

## OPTIMALISASI BESARNYA SUDUT POTONG PAHAT PADA PROSES *ROUGHING* AISI 1040 MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA

**Paryanto, Rusnaldy, Yusuf Umardani, Norman Iskandar**

Laboratorium Metrologi Industri, Jurusan Teknik Mesin

Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudarto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang

e-mail: [paryanto.undip@gmail.com](mailto:paryanto.undip@gmail.com)

### Abstrak

*Proses pemesinan dengan gaya pemotongan yang kecil akan menurunkan pemakaian daya listrik, meningkatkan kualitas produk dan menurunkan laju keausan pahat. Salah satu cara yang dilakukan untuk menurunkan gaya pemotongan adalah dengan mengoptimasi besarnya sudut potong pahat. Selama proses roughing gaya pemotongan relatif tinggi, dan umumnya menggunakan sudut potong pahat negatif. Pada makalah ini dibahas pengaruh besarnya sudut potong pahat negatif pada proses bubut terhadap gaya pemotongan, dengan tujuan untuk mengetahui besarnya sudut potong pahat yang paling optimal. Metode penelitian dilakukan dengan pemodelan menggunakan software Finite Element Method (FEM) dan material yang digunakan adalah baja AISI 1040. Simulasi dilakukan pada sudut potong  $-15^\circ$  sampai  $0^\circ$ . Hasil dari simulasi kemudian dibandingkan dengan hasil empirik berdasarkan pendekatan dari Kienzle dan hasil eksperimen oleh Günay, M., dkk (2005). Dari penelitian ini diperoleh kesimpulan bahwa gaya pemotongan akan menurun sebanding dengan pergerakan sudut potong pahat dari  $-15^\circ$  sampai  $0^\circ$ , sedangkan perbedaan hasil simulasi FEM dengan hasil empirik adalah 12,94% dan dengan hasil eksperimen adalah 16,10%.*

**Kata kunci:** *sudut potong pahat, gaya pemotongan, FEM, roughing, bubut.*

### Pendahuluan

Proses pemesinan merupakan proses manufaktur yang utama dan berpengaruh langsung terhadap efisiensi dari suatu fasilitas produksi. Untuk meningkatkan efisiensi suatu proses pemesinan dapat dilakukan dengan berbagai cara, antara lain: optimalisasi dalam pemilihan material, meminimalisir penggunaan *cutting fluid* dan pengurangan gaya pemotongan (Dahmus, J.B. dan Gutowski, T.G., 2004). Pada proses manufaktur, besarnya energi yang digunakan untuk proses pemesinan biasanya sekitar 14,8%, sedangkan 85,2% merupakan nilai konstan yang digunakan untuk alat-alat penunjang (Gutowski, T.G., dkk, 2004).

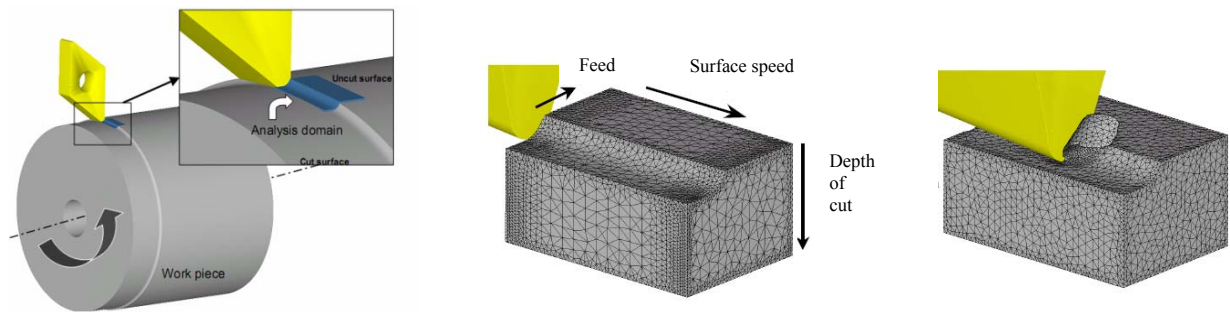
Gaya pemotongan merupakan faktor yang paling berpengaruh terhadap jumlah pemakaian energi yang diperlukan dalam suatu proses pemesinan. Faktor ini dipengaruhi oleh kecepatan potong, *feed rate*, kedalaman pemotongan, material pahat, keausan pahat, geometri pahat dan besarnya *rake angle* (sudut potong) (Günay, M., dkk, 2004). Untuk mengetahui energi pemotongan dilakukan dengan cara menghitung energi spesifik pada saat proses pemesinan, untuk material baja energi spesifik yang diperlukan antara 2,7 sampai 9,3 Ws/m<sup>3</sup> (Kalpakjian, S., 1995). Pengetahuan tentang gaya potong pada proses pemesinan merupakan langkah penting untuk meningkatkan kualitas hasil produk. Gaya pemotongan akan memberikan informasi yang penting dalam desain, pemodelan dan kontrol proses pemesinan. Gaya pemotongan juga dibutuhkan untuk proses optimasi pada proses pemesinan, memprediksi keausan pahat dan memperkirakan energi yang dibutuhkan serta biaya yang harus dikeluarkan dalam memotong suatu logam atau material.

