

ANALISA UMUR PAHAT KARBIDA DENGAN MENGGUNAKAN BAHASA PEMROGRAMAN C++

Ilyas Yusuf dan Bukhari
Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Lhokseumawe

Abstrak

Dalam suatu proses pemesinan suatu jenis pahat hanya bisa dipakai secara optimum bagi suatu jenis benda kerja dan kondisi pemesinan tertentu pula. Perhitungan dan penentuan lamanya pemakaian suatu jenis pahat (umur pahat) besar pengaruhnya terhadap kualitas geometri benda hasil proses. Sebelum suatu proses pemesinan dilakukan terlebih dahulu direncanakan kondisi pemesinan dengan memperhatikan variabel-variabel seperti kecepatan potong, gerak makan, kedalaman potong dan juga umur pahat. Perhitungan dan penentuan kondisi pemesinan yang optimum yang biasanya akan memakan waktu lama yang akibatnya akan menambah waktu produksi. Untuk efisiensi waktu perencanaan salah satunya bisa dilakukan dengan cara membuat program perhitungan umur pahat dengan menggunakan bahasa pemrograman Borland C++, yang secara otomatis dapat menentukan umur pahat berdasarkan kondisi proses pemesinan yang diinputkan. Program ini nantinya akan bermanfaat bagi programmer/operator mesin untuk mempersingkat waktu perencanaan sehingga akan menekan waktu produksi secara keseluruhan.

Kata Kunci: Umur pahat, flank wear, kedalaman potong, gerak makan, kecepatan potong

PENDAHULUAN

Proses pemesinan atau proses pemotongan logam dengan menggunakan perkakas potong (pahat) merupakan salah satu jenis proses untuk merubah bentuk suatu produk dari logam menjadi suatu suku cadang atau benda kerja tertentu.

Pahat yang dipakai pada suatu proses pemesinan tidak akan selamanya bisa berfungsi dengan baik, tetapi semakin lama digunakan maka pahat akan menunjukkan kegagalan proses. Terjadinya kerusakan atau keausan pahat akan sangat berpengaruh terhadap kualitas produk. Keausan pahat akan tumbuh atau membesar dengan bertambahnya waktu pemotongan sampai pada suatu saat pahat yang bersangkutan dianggap tidak dapat digunakan lagi karena telah ada tanda-tanda tertentu yang menunjukkan bahwa umur pahat telah habis.

Pengukuran dimensi keausan secara langsung memerlukan penghentian proses pemesinan, pengambilan pahat, pengukuran keausan dengan mikroskop dan pemasangan kembali. Dalam praktek hal ini tidak selalu dapat dilakukan, terutama dalam proses produksi yang sesungguhnya dimana gangguan atas kelancaran

proses produksi tidaklah diizinkan. Oleh karena itu, maka diperlukan perhitungan umur pahat secara teoritis untuk meminimalkan terjadinya gangguan terhadap proses produksi.

Keausan mata pahat sangat tergantung dari kondisi proses pemesinan yang dilakukan. Untuk memaksimalkan pemakaian pahat maka sebelum suatu proses dijalankan maka perlu terlebih dahulu diketahui kondisi pemesinan terbaik terhadap pahat tersebut sesuai dengan jenis material pahat dan material benda kerja.

TEORI DASAR

Elemen Dasar Proses Bubut

Sebelum melakukan suatu proses pemesinan terlebih dahulu kita harus merencanakan kondisi pemesinan supaya produk yang dihasilkan sesuai dengan yang diinginkan. Untuk dapat merencanakan kondisi pemesinan tersebut ada 5 (lima) elemen dasar proses pemesinan yang harus kita pertimbangkan, yaitu :

1. Kecepatan potong (cutting speed) ; v (m/min),

$$v = \frac{r \cdot d \cdot n}{1000}$$

dimana diameter rata-rata, $d = (d_o + d_m)/2$

n = putaran spindel; rev/min
 d_o = diameter mula; mm, dan d_m = diameter akhir; mm

