

ANALISA MENGHEMAT ONGKOS PAHAT DENGAN HUBUNGAN KECEPATAN POTONG LOGAM PADA MESIN BUBUT

Oleh : *Fatolosa Telaumbanua*

Abstrak

Kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi zaman now tidak mungkin dipungkiri, jika berdampak signifikan pada ongkos atau biaya (cost) pada operasionalnya, misalnya pemanfaatan teknologi khusus di sektor produksi, maka pemakai jasa teknologi pemesian tersebut harus juga memikirkan bagaimana strategi mereduksi cost setiap produk, dalam hal ini memproduksi dengan rekayasa material yang menggunakan mesin bubut (lathe) untuk pemotongan logam. Dalam membuat semua kegiatan di mesin bubut untuk merubah bentuk material dasar menjadi bentuk dapat digunakan sesuai dengan yang dikehendaki konsumen, maka pahat sangat berperan penting, merekayasa produk yang diingini, tetapi harus diperhatikan juga keberadaan pahat, baik harganya yang mahal, maupun ongkos asah juga mahal, maka melalui penelitian ini, peneliti menawarkan cara menghemat ongkos atau biaya pahat yang digunakan. Metode dalam penelitian ini dengan mencoba pada material logam dengan sampel dua puluh specimen dilakukan pemotongan dan pembubutan pada mesin bubut. Dari hasil exprimen pemotongan logam ini diperoleh kesimpulan, bahwa umur pahat yang singkat akan mempertinggi cost produksi. Umur pahat pendek, tumpul, ataupun umur singkat disebabkan kecepatan potong yang semakin tinggi untuk langkah makan yang konstan akan mempersingkat umur pahat demikian lagi penyebab umur pahat pendek, dimana kecepatan potong yang konstan dan langkah makan yang semakin tinggi untuk kedalaman pemotongan yang juga konstan akan mempersingkat umur pahat.

Kata Kunci: Mesin Bubut, Pahat, Logam Potong Baja,SDM.

Pendahuluan

Target mendapatkan hasil pemotongan yang baik jika dilihat dari segi totalitas produksi dan kualitas produksi maka harus dipilih suatu besaran-besaran dan variasi kecepatan potong, kecepatan makan pahat, kedalaman pemotongan dan waktu pemotongan, karena hal-hal ini sering dijumpai pada bengkel-bengkel mesin perkakas diatarannya seperti : kecepatan potong yang terlalu rendah yang mengakibatkan permukaan produk pada mesin perkakas tersebut produk yang terlalu kasar. Proses pemesinan atau proses pemotongan logam dengan menggunakan pahat atau perkakasw potong pada mesin perkakas seperti mesin bubut merupakan salah satu jenis proses pembuatan komponen mesin ataupun peralatan lainnya yang ditemukan pada bengkel atau laboratorium reparasi ataupun instilah bengkel produksi. Selain dari rekayasa pembuatan komponen atau benda jadi dari bentuk setengah jadi atau masih bentuk batangan, maka proses pemesinan ini juga diupayakan agar ukuran benda kerja sesuai dengan yang dikehendaki atau dalam batas toleransi.

Pemotongan material logam (benda kerja) dilakukan dengan menyayat pada permukaan luar oleh pahat yang dioperasikan oleh mesin perkakas dalam hal ini mesin bubut. Proses pemotongan logam ini merupakan suatu proses yang digunakan untuk mengubah bentuk suatu produk logam (komponen mesin) dengan memotong. Untuk mendapatkan hasil yang optimum pada pemotongan logam ini, harus diperhitungkan secara menyeruh proses metode manufacturing suatu produk sebagai suatu system total. Agar tercapai hasil dan tujuan yang sebaik mungkin, maka harus dipikirkan hubungan-hubungan beberapa hal antara lainnya adalah hubungan kecepatan potong terhadap dalamnya pemotongan yang berpengaruh terhadap umur pahat dan sekaligus akan mempengaruhi ongkos pemakaian pahat atau dalam hal ini ada hubungan yang signifikan antara proses pemotongan logam dengan ongkos operasional pahat potong. Ada yang menjadi permasalahan

