

PENINGKATAN PERFORMANSI INDUSTRI KECIL PEMBUAT *MOULDS* MELALUI PENGEMBANGAN *CNC RETROFIT MILLING* UNTUK MENINGKATKAN KETELITIAN PRODUK

Muhammad Kusumawan Herliansyah*, Isa Setiasyah Toha**

ABSTRACT

A survey of several small-scale mould maker industries has identified two main stage of machining process in making a mould: rough-cutting and fine-cutting. The process technologies for roughing are milling, turning, and drilling/threading/boring. The process technologies for fine-cutting are Electric Discharge Machine (EDM) and grinding.

Most of companies use a conventional milling machine for roughing due to limited capacity in using Computer Numerical Control (CNC) machine or limited budget to invest a CNC machine.

In order to contribute in reducing of manufacturing cost and lead-time, the purpose of this research is to identify the small-scale mould maker industries problems, to identify the capability of CNC retrofit milling to solve that problems, and to develop a prototype of CNC retrofit milling system.

Kata kunci: small-scale mould maker industries, rough-cutting, CNC retrofit milling

PENDAHULUAN

Van Houten (1992) menyatakan bahwa persaingan dalam pasar internasional mendorong industri manufaktur untuk melakukan perubahan strategi produksi. Produk-produk baru harus diproduksi dengan lebih cepat. Metode-metode manufakturing harus diperbarui. Selain itu organisasi manufakturing harus mampu beradaptasi dengan kondisi permintaan pasar yang menuntut waktu kirim (*delivery time*) lebih pendek, kualitas produk yang semakin tinggi dan fleksibilitas yang lebih tinggi dalam menghadapi variasi produk, dengan ukuran *batch* kecil, pada tingkat harga yang wajar.

Dalam kondisi tersebut, industri pemesinan dan komponen di Indonesia menghadapi permasalahan utama berupa kesulitan dalam memenuhi beberapa persyaratan teknologi yang ditentukan. Secara keseluruhan permasalahan tersebut berkaitan dengan usaha-usaha untuk memenuhi *QCD* (*Quality, Cost, Delivery*). Oleh karena itu industri-industri pemesinan dan komponen perlu melakukan perbaikan secara bertahap, misalnya dengan penggantian mesin-mesin yang sudah tua, melakukan pengenalan mesin-mesin dan peralatan dengan teknologi baru, serta penggunaan alat-alat inspeksi yang memadai. Seiring dengan proses tersebut, dilakukan pula perbaikan pada sistem manajemen pabrik (JICA, 1999).

Selada, et. al (1999), telah melakukan penelitian terhadap sejumlah industri skala kecil pembuat *moulds* dan mengidentifikasi dua proses pemesinan utama dalam pembuatan *mould*, yaitu *rough-cutting* dan *fine-cutting*. Teknologi proses untuk melakukan proses *rough-cutting* diantaranya adalah proses *milling*, *turning*, dan *drilling/threading/boring*. Sedangkan teknologi proses yang digunakan untuk *fine-cutting* adalah *Electric Discharge Machining* (EDM) dan proses *grinding*. Diantara beberapa teknologi proses tersebut, proses *milling* merupakan proses yang dominan dalam menentukan biaya produksi. Hal itu terjadi karena proses tersebut mengkonsumsi waktu produksi yang terbesar dan memerlukan investasi peralatan (*tools*) yang besar. Sebagian besar perusahaan pembuat *mould* melakukan proses *milling* dengan menggunakan mesin *milling* manual untuk melakukan *roughing*. Hal itu dilakukan karena keterbatasan kapasitas pada mesin *Computer Numerical Control* (CNC) dan/atau keterbatasan kemampuan untuk melakukan investasi mesin *CNC*.

PERSOALAN PADA INDUSTRI KECIL PEMBUAT *MOULDS*

Dalam industri pembuat *mould*, teknologi *milling* dan *CAD/CAM* memiliki tingkat kepentingan yang besar. Proses *milling* memiliki kontribusi yang besar pada biaya produksi suatu *mould*, karena operasinya

* Muhammad Kusumawan Herliansyah, ST. MT., Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada (mk_herliansyah@yahoo.com).

** Prof. Dr. Ir. Isa Setiasyah Toha, M.Sc., Dosen Jurusan Teknik Industri, Institut Teknologi Bandung (isast@ispitb.org).

memerlukan waktu produksi yang lama (terutama untuk proses-proses pada bentuk yang kompleks) dan memerlukan persediaan peralatan (*tools*) pembantu yang besar. Selain itu, mesin *milling* manual memiliki tingkat ketelitian dan kemampuan ulang yang rendah. Upaya yang sementara diambil saat ini diantaranya dengan membatasi penggunaan mesin *milling* manual hanya untuk proses *rough-cutting* saja, sedangkan proses *fine-cutting* dilakukan dengan mesin *milling CNC* atau *EDM* melalui sub kontrak pada perusahaan lain. Usaha tersebut berdampak pada kenaikan biaya produksi dan waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan sebuah *mould*.

