

PEMBUATAN MODUL PENGUJIAN KETELITIAN GEOMETRIK MESIN CNC MILLING VERTIKAL DENGAN METODE DOUBLE BALL BAR

Novianto Arif Setiawan^{1,a}, Tri Prakosa^{1,b*}, Agung Wibowo^{1,c}

¹Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara, Institut Teknologi Bandung
Jl. Ganesha no. 10 Bandung, 40132, Jawa Barat, Indonesia

^aariftsetiawan@yahoo.co.id, ^bcorr_auth: triprakosa@yahoo.com, ^ca_wibowo_m@yahoo.com

Abstrak

Interaksi antara operator dengan mesin CNC sangat minim sehingga peran keahlian operator di dalam pencapaian ketelitian hasil pemesinan sangat berkurang. Oleh karena itu ketelitian produk hasil mesin CNC sangat bergantung pada ketelitian mesin CNC itu sendiri, sehingga ketelitian geometrik mesin CNC harus dapat diketahui dengan benar. *Double ball bar* adalah salah satu metode pengujian untuk mengetahui ketelitian geometrik mesin CNC. *Double ball bar* mengukur kesalahan geometrik yang muncul pada mesin CNC dan mendeteksi ketidakakuratan mesin yang ditimbulkan oleh kesalahan geometri serta kesalahan pengaturan sistem servonya. Untuk menjamin terlaksananya pengujian dengan metode *double ball bar* yang benar yaitu aman baik bagi operator maupun peralatan serta diperolehnya ketelitian mesin perkakas CNC yang akurat sesuai dengan kondisi mesin yang sesungguhnya maka diperlukan suatu modul yang dapat digunakan sebagai panduan dalam melaksanakan pengujian. Setelah berbagai aspek dipertimbangkan, modul pengujian dibagi menjadi 3 modul terpisah, yang terdiri dari modul pengantar berisi materi berkaitan dengan pengujian, modul pengujian ketelitian geometrik mesin perkakas CNC milling vertikal berdasarkan pengaturan *volumetric test software Renishaw ballbar QC20-W*, dan modul pengujian ketelitian geometrik mesin perkakas CNC milling vertikal berdasarkan ISO 230-4.

Untuk uji validasi modul yang telah dibuat, maka sebagai studi kasus, modul tersebut diaplikasikan pada pengujian mesin CNC milling VMC 250 buatan dalam negeri. Berdasarkan pelaksanaan validasi diperoleh kesimpulan, pertama modul dapat diaplikasikan dan efektifitas modul tercapai. Kesimpulan kedua adalah hasil pengujian yang diperoleh dari uji coba modul pengujian berdasarkan pengaturan *volumetric test software Renishaw ballbar QC20-W* dan berdasarkan ISO 230-4 berbeda, dan perbedaan tersebut disebabkan karena kesalahan *centre offset* serta pengaruh panas dari lingkungan.

Kata kunci: Ketelitian geometrik, CNC, *Double ball bar*, Modul pengujian, *Volumetric test*

Pendahuluan

Mesin perkakas adalah mesin yang digunakan untuk melakukan proses pemesinan suatu bahan dasar menjadi produk yang diinginkan [1]. Di era modern seperti saat ini banyak industri mulai meninggalkan mesin perkakas konvensional dan beralih menggunakan mesin CNC (*Computerized Numerical Control*). Hal tersebut disebabkan karena mesin CNC mampu menghasilkan produk dengan ketelitian tinggi. Banyak faktor yang mempengaruhi ketelitian produk

yang dihasilkan oleh mesin CNC, salah satunya adalah ketelitian geometrik mesin CNC.