2. Kecepatan makan (feeding speed) ; v_f (mm/min)

$$v_f = f \cdot n$$

dimana f = gerak makan; mm/rev

3. Kedalaman potong (depth of cut) ; a (mm),

$$a = \frac{d_o - d_m}{2} ; mm$$

4. Waktu pemotongan (cutting time) ; t_c (min), dan

$$a = \frac{d_o - d_m}{2} ; mm$$

5. Kecepatan penghasilan geram (rate of metal removal) ; Z (cm³/min)

$Z = A \cdot v$; dimana penampang geram sebelum terpotong, $A = b \cdot h = f \cdot a$; mm²

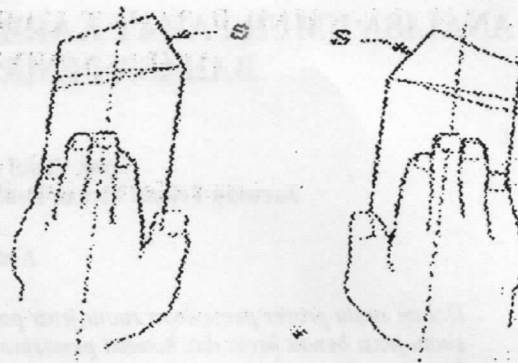
Elemen proses pemesinan tersebut dihitung berdasarkan dimensi benda kerja dan/atau pahat serta besaran dari mesin perkakas. Besaran mesin perkakas yang dapat diatur ada bermacam-macam tergantung pada jenis mesin perkakas. Oleh sebab itu, rumus yang dipakai untuk menghitung setiap elemen proses pemesinan dapat berlainan.

Bentuk dan Geometrik Pahat

Pahat potong adalah alat yang berfungsi untuk mengurangi atau membentuk bagian-bagian tertentu dari suatu benda kerja sampai ukuran tertentu serta kualitas permukaan potong seperti direncanakan.

Menggolongkan pahat dalam 3 (tiga) bagian utama yaitu : elemen, bidang aktif dan mata potong pahat [3].

Beberapa bagian pahat dapat didefinisikan sesuai dengan gambar (2.1) adalah sebagai berikut :



Gambar 2.1 Bagian-bagian dari pahat
 Sumber : Taufiq Rochim (1993, 53)

Elemen Pahat :

- Badan (Body) ; bagian pahat yang dibentuk menjadi mata potong atau tempat untuk sisipan pahat (dari karbida atau keramik)
- Pemegang/gagang (Shank) ; bagian pahat untuk dipasangkan pada mesin perkakas
- Sumbu pahat (Tool Axis) ; garis maya yang digunakan untuk mendefinisikan geometri pahat. Umumnya merupakan garis tengah dari pemegang atau lubang pahat
- Dasar (Base) ; bidang rata pada pemegang untuk meletakkan pahat sehingga mempermudah proses pembuatan, pengukuran ataupun pengasahan pahat

Bidang pahat ; merupakan permukaan aktif pahat. Jumlah pahat sesuai dengan jumlah mata potongnya.

3 (tiga) bidang aktif dari pahat adalah :

- Bidang Geram (Ay, face) ; bidang di atas mana geram mengalir
- Bidang Utama/Mayor (Ax, Principa/mayor flank) ; bidang yang menghadap permukaan transien dari benda kerja. Permukaan transien benda kerja akan terpotong akibat gerakan pahat relatif terhadap benda kerja
- Bidang Bantu/Minor (Ax, Auxilary/minor flank) ; bidang yang menghadap permukaan terpotong dari benda kerja

Mata potong ; tepi dari bidang geram yang aktif memotong. Ada 2 (dua) jenis mata potong yaitu :

- Mata potong utama/mayor (S, Principa/mayor cutting edge) ; garis perpotongan antara bidang geram dengan bidang utama
- Mata potong bantu/minor (S, Auxilary/minor cutting edge) ; garis perpotongan antara bidang geram dengan bidang bantu
- Mata potong utama bertemu dengan mata potong bantu pada pojok pahat.