Industri pembuat *moulds* dan *dies* di Indonesia juga menghadapi permasalahan yang sama. Keterbatasan kapasitas mesin *CNC milling* yang dimiliki, ataupun keterbatasan anggaran untuk

melakukan investasi mesin *CNC*, menyebabkan mesin *milling* manual menjadi mesin perkakas utama untuk melakukan *rough-cutting* pada pembuatan *mould*. Sebagai gambaran, Tabel-1. menunjukkan perbandingan waktu proses dalam pembuatan komponen *mould Blowing Oil Pennzoil* yang diambil dari CV. Karya Cipta Agung, sebuah industri pembuat *moulds* dan *dies* di Bandung.

Tabel-1. menunjukkan mesin *milling* digunakan untuk proses *rough-cutting* dan pembentukan *cavity* secara kasar. Sedangkan untuk proses *fine-cutting* digunakan mesin gerinda dan *EDM*. Data-data tersebut juga menunjukkan proses pengerjaan *cavity plate* dan *core plate* memerlukan waktu proses yang paling lama, karena kedua komponen inilah yang menentukan bentuk produk plastik yang dicetak, sehingga harus dikerjakan dengan akurasi yang tinggi.

Tabel 1. Waktu proses pembuatan komponen pembentuk *mould Blowing Oil Pennzoil* (Herliansyah, et al., 2001)

SK	Proses dan Mesin	Waktu proses tiap komponen (hari)										Total waktu proses (hari)			
		Top plate	Cavity Plate	Core plate	Support plate	Spacer block	Bottom Plate	Guide Pin	Ejector Pin	elektroda	Baut metrik				
1	Memotong (haxsaw)	1	1	1	1	1	1	1	1					Dibeli dipasaran	8
2	Meratakan (<i>milling</i>)	2	2	2	2	2						12	4		
	Membubut (bubut)							2	2						
3	Menggerinda permukaan (gerinda)	2	4	3	2	2	2						15		
4	Membuat lubang (drill)	1	1	1	1	1	1						6		
5	Pembentukan cavity secara kasar (<i>milling</i>)		4	4									8		10
	Pembentukan elektroda (grafir)									2			2		
6	Pembuatan cavity sesuai tingkat presisi (EDM)		10	9									19		
7	Penyelesaian akhir (bench work)		1	1									2		
8	Merakit (benchwork)	2										2			
Waktu proses setiap komponen		8	25	23	8	8	8	5	5	4	2				

SK = Stasiun Kerja

Tabel-2. Waktu proses pembuatan *cavity plate* beberapa jenis *mould* (Herliansyah, et al., 2001)

SK	Proses dan Mesin	Waktu proses pembentukan <i>cavity plate</i> (hari)				
		Mould Bushing B-52 (4 Cavity)	Mould Attachment Plug P-04 (4 cavity)	Insert Mould Protector Plug P-24 (2 cavity)	Mould Jack Plug-YAFI (2 cavity)	Blowing Oil Pennzoil
1	Memotong (hax saw)	1	1	1	0	1
2	Meratakan (<i>milling</i>)	2	5	1	2	2
3	Menggerinda (gerinda)	3	8	1	3	4
4	Membuat lubang (drill)	2	7	2	1	1
5	Pembentukan cavity secara kasar (<i>milling</i>)	2	7	2	3	4
6	Pembuatan cavity sesuai tingkat presisi (EDM)	8	20	2	8	10
7	Penyelesaian akhir (bench work)	1	3	1	1	1
8	Merakit (bench work)	1	3	1	2	2

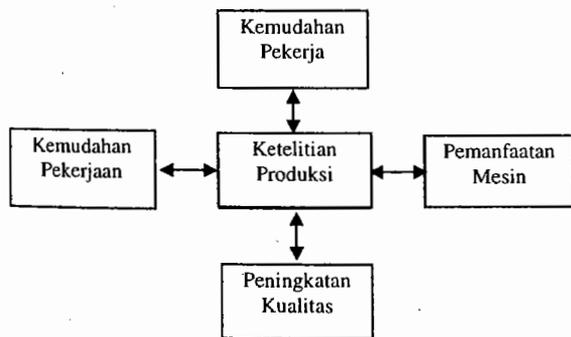
SK = Stasiun Kerja

Data pada Tabel-2. menunjukkan mesin *milling* memiliki peranan yang besar untuk proses *rough-cutting* begitu pula dengan *EDM* dan gerinda untuk proses *fine-cutting*. Lama waktu untuk proses *fine-cutting* sangat dipengaruhi kemampuan proses *rough-cutting* melakukan pemotongan semaksimal mungkin mendekati bentuk dan ukuran komponen akhir. Hal ini berpengaruh pula terhadap biaya pembuatan *mould* tersebut.

