

STEP-NC – Generasi Baru Mesin CNC

Firman Ridwan

Universitas Andalas
Kampus Limau Manis, Padang, 25163
E-mail: firmanridwan@ft.unand.ac.id

Abstrak

Saat ini perangkat keras mesin CNC berkembang sangat pesat yang tidak sejalan dengan perkembangan perangkat lunak dalam hal ini kode-G, dimana kode-G awal distandardkan kira-kira 50 tahun yang lalu. Kode-G/ ISO 6983 adalah sebuah program yang hanya menggambarkan pergerakan dari pahat dan fungsi fungsinya. STEP-NC (STandard for the Exchange of Product data for Numerical Control) adalah generasi baru model data untuk kontrol numeric (NC). Tidak seperti kode-G, STEP-NC bekerja tidak hanya berdasarkan pergerakan pahat, namun dapat mengakomodasi berbagai informasi yang diperlukan dalam proses pemesinan seperti; fitur manufactur, kemampuan mesin perkakas, daya motor penggerak, efisiensi mesin, strategi pemesinan, sifat material benda kerja dan lain-lain. STEP-NC kaya akan informasi yang tercakup dalam sebuah format yang distandardkan dalam bentuk dokumen Part 21. STEP-NC memberikan solusi kelemahan dari kode-G/ISO 6983 dengan mengorientasikan Proses Pemesinan daripada gerak dari mesin perkakas itu sendiri dengan menggunakan konsep berorientasi pada objek dari Workingsteps. Baru-baru ini perkembangan standard STEP-NC terjadi dalam dua grup dari International Standard Organization Technical Committee 184 tentang Industrial Automation Systems and Integration yaitu ISO 14649 data model dan ISO 10303-238. Tulisan ini memberikan gambaran tentang STEP-NC ISO 14649, dokumen Part 21 dan memperkenalkan kelebihannya terhadap Kode-G/ISO 6983.

Keywords: STEP-NC, CNC, Kode-G

Pendahuluan

Sejak perang dunia kedua, kebutuhan akan mesin perkakas presisi meningkat seiring dengan permintaan akan produk-produk kompleks seperti airfoil untuk pesawat terbang. Tahun 1955, prototipe program NC pertama kali diujicoba oleh MIT. Dua tahun kemudian, dikembangkan program APT. APT dibuat untuk membantu programmer dalam mengembangkan instruksi yang dapat dimengerti oleh semua sistem NC. APT kemudian lebih dikenal dengan data lokasi pahat (cutter location data) yang menggambarkan geometri dari benda kerja yang akan di potong, pergerakan pahat dari satu titik ke titik lain dan spesifikasi umum pemesinan. Awal tahun 1960an APT menjadi paket perangkat lunak yang sering digunakan untuk menjalankan komputer IBM dan kemudian diinstalasi pada pabrik pesawat. Kemudian, tahun 1982, bahasa pemrograman APT diadopsi oleh ISO (the International Organisation for Standardisation) sebagai standard internasional ISO 6983: tentang mesin NC (Numerical Control) – Program format and definition of address words (ISO 6983-1, 1982) yang lebih dikenal sebagai Kode-G. Kode-G adalah kumpulan dari instruksi instruksi tingkat rendah yang merupakan bagian bahasa pemrograman kontrol numerik. Fungsi-fungsi instruksi itu termasuk deskripsi pergerakan pahat dan

juga instruksi sejumlah pergerakan dari titik satu ke titik lain. Pemesinan kontur benda kerja dilakukan dengan pergerakan pahat yang posisinya didefinisikan dalam program Kode-G. Perkembangan yang signifikan dalam otomasi mesin perkakas program CNC modern banyak digunakan dalam industri-industri pemesinan saat ini.

Bertahun-tahun, mesin CNC berkembang sangat pesat, dengan kemampuan mesin untuk melakukan pemesinan produk presisi tinggi, kemampuan menampilkan animasi dan simulasi yang canggih, kemampuan mengkompensasi kesalahan, kemampuan mesin memahami kendala-kendala (constraints) mesin melalui sensor-sensor dan kemampuan melakukan banyak proses seperti freis (milling), bubut (turning), gerinda (gerinda) dan lain-lain.

Salah satu teknologi untuk mendukung perkembangan CNC adalah dengan menggabungkan proses monitor terus menerus selama proses dan mengontrolnya sehingga tetap bekerja sesuai dengan kemampuan mesin. Untuk melakukan ini, mesin CNC harus dilengkapi dengan sensor-sensor, pengkondisian signal, pemrosesan signal dan meninterpretasikan signal tersebut. Untuk pengontrolan mesin CNC dengan waktu nyata (real time), telah diimplementasikan

berbagai macam fungsi cerdas seperti control adaptasi (adaptive control) dan model optimisasi lanjut. Dengan cara ini berbagai macam kendala proses pemesinan dapat dideteksi lebih awal sehingga dapat memberikan suasana pemesinan lebih aman.

