

Kondisi Pemotongan Optimum Proses Bubut Konvensional Berbantuan Komputer

Hasan Hariri¹

¹Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila

Email: hasan.hariri@univpancasila.ac.id

ABSTRAK

Dalam proses pemesinan, faktor ekonomis memainkan peranan penting dalam menentukan laju produksi. Jika kita memotong material pada kecepatan potong dibawah batas ketentuan, maka waktu penyelesaian operasi tersebut akan naik. Jika operasi yang sama dilakukan dengan kecepatan yang sangat tinggi, maka keausan pahat akan bertambah cepat. Operator akan lebih sering mengganti pahat, dan sebagai konsekwensinya umur pahat menjadi lebih pendek juga mesin menjadi lebih sering disetting ulang. Semua itu akan membuat biaya operasi menjadi mahal. Keuntungan maksimum merupakan alasan yang cocok untuk memilih kondisi pemesinan optimum dengan kriteria biaya minimum pada laju produksi maksimum. Kondisi pemotongan optimum menjadikan keuntungan sebagai suatu fungsi tujuan sebagaimana dikemukakan oleh para peneliti. Dari analisa biaya dan produksi untuk beberapa operasi pemesinan bila tiga fungsi tujuan diperhatikan secara terpisah, maka solusi adalah optimum untuk satu tujuan tetapi tidak optimum terhadap dua tujuan lainnya. Dalam tulisan ini dibahas cara penentuan kondisi pemesinan optimum dengan menggunakan dua fungsi tujuan, yakni biaya produski dan laju produksi.

Kata kunci: Ekonomi, Kecepatan, Laju, Optimum, Pemotongan

ABSTRACT

The economy is an important parameter that determines the production rate in the machining process. The operation time will increase if we cut the material at the low speed of the cutting process. Meanwhile, the tool will be wearier if the cutting speed rises. This condition reduces the tool's life, and the machine will reset. And, we can conclude that the case makes the operation costs expensive. The maximum profit is a reason to choose the optimum machining conditions which have a minimum charge at the high production rate. Optimum cutting conditions make a profit being an objective function for researchers. This research discusses the determination of optimum machining conditions using two objective functions i.e., production cost and production rates.

Keywords: Cutting, Economy, Optimum, Rate, Speed

PENDAHULUAN

Pemotongan logam merupakan proses yang digunakan untuk mengubah bentuk dari bahan baku menjadi suatu komponen dengan menggunakan mesin perkakas, kondisi pemotongan sangat menentukan hasil akhir dari proses, apakah benda kerja sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan baik secara kualitas maupun kuantitas [1-3]. Untuk itu diperlukan suatu kondisi pemotongan yang optimum yang dipengaruhi faktor-faktor seperti;

1. Material dan Geometrik Benda Kerja
2. Material dan Geometrik Pahat
3. Variabel Pemesinan
4. Pendinginan

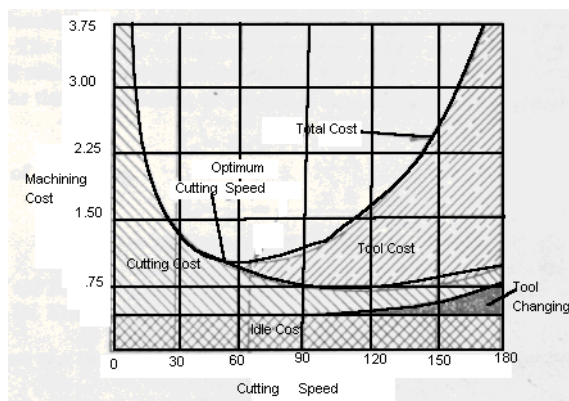
Dengan demikian hingga saat ini berbagai penelitian proses pemesinan terus dilakukan dengan tujuan untuk meningkatkan dan mengembangkan berbagai mekanisme proses pemesinan seperti:

- Mengetahui mekanisme proses pemotongan dengan menggunakan pahat.
- Mengetahui sifat kemudahan untuk dipotong dari berbagai jenis logam.
- Mencari material pahat lebih baik untuk menaikkan efisiensi pemesinan.

Pada operasi pemesinan, kecepatan proses memegang peranan penting dalam menentukan biaya produksi. Jika kita memotong atau melakukan pemesinan terhadap material pada kecepatan yang rendah, maka waktu penyelesaian

proses tersebut akan naik dan terhadap biaya tenaga kerja, biaya operasi mesin, juga biaya umum akan naik sehingga biaya operasi keseluruhan menjadi mahal [4-6].

Jika proses yang sama dilakukan dengan kecepatan tinggi, maka keausan pahat akan lebih cepat sehingga pahat akan lebih sering diganti dan hal ini akan membuat biaya operasi menjadi mahal. Pengaruh kecepatan potong terhadap biaya pemesinan diperlihatkan dalam Gambar 1 dimana terlihat hanya pada beberapa kecepatan saja terjadi operasi yang paling ekonomis [7,8]. Karena itu dalam suatu proses pemesinan untuk mengerjakan suatu benda kerja selain diperlukan mesin perkakas yang tepat juga diperlukan suatu kondisi proses pemotongan yang optimum agar kuantitas maupun kualitas produksi dapat dicapai dan biaya operasi menjadi lebih ekonomis [9].