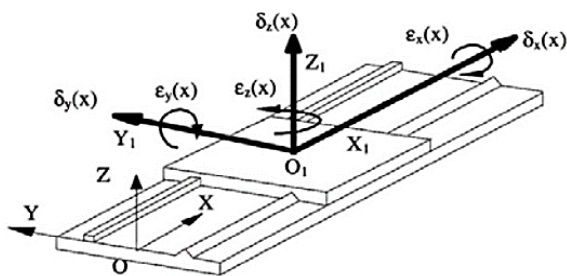
Ketelitian geometrik berpengaruh terhadap kinerja mesin perkakas tersebut yang akhirnya secara langsung akan mempengaruhi ketelitian geometrik benda kerja yang dihasilkan, Ferreira [2]. Oleh karena itu, mengetahui ketelitian geometrik mesin CNC sangat diperlukan agar dapat menghasilkan produk pemesinan dengan ketelitian tinggi.

Salah satu metode pengujian untuk mengetahui ketelitian geometrik mesin CNC adalah metode *double ball bar*. Untuk menjamin terlaksananya pengujian dengan metode *double ball bar* yang benar yaitu aman baik bagi operator maupun peralatan serta diperolehnya ketelitian mesin CNC yang akurat sesuai dengan kondisi mesin yang sesungguhnya maka diperlukan suatu dokumen penuntun dalam bentuk modul pengujian. Pada makalah ini akan dibahas mengenai pembuatan modul pengujian ketelitian geometrik mesin CNC Milling vertikal dengan metode *double ball bar*.

Ketelitian Geometrik. Ketelitian geometrik mesin perkakas dapat dibagi menjadi dua kelompok besar, yaitu:

- (1) Ketelitian geometrik sumbu tunggal
- (2) Ketelitian geometrik antar sumbu

Ketelitian geometrik sumbu tunggal terdiri dari enam jenis kesalahan gerak, seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Enam kesalahan gerak ini terdiri dari tiga kesalahan gerak linier (pemosisian $\delta x(x)$, kelurusan pada bidang vertikal $\delta z(x)$, kelurusan pada bidang horisontal $\delta y(x)$) dan tiga kesalahan gerak rotasi (*roll* $\varepsilon x(x)$, *yaw* $\varepsilon z(x)$, *pitch* $\varepsilon y(x)$).



Gambar 1 Kesalahan gerak sumbu tunggal (sumbu-x) mesin perkakas^[1]

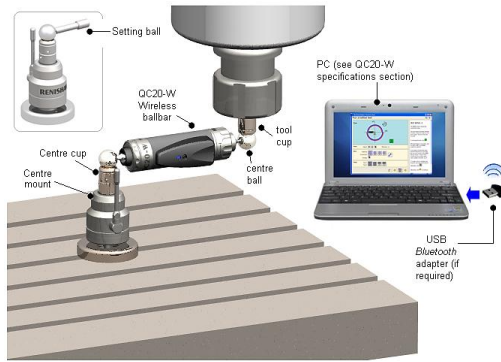
Ketelitian geometrik antar sumbu adalah kesalahan ketegaklurusan antar sumbu. Untuk mesin perkakas dengan tiga sumbu (X, Y dan Z) maka terdapat duapuluh satu kesalahan gerak (3x6 kesalahan sumbu tunggal: X, Y dan Z ditambah 3x kesalahan ketegaklurusan: XY, YZ dan XZ).

Standar ISO 230-4. Salah satu ciri dari mesin perkakas CNC adalah kemampuannya menghasilkan gerak interpolasi, yaitu gerakan (lintasan pahat) yang direalisasikan dengan gerakan lebih dari satu sumbu secara serentak.

Standar ISO 230-4 menjelaskan metoda pengetesan dan cara pengevaluasian ketelitian geometrik mesin perkakas melalui kesalahan *circular* dan kesalahan *radial* dari jalur melingkar yang dihasilkan oleh gerak interpolasi mesin CNC. Kesalahan yang muncul diukur lalu ditampilkan dalam bentuk grafik koordinat polar. Kesalahan geometrik mesin CNC dapat diketahui melalui karakteristik grafik koordinat polar yang dihasilkan. Jika mesin tidak mempunyai kesalahan, maka grafik yang ditampilkan menunjukkan lingkaran yang sempurna. Kemunculan berbagai kesalahan mengubah bentuk lingkaran. Berikut adalah jenis kesalahan *circular* dan kesalahan *radial* untuk pengevaluasian ketelitian geometrik mesin perkakas CNC berdasarkan standar ISO 230-4 [3]:

- (1) *Bi-directional Circular Deviation* [G(b)]
- (2) *Circular Deviation* [G]
- (3) *Radial Deviation* [F]
- (4) *Mean Bi-directional Radial Deviation* [D]

Metode Double Ball Bar. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengetahui ketelitian geometrik mesin perkakas CNC melalui gerak interpolasinya adalah metode *double ball bar*. *Double ball bar* mengukur kesalahan geometrik yang muncul pada mesin CNC dan mendeteksi ketidakakuratan akibat sistem kontrolnya ataupun sistem kendali servonya. Renishaw *Ballbar* QC20-W merupakan salah satu alat yang dapat digunakan pada metode *double ball bar* untuk mengetahui kesalahan geometrik pada mesin CNC. Konfigurasi peralatan Renishaw *Ballbar* QC20-W seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.



Gambar 2 Konfigurasi peralatan Renishaw ballbar QC20-W^[4]

Sistematika Modul

Dalam pembuatan modul pengujian ketelitian geometrik mesin CNC *milling* vertikal dengan metode *double ball bar* terdapat beberapa hal yang harus dipertimbangkan, yaitu:

1. Sasaran pengguna modul.

Sasaran pengguna modul tidak hanya orang-orang yang memiliki pengetahuan dan pengalaman yang cukup melainkan juga orang-orang yang memiliki pengetahuan atau pengalaman yang terbatas sehingga sistematika dan gaya penulisan modul perlu diperhatikan agar diperoleh modul yang mudah dan praktis untuk digunakan.

2. Safety Renishaw ballbar QC20-W

Peralatan yang digunakan adalah Renishaw ballbar QC20-W yang harganya mahal sehingga keamanan penggunaan perlu diperhatikan.

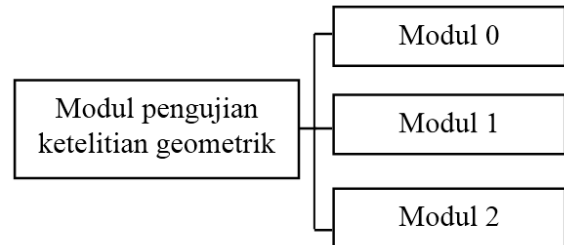
3. Safety operator

Dalam pelaksanaan pengujian, keamanan operator saat berinteraksi dengan mesin perlu diperhatikan agar kejadian yang dapat menyebabkan bahaya pada operator bisa dihindari.

4. Keakuratan hasil pengujian

Hasil yang diperoleh harus menunjukkan kondisi mesin yang sesungguhnya.

Dari keempat hal yang telah dijelaskan diatas, maka modul pengujian ketelitian geometrik mesin CNC *milling* vertikal dengan metode *double ball bar* dibuat menjadi 3 modul terpisah seperti yang terlihat pada Gambar 3.



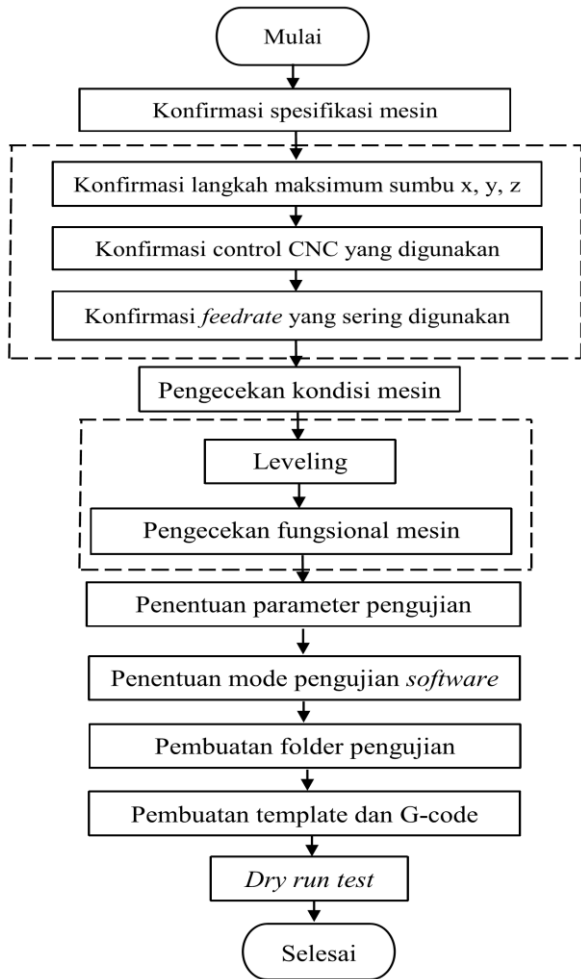
Gambar 3 Pembagian modul pengujian ketelitian geometrik