Pertumbuhan Keausan Mata Pahat

Proses pembentukan geram dengan cara pemesian berlangsung dengan cara mempertemukan dua jenis material. Untuk menjamin kelangsungan proses ini maka diperlukan material pahat yang lebih unggul dari pada material benda kerja [3]. Keunggulan tersebut dapat dicapai karena pahat dibuat dengan memperhatikan berbagai jenis yaitu :

- Kekerasan; yang cukup tinggi melebihi kekerasan benda kerja tidak saja pada temperatur ruang tetapi juga pada temperatur tinggi pada saat proses pemesian berlangsung
- Keuletan; yang cukup besar untuk menahan beban kejut yang terjadi sewaktu pemesian dengan interupsi maupun sewaktu memotong benda kerja yang mengandung partikel/bagian yang keras
- Ketahanan beban kejut termal; diperlukan bila terjadi perubahan temperatur yang cukup secara berkala/periodik
- Sifat adhesi rendah; untuk mengurangi afinitas benda kerja terhadap pahat, mengurangi laju keausan, serta penurunan gaya pemotongan
- Daya larut elemen/komponen material pahat yang rendah; dibutuhkan demi untuk memperkecil laju keausan akibat mekanisme difusi

Pada umumnya keausan dapat didefinisikan sebagai perpindahan/pengangkatan atau pergantian/perubahan lokasi dari material, yang timbul dari persentuhan dua benda padat [1].

Semakin besar keausan/kerusakan 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. Kerusakan fatal seperti ini akan menyebabkan gaya pemotongan akan sangat tinggi sehingga dapat merusak seluruh pahat, mesin perkakas dan benda kerja serta dapat membahayakan operator yang melayani mesin tersebut. Untuk menghindari hal tersebut maka ditetapkan suatu batas harga keausan maksimum yang dianggap sebagai batas kritis dimana pahat tidak boleh digunakan lagi.

Kriteria Umur Pahat

Pada dasarnya dimensi keausan menentukan batasan umur pahat, dengan demikian kecepatan pertumbuhan keausan menentukan laju saat

berakhirnya masa guna pahat. Pertumbuhan keausan tepi (*flank wear*) pada umumnya dimulai dengan pertumbuhan yang relatif cepat sesaat setelah pahat digunakan, diikuti pertumbuhan yang linear setaraf dengan bertambahnya waktu pemotongan, dan kemudian pertumbuhan yang cepat terjadi lagi. Saat dimana pertumbuhan keausan cepat mulai berulang lagi dianggap sebagai batas umur pahat.

Dengan menentukan kriteria saat habisnya umur pahat seperti di atas, maka umur pahat dapat ditentukan yaitu mulai dengan pahat baru (setelah diasah) sampai pahat yang bersangkutan dianggap tidak bisa digunakan lagi. Dimensi dari umur pahat merupakan besaran waktu (minute), yang dapat dihitung secara langsung maupun secara tidak langsung dengan mengorelasikan terhadap besaran lain. Hal tersebut dimaksudkan untuk mempermudah prosedur perhitungan sesuai dengan jenis pekerjaan yang dilakukan. Salah satu perhitungan umur pahat yang bisa digunakan sebagai berikut :

$$v \cdot T_n = C \cdot f^p \cdot a^{-q}$$

Dimana :

T = umur pahat (min)

v = kecepatan potong (m/min)

f = gerak makan (mm/r)

a = kedalaman potong (mm)

C = konstanta untuk suatu batasan keausan maksimum (m/min)

p = pangkat untuk tebal geram sebelum terpotong

q, n = konstanta

METODE PERANCANGAN

Prosedur Pemrograman

Prosedur atau langkah-langkah yang dilakukan dalam pemrograman ini adalah sebagai berikut :

- Melakukan studi kepustakaan yang berkaitan dengan teori persamaan matematis yang dapat dimanfaatkan untuk perhitungan umur pahat
- Mempelajari sistem kerja bahasa pemrograman Borland C++ versi 5.0 yang nantinya akan digunakan dalam pembuatan Program Umur Pahat
- Membuat diagram alir (flow chart) Untuk Program Umur Pahat
- Membuat program umur pahat yang secara otomatis dapat langsung menentukan umur pahat untuk berbagai kondisi pemesian

Alat Yang Digunakan

Alat yang digunakan dalam pemrograman ini adalah sebuah komputer Pentium 233 MMX dengan bahasa pemrograman Borland C++ versi 5.0.