Gambar 1. Pengaruh Kecepatan Potong vs Biaya Pemesinan [10]

Dalam penelitian ini penulis membatasi permasalahan yang meliputi:

1. Unit Waktu
2. Unit Biaya

Dasar model matematika kedua unit diatas akan digunakan untuk menganalisa kondisi pemotongan optimum, sedangkan masalah lainnya yang berkaitan dengan proses pemesinan hanya disinggung saja.

Pentingnya kemampuan untuk memilih kondisi pemotongan material yang optimum dan ekonomis dengan tujuan untuk meminimumkan biaya dan memaksimalkan laju produksi. Jika dalam suatu produksi terjadi “bottleneck”, maka

diperlukan untuk melakukan operasi pada kondisi pemotongan dengan laju produksi maksimum, secara umum hal ini bukanlah kondisi normal yang biasanya dipilih dari titik pandang kondisi biaya minimum yang berpengaruh untuk meningkatkan keuntungan. Diantara kedua kriteria diatas (biaya dan laju produksi) terdapat daerah atau batasan kondisi pemotongan dimana suatu titik kondisi pemotongan optimum dapat dipilih sehingga kedua fungsi tujuan dapat dicapai.

Metode pengerjaan yang dilakukan meliputi hal-hal yang dikerjakan secara terencana dan terstruktur dan bertahap. Adapun metode pengumpulan informasi dilakukan dengan; (1) penelusuran literatur, yang dilaksanakan untuk mendalami teori dan hasil penelitian yang dilakukan oleh para ilmuwan; dan (2) pengamatan langsung, yakni untuk melihat keterkaitan berbagai variabel dan bebas dan variabel tak bebas, serta membandingkan hasil yang diperoleh antara teori dan kejadian dilapangan [11].

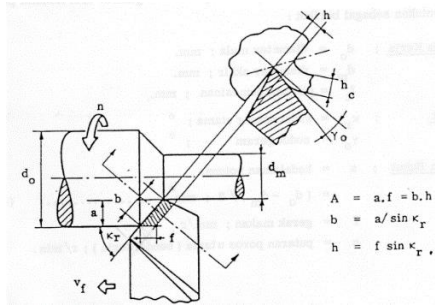
1.1 Parameter Proses Pemesinan

Proses pemesinan merupakan urutan proses yang digunakan untuk membuat suatu komponen. Untuk mencapai ukuran obyektif yang ditentukan, pahat akan membuang sebagian material sampai ukuran obyektif tersebut tercapai.

Hal ini dapat dilaksanakan dengan cara menentukan parameter-parameter yang diperlukan dalam proses pemesinan tersebut [12-14]:

1. Kecepatan potong (V) m / min
2. Kecepatan makan (f) mm / min
3. Kedalaman potong (a) mm
4. Waktu pemotongan (t) min
5. Laju penghasilan geram (z) cm^3/min .

Parameter proses pemesinan tersebut dihitung berdasarkan dimensi benda kerja, pahat dan besaran mesin perkakas. Dengan memahami keadaan yang terjadi dalam proses pemesinan seperti pada Gambar 2 maka kondisi pemotongan dapat ditentukan kondisinya.



Gambar 2. Parameter Pemotongan pada Proses Bubut [15]

1.2. Algoritma Pemotongan Optimum

Pentingnya kemampuan untuk memilih kondisi pemesinan ekonomis yang optimum telah lama dikaji sehubungan dengan pemotongan material. Dasar model matematika yang digunakan untuk menganalisa proses pemesinan secara ekonomis adalah model unit-biaya, atau sepadan dengan model unit-waktu jika biaya diabaikan. Bersamaan dengan model-model ini dua kriteria harus digunakan untuk menentukan kondisi pemotongan optimum, yang pertama adalah biaya minimum, yang kedua adalah laju produksi yang maksimum.

Jika dalam suatu urutan produksi terjadi *bottleneck*, maka diperlukan untuk melakukan operasi pada kondisi pemotongan dengan laju produksi maksimum. Namun, secara umum ini bukanlah situasi dan kondisi yang normal yang biasanya dipilih dari titik pandang kondisi biaya-minimum yang berpegaruh untuk meningkatkan keuntungan untuk jangka panjang. Disamping itu disadari juga bahwa antara kedua kriteria tersebut terdapat range kondisi pemotongan dari mana suatu titik optimum juga dapat dipilih, tetapi ini tidak menunjukkan secara tepat bagaimana posisi optimum tersebut dapat ditentukan.

Pemilihan parameter pemesinan yang ekonomis adalah permasalahan luas yang menarik bagi suatu industri. Beberapa pendekatan untuk tujuan ini telah dikembangkan. Disini diberi beberapa pembatasan sbb:

1. Variasi dimensi komponen mesin sesuai dengan spesifikasi toleransi benda kerja.
2. Secara mendasar, variabel dasar kemungkinan berpengaruh terhadap proses.

