

**KAJIAN PENYIMPANGAN GEOMETRI ANGULAR DAN
ACCURACY REPEATABILITY ISO 10360 PADA COORDINATE
MEASURING MACHINE (CMM) MITUTOYO BHN706**

Tugas Akhir

Disusun sebagai salah satu syarat untuk
melaksanakan penulisan tugas akhir pendidikan Diploma IV

Oleh

Muhamad Rusdi Fadila

221411930



**PROGRAM STUDI TEKNIK REKAYASA MANUFAKTUR
KONSENTRASI TEKNIK DAN SISTEM PRODUKSI
POLITEKNIK MANUFAKTUR BANDUNG**

2023

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas Akhir yang berjudul :

**KAJIAN PENYIMPANGAN GEOMETRI ANGULAR DAN ACCURACY
REPEATABILITY ISO 10360 PADA COORDINATE MEASURING
MACHINE (CMM) MITUTOYO BHN706**

Oleh

Muhamad Rusdi Fadila

221411930

Telah direvisi, disetujui, dan disahkan sebagai Tugas Akhir penutup program
pendidikan Sarjana Terapan (Diploma IV)
Politeknik Manufaktur Bandung

Bandung, 8 Agustus 2023

Disetujui,

Pembimbing I,

Pembimbing II,

Dr. Herman Budi Harja, ST., MT., IPM

NIP. 197902022008101001

Nandang Rusmana, ST., MT.

NIP. 197206181998031003

Disahkan,

Ketua Penguji,

Anggota Penguji I,

Anggota Penguji II,

Mohamad Fauzi, ST., MT.

NIP. 196206261988031003

**Novi Saksono Brodjo
Muhadi, ST., MT.**

NIP. 196711251992031002

Addonis Candra, ST.

NIP. 196801222000031001

PERNYATAAN ORISINALITAS

Sebagai Civitas Akademika Politeknik Manufaktur Bandung, saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Muhamad Rusdi Fadila
NIM : 221411930
Jurusan : Teknik Manufaktur
Program Studi : Teknologi Rekayasa Manufaktur
Jenjang Studi : Diploma IV
Jenis Karya : Tugas Akhir
Judul Karya : Kajian penyimpangan geometri *angular* dan *accuracy repeatability* ISO 10360 pada *coordinate measuring machine* (CMM) Mitutoyo BHN 706

Menyatakan Bahwa :

1. Tugas akhir ini adalah hasil karya saya sendiri (orisinal) atas bimbingan para Pembimbing.
2. Dalam tugas akhir ini tidak terdapat keseluruhan atau sebagian tulisan orang lain yang saya ambil dengan cara menyalin atau meniru dalam bentuk rangkaian kalimat atau simbol yang menunjukkan gagasan atau pendapat atau pemikiran dari penulis lain, yang saya akui seolah-olah sebagai tulisan saya sendiri, dan/atau tidak terdapat bagian atau keseluruhan tulisan yang saya salin, tiru, atau yang saya ambil dari tulisan orang lain tanpa memberikan pengakuan penulis aslinya (referensi).
3. Bila kemudian terbukti bahwa saya melakukan tindakan yang bertentangan dengan hal tersebut di atas, baik disengaja atau tidak, saya bersedia menerima akibatnya sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Bandung
Pada Tanggal : Tanggal
Yang Menyatakan,

(Muhamad Rusdi Fadila)
221411930

PERNYATAAN HAK KEKAYAAN INTELEKTUAL (HKI)

Sebagai Civitas Akademika Politeknik Manufaktur Bandung, saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Muhamad Rusdi Fadila
NIM : 221411930
Jurusan : Teknik Manufaktur
Program Studi : Teknologi Rekayasa Manufaktur
Jenjang Studi : Diploma IV
Jenis Karya : Tugas Akhir
Judul Karya : Kajian penyimpangan geometri *angular* dan *accuracy repeatability* ISO 10360 pada *coordinate measuring machine* (CMM) Mitutoyo BHN 706

Menyatakan/Menyetujui bahwa :

1. Segala bentuk Hak Kekayaan Intelektual terkait dengan tugas akhir tersebut menjadi milik Institusi Politeknik Manufaktur Bandung, yang selanjutnya pengelolaanya berada dibawah Jurusan dan Program Studi, dan diatur sesuai dengan ketentuan yang berlaku.
2. Memberikan kepada Politeknik Manufaktur Bandung Hak Bebas Royalti Noneklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas hasil tugas akhir saya tersebut. beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneklusif ini, maka Politeknik Manufaktur Bandung berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama-nama Dosen Pembimbing dan nama saya sebagai anggota penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Bandung
Pada Tanggal : Tanggal
Yang Menyatakan,

(Muhamad Rusdi Fadila)
221411930

MOTO PRIBADI

Menjalani hidup dengan berpedomankan Qur'an, Hadist, Jamaah dengan melaksanakan 5 bab mengaji, mengamal, membela, sambung jamaah dan toat diniati karna allah tidak dicampuri bid'ah, khurafat, syirik dan tahayul Menjalankan thobiat luhur yaitu rukun, kompak, kerjasama yang baik, jujur, amanah dan mujhid mujhid

Tugas akhir ini saya persembahkan untuk kedua orang tua saya tercinta, adik dan kakak saya, teman-teman saya dan semua pihak yang telah membantu saya menyelesaikan tugas akhir ini. Alhamdulillah Jazakallahu Khaira.