dilapangan dimana dalam operasional mesin-mesin perkakas seperti operasioanl mesin bubut, sering ditemui kesalahan untuk pemakaian waktu sesingkat mungkin dengan mempercepat kecepatan pemotongan pada penggunaan teknik pemotongan logam dengan pemesinan, namun dilain pihak dapat menaikan ongkos pahat (*tool cost*) sehingga tidak sebanding dengan ongkos yang diterima dari konsumen atau pemesan, yang walaupun ongkos ini telah dinaikan dari tarif biasa. Pahat potong pada mesin bubut termasuk alat yang harganya relatif mahal, karena pahat potong untuk mesin bubut terbuat dari baja keras berkwalitas tinggi, atau baja carbon kecepatan tinggi (material HSS), maka perlu banyak pertimbangan dalam pemakaiannya. Kecepatan potong yang tinggi akan mempercepat selesainya suatu produk atau job sheet diselesaikan, namun dipihak lain hal ini juga akan mempercepat keausan pahat yang sekaligus akan memperpendek umur pahat.

Untuk mendapatkan tujuan yang dikehendaki diatas, ada beberapa hal yang diperhatikan dan diupayakan, yakni:

- a. Mempertinggi kecepatan potong
- b. Mempercepat atau mempertinggi kecepatan makan (*feeding*).
- c. Mempertebal kedalaman potong dan
- d. Ketajaman yang handal.

Untuk mendapatkan keuntungan yang optimal dalam pembubutan logam perlu dilakukan suatu cara pengoptimalisasi untuk merencanakan kondisi-kondisi proses yang dapat memberi keuntungan yang dalam hal ini merupakan tugas bagi seorang ahli proses produksi teknik yang memiliki penguasaan teori, memiliki data serta pengalaman atau kompetensi agar dapat menentukan kondisi proses dengan tujuan untuk mendapatkan keadaan yang signifikan dalam produksi. Ongkos produksi (*produc cost*) adalah yang meliputi :

1. Waktu produksi
2. Ongkos operasi (*operating cost*)
3. Ongkos mata pahat bubut / mata pahat bubut.

Adapun maksud dan tujuan setiap pengerjaan material untuk pembentukan, rekayasa, termasuk pengejaan dengan pemesinan ini haruslah didasarkan pada aturan gambar teknik, hal ini dipentingkan untuk mengetahui secara akurat dan pasti bentuk dan ukuran produk yang dikehendaki serta dapat disusun urutan langkah pengerjaan yang paling efisien atau logika untuk setiap pemakaian jenis-jenis perkakas yang diperlukan. Tujuan penelitian ini adalah agar tidak terdapat harga-harga dari kecepatan pemotongan yang terlalu tinggi hingga mempertinggi frekuensi banyak pengasahan mata pahat, sehingga mata pahat dapat dihemat dan ongkos pengasahan juga dapat ditekan, yang hal ini keseluruhan diupayakan untuk menurunkan ongkos pahat atau *tool cost*.

Klasifikasi dan Kondisi Pemotongan

Untuk pahat jika dibedakan dari klasifikasi jumlah mata pahatnya dibagi atas 2 (dua) jenis, yaitu :

1. Pahat yang bermata yang tunggal (*single point cutting tools*)
2. Pahat yang bermata ganda (*multipe points cutting tools*)

Gerak relatif pahat terhadap benda kerja dipisahkan menjadi 2 (dua) macam komponen gerakan, yaitu:

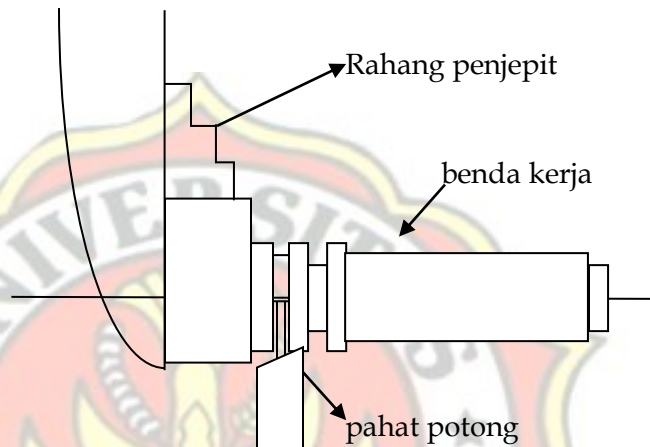
1. Gerak potong (*cutting movement*)
2. Gerak makan (*feeding movement*)

Yang termasuk diamati pada penelitian ini adalah mengenai kecepatan pemotongan dan menganalisa umur pahat pada kecepatan potong yang ditentukan, maka sesuai dengan pemakaian waktu pengerjaan yang relatif lama secara kontiniu, maka penelitian ini dipusatkan hanya pada proses bubut (*turning*). Kondisi pemotongan pada pengerjaan logam dengan proses pemesinan, yaitu:

1. Kecepatan pemotongan (*cutting speed*)
2. Kecepatan makan/ingsut (*feeding velocity*)
3. Dalamnya pemotongan (*depth of cut*)

Memotong Dengan Pahat dan Kecepatan Potong

Dengan sudah standby benda kerja dijepitan rahang bubut dan telah dilakukan penyetelan pahat potong, maka aktivitas pemotongan sudah bisa dimulai, seperti pada gambar dibawah ini.



Gambar 1. Membubut potong

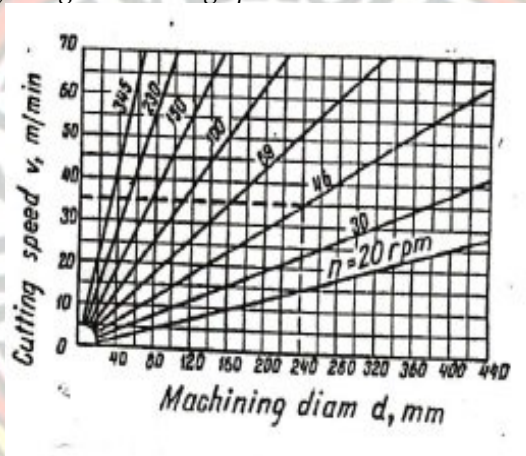
Pada proses pemotongan, kecepatan pemotongan pada pemesinan diartikan sebagai beram yang terpotong atau panjang beram yang dipotong per satuan waktu dengan satuan (cm/menit atau m/menit). Karena proses dipilih pada penelitian ini adalah proses bubut, maka yang akan dihabas adalah kecepatan potong pada "mesin bubut" (*lathe*) dan benda kerja yang dipilih adalah benda kerja atau specimen yang bentuk silindris atau bulat panjang. Pada mesin bubut, gerakan potong adalah gerak putar yang dilakukan oleh benda kerja, maka hubungan kecepatan pemotongan pada material dengan diameter benda kerja yang diikat atau dijepit pada poros utama (*spindle*) yang berputar dengan satuan putaran per menit (ppm/rpm). Hubungan kecepatan pemotongan dengan diameter benda kerja atau

specimen terhadap putaran benda kerja (poros utama mesin), dapat dicari dengan rumus menurut, BL.Boguslavsky (1986 : 38);

$$ns = \frac{V \cdot 1000}{\pi d} \quad \text{atau diperoleh juga} \quad v = \frac{\pi \cdot d \cdot ns}{1000}$$

- dimana: ns = putaran spindle
- = putaran benda kerja (ppm/rpm)
- V = kecepatan pemotongan
- kecepatan potong (m/menit)
- d = diameter benda kerja (mm)

Berikut ini ditunjukkan kurva atau chart dengan “cutting speed chart of the rectilinear type are often used to quickly determine the spindle speed for a given cutting speed.”