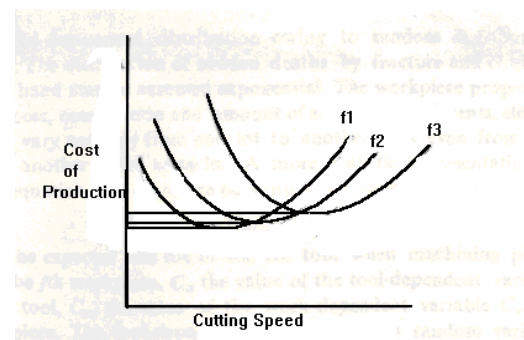
Kegagalan pahat proporsional dengan geram dan keausan.

1.3. Kriteria Kondisi Pemotongan Optimum

Suatu kriteria yang lazim untuk memilih kondisi pemotongan optimum adalah keuntungan-maksimum, yang secara nyata merupakan tujuan dari sebuah industri. Suatu analisa dari Okushima dan Hitomi mempresentasikan tentang kecepatan pemotongan dan keuntungan maksimum, analisa ini didasari oleh diagram *break-event* linear sederhana yang membatasi pengembangan konsep biaya maksimum tersebut.

Biaya produksi lebih rendah pada gerak makan yang tinggi. Ini dapat dilihat dengan memplot diagram sebagaimana terlihat pada Gambar 3 Sehingga gerak makan maksimum dapat memberikan kehalusan permukaan yang diinginkan serta daya yang harus digunakan.

Model dasar pada analisa kecepatan pemotongan, keuntungan maksimum ditentukan dengan memakai prinsip-prinsip ekonomi pada keuntungan yang maksimum tersebut terjadi pada laju produksi saat margin pendapatan = margin biaya. Prinsip *marginal* ini didasari oleh hubungan utama secara ekonomis antara laju produksi perusahaan, biaya, pendapatan dan keuntungan.



Gambar 3. Pengaruh Gerak Makan dan Kecepatan Potong terhadap Biaya Produksi [16]

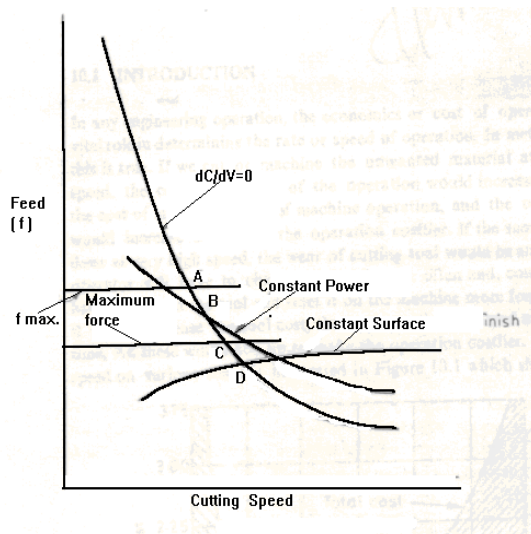
1.4. Pembatasan Kondisi Pemotongan Optimum

Seringkali kecepatan pemotongan dan gerak makan yang telah ditentukan harus dimodifikasi karena komponen mesin mempunyai keterbatasan tingkat gerak makan dan kecepatan potong. Faktor-faktor yang juga mempengaruhi

pemilihan gerak makan dan kecepatan potong adalah:

1. Kehalusan permukaan akhir
2. Keakuratan dimensi yang diinginkan
3. daya yang tersedia pada spindel
4. Tingkat gerak makan dan kecepatan potong yang tersedia pada mesin.

Pengaruh semua pembatasan diatas diperagakan pada Gambar 4, f_{max} yang diizinkan untuk kecepatan potong yang ditetapkan berhubungan dengan titik A. Karena daya yang tersedia pada mesin maka titik A dapat bergeser ke titik B. Untuk pemotongan kasar dimana permukaan akhir dan keakuratan dimensi tidak terlalu penting, titik A dan B dapat menjadi kontrol pada proses. Untuk operasi akhir maka batasan daya maksimum dapat ditarik hingga titik C dan permukaan akhirnya pada titik D. Jika gerak makan yang diinginkan tidak tersedia pada mesin, maka dipilih nilai berikutnya yang lebih rendah.



Gambar 4. Keterbatasan Tingkat Gerak Makan dan Kecepatan Potong pada Mesin

1.5. Persamaan Umur Pahat

Umur pahat T adalah batas akhir penggunaan sebuah pahat, dimana pahat tersebut tidak dapat digunakan lagi. Persamaan umur pahat merupakan hubungan empiris antara umur pahat dengan satu atau lebih variabel proses pemotongan, seperti kecepatan potong V , gerak makan f , dan kedalaman potong a . dan lain sebagainya. Persamaan umur pahat yang paling dikenal adalah persamaan Taylor. Taylor

memperlihatkan hubungan antara umur pahat T , kecepatan potong V sebagai berikut:

$$VT^n = C$$

dimana konstanta n disebut eksponen umur pahat dan parameter C diketahui sebagai konstanta Taylor. Dengan membuat $T = 1$ pada persamaan di atas, kita dapatkan bahwa $C =$ umur pahat untuk pemakaian selama 1 menit. Konstanta n dan C tergantung pada material benda kerja dan material, gerak makan, dan kedalaman pemotongan, jenis pendingin, geometri pahat, dsb.

