

ONLINE MONITORING KEAUSAN CUTTING TOOL MENGUNAKAN AUDIO SIGNAL

Oleh:

Ahmad Atif Fikri¹, Muslim Mahardika², Teguh Pudji Purwanto³, Andi Sudiarso⁴, Herianto⁵

¹ Dosen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Malang

^{2, 3, 4, 5} Dosen Teknik Mesin dan Industri Fakultas Teknik Universitas Gajah Mada

E-mail: ahmadatiffikri@gmail.com

Abstract. Penelitian ini tentang kajian eksperimental *on-line monitoring audio signal* dengan *microphone* pada saat proses pembubutan *mild steel* pada saat *cutting tool* sebelum aus dan setelah aus dengan tujuan akhir penekanan biaya produksi dan peningkatan kualitas produk. Banyak penelitian dilakukan untuk mengembangkan *tool condition monitoring system*. Namun pengembangan tersebut menemui banyak kesulitan untuk diaplikasikan. Salah satu kendalanya adalah harga sensor yang cukup mahal, sehingga hanya industri besar yang dapat mengaplikasikannya. Karena itu dibutuhkan alternatif sensor yang terjangkau namun akurat dan *powerfull* untuk mendeteksi keausan *cutting tool*. Sinyal diproses menggunakan software komersial Lab View berupa *time domain* dan *frequency domain*. Sinyal yang diterima oleh Lab View tersebut difilter sehingga nilai yang muncul merupakan sinyal dari pemotongan bukan *noise* selain sinyal pemotongan. Dari sinyal pemotongan tersebut dapat diketahui nilai *frequency* dan *amplitude* yang muncul ketika *cutting tool* telah aus. Sebagai hasil penelitian, sinyal tersebut dapat digunakan untuk mendeteksi keausan *cutting tool* dengan akurat secara *on-line* dengan harga yang terjangkau.

Kata kunci : keausan *cutting tool*, *audio signal*, pembubutan

Dalam industri manufaktur penekanan biaya produksi dan pengembangan kualitas dari produk selalu ditingkatkan. Sehingga penemuan-penemuan baru dalam bidang *artificial intelligent*, *on-line monitoring*, *high precision machining* dan *high speed machining* terus dikembangkan. Dalam penelitian ini aplikasi dari *on-line monitoring* keausan pahat menggunakan *audible sound energy* telah didesain.

On-line monitoring merupakan proses pengukuran yang dilakukan secara langsung pada saat *machining*. Proses ini diperlukan untuk menghindari kesalahan pada saat *machining* secara dini, sehingga

produk yang diinginkan dapat selalu tercapai. Keterlambatan dalam mendeteksi cacat dari produk akan menyebabkan biaya dari produksi membengkak. Baik itu berupa produk yang cacat atau tidak sesuai standar yang diinginkan, energi pemotongan yang tinggi maupun kerusakan pada mesin.

Keausan pahat akan berdampak negatif terhadap proses pembuatan produk. Keausan akan menyebabkan produk yang diinginkan tidak akan tercapai baik dimensi maupun kekasaran permukaan dari produk. Selain itu ketika pahat telah aus gaya potong yang dibutuhkan pada saat *machining* akan meningkat secara signifikan. Dengan adanya

gaya potong yang meningkat maka energi yang dibutuhkan untuk pembuatan produk meningkat sehingga biaya yang dibutuhkan akan meningkat.

Kebutuhan untuk memonitoring proses Permesinan bertujuan untuk mengoptimalkan kondisi performa permesinan. Secara umum *monitoring* dilakukan dengan tujuan (Dimla, 1999) :

1. Deteksi kesalahan sistem pada pemotongan dan kegagalan pahat pada mesin.
2. Keamanan dan stabilitas proses permesinan.
3. Menjaga toleransi dari permesinan benda kerja sehingga produk yang dihasilkan dapat diterima dan memenuhi standar yang ditetapkan, dengan memperhitungkan berbagai faktor seperti keausan *tool*.
4. Kerusakan mesin akibat kegagalan sistem. Dengan kurang baiknya *monitoring* akan menyebabkan kebutuhan energi yang berlebih, toleransi yang tidak akurat, kekasaran produk dari benda kerja tidak sesuai, atau yang paling tidak diinginkan seperti kerusakan dari *tool* atau mesin yang membutuhkan biaya yang tinggi untuk memperbaikinya.