Perkembangan panjang dari riset tentang Pemantauan Kondisi Mesin (Machine Condition Monitoring) pada proses pemesinan tidak diragukan lagi telah mengurangi intervensi manusia (operator) selama proses pemesinan berlangsung dan melakukan pengontrolan secara otomatis. Namun, peluang riset di area ini dalam usaha mempersingkat siklus produksi masih terbuka lebar. Selain itu, aktifitas pemesinan telah berubah dari pemasatan perhatian kepada pelaku industri (manufacturer-driven) menjadi focus kepada permintaan pelanggan (customer-centric). Untuk mengupayakan pengontrolan kualitas secara aktif selama proses berlangsung maka parameter pemesinan lah yang dapat digunakan untuk mengupayakan ini dengan cara memonitor dan mengontrolnya dan selanjutkan di ambil tindakan yang sesuai. Tujuan utama dalam memonitor dan mengontrol selama proses berlangsung adalah untuk merekam data-data yang dideteksi oleh sensor-sensor sehingga tingkah laku mesin dapat di pahami dan selanjutnya dilakukan aksi umpan balik secara waktu nyata (real-time). Sebagai contoh dalam mengoptimalkan parameter pemesinan dalam kondisi menghadapi kendala-kendala pemesinan seperti kelebihan beban torsi spindel, gaya potong, getaran mesin perkakas, dan keausan pahat, memerlukan kombinasi parameter pemesinan yang sesuai dan teroptimisasi.

Untuk mengatasi hal ini, tindakan yang dilakukan memonitor kondisi mesin secara otomatis dengan mengintegrasikan teknologi pemantauan (monitoring) dan prosedur pengambilan keputusan. Tujuannya adalah untuk menghasilkan sistem cerdas yang mampu beradaptasi terhadap perubahan-perubahan pada manufaktur (Elbestawi et al, 2006). Selain itu, dengan pertumbuhan teknologi, ada tuntutan dan prospek baru untuk memberdayakan CNC saat ini dengan fitur-fitur yang lebih maju seperti kemampuan beradaptasi, reconfigurability, ketangkasan mesin, dan interoperabilitas (Xu et al, 2006). Oleh sebab itu, dalam mewujudkan manufaktur yang handal dan otonom, persyaratan untuk arsitektur CNC terbuka (open CNC architecture) harus dipertimbangkan (Suh et al, 2002).

Namun, ada beberapa faktor yang menghambat dalam mewujudkan visi ini. Pertama, meskipun teknologi mesin CNC berkembang pesat, mesin CNC masih dijalankan oleh bahasa pemrograman NC kontemporal alias kode-G. Seperti disebutkan sebelumnya, instruksi kode-G dikembangkan lebih dari lima puluh tahun

yang lalu dengan sedikit kecerdasan (itupun kalau ada) dan tidak memenuhi persyaratan teknologi NC modern. Desain awal dari kode-G adalah untuk menjalankan sejumlah data tingkat rendah yang kebanyakan merupakan perintah langkah demi langkah untuk mengendalikan pergerakan pahat pada mesin perkakas. Dalam kode-G hanya memiliki sedikit informasi dan terbatas sehingga menjadikan hambatan dalam mengupayakan mesin CNC yang cerdas, lengkap dan teroptimasi.

Kedua, program yang sedang tereksekusi dibolehkan untuk dikontrol secara terbatas dan ini membuat sulit untuk mengubah program pada tingkat lantai produksi (shop-floor) sehingga hal ini tidak memungkinkan melakukan perubahan program NC pada menit-menit terakhir proses. Perubahan menit terakhir sering tidak dibolehkan. Pengoperasian pemesinan sepenuhnya didominasi oleh kode-kode NC yang telah ditentukan dan dalam kebanyakan kasus, mesin perkakas tidak dapat mengubah kondisi pemotongan dan urutan-urutan proses pemesinan selama berlangsungnya operasi pemesinan. Selain itu, karena hanya mendukung satu arah arus informasi dari desain sampai ke pembuatan, perubahan drastis pada proses manufaktur tidak dapat langsung diumpan balikkan ke desainer (Xu and He, 2004).

Ketiga, desain serta data manufaktur tingkat tinggi (high-level) tidak dapat diaplikasikan secara langsung ke mesin perkakas tetapi harus melalui sebuah post-prosesor yang pada setiap vendor-vendor mesin memiliki perintah spesifik yang diperkirakan ada sekitar 5.000 kode spesifik. Oleh karena itu, bagian program dengan kode spesifik tersebut tidak dapat dipertukarkan antara mesin CNC satu dengan mesin CNC yang lain. Vendor mesin perkakas sering menambah kode-kode dengan tujuan khusus dengan tujuan memperbaiki performansi dari mesin CNC tersebut. Akibatnya, kode akhir yang digunakan untuk menjalankan mesin adalah mesin-spesifik dan akibatnya tidak memiliki portabilitas. Dengan kata lain, satu set kode-G yang digunakan untuk membuat produk dengan menggunakan mesin CNC tertentu tidak dapat digunakan kembali pada mesin CNC yang berbeda.

Keempat, alur informasi pada kode-G dirancang secara satu arah yaitu dari CAD sampai ke tingkat lantai produksi (shop-floor) dan tidak memungkinkan dilakukannya umpan balik dari tingkat mesin CNC ke tingkat desainer (Maeder et al, 2002). Akibatnya, cara konvensional dari pemrograman NC ini dianggap sebagai hambatan untuk mencapai performansi mesin cerdas.

ISO TC 184/SC 1/WG7 menelurkan evolusi bertahap

dari ISO 6983 kepada pemrograman berbasis fitur portabel yang dikenal sebagai ISO 14649. TC 184 adalah komite teknis untuk "sistem otomatisasi Industri dan integrasi" (ISO-TC184/SC1/WG7, 2003). Ruang lingkupnya adalah standardisasi di bidang otomasi industri dan integrasi mengenai bagian manufaktur diskrit dan meliputi penerapan beberapa teknologi, yaitu sistem informasi, mesin dan peralatan, dan telekomunikasi. ISO 14649, juga dikenal sebagai STEP-NC (Standard for the Exchange of Product data for Numerical Control), memberikan kesempatan untuk mengatasi hambatan tersebut di atas, khususnya dalam mewujudkan operasi cerdas.

