

## PENGEMBANGAN SISTEM *DATA BASE* UNTUK APLIKASI *SMART TURNING* CNC DENGAN IDENTIFIKASI KORELASI ANTARA GAYA POTONG DAN GAYA MAKAN

Susilo Adi Widyanto

Jurusan Teknik Mesin-Universitas Diponegoro  
Jl. Prof. Sudarto, SH, Tembalang, Semarang, Telp: 0247460059  
e-mail: Susilo70@yahoo.com

### Abstrak

Lahirnya mesin-mesin perkakas *computer numerical control* (CNC) merupakan terobosan penting dalam proses manufaktur untuk memecahkan persoalan akurasi dimensi, efisiensi dan ongkos produksi. Berbagai pengembangan terus dilakukan terutama untuk meningkatkan efektivitas dan kemudahan dalam pengoperasian mesin. Penelitian ini mengusulkan pengembangan sistem cerdas untuk aplikasi mesin bubut CNC. Perubahan parameter proses pemesinan yang terjadi diidentifikasi dengan perubahan harga korelasi yang merupakan perbandingan gradient antara persamaan garis gaya potong dan gaya makan yang diukur secara simultan pada saat proses pemotongan. Kesamaan harga korelasi aktual dan harga korelasi referensi dalam sistem data base digunakan sebagai acuan proses eksekusi sehingga diperoleh suatu kondisi pemotongan yang stabil sesuai dengan kriteria awal yang ditentukan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perubahan parameter proses pembubutan secara spesifik dapat ditunjukkan oleh perubahan harga korelasinya. Namun untuk menjamin akurasi proses eksekusi diperlukan harga koefisien korelasi ( $R^2$ ) yang setinggi mungkin yang dapat diartikan diperlukannya sistem pengukur gaya potong dan gaya makan yang akurat.

**Kata kunci:** harga korelasi, gaya potong, gaya makan, sistem cerdas

### PENDAHULUAN

Tuntutan proses manufaktur yang efisien dengan tetap mempertahankan kualitas produk kian mendesak untuk direalisasikan seiring dengan pertumbuhan industri-industri manufaktur sejenis. Untuk tujuan itu, berbagai riset telah dilakukan yang antara lain mengenai peningkatan akurasi dimensi produk manufaktur dengan mendeteksi secara dini perubahan parameter yang terjadi, pengembangan mesin perkakas cerdas, pengembangan sistem pemesinan berkepresisian tinggi dll.

Corbet (1998) meneliti tentang pengaruh termal pada proses pembubutan dan pengerindaan dengan menggunakan jenis pahat diamond-NION. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa pengaruh termal merupakan penyebab utama terjadinya kesalahan dimensi dan penurunan sifat mampu ulang mesin. Untuk mengatasi persoalan tersebut Corbet mengusulkan teknik supervisi otomatis (Corbet, 1998). Farhat (2003) menginvestigasi perilaku keausan pahat *cubic boron nitride* (CBN) pada proses pembubutan baja. Dari penelitiannya disimpulkan bahwa perkakas potong CBN memiliki ketangguhan yang lebih baik daripada perkakas karbida yang secara signifikan mereduksi terjadinya keausan dan *cratering* (Farhat, 2003).

Penelitian untuk mengestimasi umur pahat dinamik pada proses pembubutan CNC juga telah dilakukan oleh Tangjitsitcharoen (Tangjitsitcharoen, 2005). Sistem yang dikembangkan didasarkan pada *monitoring* keausan pahat. Harga tersebut selalu diupdate dan dimasukkan ke dalam persamaan umur pahat yang akan digunakan pada prosedur optimasi sehingga diperoleh harga pemotongan optimum yang mengacu pada kriteria kecepatan produksi maksimum dan ongkos produksi minimum.

Jerard dkk (2008) mengembangkan sistem pemesinan cerdas (*smart machining sistem* - SMS) yang digambarkan sebagai suatu sistem yang dapat mengestimasi keausan pahat dengan koefisien model gaya potong tangensial. Koefisien model diestimasi oleh pengukuran daya motor spindel (Jerard dkk, 2008).

