

Simulasi Komputer untuk Memprediksi Besarnya Daya Pemotongan pada Proses Pembubutan Silindris

Muhammad Rizal, T. Edisah Putra

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala

Jl. Syech Abdul Rauf No.7-Darussalam-Banda Aceh (23111)

e-mail : muh.rizal@hotmail.com

Abstrak

Pada proses pemotongan logam dengan mesin bubut, besarnya daya potong yang dibutuhkan dipengaruhi oleh beberapa parameter pemotongan. Beberapa parameter pemotongan diantaranya adalah: kedalaman potong (depth of cut), pemakanan (feed), sudut potong utama (principal cutting edge angle), dan putaran spindel mesin. Sudut potong utama dan putaran mesin merupakan parameter awal yang utama yang harus ditentukan sebelum proses bubut. Untuk menentukan sudut potong utama dan putaran spindel, perlu dihitung dan dianalisa pengaruhnya terhadap kebutuhan daya mesin bubut. Sehingga pemanfaatan bahasa pemrograman merupakan salah satu alat bantu untuk perhitungan yang panjang dan berulang secara cepat, akurat dan efisien. Tujuan penelitian ini untuk membuat software dengan bahasa pemrograman Visual Basic 6 dan juga melakukan percobaan bubut dengan parameter yang sama antara simulasi dengan percobaan, sehingga hasil pengukuran dari percobaan dapat dibandingkan dengan hasil hitungan dari program simulasi. Dari hasil penelitian ini disimpulkan bahwa program simulasi yang dibuat dapat diterapkan untuk memprediksi dan menganalisa daya pada proses bubut dan kondisi pemotongan logam yang lain. Namun, terdapat selisih pengukuran dengan perhitungan maksimum sebesar 18 %.

Kata kunci: daya potong, sudut potong utama, putaran spindel, simulasi visual basic.

1. PENDAHULUAN

Proses pemotongan logam khususnya pembubutan sangat banyak dipakai oleh industri besar maupun kecil, dan mesin juga berbeda. Produk yang akan dibuatpun bervariasi sesuai dengan permintaan (*order*) dari pengguna produk, sehingga perlu dianalisa sebelum proses pemotongan logam dilakukan. Salah satu parameter yang penting adalah daya. Daya mesin bubut di pengaruhi oleh sudut potong utama (*major cutting edge angle*), putaran spindel mesin (*machine rotation*), kedalaman potong (*depth of cut*), dan kecepatan pemakanan (*feed*)[2]. Untuk menetapkan sudut potong utama dan putaran spindel mesin agar sesuai dengan mesin bubut yang tersedia, maka perlu perhitungan dan analisa perencanaan kondisi pemotongan.