KATA PENGANTAR

Puji serta syukur penulis panjatkan kepada tuhan YME yang telah memberikan rahmat serta karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini yang berjudul:

KAJIAN PENYIMPANGAN GEOMETRI *ANGULAR* DAN *ACCURACY REPEATABILITY ISO 10360* PADA *COORDINATE MEASURING MACHINE (CMM) MITUTOYO BHN706*

Karya tulis ilmiah ini penulis susun untuk memenuhi syarat kelulusan Diploma IV Teknologi Rekayasa Manufaktur di Jurusan Teknik Manufaktur Politeknik Manufaktur Bandung. Tema dan judul dari karya tulis ilmiah ini penulis dapat dari arahan yang telah dibuat oleh Bapak Dr. Herman Budi Harja, ST., MT.

Berkat bimbingan, bantuan serta dorongan dari semua pihak, penulis dapat menyelesaikan karya tulis ilmiah ini. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada :

1. Tuhan YME yang selama ini telah memberikan kesempatan dan kesehatan sehingga penulis masih bisa diberikan kemampuan oleh-Nya.
2. Kedua orang tua dan keluarga yang selalu memberi motivasi, semangat, do'a yang tulus untuk keberhasilan kami sampai lulus di Politeknik Manufaktur Bandung.
3. Yth. Ketua Jurusan Teknik Manufaktur Bapak Jata Budiman ST., MT.
4. Yth. Ketua Program Studi Teknologi Rekayasa Manufaktur Bapak Haris Setiawan S.S.T., M.T
5. Yth. Bapak Dr. Herman Budi Harja, ST., MT. selaku pembimbing 1 dan Bapak Nandang Rusmana, ST., MT. selaku pembimbing 2 yang telah memberi arahan, kritik dan saran dalam pelaksanaan pembuatan karya tulis ilmiah.
6. Rekan-rekan Jurusan Teknik Manufaktur yang telah memberikan bantuan, masukan, dan semangat kepada penulis.

Akhir kata penulis menyadari bahwa dalam penulisan tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Karena itu, penulis memohon saran dan kritik yang sifatnya membangun demi kesempurnaannya dan semoga bermanfaat bagi kita semua.

Bandung, tanggal

Penuli

ABSTRAK

Mesin *Coordinate Measuring Machine* (CMM) adalah sebuah mesin pengukur multi fungsi berkecepatan tinggi yang menghasilkan akurasi dan efisiensi pengukuran yang tinggi. Dengan melihat kepresisian yang dibutuhkan pada mesin CMM ini sangat tinggi maka salah satu faktor yang mempengaruhi hasil dari pengukuran yang akurat dan presisi adalah geometri. Geometri adalah salah satu hal yang menentukan hasil dari benda kerja yang dikerjakan oleh mesin, jika geometri yang dimiliki oleh mesin baik maka hasil yang dihasilkan oleh mesin tersebut akan baik. Pada setiap mesin pasti ada *error* geometri yang terjadi mengingat banyak faktor yang mempengaruhi baik dari kondisi mesin ataupun kesalahan manusia (*human error*). Oleh karena itu perlu dilakukannya analisis *error* geometri yang terjadi pada mesin. Dalam suatu geometri mesin 3 sumbu terdapat 21 jenis penyimpangan geometri dengan masing masing sumbu memiliki 6 jenis penyimpangan atau biasa disebut *six degree of freedom* (6 derajat kebebasan). Identifikasi penyimpangan geometri yang terjadi pada mesin *coordinate measuring machine* (CMM) Mitutoyo BHN 706 telah berhasil dilakukan dengan menggunakan alat ukur *Renishaw Laser Interferometer XL-80* yang telah terkalibrasi sebelumnya. Hasil pengukuran dengan *laser interferometer* dibandingkan dengan standar ISO 10360 dan ISO 10791 dan diperoleh kesimpulan kondisi penyimpangan pemosisian dan keterulangan dalam μm pada sumbu X 9,3 μm (ok) dan 5,5 μm (ok), sumbu Y 10,4 μm (ok) dan 4,0 μm (ok), serta sumbu Z 7,5 μm (ok) dan 5,2 μm (ok). Penyimpangan pemosisian dan keterulangan ISO 10360 dalam μm pada sumbu X 6,0 μm (ok) dan 2,5 (Failed), sumbu Y 6,7 μm (ok) dan 2,0 μm (ok), serta sumbu Z 3,0 μm (ok) dan 1,0 μm (ok). Penyimpangan *angular pitch* pada sumbu X 3,1 *arcsec* (ok) dan 2,6 *arcsec* (ok), sumbu Y 13,1 *arcsec* (ok) dan 13,1 *arcsec* (ok), serta sumbu Z 16,7 *arcsec* (ok) dan 16,0 *arcsec* (ok). Penyimpangan *angular yaw* pada sumbu X 2,0 *arcsec* (ok) dan 1,9 *arcsec* (ok), sumbu Y 2,2 *arcsec* (ok) dan 1,8 *arcsec* (ok), serta sumbu Z 5,9 *arcsec* (ok) dan 5,6 *arcsec* (ok).

Kata Kunci : *Coordinate Measuring Machine* (CMM), Penyimpangan Geometri, *Laser Interferometer*, Pemosisian dan Keterulangan, *Angular Pitch*, *Angular Yaw*