Banyak penelitian dilakukan untuk mengembangkan *tool condition monitoring system* (TCMS). Namun pengembangan tersebut menemui banyak kesulitan untuk diaplikasikan.

Salah satu kendalanya adalah harga sensor yang cukup mahal sehingga hanya industri besar yang dapat mengaplikasikannya. Karena itu dibutuhkan alternatif sensor yang terjangkau namun akurat dan *powerfull* untuk mendeteksi keausan pahat.

Audible energy sound merupakan salah satu alternatif untuk memonitoring keausan pahat. Secara sederhana operator yang berpengalaman dapat merasakan adanya perbedaan suara dari pahat yang aus maupun tidak. Namun intuisi dari operator ini belum dapat terukur dengan baik. Dengan menggunakan sensor dan alat ukur yang benar pengukuran dari keausan pahat melalui *audio signal* diharapkan lebih terukur dan akurat.

Dari penelitian terdahulu dapat disimpulkan bahwa *on-line monitoring* menggunakan *audible sound signal* merupakan teknik yang berbiaya rendah, non kontak, serta non destruktif yang cocok untuk mendeteksi *chatter* tanpa mengganggu proses *machining* (Usha Nair, 2010) dan *acoustic chatter signal index* digunakan untuk mendeteksi dan menghindari *chatter* pada saat *machining* (Nan-Chyuan Tsai, 2010).

Mekanisme Keausan dari *Cutting Tool*

Keausan *tool* dipengaruhi oleh kondisi pemotongan, material dan dimensi benda kerja, serta dimensi dan material dari *tool* yang dipakai. Kondisi pemotongan yang dapat mempengaruhi keausan diantaranya adalah *cutting speed*, *depth of cut*, dan *feed rate*. Jenis material dari benda kerja dan *tool* juga mempengaruhi keausan dari *tool*. Semakin keras atau lunaknya benda kerja dan *tool* akan menentukan jenis keausan dan kecepatan aus dari *tool*. Begitu juga dengan dimensi dari benda kerja dan *tool*, dengan

dimensi benda kerja dan *tool* yang berbeda akan menghasilkan jenis keausan dan kecepatan aus yang berbeda.

Keausan *tool* dapat dikelompokkan menjadi beberapa jenis berdasarkan mekanisme dari keausan, yaitu :

1. Keausan *adhesive* yang berhubungan dengan *sheare plane*.
2. Keausan *abrasive* hasil dari pemotongan partikel yang keras.
3. Keausan *diffusion* yang muncul pada temperature tinggi.
4. Keausan *fracture* seperti *chipping* akibat kelelahan.

Untuk mengidentifikasi *tool wear* dibedakan menjadi beberapa jenis yaitu *nose*, *flank*, *notch* dan *crater wear*.

Tool wear monitoring

Dengan kurang baiknya *monitoring* akan menyebabkan kebutuhan energi yang berlebih, toleransi yang tidak akurat, kekasaran produk dari benda kerja tidak sesuai, atau yang paling tidak diinginkan seperti kerusakan dari *tool* atau mesin yang membutuhkan biaya yang tinggi untuk memperbaikinya.

Banyak penelitian dilakukan untuk mengembangkan *tool condition monitoring system* (TCMS). Namun pengembangan tersebut menemui banyak kesulitan untuk diaplikasikan. Salah satu kendalanya adalah harga sensor yang cukup mahal sehingga hanya industri besar yang dapat mengaplikasikannya. Kesulitan lain yang sering dite-

mui adalah memperhitungkan *noise* yang terjadi pada saat pemotongan. Karakteristik proses pemotongan dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

1. Perilaku yang kompleks bahkan *chaotic* dari benda kerja akibat tidak homogenya material.
2. Sensitivitas dari parameter permesinan pada kondisi permesinan.
3. Hubungan yang tidak linear antara parameter permesinan dengan keausan pahat.

