

# IMPLEMENTASI SISTEM CERDAS PADA *AUTOMATED TOOL CHANGER (ATC)* BERDASARKAN ANALISIS GAYA POTONG DAN GAYA MAKAN

Susilo Adi Widyanto

Jurusan Teknik Mesin Universitas Diponegoro  
Jl. Prof. Soedarto Semarang  
[susilo70@yahoo.com](mailto:susilo70@yahoo.com)

## Abstrak

Penerapan sistem otomasi dalam suatu proses produksi telah berhasil meningkatkan kualitas produk, menekan ongkos produksi dan meningkatkan keamanan dalam pelaksanaan proses. Dalam bidang proses pemesinan, pengembangan kemampuan mesin perkakas terus dilakukan antara lain dengan menerapkan sistem cerdas yang secara aktif dapat mengoreksi jalannya proses pemotongan. Paper ini membahas pengotomasian proses pergantian pahat berdasarkan analisis gaya potong dan gaya makan. Gaya potong dan gaya makan aktual diukur secara simultan dengan proses pemotongan dan hasilnya dibandingkan dengan suatu data referensi yang tersimpan dalam sistem database. Nilai spesifik yang ditunjukkan dapat digunakan untuk mengidentifikasi perubahan parameter proses yang terjadi termasuk terjadinya keausan pahat. Data hasil indentifikasi digunakan sebagai perintah eksekusi bagi sistem mekanik ATC. Hasil penelitian menunjukkan bahwa akurasi proses identifikasi ditentukan oleh nilai  $R^2$  (koefisien determinan) yang berarti dibutuhkan sistem pengukuran gaya potong dan gaya makan yang presisi.

**Kata kunci:** ATC, gaya potong, gaya makan, nilai korelasi, sistem cerdas

## Abstract

*Application of automation systems in a production process has been successful in increasing product quality, costs and enhance security in the implementation process. In the field of machining processes, machine tool development capabilities continue to be made, among others, by applying intelligent systems that can actively correct the course of the cutting process. This paper discusses the automation process of changing the style of carving berdasarkan analysis pieces and eating style. Style actual pieces and eating style was measured simultaneously with the cutting process and the results compared with a reference data stored in a database system. Specific values shown can be used to identify changes in process parameters including the occurrence of wear and tear that occurs chisel. The identification data is used as a command execution for the mechanical system ATC. The results showed that the accuracy of the identification process is determined by the value of  $R^2$  (coefficient determinant) which means the system needs cutting force measurements and precise style of eating.*

**Keywords:** ATC, cut style, style dining, value of correlation, intelligent systems

## PENDAHULUAN

Penemuan mesin-mesin CNC merupakan terobosan besar dalam teknologi proses manufaktur baik dalam aspek kualitas, produktivitas maupun ongkos produksi. Pengembangan kemampuan mesin-mesin CNC terus dilakukan terutama karena alasan kemudahan dalam pengoperasian dan efektivitas pelaksanaan proses pemesinan. Salah satu metode yang dikembangkan adalah penerapan sistem cerdas dalam mesin CNC sehingga mesin memiliki kemampuan untuk mendiagnosis secara mandiri seluruh proses yang

dikerjakan untuk memperoleh kondisi yang optimal berdasarkan criteria yang ditetapkan. Penelitian-penelitian tersebut antara lain adalah: penelitian untuk mengestimasi umur pahat dinamik pada proses pembubutan CNC 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 spindle (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,

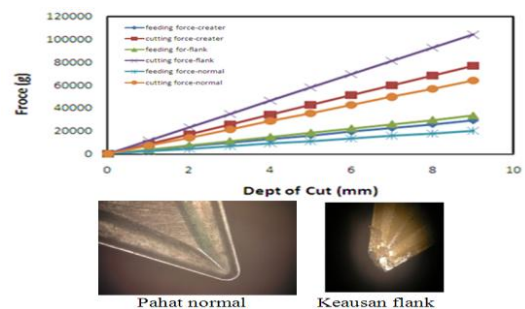
adaptasi dan diagnosis secara mandiri (Zoriktuev, 2008).

Penelitian ini 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. Secara khusus paper ini akan membahas suatu metode penggantian pahat secara otomatis berdasarkan identifikasi terjadinya keausan pahat hasil analisis gaya potong dan gaya makan. Sistem cerdas yang dibangun diintegrasikan ke dalam sistem operasi mesin bubut CNC yang telah dikembangkan sebelumnya.