1.6. Pengaruh Parameter Proses Terhadap Umur Pahat

Faktor-faktor yang mempengaruhi umur pahat antara lain adalah; kekerasan dan kekuatan benda kerja, ketahanan material pahat terhadap keausan akibat pemakaian, temperatur pahat, dan afinitas antara material benda kerja dan material pahat.

Berikut akan diuraikan tentang pengaruh parameter pemesinan terhadap umur pahat sehubungan dengan faktor-faktor di atas.

Material Pahat

Sifat material yang mempengaruhi umur pahat adalah hal berikut:

- *High hot-hardness* diperlukan untuk menahan deformasi, adesi dan abrasi pada temperatur pemotongan yang relatif tinggi, yang terjadi pada permukaan *rake* dan *flank* pahat.
- *thougness* diperlukan untuk menahan beban kejut saat pahat menyentuh dengan benda kerja.
- *Wear resistance* diperlukan untuk meminimumkan laju keausan pahat.
- konduktivitas termal dan kalor spesifik yang tinggi untuk meminimumkan thermal stress dan thermal shock.

Material Benda Kerja

Sifat material benda kerja yang cenderung meningkatkan umur pahat adalah meliputi:

- softness untuk mereduksi gaya pemotongan, temperatur pemotongan dan keausan.
- tidak adanya lingkungan abrasif seperti surface scale, garam dan slag.
- Adanya aditif yang diperlukan seperti pelumas, dan sulfur untuk mereduksi gaya dan temperatur pemotongan akibat naiknya stress
- kecenderungan *work-hardening* yang cenderung menurunkan gaya dan temperatur pemotongan serta keausan.

1.7. Formulasi Matematis Pada Proses Optimasi Bubut

Dalam tulisan ini dibahas cara penentuan kondisi pemesinan optimum dengan menggunakan dua fungsi tujuan. yakni biaya produksi dan laju produksi dengan konsep optimasi “fungsi multi-objektif”

1. Persamaan untuk fungsi tujuan laju produksi dapat dituliskan sebagai:

$F_1(X)$ =biaya produksi per unit.

$$= \frac{C_o n \pi D L}{1000 X_1 X_2} + \frac{n \pi D L}{1000 \alpha} (t_c C_o + C_t)$$

$$X_1^{(\alpha_1-1)} \cdot X_2^{(\alpha_2-1)} \cdot X_3^{\alpha_3} + C_o t_h$$

2. Persamaan untuk fungsi tujuan laju produksi dapat dituliskan sebagai:

$$F_2(X) = -[(Production.rate)]$$

$$\dots\dots\dots = \frac{1}{\frac{n \pi D L}{1000 \cdot X_1 \cdot X_2} + \frac{n \pi D L}{1000 \alpha} \cdot t_c X_1^{(\alpha_1-1)} X_2^{(\alpha_2-1)} X_3^{\alpha_3} + t_h}$$

1.8. Kendala-kendala pada Proses Optimasi Bubut

Kendala Kecepatan Potong :

$$X_1 - V_u \leq 0$$

$$V_1 - X_1 \leq 0$$

Kendala Gerak Makan

$$X_2 - f_u \leq 0$$

$$f_1 - X_2 \leq 0$$

Kendala Kedalam Potong

$$X_3 - d_u \leq 0$$

$$d_1 - X_3 \leq 0$$

Kendala Gaya Pemotongan

$$F_c = (28.1 \cdot X_1^{0.07} - 0.525 \cdot X_1^{0.5}) \cdot X_2 \cdot X_3 \cdot \left[1.59 + 0.946 \frac{(1+X)}{\sqrt{(1-X)^2 + X}} \right]$$

Kendala Daya Pemotongan

$$P_c = \frac{F_c \cdot V \cdot (0.746)}{76 \cdot (60)} \leq \eta_m (Daya.tersedia)$$

Kendala Umur Pahat

$$\frac{\alpha}{X_1^{\alpha_1} \cdot X_2^{\alpha_2} \cdot X_3^{\alpha_3}} - T_u \leq 0$$

$$T_1 - \frac{\alpha}{X_1^{\alpha_1} \cdot X_2^{\alpha_2} \cdot X_3^{\alpha_3}} \leq 0$$

Kendala Temperatur Pada Permukaan Sudut Geram

$$\beta_o X_1^{\beta_1} X_2^{\beta_2} X_3^{\beta_3} \leq 0$$

METODE PENELITIAN

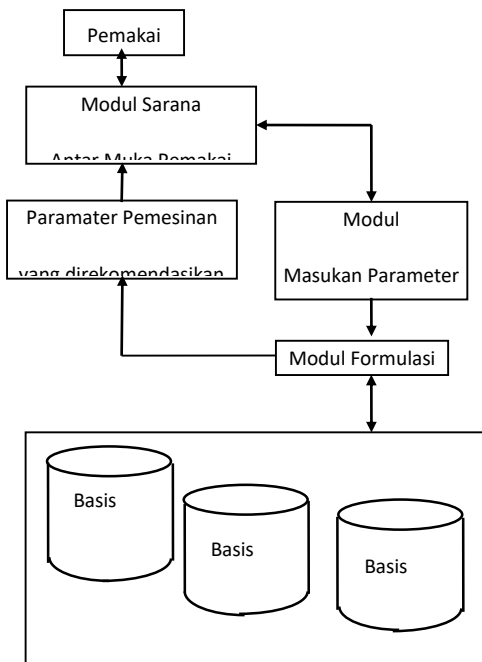
2.1. Algoritma dan Stuktur Program

Struktur piranti lunak yang ingin dibuat dan dikembangkan disini adalah sebagaimana yang dapat dilihat pada Gambar 5.

