

INCREASING READABILITY OF CONVENTIONAL MILLING MACHINE BY USING DIGITAL READOUT (DRO) TO SUPPORT JIG BORING PROCESS

Rahmat Subarkah^{1*}, Ghany Heryana², Moch. Sholeh¹, Andi Ulfiana¹, Ade Sumpena¹, Hamdi¹, Irwandi¹

¹ Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta

² Jurusan Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknologi Wastukencana Purwakarta

* rahmat.subarkah@mesin.pnj.ac.id

Abstract

The requirements of manufacturing process are increasing to deal with global competition. The demand of precise components to support industry of food, pharmaceutical, infrastructure, energy and transportation are increasing significantly. Facing these challenges, capacity and capability of conventional milling machine need to be improved, especially in term of readability of axis movements. This matter influences the accuracy, machining time and easiness of machining process particularly in jig boring process. Linear encoder and digital readout (DRO) have been implemented in this study. Furthermore, this study investigated the used of linear encoder and digital readout (DRO) in jig boring process. The accuracy and machining time were involved in this study. This study proofed that linear encoder and digital readout improved the accuracy and machining time. Moreover, it helps operators in order to determine the datum and machining process. Based on these advantages, it is concluded that the linear encoder and digital readout are recommended to be implemented in small and medium industrial manufacturer in order to enhance their competitiveness in global market.

Keyword : linear encoder, digital readout, DRO, milling machine, Jig Boring

1. Pendahuluan

Proses *machining* adalah salah satu proses yang sangat penting dalam dunia manufaktur. Pembuatan *part*, *tools*, atau mesin hampir tidak lepas dari proses machining. Proses permesinan dasar yang masih sangat dibutuhkan saat ini adalah *milling* dan bubut (*turning*). Konsep mesin ini digunakan terus menerus hingga dalam perkembangan saat ini sudah menggunakan *control computer* (CNC). Proses *milling* secara umum bekerja secara “*multi point cutting tools*”, dimana *cutting tools* memiliki beberapa sisi potong yang berputar, bergiliran menyayat benda kerja. Sedangkan mesin bubut bekerja secara “*single point cutting tools*” dimana *cutting tools* diam pada posisinya dalam pengertian tidak berputar. Benda kerja berputar pada porosnya disayat oleh salah satu sisi atau titik potong *cutting tools*.

Perkembangan yang terjadi pada kedua mesin ini adalah penggabungan proses *milling* dan bubut dengan control CNC.

Dalam perkembangannya, hasil produk permesinan dihadapkan dengan banyak tantangan. Diantaranya adalah komponen hasil permesinan *milling* dituntut untuk lebih presisi. Kepresisian ini dibutuhkan untuk mendapatkan kualitas produk akhir yang seragam dan memenuhi standar internasional. Selama ini, kelemahan mesin *milling* manual adalah besarnya tingkat kesalahan pembacaan skala pada

eretan putar sumbu (*spindle*). Kesalahan pembacaan skala ini akan menyebabkan ketidak-presisian produk hasil permesinan.

Pada mesin *milling* konvensional, terdapat kelemahan lainnya berupa adanya *backlash* / celah pada pasangan ulir. Hal ini menyebabkan terjadinya kesalahan pengukuran dan menjadikan produk yang dihasilkan tidak presisi dalam ukuran. Kelemahan lain yang terdapat pada mesin *milling* konvensional adalah keterbatasan tingkat akurasi skala nonius pada eretan sumbu. Tingkat akurasi paling baik yang ada pada mesin *milling* konvensional adalah sebesar 0.02 mm. Ini dibutuhkan untuk beberapa pekerjaan permesinan toleransi khusus. Sebagai tambahan, rendahnya kecepatan produksi dari proses permesinan *milling* konvensional masih menjadi perhatian untuk diperbaiki.