Tool life

Semua hal di atas ini yang dapat menyebabkan keausan dan mempengaruhi *tool life*.

Batasan keausan menurut ISO 3685 adalah :

1. VB = 0,3 mm jika *flank wear* reguler terjadi.
2. VB = 0,6 mm jika *flank wear* tidak reguler terjadi seperti tergores, *chipping*, atau terbentuk lekukan yang besar.

METODE

Pembuatan artificial wear pada cutting tool

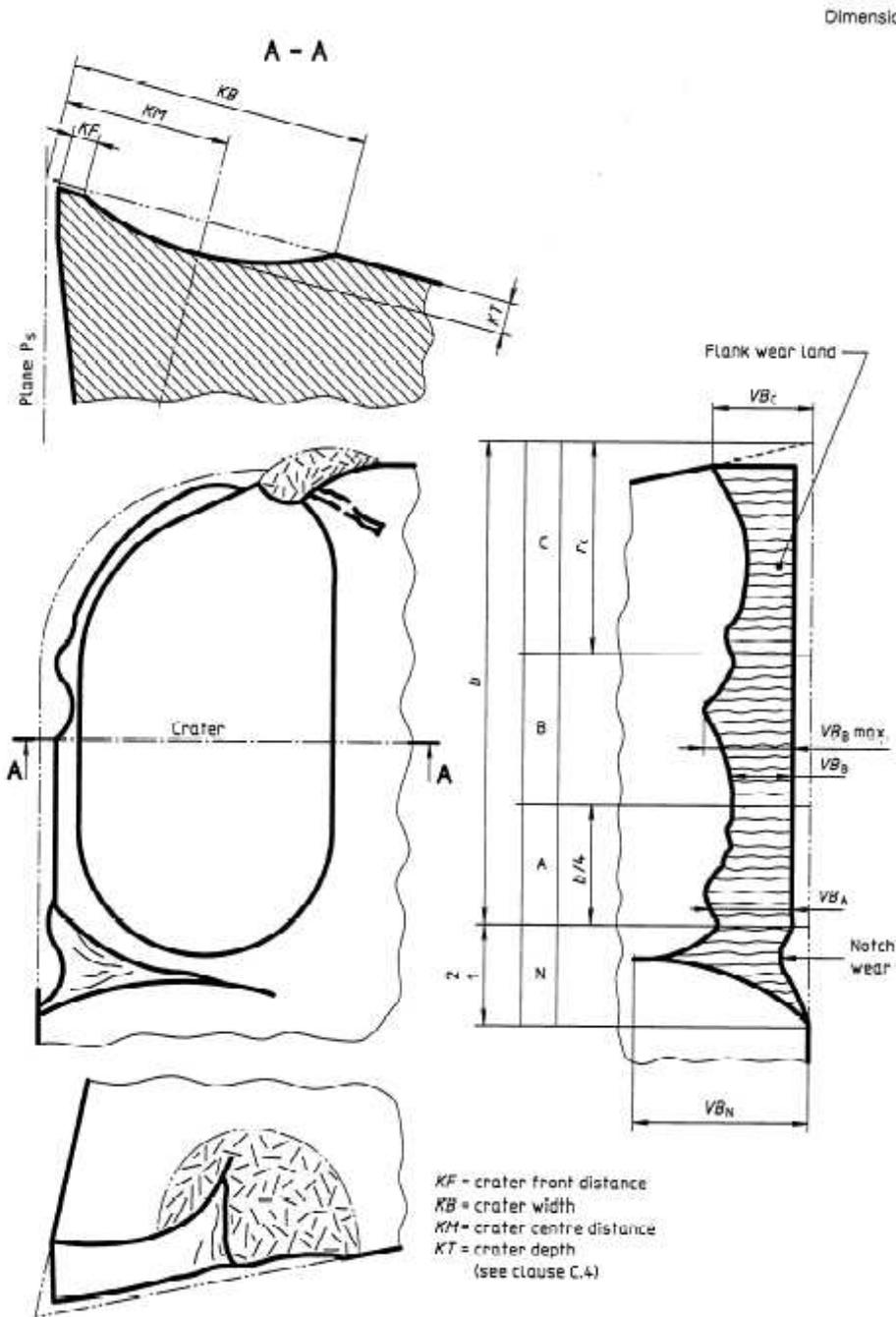
Kriteria *tool wear* yang dipakai pada penelitian ini adalah *flank wear* dan *crater wear*.