Sampai saat ini belum ada rumus pasti yang digunakan untuk menghitung besarnya gaya pemotongan dalam proses pemesinan. Pendekatan secara eksperimental dan analisa empirik tentang pengaruh parameter pemesinan terhadap gaya pemotongan telah diteliti oleh Plebani, dkk (1993), Santochi, dkk (1997), Strafford, dkk (1997) dan Günay, dkk (2004). Pada proses bubut, sudut potong pahat berfungsi untuk mengontrol arah dari pembentukan *chip*, sehingga sangat berpengaruh terhadap besarnya gaya pemotongan (Kalpakjian, S., 1995). Pada studi ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh besarnya sudut potong pahat terhadap gaya pemotongan dan melakukan optimasi besarnya sudut potong pahat. Pemodelan dilakukan dengan cara bervariasi sudut potong pahat dari nilai  $-15^\circ$  sampai nilai  $0^\circ$ . Hasil dari simulasi kemudian dibandingkan dengan hasil eksperimental dan pendekatan empirik Kienzle yang telah dilakukan oleh Mustafa Günay, dkk (2005).

## Metodologi

### Pemodelan pada FEM

Proses bubut dilakukan dengan simulasi menggunakan *Software DEFORM 3D V5.0*, dengan pemodelan seperti pada Gambar 1. Dengan pemodelan seperti pada Gambar 1 kita dapat mengetahui interaksi antara benda kerja dengan pahat sekaligus preses terjadinya geram (Attanasio, A., dkk, 2008). Pahat dimodelkan sebagai material *rigid* dengan jumlah *mesh* 40.000 elemen, sedangkan benda kerja dimodelkan sebagai material *rigid-plastic*, diameter 40 mm dan *arc angle* 20°. Jumlah *mesh* benda kerja adalah 50.000 elemen dan dikonstrainsi *fixed* pada sisi bagian bawah. Proses pembubutan dilakukan dengan bervariasinya besarnya sudut potong, sedangkan parameter pemesinan yang lain tetap. Karakteristik dari proses pemesinan dapat dilihat pada Tabel 1.



**Gambar 1** Pemodelan proses bubut pada *Software DEFORM 3D V5.0* (*Documentation for machining wizard, Deform 3D*).

**Tabel 1** Geometri, data material dan parameter proses pemesinan pada pemodelan *DEFORM 3D* (Attanasio, A., dkk, 2008; *DEFORM 3D machining manual*, 2003).

Parameter	Nilai
<b>Pahat</b>	CNMA 432
<i>Rake angle</i> [°]	-15; -12,5; -10; -7,5; -5; -2,5; 0
<i>Clearance angle</i> [°]	0
<i>Material</i>	WC
<i>Conductivity</i> [W/m K]	59
<i>Heat Capacity</i> [J/m <sup>3</sup> K]	3.8 x 10 <sup>6</sup>
<i>Emissivity</i>	0.45
<b>Benda Kerja</b>	
<i>Material</i>	AISI 1040 ( <i>Oxley equation</i> )
<i>Conductivity</i> [W/m K]	<i>Function of temperature</i>
<i>Heat Capacity</i> [J/m <sup>3</sup> K]	<i>Function of temperature</i>
<i>Emissivity</i>	0.75
<i>Shear friction factor</i>	0.75
<b>Parameter Pemesinan</b>	
<i>Cutting speed</i> [m/min]	80; 100; 120; 150; 180
<i>Feed rate</i> [mm/rev]	0.25
<i>Dept of cut</i> [mm]	2.5
Temperatur lingkungan [°C]	20