Dengan bertambahnya tuntutan pada dunia permesinan, telah terjadi pergeseran fungsi dari mesin *milling*. Fungsi “baru” yang harus dapat dikerjakan oleh mesin *milling* adalah sebagai mesin pengeboran (*drilling and boring*) presisi. Selama ini, fungsi pengeboran presisi hanya dapat dilakukan oleh mesin *milling* berbasis program computer (CNC). Akan tetapi harga dari mesin *milling* CNC ini sangat mahal dan tentunya tidak akan terjangkau oleh pelaku usaha permesinan kecil dan menengah.

Pada kenyataannya, permintaan pekerjaan pengeboran presisi ini semakin banyak dalam bentuk pembuatan alat perkakas presisi, *jig dan fixtures*,

mold dan *dies*. Untuk mengatasi permasalahan keterbatasan kemampuan mesin milling manual maka perlu diadakan peningkatan kemampuan pembacaan gerak sumbu mesin milling konvensional dengan menggunakan sensor linear (*linear encoder*).

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Mesin milling

Dalam dunia permesinan, terdapat beberapa jenis pengerjaan logam yaitu pengerjaan mekanis logam, pengerjaan dingin, dan juga pengerjaan panas. Pengerjaan logam secara mekanis diperlukan untuk pengerjaan sentuhan akhir (*finishing*). Salah satunya adalah pengerjaan perataan permukaan (*facing*) menggunakan mesin *milling*.

Mesin *milling* memiliki banyak kemampuan melakukan tugas dibandingkan mesin perkakas lainnya seperti mesin bubut. Karena mesin *milling* dapat melakukan permesinan permukaan datar maupun berlekuk dengan tingkat ketelitian yang baik. Selain itu mesin *milling* juga dapat melakukan permesinan permukaan dengan tingkat kehalusan yang istimewa.

Sedangkan prinsip kerja mesin *milling* adalah sumber tenaga dari energi listrik dikonversikan menjadi gerak utama oleh mesin listrik, selanjutnya diteruskan melalui transmisi untuk mendapatkan gerakan putar pada *spindle* mesin. *Spindle* mesin inilah yang memegang dan memutar pisau (*cutter*) untuk melakukan pemotongan benda kerja. Kekerasan material pisau yang jauh di atas kekerasan benda kerja dan gesekan antara pisau dan benda kerja yang akan menghasilkan terpotongnya benda kerja.

Terdapat tiga buah sumbu utama pada mesin *milling*, yaitu sumbu Z (arah naik dan turun), sumbu Y (arah gerakan lebar) dan sumbu X (arah gerakan memanjang). Dengan adanya tiga buah sumbu inilah maka mesin *milling* dapat menghasilkan benda tiga dimensi seperti profil, kubus, segi banyak dan bentuk khusus lainnya.

2.2 Encoder lurus - *Linear encoder*

Linear encoder adalah sebuah alat pemindai (sensor) berupa pembaca gerakan yang dipasangkan dengan sebuah skala yang menandai suatu posisi. Sensor ini akan membaca skala yang selanjutnya akan dikonversikan menjadi satuan posisi dalam bentuk sinyal analog atau digital, selanjutnya dengan menggunakan perangkat *digital readout* (DRO) dapat dibaca sebagai suatu posisi.

Pembacaan kode dapat dalam bentuk koordinat inkremental maupun absolut. Pergerakan dapat didefinisikan sebagai perubahan posisi terhadap waktu. Teknologi *linear encoder* contohnya adalah *optical*, *magnetic*, induktif, kapasitif dan *eddy current*. *Linear encoder* banyak digunakan dalam bidang instrumen pengukuran, sistem bergerak dan peralatan permesinan presisi tinggi seperti jangka sorong digital, mesin pengukuran koordinat, mesin CNC dan banyak lagi lainnya.