PEMBAHASAN

Kondisi Pemesinan

Secara umum kondisi pemesinan yang diizinkan untuk pahat karbida dapat dilihat pada tabel (4.1 dan 4.2) dibawah ini :

Tabel 4.1 Kondisi pemesinan untuk pahat karbida

Klasifikasi pemesinan benda kerja	Pahat Karbida						A	f
	WIDIA	ISO	N	P	q	C	Mm	mm/r
6	TTF	P 01	0,22	0,21	0,11	350	1-4	0,1-0,4
	TTX	P 10	0,22	0,26	0,11	298	1-10	0,1-1,0
	TTS	P 20	0,22	0,34	0,12	226	1-12	0,15-1,2
	TTR	P 30-40	0,22	0,43	0,43	171	1-16	0,2-1,2
	TG/TN	P 10-30	0,19	0,28	0,11	306	1-10	0,15-1,0
	TR	P 10-40	0,19	0,42	0,12	211	2-16	0,2-1,2
7	TTF	P 01	0,19	0,24	0,11	280	1-4	0,1-0,4
	TTX	P 10	0,19	0,29	0,11	237	1-10	0,1-1,0
	TTS	P 20	0,19	0,37	0,12	177	1-12	0,15-1,2
	TTR	P 30-40	0,19	0,46	0,14	137	1-16	0,2-1,2
	TG/TN	P 10-30	0,16	0,31	0,11	234	1-10	0,15-1,0
	TR	P 10-40	0,16	0,45	0,12	168	2-16	0,2-1,2
8	TTF	P 01	0,16	0,27	0,12	224	1-4	0,1-0,4
	TTX	P 10	0,16	0,32	0,12	190	1-10	0,1-1,0
	TTS	P 20	0,16	0,40	0,13	142	1-12	0,15-1,0
	TTR	P 30-40	0,16	0,49	0,14	108	1-16	0,2-1,0
	TG/TN	P 10-30	0,14	0,34	0,12	198	1-10	0,15-1,0
	TR	P 10-40	0,14	0,48	0,13	133	2-16	0,15-1,0
12	THF	K 01	0,29	0,14	0,10	454	2-5	0,1-0,5
	AT 10	M 10	0,29	0,19	0,11	408	2-12	0,1-1,0
	AT15/THM	M20/K20	0,29	0,23	0,12	355	2-16	0,2-1,6
	TG/TN	M10-20	0,29	0,16	0,12	452	2-16	0,15-1,6

Sumber : Taufiq Rochim (1993 : 133)

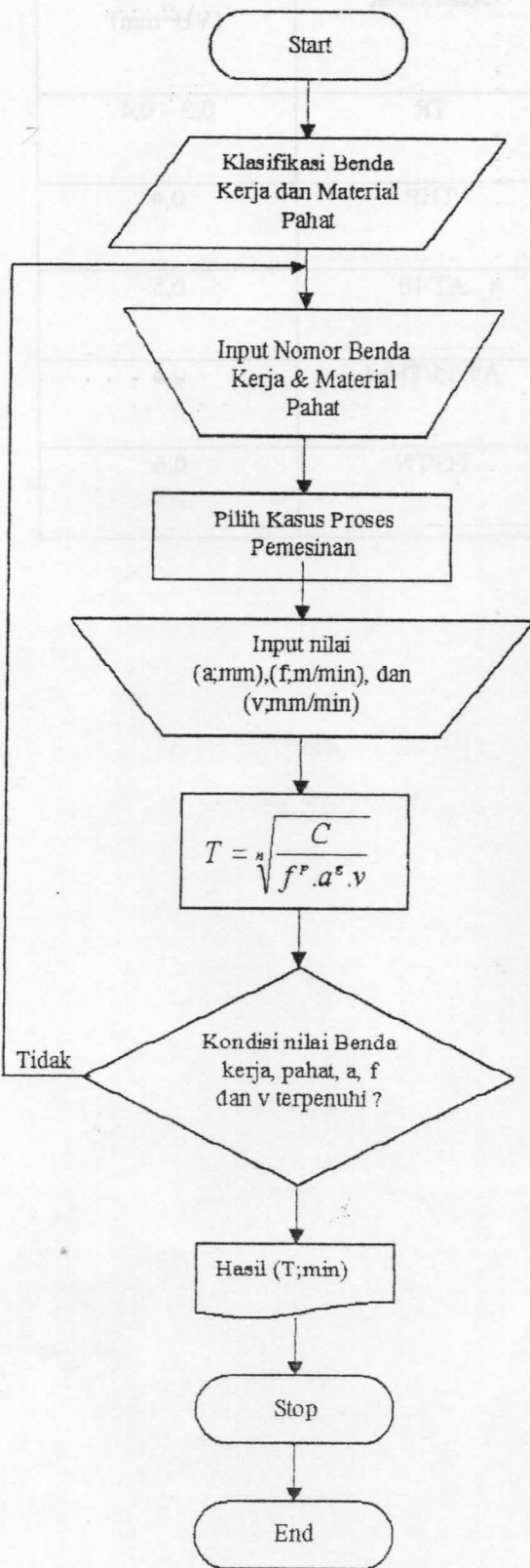
Tabel 4.2 Batasan keausan maximum untuk mencapai umur pahat

