

## PENGUJIAN *PROTOTYPE CNC TURNING* SEBAGAI MEDIA PEMBELAJARAN CNC

**Bambang Setiyo Hari Purwoko**

Jurusan Pendidikan Teknik Mesin FT UNY, [bambang\\_shp@uny.ac.id](mailto:bambang_shp@uny.ac.id) / [bambang\\_shp@yahoo.co.id](mailto:bambang_shp@yahoo.co.id)

### Abstrak

Pengujian hasil rekayasa CNC *Turning* bertujuan ingin mengetahui kinerja *prototype CNC Turning* sebagai media dan sumber belajar dalam pembelajaran pemrograman CNC. Pengujian produk merupakan salah satu tahapan dalam proses rekayasa yang dilakukan mengikuti prosedur *Research and Development* (R&D) yang dikemukakan Borg dan Gall, yaitu membuat dan menguji kinerja produk (*develop*). Sebagai acuan untuk pengujian adalah tujuan dan materi pembelajaran pemrograman CNC. Pengujian yang dilakukan mencakup pengujian fungsional dan keakurasiannya. Hasil pengujian menunjukkan bahwa *prototype CNC Turning* dapat digunakan sebagai media dan sumber pembelajaran yang mampu; (1) memeragakan kode-kode perintah yang merupakan bahan utama dalam pembelajaran CNC; (2) memeragakan proses bekerjanya mesin CNC seperti pemasukan program NC, ekskusi program NC (dalam bentuk grafik lintasan pahat dan proses pemesinan benda kerja); (3) menyediakan pengalaman mengoperasikan mesin CNC yang tidak menimbulkan rasa takut karena berukuran relatif kecil (mini).

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

### PENDAHULUAN

Isu sangat penting terkait dengan pendidikan sekarang ini adalah mengenai relevansi pendidikan, khususnya relevansi eksternal. Hal itu terutama dipicu oleh fenomena semakin meningkatnya pengangguran tenaga terdidik yang secara agregat kecenderungannya terus meningkat dalam beberapa tahun terakhir, yang salah satu dari sekian 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.

Permasalahan dalam pengujian *prototype CNC Turning* dapat dirumuskan sebagai berikut; (1) Bagaimanakah kualitas fungsional dari produk hasil rekayasa (*CNC Turning*) sebagai media pembelajaran pemrograman CNC; (2) Bagaimanakah keakurasiannya fungsi produk hasil rekayasa (*prototype CNC Turning*) untuk dapat menjadi substitusi mesin bubut CNC

Menurut Heinich (1989:6), dan Smaldino (2012:7), 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 (2003:67) 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 (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, dan 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) *utililize materials*, (e) *require learners performance*, dan (f) *evaluate/revise*.

