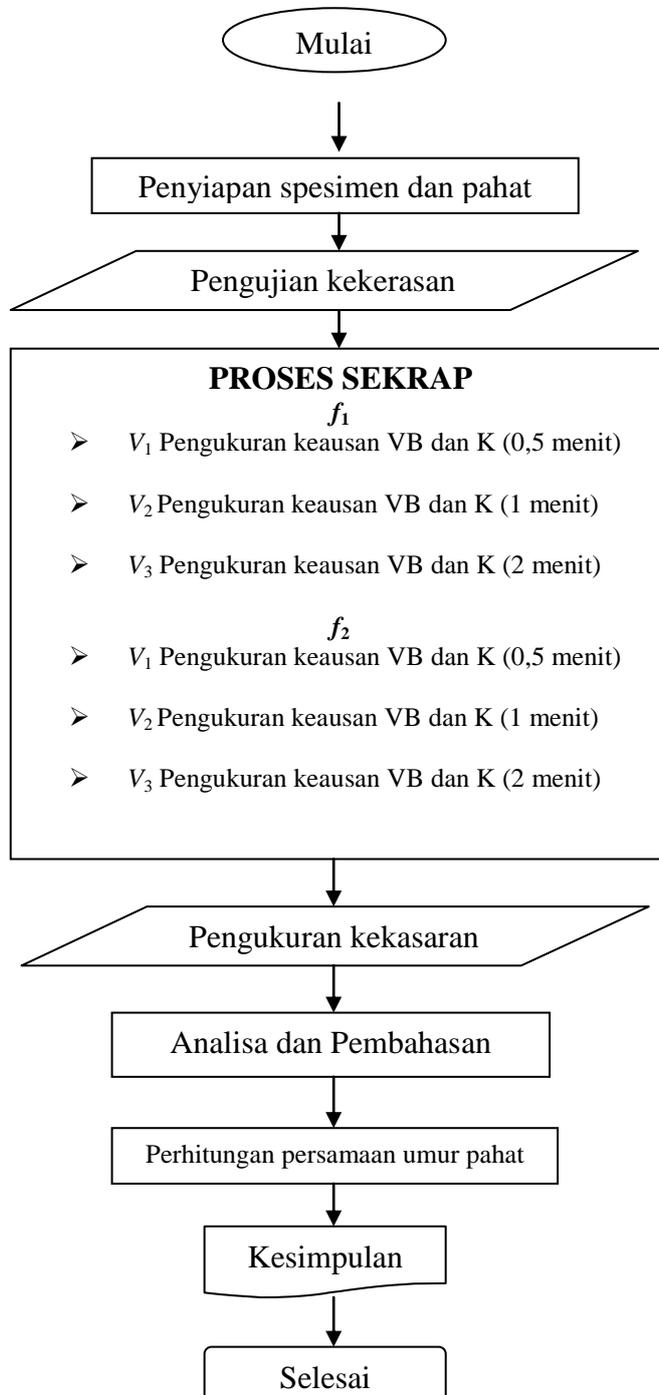
dan keausan kawah setiap pahat dari hasil pengamatan, data tersebut dimasukkan kedalam tabel seperti ditunjukkan pada Tabel hasil pengamatan pengambilan data. Pada penelitian ini harga keausan tepi pahat adalah 0,2-0,6 mm. Adapun umur pahat diperoleh dari perhitungan dengan persamaan Frederick Winslow Taylor.

e. Pengujian Kekasaran Permukaan Benda Kerja

Proses pengambilan data kekasaran permukaan benda kerja hasil penyekrapan ini diambil berdasarkan masing-masing kecepatan potong pada tiap-tiap variasi gerakan. Masing-masing spesimen diambil data kekasaran permukaannya pada 5 titik yang merata disepanjang hasil penyekrapan. Data kekasaran permukaan dapat kita ketahui dengan menggunakan *surface tester*. Data kekasaran secara lengkap dapat dilihat pada lampiran sedangkan untuk data nilai kekasaran rata-rata (*mean Roughness; Ra*) pada masing-masing sampel dapat di lihat pada pembahasan.

E. Diagram Alur Pelaksanaan Penelitian

Prosedur pengujian dan pengambilan data dapat dijelaskan dengan menggunakan diagram Alur berikut ini.



Gambar 33. Diagram Alur Pelaksanaan Penelitian

F. Prosedur Pengambilan Data

1. Data uji kekerasan

Pengujian kekerasan Rockwell dari pahat dan benda kerja di dapat dengan melakukan pembenaman identor pada 3 titik penekanan yang merata sepanjang permukaan pahat dan benda kerja.

Tabel 11. Data hasil uji kekerasan pada sisi luar pahat

No	Posisi Titik	Titik 1	Titik 2	Titik 3	HRC
1	ACAK				
2	ACAK				
3	ACAK				

Tabel 12. Data hasil uji kekerasan pada permukaan Benda Kerja

No	Posisi Titik	Titik 1	Titik 2	Titik 3	HRB
1	ACAK				
2	ACAK				
3	ACAK				

Nilai kekerasan di dapat secara aktual pada indikator digital yang terdapat pada Alat uji kekerasan (*Hardness Tester Future Tech*) yang masing-masing menggunakan skala berbeda yaitu skala HRB untuk benda kerja dan skala HRC untuk pahat.

2. Data keausan tepi VB pada pahat.

Tabel 13. Data keausan tepi VB Kedalaman potong 0.075 mm dan sudut geram pahat (*back rake angle*) negatif 6°

Gerak makan		0,115 mm/langkah (f_1)			0,245 mm/langkah (f_2)		
Kecepatan Potong (m/min)		11,8 m/min (V_1)	19,2 m/min (V_2)	25,1 m/min (V_3)	11,8 m/min (V_1)	19,2 m/min (V_2)	25,1 m/min (V_3)
Waktu (menit)	0.5 menit	VB_{111}	VB_{211}	VB_{311}	VB_{111}	VB_{211}	VB_{311}
	1 menit	VB_{121}	VB_{221}	VB_{321}	VB_{121}	VB_{221}	VB_{321}
	2 menit	VB_{131}	VB_{231}	VB_{331}	VB_{131}	VB_{231}	VB_{331}

Tabel 14. Data keausan tepi VB Kedalaman potong 0.075 mm dan sudut geram pahat (*back rake angle*) 0°

Gerak makan		0,115 mm/langkah (f_1)			0,245 mm/langkah (f_2)		
Kecepatan Potong (m/min)		11,8 m/min (V_1)	19,2 m/min (V_2)	25,1 m/min (V_3)	11,8 m/min (V_1)	19,2 m/min (V_2)	25,1 m/min (V_3)
Waktu (menit)	0.5 menit	VB_{111}	VB_{211}	VB_{311}	VB_{111}	VB_{211}	VB_{311}
	1 menit	VB_{121}	VB_{221}	VB_{321}	VB_{121}	VB_{221}	VB_{321}
	2 menit	VB_{131}	VB_{231}	VB_{331}	VB_{131}	VB_{231}	VB_{331}

3. Data keausan Kawah K pada pahat.

Tabel 15. Data keausan kawah K Kedalaman potong 0.075 mm dan sudut geram pahat (*back rake angle*) negatif 6°

Gerak makan		0,115 mm/langkah (f_1)			0,245 mm/langkah (f_2)		
Kecepatan Potong (m/min)		11,8 m/min (V_1)	19,2 m/min (V_2)	25,1 m/min (V_3)	11,8 m/min (V_1)	19,2 m/min (V_2)	25,1 m/min (V_3)
Waktu (menit)	0.5 menit	K_{111}	K_{211}	K_{311}	K_{111}	K_{211}	K_{311}
	1 menit	K_{121}	K_{221}	K_{321}	K_{121}	K_{221}	K_{321}
	2 menit	K_{131}	K_{231}	K_{331}	K_{131}	K_{231}	K_{331}

Tabel 16. Data keausan kawah K Kedalaman potong 0.075 mm dan sudut geram pahat (*back rake angle*) 0°

Gerak makan		0,115 mm/langkah (f_1)			0,245 mm/langkah (f_2)		
Kecepatan Potong (m/min)		11,8 m/min (V_1)	19,2 m/min (V_2)	25,1 m/min (V_3)	11,8 m/min (V_1)	19,2 m/min (V_2)	25,1 m/min (V_3)
Waktu (menit)	0.5 menit	K_{111}	K_{211}	K_{311}	K_{111}	K_{211}	K_{311}
	1 menit	K_{121}	K_{221}	K_{321}	K_{121}	K_{221}	K_{321}
	2 menit	K_{131}	K_{231}	K_{331}	K_{131}	K_{231}	K_{331}

Pengukuran dimensi keausan tepi VB dan keausan kawah setiap pahat secara langsung memerlukan penghentian proses pemesinan, pengambilan pahat dari setiap waktu penyekrapan yang berbeda yang dimulai dari 0,5 menit, 1 menit dan 2 menit, lalu dilakukan pengukuran keausan dengan menggunakan profil

proyektor untuk keausan tepi *VB* dan dilakukan pengukuran keausan kawah dengan menggunakan mikroskop, kemudian pemasangan kembali pahat pada kecepatan dan gerak makan yang sama dengan waktu penyekrapan yang berbeda dari 0,5 menit, 1 menit dan 2 menit. Setelah didapatkan harga keausan tepi *VB* dan keausan kawah setiap pahat dari hasil pengamatan, data tersebut dimasukkan kedalam tabel seperti ditunjukkan pada Tabel 19.

4. Data kekasaran pada benda kerja.

Tabel 17. Data kekasaran permukaan kedalaman potong 0.075 mm dan sudut geram pahat (*back rake angle*) negatif 6°

Gerak makan		0,115 mm/langkah (f_1)			0,245 mm/langkah (f_2)		
Kecepatan Potong (m/min)		11,8 m/min (V_1)	19,2 m/min (V_2)	25,1 m/min (V_3)	11,8 m/min (V_1)	19,2 m/min (V_2)	25,1 m/min (V_3)
Waktu (menit)	0.5 menit	Ra (μm)					
	1 menit	Ra (μm)					
	2 menit	Ra (μm)					

Tabel 18. Data kekasaran permukaan kedalaman potong 0.075 mm dan sudut geram pahat (*back rake angle*) 0°

Gerak makan		0,115 mm/langkah (f_1)			0,245 mm/langkah (f_2)		
Kecepatan Potong (m/min)		11,8 m/min (V_1)	19,2 m/min (V_2)	25,1 m/min (V_3)	11,8 m/min (V_1)	19,2 m/min (V_2)	25,1 m/min (V_3)
Waktu (menit)	0.5 menit	Ra (μm)	Ra (μm)	Ra (μm)	Ra (μm)	Ra (μm)	Ra (μm)
	1 menit	Ra (μm)	Ra (μm)	Ra (μm)	Ra (μm)	Ra (μm)	Ra (μm)
	2 menit	Ra (μm)	Ra (μm)	Ra (μm)	Ra (μm)	Ra (μm)	Ra (μm)

Tabel 19. Tabel Kondisi Pemotongan

N O	Kecepatan Potong (v) m/min	Feeding(f) mm/langkah	Back rake angle (γ_0) ^o	Kedalaman potong a	Waktu pemotongan menit	Keausan Tepi VB	Kekasaran permukaan Ra (μm)
1.	v1	f1	γ_{01}	0,075	2	VB	Ra
2.	v2	f1	γ_{01}	0,075	2	VB	Ra
3.	v3	f1	γ_{01}	0,075	2	VB	Ra
4.	v1	f2	γ_{01}	0,075	2	VB	Ra
5.	v2	f2	γ_{01}	0,075	2	VB	Ra
6.	v3	f2	γ_{01}	0,075	2	VB	Ra
7.	v1	f1	γ_{02}	0,075	2	VB	Ra
8.	v2	f1	γ_{02}	0,075	2	VB	Ra
9.	v3	f1	γ_{02}	0,075	2	VB	Ra
10.	v1	f2	γ_{02}	0,075	2	VB	Ra
11.	v2	f2	γ_{02}	0,075	2	VB	Ra
12.	v3	f2	γ_{02}	0,075	2	VB	Ra

Keterangan:

 $v_1 = 11,8$ m/min, $v_2 = 19,2$ m/min, $v_3 = 25,1$ m/min $\gamma_{01}; =$ negatif 6° , dan $\gamma_{02}; = 0^\circ$

- f_1 = 0,115 mm/langkah,
 f_2 = 0.245 mm/langkah,
 R_a = rata-rata kekasaran permukaan
 VB = angka keausan tepi.

Setelah didapatkan data hasil akhir pengujian keausan tepi dan kekasaran permukaan maka data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data dengan waktu pemotongan akhir dari pengujian, dalam hal ini untuk melihat proses secara keseluruhan. Kemudian data siap untuk di olah didalam program SPSS.

1. Melakukan perhitungan data statistik dengan analisis variansi (ANOVA) SPSS dari data yang diperoleh setelah pengukuran untuk mengetahui faktor-faktor yang paling berpengaruh untuk keausan tepi dan kekasaran permukaan benda kerja.

	x1	x2	x3	y							
1	11.800	0.115	6	0.03							
2	19.200	0.115	6	0.15							
3	25.100	0.115	6	0.22							
4	11.800	0.245	6	0.07							
5	19.200	0.245	6	0.17							
6	25.100	0.245	6	0.26							
7	11.800	0.115	0	0.08							
8	19.200	0.115	0	0.22							
9	25.100	0.115	0	0.33							
10	11.800	0.245	0	0.13							
11	19.200	0.245	0	0.25							
12	25.100	0.245	0	0.38							
13											
14											
15											
16											
17											
18											
19											
20											
21											
22											
23											
24											
25											

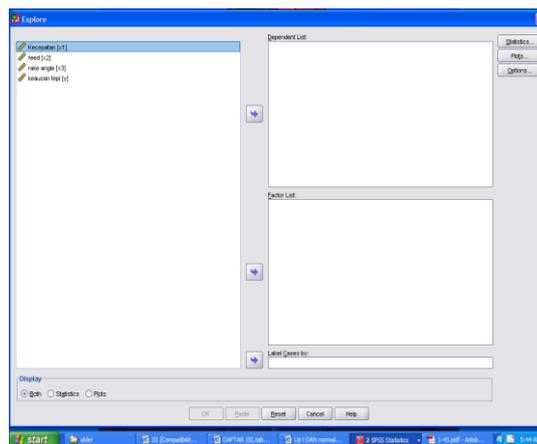
Gambar 34. Input data analisis regresi linear berganda

Langkah-langkah yang akan dilakukan untuk memperoleh output data yang diinginkan adalah sebagai berikut:

- Bukalah program SPSS 17 dengan komputer.
- Kliklah variabel view pada SPSS data editor.
- Pada halaman kerja variabel view, pada kolom *Name* baris pertama isikan X_1 , pada *Label* isikan **kecepatan potong (m/menit)**, dan pada kolom

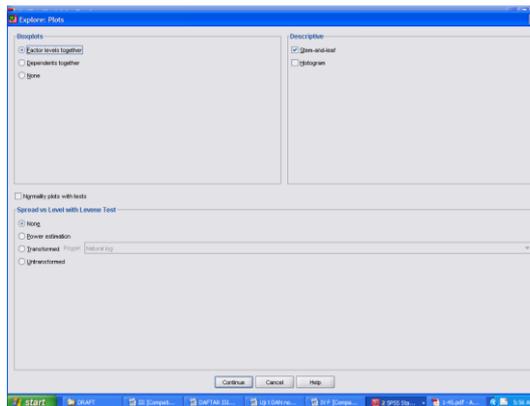
Measure pilih *scale*. Pada kolom *Name* baris kedua isikan X_2 , pada *Label* isikan *feeding (mm/langkah)*, dan pada kolom *Measure* isikan *scale*. Pada kolom *Name* baris ketiga isikan X_3 , pada *Label* isikan *back rake angle (°)*, dan pada *Measure* isikan *scale*. Pada kolom *Name* baris keempat isikan Y , pada label isikan **Angka keausan (mm)**, dan pada *Measure* isikan *scale*.

- Masuklah ke halaman Data View.
- Isikan data X_1 , X_2 , X_3 , dan Y seperti tertera pada gambar 17.
- Karena akan melakukan normality test, maka terlebih dahulu kliklah *Analyze > Descriptive Statistics > Explore*. Setelah itu akan muncul tampilan kotak dialog seperti (gambar 35).



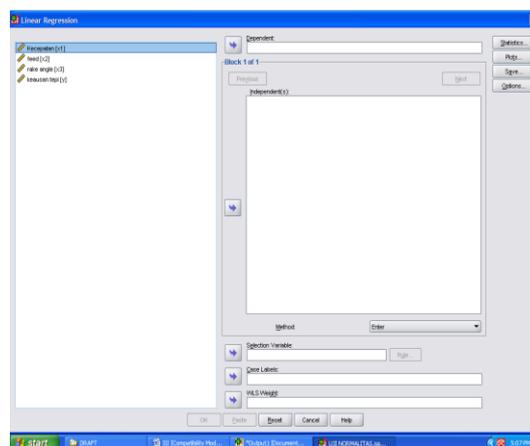
Gambar 35. Kotak dialog *explore*

- Masukkan variabel keausan tepi VB kedalam dependen list, sedangkan kecepatan potong (m/min). gerak makan (*feeding*) (mm/langkah), dan sudut geram pahat (*back rake angle*) ke dalam kotak *factor list*. Kemudian, kliklah *tab plots*. Langkah ini akan menampilkan kotak dialog seperti (gambar 36) berikut ini.