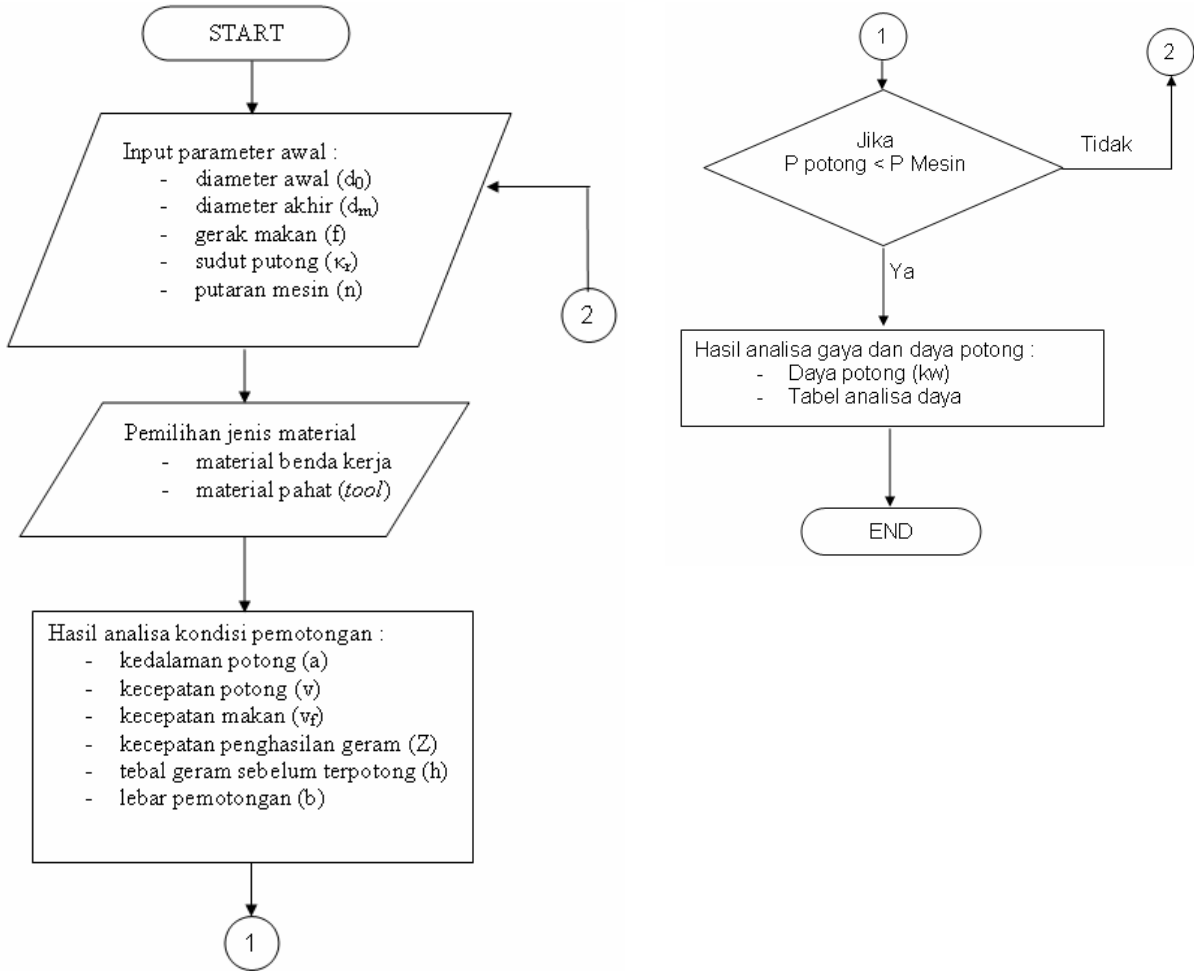
Tujuan penelitian ini adalah untuk membuat suatu software yang dapat menganalisa dan memprediksi kondisi pemotongan dan daya yang dibutuhkan dalam proses pembubutan silindris. Selain itu, penelitian ini juga untuk melihat pengaruh parameter sudut potong dan putaran spindel mesin bubut terhadap perubahan daya yang dibutuhkan dalam merencanakan pekerjaan bubut. Dengan software dan simulasi ini diharapkan dapat bermanfaat untuk pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, khususnya pemanfaatan komputer sebagai alat bantu untuk menganalisa, merencanakan, memprediksi hasil suatu pekerjaan (pembubutan silindris) agar lebih ekonomis dan efisien.

2. METODE PENELITIAN

Metode yang dilakukan dalam penelitian ini adalah pembuatan software simulasi untuk memprediksi daya yang dibutuhkan pada proses bubut silindris dan serangkaian pengujian proses bubut silindris.

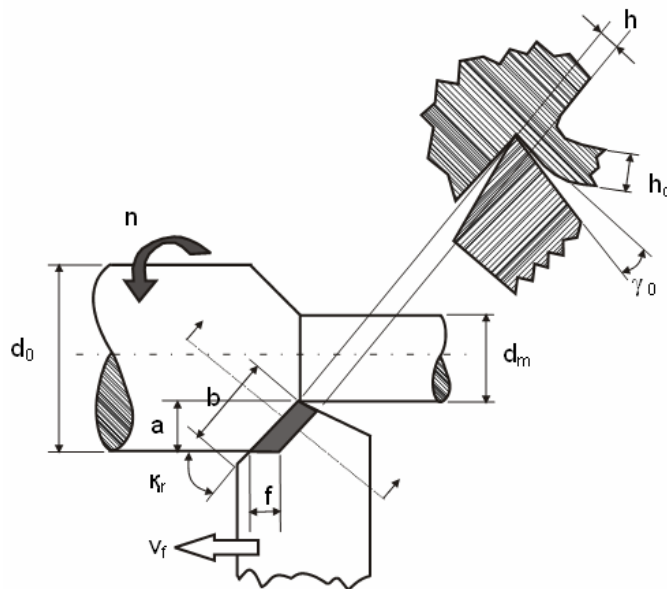
2.1 Pembuatan Software

Program yang akan dibuat dengan menggunakan bahasa pemrograman Visual Basic 6, dengan membuat beberapa tampilan, seperti tampilan input, tampilan data material, tampilan hasil dan tampilan hasil kondisi pemotongan secara keseluruhan. Diagram alir program komputer yang dibuat adalah sebagai berikut.