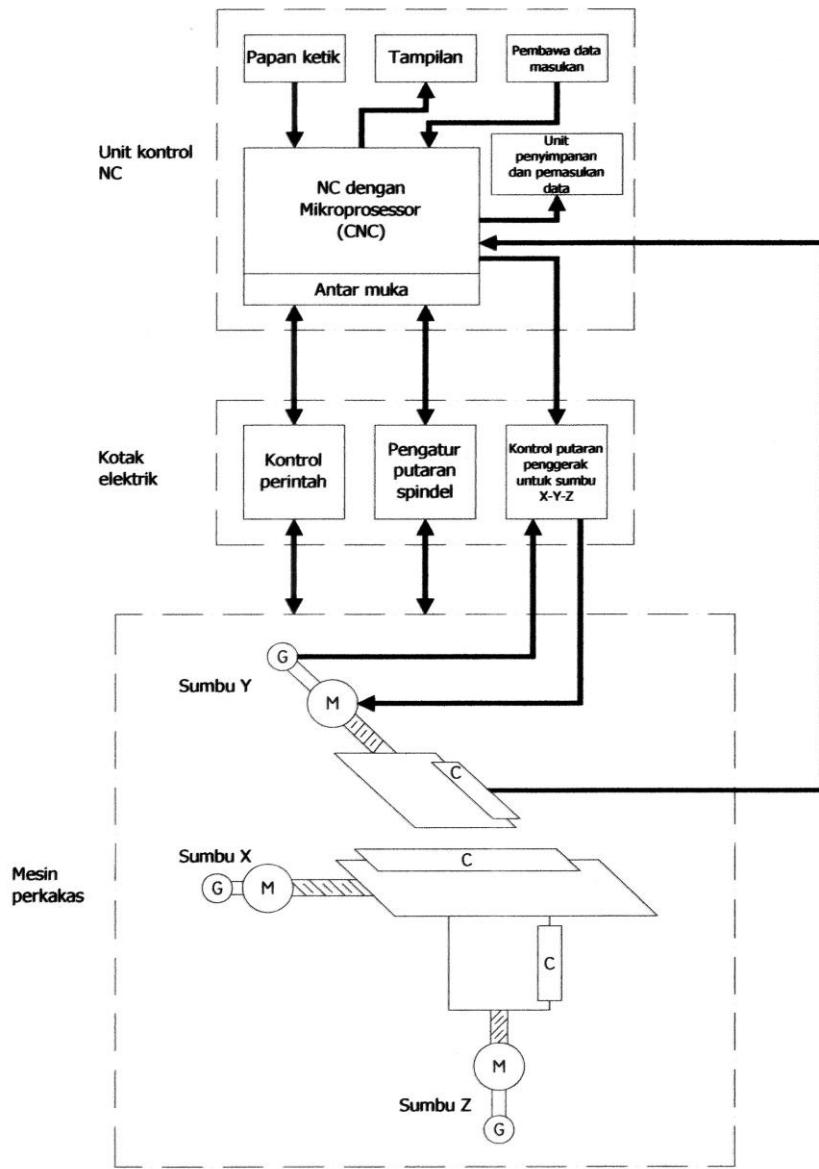
Menurut Smaldino, pentingnya media dalam pembelajaran dapat diketahui dengan memahami bahwa kegiatan pembelajaran itu berlangsung di sepanjang garis kontinum mulai dari pengalaman konkret dan nyata hingga ke pengalaman yang sangat abstrak. Keputusan mengenai pertukaran antara kekonkretan pengalaman belajar dan batasan-batasan waktu harus terus dilakukan oleh guru. Edgar Dale dalam salah satu tulisannya *Cone of Experience* (Smaldino, 2012:10) 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, (2009:434-435), 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 diperaktikkan di dunia nyata. Di dalam tugas simulasi ini peserta didik harus mampu mengembangkan konsep dan keterampilan yang dibutuhkan untuk kemudian diperaktikkan. 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 sain 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 (Umi Rochayati, 2012:90).

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) mengijinkan orang untuk mengantisipasi situasi tertentu dan melakukan reaksi dengan baik; (2) lingkungan pengambilan keputusan, untuk menguji dan memilih alternatif ber-dasar 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.

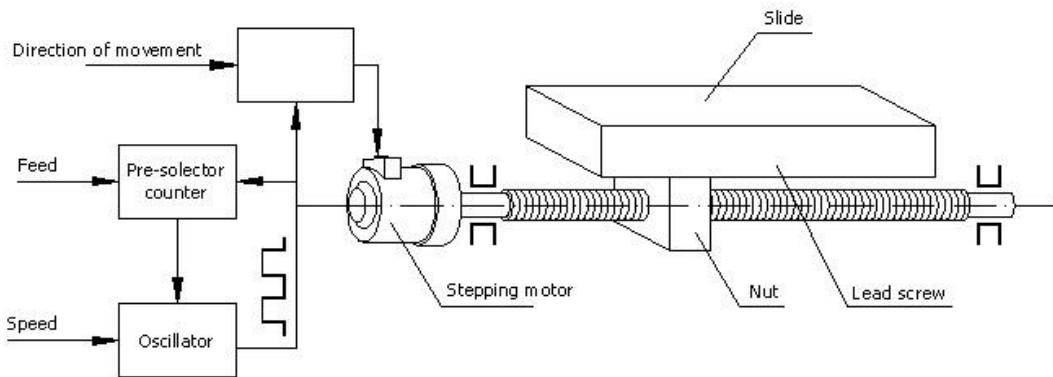
Mesin CNC (*Computer Numerical Control*) adalah suatu mesin yang proses pengoperasiannya dikendalikan oleh sistem CNC, yaitu suatu sistem kontrol yang dalam proses kerja pengontrolannya dilakukan menggunakan perintah berupa kode-kode huruf dan angka (*alpha-numeric-code*). Susunan perintah dalam kode huruf dan angka yang tersusun sedemikian rupa dan digunakan untuk mengatur operasi mesin dalam rangka pembuatan suatu produk, disebut program CNC.