ABSTRACT

The Coordinate Measuring Machine (CMM) is a high-speed, multifunction machine that produces high measurement accuracy and efficiency. By considering the high precision required on a CMM, one of the factors that affects high measurement accuracy and efficiency is geometry. Geometry is one of several things that determine the result of a workpiece done by the machine; if the geometry possessed by the machine is good, same as the results. On every machine, there could be geometric errors where there are several factors affecting it, such as the machine's condition or human errors. Therefore, a geometric analysis on the machine should be conducted. There are 21 geometric deviations in a three-axis geometric machine, where each axis has six types of deviations, commonly known as six degrees of freedom. The identification of geometric deviations that usually occur on the CMM Mitutoyo BHN 706 has been successfully carried out by using the calibrated Renishaw Laser Interferometer XL-80 measuring instrument. The measurement results with the laser interferometer were compared with ISO 10360 and ISO 10791 standards and it was concluded that the positioning deviation and repeatability conditions in μm in the X-axis were $9.3 \mu\text{m}$ (ok) and $5.5 \mu\text{m}$ (ok), Y-axis were $10.4 \mu\text{m}$ (ok) and $4.0 \mu\text{m}$ (ok), and Z-axis were $7.5 \mu\text{m}$ (ok) and $5.2 \mu\text{m}$ (ok). Positioning deviation and repeatability of ISO 10360 in μm in X-axis $6.0 \mu\text{m}$ (ok) and 2.5 (Failed), Y-axis $6.7 \mu\text{m}$ (ok) and $2.0 \mu\text{m}$ (ok), and Z-axis $3.0 \mu\text{m}$ (ok) and $1.0 \mu\text{m}$ (ok). Pitch angular deviation in the X-axis 3.1 arcsec (ok) and 2.6 arcsec (ok), Y-axis 13.1 arcsec (ok) and 13.1 arcsec (ok), and Z-axis 16.7 arcsec (ok) and 16.0 arcsec (ok). The angular yaw deviations in the X-axis are 2.0 arcsec (ok) and 1.9 arcsec (ok), Y-axis are 2.2 arcsec (ok) and 1.8 arcsec (ok), and Z-axis are 5.9 arcsec (ok) and 5.6 arcsec (ok).

Key Word : *Coordinate Measuring Machine (CMM), Geometric Error, Laser Interferometer, Position Deviation and Repeatability, Angular Pitch, Angular Yaw*

DAFTAR ISI

PERNYATAAN ORISINALITAS	i
PERNYATAAN HAK KEKAYAAN INTELEKTUAL (HKI)	ii
MOTO PRIBADI	iii
KATA PENGANTAR	iv
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
I.1 Latar Belakang.....	1
I.2 Rumusan Masalah	1
I.3 Ruang Lingkup dan Batasan Masalah	2
I.4 Tujuan.....	2
I.5 Manfaat.....	2
I.6 Sistematika Penulisan.....	3
BAB II LANDASAN TEORI	5
II.1 Tinjauan Pustaka	5
II.2 <i>Computer Numerical Control</i>	5
II.3 <i>Coordinate Measuring Machine</i>	6
II.4 Jenis Pengukuran	7
II.4.1 Pengukuran langsung	7
II.4.2 Pengukuran tidak langsung	8
II.5 Penyimpangan Geometri	8
II.5.1 Penyimpangan Pemosisian dan Keterulangan Sumbu Linear.....	10
II.5.2 Penyimpangan Kelurusan Pada Sumbu Mesin	11

II.5.3	Penyimpangan <i>Angular</i> Pada Sumbu Mesin.....	12
II.5.4	Penyimpangan Ketegaklurusan Antar Sumbu	13
II.6	Laser Interferometer	13
II.6.1	Pemosisian dan Keterulangan Sumbu Linear	14
II.6.2	Kelurusan pada sumbu mesin.....	14
II.6.3	<i>Angular</i> pada sumbu mesin.....	16
II.6.4	Ketegaklurusan pada sumbu mesin.....	16
II.7	Standarisasi Pengukuran Geometri.....	19
II.7.1	ISO 230-1 : 2012.....	19
II.7.2	ISO 230-2 : 2006.....	33
II.7.3	ISO 10791-2:2001	41
II.8	Standarisasi CMM.....	43
II.8.1	ISO 10360 – 1:2000	43
II.8.2	ISO 10360-2:2009	46
BAB III	METODOLOGI PENELITIAN	55
III.1	Diagram Alir.....	55
III.1.1	Diagram alir Penelitian	55
III.1.2	Diagram alir pengukuran <i>laser interferometer</i> pada mesin	56
III.2	Jenis Pendekatan Penelitian.....	58
III.3	Objek Penelitian	58
III.4	Tempat Penelitian.....	58
III.5	Jenis Data dan Sumber Data Penelitian.....	58
III.6	Teknik Pengumpulan Data	59
III.7	Teknik Analisa Data	60
III.8	Alat dan Bahan	61
III.8.1	Spesifikasi mesin <i>coordinate measuring machine</i> (CMM) Mitutoyo BHN706	61
III.8.2	Komponen laser interferometer.....	62
III.9	Standar Toleransi Geometri.....	69
III.9.1	Penyimpangan pemosisian dan keterulangan sumbu linear	69
III.9.2	Penyimpangan <i>angular</i> pada sumbu mesin.....	71