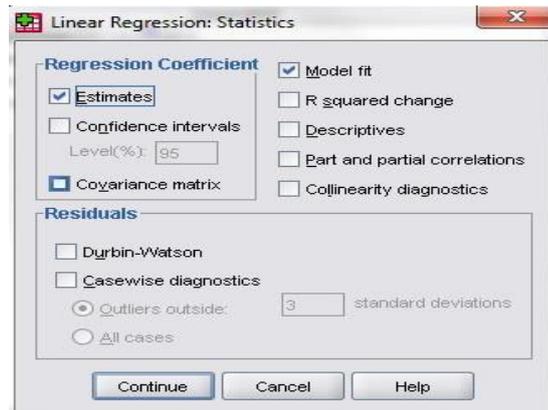
Gambar 36. Kotak dialog *explore plots*

- Karena akan dilakukan uji normalitas, maka beri tanda *checkbox* pada **Normality Plots with test** kemudian kliklah *continue* > *ok*.
- Selanjutnya untuk pengujian data dengan metode regresi linier, langkah-langkah yang harus dilakukan adalah.
- Selanjutnya, kliklah **Analyze > Regression > Linear**. Setelah itu, akan muncul kotak dialog seperti dibawah ini.



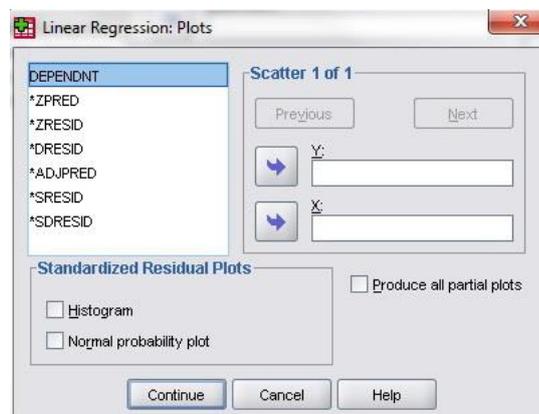
Gambar 37. Kotak dialog *Linear Regression*

- Masukkan variabel angka keausan ke kotak *dependen*, sedangkan variabel kecepatan potong, *back rake angle*, dan *feeding* ke kotak *independen* (s).
- Klik Tab **statistics**, yang akan memunculkan kotak dialog berikutnya seperti pada gambar dibawah ini:



Gambar 38. Kotak dialog statistics

- Lalu beri *checklist* pada *Collinearity diagnostic*, *Durbin Watson*, dan *Casewise diagnostic* untuk memprediksi penyimpangan dan prediksi nilai Y. Selanjutnya, pilihlah *all cases* dan klik *continue* untuk kembali ke kotak dialog sebelumnya.
- Karena pada analisis ini perlu adanya uji penyimpangan asumsi maka kliklah *plots* (gambar 37) yang akan memunculkan kotak dialog seperti dibawah. Kemudian kliklah **SRESID* (*Studentized Residual*), dan masukkan ke kotak Y. Selanjutnya, kliklah **ZPRED* (*Standardized Predicted Value*) dan masukkan ke kotak X. Lalu klik *continue*, maka akan tampil *output* data yang akan dibahas pada bab IV.



Gambar 39. Kotak dialog Plots

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Kekerasan Benda Kerja dan Pahat.

Sebelum pengujian kekerasan maka dilakukan pembersihan dan pengamplasan permukaan benda kerja dengan menggunakan Mesin Polishing. Pengujian kekerasan Rockwell adalah cara yang paling cocok untuk bahan yang keras dan pengujian kekerasan Rockwell diukur dalam kedalaman pembedaan kerucut intan penekan.

Untuk uji kekerasan ini digunakan alat uji kekerasan (*Hardness Tester Future Tech*), dengan mengatur skala pengujian (tabel 5) HRC untuk pahat dan HRB untuk Baja pada instrument alat dan sebagai penekan pada benda kerja digunakan sebuah kerucut intan, kerucut intan ditekankan keatas bidang uji lalu lakukan penekanan sampai alat mengeluarkan bunyi untuk menghentikan penekanan, kemudian indikator digital akan memberikan data nilai kekerasan seperti yang tercatat pada tabel 20 dan 21. Dalam pengambilan data kekerasan ini dilakukan sebanyak 3 titik acak pada setiap masing-masing material.

B. Prosedur Pengambilan Data Uji Kekerasan

Tabel 20. Data Uji Kekerasan Pahat Karbida.

No	Posisi titik	HRC
1	ACAk	83.7
2	ACAk	83.9
3	ACAk	83.8
		83.8

Tabel 21. Data Uji Kekerasan Baja Karbon tinggi

No	Posisi titik	HRB
1	ACAk	95.5
2	ACAk	95.2
3	ACAk	95.8
		95.5

Untuk uji kekerasan ini digunakan alat uji kekerasan (*Hardness Tester Future Tech*), dengan mengatur skala pengujian (tabel 5) HRC untuk pahat dan HRB untuk Baja pada instrument alat dengan sebanyak 3 titik acak pada setiap masing-masing material

C. Kondisi Pemotongan Pada Proses Sekrap

Kondisi pemotongan dengan menggunakan mesin sekrap pada pelaksanaan penelitian ini dilakukan menggunakan 3 variasi kecepatan potong yaitu, 11,8 m/min (V_2), 19,2 m/min (V_2), dan 25,1 m/min (V_3). Sedangkan gerak makannya ditentukan 0,115 mm/langkah (f_1), dan 0,245 mm/langkah (f_2), Pada penelitian ini

pemotongan dilakukan dengan kedalaman potong yang konstan yaitu sebesar 0,075 mm. Pahat yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian ini adalah pahat karbida yang dipasang diatas dudukan pahat dengan sudut geram pahatnya (*Back Rake Angle*) yang digunakan adalah negatif 6° dan 0° .

D. Prosedur Pengambilan Data

5. Data keausan tepi VB pada pahat.

Tabel 22. Data keausan tepi VB Kedalaman potong 0.075 mm dan sudut geram pahat (*back rake angle*) negatif 6°

Gerak makan		0,115 mm/langkah (f_1)			0,245 mm/langkah (f_2)		
Kecepatan Potong (m/min)		11,8 m/min (V_1)	19,2 m/min (V_2)	25,1 m/min (V_3)	11,8 m/min (V_1)	19,2 m/min (V_2)	25,1 m/min (V_3)
Waktu (menit)	0.5 menit	0 mm	0 mm	0.02 mm	0 mm	0 mm	0.04 mm
	1 menit	0.01 mm	0.12 mm	0.17 mm	0.03 mm	0.13 mm	0.20 mm
	2 menit	0.03 mm	0.15 mm	0.22 mm	0.07 mm	0.17 mm	0.26 mm

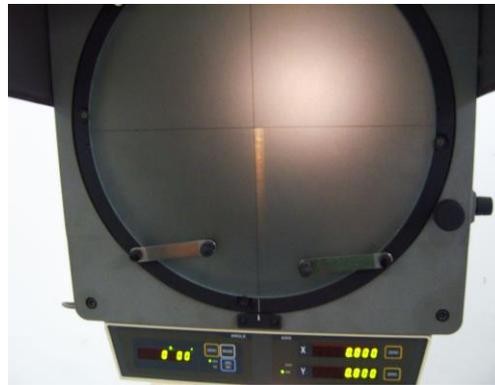
Tabel 23. Data keausan tepi VB Kedalaman potong 0.075 mm dan sudut geram pahat (*back rake angle*) 0°

Gerak makan		0,115 mm/langkah (f_1)			0,245 mm/langkah (f_2)		
Kecepatan Potong (m/min)		11,8 m/min (V_1)	19,2 m/min (V_2)	25,1 m/min (V_3)	11,8 m/min (V_1)	19,2 m/min (V_2)	25,1 m/min (V_3)
Waktu (menit)	0.5 menit	0 mm	0 mm	0.04 mm	0 mm	0 mm	0.09 mm
	1 menit	0.04 mm	0.15 mm	0.24 mm	0.06 mm	0.17 mm	0.28 mm
	2 menit	0.08 mm	0.22 mm	0.33 mm	0.13 mm	0.25 mm	0.38 mm

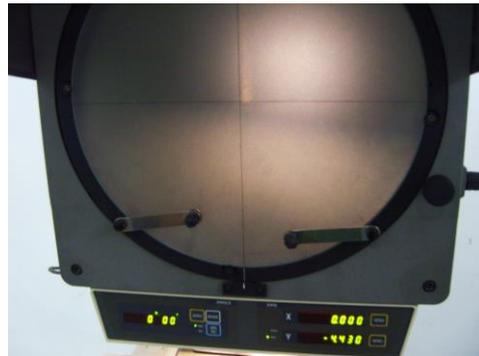
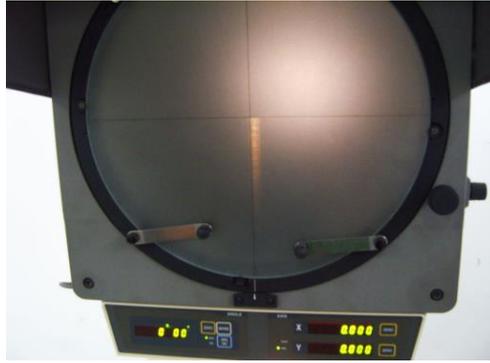
Benda kerja Baja Karbon Tinggi K460 memiliki ketebalan awal sebesar 10 mm, Langkah awal sebelum penelitian dilakukan pembersihan permukaan benda kerja dengan kedalaman potong 0,1 mm menggunakan mesin gerinda otomatis yang disertai cairan pendingin (*coolant*) bernama *Dromus*. Selanjutnya melakukan penyekrapan awal dengan kedalaman potong sebesar 0,05 mm. Proses pemotongan awal ini dimaksudkan agar benda kerja yang akan disekrap untuk proses selanjutnya benar-benar rata permukaannya. Kemudian dilakukan penyekrapan secara bertahap pada kedalaman potong sebesar 0,075 mm dengan waktu penyekrapan yang berbeda dari 0,5 menit, 1 menit dan 2 menit, Pada setiap variasi waktu yang telah ditetapkan setelah pahat diambil dari dudukannya, pengukuran keausan keausan tepi *VB* dilakukan menggunakan profil proyektor. Kemudian pengukuran keausan kawah dilakukan menggunakan mikroskop. Data keausan tepi secara lengkap dapat dilihat pada tabel 22 dan 23.



Gambar 40. Data Keausan tepi vb 2 menit dengan sudut geram pahat negatif 6° , feeding 0,115 mm/langkah, kecepatan potong 11,8 m/min.



Gambar 41. Data Keausan tepi vb 2 menit dengan sudut geram pahat negatif 6° , feeding 0,115 mm/langkah, kecepatan potong 19,2 m/min.



Gambar 42. Data Keausan tepi vb 2 menit dengan sudut geram pahat negatif 6° , feeding 0,115 mm/langkah, kecepatan potong 25,1 m/min.



Gambar 43. Data Keausan tepi vb 2 menit dengan sudut geram pahat negatif 6° , feeding 0,245 mm/langkah, kecepatan potong 11,8 m/min.



Gambar 44. Data Keausan tepi vb 2 menit dengan sudut geram pahat negatif 6° ,
feeding 0,245 mm/langkah, kecepatan potong 19,2 m/min.



Gambar 45. Data Keausan tepi vb 2 menit dengan sudut geram pahat negatif 6° ,
feeding 0,245 mm/langkah, kecepatan potong 25,1 m/min.



Gambar 46. Data Keausan tepi vb 2 menit dengan sudut geram pahat 0° , feeding 0,115 mm/langkah, kecepatan potong 11,8 m/min.



Gambar 47. Data Keausan tepi vb 2 menit dengan sudut geram pahat 0° , feeding 0,115 mm/langkah, kecepatan potong 19,2 m/min.



Gambar 48. Data Keausan tepi vb 2 menit dengan sudut geram pahat 0° , feeding 0,115 mm/langkah, kecepatan potong 25,1 m/min.



Gambar 49. Data Keausan tepi vb 2 menit dengan sudut geram pahat 0° , feeding 0,245 mm/langkah, kecepatan potong 11,8 m/min.



Gambar 50. Data Keausan tepi vb 2 menit dengan sudut geram pahat 0° , feeding 0,245 mm/langkah, kecepatan potong 19,2 m/min.



Gambar 51. Data Keausan tepi vb 2 menit dengan sudut geram pahat 0° , feeding 0,245 mm/langkah, kecepatan potong 25,1 m/min.

6. Data keausan Kawah K pada pahat.

Tabel 24. Data keausan kawah K Kedalaman potong 0.075 mm dan sudut geram pahat (*back rake angle*) negatif 6°

Gerak makan		0,115 mm/langkah (f_1)			0,245 mm/langkah (f_2)		
Kecepatan Potong (m/min)		11,8 m/min (V_1)	19,2 m/min (V_2)	25,1 m/min (V_3)	11,8 m/min (V_1)	19,2 m/min (V_2)	25,1 m/min (V_3)
Waktu (menit)	0.5 menit	0 mm	0 mm	0.08 mm	0 mm	0 mm	0.12 mm
	1 menit	0.05 mm	0.16 mm	0.21 mm	0.10 mm	0.18 mm	0.24 mm
	2 menit	0.10 mm	0.20 mm	0.33 mm	0.15 mm	0.21 mm	0.35 mm

Tabel 25. Data keausan kawah K Kedalaman potong 0.075 mm dan sudut geram pahat (*back rake angle*) 0°

Gerak makan		0,115 mm/langkah (f_1)			0,245 mm/langkah (f_2)		
Kecepatan Potong (m/min)		11,8 m/min (V_1)	19,2 m/min (V_2)	25,1 m/min (V_3)	11,8 m/min (V_1)	19,2 m/min (V_2)	25,1 m/min (V_3)
Waktu (menit)	0.5 menit	0 mm	0 mm	0.12 mm	0 mm	0 mm	0.18 mm
	1 menit	0.13 mm	0.20 mm	0.33 mm	0.18 mm	0.22 mm	0.38 mm
	2 menit	0.18 mm	0.31 mm	0.38 mm	0.20 mm	0.35 mm	0.42 mm

Proses pengambilan nilai keausan kawah ini dilakukan dengan menggunakan Mikroskop Mikro Olympus tipe SZ51, pada masing-masing sampel untuk setiap variasi waktu yang telah ditetapkan setelah pahat diambil dari dudukannya, Data keausan secara lengkap dapat dilihat pada gambar 52.

7. Data kekasaran permukaan pada benda kerja.

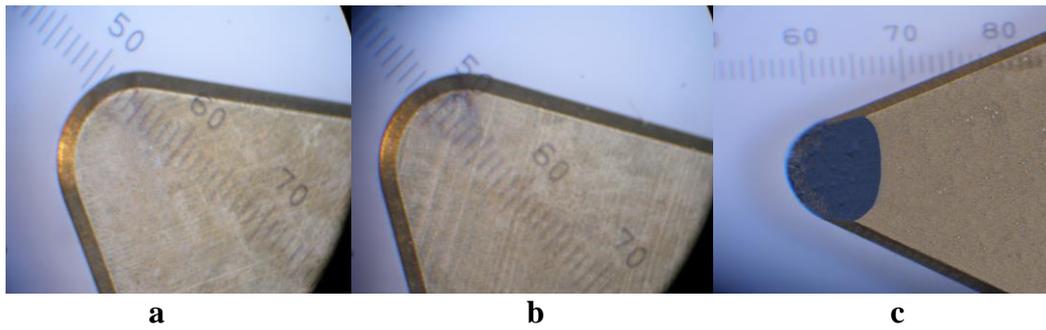
Tabel 26. Data kekasaran permukaan kedalaman potong 0.075 mm dan sudut geram pahat (*back rake angle*) negatif 6°

Gerak makan		0,115 mm/langkah (f_1)			0,245 mm/langkah (f_2)		
Kecepatan Potong (m/min)		11,8 m/min (V_1)	19,2 m/min (V_2)	25,1 m/min (V_3)	11,8 m/min (V_1)	19,2 m/min (V_2)	25,1 m/min (V_3)
Waktu (menit)	0.5 menit	4,472	2,316	1,188	7,013	4,235	2,376
	1 menit	4,592	2,461	2,168	7,310	5,118	3,827
	2 menit	4,704	3,470	2,351	7,886	5,339	4,739

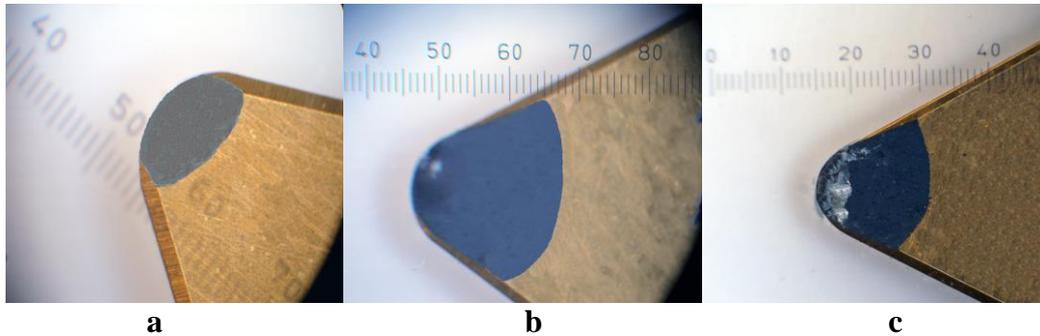
Tabel 27. Data kekasaran permukaan kedalaman potong 0.075 mm dan sudut geram pahat (*back rake angle*) 0°

Gerak makan		0,115 mm/langkah (f_1)			0,245 mm/langkah (f_2)		
Kecepatan Potong (m/min)		11,8 m/min (V_1)	19,2 m/min (V_2)	25,1 m/min (V_3)	11,8 m/min (V_1)	19,2 m/min (V_2)	25,1 m/min (V_3)
Waktu (menit)	0.5 menit	4,744	2,688	2,248	4,833	2,817	2,408
	1 menit	5,692	3,611	3,283	5,890	5,147	4,463
	2 menit	7,814	6,835	6,628	8,024	7,839	6,167

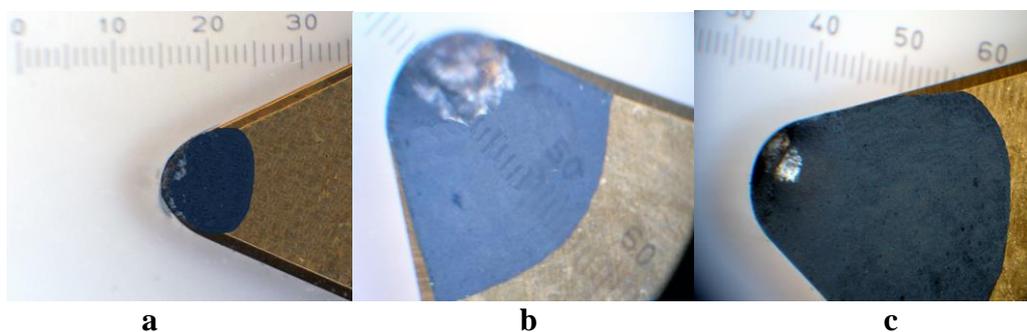
Proses pengambilan nilai rata-rata kekasaran permukaan ini dilakukan dengan menggunakan *surface tester*, pada masing-masing sampel untuk setiap variasi waktu yang telah ditetapkan setelah pahat diambil dari dudukannya, Data kekasaran permukaan secara lengkap dapat dilihat pada lampiran.