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

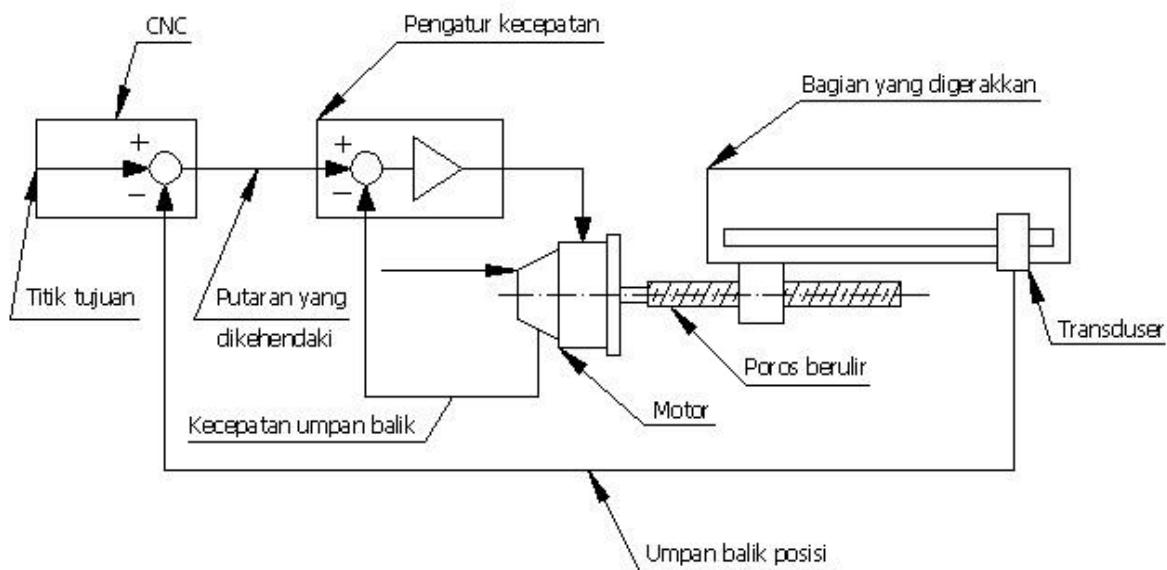
Sistem pengontrolan system mekanik penggerak sumbu pada mesin perkakas CNC dapat dilihat pada Gambar 1. Sistem pengontrolan system mekanik penggerak sumbu pada mesin perkakas CNC dikelompokkan menjadi dua, (1) gerakan dengan sistem kontrol terbuka, dan (2) gerakan dengan sistem kontrol tertutup. Gambar skema untuk kedua jenis sistem pengontrolan dapat dilihat pada Gambar 2 dan Gambar 3.

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 pengumpulan 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).