Pendekatan Empirik oleh Kienzle, dkk

Berdasarkan pendekatan yang dilakukan oleh Kienzle (1996), gaya pemotongan dipengaruhi oleh *cutting stress* dan *chip area*, yang dapat didefinisikan sebagai berikut:

$$F_c = A \cdot k_s \quad (1)$$

dimana  $F_c$  adalah gaya potong (N);  $A$ , *chip cross-section* ( $\text{mm}^2$ );  $k_s$ , gaya potong spesifik material ( $\text{N}/\text{mm}^2$ ). Sedangkan nilai dari  $k_s$  yang digunakan untuk menghitung gaya potong utama ( $F_c$ ) diperoleh dari persamaan:

$$k_s = k_{11} / h^m \quad (2)$$

dimana  $k_{11}$  adalah *specific cutting force* yang diperlukan untuk menghasilkan *chip cross-section* dengan ketebalan ( $h$ ) = 1 mm dan lebar ( $b$ ) = 1 mm, sedangkan  $m$  adalah *slope* dari kurva logaritmik antara  $k_{11}$  dan  $h$  yang besarnya tergantung dari material benda kerja. Ada banyak faktor yang mempengaruhi besarnya gaya potong ( $F_c$ ), antara lain: faktor sudut potong ( $k_\gamma$ ); faktor kecepatan potong ( $k_v$ ); faktor keausan pahat ( $k_a$ ); faktor akibat dari material pahat ( $k_t$ ). Faktor yang disebabkan sudut potong dapat dihitung sebagai berikut (Mehdi, F., 2001):

$$k_\gamma = C - 1,5\gamma / 100 \quad (3)$$

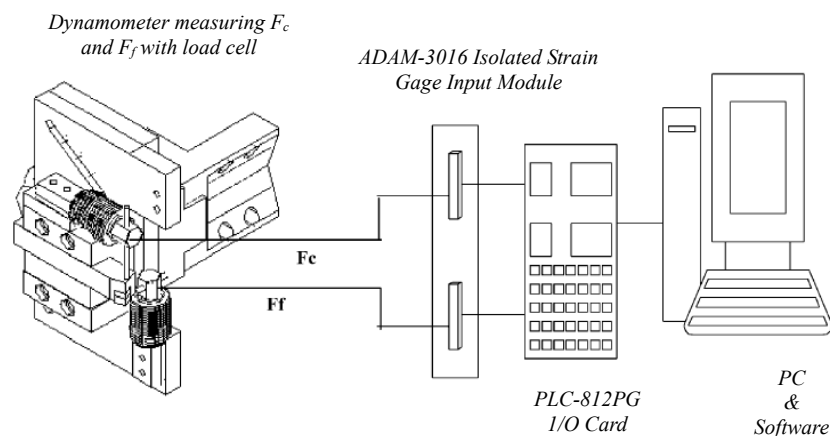
dimana  $\gamma$  adalah sudut potong ( $^\circ$ ); C adalah konstanta akibat adanya sudut potong (109 untuk baja; 103 untuk material lain). Dengan memasukkan semua faktor tadi, gaya potong utama ( $F_c$ ) dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$F_c = A \cdot k_s \cdot k_v \cdot k_\gamma \cdot k_a \cdot k_t \quad (4)$$

Persamaan 4 inilah yang digunakan untuk menghitung gaya potong ( $F_c$ ) secara empirik (Günay, M., dkk, 2004).

Metode Eksperimental oleh Günay, dkk

Penelitian secara eksperimental dilakukan oleh Günay, M., dkk, (2005) dengan memvariasikan sudut potong pahat mulai dari  $-5^\circ$  sampai  $12,5^\circ$  dan kecepatan potong dari 80, 100, 120, 150, 180 m/min. Material benda kerja yang digunakan adalah AISI 1040, dengan komposisi kimia: C = 0,329%; Si = 0,220%; Mn = 0,693%; P = 0,009%; S = 0,071%; Al = 0,019%; Fe = 98,07%. Sistem eksperimen yang dilakukan oleh Günay, ditunjukkan pada Gambar 2.