Linear encoder telah digunakan pada banyak bidang. Matsui telah memanfaatkan *linear encoder* untuk mendeteksi gerak bebas dari sebuah *actuator* berbentuk bola [1]. *Linear encoder* juga telah digunakan untuk mendeteksi gerakan manusia. Byrne melakukan pengukuran pergerakan vertikal dalam pengujian ketahanan penggunaan sepatu dengan tumit tinggi. Penggunaan *linear encoder* menjadikan pengujian kinerja dan tinggi maksimum tumit sepatu dapat dilakukan pengukurannya secara berulang [2].

Dalam bidang biomedik, *linear encoder* juga telah lama digunakan. Kikuchi telah melakukan penelitian untuk mendeteksi pergerakan dari jantung buatan menggunakan *linear encoder*. *Magnetic linear encoder* dapat mendeteksi gerakan yang kecil dan dapat mengontrol kecepatan [3].

2.3 Digital readout (DRO)

Digital readout (DRO) adalah sebuah tampilan numerik, biasanya digabungkan dengan *keyboard* yang merepresentasikan tampilan numerik tersebut. DRO adalah sebuah sistem komputer yang membaca sinyal yang dihasilkan oleh *linear encoder* yang telah ter-*install* untuk menjejak posisi suatu sumbu mesin. Dengan menggunakan perangkat ini akan senantiasa menjejak posisi benda kerja dan atau pisau (*cutter*) dan menampilkan kepada operator mesin.

DRO adalah sebuah sistem yang akan memudahkan operator mesin untuk bekerja lebih cepat dan dengan tingkat ketelitian lebih baik lagi.

DRO memiliki beberapa fungsi antara lain adalah fungsi penentuan titik tengah dari sebuah sumbu benda kerja, mode inkremental atau absolut, satuan metrik atau imperial, pembuatan lubang pada beberapa titik tanpa menggunakan meja putar, menentukan koordinat pada benda miring atau diagonal, dapat menyimpan beberapa koordinat pekerjaan dalam memori dan melakukan penghitungan menggunakan kalkulator.

2.4 Pengujian Ketelitian Geometrik Mesin Milling

Standar ISO 1701 dan 1708 pada pengujian ketelitian geometrik pada mesin *milling* meliputi hal-hal sebagai berikut [4]:

a. Kelurusan (*straightness*)

Kelurusan dapat dikatakan sesuai standar jika jarak antara beberapa titik yang ada pada garis tersebut terhadap dua bidang saling tegak lurus dan parallel terhadap garis tersebut memiliki nilai yang masih dalam batas tertentu. Sedangkan definisi untuk kelurusan suatu gerak lurus adalah kesejajaran lintasan suatu titik pada komponen yang bergerak lurus relative terhadap suatu garis referensi yang searah dengan arah gerak komponen tersebut.

b. Kerataan (*Flatness*)

Suatu bidang permukaan didefinisikan memiliki tingkat kerataan yang baik bila perubahan jarak tegak lurus dari titik-titik pada permukaan tersebut terhadap bidang geometrik yang sejajar dengan permukaan yang diuji tidak melampaui batas yang ditentukan oleh standar

c. Ketegaklurusan (*Square*)

Lingkup dari ketegaklurusan pada mesin perkakas adalah termasuk garis, sumbu maupun bidang dan gerak komponen. Dua buah bidang atau dua buah garis lurus atau satu buah bidang dan satu buah garis lurus dinyatakan tegak lurus satu terhadap lainnya apabila penyimpangannya masih dalam batas tertentu sesuai standar.

Pengujian pengukuran ketelitian geometri telah banyak dilakukan oleh peneliti sebelumnya. Apriana, et al., 2015 telah melakukan pengujian ketelitian geometrik pada mesin milling jenis F3 di bengkel mesin PNJ. Selain itu, Julian & Purnomo, 2005 juga telah melakukan studi untuk menentukan kelayakan operasional mesin perkakas melalui pengujian ketelitian geometri static berdasarkan standar ISO 1701. Pengujian yang dilakukan meliputi penyalarsan meja kerja, kelurusan gerak vertical, ketegaklurusan meja kerja terhadap kolom, ketegaklurusan meja kerja terhadap gerak vertical sumbu utama serta kedataran permukaan meja kerja.

