

Rekondisi Mesin Emco CNC VMC-200

Basuki Rachmat

PLP. Penyelia Lab. CNC CAD/CAM Departemen Teknik Mesin dan Industri Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Jl. Grafika No. 2, Mlati, Kabupaten Sleman Yogyakarta 55281

*Korespondensi penulis: basukirachmat@ugm.ac.id

Submisi: 1 Januari 2022; Penerimaan: 24 April 2022

ABSTRAK

Mesin Emco CNC VMC-200 adalah mesin milling yang semua pergerakan sumbu, spindle dan pergantian alat irisnya sudah dikontrol menggunakan CNC (Computer Numerical Control). Mesin ini masuk dalam golongan mesin kelas industri, meskipun dengan skala terbatas. Kerusakan yang umum terjadi pada mesin ini adalah pada beberapa komponen elektronik dan mekaniknya karena usia mesin dan terjadi keausan, sehingga komponen yang ada sudah tidak berfungsi secara normal. Komponen elektronik seperti main komputer rusak sehingga tidak bisa lagi melakukan pembacaan dan penyimpanan program. Controller pada masing-masing sumbu dan sistem pembangkit tenaga untuk spindle juga yang berkaitan dengan sistem ATC (Automatic Tools Changer). Komponen mekanik yang sering rusak pada kopling encoder masing-masing sumbu dan sistem ATC. Kerusakan lain pada ballscrew karena terjadi gesekan antar komponen sehingga aus atau pecah. Berdasarkan hal-hal tersebut, maka perlu diperbaiki dengan cara bagian elektronik dan mekanik diganti dengan yang baru sehingga mesin dapat digunakan lagi sesuai peruntukannya. Setelah kedua bagian diperbaiki, diharapkan mesin ini mampu dioperasikan untuk proses pemesinan sesuai dimensi dan ketelitian yang standar.

Kata Kunci : CNC; ATC; elektronik; mekanik

PENDAHULUAN

Mesin Emco CNC VMC-200 adalah mesin milling yang sudah menggunakan pengendali *cnc* dan type mesin ini sudah skala industri. Pengadaan mesin ini tahun 1990 bersamaan perguruan tinggi se Indonesia dan UGM menjadi center trainingnya. Keadaan mesin yang banyak ditemui di perguruan tinggi se-Indonesia ini umumnya ada pada kondisi rusak ringan atau sedang, yang diakibatkan oleh lama pemakaian dan usia mesin. Mesin CNC VMC-200 ini digunakan oleh mahasiswa ataupun dosen untuk penelitian, tugas akhir dan pengerjaan proyek yang berkaitan dengan manufaktur. Konsumsi tegangan listrik yang digunakan untuk menghidupkan mesin ini ada 2 jalur, 1 phase untuk menghidupkan control dan monitornya

sedang yang satunya cukup tinggi yaitu listrik 3 phase 380w ~400w dengan daya 35A pada 50/60 Hz. Menggunakan servo motor dc untuk masing-masing sumbu dan 1 servo motor dc dengan kapasitas lebih besar untuk putaran pada sumbu utama dan *atc* yang mempunyai 12 tempat *revolver* untuk memegang rumah alat iris (*holder*).

Unjuk kerja mesin ini sudah selayaknya mesin di industri untuk berproduksi karena kemampuan penyayatan dari mesin ini memang sudah dirancang untuk produksi meski skala terbatas. Putaran sumbu utamanya bila akan maksimal 4500 *rpm* dan kecepatan pemotongan / penyayatan (*feedrate*) bisa dimasukkan sampai 3000 mm/menit. Material yang digunakan pun bebas memilih dengan kekerasan yang tinggi

dapat dilaksanakan dengan diimbangi jenis alat iris yang disesuaikan.