## METODOLOGI PENELITIAN

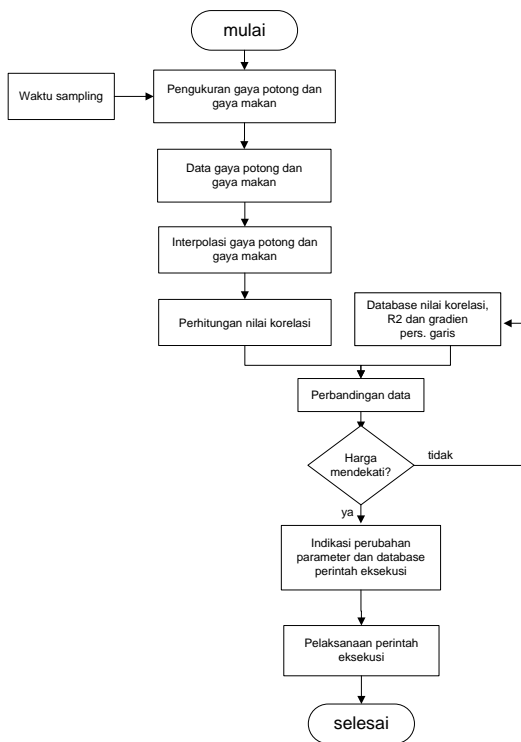
### Sistem Cerdas Berbasis Pengukuran Gaya Potong dan Gaya Makan

Dalam proses pemotongan, gaya potong dan gaya makan dapat digunakan sebagai acuan untuk mengetahui kondisi-kondisi khusus yang terjadi. Dihubungkan dengan material benda kerja, geometri pahat dan kondisi-kondisi pendukung, gaya potong dan gaya makan dapat menunjukkan nilai yang spesifik untuk berbagai perubahan parameter sehingga dapat digunakan sebagai dasar untuk proses pengambilan keputusan. Seperti hal terjadinya keausan pahat (flank mapun crater) dalam proses pemotongan, gaya potong dan gaya makan akan mengalami perubahan seperti ditunjukkan dalam Gambar 1.



**Gambar 1** Kondisi gaya potong dan gaya makan pada berbagai kondisi pahat

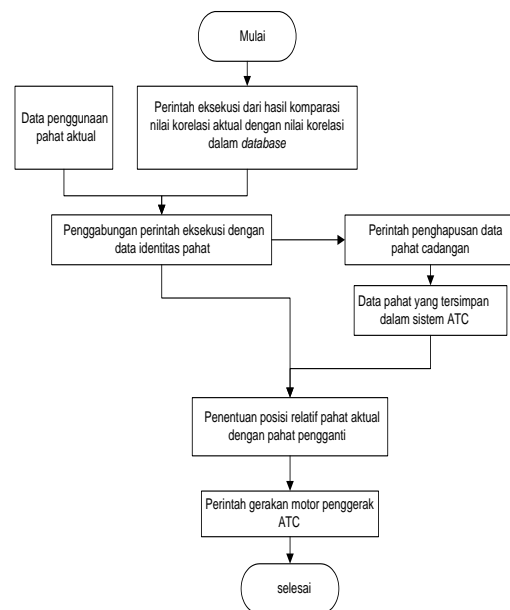
Dalam aplikasinya, hasil pengukuran gaya potong dan pemakanan aktual disimpan dalam suatu register memori. Mengacu pada waktu sampling yang ditetapkan, data yang tersimpan digunakan untuk menyusun persamaan garis gaya potong dan gaya makan. Dari kedua gradiennya dapat dihitung nilai korelasinya. Selanjutnya nilai korelasi aktual dibandingkan dengan data nilai korelasi referensi dalam sistem *data base*. Nilai korelasi yang mendekati diinterpretasikan sebagai nilai yang mewakili perubahan parameter yang terjadi. Untuk tiap nilai korelasi, dipadankan dengan sejumlah perintah eksekusi yang tersimpan dalam sistem data base. Cara kerja sistem cerdas dapat ditunjukkan dalam bentuk diagram alir Gambar 2.



**Gambar 2** Cara kerja sistem cerdas dengan cara memkomparasikan nilai korelasi aktual dengan nilai korelasi yang tersimpan dalam sistem *data base*.

Penerapan sistem cerdas dalam proses pengotomasi proses penggantian

pahat diilustrasikan dalam Gambar 3. Pada saat ini perintah pergantian pahat masih didasarkan pada perintah masukan dalam format *G/M code*. Mekanisme sistem ATC yang diusulkan diuraikan sebagai berikut: setelah diperoleh data hasil proses analisis yang menunjukkan terjadi keausan pahat, maka data penggunaan pahat aktual digabungkan dengan data hasil proses analisis digunakan untuk menentukan posisi relative antara pahat aktual dengan pahat pengganti. Data posisi akan digunakan sebagai acuan untuk memerintahkan motor ATC untuk menempatkan pahat pengganti pada posisi pemotongan. Pada tahapan yang sama penghapusan data posisi pahat yang aus dilakukan yang berarti posisi pahat yang sama tidak akan dapat digunakan kembali sebagai alternatif pahat pengganti.