Jenis Pahat	Keausan (VB-mm)	Jenis Pahat	Keausan (VB-mm)
TTF	0,2	TR	0,3 - 0,4
TTX	0,3 - 0,4	THF	0,4
TTS	0,4 - 0,5	AT 10	0,5
TTR	0,6	AT 15/THM	0,6
TG/TN	0,3 - 0,4	TG/TN	0,6

Sumber : Taufiq Rochim (1993 : 133)

Diagram Alir (flow Chart) Program

Diagram Alir (flow Chart) dari program perhitungan umur pahat yang akan dibuat pada gambar (2.2) adalah sebagai berikut :



Pembuatan Program Perhitungan Umur Pahat

Pembuatan program untuk menghitung umur pahat dilakukan dengan menggunakan bahasa pemrograman Borland C++ versi 5 dengan memanfaatkan rumus Taylor untuk umur pahat, yaitu :

$v.T_n = C.f.p.a-q,$
dengan batasan harga T, f, C, a, n, p dan q adalah sesuai dengan tabel 4.1.

Adapun sebagian dari program perhitungan umur pahat tersebut (program lengkap terlampir) adalah sebagai berikut :

```
#include<stdio.h>
#include<conio.h>
#include<math.h>
#include<string.h>
#include<ctype.h>
void main()
{
float a,f,n,p,q,C,v,T,W;
int nomor, kelompok;
clrscr();
printf("\nA.Klasifikasi Benda Kerja");
printf("\nkelompok:6\t");
printf("kelompok:7\t");
printf("kelompok:8\t");
printf("kelompok:9=12");
printf("\nB.Klasifikasi Material Pahat");
printf("\nnomor1:TTF\t");
printf("\nnomor2:TTX\t");
printf("\nnomor3:TTS\t");
printf("\nnomor4:TTR\t");
printf("\nnomor5:TGVN\t");
printf("\nnomor6:TR\t");
printf("\nnomor7:THF\t");
printf("\nnomor8:ATI 0\t");
printf("\nnomor9:ATI5\THM\t");
printf("\nnomor10:TGVN1\t");
do
{
printf("\n inputkan nomor kelompok benda kerja.");
scanf(" %d",&kelompok);
switch(kelompok)
{
case 6:
do
{
printf("inputkan nomor pahat:");
scanf(" %d",&nomor);
printf("masukan nilai a(mm)=");
scanf(" %f",&a);
printf("masukan nilai f(mm/r)=");
scanf(" %f",&f);
```

```

printf("masukan nilai v(m/min)=");
scanf("110/0f",&v);
switch(nomor)
{
case 1:
if((a>=1&&a<=4)&&(f>=0.1&&f<=0.4001))
{
n=0.22; p=0.21; q=0.11; C=350;
}
else printf("nout of range");
break;
case 2:
if((a>=1&&a<=10)&&(f>=0.1&&f<=1.0001))
{
n=0.22; p=0.26; q=0.11; C=298;
}
else printf("nout of range");
break;
go to retli;
}
while(! (nomor));
case 9:
do
{
printf("inputkan nomor pahat\t\t\t");
scanf("110/0d",&nomor_pahat);
printf("masukkan
a(mm)\t\t=");scanf("(110/0f,&a);
printf("masukkan
f(mm/r)\t=");scanf("(110/0f,&f);
printf("masukkan
v(m/min)\t=");scanf("(110/0f,&v);
switch(nomor_pahat)
{
case 7:
if((a>=2&&a<=5)&&(f>=0.1&&f<=0.5001))
{
n=0.29; p=0.14; q=0.10; C=454;}
else printf("out of range");
break;
case 8:
if((a>=2&&a<=12)&&(f>=0.1&&f<=1.0001))
{
n=0.29; p=0.19; q=0.11; C=408;
}
else printf("out of range");
break;
goto teknik;
teknik:
{
if(nomor_pahat>6&&nomor_pahat<11)
goto mesin;
else printf ("tool number error,press enter");}
getche();
}
while(! (nomor_pahat));
}