Gambar 1. Diagram alir program

Dalam perencanaan pembuatan software yang menggunakan bahasa program, maka setiap proses yang akan rencanakan harus dibuat dalam bentuk model matematis. Pemodelan proses bubut silindris secara umum seperti gambar dibawah ini.



Gambar 2. Proses Pembubutan Silindris.

Arah n merupakan arah gerakan utama mesin bubut yang berupa gerakan berputar yang dihasilkan oleh benda kerja yang dicekam pada *spindel* mesin bubut. Arah v_f merupakan arah kecepatan gerakan pemakanan pahat terhadap benda kerja. a adalah kedalaman potong (*depth of cut*), κ_r adalah sudut potong utama (*major cutting edge angle*), d_0 adalah diameter awal benda kerja, d_m adalah diameter akhir setelah pemotongan, f adalah gerakan pemakanan (*feed*), h adalah tebal geram sebelum terpotong (*undeformed chip thickness*), h_c adalah tebal geram setelah terpotong, b adalah lebar pemotongan dan γ_0 adalah sudut geram [1].

Model matematis yang dapat diturunkan dari gambar (2) adalah

$$1. \text{ Kedalaman potong : } a = \frac{(d_0 - d_m)}{2} ; \text{ mm} \quad (1)$$

$$2. \text{ Kecepatan potong : } v = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} ; \text{ m/min} \quad (2)$$

$$3. \text{ Kecepatan makan : } v_f = f \cdot n ; \text{ mm/min} \quad (3)$$

$$4. \text{ Waktu pemotongan : } t_c = \frac{l_t}{v_f} ; \text{ min} \quad (4)$$

$$5. \text{ Kecepatan penghasilan geram : } Z = f \cdot a \cdot v ; \text{ cm}^3 / \text{ min} \quad (5)$$

$$6. \text{ Tebal geram sebelum terpotong : } h = f \sin \kappa_r ; \text{ mm} \quad (6)$$

$$7. \text{ Lebar pemotongan : } b = \frac{a}{\sin \kappa_r} ; \text{ mm} \quad (7)$$

Hubungan daya terhadap elemen-elemen dasar proses bubut adalah[1] :

$$N_c = \frac{F_v \cdot v}{60.000} ; \text{ kW} \quad (8)$$

Dimana, N_c adalah daya yang dibutuhkan (kW), F_v adalah gaya potong (N) dan v adalah kecepatan potong (m/min)

Gaya potong sangat dipengaruhi oleh gaya potong spesifik (*specific cutting force*). Rumus gaya potong spesifik telah ditentukan oleh suatu percobaan proses pemotongan dengan menggunakan dinamometer[1]. Dengan menetapkan dan mengubah beberapa variabel proses pemotongan (geometri pahat, v , a dan f) maka dapat dicari suatu korelasi antara gaya pemotongan dengan variabel proses pemotongan.

$$F_v = k_s \cdot A \quad (9)$$

Dimana k_s adalah gaya potong spesifik N/mm² dan A adalah penampang geram sebelum terpotong $= b \cdot h = a \cdot f$ satuan dalam mm². Hubungan antara gaya potong spesifik dengan variabel permesinan adalah:

$$k_s = k_{s \cdot 1.1} \cdot f^{-z} \cdot C_{\kappa} \cdot C_{\gamma} \cdot C_{VB} \cdot C_v , \quad (10)$$