**Gambar 2** Sistem eksperimental dalam pengambilan data  $F_c$  (Günay, M., dkk, 2005).

### Hasil dan Pembahasan

Besarnya sudut potong pahat akan sangat mempengaruhi besarnya gaya potong dan temperatur pahat, sehingga pemilihan sudut potong pahat yang tepat akan dapat meningkatkan efisiensi proses pemesinan. Sudut potong negatif memiliki banyak keuntungan dan umumnya digunakan untuk proses *roughing* (Nelson, D.H. dan Schneider, G.Jr., 2001). Sudut potong umumnya memiliki nilai

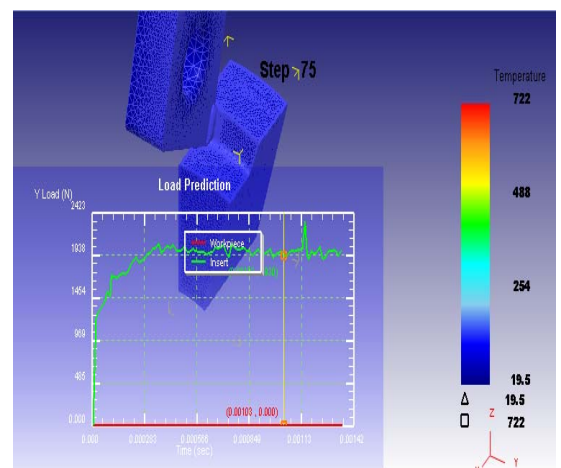
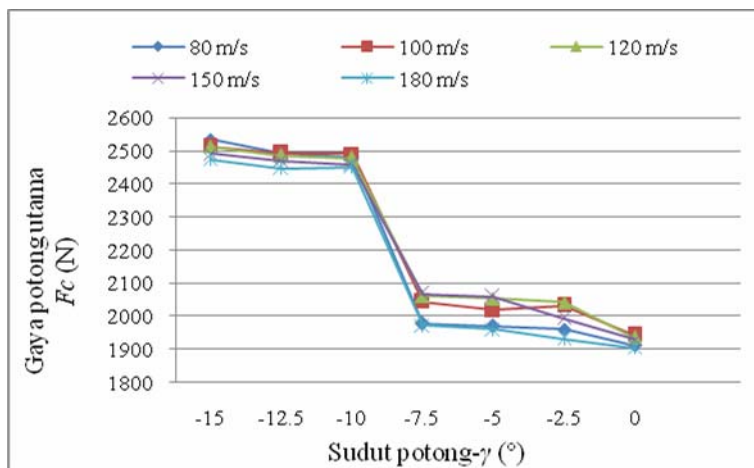
optimum, sehingga jika salah menentukan besarnya sudut potong akan menyebabkan pahat menjadi cepat aus. Keausan pahat terjadi karena adanya bidang gesek yang terlalu besar antara pahat dan benda kerja, sedangkan luas bidang gesek sangat dipengaruhi oleh besarnya sudut potong pahat.

Proses pemesinan dengan menggunakan simulasi FEM sangat *powerfull* karena dapat menghemat waktu dan biaya yang dibutuhkan untuk melakukan eksperimen. Tetapi penggunaan FEM harus divalidasi dengan metode yang lain, dengan tujuan untuk mengetahui besarnya deviasi yang terjadi. Hal ini dikarenakan dalam pemodelan menggunakan FEM proses bubut dilakukan dalam kondisi ideal tanpa memperhitungkan adanya *noise factor*.

Berdasarkan Günay, M., dkk (2004), gaya potong akan semakin menurun seiring dengan kenaikan sudut potong utama dari nilai negatif ke nilai positif. Akan tetapi, untuk proses *roughing* penggunaan sudut potong positif akan menurunkan umur pakai dari pahat, sehingga penggunaan sudut potong negatif masih sangat menguntungkan. Untuk itu, analisa pengaruh sudut potong negatif terhadap gaya potong harus dapat terdefinisi dengan jelas.

#### Pengaruh sudut potong pahat terhadap gaya potong utama ( $F_c$ )

Berdasarkan hasil simulasi menggunakan *DEFORM 3D*, besarnya gaya potong untuk beberapa nilai sudut potong dan kecepatan potong ditunjukkan seperti pada Gambar 3. Dari Gambar 3 dapat diperoleh kesimpulan bahwa sudut potong semakin mendekati  $0^\circ$  gaya potongan yang dihasilkan akan semakin turun, hal ini disebabkan karena dengan semakin mendekati  $0^\circ$  maka luas bidang kontak antara pahat dan benda kerja semakin kecil, sehingga gesekan yang terjadi akan semakin berkurang. Dengan gesekan yang semakin berkurang maka gaya pemotongan yang terjadi akan semakin kecil. Dari Gambar 3 juga diketahui bahwa dengan semakin besar kecepatan potong, gaya pemotongan mengalami penurunan. Pada sudut potong  $-7,5^\circ$  terjadi penurunan gaya potong yang cukup *significant* (19,5%), karena pada sudut potong  $-7,5^\circ$  gesekan yang terjadi antara pahat dan benda kerja jauh lebih rendah jika dibandingkan pada sudut  $-10^\circ$ . Disisi lain semakin negatif sudut potong pahat maka kekuatan pahat kan meningkat. Oleh sebab itu dapat disimpulkan bahwa sudut potong  $-7,5^\circ$  merupakan sudut potong yang paling optimal untuk proses *roughing* AISI 1040, karena menghasilkan gaya potong yang relatif kecil dan kekuatan pahat yang cukup besar.