Gambar 2. Kurva kecepatan potong vs diameter specimen

Langkah makan (*feeding*) adalah dimaksudkan sebagai panjang yang dipotong dalam satu kali putaran (mm/putaran atau mm/put). Untuk proses pembubutan harga inilah yang dipakai, sedangkan pada proses pemesinan yang melakukan gerak bolak-balik atau gerak translasi, maka harga dari kecepatan *feeding* adalah panjang yang dipotong setiap langkah yaitu dalam mm/langkah atau mm/stroke). Kedalaman pemotongan atau dalamnya pemotongan (*depth of cut*) adalah sebagai ketebalan

yang dipotong dalam pemotongan yang berlangsung dengan satuan millimeter (mm). Sebagaimana telah dijelaskan sebelumnya bahwa pada proses pembubutan dengan mesin bubut untuk pahat bermata potong tunggal, gerak pemotongan atau gerak potong akan menghasilkan kecepatan potong dan gerakan pemotongan ini dilakukan oleh benda kerja (*work piece*) sebagaimana diuraikan dengan gambar diatas.

Ongkos Pahat

Ongkos pahat adalah sebagian / salah satu dari ongkos produksi. Ongkos total produksi terdiri dari :

- a. Ongkos operasi (*operating cost*)
- b. Ongkos mata potong pahat

Ongkos suatu produk ditentukan oleh ongkos material (bahan dasar) dan ongkos produk yang mungkin terdiri atas gabungan beberapa langkah proses pembuatan/pemesinan sebagaimana yang dirumuskan berikut:

$$C_u = C_M + C_{plan} + \sum C_p$$

Dimana: C_u = ongkos total (Rp/produk)

C_M = ongkos material (Rp / produk)

C_{plan} = ongkos persiapan / perencanaan produksi, dapat pula dimasukkan ongkos perancangan produk (bila produk yang bersangkutan dirancang sendiri)

C_p = ongkos salah satu proses produksi (Rp / produk)

Ongkos material adalah terdiri atas pembelian dan ongkos tak langsung (*indirect / overhead cost of material*), merupakan ongkos khusus yang dibebankan bagi material yang berkaitan dan termasuk penyimpangan sewaktu masih bahan ataupun setelah bahan jadi atau produk.

Ongkos material dirumuskan sebagai berikut:

$$C_M = C_{MO} + C_{Mi}$$

Dimana: C_M = ongkos material (Rp/produk)

C_{MO} = ongkos pembelian (Rp/produk)

C_{Mi} = ongkos tak langsung (Rp/produk)

Ongkos proses produksi dapat dirinci sebagai ongkos penyiapan / peralatan (*special tooling, fixture*), ongkos pemesinan (*machining cost*), dan ongkos pahat (*cutter / tool cost*).

Dengan rumus, ongkos produksi dapat ditulis sebagai berikut:

$$C_p = C_r + C_m + C_c$$

Dimana : C_p = ongkos produksi (Rp/produk)
 C_r = ongkos penyiapan dan peralatan (Rp/produk)
 C_m = ongkos pemesinan (Rp/produk)
 C_c = ongkos pahat (Rp/produk)

Yang dibahas selanjutnya adalah mengenai ongkos pahat, karena sesuai dengan judul penelitian ini, maka landasan teori yang berhubungan ialah "teori ongkos pahat, (*tool cost*).

Ongkos pahat dinyatakan dengan persamaan :

$$\frac{N_t}{nb} = (M.t\alpha + C_t)$$

Dimana : M = biaya mesin dan operator
 C_t = biaya pengasahan
 N_t = jumlah tool yang dipakai (*number of tool*)
 nb = jumlah komponen serupa (*number of batch*)
 $t\alpha$ = waktu penggantian pahat

Jumlah produk setiap umur pahat (*tool life*) = $\frac{T}{tm}$

Dan waktu operasi : $t_m = \frac{dw.lw.l}{s.V}$

Dimana : T = umur pahat (*tool life*)
 t_m = waktu operasi dalam detik
 dw = diameter benda kerja (mm)/untuk proses bubut
 lw = panjang pemesinan (mm)
 s = langkah pemakanan / feeding (mm/putaran) or (mm/rev)
 V = kecepatan potong / cutting speed (mm/detik)
 l = panjang geram yang terpotong / tersayat setiap satu satuan waktu.