Kondisi mesin sebelum diperbaiki masuk dalam kategori rusak ringan dan sedang, pada saat on control unitnya memberi reaksi dengan tampilan di monitor dengan beberapa alarm peringatan dikarenakan batre bios yang terpasang sudah tidak lagi mampu menyimpan memori default dari mesin. Untuk ini harus ada pengecekan untuk semua modul elektronk sampai selesai terlebih dahulu dan bisa digunakan memerintah motor untuk menggerakkan bagian lain. Dalam Jurnalnya, Islahudin, I., & Isnaini, M. (2020). Menyampaikan: Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa terdapat pengaruh yang signifikan pemanfaatan laboratorium virtual berbasis electronics workbench untuk menunjang pemahaman konsep mahasiswa pada perkuliahan elektronika dasar I.

Berikut komponen-komponen mekanik yang juga dimungkinkan terjadi kerusakan ataupun aus pada bagian yang bergesekan. Oleh karenanya peneliti akan memeriksa, mengecek, dan memperbaikinya.

METODE PENELITIAN

Perancangan, perbaikan, dan penelitian dilaksanakan di Laboratorium CNC CAD/CAM DTMI FT UGM pada Mesin CNC VMC-200 tahun pengadaan 1990.

Metode Pengerjaan

Langkah yang dilaksanakan untuk mengetahui terjadinya kerusakan pada Mesin VMC-200 ini antara lain:

1. Pemeriksaan / Pengecekan
2. Pembongkaran dilanjutkan perbaikan dan penggantian
3. Pemilihan bahan pengganti
4. Perancangan Produk pengganti Menurut Darmawan (2004), perancangan itu terdiri dari

serangkaian kegiatan yang beruntun, karena itu disebut sebagai proses perancangan. Metode perencanaan membuat bentuk dengan konsep pendekatan proses produksi

5. Perakitan kembali
6. Instal data baru sesuai pabrikan
7. Mencoba menyimpan dan memanggil program
8. Eksekusi mekanik gerakan manual sekaligus menjalankan program

Dari urutan di atas dapat dirinci dengan keterangan berikut ini:

1. Pengecekan dengan menyalakan mesin dan melihat tampilan alarm pada monitor dan pada modul elektriknya maka akan ditunjukkan bagian modul yang rusak sesuai alarm.
2. Melakukan perbaikan / penggantian pada komponen elektronik yang rusak dengan komponen yang baru sesuai kebutuhan, modul utama ganti batree bios, pada modul *axis controller* diganti beberapa jenis kapasitor sesuai kerusakan yang dilihat. Belanja memilih bahan / alat yang diperlukan dan tersedia di pasaran juga disesuaikan dengan spesifikasi dan yang diperlukan
3. Merancang produk yang akan dibuat sekaligus mengevaluasinya. Dalam Jurnalnya Anggraini, Lydia, and Ivan Junixsen menyampaikan: Permasalahan yang diungkapkan dalam penelitian ini adalah tentang parameter Optimasi mesin pemrograman CNC milling pada waktu proses dan pengaruhnya terhadap efisiensi
4. Pasang kembali modul yang sudah diperbaiki on kembalikan mesin, maka akan ditampilkan *Machine Saving Data* (MSD) karena batree bios sudah tidak dapat menyimpan memori data mesin maka tampil di

monitor data tidak sesuai dan harus direfresh kembali caranya seperti merefresh *mainboard cpu* atau memformat Hardisk, masukkan *mini cassette* untuk *reload* data asli mesin agar dapat berfungsi kembali dan ini memerlukan waktu beberapa saat.

5. Periksa G code dan M code untuk memastikan program pada basic mesin bisa dimasukkan sekaligus periksa gerakan manual sumbu X, Y dan Z serta putaran mesin.
6. Semua dapat berjalan seperti kondisi semula, hanya pada sumbu Y terjadi penyimpangan nilai ukur sehingga harus diperiksa mekanik untuk sumbu Y.
7. Dibongkar untuk mekanik sumbu Y ternyata kopling encoder pecah dilanjutkan ke *ballscrew* pada *ballstell* nya terjadi aus dan harus diganti, untuk kopling encoder harus dibuat sendiri, sedang untuk *ballstell* dipesankan. Material pengganti sudah diperoleh dan dirakit kembali untuk sumbu X dan Z ganti kopling dan bersihkan serta pelumasan ulang menggunakan *grease*.
8. Dicoba menyimpan dan memanggil program yang sudah dibuat melakukan gerakan manual semua sumbu dan putaran utama mesin serta untuk menjalankan program dan dapat berhasil sesuai gambar kerja yang dimasukkan. Siklus dari paket mesin ataupun program dari komputer .
9. Digunakan menguji pemotongan dengan beberapa dengan vareasi waktu percobaan
10. Membuat Laporan dan analisa