Ciri utama dari STEP-NC yaitu memiliki struktur data tingkat tinggi (high-level) dan berorientasi objek. Tidak seperti ISO 6983 (Kode-G) dimana bagian program yang ditulis untuk menggambarkan gerakan dan fungsi sederhana dari pahat, antarmuka STEP-NC mampu bekerja dengan kaya akan informasi seperti fitur-fitur manufaktur, multi operasi seperti penghalusan (finishing) dan pengkasaran (roughing), kemampuan mesin perkakas, daya penggerak motor, efisiensi mekanik, strategi pemesinan, informasi perkakas potong dan sifat benda kerja. Selama STEP-NC kaya informasi, maka data yang lebih berkualitas dapat digunakan di lantai produksi (shop-floor), yang memungkinkan analisa optimasi tingkat lanjut dapat dilakukan. Modifikasi di level lantai produksi dilakukan dalam usaha perbaikan terhadap kesalahan-kesalahan yang terjadi dan selanjutnya dijadikan pengalaman baru. Pengalaman baru ini lah yang perlu dipertahankan dan diinformasikan kembali ke tingkat desainer dan perencana proses sehingga meningkatkan hubungan komunikasi antara desain dan departemen manufaktur. Dengan menyediakan model data yang lengkap dan terstruktur maka tidak ada informasi yang hilang. Post-prosesor untuk mengadaptasi kode spesifik dari program NC pada berbagai mesin tidak lagi diperlukan. Selain itu, konten STEP-NC yang kaya akan informasi ini memberikan fleksibilitas yang lebih tinggi dalam melakukan koreksi-koreksi yang diinginkan pada menit-menit terakhir misalnya, ketika pahat patah dan perlu untuk diganti.

Generasi Kontroller CNC Selanjutnya

Kebutuhan akan pengendali CNC yang terbuka, terpadu dan cerdas telah dipahami oleh industri dan akademisi. Perdebatan tentang kebutuhan untuk menggeneralisasi pengendali CNC saat ini telah menghasilkan perkembangan berbagai arsitektur kerangka kerja dan prototipe.

Penelitian sebelumnya dilakukan oleh tiga konsorsium industri yaitu OSACA (Open System Architecture for

Controls within Automation system) di Eropa (Kahmen, 2004), OMAC (Organisation for Machine Automation and Control) di Amerika Serikat (Pritschow 2005, Birlaa 2001, OMAC API) dan OSEC (Open System Environment for Controllers) di Jepang (Sawada 1997) telah dipromosikan dan telah terlibat dalam mengembangkan kontroler dengan arsitektur terbuka. Tujuan utamanya adalah menyediakan kontroler netral yang tidak tergantung pada kode khusus dari vendor vendor serta bentuk standar de facto untuk memastikan kontroler ini dapat diterima dan digunakan secara luas.

Salah satu divisi pada NIST (National Institute of Standards and Technology) di Amerika Serikat juga memperhatikan pengembangan standar untuk sistem kontrol cerdas berkaitan dengan industri manufaktur. Upaya oleh NIST ini telah menyebabkan perkembangan berbagai arsitektur kontrol dan modular terbuka termasuk arsitektur EMC (Enhanced Machine Controller). EMC menawarkan kontrol arsitektur terbuka dengan waktu nyata (real-time) untuk mesin perkakas (Henry et al, 2003). Untuk mendukung agar sistem menjadi arsitektur terbuka, dan lebih fleksibel, maka diperlukan kode pemrograman. Pada tahun 1997, NIST mengembangkan testbed untuk kontrol arsitektur terbuka dengan menggunakan kode dan fungsi NC baru yang disebut sebagai CMC (Command Machining Canonical). Tujuannya adalah untuk mengatasi masalah-masalah khusus seperti kode khusus dari vendor dan keragaman kode yang tidak terstandarkan dari berbagai mesin perkakas. Berbagai kode NC dari vendor-vendor yang berbeda dapat dikonversi menjadi CMC dan menyediakan antarmuka (interface) umum untuk CNC (Liu et al, 2007). Hal ini diakui bahwa CMC memungkinkan melakukan perluasan lebih lanjut dari bagian program untuk fungsi yang lebih komprehensif dan dapat digunakan untuk algoritma interaktif sensor (Proctor et al, 1992).

Sebuah CNC cerdas berdasarkan STEP-NC telah diusulkan, dengan visi masa depan mengembangkan STEP-compliant CNC (Suh et al, 2002). Kerangka konseptual menyoroti berbagai aspek yang harus dipertimbangkan diantaranya adalah: (1) CNC kontroler otonom yang dapat dioperasikan tanpa atau dengan minimum intervensi dari operator, (2) pengontrolan kondisi pemotongan secara adaptif, (3) standar dari model data menggunakan ISO 14649 dan (4) kemampuan merekam perbaikan dari proses pemesinan serta analisis dasar perbaikan tersebut untuk peningkatan sistem kendali. Penelitian ini telah membawa kepada sebuah penemuan yang disebut STEP-NC Kontroler Cerdas dan itu dipatenkan pada tahun 2005 (Suh et al, 2005). Upaya terus menerus sedang dibuat ke arah kemampuan fisik STEP-NC berbasis kontroler.