III.10	Parameter Pengukuran Pada <i>Software</i>	71
III.10.1	Parameter pengukuran penyimpangan pemosisian dan keterulangan sumbu linear	73
III.10.2	Parameter pengukuran penyimpangan <i>angular</i> sumbu mesin.....	74
III.11	Skema pengukuran.....	75
III.11.1	Skema pengukuran <i>angular</i> sumbu X.....	76
III.11.2	Skema pengukuran <i>angular</i> sumbu Y.....	77
III.11.3	Skema pengukuran <i>angular</i> sumbu Z.....	78
III.11.4	Skema pengukuran pemosisian dan keterulangan ISO 10360 sumbu X	79
III.11.5	Skema pengukuran pemosisian dan keterulangan ISO 10360 sumbu Y	80
III.11.6	Skema pengukuran pemosisian dan keterulangan ISO 10360 sumbu Z	81
III.12	Diagram Alir Pengukuran Laser Interferometer	82
III.12.1	Pengaturan pengukuran laser interferometer pada penyimpangan pemosisian dan keterulangan sumbu X.....	82
III.12.2	Pengaturan pengukuran laser interferometer pada penyimpangan pemosisian dan keterulangan sumbu Y.....	84
III.12.3	Pengaturan pengukuran laser interferometer pada penyimpangan pemosisian dan keterulangan sumbu Z.....	86
III.12.4	Pengaturan pengukuran laser interferometer pada penyimpangan angular pitch sumbu X.....	88
III.12.5	Pengaturan pengukuran laser interferometer pada penyimpangan angular pitch sumbu Y.....	90
III.12.6	Pengaturan pengukuran laser interferometer pada penyimpangan angular pitch sumbu Z.....	92
III.12.7	Pengaturan pengukuran laser interferometer pada penyimpangan angular yaw sumbu X.....	94
III.12.8	Pengaturan pengukuran laser interferometer pada penyimpangan angular yaw sumbu Y.....	96
III.12.9	Pengaturan pengukuran laser interferometer pada penyimpangan angular yaw sumbu Z.....	98
III.13	<i>Design</i> Alat Bantu.....	99

III.14	Perbandingan <i>Class</i> Mesin CMM.....	101
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....		115
IV.1	Program <i>Capture Data</i> Untuk Pengukuran Penyimpangan Pada Mesin CMM	115
IV.1.1	Program hasil <i>generate CARTO angular</i> sumbu X.....	115
IV.1.2	Program hasil <i>generate CARTO angular</i> sumbu Y.....	117
IV.1.3	Program hasil <i>generate CARTO angular</i> sumbu Z.....	118
IV.1.4	Program Program hasil <i>generate CARTO</i> pemosisian dan keterulangan ISO 10360 sumbu X.....	119
IV.1.5	Program Program hasil <i>generate CARTO</i> pemosisian dan keterulangan ISO 10360 sumbu Y.....	120
IV.1.6	Program Program hasil <i>generate CARTO</i> pemosisian dan keterulangan ISO 10360 sumbu Z.....	122
IV.1.7	Program pembuatan origin CMM.....	123
IV.1.8	Program hasil modifikasi pada program MCOSMOS linier dan angular sumbu X.....	125
IV.1.9	Program hasil modifikasi pada program MCOSMOS linier dan angular sumbu Y.....	129
IV.1.10	Program hasil modifikasi pada program MCOSMOS linier dan angular sumbu Z.....	134
IV.1.11	Program hasil modifikasi pada program MCOSMOS pemosisian dan keterulangan ISO 10360 sumbu X.....	137
IV.1.12	Program hasil modifikasi pada program MCOSMOS pemosisian dan keterulangan ISO 10360 sumbu Y.....	142
IV.1.13	Program hasil modifikasi pada program MCOSMOS pemosisian dan keterulangan ISO 10360 sumbu Z.....	147
IV.2	Pembuatan Alat Bantu.....	151
IV.3	Pengukuran Laser Interferometer.....	153
IV.3.1	Pengukuran penyimpangan pemosisian dan keterulangan sumbu X ..	154
IV.3.2	Pengukuran penyimpangan pemosisian dan keterulangan sumbu Y ..	159
IV.3.3	Pengukuran penyimpangan pemosisian dan keterulangan sumbu Z...	163
IV.3.4	Pengukuran penyimpangan angular pitch sumbu X.....	166
IV.3.5	Pengukuran penyimpangan angular pitch sumbu Y.....	167
IV.3.6	Pengukuran penyimpangan angular pitch sumbu Z.....	168

IV.3.7	Pengukuran penyimpangan angular yaw sumbu X.....	170
IV.3.8	Pengukuran penyimpangan angular yaw sumbu Y.....	171
IV.3.9	Pengukuran penyimpangan angular yaw sumbu Z.....	172
IV.4	Perhitungan Maximum Permissible Error Penyimpangan Pemosisian dan Keterulangan ISO 10360.....	174
IV.5	Hasil dan Analisa Pengukuran Menggunakan Laser Interferometer.....	180
IV.5.1	Penyimpangan pemosisian dan keterluangan sumbu linear.....	180
IV.5.2	Penyimpangan <i>angular pitch</i>	195
IV.5.3	Penyimpangan <i>angular yaw</i>	204
IV.6	Parameter Kompensasi Penyimpangan Geometri.....	214
IV.6.1	Kompensasi Pemosisian dan Keterulangan ISO 10360 Sumbu X.....	216
IV.6.2	Kompensasi Pemosisian dan Keterulangan ISO 10360 Sumbu Y.....	218
IV.6.3	Kompensasi Pemosisian dan Keterulangan ISO 10360 Sumbu Z.....	221
IV.6.4	Kompensasi <i>Angular Pitch</i> Sumbu X.....	223
IV.6.5	Kompensasi <i>Angular Pitch</i> Sumbu Y.....	225
IV.6.6	Kompensasi <i>Angular Pitch</i> Sumbu Z.....	228
IV.6.7	Kompensasi <i>Angular Yaw</i> Sumbu X.....	230
IV.6.8	Kompensasi <i>Angular Yaw</i> Sumbu Y.....	233
IV.6.9	Kompensasi <i>Angular Yaw</i> Sumbu Z.....	235
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN.....	246
V.1	Kesimpulan.....	246
V.2	Saran.....	249
DAFTAR PUSTAKA.....		251