Untuk menentukan jumlah pahat yang dipakai untuk memproduksi sejumlah komponen atau produk yang sama dapat dihitung dengan memakai persamaan hubungan antara *cutting speed* dengan *tool life*, yaitu:

$$\frac{V}{V_r} = \left(\frac{T_r}{T}\right)^n$$

Dimana : V = kecepatan potong (*cutting speed*)

V_r = cutting speed yang sesuai dengan tool life (T_r) yang diketahui

T = umur pahat (*tool life*)

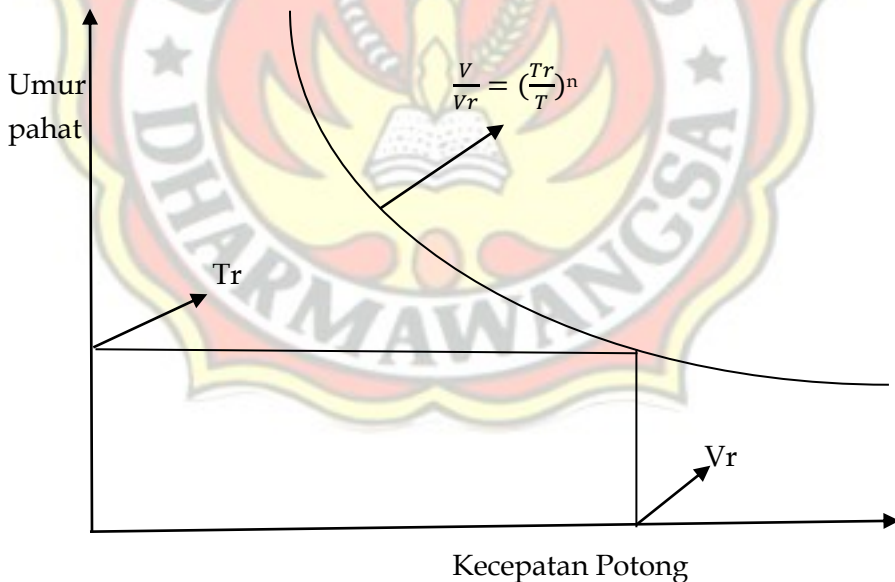
n = suatu konstanta yang berhubungan dengan bahan pahat