Dimana $k_{s \cdot 1.1}$ adalah gaya potong spesifik referensi, yaitu harga $a \cdot f = 1.1 = 1 \text{ mm}^2$ dan berlaku untuk sudut potong utama $\kappa_r = 90^\circ$. h adalah tebal geram sebelum terpotong (mm) dan z adalah pangkat tebal geram yang harganya rata-rata 0,2. Sedangkan hubungan hubungan gaya potong spesifik referensi terhadap material benda kerja adalah:

$$k_{s \cdot 1.1} = 144 \cdot \sigma_u^{0,37} ; \text{ N/mm}^2. \quad (11)$$

Dimana σ_u adalah kekuatan tarik benda kerja (UTS) satuannya N/mm². sedangkan C_{κ} adalah faktor koreksi akibat pengaruh sudut potong utama, C_{γ} adalah faktor koreksi pengaruh sudut geram, C_{VB} adalah faktor koreksi panjang keausan tepi dan C_v adalah faktor koreksi pengaruh kecepatan potong.

Tabel 1. Faktor koreksi C_{κ_r} , pengaruh sudut potong utama, κ_r

κ_r	Jenis pahat	
	Karbida	Keramik
90°	1	1
80°	1.014	1.016
60°	1.041	1.059
55°	1.057	1.083
50°	1.077	1.110
45°	1.102	1.149

Tabel 3. Faktor koreksi C_{VB} , pengaruh panjang keausan tepi VB

VB	C_{VB}	VB	C_{VB}
0.1	1.04	0.3	1.12
0.2	1.08	0.4	1.16
VB	C_{VB}	VB	C_{VB}
0.5	1.20	0.7	1.28
0.6	1.24	0.8	1.32

Tabel 2. Faktor koreksi C_γ , pengaruh sudut geram, γ_o

γ_o	C_γ	γ_o	C_γ
15°	0.91	0°	1.06
10°	0.96	-6°	1.12
6°	1.0		

Tabel 4. Faktor koreksi C_v , pengaruh kecepatan potong v

v ; m/min	C_v	Jenis Pahat
30 s.d. 50	1.11	Bagi pahat HSS
50 s.d. 100	1.06	Bagi pahat karbida
100 s.d. 200	1.0	
Diatas 200	0.94	Bagi pahat keramik

2.2 Pengujian Pembubutan

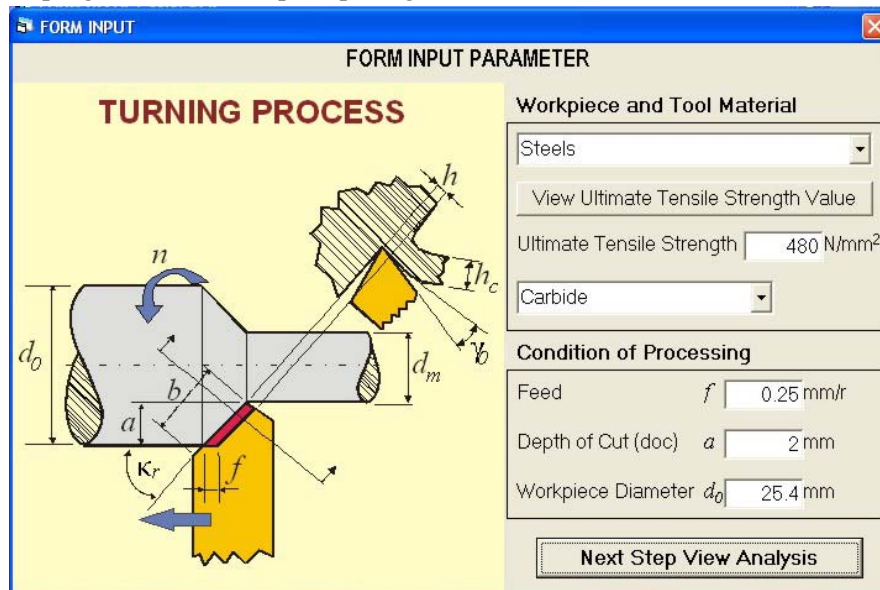
Pengujian pembubutan dilakukan untuk mengukur amper mesin bubut pada setiap kondisi pemotongan, lalu dikonversikan ke dalam daya listrik dengan persamaan[6]:

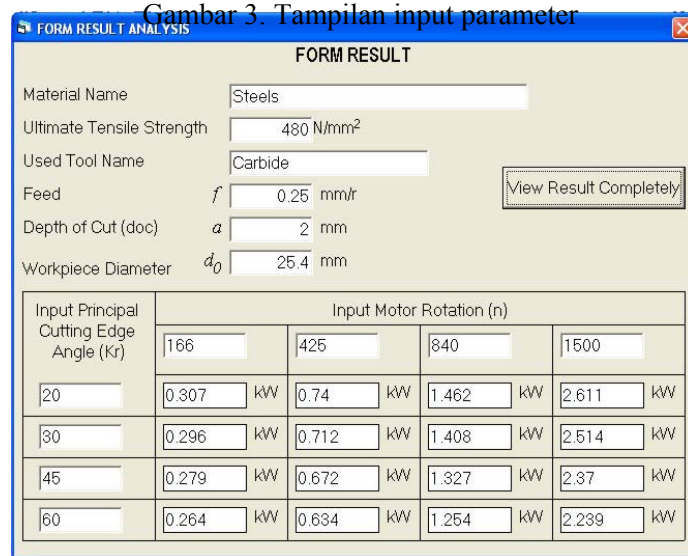
$$kW = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos \phi. \tag{12}$$

Langkah-langkah percobaan: (1) Mempersiapkan benda kerja yang berbentuk poros dengan diameter 25,4 mm, panjang 150 mm. Material berupa Baja S30C dengan pahat bubut karbida (*carbide*). (2) Merpersiapkan alat Multitester (Ampere Meter) yang digunakan untuk mengukur amper mesin bubut pada saat proses pemotongan logam berlangsung. (3) Menetapkan kondisi pemesinan : Sudut potong : κ_r (1) = 20°, κ_r (2) = 30°, κ_r (3) = 45°, κ_r (4) = 60°, Putaran spindel : n (1) = 166 rpm, n (2) = 425 rpm, n (3) = 840 rpm, n (4) = 1500 rpm, Gerak makan : $f = 0,25$ mm/rev (konstan) dan Kedalaman potong: $a = 2$ mm (konstan). (4) Melakukan proses pemesinan sebanyak 18 kali dengan variasi sudut potong dan putaran spindel. (5) Mengukur ampere mesin bubut dengan alat multitester, dan hasilnya dicatat ke dalam tabel.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari program simulasi seperti pada gambar dibawah ini.





Gambar 4. Tampilan ringkasan hasil

Kr (°)	n (rpm)	v (m/min)	vf (mm/min)	Z (cm³/min)	b (mm)	h (mm)	A (mm)	P (kW)
20	166	13.246	41.5	6.623	5.848	0.086	0.5	0.307
	425	33.913	106.25	16.957	5.848	0.086	0.5	0.74
	840	67.029	210	33.515	5.848	0.086	0.5	1.462
	1500	119.695	375	59.847	5.848	0.086	0.5	2.611
30	166	13.246	41.5	6.623	4	0.125	0.5	0.296
	425	33.913	106.25	16.957	4	0.125	0.5	0.712
	840	67.029	210	33.515	4	0.125	0.5	1.408
	1500	119.695	375	59.847	4	0.125	0.5	2.514
45	166	13.246	41.5	6.623	2.828	0.177	0.5	0.279
	425	33.913	106.25	16.957	2.828	0.177	0.5	0.672
	840	67.029	210	33.515	2.828	0.177	0.5	1.327
	1500	119.695	375	59.847	2.828	0.177	0.5	2.37
60	166	13.246	41.5	6.623	2.309	0.217	0.5	0.264
	425	33.913	106.25	16.957	2.309	0.217	0.5	0.634
	840	67.029	210	33.515	2.309	0.217	0.5	1.254
	1500	119.695	375	59.847	2.309	0.217	0.5	2.239

Gambar 5. Tampilan detail hasil simulasi

Dari hasil pengujian pembubutan silindris dan pengukuran terhadap amper mesin pada setiap kondisi pemotongan, maka hasilnya dapat ditampilkan sebagai berikut.

Tabel 5. Data hasil pengukuran ampere (I ;ampere)

Sudut potong, κ_r (°)	Putaran mesin, n (rpm)			
	166	425	840	1500
20	0,9	2,1	4,2	7,2
30	0,9	2,0	4,0	7,1
45	0,7	1,9	3,6	6,8
60	0,6	1,7	3,4	6,5

Setelah data ampere pada tabel 5 diatas dikonversikan kedalam daya (kW) dengan persamaan (12), maka hasil simulasi dan percobaan dapat ditampilkan seperti tabel 6.