Modul 0. Merupakan modul pengantar yang berisi materi-materi yang berkaitan dengan pengujian yang akan dilakukan.

Modul 1. Merupakan modul pengujian ketelitian geometrik mesin CNC *milling* vertikal berdasarkan pengaturan *volumetric test software* Renishaw ballbar QC20-W. Pada modul 1, SOP (*Standard Operating Procedure*) dibagi menjadi tiga bagian yaitu:

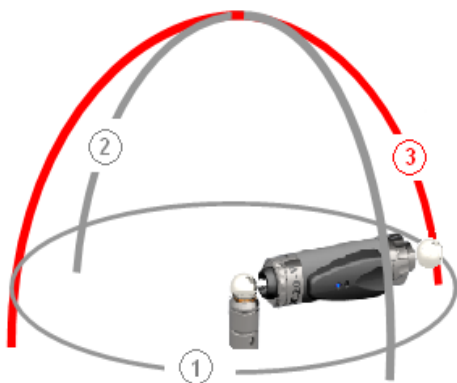
1. SOP Persiapan pengujian (Gambar 4)

Berdasarkan Gambar 4, penentuan parameter pengujian yang meliputi *data captured arc* dan *angular overshoot arc* memungkinkan diperolehnya ketelitian geometrik untuk ketiga bidang hanya dengan satu kali *set up*. *Data captured arc* merupakan jalur pengambilan data oleh ballbar, sedangkan *angular overshoot arc* merupakan jalur yang ditempuh sebelum dan sesudah *data captured arc*. Pengujian ketelitian geometrik berdasarkan *volumetric test software* Renishaw ballbar QC20-W untuk bidang XY dilakukan dengan *data captured arc* sebesar 360° dan *angular overshoot arc* sebesar 45°, sedangkan untuk bidang ZX dan YZ dilakukan dengan *data captured arc* sebesar 220° dan *angular overshoot arc* sebesar 2°.



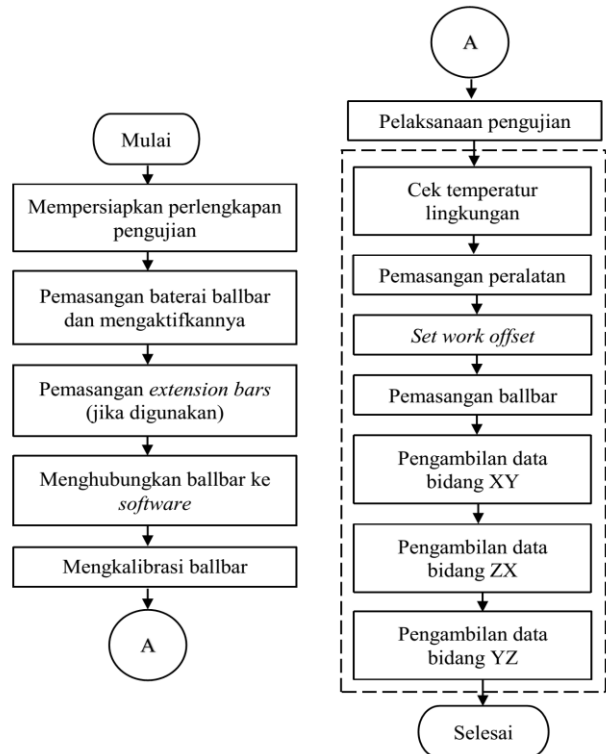
Gambar 4 Diagram alir SOP persiapan pengujian modul 1

Konfigurasi pengujian pada modul 1 seperti yang diperlihatkan pada Gambar 5.