Fang mempresentasikan prediksi analitis dan validasi eksperimen yang menggunakan model *slip line* untuk proses pemesinan dengan batasan kontak pemotongan pahat. Penemuan utama dari penelitian tersebut adalah: daerah pemakaian model *slip line* yaitu pada kondisi gesekan ekstrim dan penentuan aturan umum variasi kondisi gesekan antara geram dan pahat (Fang dan Jawahir, 2002).

Identifikasi *chatter* merupakan tantangan dalam proses pemesinan otomatis. Selain menyebabkan turunnya kualitas permukaan, *chatter* juga menurunkan umur pahat. Khalifa dkk (2006) menggunakan pengolahan data gambar untuk mengidentifikasi getaran *chatter* dalam proses pembubutan. *Chatter* ditandai oleh terbentuknya hubungan antara kekasaran permukaan dengan level getaran. Data gambar tanpa *chatter* dan akibat *chatter* pada proses pembubutan dianalisis. Beberapa kualifikasi parameter digunakan untuk membedakan antara kondisi *chatter* dengan kondisi tanpa *chatter*, selanjutnya level rata-rata daerah abu-abu dikomputasikan. Histogram intensitas direkonstruksi dan kemudian dimasukkan ke dalam varian, rata-rata untuk menghitung parameter kekasaran optimal (Khalifa dkk, 2006). Dijk dkk (2008) mempresentasikan metode *real time* dalam pendeteksian dan pengendalian *chatter* pada mesin perkakas *high speed milling*. Mereka menyimpulkan bahwa kondisi kerja yang stabil (bebas *chatter*) biasanya dipilih dengan mengatur kecepatan spindle dan kedalaman potong (Dijk dkk, 2008).

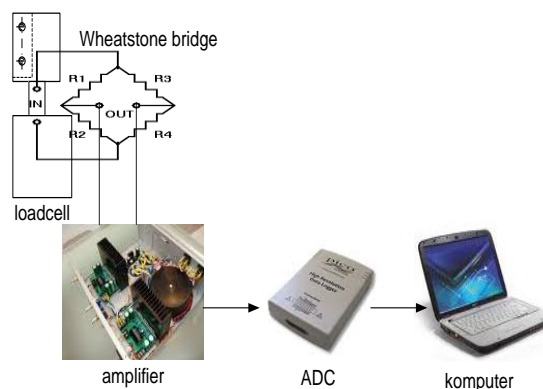
Pengembangan sistem operasi mesin juga telah banyak dilakukan antara lain untuk aplikasi mesin perkakas berkonsep mekatronik. Sistem operasional dibangun dengan pendekatan optimasi, adaptasi dan diagnosis secara mandiri (Zoriktuev, 2008).

Uraian tersebut menunjukkan bahwa pelibatan sistem otomasi untuk meningkatkan efisiensi proses manufaktur dan kualitas produknya terus berkembang. Dengan alasan yang sama, penelitian ini secara khusus ditujukan untuk mengembangkan sistem operasi mesin bubut cerdas dengan memanfaatkan data gaya potong dan pemakanan. Data tersebut digunakan sebagai sinyal umpan balik untuk mengoptimalkan pengaturan kecepatan makan, kecepatan potong dan pergantian pahat berdasarkan karakteristik proses pemesinan yang dikehendaki. Sistem cerdas yang dibangun diintegrasikan ke dalam sistem operasi mesin bubut CNC yang telah dikembangkan sebelumnya.

## PERANCANGAN SISTEM PENGUKUR GAYA POTONG DAN GAYA MAKAN SERTA SISTEM DATA BASE-NYA

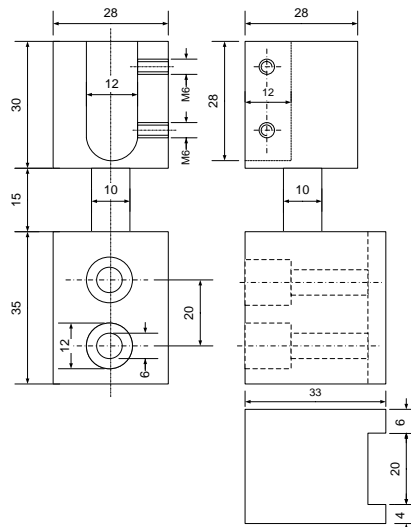
Perangkat pengukur gaya potong dan gaya makan bekerja secara simultan dengan sistem pengendali gerakan dan pemosisian. Mempertimbangkan kondisi ini, penentuan sampel data dan perhitungan waktu untuk proses analisis menjadi sangat penting sehingga sistem cerdas bekerja secara optimal untuk setiap perubahan parameter yang sifatnya sangat dinamis.