Sebagai contoh, kegiatan penelitian lain yang dilakukan dalam mengembangkan STEP-NC compliant CNC kontroler memiliki fokus yang sama dengan memanfaatkan keragaman pendekatan. Calabrese dan Celentano (2007) memanfaatkan mikrokontroler dalam mengembangkan kontroler CNC. Minhat et al. (2008) memanfaatkan Fungsi Blok (IEC 61499) ke dalam desain sistem kontrol untuk kontroler CNC yang dinamakan STEPNCMillUoA. Arsitektur berlapis dari Fungsi Blok menyederhanakan desain kontroler CNC, dengan lapisan-lapisan arsitektur tersebut berfungsi untuk pengolahan data, penyimpanan data dan eksekusi. Pemesinan NC cerdas menyoroti perlunya kontroler yang dapat melakukan proses pembelajaran dan pengambilan keputusan sendiri untuk menyediakan korektif perangkat lunak, pemeliharaan preventif dan diagnosis hardware yang didasarkan pada pengendalian proses secara statistik (Nguyen, 2009).

Semua inisiatif tersebut di atas telah mengarahkan kepada satu titik yang sama yaitu kebutuhan akan standardisasi untuk seluruh proses agar membentuk suatu transformasi radikal dari tradisional manufaktur berbasis sumber daya ke sebuah generasi baru kontroler CNC dengan kemampuan untuk memberikan interoperabilitas, dapat beradaptasi dan dalam lingkup manufaktur cerdas.

STEP-NC dikembangkan untuk menyediakan model data untuk pengendali CNC cerdas generasi baru. STEP-NC model data menyediakan persyaratan standar data untuk proses pemesinan yang berhubungan dengan mesin CNC. STEP-NC standar pengembangan dari STEP dan memungkinkan untuk koneksi antara STEP berbasis CAx dan CNC. ISO 14649 yaitu ARM (Application Reference Model) dari STEP-NC yang terdiri dari beberapa bagian. Secara umum, STEP-NC adalah penerapan metode STEP untuk mesin yang dikontrol secara numerik, mewakili standar umum ditujukan khusus untuk bagian pemrograman.

Perumusan awal bagian dari ISO 14649 menjadi standar internasional di tahun 2004. Bagian Beberapa ISO 14649 juga diadopsi sebagai model konseptual oleh tim ISO mengembangkan AIM (Application Interpreted Model) STEP-NC, yaitu ISO 10303-238 (atau STEP AP-238), pada awal 2000-an, dan AP-238 diterbitkan pada tahun 2007.

Ada dua subkomite yang berbeda dalam ISO, ISO TC 184/SC1 dan ISO TC 184/SC4, yang telah aktif bekerja pada pengembangan standar STEP-NC. SC1 fokus pada kontrol mesin, sedangkan SC4 fokus pada data industri. Karena program kontrol numerik untuk

pemesinan produk adalah produk data, maka ada tumpang tindih pembahasan antara SC1 dan SC4.

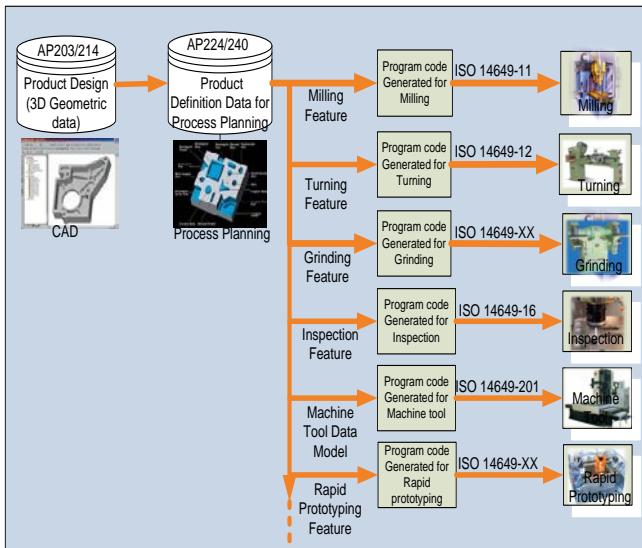
ISO TC184/SC1 menginginkan bahwa metode representasi STEP data digunakan pada ISO 14649, karena bagian dari ISO 14649 yang mencakup contoh menggunakan dokumen STEP Part 21. Pertukaran dokumen untuk keperluan industri dapat dicapai cukup baik menggunakan dokumen Part 21 berdasarkan model jenis ARM (Application Reference Model). ISO 14649 dianggap sebagai pemodelan informasi perencanaan proses di tingkat mikro, maka keinginan menggantikan kode-G, yang secara tradisional dan secara intensive digunakan untuk memprogram mesin perkakas NC. Oleh karena itu layak disebut ISO 10303-240 Process planning untuk produk yang dimesin (ISO 10303-240, 2005), yang dapat memodelkan informasi proses perencanaan di tingkat makro.

Disisi lain, grup kerja manufaktur pada ISO TC184/SC4 telah mengadopsi model ARM (Applicatio Reference Model) dibuat di SC1 sebagai ARMS untuk AP 238. Model ini kemudian dipetakan ke STEP yang terintegrasi dengan resource untuk mendapatkan model implementasi.

Satu set ISO 14649 yang merupakan STEP-NC standar terdaftar sebagai berikut:

- ❖ ISO 14649-1: Overview and fundamental principles (ISO 14649-1, 2003)
- ❖ ISO 14649-10: General process data (ISO 14649-10, 2003)
- ❖ ISO 14649-11: Process data for milling (ISO 14649-11, 2003)
- ❖ ISO 14649-12: Process data for turning (ISO 14649-12, 2005)
- ❖ ISO 14649-111: Tools for milling (ISO 14649-111, 2001)
- ❖ ISO 14649-121: Tools for turning (ISO 14649-121, 2003).