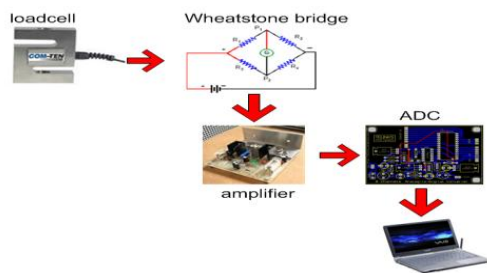
**Gambar 3** Algoritma pemrograman untuk perintah pergantian pahat otomatis berdasarkan intepretasi keausan pahat

### Sistem Pengukur Gaya Potong-Gaya Makan dan Sistem ATC

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

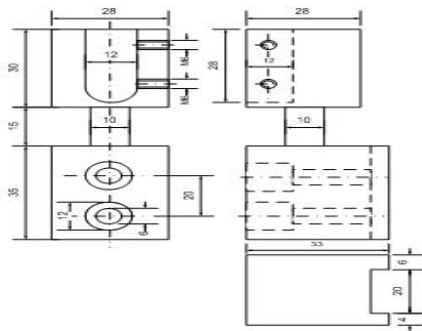
secara optimal untuk setiap perubahan parameter yang sifatnya sangat dinamis.

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 4.



**Gambar 4** Perangkat pengukur gaya potong dan pembubutan

Perangkat utama sistem pengukur gaya potong dan gaya makan berupa perangkat *loadcell* yang menggunakan transduser *straingage*. *Loadcell* pada dasarnya merupakan perangkat mekanik yang dimensinya ditentukan berdasarkan perhitungan besarnya regangan yang terjadi pada racangan pembebanan. Konstruksi mekanik *loadcell* ditunjukkan dalam Gambar 5.



**Gambar 5** Konstruksi *loadcell*.

Prosedur perancangan *loadcell* diuraikan sebagai berikut:

Bahan: duralumin dengan modulus elastisitas ( $E$ ) = 75 GPa, regangan maksimum yang dipilih sebesar 400 mikrostrain (tergantung pada jenis *straingage* dan pemilihan harga menentukan harga sensitifitas maupun beban maksimum *loadcell*), sehingga tegangan pembebanan sebesar:

$$\begin{aligned}\sigma &= \varepsilon \cdot E \\ &= 400 \cdot 10^6 \cdot 75 \cdot 10^9 \\ &= 300 \cdot 10^5 \\ &= 3 \text{ kg/mm}^2\end{aligned}$$

$$\sigma = \frac{M y}{I}$$

Bila luasan *loadcell* diasumsikan berupa bujur sangkar ( $y$ ), maka tegangan pembebanan dapat digunakan untuk menghitung  $y$ , yaitu:

$$= \frac{M \cdot y}{\frac{1}{12} \cdot 2y \cdot (2y)^3}$$

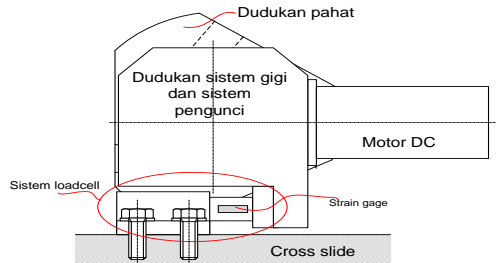
Dengan mengasumsi kan gaya potong sebesar 10 kg dengan jarak titik tumpu dengan titik beban pada konstruksi *cantilever beam* dalah 46 mm, maka dengan sisi bujur sangkar *loadcell* diperoleh sebesar :

$$\begin{aligned}3 &= \frac{3 \cdot 10 \cdot 46}{4 \cdot y^3} \\ y^3 &= 115 \\ y &= 4,7 \text{ mm}\end{aligned}$$

adalah panjang sisi penampang *loadcell*.

Dalam instalasinya, sistem ATC didudukan pada sistem *loadcell* yang dilokasikan pada konstruksi *cross slide* mesin bubut.. Oleh karena itu beban yang ditanggung oleh *loadcell* tidak hanya berupa gaya potong dan gaya makan akibat proses pemotongan, tetapi juga berupa beban statik yaitu massa sistem mekanik ATC maupun gaya-gaya lain yang mungkin muncul seperti beban impak. Berdasarkan analisis gaya beban tersebut maka dimensi penampang *loadcell* diperbesar menjadi 10

x 10 mm. Konstruksi sistem ATC dan *loadcell* yang dipasang pada mesin bubut trainer seperti ditunjukkan dalam Gambar 6.