Secara umum sistem pengukur gaya terdiri dari perangkat *loadcell*, sistem pengubah sinyal (*signal conditioning* yang terdiri dari perangkat *wheatstone bridge* (mengubah R menjadi V), *amplifier* dan ADC serta perangkat lunak antar muka untuk menampilkan format luaran yang dikehendaki dan menghitung harga luaran berdasarkan data hasil pengukuran dengan harga kalibrasinya. Perangkat pengukur gaya secara skematis seperti ditunjukkan dalam Gambar 1.



**Gambar 1.** Perangkat pengukur gaya potong dan pembubutan.

Perangkat utama sistem pengukur gaya potong dan gaya makan berupa perangkat *loadcell* yang menggunakan transduser *strainage*. *Loadcell* pada dasarnya merupakan perangkat mekanik yang dimensinya ditentukan berdasarkan perhitungan besarnya regangan yang terjadi pada rancangan pembebanan. Konstruksi mekanik *loadcell* ditunjukkan dalam Gambar 2.



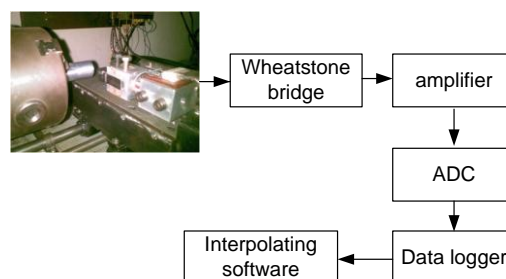
**Gambar 2.** Konstruksi *loadcell*.

### Sistem *data base*

Proses eksekusi yang merupakan luaran dari sistem cerdas didasarkan pada proses komparasi antara data aktual hasil pengukuran dengan data yang tersimpan dalam sistem database. Kesamaan nilai yang dikomparasikan merupakan alamat dari prosedur eksekusi yang tersimpan dalam sistem database. Untuk itu nilai tersebut harus bernilai spesifik untuk tiap variasi parameter.

Dengan menggunakan sistem *data logger*, hasil pengukuran gaya potong dan gaya makan dapat ditampilkan dalam bentuk persamaan garis sehingga gradiennya dapat dihitung. Dengan membandingkan gradien kedua persamaan garis akan diperoleh suatu nilai spesifik (disebut dengan nilai korelasi) yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi perubahan parameter proses pembubutan.

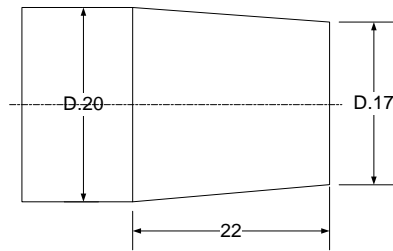
Gaya potong dan gaya makan diukur dengan menggunakan *load cell* dua sumbu yang dipasangkan pada tool post (dudukan pahat). Sinyal hasil pengukuran diperkuat dan diubah kedalam bentuk sinyal digital. Data ditampilkan dan disimpan ke dalam sistem *data logger*. Data tersebut diolah dan untuk masing-masing data variasi parameter diplot sehingga gradient persamaan garis dapat diketahui. Data-data tersebut akan digunakan sebagai data referensi untuk mendeteksi perubahan parameter proses pemotongan dalam siklus pemesinan cerdas. Diagram alir pengkondisi sinyal ditunjukkan dalam Gambar 3.