= 0,1 + 0,15 untuk pahat HSS

= 0,2 + 0,25 untuk pahat Carbida

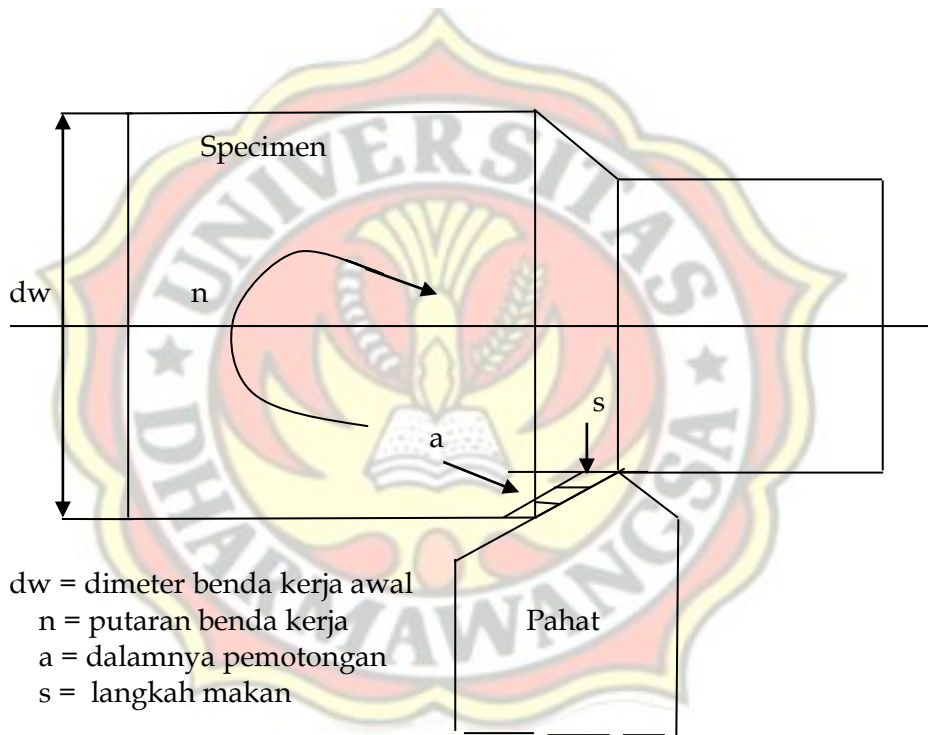
= 0,6 + 1,00 untuk pahat Cramic

Rumus diatas dinyatakan sebagai "Rumus Taylor" dengan grafik dan gambar sebagai berikut :



Gambar 3. Hubungan umur pahat Vs Kecepatan potong

Penelitian dan proses pengamatan pemesinan ini dilakukan pada “Laboratorium Teknik Mesin Kapal” di AMI Medan, yang telah sesuai standard IMO dan telah mendapat *Approval* suatu diktat, dari Diperla.



Gambar 4. Dimensi benda kerja atau specimen

Tabel 1. Hasil pengamatan hubungan V, n, dw , dan umur pahat (T)
 Harga langkah makan (s) = 0,20 mm/rev
 Dalamnya pemotongan (a) = 0,35 mm/rev

No	V	n	dw	T	No	V	N	dw	T
----	---	---	----	---	----	---	---	----	---

	(m/min)	(ppm)		(menit)		(m/min)	(ppm)		(menit)
1	36	198	57	500	11	46	376	39	196
2	37	198	59	470	12	47	376	40	172
3	38	198	61	465	13	48	376	41	163
4	39	198	63	330	14	49	376	41,5	150
5	40	198	64	300	15	50	376	42	144
6	41	273	48	263	16	51	517	31,5	138
7	42	273	49	245	17	52	517	32	132
8	43	273	50	232	18	53	517	32,5	131
9	44	273	51	220	19	54	517	33	126
10	45	273	52	200	20	55	517	34	122

Pembahasan dan Penelitian

Penganalisaan salah satu dari “biaya operasi” / ongkos pahat (*tool cost*), pada pemesinan ini, yang pada penelitian ini dipilih adalah proses bubut, maka yang ditelaah dari umur pahat tersebut dilakukan dengan menghitung “waktu operasi”

Waktu operasi dihitung dengan rumus

$$t_m = \frac{\pi \cdot dw \cdot lw}{a \cdot V}$$

dimana : dw = diameter specimen (mm)

lw = panjang yang dimesin (mm)

V = kecepatan potong (m/min)

a = feeding (mm/rev)

Menurut survey dengan interviu di beberapa perbengkelan di dapat beberapa ketentuan harga, yaitu :

- Harga awal pahat baru = Rp.20.000,-
- Ongkos asah = Rp. 6.000,-
- Jumlah pengasahan rata-rata = 10
- Biaya mesin dan operator = Rp.7,- / detik
- Waktu penggantian /stel pahat = 5 menit = 300detik
- Biaya pengasahan = Rp. 6.000 + Rp. 20.000/10 = Rp. 8.000,-
- Panjang pemesinan lw = 400 mm

Untuk T = 500 menit = 30000 detik

$$tm = \frac{3,14.57.400}{0,2.36.1000} = 8,73 \text{ menit} = 523 \text{ detik}$$