Bagian ini disusun secara hirarki, bahwa dalam Bagian 11 menggunakan Bagian 10 dan Bagian 111, sedangkan Bagian 12 menggunakan Bagian 10 dan Bagian 121. Bagian 10 menyediakan satu set kemampuan dasar untuk perencanaan proses (Process Planning) untuk produk yang sudah di mesin. Seperti ditunjukkan dalam Gambar 1, Bagian 11 dan 12 merupakan kemampuan teknologi untuk proses milling dan turning. Juga dapat dilihat bahwa pengembangan standar masih terus berlangsung untuk aplikasi lain seperti grinding, rapid prototyping dan pemodelan data untuk mesin perkakas.

**Gambar 1.** Rantai siklus manufaktur pada STEP-NC

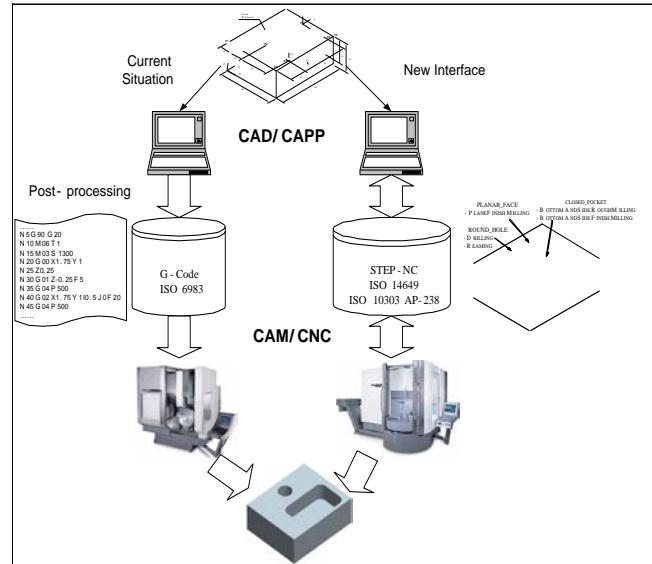
Keuntungan menggunakan STEP-NC dibandingkan dengan kode-G telah diakui (Gambar 2) (Wang 2009) bahwa:

- ❖ STEP-NC menyediakan model data yang lengkap dan terstruktur, terkait dengan informasi geometris dan teknologi, sehingga tidak ada informasi yang hilang antara tahap demi tahap yang berbeda dari proses pengembangan produk.
- ❖ Elemen data yang cukup memadai untuk menggambarkan tugas yang berorientasi data NC.
- ❖ Model data yang dapat diperpanjang untuk teknologi lebih lanjut dan dapat diskalakan (dengan tingkat Kesesuaian) untuk mencocokkan kemampuan dari spesifik CAM, pemrograman lantai produksi (Shop-Floor Programming, SFP) atau sistem NC.
- ❖ Waktu pemesinan untuk banyak pekerjaan kecil hingga menengah dapat dikurangi karena optimasi cerdas dibangun terintegrasi ke dalam kontroler STEP-NC.
- ❖ Mekanisme post-prosesor akan dihilangkan, sehingga antarmuka (interface) tidak memerlukan informasi khusus dari mesin.
- ❖ Peralatan mesin lebih mudah beradaptasi karena STEP-NC adalah tidak tergantung vendor mesin perkakas.
- ❖ Modifikasi di tingkat lantai produksi (shop-floor) dapat disimpan dan umpan balik kembali ke departemen desain, maka arus informasi dua arah (bi-directional) dari CAD / CAM untuk mesin CNC dapat dicapai.

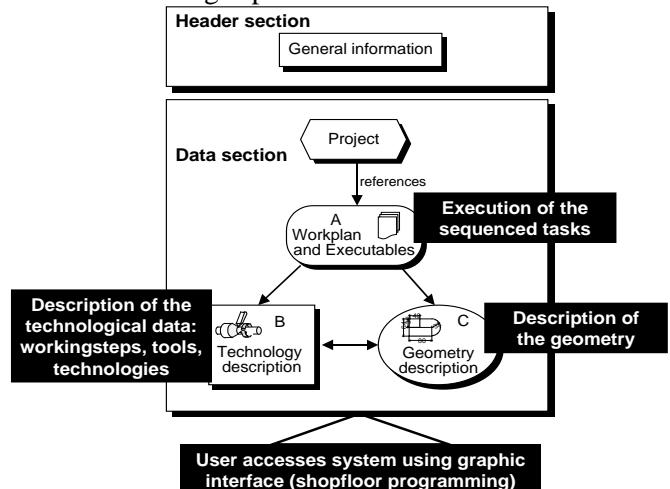
Konten dan Struktur STEP-NC

Prinsip dasar model data dari STEP-NC adalah pemrograman yang berorientasi obyek berdasarkan fitur manufaktur, bukan coding langsung dari gerakan sumbu dan fungsi pahat sebagaimana didefinisikan dalam ISO 6983 (Kode-G). Sebagai konsekuensinya,

STEP-NC secara efektif dapat menentukan standar input data untuk sistem CNC. Sebagaimana STEP-NC merupakan perpanjangan dari standar STEP dalam menangani proses NC, maka STEP-NC mengikuti aturan STEP standar. Seperti aplikasi STEP lainnya, dokumen STEP-NC juga sesuai dengan ISO 10303-21.