**Gambar 3.** Dinamometer dua sumbu untuk pengukuran gaya potong dan gaya makan aktual.

### METODE UJI PEMOTONGAN DAN MEKANISME PENGOLAHAN DATA

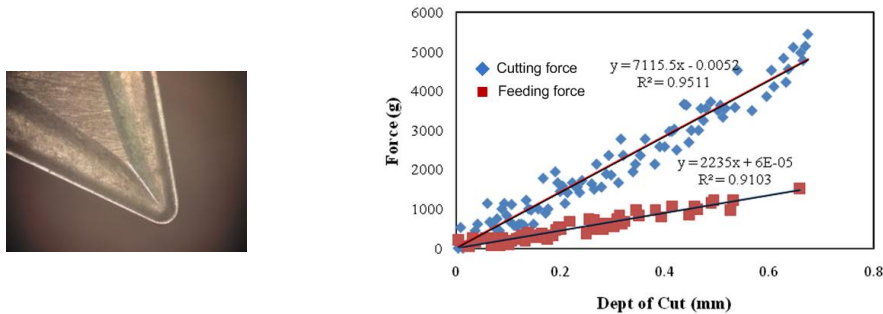
Bahan yang digunakan dalam uji pemotongan adalah Al 2024 (duralumin) dan menggunakan *insert tool tip carbide*. Keausan *flank* dan *crater* dibuat dengan menggerinda pahat untuk merusak geometrinya. Uji pemotongan dilakukan dengan memvariasikan kedalaman potong (a), Kecepatan makan (Vf), kecepatan potong (V) dan keausan pahat. Untuk memvariasikan kedalaman potong, benda kerja dibentuk tirus dengan dimensi seperti ditunjukkan dalam Gambar 4. Uji pemotongan dilaksanakan dalam kondisi kering (tanpa cairan pendingin).



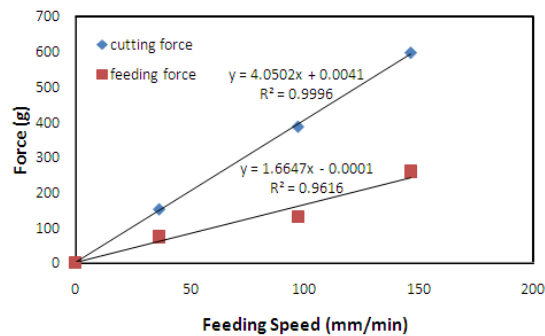
**Gambar 4.** Spesimen uji pemotongan dengan variasi kedalaman potong.

### ANALISIS HASIL UJI PEMOTONGAN

Hasil pengujian potong secara langsung terplotkan dalam tampilan perangkat lunak pengukur gaya potong dan data pengukurannya disimpan dalam sistem *data logger*. Contoh hasil pengukuran dengan menggunakan geometri pahat normal pada variasi kedalaman potong dan *feeding speed* seperti ditunjukkan dalam Gambar 5 dan 6. Proses interpolasi dilakukan untuk memperoleh persamaan garis gaya potong dan gaya makan dengan mengasumsikan sebagai persamaan linier.



**Gambar 5.** a. Pahat dengan geometri normal, b. Korelasi gaya potong-gaya makan dan kedalaman potong.



**Gambar 6.** Pengaruh kecepatan makan pada gaya potong dan gaya makan.

Secara khusus, tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan harga yang dapat mengidikasikan perubahan parameter proses pembubutan yang meliputi kedalaman potong, keausan pahat, kecepatan potong dan kecepatan makan. Harga tersebut diwakili oleh korelasi gaya potong dan gaya makan yang diukur secara simultan selama proses pemotongan berlangsung. Dengan menganalisis persamaan garis dari gaya potong dan gaya makan, harga korelasi dinyatakan oleh perbandingan gradient antara gaya potong dan gaya makan dengan mengasumsikan hubungan yang linier dari keduanya. Data persamaan garis dari perubahan parameter dan manipulasinya ditunjukkan dalam Tabel 1.

Data dalam Tabel 1 tersebut menunjukkan dua pasangan harga korelasi yang memiliki perbedaan yang tidak signifikan sehingga dapat menyebabkan terjadinya kesamaan intepretasi setelah pengaruh harga  $R^2$  dipertimbangkan. Parameter tersebut berupa keausan pahat dan kondisi pahat normal dan kecepatan makan dan keausan *crater*. Untuk menghasilkan harga yang lebih

spesifik, dua metode dapat dipertimbangkan. Metode pertama adalah dengan menentukan harga parameter minimum sehingga harga overlap dihilangkan. Dengan menggunakan harga  $R^2$ , batas atas dan batas atas untuk tiap persamaan garis dari variasi kedalaman potong (geometri normal, keausan *flank* dan *crater*) dapat digambarkan. Harga kedalaman potong yang lebih kecil dari harga perpotongan menunjukkan bahwa kondisi overlap antar kondisi terjadi sehingga menimbulkan multi interpretasi. Dalam prakteknya, batas harga parameter minimum ditentukan sebagai harga terbesar dari titik potong antar persamaan garis. Hal tersebut dapat diartikan bahwa akurasi proses identifikasi perubahan parameter ditentukan oleh akurasi sistem pengukuran. Dengan prosedur ini, harga kedalaman potong minimum yang dapat diidentifikasi menggunakan harga korelasi adalah 0.6mm.