**Gambar 6** Konstruksi sistem ATC dan *loadcell* pada mesin bubut trainer

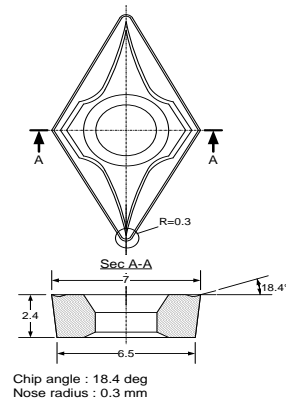
### Pengukuran Gaya Potong dan Gaya Makan Sebagai Data Referensi

Proses eksekusi yang merupakan luaran dari sistem cerdas didasarkan pada proses komparasi antara data aktual hasil pengukuran dengan data referensi yang tersimpan dalam sistem database. Kesamaan nilai yang dikomparasikan merupakan alamat dari prosedur eksekusi yang akan digunakan untuk menstabilkan proses pemotongan. Untuk menghasilkan proses eksekusi yang spesifik untuk setiap perubahan parameter yang terjadi, nilai yang dibandingkan harus juga bernilai spesifik.

Dengan menggunakan sistem data logger, hasil pengukuran gaya potong dan gaya makan dapat ditampilkan dalam bentuk persamaan garis dan masing-masing persamaan garis tersebut dihitung gradiennya. Nilai korelasi diperoleh dengan membandingkan kedua *gradien* persamaan garis tersebut yang terbukti dapat digunakan untuk mengidentifikasi perubahan parameter proses pembubutan.

Nilai korelasi hasil pengukuran dimasukkan ke dalam sistem database yang akan digunakan sebagai nilai pembanding

(nilai referensi). Nilai-nilai tersebut diperoleh dari hasil pengukuran proses pemotongan dengan variasi parameter kedalaman potong (a), kondisi pahat, kecepatan makan ( $V_f$ ) dan kecepatan potong ( $V$ ). Material uji yang digunakan berupa paduan Al 2024 (duralumin) dengan pahat potong berupa *inserting tool tip carbide* dengan geometri seperti ditunjukkan dalam Gambar 7.



**Gambar 7** Geometri pahat inserting tool tip carbide yang digunakan dalam proses pemotongan

### ANALISIS DAN PEMBAHASAN

#### Analisis Data Pengukuran

Hasil pengukuran gaya potong dan gaya makan diperoleh persamaan garis untuk masing-masing variasi parameter seperti ditunjukkan dalam Tabel 1. Harga  $R^2$  (koefisien determinan) menunjukkan kondisi sebaran titik hasil pengukuran sebagai fungsi waktu, sedangkan harga korelasi menunjukkan harga perbandingan antara gradien gaya potong terhadap gradien gaya makan.

**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
crater wear (var. kedalaman potong)	gaya makan	$Y=3230X$	0.9018	2.641486068	2.90088
	gaya potong	$Y=8532X$	0.9018		2.382092136
flank wear (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

Berdasarkan data dalam Tabel 1 di atas dapat disimpulkan, bila nilai korelasi aktual mendekati harga sekitar 2,4 sampai 3,3, maka pahat diindikasikan mengalami keausan. Namun pada range 3,0 sampai 3,3, nilai korelasi tersebut dapat juga diindikasikan pahat dalam kondisi normal. Untuk itu data tambahan diperlukan sehingga proses interpretasi menjadi akurat. Data tambahan tersebut dapat berupa harga *gradien* gaya makan antara kondisi pemotongan normal yang berkisar pada harga 2200 dan gaya makan pada kondisi pahat aus (*flank* maupun *crater*) yang berharga di atas 3200. Dalam prakteknya, range harga korelasi berlaku sangat spesifik tergantung pada material benda kerja, jenis dan geometri pahat dan sistem pengukur gaya yang digunakan.

#### **KESIMPULAN**

Suatu metode yang bertujuan untuk mengidentifikasi perubahan parameter proses pembubutan telah dikembangkan yaitu dengan menggunakan nilai korelasi antara gaya potong dan gaya makan. Dari hasil analisis nilainya, nilai korelasi secara spesifik dapat mengindikasikan terjadinya perubahan parameter proses pemotongan, tetapi akurasi interpretasi ditentukan oleh harga  $R^2$  dari persamaan garis gaya potong maupun gaya makannya. Untuk itu diperlukan suatu perangkat pengukur gaya potong dan gaya makan yang presisi.

#### **DAFTAR PUSTAKA**

1. 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.
2. 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.
3. Khalifa O, Densibali A , Faris W. (2006), *Image processing for chatter identification in machining process*. Int J Adv Manuf Technol,; 31: 443-449.
4. Tangjitsitcharoen. (2005), *Intelligent monitoring and dynamic tool life estimation*. Bangkok: Department of Industrial Engineering Chulalongkorn University.
5. Van Dijk NJM, 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.
6. Zoriktuev VT. (2008), *Mechatronics Machine-Tool systems*. Russian Engineering Research; 28(1): 69-73.