```

```

retli: {
{ if(kelompok>5&&kelompok<9)
goto ulang;
else printf("press enter,\t group number error");
}
getche();
ulang: {
{
if(nomor_pahat>0&&nomor_pahat<7)
goto mesin;
else printf("press enter,\t tool number error"); }
getche();
mesin: {
W=(C*pow(f,-p)*pow(a,-q))/v;
T=pow(W,1/n);
Printf("n Press any key to Exit");
Getche();
}
}

```

Dalam bentuk tabel program perhitungan umur pahat setelah dijalankan dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Baris Informasi	Variabel Input	Proses	Output
A.Klasifikasi Benda Kerja Klp:6 Klp:7 Klp:8 Klp:9:12	1.Nomor Benda Kerja		
B.Klasifikasi Material Pahat nomor1:TTF nomor2:TTX nomor3:TTS nomor4:TTR nomor5:TG/TN nomor6:TR nomor7:THF nomor8:AT10 nomor9:AT15/THM nomor10:TG/TNI	2.Nomor Pahat 3.Kedalaman Makan (mm) 4.Gerak Makan (mm/r) 5.Kecepatan potong (m/min)	$T = \sqrt[n]{\frac{C}{f^p \cdot a^q \cdot v}}$	T (min)

Nomor kelompok benda kerja diinputkan sesuai dengan nomor kelompok klasifikasi benda kerja (nomor 6 untuk benda kerja dengan klasifikasi pemesinan nomor 6, 7 untuk benda kerja dengan klasifikasi pemesinan nomor 7, 8 untuk benda kerja dengan klasifikasi pemesinan nomor 8, serta 9 untuk benda kerja dengan klasifikasi pemesinan nomor 12) seperti yang ditampilkan pada saat pertama program tersebut dijalankan. Setelah nomor kelompok benda kerja diisi maka komputer akan meminta untuk diinputkan klasifikasi nomor pahat. Masih seperti nomor kelompok benda kerja, nomor pahat juga diinputkan sesuai dengan nomor urutan pahat (nomor 1 untuk jenis pahat ISO P 01, nomor 2 untuk ISO P 10, dan seterusnya) yang

ditampilkan pada saat pertama program dijalankan. Setelah nomor pahat diinputkan, program juga akan meminta untuk secara berturut-turut diinputkan nilai-nilai dari kedalaman potong, a (mm), gerak makan, f (mm/min) dan kecepatan potong, v (m/min).

Jika semua variabel tersebut telah diinputkan makan secara otomatis program akan menampilkan besarnya umur pahat, T (min). Apabila salah dari variabel diatas ada yang salah diisi/diinputkan, atau keluar dari batas-batas yang telah ditentukan dari tabel 4.1, maka program akan menampilkan baris komentar ("group number error" untuk kesalahan pengisian nomor pengelompokan material benda kerja, "tool number error" untuk kesalahan pengisian nomor pahat, dan "out of

range" untuk kesalahan pengisian harga kedalaman potong dan gerak makan).