(a) Gaya potong pada berbagai nilai sudut potong dan kecepatan potong

(b) Sudut potong  $0^\circ$ ,  $V = 80$  m/sec

**Gambar 3** Gaya potong utama ( $F_c$ ) dan hasil simulasi pemodelan pada *DEFORM 3D*.

#### Perbandingan hasil simulasi, hasil eksperimen dan hasil pendekatan empirik

Dari hasil perbandingan antara simulasi *DEFORM 3D*, eksperimen, dan pendekatan empirik (Tabel 2), diperoleh kesimpulan bahwa dengan menggunakan *DEFORM 3D* akan diperoleh nilai gaya pemotongan yang lebih tinggi dibandingkan dengan menggunakan pendekatan empirik maupun eksperimental. Rata-rata gaya pemotongan hasil simulasi lebih tinggi 16,10%

dibandingkan hasil eksperimen, dan lebih tinggi 12,94% jika dibandingkan dengan hasil pendekatan secara empirik. Hal ini disebabkan karena adanya perbedaan *friction model* yang dibangun oleh *DEFORM 3D* dan dengan kondisi *real* eksperimen. Dengan adanya *friction model* yang berbeda akan menyebabkan gaya pemotongan yang berbeda pula (ERC/NSM, The Ohio State University, 2002). Penyebab yang lain adalah adanya keterbatasan jumlah *meshing* yang bisa dilakukan pada simulasi *DEFORM 3D*. Sedangkan menurut Günay, M., dkk, (2004), perbedaan hasil gaya potong antara pendekatan secara empirik dan eksperimental disebabkan karena adanya idialisasi dalam menentukan  $k_s$  dan  $k_{II}$ .

**Tabel 2** Nilai gaya potong ( $F_c$ ) hasil eksperimental, pendekatan empirik dan simulasi *DEFORM 3D* (Hasil eksperimen dan pendekatan empirik diperoleh dari penelitian Günay, M., dkk, 2004).

Kecepatan potong $V$ (m/min) (%)	Sudut potong $\gamma$ (°)	Eksperimen (A) $F_c$ (N)	Empirik (B) $F_c$ (N)	Hasil Simulasi (C) $F_c$ (N)	Deviasi A & C (%)	Deviasi B & C
80	-15	-	-	2533,829	-	-
	-12,5	-	-	1491,273	-	-
	-10	-	-	1482,134	-	-
	-7,5	-	-	1977,926	-	-
	-5	1676,632	1831,529	1970,810	14,93	7,07
	-2,5	1666,340	1772,574	1960,618	15,01	9,59
	0	1660,949	1713,619	1912,120	13,36	10,38
100	-15	-	-	2512,893	-	-
	-12,5	-	-	2492,345	-	-
	-10	-	-	2490,379	-	-
	-7,5	-	-	2044,033	-	-
	-5	1698,063	1795,616	2019,880	15,93	11,10
	-2,5	1659,479	1795,818	2032,030	18,33	11,62
	0	1654,578	1680,019	1942,910	14,84	13,53
120	-15	-	-	2513,223	-	-
	-12,5	-	-	2485,947	-	-
	-10	-	-	2476,832	-	-
	-7,5	-	-	2060,967	-	-
	-5	1658,696	1777,660	2054,842	19,28	13,49
	-2,5	1652,617	1720,439	2041,700	19,06	15,73
	0	1650,167	1663,218	1935,593	14,75	14,07
150	-15	-	-	2491,161	-	-
	-12,5	-	-	1470,704	-	-
	-10	-	-	2457,775	-	-
	-7,5	-	-	2067,211	-	-
	-5	1682,023	1741,748	2060,259	18,36	15,46
	-2,5	1640,855	1685,683	1993,756	17,70	15,45
	0	1643,795	1629,618	1930,423	14,85	15,58
180	-15	-	-	2474,701	-	-
	-12,5	-	-	1446,816	-	-
	-10	-	-	2450,667	-	-
	-7,5	-	-	1972,486	-	-
	-5	1665,850	1723,792	1961,424	15,07	12,12
	-2,5	1658,008	1668,305	1931,485	14,16	13,63
	0	1601,647	1612,818	1904,698	15,91	15,32