Komponen elektronik

Komponen Elektronik yang digunakan antara lain:

1. Kapasitor AC 1,5 uF 400v



Gambar 1. Kapasitor AC

Kapasitor AC adalah komponen elektronika yang berfungsi untuk menyimpan muatan listrik, selain itu kapasitor juga dapat digunakan sebagai penyaring frekuensi. Kapasitas untuk menyimpan kemampuan kapasitor dalam muatan listrik disebut *Farad (F)* sedangkan simbol dari kapasitor adalah C (kapasitor). Ini sebagai pengganti yang aslinya adalah kapsitor kertas, karena usia dan kelembaban pada mesin sering kali terbakar dengan diganti ini akan lebih aman. Setiap mesin menggunakan sekitar 10 buah dengan perincian catu daya untuk 1 phase terpasang 2 buah, untuk catu daya motor masing-masing sumbu 2 buah dan untuk servo dan atc 2 buah.

2. Kapasitor DC 47uF 50v dan 47uF 63v



Gambar 2. Kapasitor DC / Elco

Definisinya hampir sama dengan keterangan Kapasitor AC, hanya penggunaannya pada arus lemah berfungsi untuk filter / mengamankan komponen-komponen IC dan transistor pada jalur rangkain berikutnya tentunya yang lebih mahal dan adakalanya sensitifitasnya mudah terganggu.

3. Trimpot 1K ohm dan 10K ohm

Pengkodean pada trimpot sebenarnya persis seperti pengkodean pada kapasitor namun tak jarang juga

pengkodean ini ditulis langsung berapa nilai tahanan/ resistansi pada trimpot itu, misal 10k artinya ya 10k . Komponen yang ada pada rangkaian ini berfungsi untuk mengatur luaran tegangan sehingga pada kasus ini dipakai untuk menyesuaikan putaran maksimum dan minimum pada motor listrik, menyamakan jumlah putaran (*RPM*) motor antara putaran searah ataupun berlawanan arah jarum jam dengan menseting pada potensio, menggunakan obeng minus yang kecil.



Gambar 3. *Trimpont*

Mekanik yang rusak karena aus ataupun rapuh antara lain:

1. CNC ball screw



Gambar 4. *CNC ball screw SFS 1616*

Untuk menggerakkan meja mesin cnc agar lancar, ringan dan terukur menggunakan bantalan tersebut. Bila usia mesin sudah tua dan digunakan terus menerus akan terjadi aus pada *ballnya*

dan berdampak hasil kerja tidak maksimal sehingga harus dilepas dan diganti semua *ballnya*, seperti gambar di atas biasanya ada yang tergerus, menjadi *ellips* bahkan pecah. *Ball stell* yang digunakan pengganti dimensi dan sesuai aslinya yaitu diameter 4,7 mm dengan jumlah 54 buah ball stell. Sementara sumbunya dicek cacat adakah bengkok dan lain-lain, ini biasanya aman bila tidak terjadi benturan yang luar biasa. Pemasangan ditempel dengan grease bertahap ada 3 sekat kemudian dikunci agar ball bisa bergerak melingkar sesuai alur dan tidak keluar. Selanjutnya dihubungkan dengan motor penggerak satu sisi terpasang pada meja mesin eretan memanjang untuk sumbu x, eretan melintang untuk sumbu y dan vertical untuk sumbu z, yang diperbaiki dan diganti ball stellnya hanya untuk sumbu y saja untuk sumbu x dan z kondisinya masih bagus hanya dibersihkan dan diberikan grease baru.