Penyusunan struktur sebuah piranti lunak yang lebih rinci, sebenarnya didahului oleh kegiatan penyusunan algoritma. Algoritma ini pada dasarnya adalah bentuk dari kerangka pemikiran yang terstruktur. Pemikiran yang terstruktur tersebut dapat pula digambarkan sebagai sebuah diagram alir yang dapat dipakai untuk melihat aliran komunikasi yang terjadi di dalam piranti lunak.

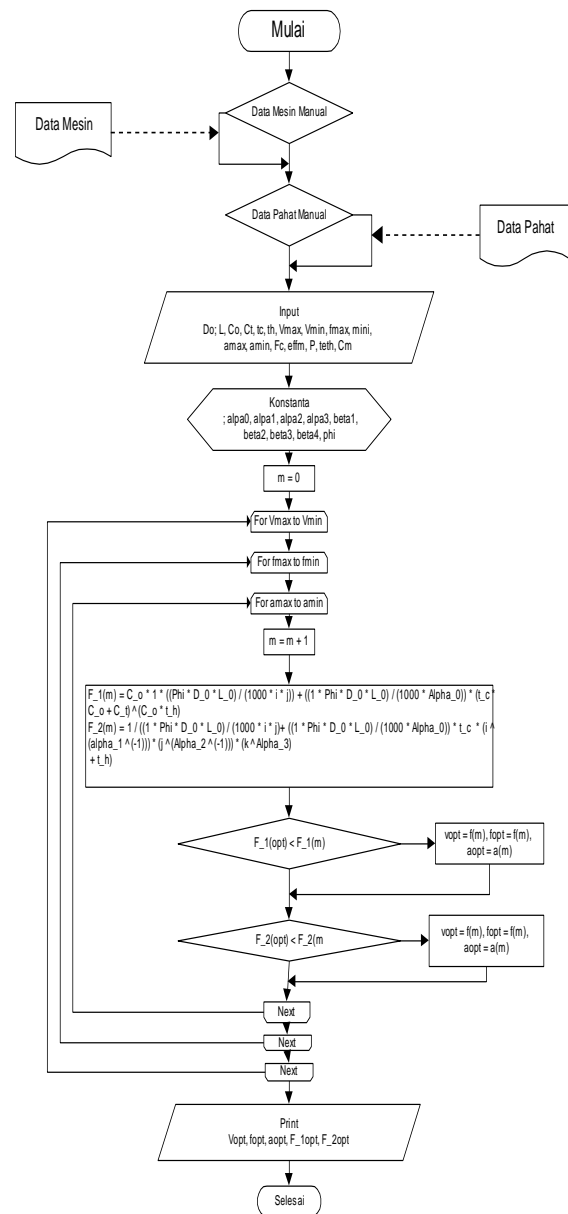
Algoritma optimasi proses kondisi pemotongan optimum bagi proses bubut disini yaitu

1. Masukkan semua spesifikasi pemesinan. Untuk spesifikasi mesin dan pahat dapat diambil dari fiel basis data.
2. Hitung kondisi optimum.
3. Tampilkan hasil perhtungan kondisi optimum.



Gambar 5, Struktur Piranti Lunak

Alur pemikiran yang terstruktur diatas dapat pula diperlihatkan dengan sebuah diagram alir. Diagram alir bagi algoritma diatas diperlihatkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Diagram Alir Piranti Lunak

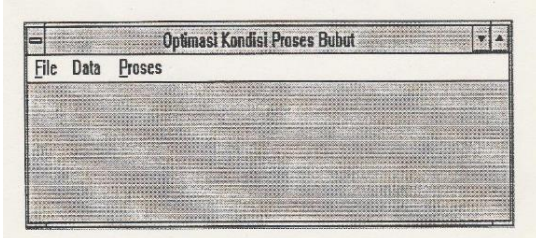
2.2. Piranti Lunak yang Dihasilkan

Sebagaimana Piranti lunak yang bekerja dilingkungan Microsoft Windows lainnya, piranti lunak optimasi kondisi pemesinan ini juga memiliki tampilan jendela menu utama sebagai navigasi bagi pemakainya. Beberapa menu utama dilengkapi juga dengan beberapa sub menu yang diperlukan. Disamping itu setiap layar tampilan dirancang dengan menggunakan tombol-tombol perintah maupun tombol-tombol pilihan.