Produksi tiap pahat : $\frac{30000}{523} = 57$ komponen

Hitung besar : $\frac{Nt}{nb}$ dengan ; Nt = jumlah tool dipakai
nb = jumlah komponen serupa

$$\text{maka : } \frac{1}{57} = 0,0175$$

Ongkos pahat = 0,0175 (7.400 + 8.000) = Rp. 189,- / komponen

Untuk T = 470 menit = 28200 detik

$$tm = \frac{3,14.59.400}{0,2.37.1000} = 10,014 \text{ menit} = 601 \text{ detik}$$

Produksi tiap pahat : $\frac{28200}{601} = 47$ komponen

Hitung besar : $\frac{Nt}{nb}$ dengan ; Nt = jumlah tool dipakai
nb = jumlah komponen serupa

$$\text{maka : } \frac{1}{47} = 0,0213$$

Ongkos pahat = 0,0213 (7.400 + 8.000) = Rp. 230,- / komponen

Untuk T = 465 menit = 27900 detik

$$tm = \frac{3,14.61.400}{0,2.38.1000} = 10,081 \text{ menit} = 604,8 \text{ detik}$$

Produksi tiap pahat : $\frac{27900}{604,8} = 46$ komponen

Hitung besar : $\frac{Nt}{nb}$ dengan ; Nt = jumlah tool dipakai
nb = jumlah komponen serupa

$$\text{maka : } \frac{1}{46} = 0,0217$$

Ongkos pahat = 0,0217 (7.400 + 8.000) = Rp. 234,- / komponen

Untuk T = 330 menit = 19800 detik

$$tm = \frac{3,14.63.400}{0,2.39.1000} = 10,14 \text{ menit} = 608,67 \text{ detik}$$

Produksi tiap pahat : $\frac{19800}{608,67} = 32$ komponen

Hitung besar : $\frac{Nt}{nb}$ dengan ; Nt = jumlah tool dipakai
nb = jumlah komponen serupa

$$\text{maka : } \frac{1}{30} = 0,03125$$

Ongkos pahat = 0,03125 (7.400 + 8.000) = Rp. 337,5,- / komponen

Untuk T = 300 menit = 18000 detik

$$t_m = \frac{3,14.64.400}{0,240.1000} = 10,48 \text{ menit} = 602,88 \text{ detik}$$

Produksi tiap pahat : $\frac{18000}{602,88} = 30$ komponen

Hitung besar : $\frac{Nt}{nb}$ dengan ; Nt = jumlah tool dipakai

nb = jumlah komponen serupa

maka : $\frac{1}{30} = 0,03333$

Ongkos pahat = 0,03333 (7.400 + 8.000) = Rp. 360,- / komponen

Dengan cara perhitungan dan analisa yang sama, maka untuk selanjutnya didapat untuk :

Untuk T = 263 menit = 15780 detik, $t_m = 441,13$, produksi pahat = 35 komponen,

$Nt/nb = 0,02795$, ongkos pahat = Rp. 301,85,- / komponen

Untuk T = 245 menit didapat ongkos pahat = Rp. 322,92,-/komponen

Untuk T = 232 menit didapat ongkos pahat = Rp. 339,87,-/komponen

Untuk T = 220 menit didapat ongkos pahat = Rp. 359,96,-/komponen

Untuk T = 200 menit didapat ongkos pahat = Rp. 388,80,-/komponen

Untuk T = 196 menit didapat ongkos pahat = Rp. 295,00,-/komponen

Untuk T = 172 menit didapat ongkos pahat = Rp. 337,50,-/komponen

Untuk T = 163 menit didapat ongkos pahat = Rp. 359,96,-/komponen

Untuk T = 150 menit didapat ongkos pahat = Rp. 385,56,-/komponen

Untuk T = 144 menit didapat ongkos pahat = Rp. 399,60,-/komponen

Untuk T = 138 menit didapat ongkos pahat = Rp. 307,80,-/komponen

Untuk T = 132 menit didapat ongkos pahat = Rp. 317,52,-/komponen

Untuk T = 131 menit didapat ongkos pahat = Rp. 317,52,-/komponen

Untuk T = 126 menit didapat ongkos pahat = Rp. 337,50,-/komponen

Untuk T = 122 menit didapat ongkos pahat = Rp. 347,76,-/komponen

Tabel 2. Kecepatan potong dengan ongkos pahat

Kecepatan Potong (m/min)	Ongkos Pahat Rp/komponen	Kecepatan Potong (m/min)	Ongkos Pahat Rp/komponen
36	189	46	295
37	230	47	337,5
38	234	48	359,96