Hasil Perhitungan Umur Pahat dengan Menggunakan Bahasa Pemrograman

Dengan menggunakan program perhitungan umur pahat diatas maka kita akan menghitung umur pahat untuk berbagai kondisi pemesinan dengan waktu yang relatif lebih singkat dibandingkan jika kita menghitung secara manual (dengan menggunakan alat hitung kalkulator)

Adapun hasil perhitungan umur pahat dengan menggunakan program tersebut diantaranya adalah sebagai berikut :

Benda Kerja	Pahat Karbida WIDIA	Variabel Pemesinan			Umur T (min)	Total Waktu Perhitungan	
		a(mm)	f(mm/r)	v(m/min)		Manual (det)	Program (det)
6	TTF	1	0,1	100	2676,59	551	66
		4	0,4	100	356,34		
	TTX	1	0,1	100	2174,44		
		10	1,0	100	45,24		
	TTS	1	0,15	100	763,66		
		12	1,2	100	7,92		
	TTR	1	0,2	100	266,22		
		16	1,2	100	0,04		
	TG/TN	1	0,15	100	5896,72		
		10	1,0	100	94,95		
	TR	2	0,2	100	1152,70		
		16	1,2	100	5,91		
7	TTF	1	0,1	100	4136,39	540	63
		4	0,4	100	321,78		
	TTX	1	0,1	100	3152,65		
		10	1,0	100	24,74		
	TTS	1	0,15	100	812,04		
		12	1,2	100	2,95		
	TTR	1	0,2	100	258,12		
		16	1,2	100	0,44		
	TG/TN	1	0,15	100	8015,35		
		10	1,0	100	41,70		
	TR	2	0,2	100	1406,90		
		16	1,2	100	1,92		
8	TTF	1	0,1	100	7525,76	547	65
		4	0,4	100	256,47		
	TTX	1	0,1	100	5523,45		
		10	1,0	100	9,82		
	TTS	1	0,15	100	1027,01		
		12	1,0	100	1,18		
	TTR	1	0,2	100	223,61		
		16	1,0	100	0,14		
	TG/TN	1	0,15	100	13181,29		
		10	1,0	100	18,28		
	TR	2	0,15	100	5122,53		
		16	1,0	100	0,58		

12	THF	2	0,1	100	441,23	380	44			
		5	0,5	100	147,91					
	AT 10	2	0,1	100	443,32					
		12	1,0	100	49,70					
	AT 15	2	0,2	100	212,39					
		16	1,6	100	17,27					
	TG/TN	2	0,15	100	787,70					
		16	1,6	100	63,82					
	Rata-rata							45,86	5,41	

Selain harga tersebut diatas, program perhitungan umur pahat ini juga masih bisa menghitung umur pahat berdasarkan harga kedalaman makan, gerak makan, dan kecepatan potong yang lain yang masih di dalam toleransi yang diizinkan.

KESIMPULAN

Berdasarkan uraian dan penjelasan di atas maka dapat diambil beberapa kesimpulan, yaitu :

1. Program perhitungan umur pahat yang dibuat dengan menggunakan bahasa pemrograman Borland C++ di atas dapat secara otomatis menentukan harga umur pahat untuk berbagai jenis kondisi pemesinan yang diinginkan/diinputkan.
2. Program perhitungan umur pahat yang dibuat dengan menggunakan bahasa pemrograman Borland C++ di atas dapat mempersingkat waktu perhitungan umur pahat kurang lebih 40 detik untuk suatu kondisi pemesinan.

3. Dari kesepuluh jenis pahat yang dipakai dalam program perhitungan umur pahat, pahat karbida jenis TG/TN memiliki umur pemesinan yang paling singkat.
4. Program ini besar manfaatnya bagi programer/operator mesin guna penentuan kondisi pemesinan optimum dan untuk menjaga kesinambungan proses produksi.

DAFTAR PUSTAKA

1. Argon, McClintock., *Mechanical Behavior of Material*, Addison-Wesley Publishing Compony, inc. Canada, (1965).
2. Halawa, E.H. Edward., *Pemrograman dengan C/C++ dan Aplikasi Numerik*, Erlangga. Jakarta, (1995).
3. Rochim, Taufiq., *Teori dan Teknologi Pemesinan*, Laboratorium Teknik Produksi, ITB. Bandung, (1993).
4. Surdia, Tata., *Pengetahuan Bahan Teknik*, PT. Pradnya Paramita. Jakarta, (1985).