Masalah lain yang dihadapi adalah keterbatasan operator yang ahli mengoperasikan mesin *milling* manual. Keterbatasan tersebut terjadi karena mahalnya biaya operator ahli, atau karena jumlahnya sangat sedikit.

USAHA PERBAIKAN PERFORMANSI INDUSTRI KECIL PEMBUAT MOULD

Untuk meningkatkan performansi perusahaan pembuat *mould* dan *dies* dapat dilakukan dengan peningkatan produktivitas dan kualitas penyelesaian pesanan melalui peningkatan ketelitian produksi. Menurut Okumoto dan Matsuzaki (1997), secara konseptual, pengembangan perusahaan dan produk *moulds/dies* dapat dilakukan dengan peningkatan ketelitian produksi yang dapat: mengurangi pekerjaan penyesuaian (*adjusting work*), mengurangi tenaga kerja dengan keterampilan tinggi, pemanfaatan mesin yang lebih baik, dan menstabilkan kualitas hasil produksi. Konsep tersebut dapat dinyatakan dalam bentuk diagram pengaruh ketelitian produksi seperti pada Gambar 1



Gambar 1. Pengaruh ketelitian produksi

Berdasarkan konsep ini, maka strategi pengembangan perusahaan dan produk yang dilakukan adalah peningkatan *quality*, penurunan *cost*, dan pemenuhan *delivery time*.

Yuniar (2001) menyatakan bahwa apabila dilihat dari strategi investasi, penambahan investasi mesin *CNC milling* dapat segera meningkatkan kapasitas yang tersedia bagi penyelesaian proses bentuk

kompleks dan ketelitian tinggi. Selain itu memungkinkan memperpendek waktu pengiriman karena tidak melakukan sub-kontrak proses pada perusahaan lain. Namun strategi ini baru dapat dilakukan apabila kapabilitas sistem perusahaan (dalam penguasaan teknologi dan pasar) sudah terjadi.

Walaupun produktivitas dan akurasi yang tinggi dapat dicapai oleh mesin perkakas *CNC*, tetapi bukanlah merupakan solusi yang efektif dari sisi biaya produksi suatu *part*. Menurut Koren (1983), produksi dengan mesin *CNC* akan ekonomis bila digunakan untuk memproduksi *part-part* dengan bentuk geometri yang relatif kompleks dalam lot-lot atau *batch* berukuran sedang (antara 20 hingga 10,000 *part*), atau untuk memproduksi satu *part* tunggal dengan tingkat kerumitan permukaan yang tinggi, sehingga tidak dapat diproduksi mesin perkakas konvensional.

Karena tingginya investasi yang harus dilakukan untuk sebuah mesin *CNC*, dan volume pekerjaan yang relatif tidak terlalu besar, maka bengkel-bengkel komponen dan pemesinan kecil lebih mempertimbangkan untuk melakukan *retrofitting* pada mesin perkakas konvensional menjadi sistem *CNC* untuk menghindari pembelian mesin *CNC* baru.

Retrofitting berarti melakukan modifikasi terhadap suatu peralatan agar memiliki kemampuan sesuai dengan kebutuhan penggunaan peralatan tersebut. Pada mesin-mesin perkakas, hal itu dapat dilakukan dengan menambahkan sebuah sistem pengendali mesin (*Machine Control Unit, MCU*) dan sebuah komputer. *MCU* tersebut meliputi juga *translator amplifier* untuk penggerak motor stepper atau *power amplifier* untuk penggerak *dc-servo motor*. Selain penambahan *MCU*, modifikasi dapat dilakukan terhadap mesin perkakas itu sendiri, diantaranya dengan mengganti *leadscrew* dengan *ball-bearing screw*, penambahan *stepping-motor* atau *dc servomotor* yang dilengkapi perangkat umpan balik, dan sistem-sistem pengendali lain yang dapat ditambahkan sesuai dengan keperluan (pengendali *coolant*, *limit switch*, sensor temperatur, dan lain sebagainya). Pada prinsipnya modifikasi dapat dilakukan pada setiap sumbu gerakan. Namun demikian harus dipertimbangkan efektifitas biaya yang dikeluarkan untuk melakukan *retrofitting* tersebut dengan kebutuhan kemampuan mesin perkakas yang ada (Koren, 1983).

