

REKAYASA *COMPUTER NUMERICALLY CONTROLLED TURNING* SEBAGAI MEDIA PEMBELAJARAN

Bambang Setiyo Hari Purwoko
Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta
email: bambang_shp@uny.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan: (1) menghasilkan prototipe yang mampu menjadi alat bantu dan sumber pembelajaran pemrograman CNC; (2) Memenuhi uji kelayakan sebagai media atau sumber pembelajaran pemrograman CNC. Penelitian ini menggunakan pendekatan *Research and Development (R&D)*. Tahapan pengembangan dimulai dengan studi kebutuhan alat/media pembelajaran pemrograman CNC; mendefinisikan produk (*define*); merancang sistem dan bentuk produk (*design*); membuat dan menguji kinerja produk (*develop*); dan revisi/penyempurnaan kinerja produk (*revise*). Pengujian mencakup pengujian geometris dan pengujian kelayakan untuk dapat menjadi substitusi *CNC Turning*. Analisis data dilakukan dengan analisis deskriptif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *pertama*, prototipe *CNC Turning* sebagai alat bantu/media pembelajaran yang mampu untuk: memeragakan proses bekerjanya mesin CNC seperti pemasukan program CNC, eksekusi program NC (dalam bentuk grafik lintasan pahat dan proses pemesinan benda kerja); menyediakan pengalaman mengoperasikan mesin CNC yang tidak menimbulkan rasa takut karena berukuran relatif kecil (mini); dan memeragakan kode-kode perintah yang merupakan bahan utama dalam pembelajaran CNC. *Kedua*, menurut persepsi pengguna terbatas, prototipe *CNC Turning* memenuhi kelayakan sebagai media pembelajaran pemrograman CNC.

Kata kunci: *media, pemrograman CNC, CNC turning*

ENGINEERING *COMPUTER NUMERICALLY CONTROLLED TURNING* AS TEACHING AIDS

Abstract

This study was aimed at: (1) producing a prototype, which is feasible for teaching aids, and learning resources of Computer Numerically Controlled (CNC) Turning program. (2) complying the eligibility test as a medium or a source of CNC programming learning. Engineering processes were conducted using Research and Development (R & D) procedure modified by Borg and Gall. The development stages conducted by CNC programming were analyzing needs; defining products (*define*); designing a system and form (*design*); developing products and testing the performance (*develop*); and conducting some revisions/ improvements of product performance (*revise*). The tests include geometric testing and feasibility testing. The results show that *first*, the final product of this study is a CNC Turning prototype as teaching aids/ media, which is capable of; demonstrating the operation of a CNC machine (input/editing program), executing programs (such as graphic toolpath and the workpiece machining process); providing harmless experience in operating the CNC and demonstrating command codes which are the main learning materials in CNC programming. *Second*, according to the user's perception, the prototype of CNC Turning is eligible as a medium of learning programming CNC.

Keywords: *media, CNC programming, CNC turning*

PENDAHULUAN

Relevansi pendidikan, khususnya relevansi eksternal telah menjadi isu yang sangat penting sekarang ini. Hal itu terutama dipicu oleh fenomena pengangguran tenaga terdidik yang secara agregat kecenderungannya terus meningkat dalam beberapa tahun terakhir.

Analisis terhadap tingginya angka pengangguran terdidik ini salah satu penyebabnya adalah ketidaksesuaian antara kualifikasi yang dimiliki lulusan perguruan tinggi dan kualifikasi yang diminta dunia usaha/industri.

Fenomena pengangguran terdidik terjadi juga di industri permesinan. Di industri permesinan, penggunaan mesin CNC telah berkembang luas, sehingga permintaan akan tenaga kerja yang memiliki keahlian (kompetensi) CNC terus mengalami peningkatan. Merespon tingginya permintaan tenaga kerja dengan kualifikasi CNC, CNC kemudian dimasukkan dalam kurikulum pendidikan. Namun demikian, meskipun CNC telah masuk dalam kurikulum, dunia pendidikan khususnya perguruan tinggi jurusan teknik mesin belum sepenuhnya mampu menyediakan lulusan yang memiliki keahlian bidang CNC ini secara memadai.

Hal itu antara lain disebabkan banyak perguruan tinggi jurusan teknik mesin belum memiliki mesin CNC sebagai sarana pembelajaran pemrograman maupun praktik pengoperasian CNC dalam jumlah dan jenis yang memadai. Harga mesin CNC yang masih relatif mahal menjadi salah satu faktor penyebabnya, di samping ketergantungan perawatan dan perbaikan mesin CNC pada tenaga ahli dari pabrik pembuat mesinnya. Hal ini mengakibatkan biaya perawatan mesin CNC menjadi mahal dan berdampak pada *sustainability* kesiapan mesin sehingga semakin banyak lagi pembelajaran CNC yang dilakukan tanpa sarana mesin CNC.

Pembelajaran CNC tanpa menggunakan sarana yang memadai (mesin CNC) tidak akan mampu mencapai standar kompetensi CNC yang menjadi tujuan pembelajaran. Juga, ketergantungan perawatan dan perbaikan CNC pada tenaga ahli dari pabrik mesin akan menjadi kendala keberlanjutan pengoperasian CNC sebagai sarana pembelajaran. Berlatar belakang demikian peneliti terdorong mengembangkan satu *CNC Turning* sebagai media pembelajaran CNC. Keberhasilan penelitian untuk pengembangan *CNC Turning* sebagai Media Pembelajaran CNC, kendala sarana dalam proses pembelajaran CNC dapat teratasi, dan proses alih teknologi untuk mendukung perawatan CNC sedikit demi sedikit dapat dilakukan.

Dengan media *CNC Turning* diharapkan beberapa tugas dosen seperti mendemonstrasikan gerakan operasi mesin akan dapat diperagakan, baik dengan gambar lintasan alat potong dua dimensi (*plotter*) yang dapat dilakukan sewaktu-waktu pada media *CNC Turning*, maupun diperagakan dengan gerakan pembubutan secara langsung oleh *CNC Turning*. Sebagai media pembelajaran, *CNC Turning* mampu merangsang mahasiswa belajar mandiri.

Aplikasi teori/konsep pemrograman yang tersusun menjadi suatu program CNC, dapat diperagakan (disimulasikan) oleh *CNC Turning*. Apabila terjadi kesalahan aplikasi konsep dalam suatu program CNC, dapat langsung diketahui, karena *CNC Turning* akan menunjukkan kesalahan tersebut, gerakan hasil ekskusi program akan tidak sesuai dengan gerakan alat potong yang seharusnya. Pembelajaran menjadi lebih kaya dan nyata karena mendorong mahasiswa belajar memecahkan masalah yang timbul berkaitan dengan upaya perbaikan dan penyempurnaan program NC.

Penelitian ini bertujuan untuk *pertama*, menghasilkan prototipe yang mampu

menjadi alat bantu dan sumber pembelajaran pemrograman CNC dan *kedua*, memenuhi uji kelayakan sebagai media atau sumber pembelajaran pemrograman CNC.