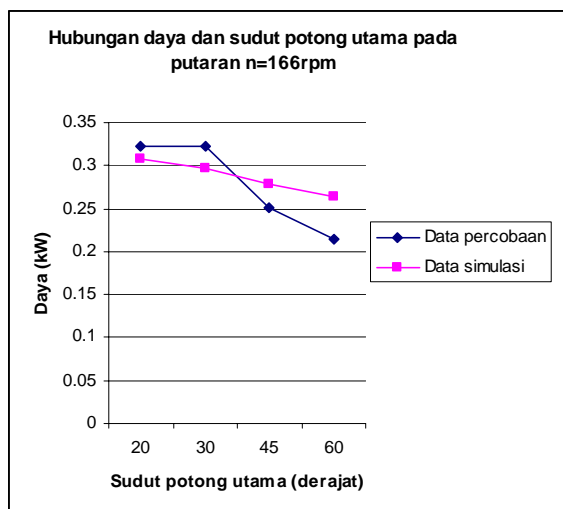
Tabel 6. Persentase selisih data percobaan terhadap simulasi

Sudut potong, κ_r (°)	Putaran mesin, n (rpm)	Daya (kW)		Selisih %
		Percobaan	Simulasi	
20	166	0.323	0.307	5.21
30		0.323	0.296	9.12
45		0.251	0.279	-10.04
60		0.215	0.264	-18.56
20	425	0.753	0.740	1.76
30		0.717	0.712	0.70
45		0.681	0.672	1.34
60		0.610	0.634	-3.79
20	840	1.506	1.462	3.01
30		1.434	1.408	1.85
45		1.291	1.327	-2.71
60		1.219	1.254	-2.79
20	1500	2.581	2.611	-1.15
30		2.546	2.514	1.27
45		2.438	2.370	2.87
60		2.330	2.239	4.06

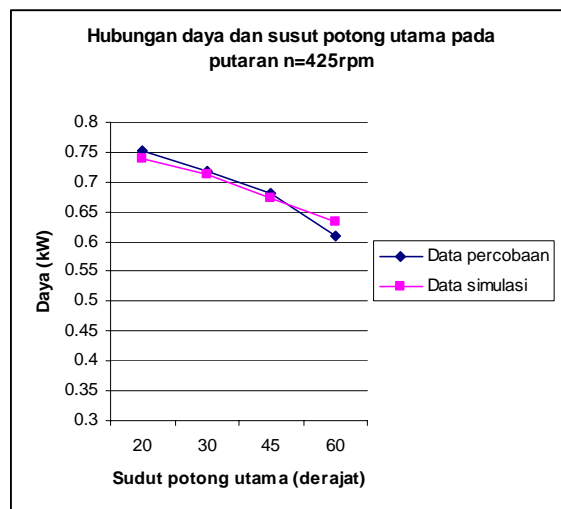
Hasil simulasi berkaitan dengan daya pemotongan dan sudut potong utama pahat sebagaimana tercantum pada tabel 6 di atas, bisa dijelaskan sebagai berikut: semakin kecil sudut potong utama pahat, maka luas bidang geser akan semakin besar[4]. Karena bidang geser semakin besar, maka gaya geser yang dibutuhkan untuk menghasilkan geram juga semakin besar. Peningkatan gaya geser akan meningkatkan gaya pemotongan, yang berarti juga akan meningkatkan daya pemotongan. Hasil simulasi sebagaimana tabel 2 tersebut, berlaku untuk semua kondisi operasi yang disimulasi (semakin kecil harga sudut potong utama pahat, semakin besar daya pemotongan yang diperlukan).

Sedangkan hubungan daya pemotongan dan putaran spindel adalah seiring dengan meningkatnya putaran, maka daya yang dibutuhkan akan meningkat, karena peningkatan putaran akan meningkatkan laju penghasilan geram (*metal removal rate*). Sehingga daya pemotongan berbanding langsung dengan laju penghasilan geram.