39	337,5	49	385,56
40	360	50	399,6
41	301,85	51	307,8
42	322,93	52	317,52
43	339,87	53	317,52
44	359,96	54	337,50
45	388,8	55	347,76

Kesimpulan

Setelah menelaah, menganalisa dan membahas penelitian ini, peneliti membuat kesimpulan sebagai berikut:

1. Aktivitas merubah bentuk dasar material dari dimensi kecil sampai dimensi besar, yang dikehendaki seperti; memotong, mengupas permukaan supaya rata, membuat ulir luar dan dalam, membuat tirus, membuat gigi roda gigi, membuat lobang dan sebagainya, semua kegiatan ini dapat dikerjakan pada mesin bubut (*lathe*) dengan menggunakan pahat (*tool*) yang sesuai keperluan.
2. Biaya atau ongkos operasi mesin bubut dan operasi pahat, dapat dikendalikan dengan memperhatikan kecepatan potong.
3. Umur pahat yang singkat karena keserakah dalam pemakaian, dapat mempertinggi biaya.
4. Kecepatan potong yang semakin tinggi untuk langkah makan yang konstan akan mempersingkat umur pahat.
5. Untuk kecepatan potong yang konstan dan langkah makan yang semakin tinggi untuk kedalaman pemotongan yang juga konstan akan mempersingkat umur pahat.
6. Umur pahat (*tool life*) yang singkat akan mempertinggi ongkos pahat dan akan memperbesar biaya operasi.
7. Ada suatu batasan optimasi antara kecepatan potong yang relatif tinggi, namun ongkos pahat yang relatif rendah.
8. Pada dasarnya kecepatan potong yang tinggi akan mempertinggi kecepatan produksi.

Daftar Pustaka

- Amstead, BH.(1990), *Teknologi Mekanik*, Jakarta, Erlangga.
- A.Muin,S.(1986), *Dasar-Dasar Perencanaan Perkakas dan Mesin-Mesin Perkakas*, Jakarta, Rajawali.
- Browne,Y.W.(1965), *The Theory of Machine Tools*,Landon, Cassel & Company LTD.
- Hegendoorn, J.J.M. (1978), *Konstruksi Mesin*, Jakarta, Rosdajayaputra.
- Koenigberger, F.(1964), *Design Principle of Metal Cutting Machine Tool*, New York The Mac Milian Company.
- Kovan,V.(1978), *Fundamental of Process Engineering*, Moscow, Foreign Languages House.
- Pinem, Mhd.Daud.(2010), *Mekanika Kekuatan Material Lanjut*, Bandung, Rekayasa Sains.
- Sudia,T.(1999), *Pengetahuan Bahan Teknik*, Jakarta, Pradnya Paramita.
- Sugiyono.(2006), *Metode Penelitian Kuantitatif-Kualitatif dan R & D*, Bandung, Alfabet.
- Siswanto,P.(1999), *Mesin-Mesin Perkakas*, Medan, BLPT.
- Sutiman.(1995), *teknologi Mekanik*, Medan, ITM.
- Shigley,Mitchell.(1991), *Perencanaan Teknik Mesin*, Jakarta, Erlangga.
- Taguchi, Genichi.(1996), *Multi Penerapan Metode*, Jepang, Shop Floor.
- Taufiq Rochim.(1993), *Teori & Teknologi Proses Pemesinan*, Bandung, Proyek HEDS - ITB.