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Jenis Penyimpangan Geometri	9
Tabel 2. 2 Persyaratan ketelitian geometri berdasarkan ISO 10791-2:2001	42
Tabel 2. 3 Simbol pada ISO 10360	48
Tabel 2. 4 Posisi pengukuran volumetrik menggunakan Caliper Checker	49
Tabel 3. 1 Spesifikasi mesin CMM Mitutoyo BHN 706.....	61
Tabel 3. 2 Komponen Laser Interferometer XL – 80.....	62
Tabel 3. 3 MPE Mesin CMM Mitutoyo BHN 706.....	69
Tabel 3. 4 MPE Mesin CMM Mitutoyo BHN 706 setelah dihitung	70
Tabel 3. 5 Parameter pengukuran penyimpangan pemosisian dan keterulangan sumbu linear.....	73
Tabel 3. 6 Parameter pengukuran penyimpangan angular sumbu mesin	74
Tabel 3. 7 Spesifikasi Mesin CMM Mitutoyo Crysta Series.....	102
Tabel 3. 8 Perbandingan MPE Mesin CMM Mitutoyo	104
Tabel 3. 9 Perbandingan MPE Mesin CMM Mitutoyo Setelah Dihitung	112
Tabel 4. 1 Program pembuatan origin CMM	123
Tabel 4. 2 Program hasil modifikasi pada program MCOSMOS <i>linier</i> dan <i>angular</i> sumbu X	125
Tabel 4. 3 Program hasil modifikasi pada program MCOSMOS <i>linier</i> dan <i>angular</i> sumbu Y	129
Tabel 4. 4 Program hasil modifikasi pada program MCOSMOS <i>linier</i> dan <i>angular</i> sumbu Z.....	134
Tabel 4. 5 Program hasil modifikasi pada program MCOSMOS pemosisian dan keterulangan ISO 10360 sumbu X	137
Tabel 4. 6 Program hasil modifikasi pada program MCOSMOS pemosisian dan keterulangan ISO 10360 sumbu Y	142
Tabel 4. 7 Program hasil modifikasi pada program MCOSMOS pemosisian dan keterulangan ISO 10360 sumbu Z.....	147
Tabel 4. 8 Pengukuran Pemosisian dan Keterulangan ISO 10360 Sumbu X.....	155
Tabel 4. 9 Pengukuran Pemosisian dan Keterulangan ISO 10360 Sumbu Y.....	160
Tabel 4. 10 Pengukuran Pemosisian dan Keterulangan ISO 10360 Sumbu Z	164
Tabel 4. 11 Pengukuran <i>angular pitch</i> Sumbu X.....	166
Tabel 4. 12 Pengukuran <i>angular pitch</i> Sumbu Y.....	167
Tabel 4. 13 Pengukuran <i>angular pitch</i> Sumbu Z	169
Tabel 4. 14 Pengukuran angular yaw Sumbu X.....	170
Tabel 4. 15 Pengukuran <i>angular yaw</i> Sumbu Y.....	171
Tabel 4. 16 Pengukuran <i>angular yaw</i> Sumbu Z.....	173
Tabel 4. 17 Tabel <i>Maximum Permissible Error</i> Mitutoyo BHN 706	175
Tabel 4. 18 Parameter Pengukuran CMM Mitutoyo BHN 706.....	175

Tabel 4. 19 Formulasi MPE (Mitutoyo BHN 706) Sumbu X	176
Tabel 4. 20 Formulasi MPE (Mitutoyo BHN 706) Sumbu Y	178
Tabel 4. 21 Formulasi MPE (Mitutoyo BHN 706) Sumbu Z.....	179
Tabel 4. 22 Hasil Pengukuran Pemosisian dan Keterulangan ISO 230	181
Tabel 4. 23 Hasil <i>Pengukuran</i> Pemosisian dan Keterulangan ISO 10360	186
Tabel 4. 24 Hasil Pengukuran <i>Angular Pitch</i>	196
Tabel 4. 25 Hasil Pengukuran <i>Angular Yaw</i>	205
Tabel 4. 26 Parameter Kompensasi Pemosisian dan Keterulangan ISO 10360 Sumbu X.....	216
Tabel 4. 27 Hasil Kompensasi Pemosisian dan Keterulangan ISO 10360 Sumbu X	217
Tabel 4. 28 Parameter Kompensasi Pemosisian dan Keterulangan ISO 10360 Sumbu Y	218
Tabel 4. 29 Hasil Kompensasi Pemosisian dan Keterulangan ISO 10360 Sumbu Y	219
Tabel 4. 30 Parameter Kompensasi Pemosisian dan Keterulangan ISO 10360 Sumbu Z	221
Tabel 4. 31 Hasil Kompensasi Pemosisian dan Keterulangan ISO 10360 Sumbu Z.....	221
Tabel 4. 32 Parameter Kompensasi <i>Angular Pitch</i> Sumbu X	223
Tabel 4. 33 Hasil Kompensasi <i>Angular Pitch</i> Sumbu X.....	224
Tabel 4. 34 Parameter Kompensasi <i>Angular Pitch</i> Sumbu Y	225
Tabel 4. 35 Hasil Kompensasi <i>Angular Pitch</i> Sumbu Y	226
Tabel 4. 36 Parameter Kompensasi <i>Angular Pitch</i> Sumbu Z.....	228
Tabel 4. 37 Hasil Kompensasi <i>Angular Pitch</i> Sumbu Z	229
Tabel 4. 38 Parameter Kompensasi <i>Angular Yaw</i> Sumbu X.....	230
Tabel 4. 39 Hasil Kompensasi <i>Angular Yaw</i> Sumbu X.....	231
Tabel 4. 40 Parameter Kompensasi <i>Angular Yaw</i> Sumbu Y	233
Tabel 4. 41 Hasil Kompensasi <i>Angular Yaw</i> Sumbu Y.....	234
Tabel 4. 42 Parameter Kompensasi <i>Angular Yaw</i> Sumbu Z	235
Tabel 4. 43 Hasil Kompensasi <i>Angular Yaw</i> Sumbu Z	236