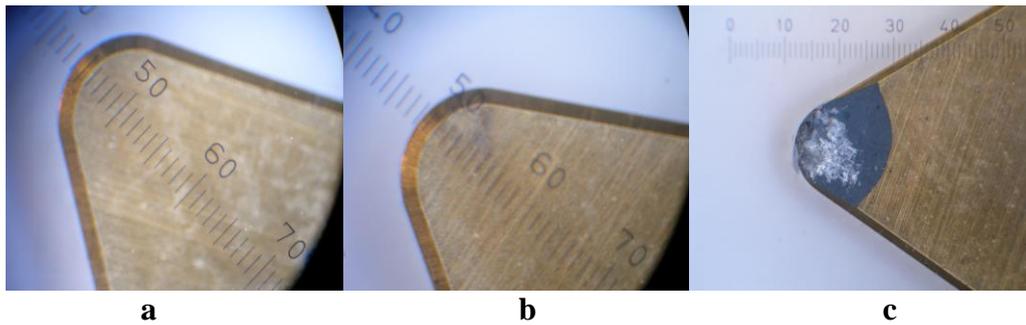
Gambar 52. Keausan kawah a) 0 mm. b) 0 mm. c) 0,8 mm Kedalaman potong 0.075 mm, gerak makan 0,115 mm/langkah dan sudut geram pahat (*back rake angle*) negatif 6° dalam waktu 0.5 menit



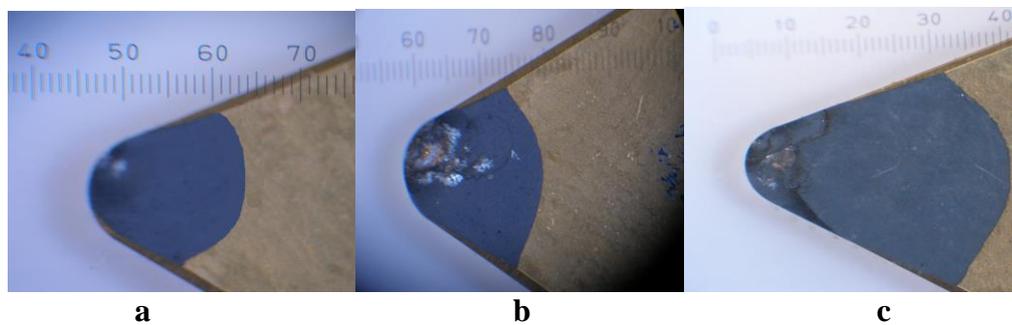
Gambar 53. Keausan kawah a) 0,5 mm. b) 0,16 mm. c) 0,21 mm Kedalaman potong 0.075 mm, gerak makan 0,115 mm/langkah dan sudut geram pahat (*back rake angle*) negatif 6° dalam waktu 1 menit



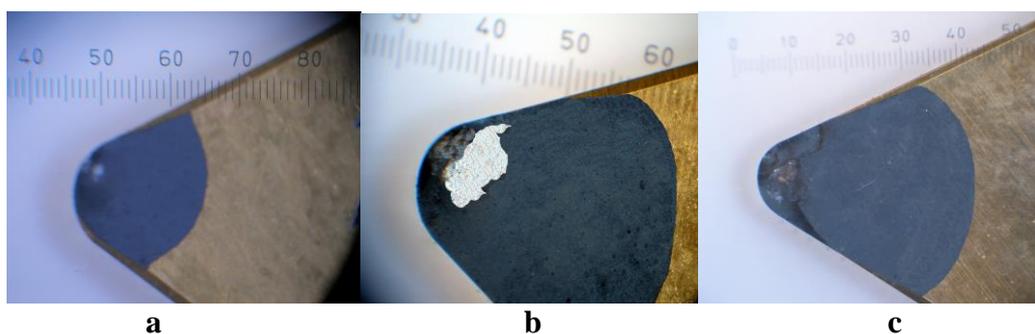
Gambar 54. Keausan kawah a) 0,10 mm. b) 0,20 mm. c) 0,33 mm Kedalaman potong 0.075 mm, gerak makan 0,115 mm/langkah dan sudut geram pahat (*back rake angle*) negatif 6° dalam waktu 2 menit



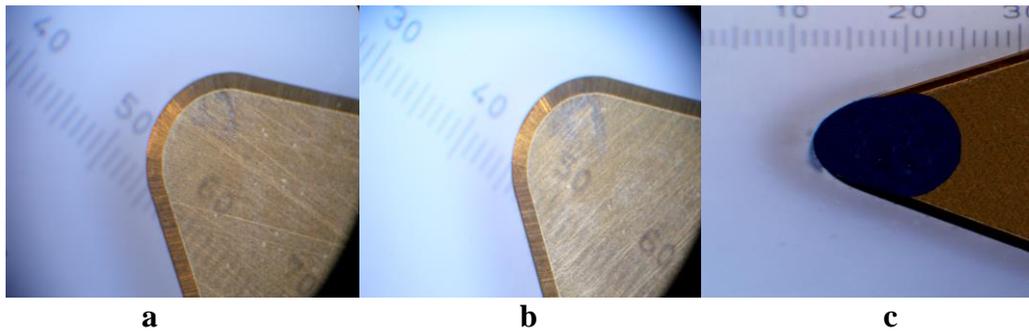
Gambar 55. Keausan kawah a) 0 mm. b) 0 mm. c) 0,18 mm Kedalaman potong 0.075 mm, gerak makan 0,245 mm/langkah dan sudut geram pahat (*back rake angle*) 0° dalam waktu 0,5 menit



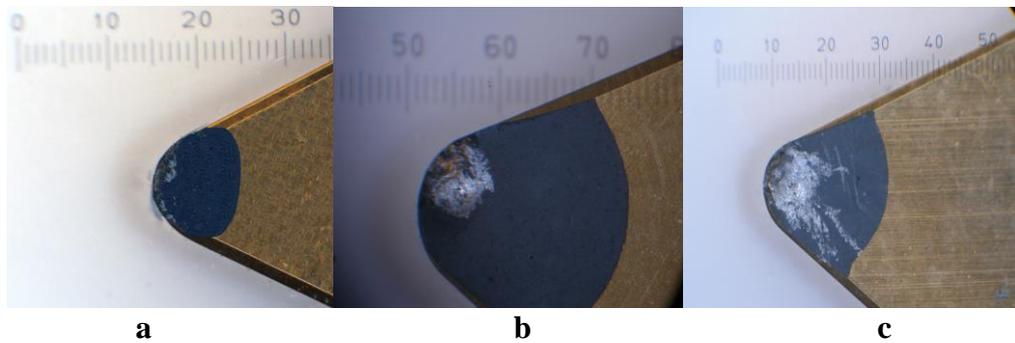
Gambar 56. Keausan kawah a) 0,18 mm. b) 0,22 mm. c) 0,38 mm Kedalaman potong 0.075 mm, gerak makan 0,245 mm/langkah dan sudut geram pahat (*back rake angle*) 0° dalam waktu 1 menit



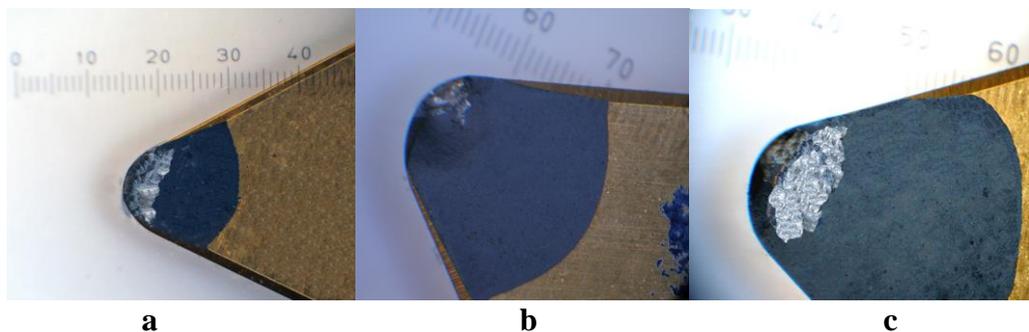
Gambar 57. Keausan kawah a) 0,20 mm. b) 0,35 mm. c) 0,42 mm Kedalaman potong 0.075 mm, gerak makan 0,245 mm/langkah dan sudut geram pahat (*back rake angle*) 0° dalam waktu 2 menit



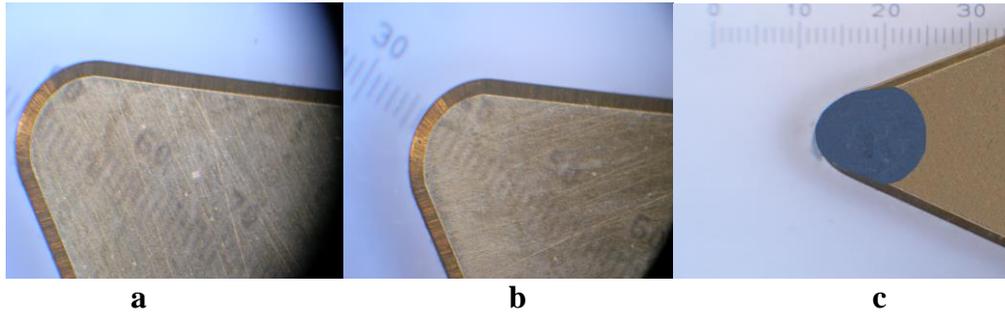
Gambar 58. Keausan kawah a) 0 mm. b) 0 mm. c) 0,12 mm Kedalaman potong 0.075 mm, gerak makan 0,245 mm/langkah dan sudut geram pahat (*back rake angle*) negatif 6° dalam waktu 0,5 menit



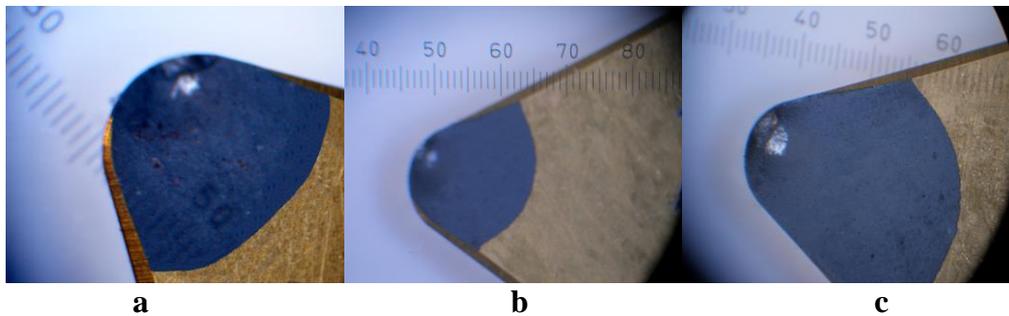
Gambar 59. Keausan kawah a) 0,10 mm. b) 0,18 mm. c) 0,24 mm Kedalaman potong 0.075 mm, gerak makan 0,245 mm/langkah dan sudut geram pahat (*back rake angle*) negatif 6° dalam waktu 1 menit



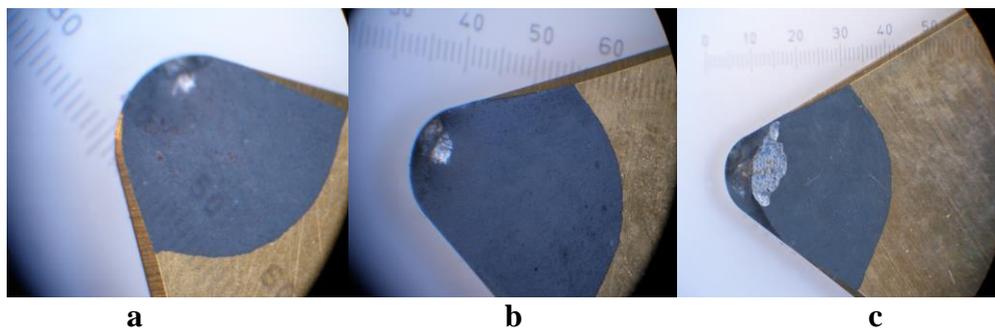
Gambar 60. Keausan kawah a) 0,15 mm. b) 0,21 mm. c) 0,35 mm Kedalaman potong 0.075 mm, gerak makan 0,245 mm/langkah dan sudut geram pahat (*back rake angle*) negatif 6° dalam waktu 2 menit



Gambar 61. Keausan kawah a) 0 mm. b) 0 mm. c) 0,12 mm Kedalaman potong 0.075 mm, gerak makan 0,115 mm/langkah dan sudut geram pahat (*back rake angle*) 0° dalam waktu 0.5 menit



Gambar 62. Keausan kawah a) 0,13 mm. b) 0,20 mm. c) 0,33 mm Kedalaman potong 0.075 mm, gerak makan 0,115 mm/langkah dan sudut geram pahat (*back rake angle*) 0° dalam waktu 1 menit



Gambar 63. Keausan kawah a) 0,18 mm. b) 0,31 mm. c) 0,38 mm Kedalaman potong 0.075 mm, gerak makan 0,115 mm/langkah dan sudut geram pahat (*back rake angle*) 0° dalam waktu 2 menit

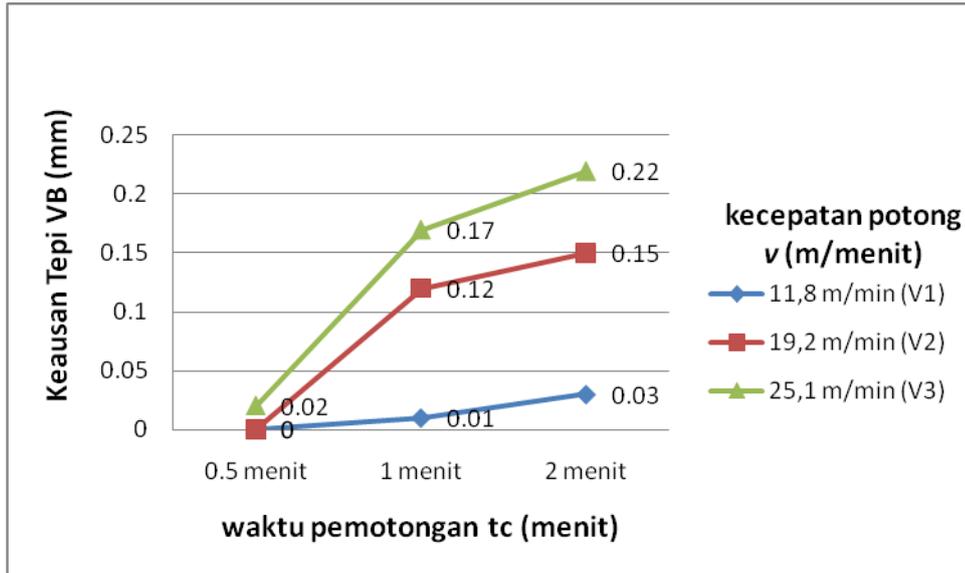
E. PEMBAHASAN

Proses pengambilan nilai keausan tepi pada pahat dilakukan dengan menggunakan proyektor Mitutoyo PJ-3000 dan data nilai kekasaran permukaan pada benda kerja dilakukan dengan menggunakan *surface tester*. Pada masing-masing sampel untuk seluruh variasi kecepatan potong dan gerak makan diambil nilai kekasaran permukaannya sebanyak 5 titik secara acak.