Pengukuran ketelitian mesin perkakas lainnya juga dilakukan oleh Gundara et, al. [7]. Gundara melakukan penelitian untuk menentukan kelayakan operasional suatu mesin perkakas melalui pengujian ketelitian *geometric static* berdasarkan standar ISO 1708 untuk mesin bubut.

Walaupun saat ini telah ada mesin *milling* dengan control CNC namun fungsi mesin *milling* manual masih tidak dapat ditinggalkan. Salah satu pertimbangannya adalah kepraktisan penggunaan. Selain itu *cost* juga menjadi pertimbangan. Mesin *milling* dengan control CNC efektif jika digunakan untuk pembuatan kontur yang rumit. Sedangkan mesin *milling* manual banyak digunakan untuk pengeboran dan pembuatan bentuk sederhana.

Mesin *milling* baik manual atau pun CNC setidaknya memiliki 3 aksis yaitu X, Y, dan Z. Kepresisian mesin ini tergantung dari jenis *slider* dan ulir *transporter* yang digunakan. Pada mesin *milling* manual umumnya menggunakan jenis *slider dove tile* dan *transporter* berjenis ulir *trapezium*. Pada mesin *milling* CNC sudah menggunakan *slider* berjenis *box way* dan *transporter* dengan *ball screw*.

Selain itu, pada mesin *milling* manual, kepresisian bergantung pula pada metoda pemotongan. Dengan metoda yang tepat kepresisian hasil pemotongan pada *milling* manual dapat mencapai 0,01 mm. Metoda pemotongan pada mesin *milling* manual yang menggunakan *transporter* ulir *trapezium* sangat penting karena adanya *clearance* antara ulir dengan rumah ulirnya. *Clearance* akan semakin besar dengan semakin bertambahnya usia

penggunaan mesin. Oleh karena itu pergeseran *spindle* secara searah atau berlawanan sangat mempengaruhi hasil benda kerja.

Pada mesin dengan *transporter* ulir *trapezium* laju keausannya lebih tinggi dibandingkan dengan mesin dengan *transporter ball screw*. Hal ini karena kontak antara ulir *transporter* dengan rumah *transporter* bergesekan secara bidang. Sedangkan pada *transporter ball screw* gesekan lebih kecil karena adanya perantara bola (*ball*) antara ulir (*thread*) dengan rumahnya (*nut house*).

Kendali dan pemantauan dimensi benda kerja pada mesin *milling* manual relatif memerlukan kecermatan dan ketelitian. Hal ini karena ukuran yang kita berikan harus dikonversi ke dalam jumlah putaran *spindle*. Pada tiap *spindle* memang dilengkapi dengan garis skala nominal dan nonius. Namun kesalahan pembacaan sering terjadi karena faktor manusia. Misalnya lupa mengkonversi jumlah putaran atau bergesernya setting “Nol” karena tersenggol atau tidak kuatnya pengunci friksi *spindle* yang ada.

Untuk memperbaiki kondisi tersebut pada aksis mesin *milling* manual dapat dipasang *display* jarak/dimensi yang biasanya berupa layar *seven segment*. Layar menampilkan jarak karena adanya konversi dari *linear encoder* yang diterjemahkan menjadi ukuran dalam satuan milimeter, inci, atau dimensi standar lainnya.

Perangkat tersebut dikenal dengan nama DRO Set. DRO adalah singkatan *Digital Readout*. DRO Set sederhana setidaknya memiliki 2 aksis yang dapat dibaca, pada spesifikasi yang lebih tinggi memungkinkan pembacaan 3 aksis.