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 <i>Coordinate Measuring Machine</i> Mitutoyo BHN706	7
Gambar 2. 2 penyimpangan pemosisian dan keterulangan sumbu linier	10
Gambar 2. 3 penyimpangan kelurusan pada sumbu mesin	11
Gambar 2. 4 penyimpangan <i>angular</i> pada sumbu mesin	12
Gambar 2. 5 pengukuran pemosisian dan keterulangan sumbu linier	14
Gambar 2. 6 pengukuran kelurusan pada sumbu mesin	14
Gambar 2. 7 pengukuran kelurusan sumbu vertikal mesin	15
Gambar 2. 8 pengukuran angular pitch pada sumbu mesin.....	16
Gambar 2. 9 pengukuran angular yaw pada sumbu mesin.....	16
Gambar 2. 10 pengukuran ketegaklurusan pada sumbu mesin	17
Gambar 2. 11 pengukuran ketegaklurusan sumbu vertikal	18
Gambar 2. 12 pengukuran kelurusan menggunakan straightedge	20
Gambar 2. 13 Pengukuran Kesalahan Kelurusan menggunakan <i>Taut Wire</i> dan <i>Microscope</i>	21
Gambar 2. 14 Pengukuran Kesalahan Kelurusan Menggunakan <i>Alignment Telescope</i>	22
Gambar 2. 15 Pengukuran X' - <i>Axis Angular Error Motion (Roll)</i> Menggunakan <i>Precision Levels</i>	25
Gambar 2. 16 Pengukuran Kesalahan Gerak <i>Angular</i> Menggunakan <i>Autocollimator</i>	26
Gambar 2. 17 Pengukuran Kesalahan Gerak <i>Angular</i> Menggunakan Laser Interferometer.....	27
Gambar 2. 18 Pengukuran <i>Roll of Vertical Moving Slide</i> Menggunakan <i>Differential Straightness Measurements</i>	27
Gambar 2. 19 Pengukuran Penyimpangan Kerataan Menggunakan <i>Reference Surface Plate</i>	28
Gambar 2. 20 Pengukuran Kesalahan Kesejajaran Antara Sumbu Linear dan Sumbu Rotasi Menggunakan <i>Test Sphere</i>	31
Gambar 2. 21 <i>Standard CMM</i> Mitutoyo	43
Gambar 2. 22 ISO 10360 Series	43
Gambar 2. 23 grafik <i>Maximum Permissible Error</i> tipe A.....	45
Gambar 2. 24 grafik <i>Maximum Permissible Error</i> tipe B.....	45
Gambar 2. 25 grafik <i>Maximum Permissible Error</i> tipe C.....	46
Gambar 2. 26 posisi pengukuran menggunakan <i>caliper checker</i>	47
Gambar 2. 27 posisi pengukuran menggunakan <i>caliper checker</i> secara diagonal	51
Gambar 2. 28 metoda pengukuran penyimpangan geometri mesin CMM secara <i>bidirectional</i>	52

Gambar 2. 29 metoda pengukuran penyimpangan geometri mesin CMM secara <i>unidirectional</i>	54
Gambar 3. 1 diagram alir penelitian	55
Gambar 3. 2 Diagram alir pengukuran laser interferometer pada mesin.....	57
Gambar 3. 3 Skema pengukuran <i>angular</i> sumbu X	76
Gambar 3. 4 Skema pengukuran <i>angular</i> sumbu Y	77
Gambar 3. 5 Skema pengukuran <i>angular</i> sumbu Z.....	78
Gambar 3. 6 Skema pengukuran pemosisian dan keterulangan ISO 10360 sumbu X	79
Gambar 3. 7 Skema pengukuran pemosisian dan keterulangan ISO 10360 sumbu Y	80
Gambar 3. 8 Skema pengukuran pemosisian dan keterulangan ISO 10360 sumbu Z	81
Gambar 3. 9 Pengaturan pengukuran laser interferometer pada penyimpangan pemosisian dan keterulangan sumbu X.....	82
Gambar 3. 10 Visualisasi pengaturan pengukuran pemosisian dan keterulangan ISO 10360 sumbu X.....	83
Gambar 3. 11 Pengaturan pengukuran laser interferometer pada penyimpangan pemosisian dan keterulangan sumbu Y.....	84
Gambar 3. 12 Visualisasi pengaturan pengukuran pemosisian dan keterulangan ISO 10360 sumbu Y	85
Gambar 3. 13 Pengaturan pengukuran laser interferometer pada penyimpangan pemosisian dan keterulangan sumbu Z.....	86
Gambar 3. 14 Visualisasi pengaturan pengukuran pemosisian dan keterulangan ISO 10360 sumbu Z.....	87
Gambar 3. 15 Pengaturan pengukuran laser interferometer pada penyimpangan <i>angular pitch</i> sumbu X.....	88
Gambar 3. 16 Visualisasi pengaturan pengukuran <i>angular pitch</i> sumbu X.....	89
Gambar 3. 17 Pengaturan pengukuran laser interferometer pada penyimpangan <i>angular pitch</i> sumbu Y.....	90
Gambar 3. 18 Visualisasi pengaturan pengukuran <i>angular pitch</i> sumbu Y	91
Gambar 3. 19 Pengaturan pengukuran laser interferometer pada penyimpangan <i>angular pitch</i> sumbu Z.....	92
Gambar 3. 20 Visualisasi pengaturan pengukuran <i>angular pitch</i> sumbu Z	93
Gambar 3. 21 Pengaturan pengukuran laser interferometer pada penyimpangan <i>angular yaw</i> sumbu X.....	94
Gambar 3. 22 Visualisasi pengaturan pengukuran <i>angular yaw</i> sumbu X	95
Gambar 3. 23 Pengaturan pengukuran laser interferometer pada penyimpangan <i>angular yaw</i> sumbu Y	96
Gambar 3. 24 Visualisasi pengaturan pengukuran <i>angular yaw</i> sumbu Y	97