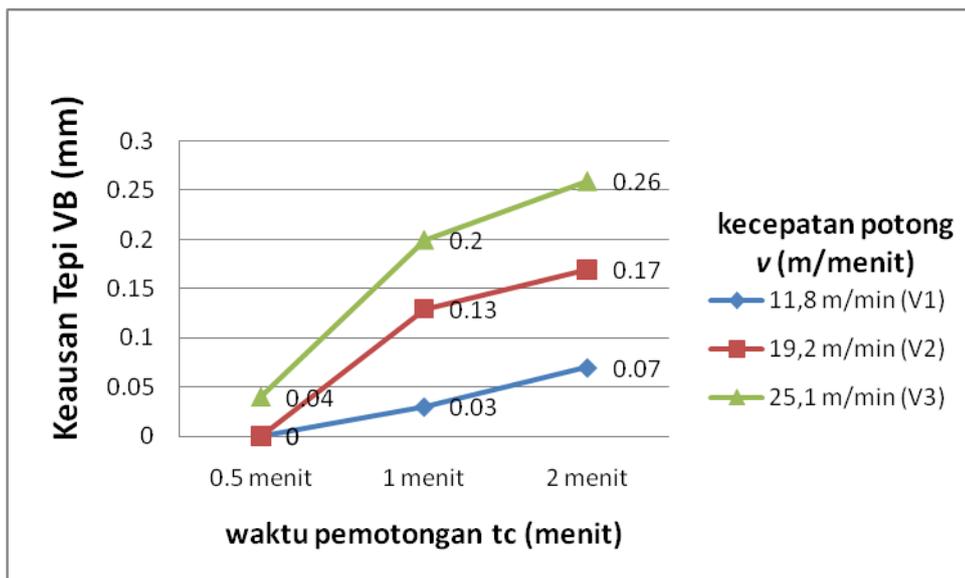
Tabel 28. Data Penelitian dalam waktu 2 menit

NO	Kecepatan Potong (v) m/min	<i>Feeding</i> (f) mm/langkah	<i>Back rake angle</i>	Kedalaman potong a	Waktu pemotongan menit	Keausan Tepi VB	Kekasaran permukaan R_a (μm)
1.	11,8	0,115	Negatif 6°	0,075	2	0.03	4,704
2.	19,2	0,115	Negatif 6°	0,075	2	0.15	3,470
3.	25,1	0,115	Negatif 6°	0,075	2	0.22	2,351
4.	11,8	0.245	Negatif 6°	0,075	2	0.07	7,886
5.	19,2	0.245	Negatif 6°	0,075	2	0.17	5,339
6.	25,1	0.245	Negatif 6°	0,075	2	0.26	4,739
7.	11,8	0,115	0°	0,075	2	0.08	7,814
8.	19,2	0,115	0°	0,075	2	0.22	6,835
9.	25,1	0,115	0°	0,075	2	0.33	6,628
10.	11,8	0.245	0°	0,075	2	0.13	8,024
11.	19,2	0.245	0°	0,075	2	0.25	7,839
12.	25,1	0.245	0°	0,075	2	0.38	6,167

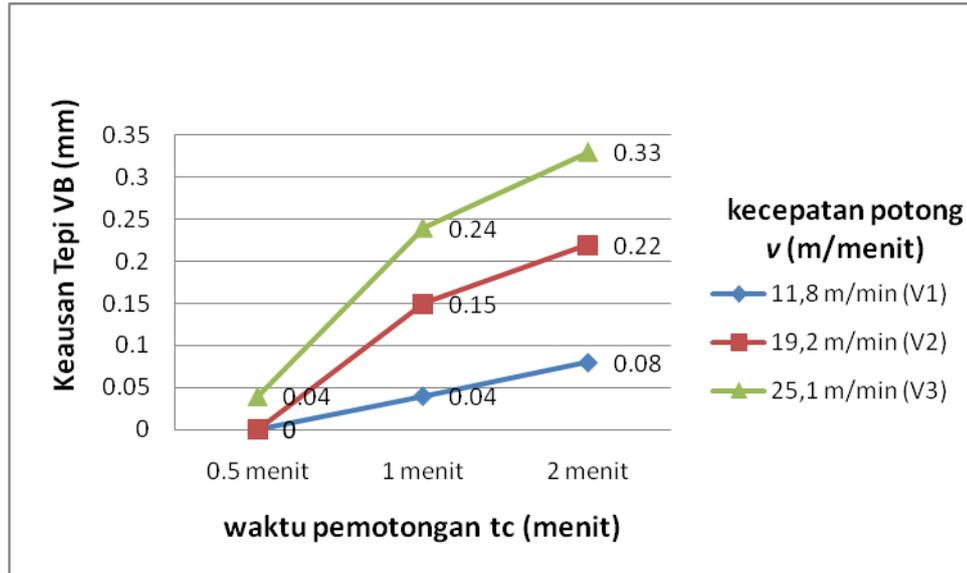
Data kekasaran secara lengkap dapat dilihat pada lampiran sedangkan untuk data nilai kekasaran rata-rata (*mean Roughness* ; R_a) pada masing-masing sampel dapat di lihat pada tabel diatas.



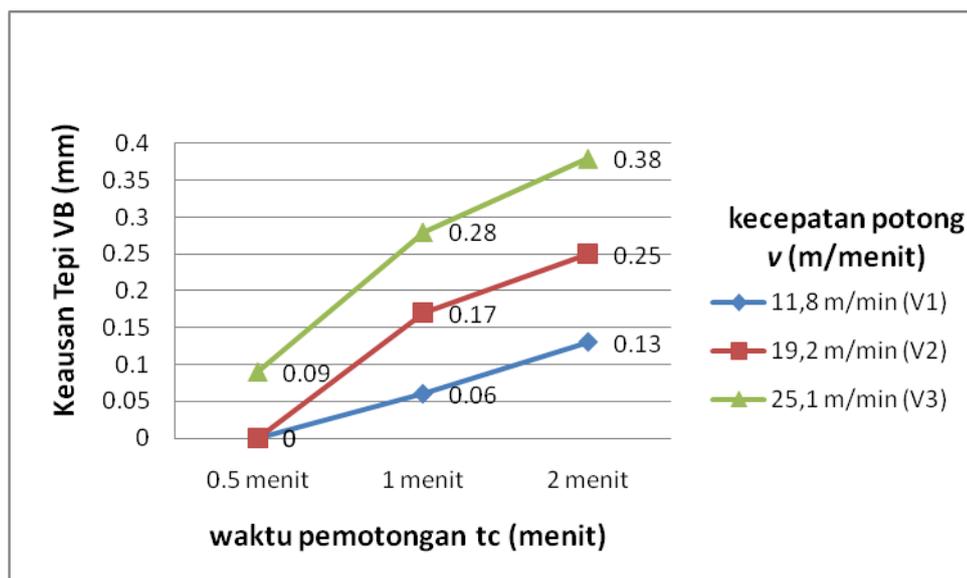
Gambar 64. Keausan Tepi VB Kedalaman potong 0.075 mm, gerak makan 0,115 mm/langkah dan sudut geram pahat (*back rake angle*) negatif 6°



Gambar 65. Keausan Tepi VB Kedalaman potong 0.075 mm, gerak makan 0,245 mm/langkah dan sudut geram pahat (*back rake angle*) negatif 6°



Gambar 66. Keausan tepi VB Kedalaman potong 0.075 mm, gerak makan 0,115 mm/langkah dan sudut geram pahat (*back rake angle*) 0°



Gambar 67. Keausan Tepi VB Kedalaman potong 0.075 mm, gerak makan 0,245 mm/langkah dan sudut geram pahat (*back rake angle*) 0°

Dari data pengukuran keausan tepi diatas dapat dilihat bahwa adanya perbedaan yang signifikan dari pengaruh variasi kecepatan potong (v ; m/menit), *back rake angle* (γ_0 ; mm) dan *feeding* (f ; mm/langkah). Pada kecepatan potong $v = 25,1$

m/menit angka keausan tepi VB tertinggi diperoleh pada saat proses penyekrapan dengan menggunakan $\gamma_0 = 0^\circ$ dan $f = 0,245$ mm/langkah yaitu sebesar $VB = 0.38$ mm, sedangkan angka keausan tepi yang lebih rendah terjadi pada saat kondisi pemotongan kecepatan potong $v = 25,1$ m/menit, $\gamma_0 =$ negatif 6° dan $f = 0,115$ mm/langkah yaitu sebesar $VB = 0.33$ mm. Hal tersebut terjadi juga pada kondisi pengukuran keausan kawah ketika kecepatan potong $v = 25,1$ m/menit. Ketika $\gamma_0 =$ negatif 6° dan $f = 0,115$ mm/langkah angka keausan kawah yang didapat lebih rendah dibandingkan ketika $\gamma_0 = 0^\circ$ dan $f = 0,245$ mm/langkah. Pada percobaan di kecepatan potong $v = 25,1$ m/menit hasil pertumbuhan keausan tepi lebih tinggi dibandingkan dengan kecepatan lainnya. Pada pengukuran kekasaran permukaan angka kekasaran permukaan terhalus diperoleh pada saat proses penyekrapan dengan menggunakan kecepatan potong $v = 25,1$ m/menit $\gamma_0 =$ negatif 6° dan $f = 0,115$ mm/langkah yaitu sebesar $R_a = 1,188$ μm . Untuk lebih jelasnya pengaruh kecepatan potong, *back rake angle* dan *feeding* dapat dilihat pada ulasan analisa ANOVA yang dalam hal ini menggunakan program SPSS dan grafik *main effect plot* MINITAB yang menunjukkan keterkaitan parameter potong dan geometri pahat terhadap angka keausan tepi dan kekasaran yang diperoleh.

F. Analysis Of Variance Keausan Tepi

Analisa variansi ini digunakan untuk membandingkan keausan akibat adanya variasi kecepatan potong, *feeding*, dan *back rake angle*. Untuk memperoleh *output* berupa tingkat signifikansi dan kebenaran dari penelitian yang diperoleh maka digunakan program SPSS. Metode yang digunakan adalah *Regression Linear* dimana adanya hubungan yang linear antara variabel independen dan variabel

dependen yang digunakan untuk meramalkan suatu nilai variabel dependen berdasarkan variabel independen. Analisis regresi dibedakan menjadi dua, yaitu analisis regresi linear sederhana dan analisis regresi linear berganda. Regresi linear sederhana dipakai untuk menganalisis hubungan linear antara satu variabel independen dan satu variabel dependen. Sedangkan regresi linear berganda digunakan apabila adanya hubungan linear antara dua atau lebih variabel independent ($X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$) dengan satu variabel dependen (Y). Analisis ini mengetahui arah hubungan antara variabel independen apakah masing-masing variabel independen berhubungan positif atau negatif dan untuk memprediksi nilai dari variabel independen apabila nilai dari variabel independen mengalami kenaikan atau penurunan. Persamaan regresi linier berganda sebagai berikut:

$$(Y' = a + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + \dots b_nX_n)$$

Keterangan :

- Y' = Variabel dependen (nilai yang diprediksikan)
 X_1 dan X_2 = Variabel Independen
 a = Konstanta (nilai Y' apabila $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n = 0$)
 b = Koefisien regresi (terjadi peningkatan atau penurunan)

Data angka keausan tepi, kecepatan potong pahat, *feeding*, dan *back rake angle* merupakan tipe data rasio (*scale*). Disini kita akan melakukan analisis regresi linear berganda untuk mengetahui hubungan variabel X_1, X_2, X_3 terhadap Y, dan memprediksikan nilai Y' (variabel dependen yang diprediksi). Pengujian signifikansi data (uji F dan uji t) pada tingkat signifikansi 0,05 yang artinya keakuratan hasil prediksi sebesar 95% untuk mengetahui apakah terdapat pengaruh yang signifikan atau tidak antara variabel independen terhadap variabel dependen secara parsial atau bersama-sama.

1. Output Test Of Normality Keausan Tepi

Tabel 29. *Test of Normality* kecepatan potong

		Tests of Normality					
		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
Kecepatan		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
keausan tepi	11.800	.226	4	.200 [*]	.976	4	.880
	19.200	.226	4	.200 [*]	.946	4	.691
	25.100	.200	4	.200 [*]	.968	4	.830

a. Lilliefors Significance Correction

b. *. This is a lower bound of the true significance.

Tabel 30. *Test of Normality* Gerak makan (*Feeding*)

		Tests of Normality					
		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
feed		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
keausan tepi	.115	.172	6	.200 [*]	.968	6	.880
	.245	.158	6	.200 [*]	.973	6	.914

a. Lilliefors Significance Correction

*. This is a lower bound of the true significance.

Tabel 31. *Test of Normality* Sudut geram pahat (*rake angle*)

		Tests of Normality					
		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
rake angle		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
keausan tepi	0	.146	6	.200 [*]	.967	6	.874
	6	.167	6	.200 [*]	.963	6	.839

a. Lilliefors Significance Correction

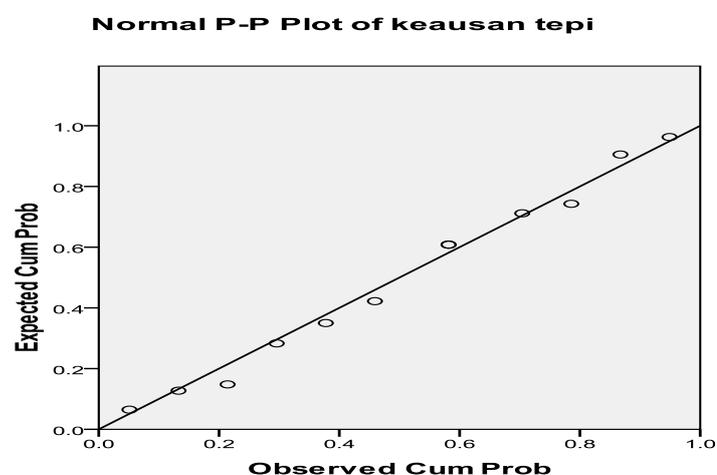
*. This is a lower bound of the true significance.

Uji Normalitas Keausan Tepi

Uji normalitas perlu dilakukan untuk menguji apakah dalam sebuah model regresi, variabel tergantung, variabel bebas atau keduanya memiliki distribusi normal atau tidak. Sebagai syarat untuk melakukan analisis parametrik seperti independen sample t, *korelasi bivariate*, dan regresi yaitu data harus terdistribusi secara normal. Keluaran pada gambar di atas menunjukkan uji normalitas data y (Keausan tepi) yang sudah diuji sebelumnya secara manual dengan uji *Kolmogorov-Smirnov*. Pengujian dengan SPSS berdasarkan kriteria pengujian pada uji *Kolmogorov-Smirnov* dan *Shapiro-Wilk* sebagai berikut.

- Signifikansi > 0.05 , maka data berdistribusi normal.
- Signifikansi < 0.05 , maka data tidak berdistribusi normal.

Karena hasil analisis data kecepatan potong, *feeding*, dan *rake angle* (tabel 29, 30, dan 31) memiliki signifikansi lebih dari 0,05 yaitu ($0.200 > 0.05$), maka data kecepatan potong, *feeding*, dan *rake angle* berdistribusi normal. Suatu model dikatakan berdistribusi normal jika model tersebut menghasilkan grafik data yang menyebar disekitar garis diagonal dan mengikuti arah garis diagonal.



Gambar 68. Grafik Normality Plot Keausan Tepi.

Output Regression Keausan Tepi

Tabel 32. Variabels Entered/Removed

Variabels Entered/Removed			
Model	Variabels Entered	Variabels Removed	Method
1	rake angle, feeding, Kecepatan potong ^a	.	Enter

a. All requested variables entered.

1. Output Variabel Entered/ Removed

Dari *output* dapat dilihat bahwa variabel independen yang dimasukkan ke dalam model adalah kecepatan potong, *back rake angle* pahat, dan *feeding* sedangkan variabel dependennya adalah angka keausan dan tidak ada variabel yang dikeluarkan (*removed*).

Tabel 33. *Model Summary*^b

Model Summary ^b					
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	.991 ^a	.982	.975	.01667	1.885

a. Predictors: (Constant), rake angle (negatif 6 dan 0), feeding (mm/langkah), Kecepatan potong (m/min)

b. Dependent Variabel: keausan tepi (VB)

2. Output Model Summary Keausan Tepi

R menunjukkan korelasi berganda yaitu korelasi antara dua atau lebih variabel independen terhadap variabel dependen. Nilai R berkisar antara 0 sampai 1. Jika nilainya mendekati 1, maka hubungannya semakin erat dan sebaliknya jika mendekati 0 maka hubungannya semakin lemah. Dari output data angka R

diperoleh 0,991, artinya korelasi antara variabel kecepatan potong, *back rake angle*, dan *feeding* terhadap angka keausan sebesar 0,991. Hal ini berarti terjadi hubungan yang sangat erat karena nilai mendekati 1.

R Square (R^2) atau kuadrat R menunjukkan koefisien determinasi. Angka ini akan diubah ke bentuk persen, artinya persentase sumbangan pengaruh variabel independen terhadap variabel dependen. Nilai R^2 sebesar 0,982 artinya persentase sumbangan pengaruh variabel kecepatan potong, *back rake angle*, dan *feeding* terhadap angka keausan sebesar 98,2%, sedangkan sisanya sebesar 1,8% dipengaruhi oleh variabel lain yang tidak dimasukkan dalam model regresi atau pengujian.

Adjusted R Square adalah *R square* yang telah disesuaikan. Nilai yang diperoleh sebesar 0,975%. Hal ini menunjukkan sumbangan pengaruh variabel kecepatan potong, *back rake angle*, dan *feeding* bernilai 97,5% terhadap angka keausan tepi. Dalam hal ini persentase pengaruh variabel independen terhadap variabel dependen yang digunakan adalah 97,5% karena model regresi ANOVA ini menggunakan lebih dari dua variabel independen.

Standard Error of the Estimate adalah ukuran kesalahan prediksi. Dari output data diperoleh angka 0,01667. Artinya kesalahan yang dapat terjadi dalam memprediksi angka keausan sebesar 0,01667.

Durbin-Watson merupakan nilai yang menunjukkan ada atau tidaknya *autokorelasi* dalam model regresi. *Autokorelasi* adalah hubungan yang terjadi antara residual dari pengamatan satu dengan pengamatan yang lain. Model regresi ANOVA yang baik seharusnya tidak menunjukkan *autokorelasi*. Untuk mendeteksi ada atau tidaknya *autokorelasi* maka nilai DW akan dibandingkan dengan DW tabel. Kriteria yang dipakai adalah sebagai berikut:

- Jika $DW < dL$ atau $DW > 4-dL$ berarti terjadi *autokorelasi*.
- Jika DW terletak antara dU dan $4-dU$ berarti tidak ada *autokorelasi*.
- Jika DW terletak antara dL dan dU atau diantara $4-dU$ dan $4-dL$ maka tidak menghasilkan kesimpulan yang pasti.

Nilai DW dari output didapat 1,885. Untuk nilai dL dan dU dapat dilihat dari DW tabel pada signifikansi 0,05 dengan jumlah data (n) 12 dan jumlah variabel independen (k) 3 didapat nilai dL 0,658 dan dU 1,864. Jadi, nilai $4-dU = 2,136$ dan $4-dL = 3,342$. Hal ini berarti nilai DW (1,885) berada pada daerah dU dan $4-dU$, maka tidak ada *autokorelasi* dalam model regresi ANOVA ini. Uji Autokorelasi adalah untuk melihat apakah terjadi korelasi antara suatu periode t dengan periode sebelumnya ($t-1$) secara sederhana adalah bahwa analisis regresi adalah untuk melihat pengaruh antara variabel bebas (independent) terhadap variabel terikat (dependen), jadi tidak boleh ada autokorelasi antara observasi dengan data observasi sebelumnya. Uji autokorelasi hanya dilakukan pada data time series (runtut waktu) dan tidak perlu dilakukan pada data cross section dimana pengukuran semua variabel dilakukan secara serempak pada saat yang bersamaan.