## Kesimpulan

Kesimpulan dari hasil yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pahat dengan sudut potong negatif akan menghasilkan gaya pemotongan yang tinggi, tetapi kekuatan pahat akan lebih tinggi jika dibandingkan dengan pahat bersudut potong positif, sehingga sesuai untuk proses *roughing*.
2. Besarnya sudut potong optimum pada proses *roughing* AISI 1040 adalah pada  $-7,5^\circ$ .

- 
3. Rata-rata gaya pemotongan hasil simulasi *DEFORM 3D* lebih tinggi 16,10% dibandingkan hasil eksperimen, dan lebih tinggi 12,94% jika dibandingkan dengan hasil pendekatan secara empirik.

#### Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Laboratorium Metrologi Industri, Jurusan Teknik Mesin Universitas Diponegoro yang telah mendanai dan memfasilitasi penelitian ini.

#### Daftar Pustaka

- [1] Attanasio, A., Ceretti, E., Giardini, C., Filice, L. dan Umbrello, D., 2008, Criterion to evaluate diffusive wear in 3D simulations when turning AISI 1045 steel, *International Jurnal Master Form*, no. 1, pp. 495-498.
- [2] Bareggi, A., Torrance, A. dan O' Donnell, G., 2007, Modelling thermal effects in machining by finite element method, *Proceedings of the 24<sup>th</sup> International Manufacturing Conference*, pp. 263-272.
- [3] Dahmus, J.B. dan Gutowski, T.G., 2004, An environmental analysis of machining, *Proceedings of International Mechanical Congress and RD&D Expo, IMECE2004-62600*.
- [4] Scientific Forming Technology Corporation, 2003, *Documentation for machining wizard, DEFORM 3D*, Ohio, USA.
- [5] Günay, M., Aslan, E., Korkut, İ. dan Şeker, U., 2004, Investigation of effect of rake angle on main cutting force, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, no. 44, pp. 953-959.
- [6] Günay, M., Korkut, İ. Aslan, E., dan Şeker, U., 2005, Experimental investigation of the effect of cutting tool rake angle on main cutting force, *Journal of Materials Processing Technology*, no. 166, pp. 44-49.
- [7] Gutowski, T., Muprhy, C., Allen, D., Bauer, D., Bras, B., Pivonka, T., Sheng, P., Sutherland, J., Thurston, D. dan Wolff, E., 2004, Environmentally benign manufacturing: observation from Japan, Europe, and the United States, *Journal of Clear Production*, no. 13, pp. 1-17.
- [8] Kalpakjian, S., 1995, *Manufacturing Engineering and Technology*, Third Edition, Addison-Wesley Publishing Company, Reading, Massachusetts.
- [9] Mehdi, F., 1996, *Tornalama teorisi ve hesapları*, Takim Tezgahlari Teori Ve Hesaplari, Master thesis, Gazi University, Institute of Science and Technology (ISBN 975-06008-0-3).
- [10] Nelson, D.H. dan Schneider, G.Jr., 2001, *Applied Manufacturing Process Planning with Emphasis on Metal Forming and Machining*, Prentice Hall.
- [11] ERC/NSM, The Ohio State University, 2002, *Comparison of results between FEM predictions and experiments*, The Ohio State University.
- [12] Plebani, L.J. dan Fu, J.J., 1993, Entropy based method for characterizing dynamic cutting forced and tool wear in face milling processes, *Proceedings of the Industrial Engineering Research Conference IEEE*, Noreross GA, USA, pp. 365-369.
- [13] Santochi, M., Dini, G., Tantussi, G. dan Beghini, M., 1997, Sensor integrated tool for cutting monitor, *CIRP Annal Manufacturing Technology*, no.46(1), pp. 49-52.
- [14] Strafford, K.N. dan Audy, J., 1997, Indirect monitoring of machinability in carbon steels by measurement of cutting force, *Journal of Material Processing Technology*, no. 67(1-3), pp. 150-156.