Gambar 3. 25 Pengaturan pengukuran laser interferometer pada penyimpangan <i>angular yaw</i> sumbu Z.....	98
Gambar 3. 26 Visualisasi pengaturan pengukuran angular yaw sumbu Z	99
Gambar 3. 27 <i>Design</i> alat bantu pada <i>software Solidwork</i>	100
Gambar 3. 28 <i>Assembly</i> alat bantu.....	101
Gambar 3. 29 <i>Assembly</i> alat bantu dengan <i>probe</i>	101
Gambar 3. 30 Crysta-Plus M443 dan Crysta-Plus M574	102
Gambar 3. 31 Crysta-Plus M7106	102
Gambar 4. 1 Pemasangan Alat Bantu Pada Probe Head	151
Gambar 4. 2 pengaturan pengukuran pemosisian dan keterulangan ISO 10360 CARTO	155
Gambar 4. 3 Visualisasi 3D Pengukuran Pemosisian dan Keterulangan ISO 10360 Sumbu X.....	156
Gambar 4. 4 Visualisasi 3D Pengukuran Pemosisian dan Keterulangan ISO 10360 Sumbu Y.....	161
Gambar 4. 5 Visualisasi 3D Pengukuran Pemosisian dan Keterulangan ISO 10360 Sumbu Z.....	165
Gambar 4. 6 Visualisasi 3D Pengukuran <i>Angular Pitch</i> Sumbu X.....	167
Gambar 4. 7 Visualisasi 3D Pengukuran <i>Angular Pitch</i> Sumbu Y.....	168
Gambar 4. 8 Visualisasi 3D Pengukuran <i>Angular Pitch</i> Sumbu Z	169
Gambar 4. 9 Visualisasi 3D Pengukuran <i>Angular Yaw</i> Sumbu X.....	171
Gambar 4. 10 Visualisasi 3D Pengukuran <i>Angular Yaw</i> Sumbu Y.....	172
Gambar 4. 11 Visualisasi 3D Pengukuran <i>Angular Yaw</i> Sumbu Z.....	174
Gambar 4. 12 Grafik MPE Pemosisian dan Keterulangan ISO 10360 Sumbu X ...	177
Gambar 4. 13 Grafik MPE Pemosisian dan Keterulangan ISO 10360 Sumbu Y ...	179
Gambar 4. 14 Grafik MPE Pemosisian dan Keterulangan ISO 10360 Sumbu Z....	180
Gambar 4. 15 <i>Grafik</i> pemosisian dan keterulangan ISO 230 sumbu X	185
Gambar 4. 16 <i>Grafik pemosisian</i> dan keterulangan ISO 230 sumbu Y	185
Gambar 4. 17 <i>Grafik</i> pemosisian dan keterulangan ISO 230 sumbu Z.....	186
Gambar 4. 18 Grafik Pemosisian dan Keterulangan ISO 10360 Sumbu X CARTO	188
Gambar 4. 19 Grafik Pemosisian dan Keterulangan ISO 10360 Sumbu X <i>Excel</i> ... 188	
Gambar 4. 20 Grafik Pemosisian dan Keterulangan ISO 10360 Sumbu Y CARTO	189
Gambar 4. 21 Grafik Pemosisian dan Keterulangan ISO 10360 Sumbu Y <i>Excel</i> ... 189	
Gambar 4. 22 Grafik Pemosisian dan Keterulangan ISO 10360 Sumbu Z CARTO. 190	
Gambar 4. 23 Grafik Pemosisian dan Keterulangan ISO 10360 Sumbu Z <i>Excel</i> ... 191	
Gambar 4. 24 Grafik <i>Angular Pitch</i> Sumbu X CARTO	203
Gambar 4. 25 Grafik <i>Angular Pitch</i> Sumbu Y CARTO	203
Gambar 4. 26 Grafik <i>Angular Pitch</i> Sumbu Z CARTO	204
Gambar 4. 27 Grafik <i>Angular Yaw</i> Sumbu X CARTO	212

Gambar 4. 28 Grafik <i>Angular Yaw</i> Sumbu Y CARTO	213
Gambar 4. 29 Grafik <i>Angular Yaw</i> Sumbu Z CARTO.....	213
Gambar 4. 30 <i>Icon</i> Kompensasi Pada <i>Software</i> CARTO.....	214
Gambar 4. 31 Interface Parameter Kompensasi	215
Gambar 4. 32 Grafik Kompensasi Pemosisian dan Keterulangan ISO 10360 Sumbu X.....	218
Gambar 4. 33 Grafik Kompensasi Pemosisian dan Keterulangan ISO 10360 Sumbu Y	220
Gambar 4. 34 Grafik Kompensasi Pemosisian dan Keterulangan ISO 10360 Sumbu Z	222
Gambar 4. 35 Grafik Kompensasi <i>Angular Pitch</i> Sumbu X	225
Gambar 4. 36 Grafik Kompensasi <i>Angular Pitch</i> Sumbu Y	227
Gambar 4. 37 Grafik Kompensasi <i>Angular Pitch</i> Sumbu Z.....	230
Gambar 4. 38 Grafik Kompensasi <i>Angular Yaw</i> Sumbu X.....	232
Gambar 4. 39 Grafik Kompensasi <i>Angular Yaw</i> Sumbu Y.....	235
Gambar 4. 40 Grafik Kompensasi <i>Angular Yaw</i> Sumbu Z	237