2.3. Tampilan Jendela dan Menu Utama

Tampilan awal piranti lunak ini adalah sebuah jendela dengan menu utama sebagaimana diperlihatkan oleh Gambar 7. Pada gambar terlihat bahwa piranti ini

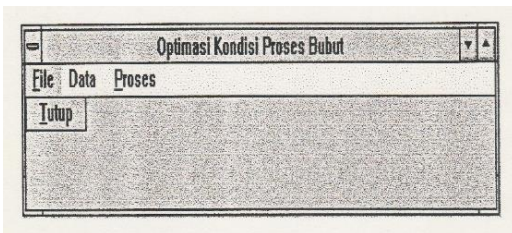
mempunyai 3 menu utama; File, **D**ata dan **P**roses.



Gambar 7. Tampilan Jendela Utama Optimasi Kondisi Pemsinan.

2.4. Tampilan Sub-sub Menu

Menu **F**ile | **T**utup sebagaimana terlihat pada Gambar 8, dimaksudkan sebagai navigasi jika pemakai ingin mengakhiri eksekusi program.



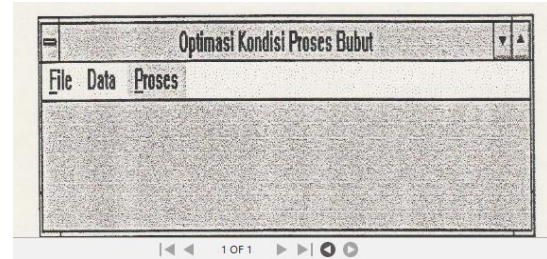
Gambar 8. Sub Menu **F**ile | **T**utup.



Gambar 9. Sub-sub Menu pada Menu **D**ata.

Menu **D**ata (Gambar 9) dipersiapkan apabila pemakai ingin melakukan penambahan, perbaikan atau ingin menghapus entri data tertentu yang terdapat pada pangkalan data.

Sedangkan Menu **P**roses, sebagaimana **Gambar 10** dipersiapkan untuk melakukan proses penentuan kondisi optimum bagi suatu kondisi proses bubut yang telah direncanakan.



Gambar 10. Sub Menu **P**roses

2.5. Pengujian Piranti Lunak

Pengujian termasuk pekerjaan utama dalam tahapan pembuatan sebuah piranti lunak. Hal ini penting untuk menyakinkan bahwa pengguna akan “aman” menggunakan piranti lunak dan memperoleh hasil yang benar untuk berbagai tindakan yang dilakukan. Ada dua cara dalam melakukan pengujian yang dilakukan disini, yakni (1) verifikasi, dan (2) validasi.

Piranti lunak ini dikembangkan secara mendalam kemudian meluas. Artinya, pembuatan dilakukan tahap demi tahap, dan tidak dilanjutkan ke tahap sebelumnya jika tahap yang sedang dilakukan belum selesai. Dengan pengerjaan yang demikian, maka sebenarnya verifikasi dan validasi telah dilakukan tahap demi tahap dan disetiap fase pengembangannya.

2.6. Verifikasi

Verifikasi merupakan pengujian secara random yang dilakukan dengan berbagai kombinasi tindakan eksekusi piranti lunak secara acak. Verifikasi ini dimaksudkan untuk melihat berbagai kemungkinan terjadinya pesan kesalahan (*error*) selama program dieksekusi (*run*). Verifikasi dilakukan dengan mengeksekusi program tanpa melihat kebenaran *input* dan *output* yang diberikan. Menu utama, sub-sub menu, pilihan dan perintah dipilih dan di-klik sekehendaknya.

Kesalahan-kesalahan yang bisa saja terlihat saat verifikasi dilakukan adalah kesalahan seperti tidak dipanggilnya sub-rutin, variabel yang tidak ditemukan, konstanta yang berharga nol, deklarasi rentang perulangan, perintah membuka dan menutup sebuah *file*, dan sebagainya. Kesalahan-kesalahan tersebut pada umumnya terjadi karena kesalahan penulisan nama sub-rutin, variabel dan konstanta serta kesalahan penempatan urutan perintah.

2.7. Validasi

Validasi dilakukan dengan membandingkan *output* yang ditampilkan piranti lunak dengan pengujian langsung di lapangan. Pengujian dilakukan hanya terhadap waktu (laju produksi) operasi saja. Hal ini dilakukan dengan mengingat, bahwa untuk pengujian terhadap biaya diperlukan komponen pengujian yang banyak.

Tahap kegiatan validasi yang dilakukan adalah:

1. Menjalankan piranti lunak dengan mengambil studi kasus.
2. Mencatat kondisi optimum yang diberikan oleh piranti lunak.
3. Menerapkan kondisi optimum yang diberikan piranti lunak, langsung pada mesin dan mencatat waktu pemesinan tersebut.
4. Menganalisa hasil yang diperoleh.