Unstandardized Coefficients adalah nilai koefisien yang tidak terstandarisasi atau tidak memiliki patokan. Nilai ini menggunakan satuan yang digunakan pada data dalam variabel dependent. Dalam hal ini adalah mm. koefisien b (koefisien regresi) terdiri dari nilai konstan (harga Y jika X_1 dan $X_2 = 0$) dan koefisien regresi (nilai yang menunjukkan peningkatan atau penurunan variabel Y yang didasarkan variabel X_1 dan X_2). Nilai-nilai inilah yang termasuk dalam persamaan regresi linier berganda. Sementara itu, standard error adalah nilai maksimum kesalahan yang dapat terjadi dalam memperkirakan rata-rata populasi berdasarkan sampel. Nilai itu untuk mencari t hitung dengan cara koefisien dibagi standard error.

Standardized coefficients merupakan nilai koefisien yang telah terstandarisasi atau memakai patokan tertentu. Jika nilai koefisien Beta semakin mendekati nol, maka hubungan antara variabel X dengan Y semakin lemah.

t hitung adalah pengujian signifikansi untuk mempengaruhi pengaruh variabel X_1 dan X_2 terhadap Y secara parsial, apakah signifikan atau tidak. Untuk mengetahui hasilnya signifikan atau tidak, angka t hitung akan dibandingkan dengan t tabel.

Signifikansi adalah besarnya probabilitas atau peluang untuk memperoleh kesalahan dalam mengambil keputusan. Jika pengujian menggunakan tingkat signifikansi 0.05, artinya peluang memperoleh kesalahan maksimal 5 % dengan kata lain, tingkat prediksi adalah 95% adalah benar.

Tabel 34. ANOVA^b Keausan Tepi

		ANOVA ^a				
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	.121	3	.040	145.664	.000 ^a
	Residual	.002	8	.000		
	Total	.124	11			

a. Predictors: (Constant), rake angle (negatif 6 dan 0), feeding (mm/langkah), Kecepatan potong (m/min)

b. Dependent Variabel: keausan tepi (VB)

3. Output ANOVA Keausan Tepi

ANOVA atau analisis varian merupakan uji koefisien regresi secara bersama-sama (uji F) untuk menguji signifikansi pengaruh beberapa variabel independen terhadap variabel dependen. Dalam hal ini peran ANOVA adalah untuk menguji signifikansi pengaruh kecepatan potong, *back rake angle*, dan *feeding* secara bersama-sama terhadap angka keausan. Pengujian menggunakan tingkat signifikansi 0,05.

Langkah-langkah uji F adalah sebagai berikut:

- Merumuskan Hipotesis

Ho: Kecepatan potong, *back rake angle*, dan *feeding* secara bersama-sama tidak berpengaruh terhadap angka keausan

Ha: Kecepatan potong, *back rake angle*, dan *feeding* secara bersama-sama berpengaruh terhadap angka keausan

- Menentukan F hitung dan signifikansi, dari output diperoleh angka F 145,664 dan signifikansi 0,000
- Menentukan F tabel, F tabel dapat dilihat pada tabel statistik, (lampiran) pada tingkat signifikansi 0,05 dengan df_1 (jumlah variabel - 1)=3, dan df_2 (n-k-1)=12-3-

$1=8$ (n adalah jumlah data dan k adalah jumlah variabel independen). Hasil yang diperoleh untuk F tabel adalah 4,066.

- Kriteria pengujian

Jika F hitung \leq F tabel maka Ho diterima

Jika F hitung $>$ F tabel maka Ho ditolak

- Kesimpulan

F hitung $>$ F tabel ($145,664 > 4,066$) dan signifikansi, ($0,000 < 0,05$) maka Ho ditolak.

Jadi dapat disimpulkan bahwa kecepatan potong, *back rake angle*, dan *feeding* secara bersama-sama berpengaruh terhadap angka keausan tepi.

Tabel 35. *Coefficients*^a

		Coefficients ^a				
		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients		
Model		B	Std. Error	Beta	t	Sig.
1	(Constant)	-.130	.022		-5.850	.000
	Kecepatan potong	.017	.001	.886	18.686	.000
	Feeding	.295	.074	.189	3.982	.004
	rake angle	-.014	.002	-.402	-8.484	.000

a. Dependent Variabel: keausan tepi

4. Output Coefficients Keausan Tepi

Nilai-nilai output kemudian dimasukkan ke dalam persamaan regresi linear

berganda sebagai berikut:

$$Y' = -0.130 + 0,017 X_1 + 0.295 X_2 + (-0.014)X_3$$

Arti dari persamaan yang ada pada data output koefisien diatas adalah

- Nilai konstanta (a) adalah -0.130 artinya jika kecepatan potong, *back rake angle*, dan *feeding* bernilai 0, maka angka konstanta (a) keausan bernilai (0.130).
- Nilai koefisien regresi variabel kecepatan potong (b_1) bernilai 0,017, yaitu artinya setiap meningkatnya kecepatan potong sebesar 1 m/menit maka akan menaikkan angka keausan sebesar 0,017 mm dengan asumsi variabel lain bernilai tetap.
- Nilai koefisien regresi variabel *feeding* (b_2) bernilai 0,295, artinya setiap peningkatan 1 mm/langkah satuan maka akan meningkatkan angka keausan tepi sebesar 0,295 mm.
- Nilai koefisien regresi variabel , *back rake angle* (b_3) bernilai 0,014, yaitu artinya setiap meningkatnya 1° sudut geram pahat, maka akan menaikkan angka keausan tepi sebesar 0,014 mm dengan asumsi variabel lain bernilai tetap.

5. Uji t parsial Keausan Tepi

- Uji ini merupakan koefisien regresi secara parsial yang digunakan untuk mengetahui apakah secara parsial kecepatan potong, *back rake angle*, dan *feeding* berpengaruh secara signifikan atau tidak terhadap angka keausan. Pengujian ini menggunakan tingkat signifikan 0,05. Langkah-langkah pengujiannya sebagai berikut:

- **Pengujian variabel kecepatan potong**

1. Menentukan hipotesis

Ho : v tidak berpengaruh terhadap angka keausan tepi

Ha : v berpengaruh terhadap angka keausan tepi

2. Menentukan t hitung dan signifikansi

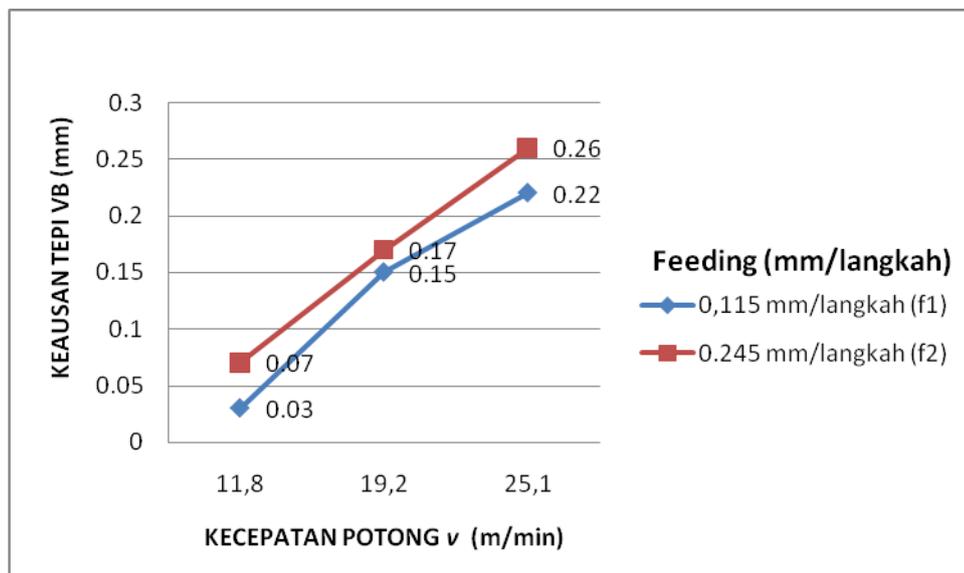
Dari output didapat t hitung sebesar 18,686 dan signifikansi sebesar 0,000

3. Menentukan t tabel pada tabel statistik pada signifikansi $0,05/3 = 0,01$ dengan derajat kebebasan $dF = n-k-1$ yaitu $12-3-1 = 8$. Sementara itu hasil yang diperoleh untuk t tabel sebesar -2,752. (tabel t)

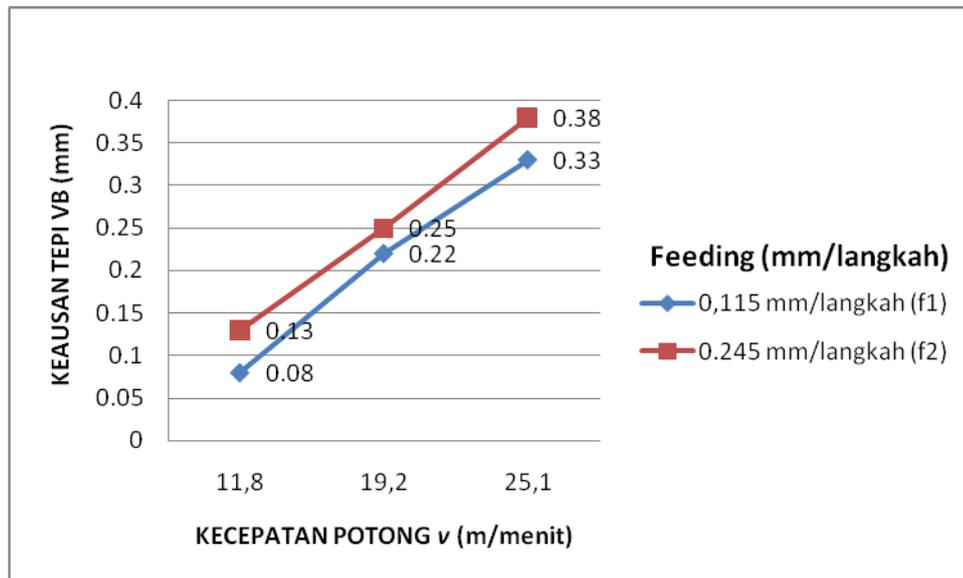
4. Jika $-t \text{ tabel} \leq t \text{ hitung} \leq t \text{ tabel}$, maka H_0 diterima dan jika $-t \text{ hitung} < -t \text{ tabel}$ atau $t \text{ hitung} > t \text{ tabel}$ maka H_0 ditolak.

5. Berdasar signifikansi $> 0,05$ maka H_0 diterima dan jika signifikansi $< 0,05$ maka H_0 ditolak.

Kesimpulan bahwa nilai t hitung $> t \text{ tabel}$ ($18,686 > 2,752$) dan signifikansi $< 0,05$ maka H_0 ditolak. Jadi dapat disimpulkan bahwa kecepatan potong berpengaruh terhadap angka keausan dengan tingkat signifikan 0,000.



Gambar 69. Pengaruh pertambahan kecepatan potong terhadap pertumbuhan keausan Tepi VB dengan kedalaman potong 0.075 mm, dan sudut geram pahat (*back rake angle*) $\gamma_0 = \text{negatif } 6^\circ$



Gambar 70. Pengaruh pertambahan kecepatan potong terhadap pertumbuhan keausan Tepi VB dengan kedalaman potong 0,075 mm, dan sudut geram pahat (*back rake angle*) $\gamma_0 = 0^\circ$

Dari gambar grafik pengaruh variasi kecepatan potong (v) pada masing-masing *back rake angle* (γ_0) dan nilai gerak pemakanan (*feeding*) yang sama, dengan memperbesar kecepatan potong akan menaikkan nilai keausan Tepi (VB). Pada saat menggunakan pahat dengan $\gamma_0 = \text{negatif } 6^\circ$ (gambar 69), hasil pengukuran keausan tepi yang diperoleh pada $v = 11,8$ m/min menunjukkan angka 0,03 mm pada saat feeding 0,115 mm/langkah, ketika v dinaikkan menjadi 25,1 m/min angka keausan tepi menjadi tinggi yaitu 0,22 mm, kenaikan keausan tepi yang sangat besar terjadi ketika v dinaikkan menjadi 25,1 m/min. Hasil pengukuran keausan yang diperoleh pada variasi feeding 0,115 mm/langkah dan 0,245 mm/langkah, bahwa angka keausan tepi semakin tinggi ketika kecepatan potong dinaikkan pada tiap-tiap variasi *feeding*. Tidak jauh berbeda dengan pembahasan pada *back rake angle* $\gamma_0 = \text{negatif } 6^\circ$, pada saat proses penyekrapan menggunakan *back rake angle* $\gamma_0 = 0^\circ$ (gambar 70), hasil yang diperoleh menunjukkan asumsi yang hampir

sama dengan ulasan diatas, bahwa dengan menaikkan kecepatan potong angka keausan tepi yang diperoleh akan semakin tinggi pada tiap-tiap variasi *feeding*.

- **Pengujian variabel *feeding***

1. Hipotesis

Ho : f tidak berpengaruh terhadap angka keausan tepi

Ha : f berpengaruh terhadap angka keausan tepi

2. Menentukan t hitung dan signifikansi

Dari output didapat t hitung sebesar 3.982 dengan signifikansi 0,004

3. Menentukan t tabel pada tabel statistik pada signifikansi $0,05/3 = 0,01$ dengan derajat kebebasan $df = n-k-1$ yaitu $12-3-1= 8$. Sementara itu hasil yang diperoleh untuk t tabel sebesar -2,560. (tabel t) Kesimpulan bahwa nilai t hitung > t tabel ($3.982 > 2,560$) dengan signifikansi 0,004 maka *feeding* berpengaruh terhadap angka keausan tepi dengan signifikansi 0,004

Pada grafik prediksi keausan tepi terhadap *back rake angle* γ_0 dengan *feeding* bervariasi. Terlihat pada grafik bahwa dengan semakin besarnya *feeding* maka angka keausan tepi yang diperoleh akan semakin tinggi. Sebagai contoh, perbedaan yang signifikan nampak pada setiap variasi *feeding* dan kecepatan potong. Pada (gambar 70) $f = 0,115$ mm/langkah dan *back rake angle* $\gamma_0 =$ negatif 6° , angka keausan tepi tertinggi yang diperoleh yaitu 0.33 mm dan pada $f = 0,245$ mm/langkah pada *back rake angle* $\gamma_0 =$ negatif 6° angka keausan tepi naik menjadi 0.38 mm pada waktu dan kecepatan potong yang sama. Hasil yang serupa juga terjadi disetiap variasi *feeding* dan kecepatan potong pada *back rake angle* $\gamma_0 = 0^\circ$, bahwa dengan memperbesar *feeding* akan

menaikkan nilai keausan tepi VB pada semua kecepatan potong pada tiap *back rake angle*.

- **Pengujian variabel *back rake angle* γ_0**

1. Hipotesis

Ho : γ_0 tidak berpengaruh terhadap angka keausan tepi

Ha : γ_0 berpengaruh terhadap angka keausan tepi

2. Menentukan t hitung dan signifikansi dari output didapat t hitung sebesar -8.484 dengan signifikansi 0,000

3. Menentukan t tabel pada tabel statistik pada signifikansi $0,05/3 = 0,01$ dengan derajat kebebasan $dF = n-k-1$ yaitu $12-3-1 = 8$. Hasil yang diperoleh untuk t tabel sebesar -2,560. (tabel t) Kesimpulan bahwa nilai t hitung $>$ t tabel ($8.484 > 2,560$) dengan signifikansi sebesar 0,000 maka *back rake angle* berpengaruh terhadap angka keausan tepi dengan nilai signifikan 0,000.

Dari (gambar 70) pada saat menggunakan kecepatan potong (v) 25,1 m/min pada kedua variasi *back rake angle* γ_0 negatif 6° dan 0° tampak pada grafik menunjukkan meningkatnya angka keausan tepi ketika f ditambah, keausan tepi terendah pada saat γ_0 negatif 6° yaitu 0.22 mm dan angka tertinggi yaitu 0.26 mm. Namun pada saat *back rake angle* γ_0 0° nilai keausan tepi meningkat pada setiap *feeding*, keausan tepi yang diperoleh 0.33 mm pada saat $f = 0,115$ mm/langkah dan keausan tepi tertinggi yang diperoleh adalah 0.38 mm pada saat $f = 0,245$ mm/langkah.

6. Output Casewise Diagnostics Keausan Tepi

Tabel 36. *Casewise Diagnostics*^a

Case Number	Std. Residual	keausan tepi	Predicted Value	Residual
1	.792	.03	.0168	.01321
2	.654	.15	.1391	.01090
3	-.996	.22	.2366	-.01661
4	.892	.07	.0551	.01488
5	-.446	.17	.1774	-.00743
6	-.896	.26	.2749	-.01494
7	-1.107	.08	.0985	-.01846
8	-.046	.22	.2208	-.00076
9	.703	.33	.3183	.01172
10	-.407	.13	.1368	-.00679
11	-.546	.25	.2591	-.00910
12	1.403	.38	.3566	.02339

a. Dependent Variabel: keausan tepi

Standardized residual adalah nilai residual yang telah terstandarisasi, jika nilai semakin mendekati 0 maka model regresi semakin baik dalam melakukan prediksi. *Predicted Value* adalah nilai Y' atau nilai prediksi setelah adanya pengaruh variabel independen (X_1, X_2, X_3). *Residual* merupakan selisih antara angka keausan dengan *predicted value*.