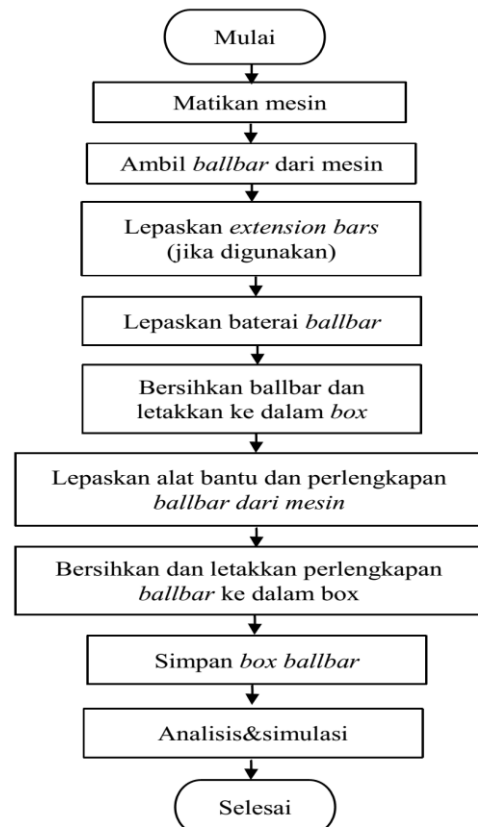
Gambar 5 Konfigurasi pengujian berdasarkan pengaturan *volumetric test*^[4]

2. SOP Pengujian (Gambar 6)



Gambar 6 Diagram alir SOP pengujian modul 1

3. SOP Setelah Pengujian (Gambar 7)



Gambar 7 Diagram alir SOP setelah pengujian modul 1

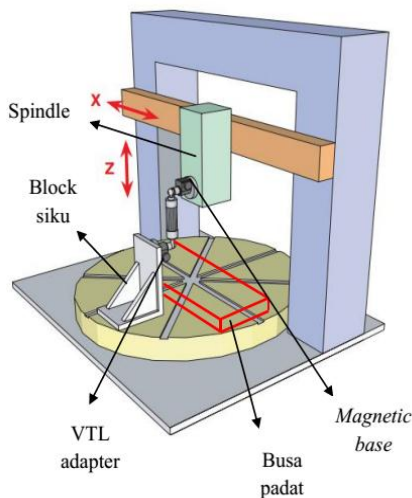
Modul 2. Merupakan modul pengujian ketelitian geometrik mesin CNC *milling* vertikal berdasarkan ISO 230-4. Pada modul 2, SOP dibagi menjadi tiga bagian juga seperti modul 1 yaitu:

1. SOP Persiapan pengujian

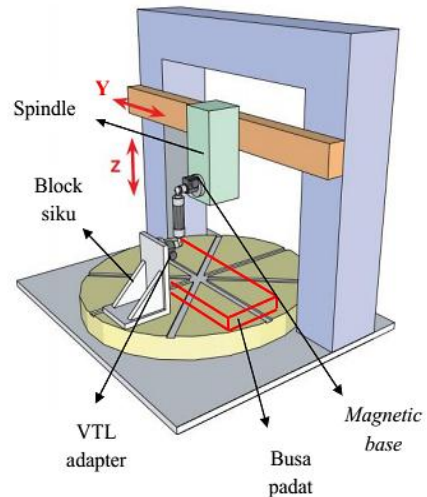
SOP persiapan pengujian pada modul 2 memiliki diagram alir yang sama dengan modul 1 seperti yang diperlihatkan pada gambar 4, yang membedakan adalah pada penentuan parameter pengujian yang meliputi *data captured arc* dan *angular overshoot arc*. Pengujian ketelitian geometrik berdasarkan ISO 230-4 untuk bidang XY, ZX, dan YZ dilakukan dengan *data captured arc* sebesar 360° dan *angular overshoot arc* sebesar 45° . Konfigurasi pengujian modul 2 seperti yang diperlihatkan pada Gambar 8 untuk bidang XY, Gambar 9 untuk bidang ZX, dan Gambar 10 untuk bidang YZ.