Menurut Heinich (1989, p. 6), dan Smaldino (2012, p. 7), media pembelajaran adalah segala apapun yang membawa pesan untuk mencapai tujuan pembelajaran. Tujuan media pembelajaran adalah memfasilitasi untuk memudahkan komunikasi dan belajar. Media mempunyai peran sangat penting dalam pembelajaran, Media dalam pembelajaran adalah semua hal yang dapat membuat seseorang menjadi belajar. Media dalam pengertian ini, di dalamnya tidak saja hanya mengenai peralatan, akan tetapi mencakup hal yang lebih luas, yaitu semua hal yang merupakan sumber informasi atau sumber belajar. Media dan peralatan dalam pembelajaran terutama digunakan dalam rangka untuk memenuhi tuntutan strategi pembelajaran, dan orientasi layanan pendidikan.

Wen (2003, p. 67) mengatakan bahwa orientasi pendidikan harus terus berubah demi menyesuaikan perkembangan zaman. Menurut Wen, pada saat ini, zaman telah berkembang dari zaman industri ke zaman informasi. Di era informasi ini, pembelajaran seyogyanya mengalami penyesuaian, salah satu di antaranya dari pembelajaran bersama-sama menjadi pembelajaran yang diindividualisasikan. Media dan peralatan belajar yang mempunyai peran sangat penting dalam proses pembelajaran, dengan demikian harus dirancang dapat digunakan dalam pembelajaran bersama maupun untuk individual.

Penggunaan media dan peralatan pembelajaran harus mengacu pada materi-materi atau bahan ajar yang telah disusun dan dikembangkan untuk mencapai tujuan. Menurut Gagne, Briggs, & Wager (1992) pemilihan media dan peralatan pembelajaran yang baik adalah media

dan alat pembelajaran yang telah melalui proses seleksi dan digunakan sebagai bagian integral dari strategi pembelajaran. Sedangkan proses seleksi, penggunaan media, dan peralatan pembelajaran menurut Smaldino (2012) diusulkan menggunakan model ASSURE yang merupakan akronim dari: (a) *analyze learners*, (b) *state objectives*, (c) *select media and materials*, (d) *utilize materials*, (e) *require learners performance*, dan (f) *evaluate/revise*.

Menurut Smaldino (2012), pentingnya media dalam pembelajaran dapat diketahui dengan memahami bahwa kegiatan pembelajaran itu berlangsung di sepanjang garis kontinum mulai dari pengalaman konkrit dan nyata hingga ke pengalaman yang sangat abstrak. Keputusan mengenai pertukaran antara kekonkretan pengalaman belajar dan batasan-batasan waktu harus terus dilakukan oleh guru. Edgar Dale dalam salah satu tulisannya *Cone of Experience* (Smaldino, 2012, p. 10) mengusulkan agar kita memulai pembelajaran dengan melibatkan peserta didik dengan suatu pengalaman aktual, kemudian beralih peserta didik sebagai pengamat kejadian aktual, terus ke peserta didik sebagai pengamat kejadian yang disajikan melalui perantara, dan akhirnya ke peserta didik yang mengamati simbol yang mewakili sebuah kejadian

Menurut Joyce dkk. (2009, pp. 434-435), pembelajaran dapat dilakukan dengan metode simulasi menggunakan media simulator. Simulasi menyederhanakan bagian-bagian yang kompleks di dunia nyata, disajikan dalam sebuah bentuk yang dapat diformat di dalam ruang kelas. Usaha ini dilakukan dalam rangka menciptakan kondisi serealistis mungkin sehingga konsep yang dipelajari dan solusi yang dikembangkan dapat benar-benar dipraktikkan di dunia nyata.

Di dalam tugas simulasi, peserta didik harus mampu mengembangkan konsep dan keterampilan yang dibutuhkan untuk kemudian dipraktikkan. Peserta didik disini belajar dari konsekuensi tindakan yang mereka ambil. Simulasi digunakan pada banyak konteks, termasuk pemodelan dari sistem manusia atau sistem alami dalam rangka memperoleh pengertian yang mendalam mengenai fungsi/kemampuan sistem.

Dalam konteks yang lain teknologi simulasi dapat digunakan untuk melihat optimisasi capaian, keselamatan kerja, pengujian, pelatihan dan pendidikan. Dalam proses pembelajaran, khususnya sains dan teknologi, simulasi mendorong siswa untuk bekerja dan belajar serta guru membantu perkembangan kreativitas dan penemuan. Siswa difasilitasi dengan membuat suasana pembelajaran dalam tekanan rendah dan memungkinkan anak berkonsentrasi pada penyelesaian masalah mereka sendiri (Rochayati, Waluyanti, & Santoso, 2012, p. 90).

Simulasi dapat digunakan untuk menunjukkan efek nyata dari kondisi-kondisi alternatif dari variabel yang diberikan. Simulasi sangat baik digunakan pada situasi pelatihan dalam rangka: (1) mengizinkan orang untuk mengantisipasi situasi tertentu dan melakukan reaksi dengan baik; (2) lingkungan pengambilan keputusan, untuk menguji dan memilih alternatif berdasar pada beberapa kriteria; (3) konteks riset ilmiah untuk meneliti dan menginterpretasikan data, (4) memahami dan membuat ramalan perilaku dari sistem alami, seperti studi mengenai evolusi bintang atau kondisi luar angkasa.

Mesin CNC (*Computer Numerical Control*) adalah suatu mesin yang proses pengoperasiannya dikendalikan oleh sistem CNC, yaitu suatu sistem kontrol yang dalam proses kerja pengontrolannya dilakukan

menggunakan perintah berupa kode-kode huruf dan angka (*alpha-numeric-code*). Susunan perintah dalam kode huruf dan angka yang tersusun sedemikian rupa dan digunakan untuk mengatur operasi mesin dalam rangka pembuatan suatu produk, disebut program CNC.

Sistem pengontrolan sistem mekanik penggerak sumbu pada mesin perkakas CNC dapat dilihat pada Gambar 1. Sistem pengontrolan sistem mekanik penggerak sumbu pada mesin perkakas CNC dikelompokkan menjadi dua, (1) gerakan dengan sistem kontrol terbuka, dan (2) gerakan dengan sistem kontrol tertutup.