7. Output Residual Keausan Tepi

Tabel dibawah menggambarkan tentang minimum, maksimum, rata-rata, standar deviasi, dan jumlah data dari residual.

Tabel 37. *Residuals Statistics*^a

Residuals Statistics^a

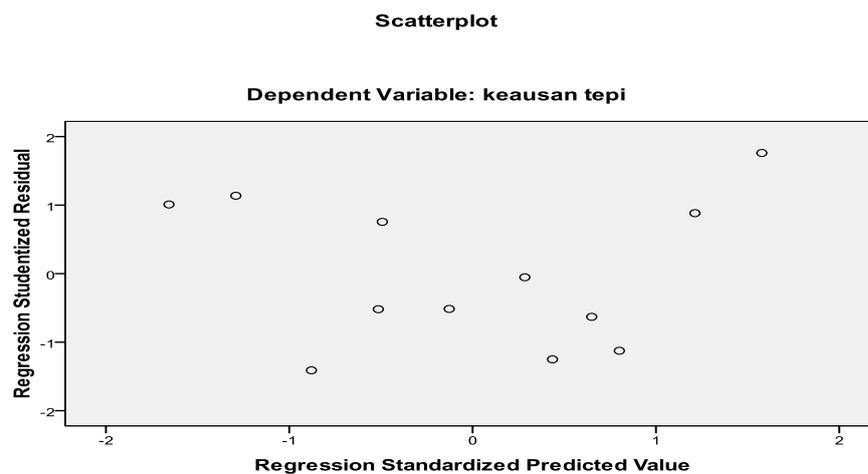
	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	N
Predicted Value	.0168	.3566	.1908	.10508	12
Residual	-.01846	.02339	.00000	.01422	12
Std. Predicted Value	-1.656	1.578	.000	1.000	12
Std. Residual	-1.107	1.403	.000	.853	12

a. Dependent Variabel: keausan tepi

8. Output Scatterplot Keausan Tepi

Digunakan untuk mendeteksi ada atau tidaknya penyimpangan asumsi klasik yaitu *heterosdiksitas* yang artinya variasi residual yang tidak sama pada semua pengamatan di dalam model regresi. Regresi yang baik seharusnya tidak terjadi *heterosdiksitas* dengan kriteria sebagai berikut:

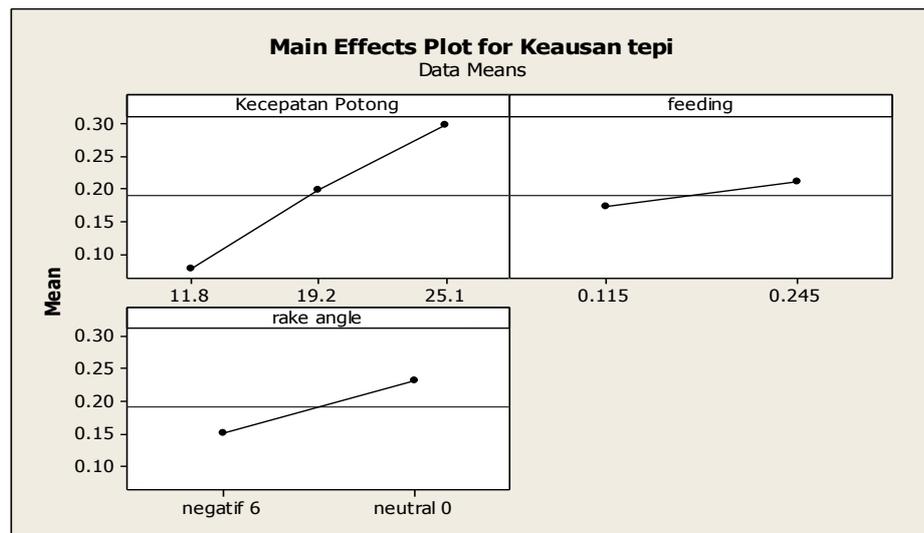
- Jika ada pola tertentu, seperti titik-titik yang ada membentuk suatu pola tertentu yang teratur (bergelombang, melebar, kemudian menyempit), maka terjadi *heterosdiksitas*.
- Jika tidak ada pola yang jelas (menyebar diatas dan dibawah garis 0 sumbu y, maka tidak terjadi *heterosdiksitas*.



Gambar 71. Output Scatterplot

Dari output dapat diketahui bahwa titik-titik tidak membentuk pola yang jelas dan titik-titik menyebar di atas dan dibawah angka 0 pada sumbu y. Jadi dapat disimpulkan bahwa tidak terjadi heteroskedastisitas pada model regresi.

9. Output Main Effect Plot Keausan Tepi



Gambar 72. Grafik Main Effect Plot untuk variabel dependent keausan Tepi. Grafik Main Effect Plot digunakan untuk mengetahui ada atau tidaknya pengaruh utama dari variabel yang artinya variasi residual yang tidak sama pada semua pengamatan di dalam model regresi. Dari output grafik diatas dapat dilihat bahwa kecepatan potong, gerak makan, dan sudut geram pahat memiliki pengaruh yang signifikan terhadap keausan tepi dapat diketahui bahwa titik-titik membentuk pola yang jelas, yaitu keausan tepi meningkat seiring dengan meningkatnya variabel proses yang digunakan, dalam penelitian ini keausan tepi akan meningkat dalam penggunaan sudut geram pahat (*back rake angle* γ_0) 0°

G. Analysis Of Variance Kekasaran Permukaan

Analisa varian ini digunakan untuk membandingkan Kekasaran Permukaan akibat adanya variasi kecepatan potong, *feeding*, dan *back rake angle*. Untuk memperoleh *output* berupa tingkat signifikansi dan kebenaran dari penelitian yang diperoleh maka digunakan program SPSS. Metode yang digunakan adalah *Regression Linear* dimana adanya hubungan yang linear antara variabel independen dan variabel dependen yang digunakan untuk meramalkan suatu nilai variabel dependen berdasarkan variabel independen. Analisis regresi dibedakan menjadi dua, yaitu analisis regresi linear sederhana dan analisis regresi linear berganda. Regresi linear sederhana dipakai untuk menganalisis hubungan linear antara satu variabel independen dan satu variabel dependen. Sedangkan regresi linear berganda digunakan apabila adanya hubungan linear antara dua atau lebih variabel independen dengan satu variabel dependen.

Data angka Kekasaran Permukaan, kecepatan potong pahat, *feeding*, dan *back rake angle* merupakan tipe data rasio (*scale*). Disini kita akan melakukan analisis regresi linear berganda untuk mengetahui hubungan variabel X_1 , X_2 , X_3 terhadap Y , dan memprediksikan nilai Y' (variabel dependen yang diprediksi). Pengujian signifikansi data (uji F dan uji t) pada tingkat signifikansi 0,05 yang artinya keakuratan hasil prediksi sebesar 95% untuk mengetahui apakah terdapat pengaruh yang signifikan atau tidak antara variabel independen terhadap variabel dependen secara parsial atau bersama-sama.

1. Output Test Of Normality Kekasaran Permukaan

Tabel 38. *Test of Normality* kecepatan potong

Tests of Normality

	Kecepatan	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
kekasaran permukaan	11.800	.420	4	.200 [*]	.681	4	.007
	19.200	.194	4	.200 [*]	.974	4	.868
	25.100	.233	4	.200 [*]	.910	4	.481

a. Lilliefors Significance Correction

Tabel 39. *Test of Normality Gerak makan (Feeding)***Tests of Normality**

	feed	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
kekasaran permukaan	.115	.233	6	.200 [*]	.937	6	.638
	.245	.292	6	.121	.848	6	.152

a. Lilliefors Significance Correction

*. This is a lower bound of the true significance.

Tabel 40. *Test of Normality Sudut geram pahat (rake angle)***Tests of Normality**

	rake angle (sudut pahat)	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
kekasaran permukaan	0	.280	6	.156	.878	6	.261
	6	.210	6	.200 [*]	.950	6	.741

a. Lilliefors Significance Correction

*. This is a lower bound of the true significance.

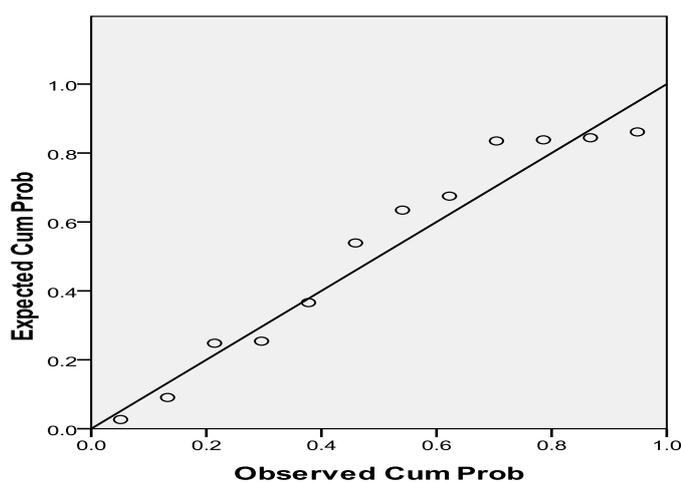
Uji Normalitas Kekasaran Permukaan

Syarat untuk melakukan analisis parametrik seperti independen sample t, *korelasi bivariate*, dan regresi yaitu data harus terdistribusi secara normal. Keluaran pada gambar di atas menunjukkan uji normalitas data y (Kekasaran permukaan) yang sudah diuji sebelumnya secara manual dengan uji *Kolmogorov-Smirnov*. Pengujian dengan SPSS berdasarkan kriteria pengujian pada uji *Kolmogorov-Smirnov* dan *Shapiro-Wilk* sebagai berikut.

- Signifikansi > 0.05 , maka data berdistribusi normal.
- Signifikansi < 0.05 , maka data tidak berdistribusi normal.

Karena hasil analisis data kecepatan potong, *feeding*, dan *rake angle* (tabel 38, 39, dan 40) memiliki signifikansi lebih dari 0,05 yaitu ($0.200 > 0.05$), maka data kecepatan potong, *feeding*, dan *rake angle* berdistribusi normal. Suatu model dikatakan berdistribusi normal jika model tersebut menghasilkan grafik data yang menyebar disekitar garis diagonal dan mengikuti arah garis diagonal.

Normal P-P Plot of kekasaran permukaan



Gambar 73. Grafik Normality Plot Kekasaran Permukaan

Output Regression Kekasaran Permukaan

Tabel 41. Variabels Entered/Removed

Variabels Entered/Removed			
Model	Variabels Entered	Variabels Removed	Method
1	rake angle, feed, Kecepatan ^a		. Enter

a. All requested variabels entered.

1. Output Variabel Entered/ Removed

Dari *output* dapat dilihat bahwa variabel independen yang dimasukkan ke dalam model adalah kecepatan potong, *back rake angle* pahat, dan *feeding* sedangkan variabel dependennya adalah angka Kekasaran Permukaan dan tidak ada variabel yang dikeluarkan (*removed*).

Tabel 42. *Model Summary*^b

Model Summary^b					
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	.923 ^a	.851	.795	.850173	2.200

a. Predictors: (Constant), rake angle, feed, Kecepatan

b. Dependent Variabel: kekasaran permukaan

2. Output Model Summary Kekasaran Permukaan

R menunjukkan korelasi berganda yaitu korelasi antara dua atau lebih variabel independen terhadap variabel dependen. Nilai R berkisar antara 0 sampai 1. Jika nilainya mendekati 1, maka hubungannya semakin erat dan sebaliknya jika

mendekati 0 maka hubungannya semakin lemah. Dari output data angka R diperoleh 0,923, artinya korelasi antara variabel kecepatan potong, *back rake angle*, dan *feeding* terhadap angka Kekasaran Permukaan sebesar 0,923. Hal ini berarti terjadi hubungan yang sangat erat karena nilai mendekati 1.

R Square (R^2) atau kuadrat R menunjukkan koefisien determinasi. Angka ini akan diubah ke bentuk persen, artinya persentase sumbangan pengaruh variabel independen terhadap variabel dependen. Nilai R^2 sebesar 0,851 artinya persentase sumbangan pengaruh variabel kecepatan potong, *back rake angle*, dan *feeding* terhadap angka Kekasaran Permukaan sebesar 85,1%, sedangkan sisanya dipengaruhi oleh variabel lain yang tidak dimasukkan dalam model regresi atau pengujian.

Adjusted R Square adalah R square yang telah disesuaikan. Nilai yang diperoleh sebesar 0,795%. Hal ini menunjukkan sumbangan pengaruh variabel kecepatan potong, *back rake angle*, dan *feeding* bernilai 79,5% terhadap angka Kekasaran Permukaan. Dalam hal ini persentase pengaruh variabel independen terhadap variabel dependen yang digunakan adalah 79,5% karena model regresi ANOVA ini menggunakan lebih dari dua variabel independen.

Standard Error of the Estimate adalah ukuran kesalahan prediksi. Dari output data diperoleh angka 0,850173. Artinya kesalahan yang dapat terjadi dalam memprediksi angka Kekasaran Permukaan sebesar 0,850173.

Durbin-Watson merupakan nilai yang menunjukkan ada atau tidaknya *autokorelasi* dalam model regresi. *Autokorelasi* adalah hubungan yang terjadi antara residual dari pengamatan satu dengan pengamatan yang lain. Model regresi ANOVA yang baik seharusnya tidak menunjukkan *autokorelasi*. Untuk mendeteksi ada atau tidaknya *autokorelasi* maka nilai DW akan dibandingkan dengan DW tabel. Kriteria yang dipakai adalah sebagai berikut:

- Jika $DW < dL$ atau $DW > 4-dL$ berarti terjadi *autokorelasi*.
- Jika DW terletak antara dU dan $4-dU$ berarti tidak ada *autokorelasi*.
- Jika DW terletak antara dL dan dU atau diantara $4-dU$ dan $4-dL$ maka tidak menghasilkan kesimpulan yang pasti.

Nilai DW dari output didapat 2.200. Untuk nilai dL dan dU dapat dilihat dari DW tabel pada signifikansi 0,05 dengan jumlah data (n) 12 dan jumlah variabel independen (k) 3 didapat nilai dL 0,658 dan dU 1,864. Jadi, nilai $4-dU = 2,136$ dan $4-dL = 3,342$. Hal ini berarti nilai DW (2.200) berada antara diantara $4-dU$ dan $4-dL$, maka tidak menghasilkan kesimpulan yang pasti dalam model regresi ANOVA ini.

Tabel 43. ANOVA^b

ANOVA ^b						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	33.083	3	11.028	15.257	.001 ^a
	Residual	5.782	8	.723		
	Total	38.865	11			

a. Predictors: (Constant), rake angle, feed, Kecepatan

b. Dependent Variabel: kekasaran permukaan

3. Output ANOVA Kekasaran Permukaan

ANOVA atau analisis varian merupakan uji koefisien regresi secara bersama-sama (uji F) untuk menguji signifikansi pengaruh beberapa variabel independen terhadap variabel dependen. Dalam hal ini peran ANOVA adalah untuk menguji signifikansi pengaruh kecepatan potong, *back rake angle*, dan *feeding* secara bersama-sama terhadap angka Kekasaran Permukaan. Pengujian menggunakan tingkat signifikansi 0,05.

Langkah-langkah uji F adalah sebagai berikut:

- Merumuskan Hipotesis

Ho: Kecepatan potong , *back rake angle*, dan *feeding* secara bersama-sama tidak berpengaruh terhadap angka Kekasaran Permukaan

Ha: Kecepatan potong, *back rake angle*, dan *feeding* secara bersama-sama berpengaruh terhadap angka Kekasaran Permukaan

- Menentukan F hitung dan signifikansi, dari output diperoleh angka F 15.257 dan signifikansi 0,001
- Menentukan F tabel
F tabel dapat dilihat pada tabel statistik, (lampiran) pada tingkat signifikansi 0,05 dengan df_1 (jumlah variabel – 1)=3, dan df_2 (n-k-1)=12-3-1=8 (n adalah jumlah data dan k adalah jumlah variabel independen). Hasil yang diperoleh untuk F tabel adalah 4,066.
- Kriteria pengujian
Jika $F \text{ hitung} \leq F \text{ tabel}$ maka Ho diterima
Jika $F \text{ hitung} > F \text{ tabel}$ maka Ho ditolak
- Kesimpulan

F hitung > F tabel (15.257 > 4,066) dan signifikansi , (0,001 < 0,05) maka Ho ditolak. Jadi dapat disimpulkan bahwa kecepatan potong, *back rake angle*, dan *feeding* secara bersama-sama berpengaruh terhadap angka Kekasaran Permukaan.

Tabel 44. *Coefficients*^a

		Coefficients ^a				
		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients		
Model		B	Std. Error	Beta	t	Sig.
1	(Constant)	8.335	1.137		7.328	.000
	Kecepatan	-.161	.045	-.486	-3.566	.007
	feed	10.503	3.776	.379	2.782	.024
	rake angle	-.412	.082	-.686	-5.031	.001

a. Dependent Variabel: kekasaran permukaan

4. Output Coefficients Kekasaran Permukaan

Nilai-nilai output kemudian dimasukkan ke dalam persamaan regresi linear berganda sebagai berikut:

$$Y' = 8.335 + (-0,161) X_1 + 10.503 X_2 + (-0.412)X_3$$

Arti dari persamaan yang ada pada data output koefisien diatas adalah

- Nilai konstanta (a) adalah 8.335 artinya jika kecepatan potong, *back rake angle*, dan *feeding* bernilai 0, maka angka konstanta (a) Kekasaran Permukaan bernilai (8.335).
- Nilai koefisien regresi variabel kecepatan potong (b_1) bernilai -0,161, yaitu artinya setiap meningkatnya kecepatan potong sebesar 1 m/menit maka akan menurunkan angka Kekasaran Permukaan sebesar 0,161 μm dengan asumsi variabel lain bernilai tetap.