Sebuah artikel dalam *Modern Machines Shop* (1998) telah melaporkan *retrofitting* terhadap mesin-mesin manual tua (dengan daya 1 hingga 5 hp) sehingga menjadi *CNC retrofit* dapat meningkatkan produktivitas dan keuntungan *machine shops*. Keuntungan tersebut berupa kemampuan

memproduksi part dengan lebih cepat, kemampuan mengerjakan bentuk-bentuk yang kompleks, dapat dijamin pula *repeatable accuracy*-nya, selain itu juga mengurangi jumlah *scrap*, *rework*, dan *manufacturing cost*. Artikel lain dalam *Modern Machine Shop* (1998) menyatakan bahwa *retrofitting CNC* pada tiga mesin *Lathe Hardinge* di *Mansfield Screw Machine Products Co.*, dapat meningkatkan *throughput* pada setiap mesin sekitar 15%, mesin manual tetap terjaga produktifitasnya walaupun tidak ditangani oleh operator ahli. *Retrofitting* tersebut juga meningkatkan efisiensi keseluruhan proses di *shop floor*, dan dapat dilakukan penghematan dengan menghilangkan pekerjaan-pekerjaan yang dikerjakan secara sub-kontrak. *Modern Machine Shop* (1999) juga melaporkan bahwa Heckendorf dari *D. Heck Tool LLC* melakukan *retrofitting* terhadap mesin *milling manual Kent* dengan paket *retrofit Mitutoyo MillStar CNC* dari *Mitutoyo Corp* yang dijalankan pada komputer berbasis *Windows 95* dan diprogram dalam bentuk *G-code*. *Retrofitting* tersebut dapat memperpendek waktu proses untuk membuat *EDM Electrodes* dari enam minggu menjadi tujuh hari kerja.

Suh, et al. (1995) telah melakukan *retrofitting* pada mesin *milling NC* dua aksis dengan berbasis pada *Integrated NC System (INCS)*. *Retrofitting* tersebut memungkinkan pengguna sistem melakukan *geometric modelling*, *CL-data generation*, simulasi grafis, dan secara langsung melakukan pengendalian mesin tanpa melakukan konversi *CL-data* menjadi *G-Code*.

PENGEMBANGAN CNC RETROFIT MILLING

Batasan Rancangan Mesin CNC

Pemikiran yang mendorong pengembangan *CNC* adalah kebutuhan akurasi dalam proses manufaktur bentuk yang rumit dan keinginan meningkatkan produktivitas. Kombinasi karakteristik pengendali dan mesin perkakas menentukan akurasi hasil akhir dan produktivitas dari sistem *CNC*. Akurasi akhir sebuah sistem *CNC* tergantung pada algoritma kendali komputer, resolusi sistem, dan ketidak-akuratan mesin. Algoritma pengendali memiliki peluang untuk menyebabkan terjadinya kesalahan posisi yang terjadi karena pembulatan kesalahan. Dalam mesin perkakas hal itu mungkin terjadi selama interpolasi dalam gerakan melingkar (Koren, 1983).

Sedangkan resolusi sebuah sistem *CNC* adalah suatu karakteristik yang ditentukan oleh perancang unit pengendali dan tergantung pada posisi sensor umpan balik. Dalam hal ini terdapat dua istilah resolusi yaitu *programming resolution* dan *control resolution*. *Programming resolution* adalah posisi

inkremen terkecil yang dapat dicapai oleh *part program* dan diacu sebagai *BLU (Basic Length Unit)* yang besarnya dapat mencapai 0.01 mm pada suatu sistem mesin perkakas. *Control resolution* adalah perubahan posisi terkecil yang dapat dideteksi oleh perangkat umpan balik. Untuk menghasilkan efisiensi sistem yang terbaik, maka *programming resolution* harus sama dengan *control resolution* dan dinyatakan sebagai resolusi sistem atau *BLU*. Ketidak akuratan sistem yang disebabkan oleh resolusi biasanya dipertimbangkan hingga 0.5 *BLU*, karena perpindahan yang lebih kecil dari 1 *BLU* tidak dapat lagi diprogram atau diukur, oleh karena itu diambil nilai rata-ratanya.