Dalam sebuah DRO Set terdiri dari perangkat:

1. *Linear encoder*
2. Sensor
3. DRO Display (*seven segment*)

Pada penelitian ini akan dianalisa kinerja dari mesin *milling* manual standard tanpa DRO menjadi menggunakan DRO. Maksud dari pemasangannya adalah untuk menjadikan mesin *milling* tersebut handal dalam proses *jig bor* atau pembuatan lubang dengan jarak presisi.

3. Metoda Penelitian

Mesin *milling* manual dipasang DRO, kemudian dilakukan kalibrasi untuk mengetahui kelurusan antara pergerakan meja dengan *linear encoder* yang dipasang. Setelah semua perangkat terpasang dengan sempurna dilakukan pengujian proses *jig bor*.

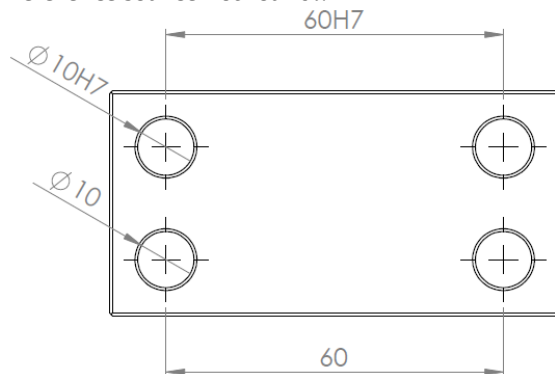
Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan data tingkat kepresisian hasil benda kerja dan waktu permesinan proses *jig boring*. Penelitian akan dilakukan dengan membandingkan proses permesinan *jig boring* tanpa dan dengan menggunakan *linear encoder* dan *digital readout* (DRO). Proses pengambilan data dilakukan beberapa kali untuk mendapatkan kestabilan pengambilan data. Data kepresisian didapat dengan cara melakukan

pengukuran geometri dari benda kerja hasil proses permesinan. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan alat ukur dengan tingkat ketelitian sebesar 0.02 mm. Sedangkan waktu proses permesinan diukur sejak operator sudah siap di depan mesin hingga seluruh proses permesinan selesai dikerjakan.

Pada pengujian ini akan dibandingkan waktu yang diperlukan untuk menggeser posisi lubang yang akan dibor tanpa dan dengan bantuan DRO.

4. Hasil dan Pembahasan

Benda kerja proses permesinan jig boring pada pengujian kali ini adalah seperti terlihat pada **Error! Reference source not found.**



Gambar 1. Benda Kerja (work piece)

Untuk membuktikan manfaat DRO dilakukan pengujian. Specimen (**gambar 1**) adalah benda kerja baja yang akan dilubangi. Dua lubang pertama memiliki jarak dan diameter dengan toleransi umum. Dua lubang lainnya memiliki jarak dan diameter dengan toleransi khusus. Proses pengerjaan dilakukan dengan teknik pembuatan lubang bertahap (**table 1**).

Dari hasil pengujian diketahui bahwa waktu yang diperlukan untuk menggeser eretan mesin (*bed spindle*) tanpa bantuan DRO memerlukan waktu lebih lama. Hal ini diantaranya karena diperlukan kecermatan dan ketelitian untuk memutar *spindle* hingga mencapai target. Pada mesin yang digunakan, 1 putaran *spindle* aksis X-nya setara dengan jarak 4,00 mm. Dengan demikian, untuk mendapat jarak 60,00 mm diperlukan 15 putaran. Kesalahan penghitungan putaran akan menyebabkan jarak yang salah.

Pengujian selanjutnya adalah menggeser *spindle* dengan membaca DRO, operator tidak perlu lagi melihat skala pada *spindle*. Dengan bantuan DRO, waktu yang diperlukan lebih cepat secara signifikan dibanding membaca skala *spindle*. Dari hasil pada **tabel 1** dapat diketahui bahwa waktu yang diperlukan untuk menggeser *spindle* dengan bantuan DRO lebih cepat 31 detik hingga 44 detik.