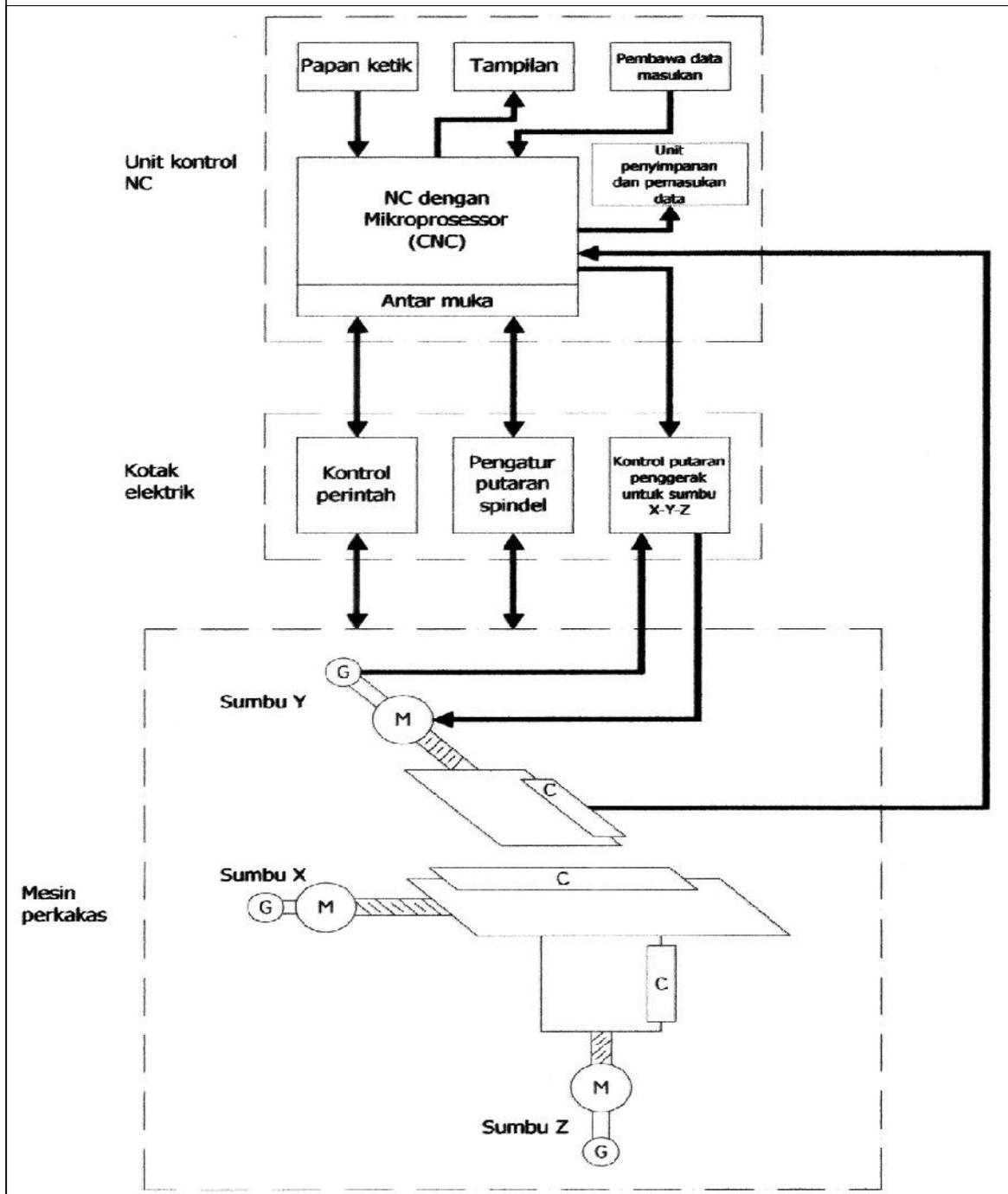
Sistem penggerak kontrol terbuka (*Open Loop Control System*) adalah sistem kontrol penggerak yang biasanya menggunakan motor step (*stepper motor*) sebagai sumber tenaga penggerak yang dipasang pada masing-masing sumbu. Dikatakan terbuka karena dalam sistemnya tidak memakai alat pengumpan sinyal balik (*feed back signal*) seperti *resolver* atau pun *tachogenerators* sebagai pembanding (*comparison*) antara posisi pergeseran perkakas (*slide tool*) yang sebenarnya dengan posisi yang diinginkan atau diprogramkan (Gambar 2).

Sistem penggerak kontrol tertutup (*Closed Loop System*) dalam proses kerja pengontrolannya menggunakan perangkat pengontrol posisi yang memberikan sinyal umpan balik (*feed back device*) sebagai pengontrol/pembanding antara jarak/ukuran aktual dengan jarak yang telah diprogram. Diagram sistem kontrol tertutup dapat dilihat pada Gambar 3.

METODE

Rekayasa ini merupakan bagian dari penelitian pengembangan, yang langkah-langkahnya mengikuti model R&D (*Research and Development*) yang dikemukakan Borg, dan Gall. (1983)

Gambar 1. Sistem Kontrol CNC pada Mesin Perkakas (Fiorellino, P. 1986)

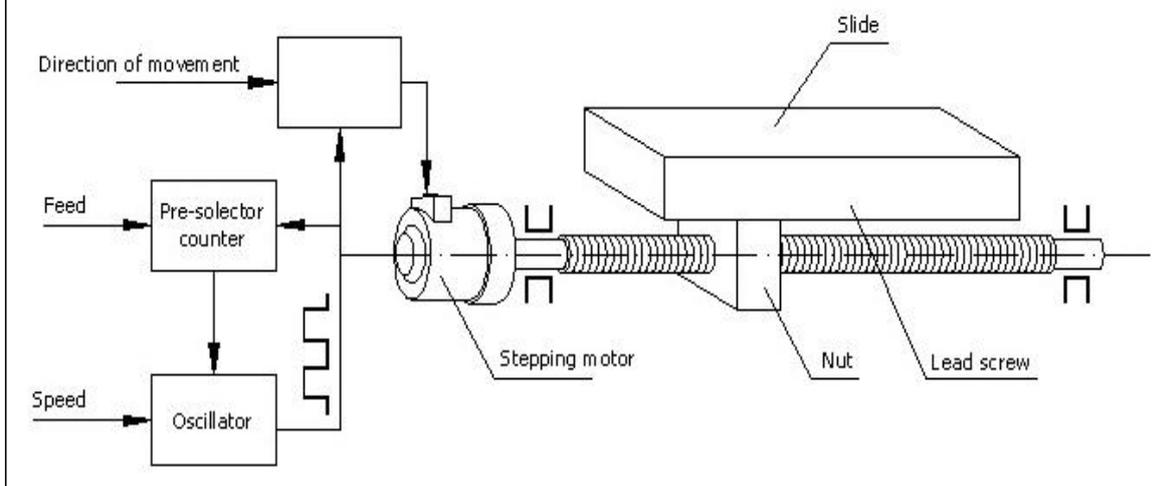


Rekayasa mengikuti langkah yang disajikan pada Gambar 4.

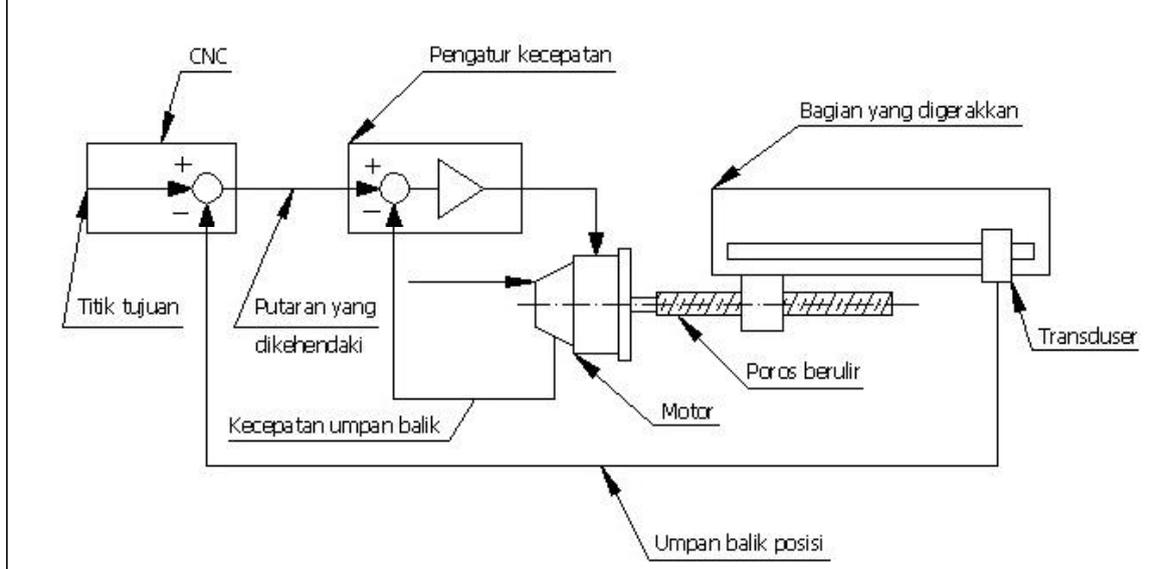
Rekayasa *CNC Turning* meliputi; (1) pembuatan dan perakitan sistem mekanik