1. *Flank wear*
 - VB *max* 0,6 mm.
 - VB *regular* 0,3 mm.
2. *Crater wear*

- Jarak antara *cutting edge* dengan crater wear 0,02 mm.
- Kedalaman *crater wear* :

$$KT = 0,06 + 0,3f \dots \dots \dots (1)$$

Dengan f *cutting speed* dalam mm/rev.



Gambar 1 Standar ISO tool wear
Sumber : ISO 3685, 1993

Pembuatan artificial wear ini menggunakan Electrical Discharge Machine dengan elektroda Tembaga. Untuk pembuatan

flank wear digunakan plat tembaga dengan ketebalan 0,3 mm dan untuk pembuatan *flank wear* digunakan kawat tembaga dengan

diameter 0,7 mm. Setting mesin yang dipakai adalah tegangan listrik 240 V dan arus listrik 1,5 A.

Alat dan bahan penelitian

Pada penelitian ini menggunakan mesin Emco turn 242, *insert cutting tool* DCGT 070204EN dan benda kerja menggunakan *mild steel*.

Prosedur Penelitian

Proses *cutting*

Proses pembubutan dilakukan dengan urutan sebagai berikut :

1. Pemasangan benda kerja
2. Pemasangan mikrofon di *tool holder* sehingga mengikuti gerakan dari *cutting tool*.
3. Menyambungkan mikrofon dengan *Labview* sehingga data dapat disimpan dan dianalisa lebih lanjut.
4. Mesin bubut diseting dengan *cutting speed* 200, 225, 250 (m min^{-1}) *feed rate* 0,06; 0,08; 0,1 (mm rev^{-1}) dan *deep of cut* 0,25; 0,5; 0,75 (mm).
5. Pemasangan video kamera sehingga dapat merekam pada saat *cutting operation*.

Sound signal filtering

Signal yang diterima mikrofon dapat dibedakan menjadi dua yaitu *noise* dan *signal* dari pemotongan. Untuk memperoleh *signal* dari pemotongan maka diperlukan filter yang menghilangkan *noise*. Dalam proses filtering ini dilakukan beberapa langkah yaitu :

1. Semua mesin dan peralatan tambahan dinyalakan kemudian menjalankan simulasi pemotongan tanpa benda kerja.
2. Menganalisa *signal* yang diterima mikrofon. Baik itu *time domain* maupun *domain frekuensi*.
3. Frekuensi yang mempunyai nilai amplitude ekstrem dihilangkan (*filtering*).

Dengan langkah di atas maka ketika pemakaian benda kerja hanya *signal* dari pemotongan yang terdeteksi oleh *Lab View*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