Dalam hal ini, validasi dilaksanakan dengan mengambil studi kasus untuk kondisi proses bubut dengan menggunakan mesin YAM type CL 10100 AG, material pahat TPGN 621 Coromant Sandvic dan material benda kerja ST 40. Sedangkan data lainnya adalah sebagai berikut:

- Diameter benda kerja (D) = 50.8mm
- Panjang benda kerja (L) = 500mm
- Biaya operasi / menit (C_o) = 10 Rp / menit (asumsi)
- Biaya / mata pahat (C_p) = 50 Rp / mata (asumsi)
- Waktu Pergantian pahat (t_c) = 0.5 min (asumsi)
- Waktu pergantian / komponen (t_h) = 1 menit (asumsi)
- Kecepatan potong max.(V_u) = 400 m / min
- Kecepatan potong min. (V_i) = 50 m / min
- Gerak makan max. (f_u) = 0.75 mm / put
- Gerak makan min. (f_i) = 0.30 mm / put
- Kedalaman pemakanan max.(d_u) = 2.75 mm
- Kedalaman pemakanan min (d_i) = 1.20 mm
- Gaya potong (f_c) = 75 kg (asumsi)
- Effisiensi pemesinan (η_m) = 0.9 (asumsi)
- Daya motor(P) = 3.7 kW

- Konstanta
 - $\alpha = 60. \times 10^{10}$
 - $\alpha_1 = 5.0$
 - $\alpha_2 = 1.75$
 - $\alpha_3 = 0.75$
 - $\beta_{01} = 132.$
- Eksponen perpindahan panas
 - $\beta_1 = 0.4$
 - $\beta_2 = 0.2$
 - $\beta_3 = 0.105$

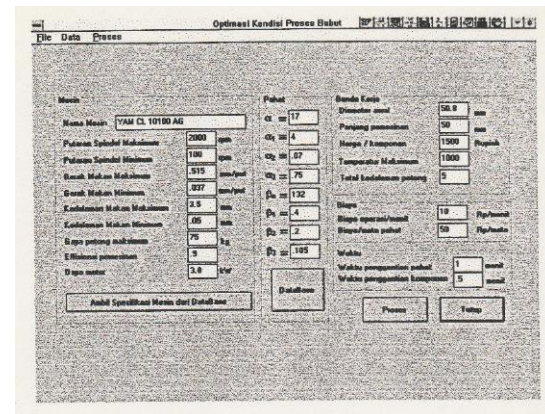
Temperatur permukaan pahat (θ_m) = 1000° C

Total kedalaman potong (t) = 5 mm

Harga material / komponen(C_m) = Rp 1500.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tampilan pengisian data pada piranti lunak diperlihatkan pada Gambar 11 di bawah ini



Gambar 11. Pengisian Data Pada Piranti Lunak

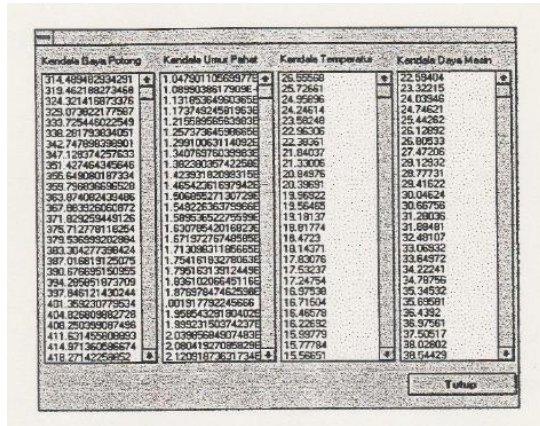
Kondisi optimum bagi studi kasus diatas yang dihasilkan oleh piranti lunak adalah sebagaimana ditampilkan pada Gambar 12 di bawah ini

Kriteria Ekspansi	Variabel Pemrosesan			Fungsi Tujuan	
	v	f	a	Biaya per unit	Laju Produksi
Biaya Pemakanan	109	0.07	0.05	24.95936	24.029452
Daya Mesin	332	0.07	0.05	11.48267	52.207176
Waktu Pahat	50	0.3	1.2	214.3333	2.788378
Temperatur	220	0.3	1.2	50.50725	11.679494

Gambar 12. Kondisi Optimum

Dari Gambar di atas terlihat bahwa kondisi daya mesin adalah yang paling optimum diandingkan dengan tiga kriteria lain.

Hasil perhitungan lengkap kendala kendala yang dihasilkan oleh piranti lunak diperlihatkan pada gambar di bawah ini



Gambar 13. Hasil Perhitungan kendala

3.1. Hasil Pengujian Langsung

Pengujian langsung dilakukan dengan mengambil data dari hasil perhitungan kondisi optimum yang diperoleh dari piranti lunak.

Namun demikian, karena pengujian dilakukan pada mesin konvensional, yang mana tingkat putaran spindelnya dan gerak makannya sangat terbatas (berbeda dengan yang terdapat pada mesin NC) maka putaran spindel yang diterapkan adalah berupa pendekatan terhadap nilai terdekat yang ada pada mesin.

Tabel 1 memperlihatkan laju produksi hasil perhitungan oleh piranti lunak dan laju produksi hasil pengujian langsung.