Ketidak-akuratan sistem *CNC* ditentukan pula oleh ketidak-akuratan sistem mekanik mesin perkakas, sehingga akurasi sistem sebenarnya diperhitungkan dengan persamaan sebagai berikut (Koren, 1983):

$$\text{System accuracy} = 0.5 \text{ BLU} + \text{machine accuracy}$$

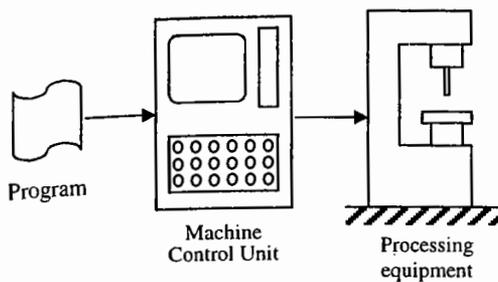
Produktivitas dan akurasi yang tinggi merupakan dua hal yang saling bertolak belakang. Produktivitas yang tinggi memerlukan kecepatan putar *spindel*, laju pemakanan, dan kedalaman potong yang lebih tinggi, kesemua itu dapat meningkatkan panas dan gaya pemotongan sistem. Hal itu dapat menyebabkan terjadinya deformasi *thermal*, defleksi, dan getaran pada mesin, sehingga sebagai konsekuensinya akurasi yang diinginkan tidak akan tercapai. Oleh karena itu, struktur dari mesin perkakas *CNC* harus lebih kokoh dari mesin konvensional sejenis.

Salah satu karakteristik perancangan yang berlaku umum untuk semua mesin perkakas adalah material yang digunakan. Mesin perkakas konvensional dibuat dari besi cor. Sedangkan mesin-mesin *CNC*, memiliki konstruksi mesin dari baja yang dilas. Kelebihan baja yang dilas dibandingkan dengan besi cor adalah memiliki kekuatan dan kekakuan yang lebih besar untuk suatu berat tertentu.

Selain itu, untuk mencapai akurasi yang diinginkan, dalam mesin *CNC* digunakan komponen-komponen dengan gesekan yang rendah, untuk menghindari kehilangan gerakan (*lost motion*), dan mengisolasi sumber-sumber panas.

Dasar sistem mesin CNC

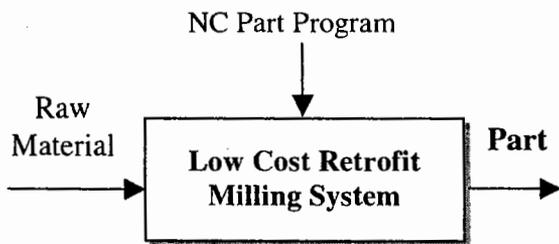
Sebuah sistem *Computer Numerical Control* pada dasarnya terdiri atas tiga komponen dasar, yaitu program yang berisi perintah pengerjaan, unit pengendali mesin (*MCU, Machine Control Unit*), dan peralatan pemroses. Sistem yang dibentuk oleh ketiga komponen tersebut secara umum ditunjukkan pada Gambar 2. (Groover, 1987).



Gambar 2. Sistem dasar mesin CNC

Low Cost CNC Retrofit Milling System

Bermula dari sistem dasar mesin CNC di atas dilakukan pengembangan *low cost CNC retrofit milling system* yang garis besarnya ditunjukkan dalam Gambar 3. Pengembangan sistem tersebut dilakukan dengan kriteria *PC-Base*, *Micro Controller chip set*, dan *standart serial communication*. Sehingga diharapkan dapat dihasilkan sistem *retrofit milling* yang berbiaya rendah, memiliki kesesuaian dengan sistem CNC yang ada, dan dapat diintegrasikan dengan *software CAD* yang sudah ada.



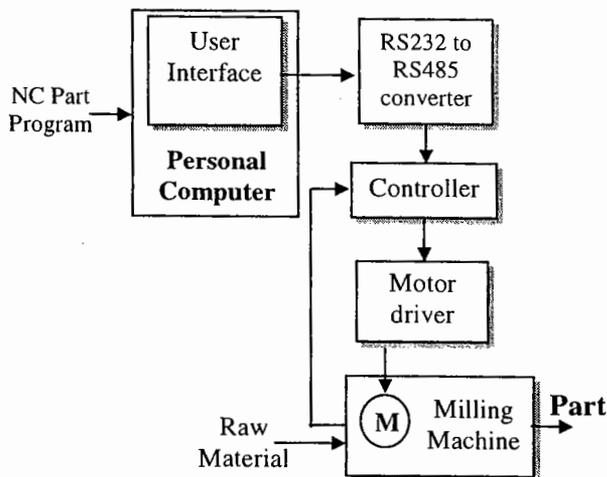
Gambar 3. Sistem CNC retrofit milling

Pada gambar tersebut sistem *CNC retrofit milling* menerima input berupa *raw material* dan *NC part program* yang berisi perintah-perintah pengerjaan *raw material*. Sistem *CNC retrofit milling* akan menghasilkan keluaran berupa part yang telah dikerjakan.