Jarak lubang, dengan bantuan pengukuran menggunakan CMM (*Coordinate Measuring Machine*) didapatkan hasil yang masih dalam toleransi. Hal ini menunjukkan bahwa *linear scale*

DRO terpasang tepat dan lurus terhadap aksis, walaupun *backlash* mesin sudah cukup tinggi. Kesalahan jarak karena adanya *backlash*, baik pada pengujian dengan atau tanpa DRO dapat diatasi dengan konsistensi arah putaran *spindle*. Selama proses, penetrasi terhadap jarak target ditetapkan searah putaran jarum jam (*clockwise*).

Tabel 1. Waktu untuk menggeser cutting tool spindle dari titik 1 ke titik 2

No. dan Jenis Proses	Tanpa DRO (detik)	Dengan DRO (detik)
Proses 1 – (Centre Drilling)	72	41
Proses 2 – (Drilling Ø5)	80	36
Proses 3a – (Drilling Ø10)	75	
Proses 3b – (Drilling Ø9.5 & Reamer Ø10H7)		32

Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa DRO sangat membantu dalam percepatan proses *jig boring* atau proses *milling* lainnya terutama yang memiliki jarak yang tidak bulat.

5. Kesimpulan

Dari penelitian implementasi *linear scale* dan *digital readout* (DRO) untuk menunjang pekerjaan *jig boring* dapat diambil kesimpulan bahwa implementasi ini sangat membantu dalam proses permesinan. Hal ini dapat terlihat dari perbaikan tingkat kepresisian dan mengurangi waktu proses permesinan. Selain itu juga terlihat bahwa implementasi ini dapat mempermudah operator dalam proses permesinan. Dari tiga hal keuntungan yang didapat dari implementasi peralatan ini maka dapat direkomendasikan untuk digunakan oleh industri manufaktur kecil dan menengah sebagai upaya untuk meningkatkan daya saing proses produksi mereka.

Ucapan terima kasih

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada P3M Politeknik Negeri Jakarta untuk pendanaan penelitian ini melalui “Hibah Penelitian Unggulan Program Studi 2019” dengan nomor kontrak 381/PL3.18/PN.00.03/2019.

Daftar Pustaka:

- [1] Y. Matsui, T. Akagi, and S. Dohta, “Development of Flexible Displacement Measuring System Using Wire-type Linear Encoder for Flexible Spherical Actuator,” *Procedia Comput. Sci.*, vol. 76, no. Iris, pp. 113–118, 2015.
- [2] C. Byrne, D. J. Keene, S. E. Lamb, and K.

Willett, "Intrarater reliability and agreement of linear encoder derived heel-rise endurance test outcome measures in healthy adults," *J. Electromyogr. Kinesiol.*, vol. 36, pp. 34–39, 2017.

- [3] Y. Kikuchi, T. Yoneda, Y. Kataoka, K. Shiotani, H. Wakiwaka, and H. Yamada, "Considerations of output voltage waveform on magnetic linear encoder for artificial heart using linear pulse motor," *Sensors Actuators, A Phys.*, vol. 81, no. 1, pp. 309–312, 2000.
- [4] G. Schlesinger, *Testing machine tools*, Fifth Edit. London: The Industrial Press, 1954.
- [5] A. Apriana, B. Prianto, and D. M. Rahayu, "Analisa Kelayakan Mesin Milling F3 Dengan Pengujian Ketelitian Geometrik," *Politeknologi*, vol. 14, no. 3, 2015.
- [6] A. Julian and Purnomo, "Studi Kemampuan dan Keandalan Mesin Freis C2TY Melalui Pengujian Karakteristik Statik Menurut Standar ISO 1710," *Traksi*, vol. 3, no. 2, pp. 1–6, 2005.
- [7] G. Gundara and S. Riyadi, "Pengukuran Ketelitian Komponen Mesin Bubut Dengan Standar ISO 1708," *Al Jazari J. Mech. Eng.*, vol. 2, no. 2, pp. 8–15, 201