2. Kopling Encoder



Gambar 5. *Kopling Encoder*

Bahan yang digunakan untuk membuat kopling ini adalah *polyethelin* (plastik) berupa diameter dan panjang tertentu, tentunya pembelian sesuai kebutuhan agar pembuatannya tidak memakan waktu. *Polyethelin* yang diperlukan diameter 20mm dengan

ketebalan 9mm. Untuk membuat sesuai ukuran maka dibubut dengan mesin dan dipotong, kemudian dipindahkan ke mesin *cnc* milling dengan program yang sudah dibuat sesuai gambar di atas. Rekondisi mesin ini memerlukan 4 kopling, masing-masing sumbu 1 (x, y, dan z) yang 1 untuk *atc*-nya. Kopling ini berfungsi menghubungkan sumbu motor pada mesin ke encoder untuk pembacaan posisi/koordinat.

Obyek Penelitian

1. Mengganti komponen elektronik yang sudah rusak.
2. Membuat *kopling encoder* untuk mesin *CNC VMC-200*
3. Mengganti *ball stell* pada *ball screw* sumbu Y
4. Membuat benda uji dan dilakukan pengukuran dimensi x, y dan z
5. Membuat benda uji sesuai setelan pabrikan (default mesin)

Teknik Analisis Data

Untuk komponen-komponen elektronik disimulasikan menggunakan software Elektronik Workbank dan perangkat hardwarenya antara lain Multimeter digital dan analog, dari booksheet elektronik juga diperoleh informasi bahwa yang sering kali terjadi kerusakan adalah komponen-komponen yang bersifat aktif (kapasitor ac dan dc). Dibutuhkan dengan pengamatan melihat fisik komponen yang dicurigai rusak dan melakukan pengukuran menggunakan multi meter.

Proses perbaikan yang dilakukan sebaiknya berurutan sesuai alur pembacaan yang dilakukan oleh system pada mesin Emco VMC – 200.

Batre bios yang pertama diganti dengan tujuan dapat menyimpan seting mesin yang akan dilakukan. Dilakukan penghapusan data pada memori yang sudah rusak dengan menuliskan “OFFSKILL dan C.Pr”, dilanjut dengan mengisikan memori yang baru melalui

media *mini cassette MSD (Machine Saving Data)* ini berisi system dan parameter mesin sesuai setelan pabrik. Mesin dimatikan dahulu untuk me riset system yang telah diperbaharui, akan ditampilkan alarm yang berbeda untuk mendeteksi *axis controller* dan *controller ATC* yang harus diperbaiki.

Komponen mekaniknya juga dibongkar diamati dan digambar bagian yang diperkirakan ada kerusakan, dilanjutkan diukur menggunakan jangka sorong digital kemudian didesain ulang untuk disimulasikan menggunakan software MasterCAM, data yang didapat pada simulasinya kemudian menjadi rancangan pemilihan bahan, peralatan yang digunakan dalam penggantian dan pembuatan komponen.



Gambar 6. Toolholder pada Mesin CNC EMCO VMC-200

Pembuatan komponen kopling *Encoder* seperti yang sudah dijelaskan pada Gambar 5. dan penggantian *Ball Stell* pada Gambar 4. Tahapan yang paling rumit adalah penggantian kopling encoder pada *atc*, karena titik nol harus benar dipastikan bila bergeser maka alat iris tidak dapat dipegang dengan baik ataupun tidak bisa ditangkap kembali oleh piringan tools turet. Posisi 0°c pada program M19 S0 kemudian diposisikan horizontal dengan posisi kanan dan kiri pencekam ukuran sama dan dikeraskan pada pengunci encodenya, coba ganti lagi hingga posisi benar-benar sama setelah

sesuai diberikan tanda untuk garis untuk mempermudah melihat pergeseran yang akan terjadi berikutnya.