Turning Machine; (2) koneksi antara sistem mekanik *turning* dan modul rangkaian elektronik sistem pengendali; (3) pengujian hasil rakitan sistem mekanik *Turning*,

Gambar 2. Sistem Penggerak Kontrol Terbuka (Fiorellino, P. 1986)



Gambar 3. Sistem Penggerak Kontrol Tertutup (Fiorellino, P. 1986)



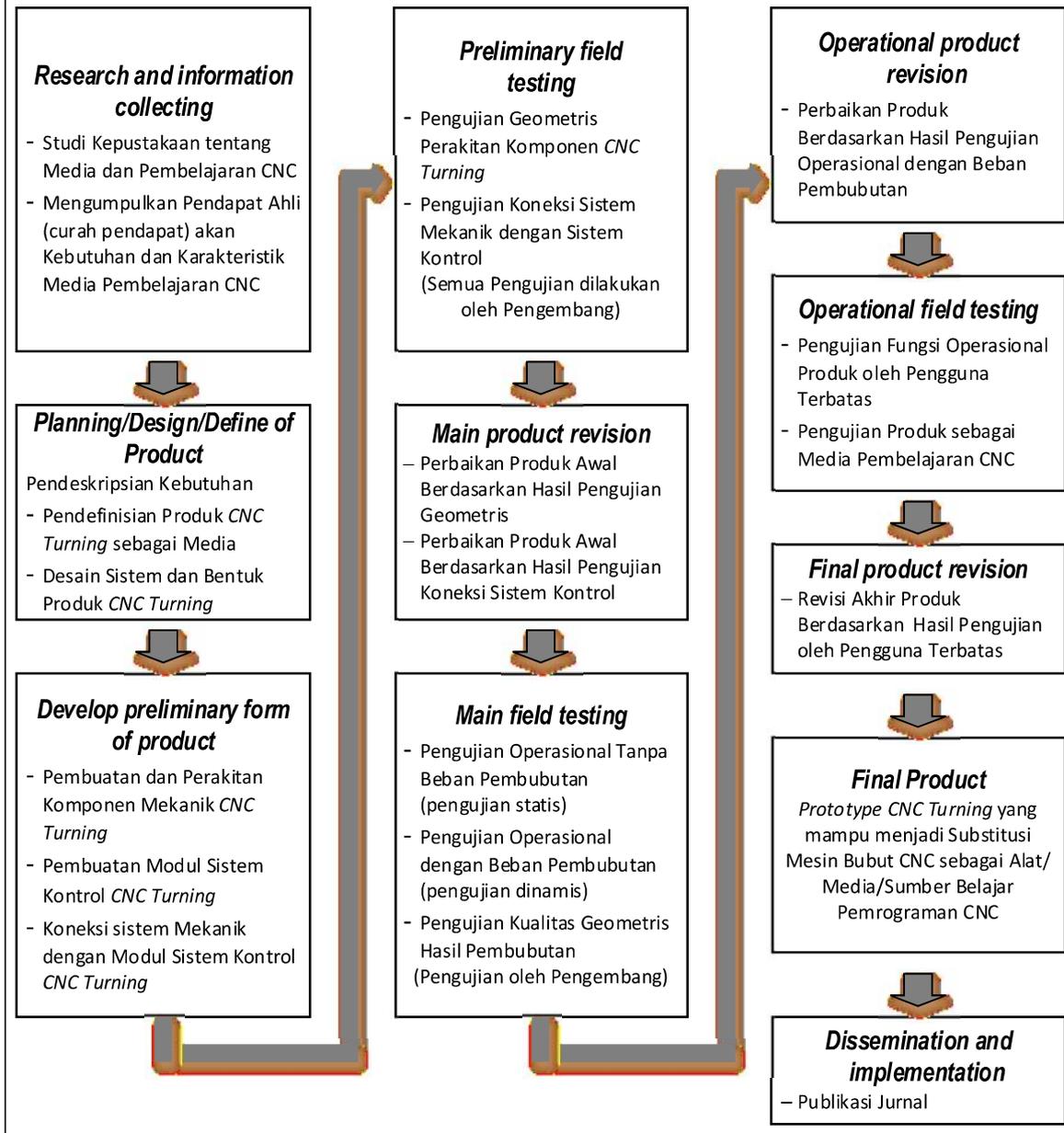
dan (4) pengujian hasil koneksi sistem mekanik *Turning* dengan modul-modul sistem kontrol/pengendali. Pengujian yang dilakukan mencakup pengujian geometris, dan pengujian kelayakan untuk dapat menjadi substitusi *CNC Turning*. Alat-alat yang digunakan untuk pengujian adalah lembar pengujian geometris, *vernier caliper* (jangka sorong), dan *dial indicator* (jam

ukur). Analisis data dilakukan dengan analisis deskriptif.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Target luaran dari rekayasa ini adalah menghasilkan *prototype CNC Turning* yang dapat menjadi substitusi mesin CNC sebagai media pembelajaran pemrograman CNC. Produk *prototype CNC Turning*

Gambar 4. Tahapan Rekayasa CNC *Turning*



merupakan penggabungan antara sistem mekanik mesin bubut (*Turning Machine*) dan modul sistem kontrol berbasis CNC. Sumber penggerak sumbu utama mesin bubut adalah motor listrik AC *single phase* dengan daya listrik 1 PK, jarak antarsenter 530 mm, dan tinggi senter terhadap alas mesin bubut adalah 80 mm. Sistem kontrol

menggunakan sumber tenaga listrik DC 24 volt, sedangkan sebagai tenaga penggerak sumbu adalah motor step (*stepper motor*) yang dikendalikan dengan rangkaian sistem kontrol terbuka (*open loop*).

Rekayasa dimulai dengan pengadaan dan pembuatan komponen sistem mekanik mesin bubut dan sistem transmisi penggerak

sumbu sesuai dengan spesifikasi yang ditetapkan dalam rancangan. Langkah berikutnya, perakitan (*assembly*), yaitu kegiatan merakit komponen atau bagian-bagian utama mesin sehingga menjadi satu kesatuan sistem mekanik yang saling berhubungan.

Bagian utama yang pertama kali dirakit adalah sistem mekanik penggerak sumbu Z, yang komponennya meliputi *ballscrew*, bantalan *ballscrew*, dudukan bantalan, dan dudukan motor stepper penggerak sumbu Z. Bagian utama ini dirakit menyatu dengan alas mesin bubut. Bagian utama selanjutnya yang dirakit adalah sistem penggerak sumbu X, yang terdiri dari *ballscrew*, bantalan *ballscrew*, dudukan bantalan, dan dudukan motor stepper penggerak sumbu X. Bagian ini dirakit menyatu dengan sistem penggerak sumbu Z. Bagian utama yang terakhir dirakit adalah sistem mekanik spindel utama mesin bubut.