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

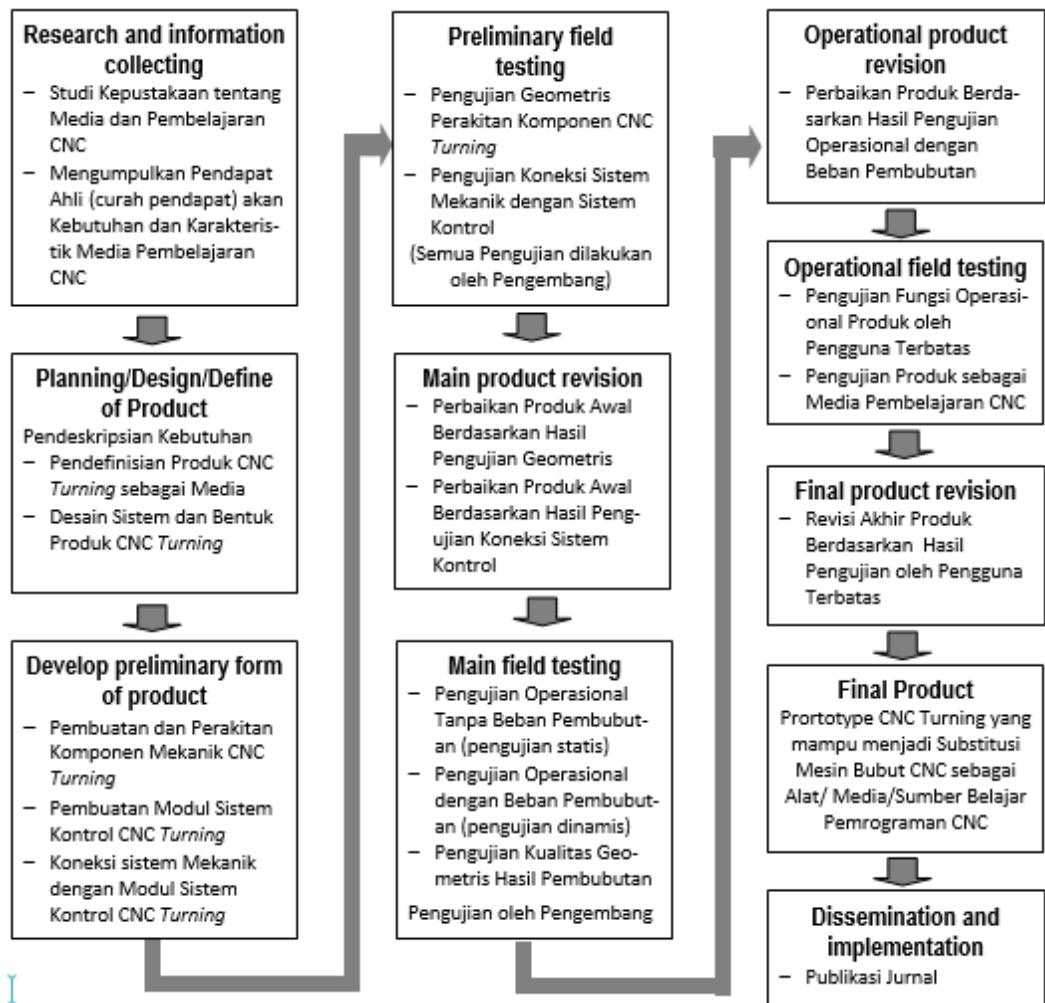
Sistem penggerak kontrol tertutup (*Closed Loop System*) dalam proses kerja pengontrolannya menggunakan perangkat pengontrol posisi yang memberikan sinyal umpan balik (*feed back device*) sebagai pengontrol/pembanding antara jarak/ukuran aktual dengan jarak yang telah diprogram. Diagram sistem kontrol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



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

## METODE

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



**Gambar 4. Tahapan Rekayasa CNC Turning**

Rekayasa CNC *Turning* meliputi; (1) pembuatan dan perakitan sistem mekanik *Turning Machine*; (2) koneksi antara sistem mekanik *turning* dan modul rangkaian elektronik sistem pengendali; dan (3) pengujian hasil rakitan sistem mekanik *Turning* 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 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* 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 antar-senter 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*).

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).



**Gambar 5. Prototype CNC Turning**

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 horizontal maupun arah vertikal, pengujian penyimpangan putaran (*round-out*) spindel utama mesin, dan pengujian ketegak lurusan 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 0,05mm, dan penyimpangan arah aksial sebesar 0,1 mm. Pengujian geometris terhadap kesejajaran sumbu spindel utama pada arah vertikal menunjukkan penyimpangan kesejajaran +0,02mm pada jarak pergeseran 0 sampai 50mm, dan +0,04mm

pada pergeseran 50mm sampai dengan 100mm. Pada arah horizontal, terdapat penyimpangan -0,13mm pada jarak pergeseran dari 0 sampai dengan 50mm, dan -0,26mm pada jarak pergeseran dari 50mm sampai dengan 100mm. Hasil pengujian geometris dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian Kesejajaran Sumbu Spindel Utama

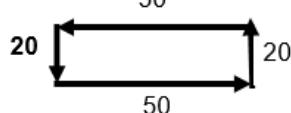
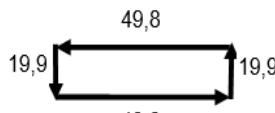
Pengujian	Penyimpangan Vertikal	Penyimpangan Harisontal
Jarak 0 sampai 50 mm	+0,2 mm	-0,13 mm
Jarak 50 sampai 100 mm	+0,4 mm	-0,26 mm

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 *stepper* pada arah, jumlah, dan kecepatan tertentu. Putaran motor *stepper* ini digunakan sebagai tenaga penggerak sistem mekanik penggerak sumbu pada *prototype CNC Turning*. Gerakan sumbu mesin teridentifikasi dalam bentuk gerakan translasi alat potong pada arah, jarak dan kecepatan tertentu pula. Pengujian koneksi terutama dilakukan terhadap ketepatan arah putaran spindel utama jika saklar spindel 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+").