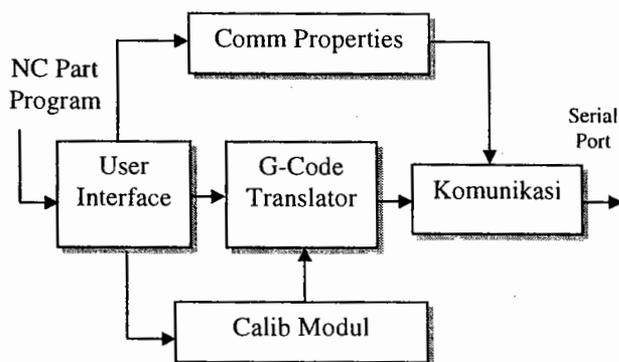
Sistem tersebut tersusun atas lima bagian utama yaitu user interface, modul komunikasi berupa konverter RS232 ke RS 485, modul controller, motor driver, dan mesin milling manual. Hubungan kelima komponen tersebut ditunjukkan pada Gambar 4.

User interface digunakan oleh pengguna untuk berkomunikasi dengan sistem *CNC retrofit*. Dari komponen ini dapat dilakukan *upload NC-Part Program*, editing terhadap program apabila terdapat kekurangan atau kesalahan, dan menyimpan kembali setelah dilakukan perbaikan. Gambaran umum sistem

user interface pada sistem *CNC retrofit milling* ditunjukkan pada Gambar 5.



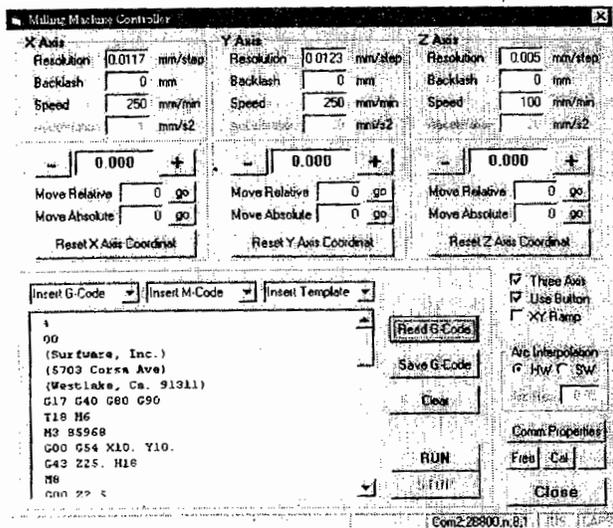
Gambar 4. Hubungan antar komponen sistem CNC retrofit milling



Gambar 5. User Interface

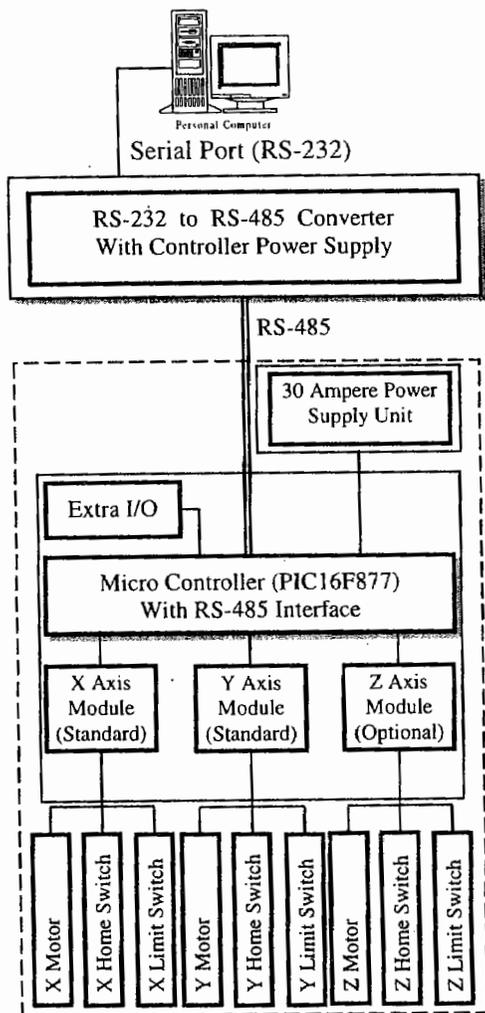
Melalui modul ini pengguna dapat melakukan kalibrasi sistem dan melakukan setting sistem komunikasi yang digunakan.