Komponen mesin bubut terdiri dari kerangka spindel utama, bantalan spindel utama, dudukan bantalan depan, dudukan bantalan belakang, dan poros spindel utama. Sistem mekanik spindel utama ini kemudian dirakit dengan alas mesin bubut yang sudah terakit dengan sistem penggerak sumbu Z dan penggerak sumbu X, sehingga dapat melaksanakan fungsi sebagai mesin bubut (*turning*) paling sederhana, dalam hal ini, spindel utama dapat diputar dan diberhentikan putarannya dengan baik, pahat bubut yang terpasang pada rumah pahat dapat mudah dan bebas digerakkan pada arah memanjang sepanjang alas mesin, dan melintang tegak lurus dengan alas mesin.

Sistem kontrol berbasis CNC terdiri modul *microcontroller*, modul *X Axis Control*, modul *Z Axis Control*, *In/Out Device*, dan modul *Stepper Driver*. Modul-modul tersebut ditempatkan di dalam kotak panel kontrol. Bagian depan kotak panel kontrol terdapat

perangkat pengendali mesin, seperti saklar utama (*main switch*), saklar spindel utama (*spindle switch*), pengatur kecepatan putaran spindel utama, tombol darurat (*emergency stop*), tombol pengoperasian mesin mode manual, dan tombol-tombol pengoperasian mesin mode CNC.

Koneksi antarmodul dalam sistem kontrol berbasis CNC memungkinkan terjadi komunikasi data (pengiriman dan penerjemahan) dari unit I/O ke modul rangkaian *microcontroller*, yang kemudian diteruskan ke *stepper driver* dan ke *stepper motor* yang terpasang pada masing-masing sumbu mesin bubut, maupun ke servo motor penggerak spindel utama. Bentuk akhir dari *prototype CNC Turning* yang merupakan penggabungan sistem mekanik mesin bubut (*Turning Machine*) dan sistem kontrol berbasis CNC dapat dilihat pada Gambar 5).

Pengujian terhadap *Prototype CNC Turning* dilakukan dalam dua hal, pengujian statis dan pengujian dinamis. Pengujian statis mencakup: (1) pengujian geometris, dan (2) pengujian hasil koneksi. Pengujian geometris, mencakup pengujian terhadap kesejajaran sumbu utama dengan alas mesin bubut baik pada arah horisontal maupun arah vertikal, pengujian penyimpangan putaran (*round-out*) spindel utama mesin, dan pengujian ketegaklurusan gerakan sumbu melintang (sumbu X) dengan sumbu spindel utama mesin bubut.

Pengujian geometris dimaksudkan untuk memperoleh data kualitas geometris sistem mekanik *CNC Turning*. Pengujian geometris terhadap penyimpangan putaran (kesenteran) spindel utama mesin bubut menunjukkan bahwa terdapat penyimpangan putaran spindel arah radial sebesar 0,05 mm, dan penyimpangan arah aksial sebesar 0,1 mm. Pengujian geometris terhadap kesejajaran sumbu spindel utama pada arah vertikal menunjukkan penyimpangan

Gambar 5. *Prototype CNC Turning*



kesejajaran $+0,02$ mm pada jarak pergeseran 0 sampai 50 mm, dan $+0,04$ mm pada pergeseran 50 mm sampai dengan 100 mm. Pada arah harisontal, terdapat penyimpangan $-0,13$ mm pada jarak pergeseran dari 0 sampai dengan 50 mm, dan $-0,26$ mm pada jarak pergeseran dari 50 mm sampai dengan 100 mm. Hasil pengujian geometris dapat dilihat pada Tabel 1.

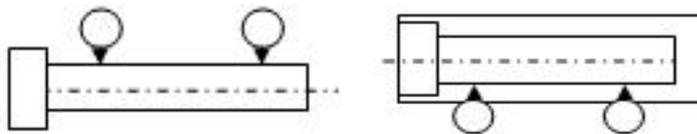
Pengujian koneksi sistem mekanik mesin bubut dengan sistem kontrol CNC adalah pengujian terhadap ketepatan respon sistem mekanik atas setiap masukan (*input*)

yang diberikan oleh sistem kontrol. Pengujian koneksi dilakukan dengan menguji hasil inisiasi atas masukan (*input*) yang diberikan melalui cara menekan tombol-tombol penggerak sumbu. Inisiasi atas perintah yang diberikan dengan menekan tombol “X+”, “X-“, ‘X+”, “Z-“ menghasilkan keluaran berupa putaran motor *steper* pada arah, jumlah, dan kecepatan tertentu.

Putaran motor *steper* ini digunakan sebagai tenaga penggerak sistem mekanik penggerak sumbu pada *prototype CNC Turning*. Gerakan sumbu mesin

Tabel 1. Hasil Pengujian Kesejajaran Sumbu Spindel Utama

Pengujian	Penyimpangan Vertikal	Penyimpangan Harisontal
Jarak 0 sampai 50 mm	$+0,2$ mm	$-0,13$ mm
Jarak 50 sampai 100 mm	$+0,4$ mm	$-0,26$ mm



teridentifikasi dalam bentuk gerakan translasi alat potong pada arah, jarak dan kecepatan tertentu pula. Pengujian koneksi terutama dilakukan terhadap ketepatan arah putaran spindle utama jika saklar spindle utama pada posisi "ON", dan ketepatan arah gerakan pahat bubut jika diberi perintah (masukan) bergerak maju mendekati benda kerja (tombol "X-"), bergerak ke kiri mendekati benda kerja (tombol "Z-"), bergerak mundur menjauhi benda kerja (tombol "X+"), dan bergerak ke kanan menjauhi benda kerja ("Z+").

Pengujian koneksi sistem kontrol CNC mencakup dua hal, yaitu ketepatan respon gerak dan keakuratan jarak lintasan gerak. Proses pengujian dilakukan mengikuti langkah sebagai berikut. Posisi sebelum digerakkan (sebelum tombol ditekan), tampilan angka diatur ulang (*reset*) sehingga menunjukkan angka "0" (nol). Apabila salah satu tombol (misalnya "Z-") ditekan terus, tampilan angka akan terus berubah, dan akan berhenti ketika tombol dilepas. Angka yang tertera pada *display* ketika tombol "Z-" dilepas, merupakan masukan/perintah (*input*) yang artinya agar alat potong bergerak pada arah sesuai tombol yang ditekan ("Z-"), dengan jarak pergerakan sesuai dengan angka yang tertera di *display* monitor.

Hasil pengujian terhadap respon atas masukan yang diberikan dengan menekan tombol yang mencakup ketepatan arah dan keakuratan jarak gerakan yang dihasilkan (*output*) menunjukkan *prototype CNC Turning* dapat memberi respon dan menjalankan masukan/perintah dengan benar, meskipun jarak pergeserannya belum sepenuhnya akurat. Untuk masukan gerak maju "X-", mundur "X+", ke kiri "Z-", dan ke kanan "Z+", sepanjang atau sejauh 20mm, gerak aktualnya adalah 19,90 mm yang berarti terdapat penyimpangan sebesar 0,10 mm. Sedangkan untuk masukan perintah gerak yang sama sepanjang 50 mm gerak aktualnya adalah 49,8 mm. Hasil pengujian respon dan pergerakan aktual atas setiap masukan dapat dilihat pada Tabel 2).