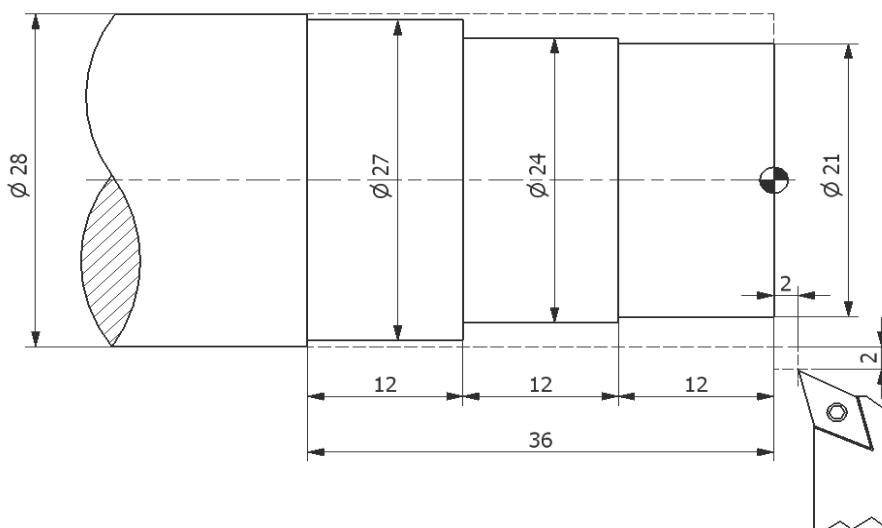
Pengujian koneksi sistem kontrol CNC mencakup dua hal, yaitu ketepatan respon gerak dan keakuratan jarak lintasan gerak. Proses pengujian dilakukan mengikuti langkah sebagai berikut. Posisi sebelum digerakkan (sebelum tombol ditekan), tampilan angka diatur ulang (*reset*) sehingga menunjukkan angka "0" (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 19,90mm yang berarti terdapat penyimpangan sebesar 0,10mm. Sedangkan untuk masukan perintah gerak yang sama sepanjang 50mm gerak

aktualnya adalah 49,8mm. Data selengkapnya hasil pengujian respon dan pergerakan aktual atas setiap masukan dapat dilihat pada Tabel 2.

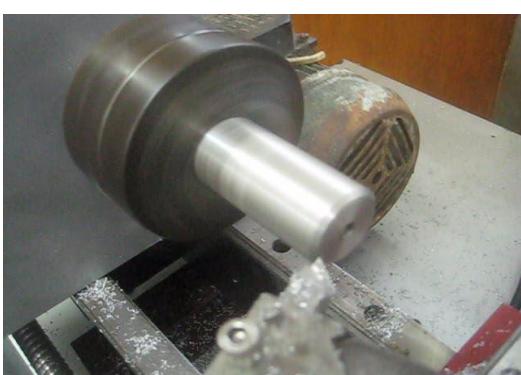
Tabel 2. Ketepatan Jarak Gerakan Tanpa Beban Berdasarkan Masukan

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		

Di samping dilakukan pengujian keakurasi jarak gerakan aktual tanpa beban, terhadap *Prototype CNC Turning* juga dilakukan pengujian keakurasi 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 alumunium diameter 28 mm, panjang 150 milimeter. Pahat bubut yang digunakan adalah Pahat Rata Kanan (*right hand tool*) dari bahan HSS. 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 21mm sepanjang 12mm, diameter 24 mm sepanjang 12mm, dan diameter 27 sepanjang 12mm. 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.



6a.



6b.

6c.