**Gambar 2.** Comparison of Kode-G and STEP-NC data (Wang 2009)

Gambar 3. merupakan struktur model STEP-NC data. Bagian pertama dari bagian program disebut HEADER. Dalam HEADER ini, beberapa informasi umum dan komentar mengenai bagian program yang disertakan. Ini dapat berupa, misalnya, nama file, penulis, tanggal dan organisasi. Bagian kedua dan utama dari file program adalah bagian data bernama DATA. Bagian ini berisi semua informasi tentang tugas manufaktur dan geometri. Bagian ini juga mencakup entitas PROJECT yang merupakan acuan eksplisit untuk titik awal dari tugas manufaktur. Entitas PROJECT berisi "Rencana Kerja" utama yang berisi urutan eksekusi dari tugas manufaktur yang disebut "Workingsteps".

**Gambar 3.** Structure of the STEP-NC data model (ISO 14649-1, 2003)

Bagian DATA dari dokumen STEP-NC memiliki tiga sub-bagian, sebuah entitas Project, Rencana Kerja (workplan / executables) dan deskripsi geometris. Data dalam dokumen STEP-NC terdiri dari instan entitas. Salah satu instan yang disebut Workplan atau Rencana Kerja, yang berisi sekolompok urutan tugas atau perintah manufaktur yang dapat dieksekusi dan juga dapat mencakup informasi dari benda kerja yang akan dimesin (ISO 14649-10:2003, ISO 14649-11:2003). Worplan/Executable dapat berupa tiga jenis yang berbeda: Workingsteps, fungsi NC, dan Struktur Program. Contoh dokumen fisik dari STEP-NC dapat dilihat pada Gambar 4.

Pada intinya, STEP-NC menjelaskan "apa yang harus dilakukan (what to do)", sementara Kode-G menjelaskan "bagaimana melakukannya (how to do)" itu. STEP-NC menjelaskan tugas dokumen fisik dari STEP-NC (pre-drilling, drilling, roughing, finishing) yang didasarkan pada fitur-fitur pemesinan, sehingga bagian program memasok lantai produksi (shop-floor) dengan tingkat informasi yang lebih tinggi (higher level), yaitu informasi tentang tugas-tugas pemesinan dan data. Akibatnya, modifikasi di lantai produksi dapat disimpan dan ditransfer kembali ke departemen perencanaan, yang memungkinkan pertukaran pengalaman dan pengetahuan lebih baik.

Kontroler STEP-NC dan Metoda Eksperimen

Pengembangan beberapa standar internasional seperti STEP dan STEP-NC menyajikan visi untuk pemesinan CNC cerdas. Penelitian yang dilakukan dalam makalah ini adalah tentang realisasi pengembangan arsitektur kontroler CNC untuk memonitor kondisi mesin berdasarkan STEP-NC model data untuk mendukung lingkungan mesin otomatis dan cerdas. Keuntungan dari sistem kontroler adalah untuk memungkinkan optimasi saat proses pemesinan berlangsung, untuk mempersingkat waktu mesin dan meningkatkan kualitas produk. Struktur data STEP-NC memungkinkan informasi yang kaya tentang operasi pemesinan untuk diambil dan disimpan dalam dukumen Part 21. Informasi ini penting untuk mendukung perencanaan dinamis dan memperoleh parameter pemotongan yang optimal. Metoda yang dilakukan dalam mengoptimasikan proses pemesinan dengan menggunakan Fuzzy Inference System.

Tujuan Fuzzy Inference System (FIS) adalah untuk memperkirakan kemungkinan maksimum laju kecepatan makan dari pahat dengan mempertimbangkan kemampuan dari daya mesin perkakas. Setiap mesin perkakas memiliki rating daya tertentu. Dengan mempertimbangkan daya nominal mesin perkakas, kecepatan makan maksimum untuk proses pengkasaran (roughing) dihitung dengan gaya

potong sebagai

```

ISO-10303-21;
HEADER;
FILE_DESCRIPTION(" ");
FILE_NAME(" ");
FILE_SCHEMA(" ");
ENDSEC;

/*
Instance data extracted from ISO 14649
*/
#20= PLANE_ROUGH_MILLING($,$,ROUGH_PLANAR_FACE1,10.000,$,#39,#40,#41,
#20,$,#60,#61,#42,2.500,$);
#39= MILLING_CUTTING_TOOL(MILL_18MM,#29,#125),80.000,$,$;
#20=TAPERED_ENDMILL(#30,4,RIGHT,F,$,$);
#30=MILLING_TOOL_DIMENSION(18.000,$,$,29.0,0.0,$,$);
#125=CUTTING_COMPONENT(80.000,$,$,$,$);
#40=MILLING_TECHNOLOGY(0.040,TCP,$,12.000,S,F,F,$,$);
#42=BIDIRECTIONAL_MILLING(0.05,T,,#43,LEFT,$,$);
#43=DIRECTION('STRATEGY PLANAR FACE1: 1.DIRECTION',(0.000,1.000,0.000));
#60=PLUNGE_TOOLAXIS($);
#61=PLUNGE_TOOLAXIS($);
/*
Instance data extracted from the developed data model for optimisation
*/
#200= TIME_CRITICAL_OPTIMISATION('POCKET MACHINING',#201,'ROUGHING',
0.5,3);
#201=MACHINE_POWER('MACHINE POWER',0.29,'kW');
#202=MAIN_CUTTING_POWER('CUTTING POWER',$, 'kW', #203, 35)
#203=CUTTING_FORCE(1000,#204,500,$,0.5,5)
#204=FACE_MILLING_TYPE(180.0,'FULL_IMMERSION')
;

ENDSEC;
END-ISO-10303-21;