Dalam proses kalibrasi, pengguna sistem *CNC retrofit milling* melakukan pengukuran dan *setting* terhadap parameter-parameter gerakan seperti resolusi, *backlash*, kecepatan, dan *acceleration*. Parameter-parameter tersebut digunakan dalam proses penterjemahan G-Code menjadi sinyal pulsa listrik. Data pergerakan yang dihasilkan *user interface* kemudian dikirim ke dalam *controller* melalui modul komunikasi. Berdasarkan data-data tersebut *controller* akan menghasilkan pulsa listrik yang dikirimkan pada unit penggerak berupa motor *stepper* yang terpasang pada setiap sumbu mesin *milling*. Bentuk modul *user interface* ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Tampilan modul user interface

Sedangkan arsitektur controller sistem CNC retrofit milling ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Arsitektur controller sistem CNC retrofit milling

STRATEGI PENERAPAN CNC RETROFIT MILLING

Dari uraian terdahulu tampak bahwa secara ekonomi *retrofitting* merupakan pilihan yang tepat untuk meningkatkan kemampuan mesin-mesin perkakas yang dimiliki oleh industri pembuat *moulds* skala kecil dan menengah. Melalui *retrofitting*, dapat dilakukan penambahan karakteristik (*feature*) baru pada mesin perkakas, kepresisian dan *reliability* dapat ditingkatkan, bahkan dapat dilakukan modifikasi terhadap seluruh konfigurasi mesin perkakas. *Retrofitting* selain dilakukan untuk meningkatkan performansi mesin perkakas, juga membuka peluang untuk melakukan integrasi dengan berbagai sistem CAD/CAM.

Penerapan *CNC retrofit milling* di perusahaan-perusahaan pembuat *moulds*, dapat dilakukan dengan cara, membeli paket-paket retrofitting yang telah banyak dikembangkan dengan berbasis pada sistem CAD/CAM atau dengan melakukan pengembangan sendiri sesuai kebutuhan dan kemampuan perusahaan. Bagaimanapun, dari sudut pandang pengguna ada beberapa hal yang dapat menjadi penghalang untuk membeli, menggunakan, dan melakukan kustomisasi pada sistem *retrofit* yang banyak ditawarkan.

Penghalang pertama, sistem *retrofit* yang ditawarkan tersebut sangat mahal, karena sebagian besar menggunakan *platform workstation* sehingga dipandang tidak efektif dari sisi pembiayaan. Sebagai contoh Tabel 3. menunjukkan perbandingan harga beberapa sistem *retrofit* yang ditawarkan di pasaran. Harga paket CNC retrofit system tersebut sangat bervariasi sesuai dengan karakteristik yang ditawarkan seperti akurasi, *repeatability*, *spindle speed*, *axis travel distance*, dan motor penggerak yang digunakan karena mempengaruhi torsi dan *feedrate* yang dapat dihasilkan sistem tersebut.

Penghalang kedua, sistem-sistem tersebut dirancang untuk mengantisipasi berbagai aplikasi yang dibutuhkan para pengguna dengan menyediakan berbagai karakteristik pada paket *CNC retrofit system*, namun ada beberapa karakteristik yang sebenarnya tidak diperlukan khususnya pada perusahaan skala kecil dan menengah, sehingga hal itu merupakan pemborosan bagi pengguna. Adakalanya pula karakteristik yang sebenarnya diperlukan justru tidak disediakan dalam paket tersebut, sementara apabila akan dilakukan kustomisasi dan melakukan penambahan karakteristik tertentu terhadap paket tersebut, terdapat keterbatasan akses kedalam sistem itu. Biasanya *source code* paket *retrofitting* yang tersedia dipasaran tidak terbuka, atau apabila terbuka sulit diatur kembali konfigurasi sistemnya.

Tabel 3. Perbandingan harga sistem retrofit yang ditawarkan di pasaran

No.	Tipe	Supplier	Harga
1.	Large Machine Kit	Applied Robotics, Inc	\$ 4,199.95
2.	Intermediate Sized Machine Kit	Applied Robotics, Inc	\$ 3,599.95
3.	Taig Tools Micro Mill	Super Tech	\$ 3,450.00
4.	CNC Express Mill Package	Numatix Inc.	\$ 8,495.00
5.	CNC Express Kit	Numatix Inc.	\$ 5,995.00
6.	MillStar Jr1 2 Axis CNC Retrofit System	Mitutoyo	\$ 8,900.00
7.	MillStar 2 Axis CNC Retrofit System	Mitutoyo	\$13,250.00
8.	Automatic Hardinge lathe AHC, CHNC, HNC,DSMA, ASM	OmniTurn	\$ 22,950.00
9.	Basic kit for Hardinge HC, HLV, HLV-H	OmniTurn	\$17,295.00