- Nilai koefisien regresi variabel *feeding* (b_2) bernilai 10,503. artinya setiap peningkatan 1 mm/langkah satuan maka akan meningkatkan angka Kekasaran Permukaan sebesar 10,503 μm .
- Nilai koefisien regresi variabel, *back rake angle* (b_3) bernilai -0,412, yaitu artinya setiap meningkatnya 1° sudut geram pahat, maka akan menurunkan angka Kekasaran Permukaan sebesar 0,412 μm dengan asumsi variabel lain bernilai tetap.

5. Uji t Parsial Kekasaran Permukaan

- Uji ini merupakan koefisien regresi secara parsial yang digunakan untuk mengetahui apakah secara parsial kecepatan potong, *back rake angle*, dan *feeding* berpengaruh secara signifikan atau tidak terhadap angka Kekasaran Permukaan. Pengujian ini menggunakan tingkat signifikan 0,05 dan 3 sisi. Langkah-langkah pengujiannya sebagai berikut:

- **Pengujian variabel kecepatan potong**

1. Menentukan hipotesis

Ho : v tidak berpengaruh terhadap angka Kekasaran Permukaan

Ha : v berpengaruh terhadap angka Kekasaran Permukaan

2. Menentukan t hitung dan signifikansi

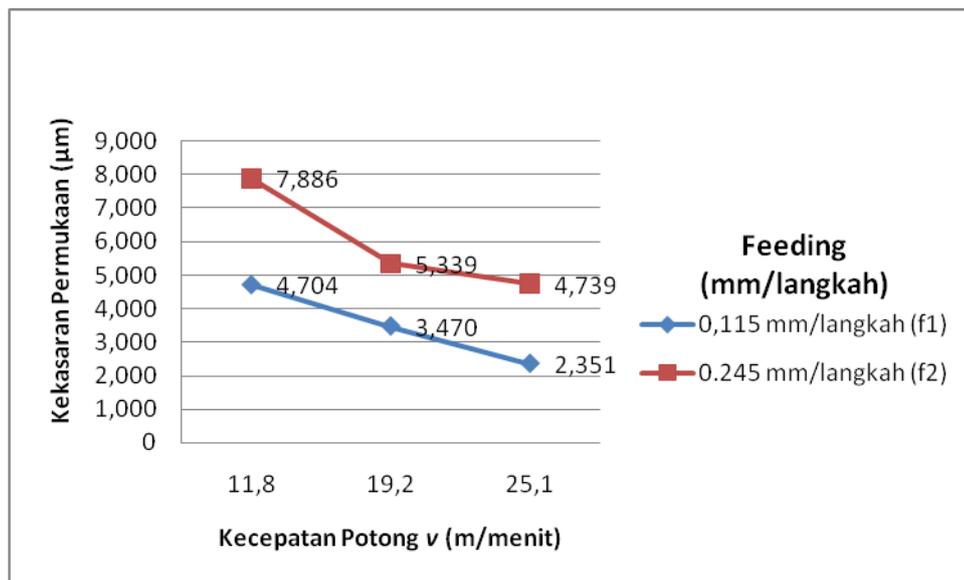
Dari output didapat t hitung sebesar -3.566 dan signifikansi sebesar 0,007

3. Menentukan t tabel pada tabel statistik pada signifikansi $0,05/3 = 0,01$ dengan derajat kebebasan $dF = n-k-1$ yaitu $12-3-1 = 8$. Sementara itu hasil yang diperoleh untuk t tabel sebesar -2,752. (tabel t)

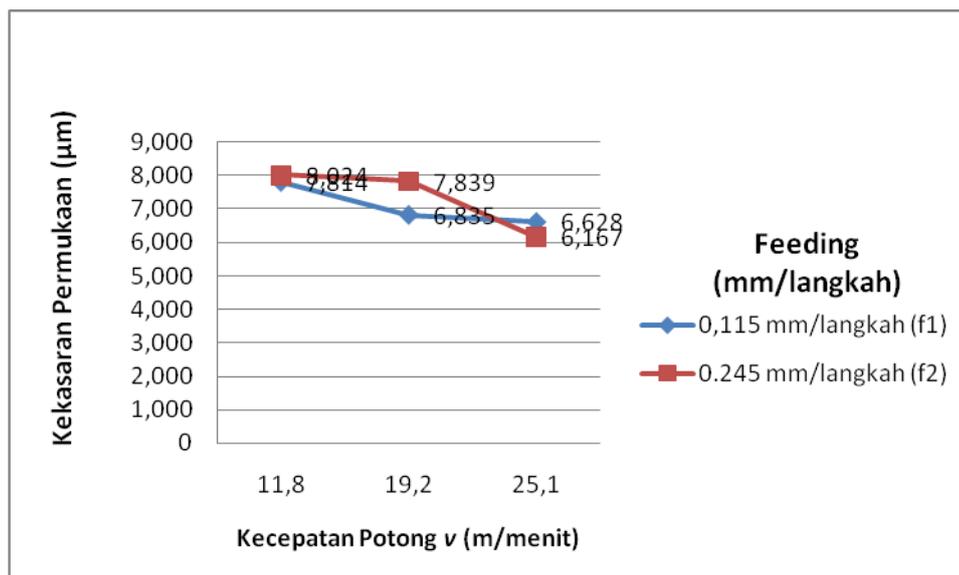
4. Jika $-t \text{ tabel} \leq t \text{ hitung} \leq t \text{ tabel}$, maka H_0 diterima dan jika $-t \text{ hitung} < -t \text{ tabel}$ atau $t \text{ hitung} > t \text{ tabel}$ maka H_0 ditolak.

5. Berdasar signifikansi $> 0,05$ maka H_0 diterima dan jika signifikansi $< 0,05$ maka H_0 ditolak.

Kesimpulan bahwa nilai t hitung $> t$ tabel ($3,566 > 2,752$) dan signifikansi $< 0,05$ maka H_0 ditolak. Jadi dapat disimpulkan bahwa kecepatan potong berpengaruh terhadap angka Kekasaran Permukaan dengan tingkat signifikan $0,007$.



Gambar 74. Pengaruh pertambahan kecepatan potong terhadap pertumbuhan Kekasaran Permukaan dengan kedalaman potong 0.075 mm, dan sudut geram pahat (*back rake angle*) $\gamma_0 = \text{negatif } 6^\circ$



Gambar 75. Pengaruh pertambahan kecepatan potong terhadap pertumbuhan Kekasaran Permukaan dengan kedalaman potong 0.075 mm, dan sudut geram pahat (*back rake angle*) $\gamma_0 = 0^\circ$

Dari gambar grafik pengaruh variasi kecepatan potong (v) pada masing-masing *back rake angle* (γ_0) dan nilai gerak pemakanan (*feeding*) yang sama, dengan memperbesar kecepatan potong akan menurunkan nilai Kekasaran Permukaan (μm). Pada saat menggunakan pahat dengan $\gamma_0 = \text{negatif } 6^\circ$ (gambar 74), hasil pengukuran Kekasaran Permukaan (μm) yang diperoleh pada $v = 11,8$ m/min menunjukkan angka 4,704 μm pada saat feeding 0,115 mm/langkah, ketika v dinaikkan menjadi 25,1 m/min angka Kekasaran Permukaan menjadi rendah yaitu 2,351 μm , turunnya Kekasaran Permukaan yang sangat besar terjadi ketika v dinaikkan menjadi 25,1 m/min. Hasil pengukuran Kekasaran Permukaan yang diperoleh pada variasi feeding 0,115 mm/langkah dan 0,245 mm/langkah, bahwa angka Kekasaran Permukaan semakin rendah ketika kecepatan potong dinaikkan pada tiap-tiap variasi *feeding*. Tidak jauh berbeda dengan pembahasan pada *back rake angle* $\gamma_0 = \text{negatif } 6^\circ$, pada saat proses penyekrapan menggunakan *back rake*

angle $\gamma_0 = 0^\circ$ (gambar 75), hasil yang diperoleh menunjukkan asumsi yang hampir sama dengan ulasan diatas, bahwa dengan menaikkan kecepatan potong angka Kekasaran Permukaan yang diperoleh akan semakin rendah pada tiap-tiap variasi *feeding*.

- **Pengujian variabel *feeding***

1. Hipotesis

Ho : f tidak berpengaruh terhadap angka Kekasaran Permukaan

Ha : f berpengaruh terhadap angka Kekasaran Permukaan

2. Menentukan t hitung dan signifikansi

Dari output didapat t hitung sebesar 2.782 dengan signifikansi 0,024

3. Menentukan t tabel pada tabel statistik pada signifikansi $0,05/3 = 0,01$

dengan derajat kebebasan $df = n-k-1$ yaitu $12-3-1= 8$. Sementara itu hasil yang

diperoleh untuk t tabel sebesar -2,752. (tabel t) Kesimpulan bahwa nilai t hitung > t

tabel ($2.782 > 2,752$) dengan signifikansi 0,004 maka *feeding* berpengaruh terhadap

angka Kekasaran Permukaan dengan signifikansi 0,024

Pada grafik prediksi Kekasaran Permukaan terhadap *back rake angle* γ_0 dengan *feeding*

bervariasi. Terlihat pada grafik bahwa dengan semakin besarnya *feeding* maka angka

Kekasaran Permukaan yang diperoleh akan semakin tinggi. Sebagai contoh, perbedaan

yang signifikan nampak pada setiap variasi *feeding* dan kecepatan potong. Pada (gambar

74) $f = 0,115$ mm/langkah dan *back rake angle* $\gamma_0 =$ negatif 6° , angka Kekasaran

Permukaan terendah yang diperoleh yaitu $2,351 \mu\text{m}$ dan pada $f = 0,245$ mm/langkah

pada *back rake angle* $\gamma_0 =$ negatif 6° angka Kekasaran Permukaan naik menjadi $4,739$

μm pada waktu dan kecepatan potong yang sama. Hasil yang serupa juga terjadi disetiap variasi *feeding* dan kecepatan potong pada *back rake angle* $\gamma_0 = 0^\circ$, bahwa dengan memperbesar *feeding* akan menaikkan Kekasaran Permukaan pada semua kecepatan potong pada tiap *back rake angle*.

- **Pengujian variabel *back rake angle* γ_0**

1. Hipotesis

Ho : γ_0 tidak berpengaruh terhadap angka Kekasaran Permukaan

Ha : γ_0 berpengaruh terhadap angka Kekasaran Permukaan

2. Menentukan t hitung dan signifikansi dari output didapat t hitung sebesar -5.031 dengan signifikansi 0,001. Menentukan t tabel pada tabel statistik pada signifikansi $0,05/3 = 0,01$ dengan derajat kebebasan $dF = n-k-1$ yaitu $12-3-1 = 8$. Sementara itu hasil yang diperoleh untuk t tabel sebesar -2,752. (tabel t) Kesimpulan bahwa nilai t hitung > t tabel ($5.031 > 2,752$) dengan signifikansi sebesar 0,001 maka *back rake angle* berpengaruh terhadap angka kekasaran permukaan dengan nilai signifikan 0,001.

Dari (gambar 74) pada saat menggunakan kecepatan potong (v) 25,1 m/min pada kedua variasi *back rake angle* γ_0 negatif 6° dan 0° tampak pada grafik menunjukkan meningkatnya angka kekasaran permukaan ketika f ditambah, kekasaran permukaan terendah pada saat γ_0 negatif 6° yaitu 2,351 μm dan angka kekasaran permukaan tertinggi yaitu 7,886 μm . Namun pada saat *back rake angle* γ_0 0° nilai kekasaran permukaan meningkat pada setiap *feeding*, kekasaran permukaan yang diperoleh 7,814

μm pada saat $f = 0,115 \text{ mm/langkah}$ dan kekasaran permukaan tertinggi yang diperoleh adalah $8,024 \mu\text{m}$ pada saat $f = 0,245 \text{ mm/langkah}$.

6. Output Casewise Diagnostics Kekasaran Permukaan

Standardized residual adalah nilai residual yang telah terstandarisasi, jika nilai semakin mendekati 0 maka model regresi semakin baik dalam melakukan prediksi. *Predicted Value* adalah nilai Y' atau nilai prediksi setelah adanya pengaruh variabel independen (X_1, X_2, X_3). *Residual* merupakan selisih antara angka kekasaran permukaan dengan *predicted value*.

Tabel 45. *Casewise Diagnostics*^a

Case Number	Std. Residual	kekasaran permukaan	Predicted Value	Residual
1	-.554	4.704	5.17538	-.471383
2	-.606	3.470	3.98507	-.515074
3	-.806	2.351	3.03604	-.685044
4	1.582	7.886	6.54072	1.345284
5	-.013	5.339	5.35041	-.011407
6	.397	4.739	4.40138	.337623
7	.199	7.814	7.64505	.168951
8	.447	6.835	6.45474	.380260
9	1.320	6.628	5.50571	1.122290
10	-1.160	8.024	9.01038	-.986383
11	.022	7.839	7.82007	.018926
12	-.828	6.167	6.87104	-.704044

a. Dependent Variabel: kekasaran permukaan

7. Output Residual Kekasaran Permukaan

Tabel dibawah menggambarkan tentang minimum, maksimum, rata-rata, standar deviasi, dan jumlah data dari residual.

Tabel 46. *Residuals Statistics^a*

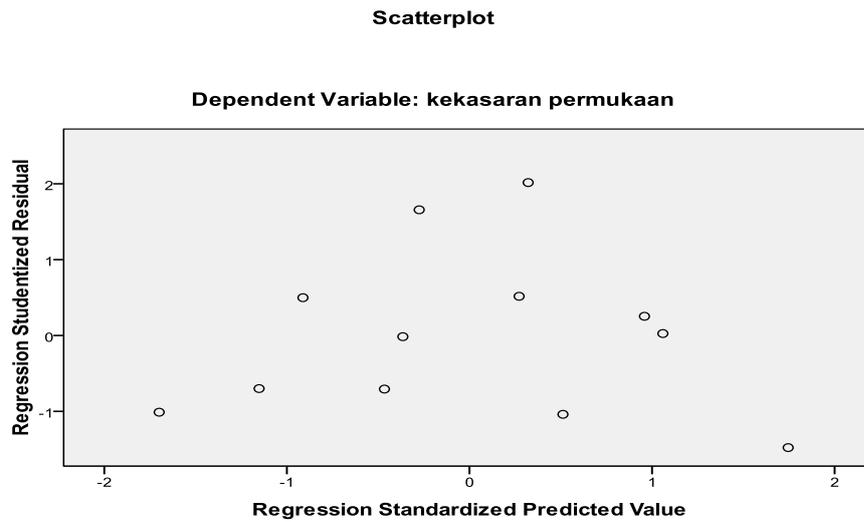
Residuals Statistics ^a					
	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	N
Predicted Value	.0168	.3566	.1908	.10508	12
Residual	-.01846	.02339	.00000	.01422	12
Std. Predicted Value	-1.656	1.578	.000	1.000	12
Std. Residual	-1.107	1.403	.000	.853	12

a. Dependent Variabel: keausan tepi

8. Output Scatterplot Kekasaran Permukaan

Digunakan untuk mendeteksi ada atau tidaknya penyimpangan asumsi klasik yaitu *heterosdiksitas* yang artinya variasi residual yang tidak sama pada semua pengamatan di dalam model regresi. Regresi yang baik seharusnya tidak terjadi *heterosdiksitas* dengan kriteria sebagai berikut:

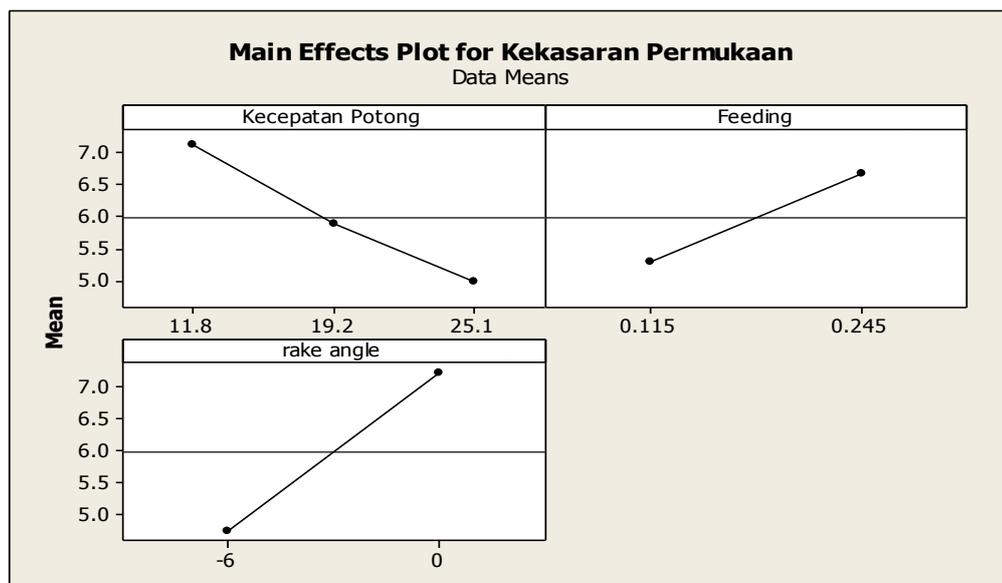
- Jika ada pola tertentu, seperti titik-titik yang ada membentuk suatu pola tertentu yang teratur (bergelombang, melebar, kemudian menyempit), maka terjadi *heterosdiksitas*.
- Jika tidak ada pola yang jelas (menyebarkan atas dan dibawah garis 0 sumbu y, maka tidak terjadi *heterosdiksitas*.



Gambar 76. Output Scatterplot

Dari output dapat diketahui bahwa titik-titik tidak membentuk pola yang jelas dan titik-titik menyebar di atas dan dibawah angka 0 pada sumbu y. Jadi dapat disimpulkan bahwa tidak terjadi heterosdiksitas pada model regresi.

9. Output Main Effect Plot Kekasaran Permukaan



Gambar 77. Grafik Main Effect Plot untuk variabel dependent kekasaran permukaan.