```

Gambar 4. Contoh dokumen fisik STEP Part 21

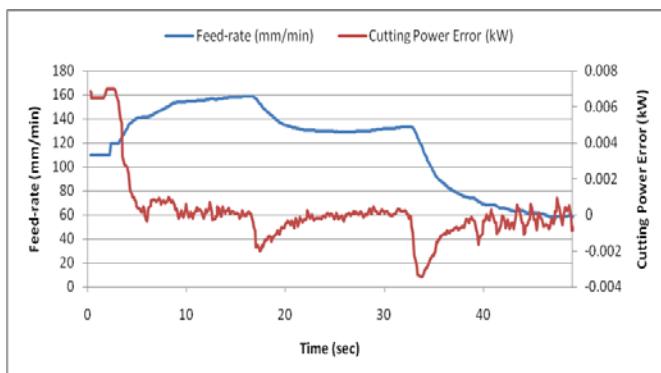
kendala utama. Daya pemotongan ditentukan berdasarkan efisiensi mekanis dan dijaga selalu di bawah daya motor utama. Kedalaman potong dipilih berdasarkan parameter yang diijinkan. Komponen utama dari FIS adalah fuzzifier, fungsi keanggotaan (membership functions), mesin inferensi fuzzy (fuzzy inference engine), Bank aturan kendali (control rule bank) dan defuzzifier. Model ini menggunakan input, daya potong listrik (ENC), dan perubahan kecepatan makan (Δf) sebagai output. Untuk mendapatkan sistem input, daya pemotongan referensi (N_{ref}) digunakan sebagai nilai patokan daya pemotongan (N_c) yang kita inginkan agar dikendalikan secara maksimum. Daya potong (N_c) dihitung dari daya pemotongan teoritis. Untuk menjalankan sistem fuzzy, maka digunakan inferensi fuzzy struktur file (*.fis file). File ini dirancang dan dihasilkan dari Toolbox Fuzzy Logic dalam program MATLAB.

$$EN_c(i) = N_{cref} - N_{cn}(i) \quad (1)$$

dimana i adalah indeks selisih waktu untuk periode sampel daya pemotongan.

Pada studi kasus dilakukan proses pemesinan pada benda kerja berukuran 200 mm × 100 mm × 50 mm akan dipotong slot lurus sepanjang benda kerja dengan ukuran 3/8 inci dimana benda kerja memiliki tiga kedalaman potong yaitu 0,5 mm, 0,7 mm dan 0,9 mm. Pahat HSS end-mill dengan dua mata potong berukuran 3/8 inci digunakan untuk memotong slot penuh sebesar diameter pahat (full-immersion). Mesin

perkakas CNC yang digunakan adalah Sherline CNC mesin 3-axis. Pada experiment ini, sistem kontrol umpan balik menggunakan data akuisisi secara online dilakukan selama proses pemesinan. Sinyal gaya pemotongan dicuplik dan digunakan untuk referensi sinyal secara online. Kesalahan daya potong (ENC) dihitung dan digunakan sebagai masukan untuk fuzzifier. Hasil dari respon kecepatan makan ada kondisi pemotongan 2000 rpm dengan benda kerja Perspex diplot seperti pada Gambar 5. Perubahan kecepatan makan merespon seperti yang diharapkan dari input kesalahan daya potong. Transisi dapat diamati terjadi pada sekitar 18 detik dan 33 detik. Hal ini membuktikan bahwa sistem cerdas dan teroptimasi berdasarkan data STEP-NC ini mampu merespon terhadap perbedaan kedalaman potong dan kecepatan spindel.



Gambar 5. Respon kecepatan makan untuk pemesinan aluminium pada rpm 2000

Kesimpulan

Dorongan untuk meningkatkan produktivitas, mengurangi waktu produksi dan biaya, mengurangi bagian produk yang rusak dan menurunkan kendala dalam desain mesin, mendorong para peneliti untuk melakukan riset pengontrolan mesin perkakas secara real-time dan mengoptimasi operasi pemesinan. Hal ini terbukti bahwa sampai sekarang, vendor dan pengguna CNC telah mencari cara terbaik untuk menerapkan optimasi selama proses pemesinan berlangsung. Meskipun sebagian besar mesin perkakas menggunakan program NC, yang dikenal sebagai kode-G, telah melayani sebagaimana besar industri manufaktur selama lebih dari setengah dekade, informasi yang berharga selama proses CAD / CAPP / CAM banyak yang hilang. Akibatnya, kurangnya portabilitas data dan interoperabilitas dari satu rantai proses CAx sebagai salah satu isu utama dalam menghalangi prosedur optimasi selama melakukan proses pemesinan.

Kunci utama dalam membuat pengeksekusi program NC adalah kemampuan untuk melakukan proses

optimisasi kecepatan makan secara adaptif dengan cara menjaga beban pemesinan dalam keadaan stabil sesuai kemampuan dari mesin perkakas. Hasil eksperimen membuktikan efektivitas modul kecepatan makan yang ditawarkan. Pentingnya hasil desain sistem pengontrol dalam kenyataan bahwa sistem dapat mempersingkat waktu produksi dan mencapai kualitas yang diinginkan dengan tidak merusak mesin itu sendiri karena hal ini semua dibawah pertimbangan kemampuan dan keterbatasan mesin.