Salah satu strategi untuk menembus berbagai penghalang dalam penerapan sistem *CNC retrofit* tersebut adalah dengan melakukan pengembangan sistem *CNC retrofit milling* yang memberikan peluang bagi penggunaanya untuk melakukan kustomisasi sesuai dengan kebutuhan di perusahaannya. Diharapkan pula *CNC retrofit milling* yang dikembangkan ini memiliki harga yang lebih rendah dari paket-paket yang ditawarkan sehingga dapat digunakan perusahaan-perusahaan pembuat *moulds* skala kecil dan menengah. Secara konseptual posisi performansi *CNC retrofit milling* yang dikembangkan berada dalam posisi yang memadai bila dibandingkan dengan mesin *milling* manual, *DRO (Digital Read Out) milling machine*, dan *CNC milling machine*.

Dari sisi akurasi *CNC retrofit milling machine* memiliki akurasi yang lebih tinggi dari mesin *milling* manual maupun *DRO milling machine*, tetapi masih lebih rendah dari akurasi *CNC milling machine*. Begitu pula halnya dari sisi biaya pengembangan dan kompleksitas sistem. Dari sisi waktu proses, *CNC retrofit machine* menghasilkan waktu proses yang lebih singkat dibandingkan manual *milling machine* dan *DRO milling machine*, walaupun belum dapat menyamai waktu proses *CNC milling machine*.

KESIMPULAN

CNC retrofit milling system menjadi sebuah alternatif untuk mengatasi kebutuhan mesin-mesin perkakas *CNC* di perusahaan pembuat *moulds* skala kecil dan menengah. Penggunaan *CNC retrofit milling system* dapat meningkatkan ketelitian produk, mengurangi waktu proses, mengatasi keterbatasan operator ahli, dan menghemat biaya produksi.

Sistem *CNC retrofit milling* yang dikembangkan dengan platform PC, *Micro Controller chip set*, dan *standard serial communication* diharapkan dapat

menghasilkan sistem yang berbiaya rendah, memiliki kompatibilitas dengan sistem *CNC* yang ada, dan dapat diintegrasikan dengan *software CAD* yang ada sesuai kebutuhan pengguna.

Untuk mendapatkan hasil *CNC retrofit milling system* yang memuaskan, perlu dilakukan penyempurnaan dan pengujian performansi sistem tersebut dalam skala laboratorium dan industri.

DAFTAR PUSTAKA

- Groover, M. P., 1987, *Automation, Production Systems, And Computer Integrated Manufacturing*, PHI., Inc., New Jersey.
- Herliansyah, M. K., Irawan, C., Toha, I. S., 2001, *Low Cost CNC Retrofit Milling untuk Proses Rough Cutting Pada Industri Kecil Pembuat Moulds*, Prosiding Seminar Sisprod V, Bandung.
- JICA, 1999, *The Follow-up Study on The Development of Supporting Industries in The Republic of Indonesia*, Draft Final Report, The Japan Research Institute, Limited.
- Koren, 1983, *Computer Control of Manufacturing Systems*, McGraw-Hill.
- Modern Machine Shop, 1998, *The Economics Of Converting Manual Mills To CNC*, 09-98 edition, Gardner Publications, Inc.
- Modern Machine Shop, 1999, *Faster Milling Of EDM Electrodes With Retrofit CNC Package*, 05-99 edition, Gardner Publications, Inc.
- Modern Machine Shop, 1998, *CNC Retrofits Answer Scarcity Of Manual Machinists*, 05-98 edition, Gardner Publications, Inc.
- Okumoto & Matsuzaki, 1997, *Approach to Accurate Production of Hull Structure*, Journal of Ship Production, Vol. 13, No. 3, 207 - 214.

- Selada, C., Videira, A.; Felizardo, R., Veloso, F., 1999, *The Technology and Innovation Audit in The Portuguese Moulds Sector Analysis of the Main Result*, The 3rd International Conference on Technology Policy and Innovation, Austin.
- Suh, S. H., Noh, S. K., Choi, Y. J., 1995, *A Pc-Based Retrofitting Toward CAD/CAM/ CNC Integration*, Computers ind. Engng Vol 28, No1, Elsevier Science Ltd., Great Britain.
- Toha, et al, 2000, *Mesin Flame Cutting Kontrol Numerik*, Seminar Nasional Hasil Vucer dan Penerapan Ipteks Kepada Masyarakat Tahun 1999/2000, Jakarta.
- Van Houten, F.J.A.M, 1992, *Manufacturing Interfaces*, Annals of the CIRP Vol 41.
- Yuniar, 2001, *Model Perencanaan Pasokan Jangka Panjang Dengan Memper-timbangkan Faktor Kapabilitas Sistem*, Prosiding Seminar Sisprod V, Bandung.