Gambar 8 Konfigurasi pengujian berdasarkan ISO 230-4 bidang XY modul 2



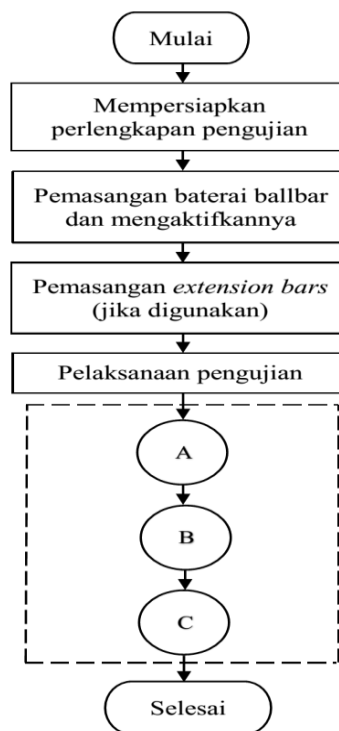
Gambar 9 Konfigurasi pengujian berdasarkan ISO 230-4 bidang ZX modul 2^[4]



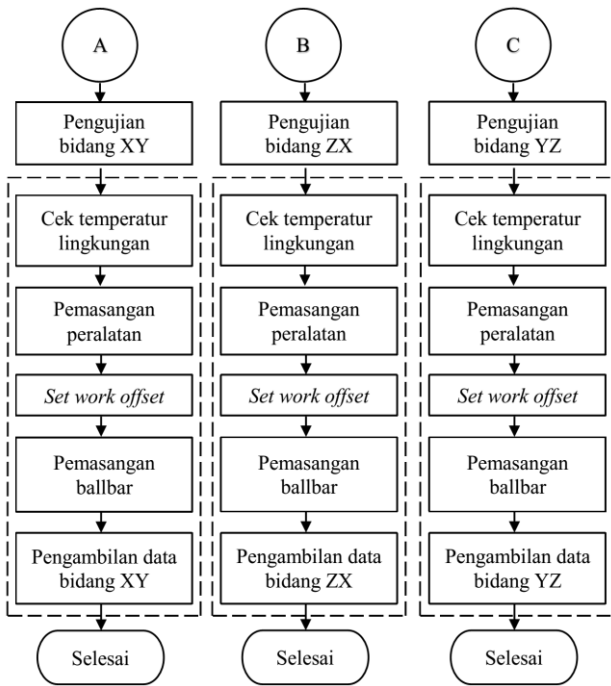
Gambar 10 Konfigurasi pengujian berdasarkan ISO 230-4 bidang YZ modul 2^[4]

2. SOP Pengujian

Jika pada modul 1 hanya dengan satu kali set up pengujian diperoleh ketelitian geometrik ketiga bidang, maka pada modul 2 ini *set up* harus dilakukan pada setiap bidang untuk memperoleh ketelitian geometrik masing-masing bidang. Oleh karena itu, SOP pengujian modul 2 berbeda dengan SOP pengujian modul 1. Diagram alir SOP pengujian modul 2 seperti yang diperlihatkan pada gambar 11(a) dan 11(b).