Pengujian

Komponen mekanik dan elektronik dicek ulang dan dirakit menjadi satu seperti semula kemudian dapat digunakan untuk uji pemotongan material Aluminium cor dengan alat iris HSS yang sama dengan beberapa variasi

Langkah pengecekan dan pengujian yang harus dilakukan:

1. Pastikan semua komponen mekanik sudah terpasang dengan baik, benar dan sudah dikunci dengan tepat.
 2. Pastikan semua modul komponen elektronik sudah terpasang sesuai slotnya dan terkunci
 3. On mesin sekaligus memperhatikan led alarm pada modul bila terjadi kesalahan
 4. Ragum sudah terpasang pada meja dan letakkan deal indikator ukuran mikrometer untuk cek gerakan plus dan minus pada sumbu x, y, z dan posisi *atc* nya dengan mode manual, bila belum sesuai bisa diseting pada trimponya sesuai posisi dan kecepatan yang ditentukan
 5. Buat program sederhana untuk mengejakan pemotongan pada material yang terukur sehingga pasti dimensi dan toleransi material yang dikehendaki (toleransi = Nol)
 6. Dilakukan pengukuran berulang pada dimensi material yang dikerjakan dengan 2 jenis alat ukur
- Jurnalnya menyampaikan: Williams, Darren L., Pengukuran sudut kontak yang dibentuk oleh tetesan cairan yang ditempatkan pada bidang horizontal permukaan, yang disebut penurunan sessile,

telah menarik bagi para ilmuwan dan orang lain setidaknya selama 200 tahun, sejak Young pertama kali melaporkan pengamatannya. Dari parameter ini, banyak informasi berharga dapat dihitung, terutama nilai energi permukaan. Ini pada gilirannya dapat memberikan informasi tentang kontaminasi permukaan atau keterbasahan suatu permukaan. Untuk ini alasannya, pengukuran sudut kontak penting dalam berbagai bidang ilmiah

7. Membuat program pergantian alat iris guna memastikan sudah aman pada proses pergantian alat iris serta membuat kontur sesuai setelan dari pabrik, Membuat beberapa produk dengan variasi program yang ada untuk membuktikan semua perintah dengan parameter sesuai setelan pabrik (*default*) yang ada di mesin bisa dijalankan tanpa ada alarm ataupun terhenti karena salah / kurang lengkap perintah yang diketikkan pada pemrograman.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengecekan dan pengujian dilakukan menggunakan:

1. Multi meter digital dan Analog



(a)



(b)

Gambar 7. Multimeter Digital dan analog

2. Dial Indikator mikro meter



Gambar 8. Dial Indikator

3. Jangka sorong digital



Gambar 9. Jangka Sorong Digital

4. Mikrometer



Gambar 10. Mikrometer

Berikut ringkasan G code dan M code dari Student's Handbook EMCO VMC-200 yang didalamnya berisikan Informasi Mesin, Instruksi Pengoperasian dan Instruksi Pemrograman yang digunakan pada mesin Emco CNC VMC – 200.

- G00 gerak cepat tanpa pemotongan
- G01 penyayatan dengan f mm/min
- G02 penyayatan arc searah jarum jam
- G03 penyayatan arc berlawanan arah
- G04 tinggal diam
- G25 sub program

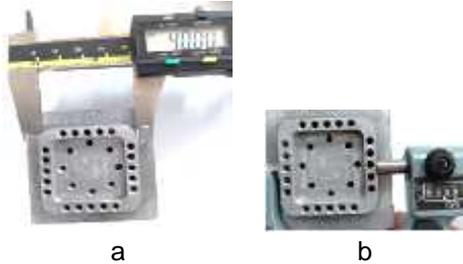
- G40 pembatalan kompensasi alat iris
- G41 kompensasi pada kiri lintasan
- G42 kompensasi pada kanan lintasan
- G53 pembatalan posisi 1 dan 2
- G54 pemindahan posisi 1
- G55 pemindahan posisi 2
- G56 pembatalan posisi 3, 4 dan 5
- G57 pemindahan posisi 3
- G58 pemindahan posisi 4
- G59 pemindahan posisi 5
- G72 siklus pengeboran array polar
- G73 eksekusi G72
- G74 siklus pengeboran array rectang
- G75 eksekusi G74
- G81 pengeboran tanpa jeda waktu
- G82 pengeboran dengan jeda waktu
- G83 pengeboran dengan penarikan
- G84 siklus pembuatan ulir
- G86 siklus pembuatan remer
- G87 siklus pegefrasan kantong
- G88 siklus pegefrasan lingkaran
- G89 siklus pegefrasan alur
- G92 Titik pencatatan penetapan