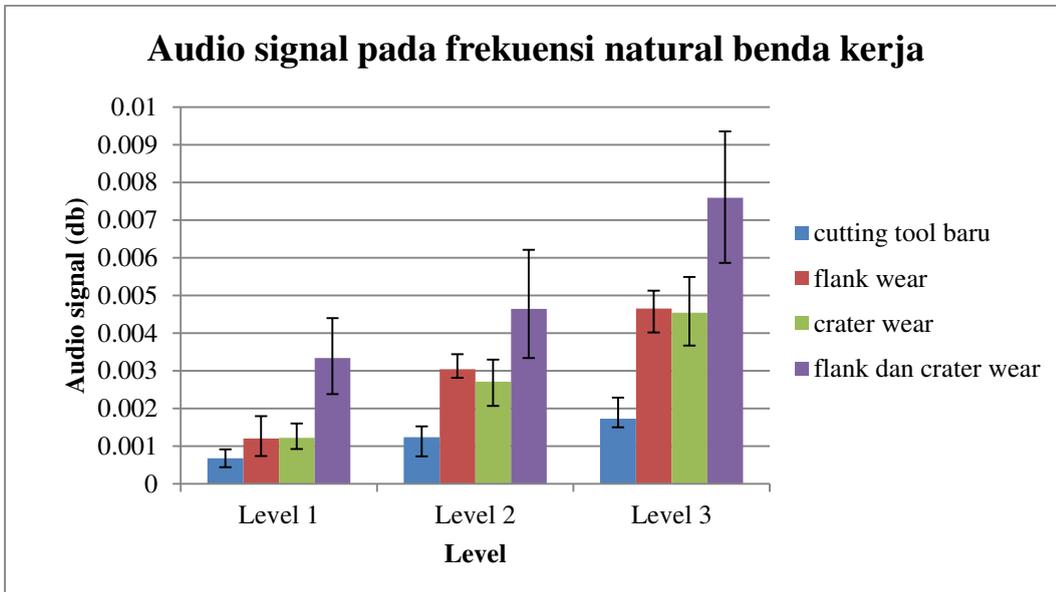
Frekuensi *natural*

Dari hasil perhitungan *natural* frekuensi benda kerja sebesar 4511,685 Hz dan *natural* frekuensi pada *cutting tool* sebesar 6250 Hz, 7990 Hz, 9960 Hz dan 10000 Hz. Seperti yang telah disebutkan sebelumnya, Nilai ini tidak seratus persen akurat karena keterbatasan memperhitungkan kondisi media perantara gelombang suara. Namun nilai ini cukup memberi gambaran bahwa *natural* frekuensi dari benda kerja berada pada kisaran nilai tersebut. Pada pengujian dengan menggunakan parameter pemotongan level 1 – 3 diperoleh informasi bahwa di sekitar nilai hasil perhitungan frekuensi yang mengalami perubahan di frekuensi *natural* benda kerja dan *cutting tool*.

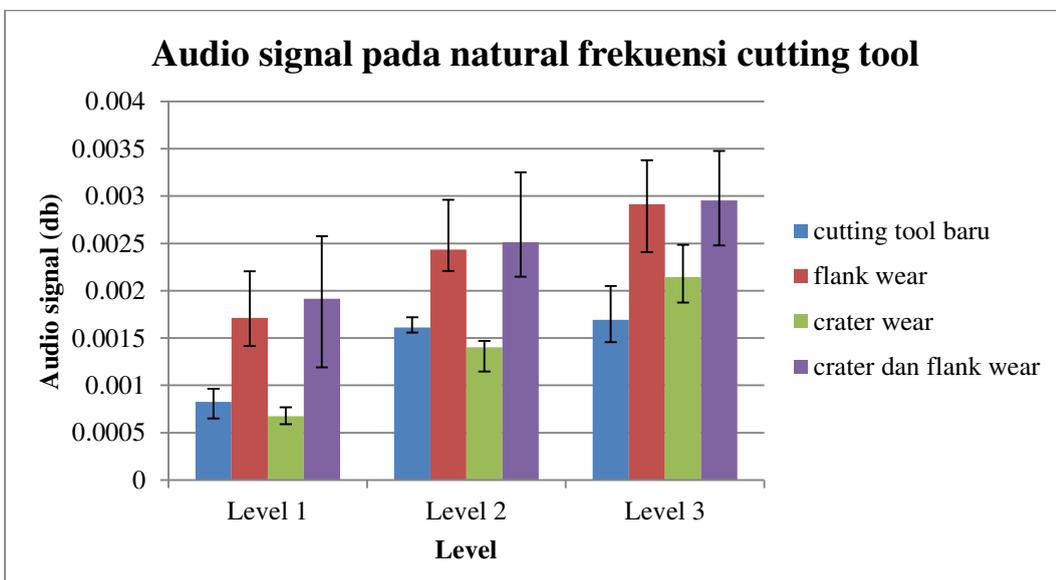
Gambar 1 menunjukkan bahwa frekuensi disekitar perhitungan frekuensi *natural* benda kerja akan meningkat seiring dengan meningkatnya parameter pemotongan menggunakan berbagai jenis *cutting tool*. Peningkatan parameter pemotongan akan

memperbesar energi yang digunakan untuk memotong benda kerja. Meningkatnya energi pemotongan akan memberikan gaya tekan dan tarik terus menerus di udara. Udara

sebagai media perambatan gelombang suara bergetar dengan amplitudo yang lebih tinggi sehingga sinyal *audio* yang diterima mikrofon semakin tinggi.