Disamping dilakukan pengujian keakurasian jarak gerakan aktual tanpa beban, terhadap *Prototype CNC Turning* juga dilakukan pengujian keakurasian jarak gerakan dengan beban pembubutan (pengujian dinamis). Pengujian dinamis dilakukan dengan pemberian beban pada proses pembubutan memanjang dan bertingkat. Sebagai bahan pengujian (bahan untuk dibubut) adalah aluminium diameter 28 mm, panjang 150 milimeter. Pahat bubut yang digunakan adalah Pahat Rata Kanan (*right hand tool*) dari bahan HSS.

Tabel 2. Ketepatan Jarak Gerakan Tanpa Beban Berdasarkan Masukan

No	Tombol	Masukan	Keluaran Aktual
1	" X- "	Gerak Maju 20 mm	19,9 mm
2	" X+ "	Gerak Mundur 20 mm	19,9 mm
3	" Z- "	Gerak Ke Kiri 50 mm	49,8 mm
4	" Z+ "	Gerak Ke Kanan 50 mm	49,8 mm
5	Gerakan Siklus; X-2000 Z-5000 X+2000 Z+5000		



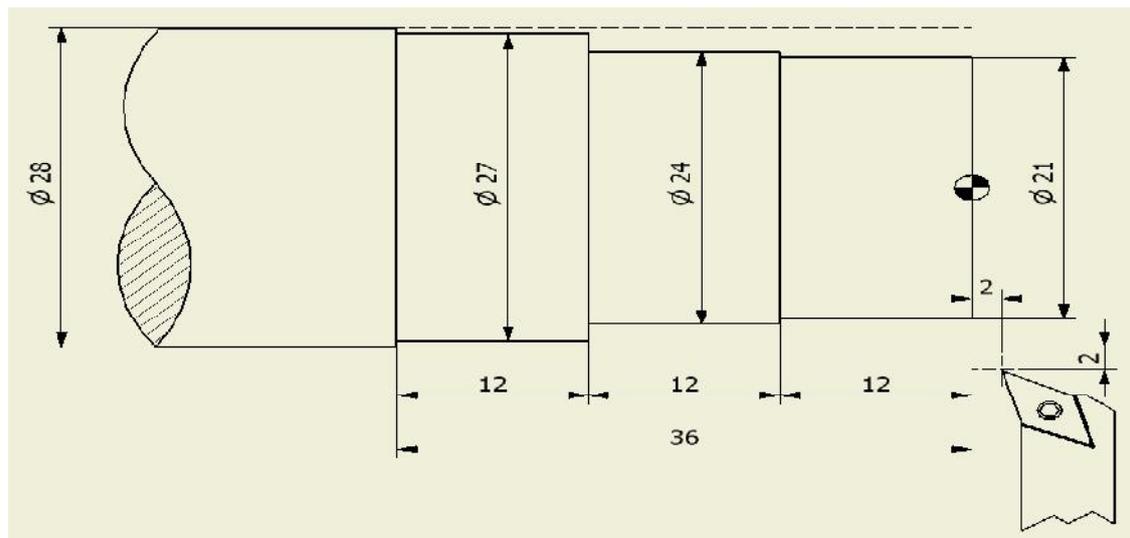
Putaran spindle utama/benda kerja sekitar 800 rpm, kedalaman penyayatan 0,5mm, dan kecepatan gerak pemakanan 50mikron/putaran. Bentuk, ukuran benda kerja yang akan dihasilkan melalui pengujian dinamis adalah poros bertingkat dengan diameter 21 mm sepanjang 12 mm, diameter 24 mm sepanjang 12 mm, dan diameter 27 mm sepanjang 12 mm.

Penggeseran alat potong (pahat bubut) dalam pengujian dinamis dilakukan otomatis, berdasarkan pemberian masukan (*input*) berupa program NC yang di dalamnya berisi perintah siklus pembubutan

memanjang dan bertingkat. Gambar kerja sebagai panduan dalam pengujian dinamis, proses pengujian dinamis dan benda kerja hasil pengujian dinamis dapat dilihat pada Gambar 6.

Program NC sebagai input/masukan setelah dieksekusi menghasilkan benda kerja dengan geometri aktual sebagai berikut: diameter 21 mm sepanjang 11,90 mm dari ujung benda kerja, diameter 24,10mm sepanjang 23,90 mm dari ujung benda kerja, dan diameter 27 mm sepanjang 35,90 mm dari ujung benda kerja. Berdasarkan ukuran aktual hasil pengujian dinamis dapat

Gambar 6. Gambar Panduan, Proses, dan Benda Kerja Hasil Pengujian Dinamis



diketahui, bahwa, pemberian *input*/data masukan berupa perintah pahat bergeser ke kiri 12 mm dari ujung benda kerja (Z-12,00), jarak pergeseran aktualnya adalah 11,90 mm; masukan Z-24,00, jarak pergeseran aktualnya 23,90 mm; dan pada masukan Z-36,00, jarak pergeseran aktualnya 35,90 mm. Data tentang dimensi aktual benda kerja hasil pengujian dinamis selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 3.

Berdasarkan hasil pengujian dinamis (dengan beban pembubutan), terlihat bahwa *Prototype CNC Turning* memiliki kinerja fungsional sangat baik, artinya mampu merespon perintah dengan tepat dan mampu memperlihatkan proses bekerjanya mesin bubut ketika digunakan untuk pembubutan suatu produk dengan *input*/masukan berupa program NC. Kinerja yang berhasil dicapai *Prototype CNC Turning* ini sudah sesuai dengan spesifikasi rancangan yang ditetapkan. Spesifikasi rancangan disusun berdasarkan hasil dari analisis kebutuhan akan *CNC Turning* sebagai media pembelajaran pemrograman CNC yang menyatakan produk hasil rekayasa mampu menyimulasikan jalannya operasi pembubutan suatu produk, dan juga mampu menyimulasikan jalannya eksekusi suatu program NC.

Produk hasil rekayasa yaitu *Prototype CNC Turning* adalah sebuah sistem mekanik mesin bubut (*turning machine*) yang dikoneksikan dengan modul-modul sistem kontrol berbasis CNC. Fungsi sistem

mekanik ini adalah menyimulasikan jalannya gerak operasi proses pembubutan seperti yang dilakukan oleh suatu mesin bubut CNC (*CNC Turning*), yaitu berputarnya spindle utama yang memutar benda kerja, dan pergerakan pahat bubut pada Sumbu X atau Sumbu Z, yang membuat terjadinya proses penyayatan. Gerak proses penyayatan dalam operasi pembubutan ini dikendalikan dengan masukan berupa program NC.

Berdasarkan data hasil pengujian diketahui bahwa koneksi antara dua perangkat, yaitu sistem mekanik mesin bubut (*Turning Machine*), dan unit kontrol mesin Sistem (Kontrol berbasis CNC), dapat dilakukan dengan baik. Hasil koneksi dari kedua perangkat tersebut adalah terhubungkannya secara fisik antara dua perangkat seperti yang terlihat pada Gambar 5.