Digunakan untuk mengetahui ada atau tidaknya pengaruh utama dari variabel yang artinya variasi residual yang tidak sama pada semua pengamatan di dalam model regresi. Dari gambar grafik diatas dapat dilihat bahwa kecepatan potong, gerak makan, dan sudut geram pahat memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kekasaran permukaan dapat diketahui bahwa titik-titik membentuk pola yang jelas, yaitu kekasaran permukaan menurun seiring dengan meningkatnya kecepatan potong dan semakin rendahnya gerak makan, dalam penelitian ini kekasaran permukaan akan menurun dalam penggunaan sudut geram pahat (*back rake angle* γ_0) negatif 6° .

Dari analisis variansi pada penelitian ini dapat disimpulkan bahwa variabel kecepatan potong mempengaruhi secara signifikan terhadap nilai keausan tepi pahat karbida WC-TiC-TaC-Co. Sedangkan sudut geram pahat (*back rake angle*) mempengaruhi secara signifikan terhadap nilai kekasaran permukaan. Berikut ini adalah tabel persentase pengaruh variabel yang mempengaruhi keausan pahat karbida WC-TiC-TaC-Co dan kekasaran permukaan baja karbon tinggi K460 pada penelitian ini.

Tabel 47. Tabel persentase pengaruh variabel terhadap keausan tepi dan kekasaran permukaan

NO.	Variabel	Coefficients (t)	% Terhadap Keausan tepi VB
1.	Kecepatan Potong (V)	$\pm 18,686$	$\pm 59,98 \%$
2.	Gerak Makan (f)	$\pm 3,982$	$\pm 12,78 \%$

3.	Sudut Geram Pahat (γ_0)	$\pm 8,484$	$\pm 27,24 \%$
			$\pm 100 \%$
NO.	Variabel	Coefficients (t)	% Terhadap Kekasaran permukaan R_a
1.	Kecepatan Potong (V)	$\pm 3,566$	$\pm 31,34 \%$
2.	Gerak Makan (f)	$\pm 2,782$	$\pm 24,45 \%$
3.	Sudut Geram Pahat (γ_0)	$\pm 5,031$	$\pm 44,21 \%$
			$\pm 100 \%$

Hasil di atas menunjukkan bahwa kecepatan potong adalah variabel yang paling berperan terhadap timbulnya keausan tepi pahat, dan sudut geram pahat adalah variabel yang paling berperan terhadap timbulnya kekasaran permukaan. Hasil ini sesuai dengan grafik *main effect plot* yang menempatkan kecepatan potong sebagai variabel yang paling signifikan terhadap timbulnya keausan tepi pahat, dan sudut geram pahat adalah variabel yang paling signifikan terhadap timbulnya kekasaran permukaan.

H. Umur Pahat Karbida

Pertumbuhan keausan tepi (VB) umumnya mulai dengan pertumbuhan yang relatif cepat sesaat setelah pahat digunakan, diikuti pertumbuhan linier setaraf dengan bertambahnya waktu pemotongan (Jumlah waktu yang digunakan untuk proses memotong), dan kemudian pertumbuhan yang cepat terjadi lagi. Saat dimana pertumbuhan keausan cepat mulai berulang lagi dianggap sebagai batas umur pahat, dan hal ini umumnya terjadi pada harga keausan tepi (VB) yang relatif sama untuk kecepatan potong yang berbeda (Rochim,1993). Persamaan

yang menunjukkan hubungan kecepatan potong dengan umur pahat pertama kali dikemukakan oleh Frederick Winslow Taylor pada tahun 1907. Untuk harga yang tetap bagi batas dimensi keausan kritis serta kombinasi pahat dan benda kerja tertentu (tabel 3), maka hubungannya sebagai berikut :

$$vT^n = C$$

Keterangan :

v = kecepatan potong, (*cutting speed*) m/min

T = umur pahat, (*tool life*) menit

n = eksponen penyimpangan dari alur tergantung pada kondisi pemotongan

C = konstanta = penahanan pada poros kecepatan

Persamaan di atas dikenal dengan nama (*Generalized Taylor's Equation*) Persamaan Umur Pahat Taylor. Harga konstanta C dan eksponen n diperoleh dengan melakukan praktek pemotongan/pemesinan material benda kerja. Semakin kecil harga eksponen n , maka umur pahat yang bersangkutan sangat dipengaruhi oleh kecepatan potong. Batas keausan tepi untuk pahat Karbida dengan material benda kerja baja adalah sebesar 0,2 mm sampai 0,6 mm dengan waktu pemotongan yang berbeda (Rochim, 1993). Dari tabel 22 dan 23 didapatkan persamaan untuk mendeterminasikan harga konstanta C dan eksponen n sehingga didapat persamaan umur pahat Taylor sebagai berikut:

$$\diamond v_1 = 25,1 \text{ m/min}, T_1 = 1 \text{ menit},$$

$$\diamond v_2 = 19,2 \text{ m/min}, T_2 = 2 \text{ menit}, \text{ maka dapat dimasukkan kedalam persamaan}$$

$$\diamond vT^n = C \quad (\text{Rochim, 1993})$$

$$\diamond \quad v_1 T_1^n = v_2 T_2^n \quad (\text{Groover, 2000})$$

- 25,1 m/min $(1)^n = C$
- 19,2 m/min $(2)^n = C$, hitung dalam perhitungan sebagai berikut:

$$\Rightarrow 25,1 \text{ m/min } (1)^n = 19,2 \text{ m/min } (2)^n$$

$$\Rightarrow \ln(25,1) + n \ln(1) = \ln(19,2) + n \ln(2)$$

$$\Rightarrow 3,2228 + (0) n = 2,9549 + 0,693 n$$

$$\Rightarrow 3,2228 - 2,9549 = -(0) n + 0,693 n$$

$$\Rightarrow 0,2679 = 0,693 n$$

$$\Rightarrow n = \frac{0,2679}{0,693} = \mathbf{0,3865}$$

- Substitusikan nilai n kedalam persamaan untuk mendapatkan nilai C

$$C = 25,1 (1)^{0,3865} = 25,1 \quad \text{atau} \quad C = 19,2 (2)^{0,3865} = 25,0985 = 25,1$$

Maka didapat nilai $C = \mathbf{25,1}$

Sehingga didapatkan persamaan rumus umur pahat Taylor untuk proses pemesinan sekrap baja karbon tinggi K460 dengan menggunakan pahat karbida WC-TiC-TaC-Co adalah :

$$vT^{0,3865} = \mathbf{25,1}$$

Untuk membuktikan rumus persamaan umur pahat tersebut benar, perlu dilakukan uji persamaan $vT^{0,3865} = \mathbf{25,1}$ dengan memasukan nilai kecepatan yang ada pada penelitian. Misalkan, kecepatan potong $v = 19,2$ m/min. berapakah umur pahat yang dapat dihasilkan dengan persamaan $vT^{0,3865} = \mathbf{25,1}$

$$\Rightarrow v = 19,2 \text{ m/min}$$

$$\Rightarrow vT^{0,3865} = 25,1$$

$$\Rightarrow 19,2 T^{0,3865} = 25,1$$

$$\Rightarrow T^{0,3865} = 25,1 / 19,2$$

$$\Rightarrow T^{0,3865} = 1,307$$

Misalkan, $a = T$, $b = 1,307$, dan $c = 0,3865$

Maka, $a \log b = c \Rightarrow b = a^c \Rightarrow \frac{\log b}{\log a} = c$ dan,

$$a \log b = \frac{c \log b}{c \log a} = \frac{1}{b^c \log a}$$

$$\Rightarrow \frac{0,3865 \log 1,307}{0,3865 \log T} = 0,3865$$

$$\Rightarrow \log T = \frac{\log 1,307}{0,3865}$$

$$\Rightarrow \log T = 0,3008$$

$$\Rightarrow T = 10^{0,3008}$$

$$\Rightarrow T = 1,9989 \text{ menit} = 2 \text{ menit}$$

Terbukti pada (tabel 23) kecepatan potong $v = 19,2$ m/min pada waktu $T = 2$ menit, pahat karbida WC-TiC-TaC-Co sudah mencapai batas keausan 0,22 mm dan 0,25 mm sesuai dengan batas keausan kritis untuk karbida (tabel 3) yang ditentukan pada penelitian ini yaitu 0,2 mm sampai 0,6 mm (Rochim 1993).

Tabel 48. Umur pahat Taylor untuk proses pemesinan sekrap baja karbon tinggi K460 dengan menggunakan pahat karbida WC-TiC-TaC-Co.

Kecepatan Potong (v) m/min	Persamaan Rumus Umur Pahat Taylor	Batas Keausan Tepi Pahat Karbida	Waktu Pemotongan aktual penelitian (tc)menit (tabel 23)	Umur pahat (T) menit
11,8 m/min (V_1)		0,2 mm sampai dengan 0,6 mm	- (belum aus)	7,048 menit
19,2 m/min (V_2)			2 menit	2,002 menit

25,1 m/min (V_3)	$vT^{0,3865} = 25,1$	(tabel 3)	1 menit	1 menit
----------------------	----------------------	-----------	---------	---------

Pada Tabel umur pahat Taylor dijelaskan perbandingan umur pahat yang menyatakan keausan tepi telah mencapai batas keausan kritis untuk karbida pada penelitian ini yaitu 0,2 mm (tabel 3).

Dalam penelitian ini meningkatnya kecepatan potong sangat mempengaruhi waktu pemotongan aktual dan begitu juga dengan hasil perhitungan umur pahat yang berdasarkan perhitungan persamaan umur pahat Taylor, pada kecepatan (v_1) 11,8 m/min pada penelitian ini pahat karbida WC-TiC-TaC-Co belum mengalami keausan tepi dalam waktu yang telah ditetapkan pada penelitian yaitu 2 menit, akan tetapi dalam perhitungan persamaan umur pahat Taylor yang didapat dalam penelitian ini menyatakan pahat dengan kecepatan (v_1) 11,8 m/min akan mengalami keausan tepi yang telah mencapai batas keausan kritis 0,2 mm dalam waktu pemotongan 7,048 menit. Umur pahat pada setiap kecepatan potong yang berbeda dalam penelitian ini memiliki hasil yang sama dengan waktu pemotongan aktual penelitian, dan hal ini menyatakan persamaan rumus umur pahat Taylor untuk proses pemesinan sekrup baja karbon tinggi K460 dengan menggunakan pahat karbida WC-TiC-TaC-Co yaitu $vT^{0,3865} = 25,1$ terbukti benar.

V. SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan terhadap spesimen uji Baja Karbon Tinggi K460, mengenai keausan pahat karbida dan kekasaran permukaan ditinjau dari pengaruh kecepatan potong, gerak makan dan sudut geram pahat, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari hasil pengolahan data keausan tepi secara statistik dapat diketahui bahwa persentase pengaruh variabel independen terhadap variabel dependen yaitu sebesar 98,2% serta R yaitu 0,991 yang mendekati 1. Artinya secara bersama-sama kecepatan potong, gerak makan (*feeding*) dan sudut geram pahat (*back rake angle*) berhubungan erat terhadap perubahan angka keausan tepi pahat..
2. Dari pengujian secara parsial diperoleh kesimpulan bahwa kecepatan potong (v) dan sudut geram pahat (*back rake angle* γ_0) memiliki signifikansi 0,000. Sedangkan gerak makan (*feeding*) lebih berpengaruh secara signifikansi 0,004 terhadap keausan tepi pahat karbida.

3. Dari hasil pengolahan data kekasaran permukaan secara statistik dapat diketahui bahwa persentase pengaruh variabel independen terhadap variabel dependen yaitu sebesar 85,1% serta R yaitu 0,923 yang mendekati 1. Artinya secara bersama-sama kecepatan potong, gerak makan (*feeding*) dan sudut geram pahat (*back rake angle*) berhubungan erat terhadap perubahan angka kekasaran permukaan.
4. Bila ditinjau secara parsial maka faktor yang paling besar pengaruhnya terhadap keausan tepi VB adalah kecepatan potong (V) yang memiliki persentase $\pm 59,98$ % dan yang paling kecil pengaruhnya adalah Gerak Makan (f) dengan persentase $\pm 12,78$ %
5. Dengan meningkatnya kecepatan potong (V), maka angka keausan tepi (VB) pahat yang diperoleh akan semakin tinggi pada setiap penambahan kecepatan potong.
6. Persamaan rumus umur pahat Taylor untuk proses pemesinan sekrup baja karbon tinggi K460 dengan menggunakan pahat karbida WC-TiC-TaC-Co diperoleh harga eksponen $n = 0,3865$ dan konstanta $C = 25,1$. Sehingga persamaan umur pahat Taylor adalah $vT^{0,3865} = 25,1$.

B. SARAN

1. Untuk mendapatkan proses pemesinan yang bervariasi agar pada penelitian selanjutnya menggunakan proses bubut atau mesin CNC yang memiliki spesifikasi yang besar dan memiliki kecepatan potong yang tinggi dan konstan dalam skala industri.
2. Untuk memperoleh permukaan benda hasil penyekrapan yang optimal, sebaiknya pada proses pemesinan sekrap (*shaping*) menggunakan gerak makan yang tinggi, sudut geram pahat (*back rake angle* γ_0) negatif dan kecepatan potong yang tinggi menyesuaikan material dari pahat dan benda kerja.
3. Untuk mendapatkan hasil pengukuran keausan tepi yang optimal agar pada penelitian selanjutnya menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscope*) yang lebih memiliki keakuratan pembesaran yang tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Amanto, Hari. Daryanto. 2003. *Ilmu Bahan*. PT Bumi Aksara. Jakarta.
- Boenasir. 1994. *Mesin Perkakas Produksi*. Semarang.
- Bohler, 2005. *High Grade Steels*. PT. Bhinneka Bajasas. Jakarta
- Djaprie, Sriatie, 1990. *Teknologi Mekanik*, Erlangga. Jakarta
- Dietser, George E, Sriatie Djaprie, 1987. *Metalurgi Mekanik Jilid 1 Edisi Ketiga*, Erlangga. Jakarta
- Daryanto. 1993. *Mesin Perkakas Bengkel*. Rineka Cipta. Jakarta.
- Daryus, Asyari, 2005. *Proses Produksi II Universitas Darma Persada*. Jakarta.
- Dawson. 2002, “*Wear Behavior Of Ceramic-Coated And Uncoated Polycrystalline Cubic Boron Nitride Cutting Tools When Machining Hardened Aisi 52*”. Ph.D. Dissertation. Georgia Institute of Technology.
- European Journal of Scientific Research ISSN 1450-216X Vol.21 No.4 (2008), pp.592-602 © Euro Journals Publishing, Inc. 2008 <http://www.eurojournals.com/ejsr.htm>
- E.O. Ezugwu, J. Bonney, Y. Yamane, 2003. An overview of the machinability of aeroengine alloys, *J. Mater. Process. Technol.* 134 (2003) 233–253.
- Ginting, Armansyah 2004. *Kehausan Pahat Pematong Karbida*. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara.
- Groover, M. P. 2000, *Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems, 2nd edition*, Prentice Hall. Wiley.
- Haryadi, Dwi G. 2005. *Pengaruh Suhu Tempering Terhadap Kekerasan Struktur Mikro Dan Kekuatan Tarik Pada Baja K-460* Jurusan Teknik Mesin FT-UNDIP. Yogyakarta.
- ISO 3685 (1977) (E): Tool-life Testing with Single Point, International standard.

- Kalpajian, Serope. 1995. *Manufacturing Process For Engineering Material 3th Edition*. MC Graw-Hill. USA.
- Krar, Steve F. Rapisarda, Mario. Check, albert F. 1997. “ *Machine Tool and Manufacturing Technology*”. Dalmar Publisher. USA.
- Kyocera, *Kyocera Cutting Tool Carbide*, 16 April 2010
<http://www.kyocera.co.jp/ceratip>
- Munadi, Sudji. 1988. *Dasar-dasar Metrologi Industri*. Departemen P dan K. Jakarta.
- M.A. Lajis. 2003, *Faculty of Mechanical and Manufacturing Engineering, UTHM, Malaysia* E-mail: amri@uthm.edu.my
- Onwubolu, G.C, 2006. “Cutting tool technology”, *lectures in south pacific university* EN 233.
- Purwantara, I Wayan. 2006. *Pengaruh Parameter Kecepatan Potong dan Langkah Pemakanan Pada Proses Permesinan Sekrap Terhadap Laju Korosi Baja Tahan Karat AISI 304 Dalam Lingkungan Asam Sulfat*. Fakultas Teknik Universitas Lampung.
- Priambodo, Bambang. 1992. *Teknologi Mekanik II*. Erlangga. Jakarta.
- Priyatno, Duwi. 2008. *Mandiri Belajar SPSS*. Media Kom. Yogyakarta.
- Rochim, Taufiq. 1993. “*Teori dan Teknologi Proses Pemesinan*”.ITB. Bandung.
- Rochim, Taufik. 2001. “*Spesifikasi, Metrologi, dan Kontrol Kualitas Geometrik*” Industrial Metrology Laboratory Mechanical dan Production Engineering (MPE). FTI-ITB Bandung.
- Ristanto, Bambang. 2006. *Pengaruh feeding terhadap tingkat kekasaran permukaan pada proses penyekrapan rata dengan spesimen baja karbon*. Pendidikan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang.
- Surdia, Tata. 1984. *Pengetahuan Bahan Teknik. Pradnya Paramita*. Bandung.
- Sanvik Coromant, 2003, *Technical Information:Tool Wear*, 12 Maret 2004.
<http://www2.coromant.sandvik.com/coromant/products/steelturning/pdf/>
- Trent, Edward Moor, Paul K. Wright. 2000. *Metal Cutting 4th Edition*. Butterworth-Heinemann. USA.
- Widarto, 2008. *Teknik Pemesinan Jilid 2 untuk SMK*. Departemen Pendidikan Nasional. Jakarta.

LAMPIRAN A

Data Uji Kekerasan, Pengukuran Keausan Tepi Dan Kekasaran Permukaan

LAMPIRAN B

Sertifikat Baja K460

T Table

F Table

Tabel Durbin - Watson