Gambar 11(a) Diagram alir SOP pengujian modul 2



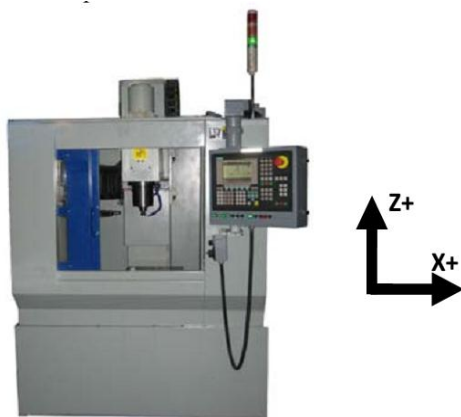
Gambar 11(b) Diagram alir SOP pengujian modul 2, lanjutan

3. SOP Setelah pengujian

SOP setelah pengujian pada modul 2 memiliki diagram alir yang sama dengan modul 1 seperti yang diperlihatkan pada gambar 7 karena pada umumnya prosedur yang dilakukan adalah sama.

Validasi Modul

Validasi modul dilakukan dengan uji coba modul melalui studi kasus pada mesin CNC *milling* VMC 250 buatan dalam negeri seperti yang diperlihatkan pada Gambar 12.



Gambar 12 Mesin CNC *milling* VMC 250 buatan dalam negeri^[1]

Tujuan validasi adalah untuk mengetahui efektivitas modul (mudah digunakan, menjamin pelaksanaan pengujian benar, aman bagi operator dan peralatan serta diperoleh hasil pengujian akurat). Validasi dilakukan dengan melakukan pengujian yang sesungguhnya menggunakan modul yang telah dibuat hingga diperoleh hasil pengujian sesuai dengan standar ISO 230-4. Uji coba dilakukan pada kecepatan makan atau *feedrate* 2000mm/min dan 3000 mm/min. Hasil pengujian uji coba untuk modul 1 seperti yang diperlihatkan pada tabel 1.

Tabel 1 Hasil pengujian uji coba modul 1

No	Parameter Pengujian	G(CCW) (µm)	G(CW) (µm)	F(CCW) (µm)	F(CW) (µm)	G(b) (µm)	D (µm)
1	XY-2000	153.6	152.1	65.4/-88.2	63.6/-88.6	159.3	-34
2	XY-3000	155.9	165.5	54.0/-101.9	51.2/-114.3	181.4	-49.4
3	YZ-2000	128.4	134.7	66.6/-61.8	71.2/-63.4	134.7	-16.7
4	YZ-3000	124.8	130.4	50.3/-74.5	57.2/-73.2	131.3	-31.1
5	ZX-2000	99.7	102.0	7.5/-92.2	14.4/-87.7	106.6	-50.1
6	ZX-3000	102.0	112.1	0.6/-101.4	7.5/-104.6	108.9	-64.0

Tabel 2 Hasil pengujian uji coba modul 2

No	Parameter Pengujian	G(CCW) (µm)	G(CW) (µm)	F(CCW) (µm)	F(CW) (µm)	G(b) (µm)	D (µm)
1	XY-2000	153.6	152.1	65.4/-88.2	63.6/-88.6	159.3	-34
2	XY-3000	155.9	165.5	54.0/-101.9	51.2/-114.3	181.4	-49.4
3	YZ-2000	105.1	107.1	32.3/-72.8	32.9/-74.2	109.5	-22.2
4	YZ-3000	104.8	118.2	19.2/-85.6	24.9/-93.2	124.7	-38.1
5	ZX-2000	126.5	151.0	8.7/-117.8	16.4/-134.6	154.3	-56.7
6	ZX-3000	144.9	152.6	10.4/-134.5	5.9/-146.8	175.3	-64.7

Analisis

Pada bagian ini dilakukan analisis terhadap modul yang dibuat apakah efektivitasnya sudah tercapai apa belum dan juga dilakukan analisis terhadap hasil pengujian mengapa hasil pengujian yang diperoleh dari uji coba kedua modul berbeda.

Analisis Terhadap Modul. Dari uji coba modul yang telah dilakukan hingga diperoleh hasil pengujian, dapat diketahui bahwa modul yang dibuat dapat diaplikasikan untuk

mengetahui ketelitian geometrik mesin CNC *milling* VMC 250 buatan dalam negeri. Uji coba yang berhasil tersebut menunjukkan bahwa efektivitas modul telah tercapai. Modul dikatakan efektif apabila tujuan atau sasaran pembuatan modul tercapai yaitu diperoleh modul yang mudah digunakan dan dapat menjamin pelaksanaan pengujian dapat berjalan dengan benar yaitu aman bagi operator dan peralatan serta diperoleh hasil pengujian yang akurat.