M code yang digunakan :

- M00 program berhenti (sesuai waktu)
- M03 putaran searah jarum jam
- M04 putaran berlawanan arah
- M05 putaran sumbu berhenti
- M08 pendinginan air hidup
- M09 pendinginan air mati
- M17 akhir sub program
- M30 program utama berakhir

Dalam Jurnalnya Oktriadi, Yudi (2018) menyampaikan: Program numerical control merupakan suatu unsur program yang sangat penting dalam pengoperasian mesin perkakas CNC. Karena program tersebut merupakan program pengendali yang mengatur jalannya proses permesinan suatu produk pada mesin perkakas mesin CNC. Program NC sangat menentukan kualitas geometri produk yang dihasilkan. Apalagi dalam dunia manufaktur yang modern ini dimana mesin dituntut dengan akurasi yang tinggi. Akurasi pergerakan mesin

tool mempunyai pengaruh yang paling signifikan.

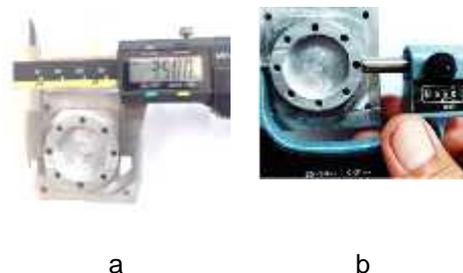


Gambar 10. Rectangular Pocket dan Pengukuran dengan 2 alat ukur

Membuat produk dengan vareasi program yang yang diinginkan untuk membuktikan semua perintah parameter dan setelan pabrik yang ada di mesin bisa dijalankan. Pembuatan program menggunakan gerak interpolasi lurus G01 arc atau melingkar G02 / G03 Kontur *rectangular pocket* dengan G87, siklus pengeboran polar ataupun rectangular G72, G73, G74, G75, G81 dan ini juga membuktikan hasil beberapa kali pengukuran percobaan pada matreal yang dibuat seperti pada Gambar 10. dimensi yang didapatkan sesuai program yang dibuat, pengukuran juga diulang beberapa kali untuk memastikan dimensinya benar.

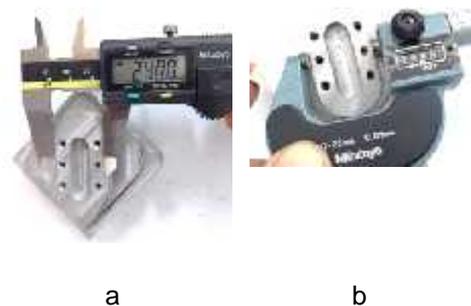
a. menggunakan jangka sorong digital

b. menggunakan micrometer



Gambar 11. Circuler Pocket dan Pengukuran dengan 2 alat ukur

Pembuatan program menggunakan gerak interpolasi lurus G01 arc atau melingkar G02 / G03 dilanjutkan circular pocket dengan G88 dan siklus pengeboran G72, G73, G74, G75, G81, juga membuktikan hasilnya sama beberapa kali pengukuran yang dilakukan seperti pada Gambar. 11



Gambar 12. Plot Pocket dan Pengukuran dengan 2 alat ukur

Pembuatan program menggunakan gerak interpolasi lurus G01 arc atau melingkar G02 / G03 *Plot pocket* (alur) dengan G89 dan siklus pengeboran G72, G73, G81 dan siklus ulir G84, membuktikan hasilnya sama beberapa kali pengukuran yang dilakukan seperti pada Gambar. 12