Produk sistem mekanik mesin bubut (*Turning Machine*) disamping berhasil dalam koneksi secara fisik, juga telah dapat terkoneksi secara sistem dengan baik, yaitu menerima masukan (*input*), mengolah data *input* menjadi keluaran (*output*) dalam bentuk gerakan sistem mekanik. Indikasi bahwa proses IN/OUT data dapat dilakukan, ditunjukkan dalam bentuk gerakan sistem mekanik mesin bubut. Berdasarkan hasil pengujian, dapat dikatakan bahwa koneksi antar kedua perangkat telah berhasil dilakukan, baik dalam koneksi fisik maupun koneksi data. Dengan demikian, sistem mekanik mesin bubut, sistem pengendali putaran dan perangkat lain yang terkoneksi

Tabel 3. Akurasi Jarak *Output* Gerakan dengan Beban Pembubutan

No	Masukan X	Keluaran X	Masukan Z	Keluaran Z	Diameter Benda Kerja
1	00 mm	00 mm	00 mm	00 mm	28,00mm
2	0,50 mm	0,45 mm	36,00 mm	35,90mm	27,10mm
3	2,00 mm	1,95 mm	24,00 mm	23,90mm	24,10mm
4	3,50 mm	3,45 mm	12,00 mm	11,90mm	21,10mm

telah menjadi satu sistem, yang bekerjanya diatur atau dikendalikan oleh suatu sistem kontrol berbasis CNC yang terhubung dengan sistem mekanik mesin bubut tersebut. Keberhasilan dalam koneksi data dari sistem kontrol ke sistem mekanik mesin bubut ini dapat dimaknai bahwa penelitian telah berhasil mengembangkan produk berupa *CNC Turning* yang telah siap dilakukan pengujian lebih lanjut dengan pengujian kelayakan sebagai media pembelajaran CNC.

Hasil koneksi sistem kontrol berbasis CNC dengan sistem mekanik mesin bubut telah dapat berlangsung baik, akan tetapi realisasi ekskusi dalam bentuk gerakan mekanik mesin bubut masih terdapat kekurangan. Memperhatikan data pengujian, tampak bahwa realisasi ekskusi atau hasil penerjemahan data masukan berupa perintah bergerak, misalnya gerak maju mendekati sumbu benda kerja dengan menekan tombol "X-", oleh sistem mekanik mesin bubut perintah (masukan) tersebut dapat diterjemahkan dengan tepat, yaitu bergerak maju mendekati sumbu benda kerja, akan tetapi jarak dari realisasi gerak maju mendekati sumbu benda kerja yang dilakukan tersebut tidak selalu akurat.

Ketidakkuratan tersebut disebabkan oleh beberapa hal, di antaranya (1) kualitas geometris (dimensi, posisi, dan permukaan) komponen yang dibuat sendiri di bengkel belum memadai, (2) ketelitian perakitan antarkomponen yang disusun menjadi sistem mekanik mesin bubut belum memenuhi standar perakitan komponen yang dianjurkan. Akibat dari kualitas geometris komponen yang kurang memadai menyebabkan proses perakitan menjadi kesulitan untuk dapat mencapai standar perakitan yang dianjurkan.

Kualitas geometri komponen yang kurang baik sering menyebabkan hasil perakitan *ball-screw* tidak segaris atau

tidak satu sumbu yang salah satunya mengakibatkan terjadi *bending* (momen bengkok) yang menimbulkan gaya gesek cukup besar dan menghambat proses pergeseran komponen. Besarnya gesekan yang terjadi ini tidak sama atau tidak merata di sepanjang poros *ball-screw*, dan di setiap sistem mekanik penggerak, sehingga gerakan antarsistem memiliki akselerasi yang juga tidak sama. Ini berpengaruh pada ketelitian gerakan antar komponen yang terakit dalam sistem mekanik.

Gerakan sistem mekanik *CNC Turning* dengan beban pembubutan, memperlihatkan bahwa gerakan sistem mekanik memiliki atau mampu mencapai ketelitian 0,1 mm per 12 mm, artinya bahwa, setiap pergeseran 12 mm akan terjadi penyimpangan atau ketidaktepatan pergeseran sebesar 0,1 mm. Sedangkan dalam hal kesejajaran sumbu mesin, hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem mekanik mesin bubut memiliki kesejajaran sumbu sangat baik. Hal itu ditunjukkan dari hasil pembubutan diameter 28 mm; 27,10 mm; 24,10 mm; dan 21,10 mm pada benda di setiap sepanjang 12 mm, yang di kedua ujung tiap diameter tersebut ternyata tidak terdapat selisih ukuran.

Sistem mekanik *CNC Turning* telah dapat menyimulasikan gerakan pahat bubut pada masing-masing sumbu, dan juga menyimulasikan putaran spindel menjadi suatu bentuk proses pembubutan, sehingga produk ini dapat digunakan sebagai sarana atau substitusi peralatan praktik yang dapat memeragakan sistem kerja mesin bubut CNC, dan mekanisme proses pembubutan benda kerja pada mesin bubut CNC.

Gerakan pahat bubut pada *CNC Turning* sepanjang sumbu Z dan sumbu X dapat dideteksi menggunakan pantograf. Gerakan sumbu Z terdeteksi dalam bentuk garis yang sejajar dengan alas mesin bubut, sedangkan sumbu X berupa garis melintang tegak lurus alas mesin bubut. Garis-garis

yang terbentuk oleh pantograf tersebut merupakan titik-titik lintasan yang dilalui pahat, sehingga bentuk, pola, arah, dan panjangnya mengikuti atau tergantung dari pola gerakan pahat bubut yang dikendalikan dengan program NC.

Gerakan pantograf sepenuhnya merupakan representasi dari gerakan pahat bubut pada sumbu Z dan sumbu X, baik yang dikendalikan secara manual maupun dengan program NC pada system control berbasis CNC. Gerakan pahat bubut sepanjang sumbu X dan sumbu Z pada *CNC Turning* yang lintasannya terlihat sebagai garis-garis yang dibuat pantograf tersebut, dapat merupakan hasil dari proses ekskusi suatu program NC. Dengan demikian, garis-garis lintasan pahat bubut pada pantograf ini merupakan media untuk mengetahui hasil dari ekskusi suatu program NC, dan berdasarkan garis-garis yang terbentuk pada pantograf tersebut dapat diketahui apakah terdapat kesalahan lintasan pahat, sekaligus dapat dideteksi apakah terdapat kesalahan perintah pada suatu program NC yang telah selesai disusun.

Gerakan pahat bubut dapat dilakukan secara langsung dengan memberi masukan dengan cara menekan tombol penggerak sumbu atau memberi masukan berupa program NC yang ditulis melalui tombol-tombol penulisan program NC pada papan ketik. Hasil eksekusi dari penekanan tombol penggerak sumbu sehingga pahat bergerak pada arah dan jarak tertentu. Hasil ekskusi dari penekanan tombol-tombol untuk penulisan program NC sehingga tersusun suatu program NC menunjukkan bahwa tombol-tombol pada *prototype CNC Turning* telah dapat memenuhi fungsi sebagaimana fungsi yang dapat dilakukan oleh tombol pada suatu mesin bubut CNC.

Hasil ekskusi memperlihatkan tombol-tombol pada *prototype CNC Turning* telah

dapat menyimulasikan fungsi pengoperasian mesin CNC dan penulisan program NC pada suatu mesin CNC. Oleh karena itu *prototype CNC Turning* ini telah dapat digunakan sebagai media pembelajaran pemrograman CNC, dalam penulisan program NC secara manual (*Manual Data Input, MDI*), media pembelajaran yang menyimulasikan jalannya ekskusi program NC berupa garis-garis lintasan gerakan pahat mesin bubut CNC, dan menyimulasikan proses bekerjanya mesin bubut CNC dalam proses pembubutan suatu produk.