Gambar 1 Sinyal *audio* pada frekuensi *natural* benda kerja



Gambar 2 Sinyal *audio* pada frekuensi *natural* *cutting tool*

Nilai sinyal *audio natural* frekuensi dari *cutting tool* yang diterima mikrofon ditunjukkan pada Gambar 2. Dari gambar dapat

dilihat kecenderungan bahwa semakin meningkat level parameter pemotongan sinyal *audio* yang diterima mikrofon juga semakin

tinggi. Fenomena yang terjadi pada *natural* frekuensi benda kerja juga terjadi di sini. Namun bila diperhatikan terlihat bahwa pada *crater wear* nilainya cenderung rendah. Hal ini terjadi akibat dari tatal yang terbentuk ketika pemotongan menggunakan *cutting*

tool dengan *crater wear* meredam getaran pada *cutting tool*. Akibatnya getaran ada frekuensi *natural cutting tool* nilai *amplitude*-nya rendah. Untuk membuktikan dugaan ini bukan karena variasi data dilakukan tes Anova dengan hasil Tabel 1.

Tabel 1 Hasil tes Anova

SUMMARY	cutting tool baru	crater wear	Total			
<i>level 1</i>						
Count	3	3	6			
Sum	0.002000593	0.003690671	0.005691263			
Average	0.000666864	0.001230224	0.000948544			
Variance	2.45699E-08	8.00174E-09	1.08241E-07			
<i>level 2</i>						
Count	3	3	6			
Sum	0.003763266	0.007962122	0.011725389			
Average	0.001254422	0.002654041	0.001954231			
Variance	6.85015E-09	2.95253E-08	6.0223E-07			
<i>level 3</i>						
Count	3	3	6			
Sum	0.005302831	0.013704976	0.019007806			
Average	0.00176761	0.004568325	0.003167968			
Variance	8.94455E-08	9.41024E-08	2.42662E-06			
<i>Total</i>						
Count	9	9				
Sum	0.01106669	0.025357769				
Average	0.001229632	0.00281753				
Variance	2.57745E-07	2.13724E-06				
ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Sample	1.48208E-05	2	7.41041E-06	176.092349	1.27984E-09	3.88529383
Columns	1.13464E-05	1	1.13464E-05	269.622443	1.37556E-09	4.74722535
Interaction	3.83408E-06	2	1.91704E-06	45.5543415	2.48494E-06	3.88529383
Within	5.0499E-07	12	4.20825E-08			
Total	3.05063E-05	17				

Pada Tabel 1 diperoleh hasil nilai F melebihi nilai F tabel. Sehingga dapat disimpulkan bahwa sinyal audio cutting tool baru dan crater wear tidak memiliki hubungan yang kuat. Nilai dari kedua audio sinyal ini berdekatan namun menghasikan sinyal audio yang berbeda.

Flank wear merupakan keausan yang lebih sering muncul diantara keausan lainnya. Karena terbentuknya *flank wear* lebih sering maka pada penelitian ini dibahas bagaimana sinyal sebelum terjadi *flank wear* sehingga *wear* ini dapat dideteksi sebelum terjadi. Sinyal *audio* cenderung meningkat seiring dengan bertambahnya keausan *cutting tool*. Dengan meningkatnya keausan, luas bidang kontak antara *cutting tool* dan benda kerja juga meningkat. Semakin luas bidang kontak tersebut menyebabkan gaya gesek pemotongan semakin besar. Sehingga udara sebagai media perantara suara juga

lebih terdorong dan tertarik. Akibatnya sinyal *audio* yang diterima mikrofon nilainya semaksimal tinggi.