Pada Jurnalnya Morales-Palma, D., Martínez-Donaire, A.J., Centeno, G. and Vallellano, C., 2016. Menyampaikan: Karya ini bertujuan untuk menghasilkan dokumentasi digital terkait dengan sejumlah manufaktur proses pada peralatan mesin yang berbeda. Proyek ini dikembangkan dengan kontribusi dari mahasiswa teknik melakukan tesis akhir mereka dalam bidang ini. Peralatan mesin yang berbeda dan permesinan dan proses pembentukan tambahan telah divirtualisasikan dengan menggunakan CAD/CAM perangkat lunak CATIA V5. Beberapa bagian yang dimodelkan akhirnya diproduksi setelah memeriksa dan pasca-pemrosesan kode NC. Dokumentasi digital dikembangkan dalam format yang berbeda

KESIMPULAN

1. Perancangan, perbaikan dan penggantian komponen-komponen yang dilakukan pada modul elektriknya serta penggantian pada mekanik *ball screw (ball stell)* dan *kopling encoder* dapat mengembalikan fungsi mesin seperti kondisi semula
2. Data yang diperoleh berupa bentuk pengerjaan yang berulang (siklus) yang harus ada pada setingan mesin sesuai setelan pabrik sesuai contoh siklus pembuatan kotak, lingkaran, alur serta jajaran pengeboran. Pengujian pengukuran di atas, dengan 2 alat ukur yang teliti dan berulang mendapatkan angka ketelitian sesuai dengan input program pada mesin. Sehingga hasil ini dapat digunakan sebagai acuan dan pembandingan untuk kegiatan penelitian, praktikum ataupun perbaikan mesin yang lainnya. Pada jurnalnya Muhammad, Arsyad Suyuti, and Nur Rusdi menyampaikan: Jangka sorong ikonik dan mikrometer sekrup diperlukan dalam pembelajaran sebagai alternatif media bantu yang lebih fleksibel untuk meningkatkan pemahaman siswa tentang konsep pengukuran.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Rektor Universitas Gadjah Mada melalui Ketua Departemen Teknik Mesin dan Industri serta Kepala Laboratorium CNC CAD/CAM yang telah mengizinkan dan memfasilitasi semua Sarana dan Prasarana yang ada, juga dukungan Moril dan Materiil demi pengembangan profesi

plp dan memajukan Laboratorium yang ada. Terima kasih kepada semua teman yang telah membantu dengan ide, gagasan dan tenaga untuk penyelesaian makalah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Angraini, Lydia, and Ivan Junixsen. "Optimization Parameters of CNC Milling Programming Machine on The Process Time and Its Effect on the Efficiency." *Journal of Mechanical Engineering and Mechatronics* 3.2 (2019): 62-81.
- Darmawan H., 2004, Pengantar Perancangan Teknik, Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi; Jakarta
- Emco Maier Ges.m.b.H., 1990, Student's Handbook EMCO VMC-200
- Islahudin, I., & Isnaini, M. (2020). Pemanfaatan Laboratorium Virtual Berbasis Software Electronics Workbench (EWB) Untuk Menunjang Pemahaman Konsep Mahasiswa Pada Mata Kuliah Elektronika Dasar I. *ORBITA: Jurnal Kajian, Inovasi dan Aplikasi Pendidikan Fisika*, 5(2), 96-100.
- Morales-Palma, D., Martínez-Donaire, A.J., Centeno, G. and Vallellano, C., 2016. Teaching experience for the virtualization of machine tools and simulation of manufacturing operations. In *Materials Science Forum* (Vol. 853, pp. 79-84). Trans Tech Publications Ltd.
- Muhammad, Arsyad Suyuti, and Nur Rusdi. "Pembuatan Produk Benda Ukur sebagai Media Praktek Pengukuran Dimensi di Laboratorium Mekanik." *Jurnal Teknik Mesin SINERGI* 9.1 (2011): 93-104.
- Oktriadi, Yudi. *Pengembangan dan Kalibrasi Alat Ukur Berbasis Encoder di Mesin CNC*. Diss. Universitas Gadjah Mada, 2018.
- Williams, Darren L., et al. "Computerised measurement of contact angles." *Galvanotechnik* 101.11 (2010): 2502.