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

Program NC sebagai input/masukan setelah diekskusi menghasilkan benda kerja dengan geometri aktual sebagai berikut; diameter 21mm sepanjang 11,90 mm dari ujung benda kerja, diameter 24,10mm sepanjang 23,90mm dari ujung benda kerja, dan diameter 27mm sepanjang 35,90mm dari ujung benda kerja. Berdasarkan ukuran aktual hasil pengujian dinamis dapat diketahui, bahwa, pemberian *input*/data masukan berupa perintah pahat bergeser ke kiri 12mm dari ujung benda kerja (Z-12,00), jarak pergeseran aktualnya adalah 11,90mm; masukan Z-24,00, jarak pergeseran aktualnya 23,90mm; 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 2.

Tabel 2. 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

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 ekskusi 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 memutarkan 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. 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.

Ketidak-akuratan 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 antar-komponen 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 antar-sistem memiliki akselerasi yang juga tidak sama, dan hal 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.

Oleh karena sistem mekanik CNC *Turning* telah dapat menyimulasikan gerakan pahat bubut pada masing-masing sumbu, dan juga menyimulasikan putaran spindel menjadi suatu bentuk proses pembubutan, maka 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 panthograf tersebut, dapat merupakan hasil dari proses ekskusi suatu program NC. Dengan demikian, garis-garis lintasan pahat bubut pada panthograf ini merupakan media untuk mengetahui hasil dari ekskusi suatu program NC, dan berdasarkan garis-garis yang terbentuk pada panthograf 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 melalui cara menekan tombol penggerak sumbu, atau dengan memberi masukan berupa program NC yang ditulis melalui tombol-tombol penulisan program NC pada papan ketik. Hasil ekskusi dari penekanan tombol penggerak sumbu sehingga pahat bergerak pada arah dan jarak tertentu, dan 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 demikian 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, khususnya 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 media pembelajaran CNC yang menyimulasikan proses bekerjanya mesin bubut CNC dalam proses pembubutan suatu produk.

Pengujian kelayakan produk *Prototype* CNC *Turning* sebagai media pembelajaran dilakukan untuk menarik 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 3.

Tabel 3. 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 skor- nya 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

1. 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 ekskusi program NC dengan baik. Proses ekskusi 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 0,10mm untuk gerak sepanjang 12mm. Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa *Prototype CNC Turning* mampu menjadi substitusi mesin CNC meskipun belum mencakup semua fungsi mesin.

2. Produk *Prototype CNC Turning* hasil rekyasa 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 ekskusi (*running*) program NC dalam bentuk grafik lintasan pahat, (c) proses dan teknik penempatan pahat pada posisi awal jalan (*setting tool*), dan (d) proses ekskusi 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 antar-komponen penggerak yang masih perlu untuk dilakukan perubahan rancangan, penyetelan dan perakitan kembali komponen.

## DAFTAR PUSTAKA

- Sadiman, A.S. (1993). Media pendidikan, pengertian, pengembangan dan pemanfaatan. Jakarta: CV Rajawali
- Bourden, P.R. 1998. Method for effective teaching, second edition. Boston: Allyn and Bacon.
- Borg, W.R., Gall, M.D. 1983. Educational research, an introduction. Fourth Edition. New York: Longman, Inc.
- Meier, E. 1992. Manual programing CNC TU-2A. Austria: Emco Meier.
- Fiorellino, P. 1986. Introductory course in the CNC of machine tools. Le Locle: Aciera AG.
- Groover, M.P., Zimmers, Jr.E.W. 1998. CAD/CAM: Computer-aided design and manufacturing. Prentice/Hall International Inc.
- Heinich, R., Molenda, M., and Russell, J.D. 1989. Instructional media, and the new technologies of instruction. Third Edition. New York: Macmillan Publishing Company.
- Joyce, B., Weil, M., and Calhoun, E. 2009. Models of teaching, model-model pengajaran. New Jersey: Pearson Education, Inc. Edisi Bahasa dalam Indonesia: Pustaka Pelajar, Yogyakarta.
- Rochim, T. 1993. Teori dan teknologi proses pemesinan. Jakarta: Higher Education Development Support Project.

Smaldino, S.E., Lowther, D.L., and Russel, J.D. 2012. *Instructional technology & media for learning*. New York: Pearson Education, Inc.

Umi Rochayati, Sri Waluyanti, dan Djoko Santoso. 2012. “Inovasi Media Pembelajaran Sain Teknologi di SMP Berbasis Mikrokontroler”, *Jurnal Kependidikan*. XXXXII (1), 89-98.

Wen, S. 2003. *The future education*. Jakarta: Grasindo.