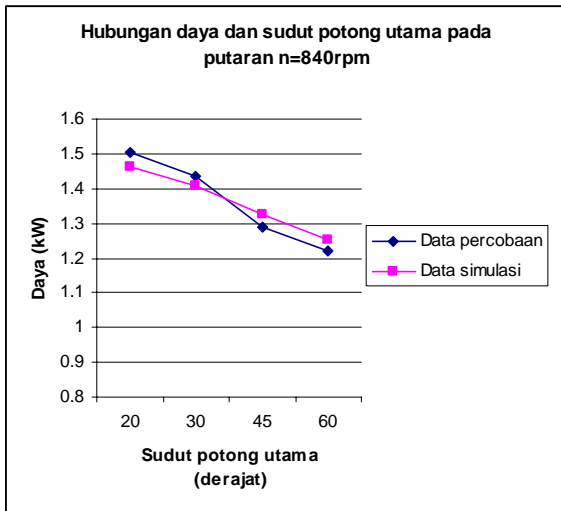
Dari tabel 6 diatas, dapat ditampilkan dalam bentuk grafik seperti yang ditunjukkan pada gambar dibawah ini.



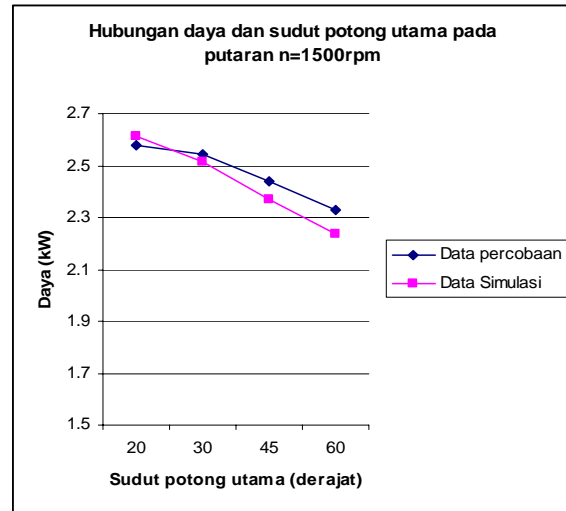
Gambar 6. Grafik hasil analisa hubungan daya dan sudut potong utama pada putaran 166 rpm



Gambar 7. Grafik hasil analisa hubungan daya dan sudut potong utama pada putaran 425 rpm



Gambar 8. Grafik hasil analisa hubungan daya dan sudut potong utama pada putaran 840 rpm



Gambar 9. Grafik hasil analisa hubungan daya dan sudut potong utama pada putaran 840 rpm

4. KESIMPULAN

Pemakaian bahasa pemrograman Visual Basic merupakan salah satu alat bantu untuk menghitung, menganalisa, dan memprediksi proses permesinan dengan cepat dan akurat. Dengan simulasi ini, memprediksi daya yang dibutuhkan untuk melakukan suatu proses pembubutan silindris merupakan langkah awal untuk merencanakan kondisi pemotongan yang sebenarnya. Sehingga kita mengetahui apakah kondisi pemotongan yang kita rencanakan sesuai dengan kemampuan mesin bubut yang ada. Parameter utama yang sangat berpengaruh pada kebutuhan daya adalah putaran spindel mesin dan sudut potong utama. Semakin besar putaran spindel semakin besar pula daya yang dibutuhkan. Sebaliknya, sudut potong utama semakin mendekati sudut 90° maka daya yang dibutuhkan semakin kecil. Selisih data antara pengukuran dan simulasi maksimum sebesar 18%, ini dipengaruhi oleh ketelitian alat, ketepatan pengukuran dan kondisi mesin.

5. DAFTAR PUSTAKA

1. Rochim, T., 1993, *Teori dan Teknologi Proses Pemesinan., Higher Education Development Support Project, Jakarta.*
2. DeGarmo, P., 1979, *Materials and Processes in Manufacturing., Collier Macmillan International Edition, New York.*
3. Boothroyd, G., 1983, *Fundamentals of Metal Machining and Machine Tools., MacGraw-Hill International Book Company, 7th printing, New York.*
4. Kalpakjian S., 1985, *Manufacturing Processes for Engineering Material, Addison-Wesley Publising Company, California.*
5. Pramono Dj., 1999, *Mudah Menguasai Visual Basic 6, Elex Media Komputindo, Bandung*
6. Hartono, 2006, *Teknik Tenaga Listrik, Jilid 2, PT. Pradnya Paramitha, Jakarta.*