Pengujian kelayakan produk *Prototype CNC Turning* sebagai media pembelajaran dilakukan untuk menjaring pendapat pengguna mengenai produk *Prototype CNC Turning*, terutama dalam hal; (1) kemampuan produk menjelaskan atau mendemonstrasikan arti dari kode-kode perintah dalam program NC, (2) kemampuan menciptakan interaksi pengguna dengan produk, (3) kemampuan menarik perhatian dan minat untuk menggunakan produk, (4) kemampuan produk sebagai sarana untuk melakukan evaluasi, (5) kelengkapan elemen-elemen produk untuk menjadi sumber belajar, (6) keserasian bentuk fisik, (7) kemudahan dalam pengoperasian produk, dan (8) keamanan dalam pengoperasian produk.

Pengujian kelayakan dilakukan oleh pengguna terbatas, yang secara keseluruhan berjumlah 8 orang, terdiri dari 2 dosen pengajar CNC, dan 6 orang mahasiswa yang sedang mengambil Mata Kuliah CNC Dasar. Hasil pengujian kelayakan produk sebagai media pembelajaran CNC berupa persepsi pengguna, yang diperoleh melalui pengisian angket kelayakan produk sebagai media, setelah pengguna mencoba mengoperasikan *Prototype CNC Turning*. Persepsi pengguna terhadap kelayakan *Prototype CNC Turning* sebagai media pembelajaran CNC disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Persepsi Pengguna *Prototype CNC Turning* sebagai Media Pembelajaran

No	Kelayakan sebagai Media Pembelajaran	Rerata Skor	Katagori
1	Kemudahan pengoperasian	4,25	Sangat Baik
2	Keserasian bentuk fisik	4,00	Sangat Baik
3	Kelengkapan tombol pengoperasian	3,88	Baik
4	Menarik perhatian dan minat	3,25	Baik
5	Interaksi pengguna dengan media	4,13	Sangat Baik
6	Mampu memperjelas konsep	4,00	Sangat Baik
7	Memiliki unsur evaluasi	4,25	Sangat Baik
8	Keamanan pengoperasian	3,75	Baik

Syarat sebagai media pembelajaran yang baik sedikitnya ada tiga, yaitu; (1) mampu menarik perhatian pengguna, (2) memperjelas konsep bahan ajar, dan (3) memiliki unsur evaluasi. Berdasarkan data hasil angket kepada pengguna, yang persepsinya sebagai media pembelajaran terangkum pada Tabel 3, menunjukkan bahwa dari delapan orang pengguna, setelah mencoba mengoperasikan *Prototype CNC Turning*, persepsi terhadap produk yang dapat merepresentasikan sistem bekerjanya mesin bubut, CNC rerata skornya adalah 3,87, atau pada katagori Baik. Sedangkan persepsi dalam hal kemampuan produk untuk memperjelas konsep bahan/materi pembelajaran rerata skornya adalah 4,05, yaitu berada pada katagori Sangat Baik. Untuk penilaian terkait dengan adanya unsur evaluasi dalam produk, rerata skor penilaian atau persepsi pengguna adalah 4,18, yaitu berada pada katagori Sangat Baik.

SIMPULAN

Rekayasa *CNC Turning* telah berhasil mengembangkan sebuah produk *prototype CNC Turning* yang mampu memenuhi spesifikasi rancangan dan karakteristik kebutuhan. Produk merupakan penggabungan antara sebuah sistem mekanik mesin bubut (*Turning Machine*),

dan sistem kontrol berbasis CNC yang memiliki karakteristik; (a) berukuran kecil sehingga merupakan *Mini CNC Turning*, (b) mampu membubut benda kerja dari bahan aluminium, (c) dapat dioperasikan secara manual, dan maupun otomatis dengan basis program NC, (d) dilengkapi dengan *plotter*, yaitu peralatan untuk menggambar grafik lintasan pahat untuk menyimulasikan hasil eksekusi pembacaan program NC.

Produk hasil rekayasa yang dirancang sebagai media pembelajaran pemrograman NC memiliki sistem mekanik dengan ketelitian gerak cukup baik, mampu memberi respon dalam bentuk gerak sesuai masukan yang diberikan. Produk dapat mendemonstrasikan fungsi operasional suatu mesin bubut CNC, baik fungsi manual maupun fungsi CNC. Jika fungsi manual diaktifkan, Tombol “X-“, “X+”, “Z-“, dan “Z+” dapat melaksanakan fungsi sebagai tombol penggerak pahat secara manual dengan baik. Menggerakkan pahat dilakukan dengan menekan tombol-tombol yang bersangkutan. Apabila fungsi CNC diaktifkan, tombol-tombol pada papan ketik (*keypad*) dapat melaksanakan fungsi sebagai tombol penulisan program NC dengan baik. Fungsi CNC dapat melakukan fungsi eksekusi program NC dengan baik. Proses eksekusi pembacaan program terutama dalam hal fungsi pembubutan dengan gerak

lurus dan interpolasi (G01), pembubutan dengan gerak interpolasi radius (G02/G03), dan fungsi pembubutan dengan gerakan siklus (G84). Fungsi gerakan pahat tersebut dilakukan tanpa maupun dengan beban pembubutan, dengan penyimpangan 0,10 mm untuk gerak sepanjang 12mm. Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa *Prototype CNC Turning* mampu menjadi substitusi mesin CNC meskipun belum mencakup semua fungsi mesin.

Produk *Prototype CNC Turning* hasil rekayasa layak menjadi substitusi (menggantikan fungsi) mesin bubut CNC sebagai alat/media/sumber pembelajaran pemrograman NC, terutama alat untuk menyimulasikan dan mendemonstrasikan fungsi bekerjanya mesin bubut CNC seperti; (a) proses penulisan dan perbaikan program NC (*program editing*) pada mesin, (b) proses eksekusi (*running*) program NC dalam bentuk grafik lintasan pahat, (c) proses dan teknik penempatan pahat pada posisi awal jalan (*setting tool*), dan (d) proses eksekusi jalannya pembacaan program NC dalam bentuk proses pembubutan benda kerja. Beberapa hal memang masih harus ditingkatkan, terutama dari segi respon gerak. Respon gerak terkait dengan kelonggaran antarkomponen penggerak yang masih perlu untuk dilakukan

perubahan rancangan, penyetelan, dan perakitan kembali komponen.

DAFTAR PUSTAKA

- Borg, W. R., & Gall, M. D. (1983). *Educational Research, an Introduction* (4th ed.). New York: Longman, Inc.
- Fiorellino, P. (1986). *Introductory Course in The CNC of Machine Tools*. Le Locle: Aciera AG.
- Gagné, R. M., Briggs, L. J., & Wager, W. W. (1992). *Principles of instructional design* (4th ed.). Forth Worth, TX: Harcourt Brace Jovanovich College Publishers.
- Heinich, R., Molenda, M., & Russell, J. D. (1989). *Instructional media, and the new technologies of instruction*. (3rd ed.). New York: Macmilan Publishing Company.
- Smaldino, S. E., Lowther, D. L., & Russel, J. D. (2012). *Instructional Technology & media for learning*. New York: Pearson Education, Inc.
- Rochayati, U., Waluyanti, S., & Santoso., D. (2012). Inovasi media pembelajaran sains teknologi di SMP berbasis mikrokontroler. *Jurnal Kependidikan*. 42(1), 89-98.
- Wen, S. (2003). *The future education*. Jakarta: Grasindo.