Tabel 1. Laju Produksi Pengujian Langsung dan Laju Produksi Perhitungan Piranti Lunak

Nama Mesin	: YAM CL 10100 AG
Putaran spindel maksimum	: 2000 rpm
Putaran spindel minimum	: 100 rpm
Gerak makan maksimum	: 0.515 mm/putaran
Gerak makan minimum	: 0.037 mm/putaran
Kedalaman makan maksimum	: 3.5 mm
Kedalaman makan maksimum	: 0.05 mm

Diameter benda kerja : 50.8 mm

Panjang pemesinan : 50 mm

Kriteria Kepuasan	n	f	a	Laju Produksi (unit/jam)	
				Pengujian	Perhitungan
Gaya Pemotongan	675	0.037	0.05	31,5457	24,039462
Daya Mesin	2000	0.037	0.05	94,3396	52,207176
Umur Pahat	330	0.3	1.2	22,7790	2,799378
Temperatur	1200	0.3	1.2	84,0336	11,879484

Dari tabel hasil pengujian langsung terhadap mesin di atas terlihat bahwa waktu pemesinan tercepat diberikan oleh kriteria kepuasan Daya Mesin. Hal ini menyiratkan bahwa kriteria kepuasan kondisi optimum hasil perhitungan yang dihasilkan piranti lunak sesuai dengan kriteria kepuasan hasil pengujian langsung dilapangan.

3.2. Dokumentasi

Sebagai bagian akhir dari pembuatan piranti lunak ini, dilakukan dokumentasi dengan membuat *print-out* pengkodean, menduplikasi *source program*, membuat *set-up disk*.

Print-out pengkodean dan duplikasi *source program*, dimaksudkan untuk menghindari pembuatan ulang jika terjadi kemungkinan adanya "physical error" pada komputer dimana piranti ini dibuat. Adapun *set-up disk* dibuat agar piranti lunak dapat didistribusikan untuk di *install* ke komputer lain dan berjalan tanpa harus dieksekusi dari Visual Basic.

KESIMPULAN

Setelah melewati tahapan studi perpustakaan dan analisa kondisi pemotongan optimum pada proses pembubutan disertai pengembangan program komputer optimasi maka penulis menyampaikan beberapa pemikiran untuk dijadikan suatu bahan diskusi.

1. Kondisi pemotongan optimum adalah kondisi pemotongan yang dirancang untuk mengoptimalkan waktu pemesinan dimana penerapan kondisi pemotongan ini secara tidak langsung menghasilkan biaya pemesinan yang relatif rendah

2. Hasil kondisi pemotongan optimum ini masih berupa nilai teoritis dan untuk dapat diterapkan pada proses pemesinan masih dihadapkan pada kendala akibat keterbatasan mesin perkakas, pahat dan spesifikasi produk.
3. Tujuan yang diharapkan dapat dicapai dalam proses pembubutan adalah laju penghasilan geram sebanyak mungkin dengan kesesuaian spesifikasi produk.
4. Biaya operasi sangat berpengaruh dibandingkan dengan biaya pahat terhadap biaya perunit.
5. Waktu penggantian pahat sangat berpengaruh terhadap laju produksi.
6. Program yang dirancang tidak saja sebagai program optimasi melainkan juga sebagai dasar basis data pahat dan mesin perkakas. Dengan demikian pemograman ini diharapkan dapat menampung hasil penelitian selanjutnya mengenai matematis dari kendala-kendala pada proses pembubutan
7. **John A. Schey**, "Introduction to Manufacturing Processes" McGraw-Hill Book Company.
8. **Mark Deming, Brett Young, David Ratliff**, "PCBN Turns Gray Cast Iron" Cutting Tool Engineering No.4 /1994.
9. **Robert I. King**, "Handbook of High-Speed Machining Technology" New York - London, Chapman And Hall.
10. **Ronald A Walsh**, "McGraw-Hill Machining and Metal Working Handbook" McGraw-Hill, Inc.
11. **Roy A Linberg**, "Processes and Materials of Manufacture" Allyn and Bacon.
12. **Steve F. Krar, J. William Oswald**, "Technology of Machine Tools" Macmillan / McGraw-Hill.
13. **S.M. Wu, D.S. Ermer**, "Maximum Profit as the Criterion in the Determination of the Optimum Cutting Conditions" Journal of Engineering for Industry, November 1966 / 435.
14. **Sandvik Coromant**, "Turning Tools" Catalogue, 1995.
15. **Taufiq Rochim**, "Proses Pemesinan" ITB, 1988.
16. **Yogendra Chadda and Mohammad Haque**, "FinisH-Turning Surface Roughness" Cutting Tool Engineering No.4 / 1993.

Daftar Pustaka

1. **B.L.Juneja, G.S.Sekhon**, "Fundamental of Metal Cutting and Machine Tools" John Wiley & Sons, New York - Chichester - Brisbane - Toronto - Singapore.
2. **Beveridge G.S. and Schester R.S.**, "Optimization Theory and Practice" McGraw-Hill Kogakusha Ltd, International Student Edition, Tokyo, 1970.
3. **G K Lal & A Ghosh**, "Advances in Manufacturing Science & Technology" Proceedings of the 9th All India Machine Tool Design & Research Conference, December 10-13, 1980.
4. **Gerge E. Dieter**, "Engineering Design a Material & Processing Approach" McGraw-Hill International Editions.
5. **Herman W. Pollack**, "Toll Design" Prentice_Hall International Editions
6. **Jasbir S. Arora**, "Introduction to Optimum Design" McGraw-Hill International Design, Mechanical Engineering Series, th 1989.