Analisis Terhadap Hasil Pengujian.

Berdasarkan Tabel 1 dan Tabel 2, didapatkan hasil pengujian modul 1 dan 2 sesuai dengan standar ISO 230-4 untuk bidang XY, YZ, dan ZX. Hasil pengujian pada bidang XY sama untuk kedua modul karena data yang diambil sama yaitu pengujian dilakukan dengan *data capture arc* 360°. Perbedaan yang cukup jauh ditunjukkan oleh hasil pengujian bidang YZ dan ZX. Hal tersebut disebabkan karena pengujian dilakukan dengan parameter yang berbeda dimana pada modul 1 pengujian dilakukan berdasarkan pengaturan *volumetric test software ballbar* QC20-W dengan *data capture arc* 220°, sedangkan pada modul 2 pengujian dilakukan berdasarkan standar ISO 230-4 dengan *data capture arc* 360°.

Perbedaan *data captured arc* tersebut menunjukkan bahwa pengujian dilakukan dengan *set up* yang berbeda. Perbedaan *set up* dapat menyebabkan kesalahan *centre offset* saat pengaturan *work offset* tidak sama. Semakin besar perbedaan *centre offset* yang dihasilkan saat pengaturan *work offset* pada pengujian kedua modul, maka perbedaan hasil pengujian yang diperoleh pun akan semakin besar. Perbedaan itu sebenarnya dapat diminimalisir jika operator menggunakan kompensasi saat pengaturan *work offset*.

Faktor lain yang mungkin menjadi penyebab perbedaan hasil pengujian pada kedua modul adalah faktor temperatur lingkungan. *Transducer ballbar* dirancang untuk digunakan pada temperatur 20° C, walaupun dalam pelaksanaannya telah dilakukan kompensasi supaya seolah-olah pengujian berlangsung pada temperature 20° C, namun jika perbedaan temperatur sistem dengan lingkungan sangat besar maka hal

tersebut dapat menyebabkan *transducer ballbar* berekspansi sehingga mempengaruhi keakuratan hasil pengujian *ballbar* QC20-W.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil uji coba modul melalui studi kasus pada mesin CNC *milling* VMC 250 buatan dalam negeri menunjukkan bahwa modul dapat diaplikasikan untuk mengetahui ketelitian geometrik mesin CNC *milling* VMC 250 dan efektivitas modul tercapai. Lalu, Hasil pengujian yang diperoleh dari uji coba modul 1 dan 2 terhadap mesin CNC *milling* VMC 250 berbeda pada bidang ZX dan YZ.

Perbedaan tersebut disebabkan karena adanya kesalahan *centre offset* yang dihasilkan saat pengaturan *work offset* dan pengaruh panas dari lingkungan yang menyebabkan *transducer ballbar* berekspansi. Untuk meminimalisir kesalahan *centre offset*, perlu digunakan kompensasi saat pengaturan *work offset* agar kesalahan *centre offset* pada kedua modul dapat diatur sama sehingga dapat diperoleh hasil pengujian yang mendekati satu sama lain.

Referensi

- [1] T. Prakosa, A. Wibowo, Y. Yuwana, I. Nurhadi, Pengujian Ketelitian Geometrik Mesin Perkakas CNC Milling Vertikal Buatan Dalam Negeri, prosiding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin ke-9, hal.141-146, Palembang, 2010.
- [2] Ferreira, P.M, Liu, C. R (1986).A Contribution to the Analysis and Compensation of the Geometric Error of a Machining Center. Annals of the CIRP Vol.35/1/1986.
- [3]International Organization for Standardization, ISO 230-4 : Circular Tests for Numerically Controlled Machine Tools, Edisi 2, International Organization for Standardization, 2005.
- [4] Renishaw, Renishaw Ballbar User Guide, Renishaw plc, Gloucestershire, United Kingdom, 2002.