Referensi

ISO 6983-1:1982, *Numerical control of machines – Program format and definition of address words – Part 1: Data format for positioning, line motion and contouring control systems*, (Ausgabe, 1982).

Elbestawi, M.A., Dumitrescu, M., and Ng, E.-G., (2006), *Tool condition monitoring in machining*, Springer Series in Advanced Manufacturing Wang, Lihui; Gao, Robert X (Eds.) p. 55-82.

Xu, X. and Newman, S.T., (2006), *Making CNC machine tools more open, interoperable and intelligent – a review of the technologies*, Computers in Industry, **57**(2): p. 141-152.

Suh, S.H., Chung, D.H., Lee, B.E., Cho, J.H., Cheon, S.U., Hong, H.D., and Lee, H.S., (2002), *Developing an integrated STEP – compliant CNC prototype*, Journal of Manufacturing Systems, **21**(5): p. 350-362.

Xu, X. and He, Q., (2004), *Striving for a total integration of CAD, CAPP, CAM and CNC*, Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, **20**(2): p. 101-109.

Maeder, W., Nguyen, V.K., Richard, J., and Stark, J., (2002), *Standardisation of the manufacturing process: the IMS STEP-NC project*, IPL (National Network of Competence on Integrated Production and Logistics) Net Workshop, Saas Fee, Switzerland.

ISO-TC184/SC1/WG7, *Automation systems and integration*, http://www.iso.org/iso/standards_development/technical_committees/list_of_iso_technical_committees/iso_technical_committee.htm?commid=54110.

Pritschow, G. and Kramer, C., (2005), *Open system architecture for drives*, CIRP Annals – Manufacturing Technology, **54**(1): p. 375-378.

Kahmen, A. and Seyfarth, M., (2004), *Open system architecture for controls within automation systems (OSACA)*, The Industrial Information Technology Handbook.

Birlaa, S., Faulknerb, D., Michaloskic, J., Sorensonb, S., Weinertd, G., and Yene, J., (2001), *Reconfigurable machine controllers using the OMAC API*, Proceedings of the CIRP 1st International Conference on Reconfigurable Manufacturing, Ann Arbor, MI.

OMAC API Reference Documentation, <http://www.isd.mel.nist.gov/info/omacapi/ReferneceDocumentation>.

Sawada, C. and Akira, O., (1997), *Open controller architecture OSEC-II: architecture overview and prototype systems*, Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA) Proceedings.: p. 543-550.

Henry, R., Shackleford, W., Proctor, F., Elson, J., and McLain, D., (2003), *The enhanced machine control developer handbook*, The EMC Team.

Liu, Y., Guo, X., Li, W., Yamazaki, K., Kashihara, K., and Fujishima, M., (2007), *An intelligent NC program processor for CNC system of machine tools*, Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, **23**(2): p. 160-169.

Proctor, F., Michaloski, J., and Kramer, T., (1992), *A methodology for integrating sensor feedback in machine tool controllers*, Robot Systems Division, National Institute of Standards and Technology Technology Administration, U.S. Department of Commerce Gaithersburg, Maryland 208991.

Suh, S.H. and Cheon, S.U., (2002), *A framework for an intelligent CNC and data model*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, **19**(10): p. 727-735.

Suh, S.-H. and Hyoja-dong, R., *Intelligent STEP-NC controller*, in US Patent Publication. 2005.

Calabrese, F. and Celentano, G., (2007), *Design and realisation of a STEP-NC compliant CNC embedded controller*, 12th IEEE Conference on Emerging Technologies and Factory Automation: p. 1010-1017.

Minhat, M., Xu, X., and Vyatkin, V., (2009), *STEPNCMillUoA: a CNC system based on STEP-NC and Function Block architecture*, Int. J. Mechatronics and Manufacturing Systems, **2**(1/2): p. 3-19.

Nguyen, V.K. and Stark, J., (2009), *STEP-compliant CNC systems, present and future directions*, Book chapter "Advanced Design and Manufacturing Based on STEP" edited by X., Xu and Nee, A. Y. C. ed: Springer Verlag.

ISO 10303-240: 2005, *Industrial automation systems and integration – Product data representation and exchange – Part 240: Application Protocols: Process plans for machined product*, (ISO Geneva, 2005).

ISO 14649-1:2003, *Industrial automation systems and integration – Physical device control-Data model for computerised numerical controllers – Part 1: Overview and fundamental principles*, (ISO Geneva, 2003).

ISO 14649-10:2003, *Industrial automation systems and integration Physical device control – Data model for computerised numerical controllers – Part 10: General process data*, (ISO Geneva, 2003).

ISO 14649-11:2003, *Industrial automation systems and integration Physical device control – Data model for computerised numerical controllers – Part 11: Process data for milling*.

ISO 14649-12:2005, *Industrial automation systems and integration Physical device control – Data model for computerised numerical controllers – Part 12: Process data for turning*, (ISO Geneva, 2005).

ISO 14649-111:2001, *Data model for computerised numerical controllers: Part 111 - Tools for milling*, (ISO Geneva, 2001).

ISO 14649-121:2003, *Industrial automation systems and integration Physical device control – Data model for computerised numerical controllers – Part 121: Tool for turning*, (ISO Geneva, 2003).

Wang, H., (2009), *New control strategy for CNC machine via STEP-NC*. PhD Thesis: Department of Mechanical Engineering. Auckland, The University of Auckland.