Metode lainnya adalah menggunakan pola perbandingan berjenjang dimana harga korelasi digunakan sebagai data pembanding utama. Sedangkan pembanding kedua harus dicari dari Tabel 1 sehingga menghasilkan harga spesifik untuk tiap perubahan parameter. Gradient persamaan garis gaya potong dan gaya makan dapat digunakan sebagai data pembanding kedua.

**Tabel 1.** Data persamaan garis gaya potong dan gaya makan hasil pengukuran dan proses pengolahannya

KONDISI PEMOTONGAN	GAYA	TREN KURVA	$R^2$	NILAI KORELASI	RANGE
<i>crater wear</i> (var. kedalaman potong)	gaya makan	$Y=3230X$	0.9018	2.641486068	2.90088
	gaya potong	$Y = 8532X$	0.9018		2.382092136
<i>flank wear</i> (var. kedalaman potong)	gaya makan	$Y=3702X$	0.9301	3.126148028	3.344665775
	gaya potong	$Y=11573X$	0.89		2.782271745
normal geometry (var. kedalaman potong)	gaya makan	$Y=2235X$	0.91	3.18344519	3.469955257
	gaya potong	$Y=7115X$	0.951		3.027456376
Variasi kecepatan makan ( $V_f$ )	gaya makan	$Y=1.6647X$	0.9996	2.432990929	2.433964126
	gaya potong	$Y=4.0502X$	0.9616		2.339564078
Variasi kecepatan potong ( $V$ )	gaya makan	$Y=-10.539X$	0.9842	4.170074389	4.235961564
	gaya potong	$Y=-2.2X$	0.9851		4.107940281

## KESIMPULAN

Metode untuk mengidentifikasi perubahan parameter proses pembubutan telah diteliti. Harga korelasi antara gaya potong dan gaya makan menghasilkan informasi spesifik mengenai perubahan parameter proses yang terjadi. Namun, akurasi interpretasi ditentukan oleh akurasi sistem pengukuran. Untuk meningkatkan akurasi interpretasi, metode perbandingan berjenjang dapat digunakan dimana harga korelasi merupakan data pembanding primer dan gradient gaya potong dan gaya makan merupakan data pembanding sekunder.

## DAFTAR PUSTAKA

- Corbet J, 1998, *Smart Machine Tools, Proc Instn Mech Engrs*, 1998; 1; 212.
- Dijk NJMV, Van deWouw N, Nijmeijer H, 2008, Real time detection and control of machine tool chatter in high speed milling, *2nd International Conference Innovative Cutting Processes & Smart Machining*.
- Fang N, Jawahir, L S, 2002, Analytical Predictions and Experimental Validations of Cutting Force Ratio, Chip Thickness and Chip Back-Flow Angle in Restricted Contact Machining Using The Universal Slip-Line Model, *International Journal of Machine Tools And Manufacture*, 42: 681-694.
- Farhat ZN, 2003, Wear Mechanism of CBN Cutting Tool During High Speed Machining of Mold Steel. *Journal of Materials Science and Engineering*, 36(1): 100-110.

- 
- Jerard RB, Fussell BK, Desfosses B, Javorek MXB, Jeffrey YC, Hassan R, Suprock C, 2008, Model - Sensor – Information Technology Integration for Machine Tools, *Proceedings of 2008 NSF Engineering Research and Innovation Conference, Knoxville, Tennessee*.
- Khalifa O, Densibali A, Faris W, 2006, Image processing for chatter identification in machining process. *Int J Adv Manuf Technol*, 31: 443-449.
- Tangjitsitcharoen, 2005, *Intelligent monitoring and dynamic tool life estimation*, Bangkok: Department of Industrial Engineering Chulalongkorn University.
- Zoriktuev VT, 2008, *Mechatronics Machine-Tool Systems*, Russian Engineering Research, 28(1): 69-73.