Kesimpulan dan saran

Dengan menggunakan mikrofon untuk menangkap *audible sound signal* dari pemotongan di permesinan dapat dilakukan *on-line monitoring* kondisi keausan *cutting tool*. Metode ini cukup terjangkau untuk di aplikasikan secara luas. Dengan menggunakan sinyal di *time domain* dan *frequency domain* mengamati dan membedakan keausan yang terjadi pada *cutting tool* akan menjadi lebih mudah. Untuk pengembangan lebih lanjut nilai dan ciri khusus pada tiap keausan *cutting tool* dapat digunakan sebagai penunjang pembuatan sistem pengambil keputusan. Hasil dari sistem tersebut akan memudahkan pengguna mesin untuk mendeteksi bagaimana kondisi keausan dari *cutting tool*.

DAFTAR RUJUKAN

- A.B. Sadat, S. Raman, *Detection of tool flank wear using acoustic signature analysis*, *Wear* 115 (3) (1987) 265–272.
- Dimla Snr. D.E., *Multivariate tool condition monitoring in a metal cutting operation using neural networks*. Ph.D. thesis, School of Engineering and the Built Environment, The University of Wolverhampton, UK, 1998.
- Dimla E. Dimla Snr., *Sensor signals for tool-wear monitoring in metal cutting operations a review of methods*, *International Journal of Machine Tools & Manufacture* Vol 40. pp 1073–1098, 2000.
- Dimla Snr D.E., *Tool wear monitoring using cutting force measurements*, in: *15th NCMR: Advances in Manufacturing Technology XIII*, University of Bath, 6–8 September, 1999, pp. 33–37.
- Dimla Snr D.E., P.M. Lister, *On-line metal cutting tool condition monitoring—I: Force and vibration analyses*,

- International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol 40 (5) 739–768, 2000.
- F.J. Alonso, D.R. Salgado, *Application of singular spectrum analysis to tool wear detection using sound signals*, *Proceedings of the IMechE Journal of Engineering Manufacture* 219 (9) (2005) 703–710
- ISO 3685, International standard second edition, 1993.
- M.C. Lu Jr., E. Kannatey-Asibu, *Analysis of sound characteristics associated with adhesive wear in machining*, *Transactions of NAMRI* 28 (2000) 257–262.
- M.C. Lu Jr., E. Kannatey-Asibu, *Analysis of sound signal generation due to flank wear in turning*, *Journal of Manufacturing Science and Engineering—Transactions of the ASME* 124 (4) (2002) 799–808.
- M.C. Lu Jr., E. Kannatey-Asibu, *Flank wear and process characteristic effect on system dynamics in turning*, *Journal of Manufacturing Science and Engineering—Transactions of the ASME* 126 (1) (2004) 131–140.
- Matlab 7.0, R 14, 2004. *Help File, Perceptron Neural Network and Learning Vector Quantification Neural Network*.
- Muslim Mahardika, *Neural Networks Prediction of Cutting Tool Wear During Turning Operation*. Master Thesis, University of Malaya, 2005.
- Nan-Chyuan Tsai, Din-Chang Chen and Rong-Mao Lee, *Chatter prevention for milling process by acoustic signal feedback*, *International Journal Advance Manufacture Technology* vol 47, pp 1013–1021. 2010.
- P. A. Dearnley, A.N. Gearson, *Evaluation of Principal Wear mechanism of Cemented Carbides and ceramics used for Machining Titanium alloys IMI318*, *Material Sciences and Technology* 2 (1986) 47–58.
- Puhar J., *1st Seminar on Manufacturing Technologies*, University of Ljubljana, Slovenia, pp. 1–19, 1999.
- Rao P, N. 2000. *Manufacturing Technology, Metal Cutting and Machine Tools*, Singapore : McGraw Hill Higher Education,.
- Taylor F.W., *Trans. ASME*, 28:31–279, 1907.
- Tizit Maxiflex Universal Tooling System Catalogue, 2002
- Usha Nair, Bindu M. Krishna, V. N. N. Namboothiri and V. P. N. Nampoori, *Permutation entropy based real-time chatter detection using audio signal in turning process*, *International Journal Advance Manufacture Technology* vol 46, pp 61–68. 2010.