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A	<i>Design</i> Alat Bantu
Lampiran B	<i>Setting</i> Pengukuran pemosisian dan keterulangan ISO 10360
Lampiran C	<i>Setting</i> Pengukuran <i>Angular Pitch</i>
Lampiran D	<i>Setting</i> Pengukuran <i>Angular Yaw</i>
Lampiran E	Perhitungan Kecukupan Data
Lampiran F	Perhitungan Manual
Lampiran G	Perbandingan Hasil CARTO Dengan Perhitungan Manual
Lampiran H	Operational Plan Alat Bantu
Lampiran I	Spesifikasi Mesin CMM Crysta – APEX S500/700/900/1200

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Dalam dunia industri, pemesinan sering dilakukan baik mesin perkakas konvensional ataupun berbasis automasi. Dalam kegiatan produksi tingkat kepresisian sangat dituntut pada dunia industri mengingat hal ini sangat diperlukan baik itu komponen ataupun *assembly part*. Salah satu mesin yang memerlukan tingkat kepresisian yang sangat tinggi adalah mesin *Coordinate Measuring Machine (CMM)*.

Mesin *Coordinate Measuring Machine (CMM)* adalah sebuah mesin pengukur multi fungsi berkecepatan tinggi yang menghasilkan akurasi dan efisiensi pengukuran yang tinggi. Dengan melihat kepresisian yang dibutuhkan pada mesin CMM ini sangat tinggi maka salah satu faktor yang mempengaruhi hasil dari pengukuran yang akurat dan presisi adalah geometri.

Geometri adalah salah satu hal yang menentukan hasil dari benda kerja yang dikerjakan oleh mesin, jika geometri yang dimiliki oleh mesin baik maka hasil yang dihasilkan oleh mesin tersebut akan baik. Pada setiap mesin pasti ada *error* geometri yang terjadi mengingat banyak faktor yang mempengaruhi baik dari kondisi mesin ataupun kesalaham manusia (*human error*). Oleh karena itu perlu dilakukannya analisis error geometri yang terjadi pada mesin.

Hal inilah yang melatarbelakangi mahasiswa untuk melakukan analisis geometri *error* yang terjadi pada mesin *Coordinate Measuring Machine (CMM)* mengingat ketelitian yang tinggi perlu dilakukan pada mesin *Coordinate Measuring Machine (CMM)* ini.

I.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diterangkan diatas, maka penulis merumuskan masalah antara lain sebagai berikut :

- a. Bagaimana mengidentifikasi penyimpangan geometri *angular* dan *accuracy repeatability* ISO 10360 pada mesin *Coordinate Measuring Machine* Mitutoyo BHN706 ?

- b. Bagaimana mengolah data hasil pengukuran dan analisis data pengukuran penyimpangan geometri *angular* dan *accuracy repeatability* ISO 10360 pada mesin Coordinate Measuring Machine Mitutoyo BHN706 ?
- c. Bagaimana status penyimpangan geometri *angular* dan *accuracy repeatability* ISO 10360 terhadap toleransi ?

I.3 Ruang Lingkup dan Batasan Masalah

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dijabarkan, maka penulis dapat menuliskan ruang lingkup dan batasan masalah antara lain sebagai berikut :

- a. Objek mesin yang diukur adalah mesin *Coordinate Measuring Machine* (CMM) Mitutoyo BHN 706 di *Workshop* Jurusan Teknik Manufaktur, Politeknik Manufaktur Bandung.
- b. Alat yang digunakan adalah laser interferometer.
- c. Kondisi penyimpangan geometri mesin CMM yang diukur dan dianalisa adalah 9 penyimpangan geometri
- d. Data yang telah didapat akan dianalisa untuk melihat penyimpangan yang terjadi pada mesin CMM.

I.4 Tujuan

Adapun tujuan dari penulisan karya tulis ilmiah ini adalah :

- a. Mengidentifikasi penyimpangan geometri *angular* dan *accuracy repeatability* ISO 10360 yang terjadi pada mesin *Coordinate Measuring Machine* (CMM) Mitutoyo BHN706
- b. Mengolah data hasil pengukuran dan analisis data pengukuran penyimpangan geometri *angular* dan *accuracy repeatability* ISO 10360 yang terjadi pada mesin *Coordinate Measuring Machine* (CMM) Mitutoyo BHN706
- c. Mengetahui geometrik error mesin CMM mitutoyo BHN 706, dan status geometrik error *in or exceed tolerant*

I.5 Manfaat

Manfaat yang diharapkan penulis dari hasil penelitian ini antara lain :

1. Dengan adanya penelitian ini, penulis dapat mengetahui dan memahami lebih dalam tentang analisa penyimpangan geometri menggunakan laser interferometer
2. Hasil penelitian ini dapat dijadikan referensi dalam proses penelitian yang berkaitan dengan penyimpangan geometri.
3. Dengan dilakukannya penelitian ini, kita dapat mengetahui keadaan penyimpangan yang dimiliki oleh mesin CMM Mitutoyo BHN706, sehingga diharapkan dengan melakukan tindakan lebih lanjut akan meningkatkan kualitas produk.

I.6 Sistematika Penulisan

Dalam penulisan karya tulis ilmiah ini penulis menggunakan sistematika penulisan adalah sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN, berisi mengenai latar belakang, rumusan masalah, ruang lingkup, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, metodologi, dan sistematika penulisan.

BAB II KAJIAN PUSTAKA, berisi mengenai teori yang mendukung dan berkaitan dalam proses pengukuran, analisa, dan perbaikan penyimpangan geometri mesin *coordinate measuring machine* (CMM) Mitutoyo BHN 706.

BAB III PERENCANAAN KEGIATAN, berisi mengenai rancangan dari seluruh kegiatan pengukuran, analisa, dan perbaikan penyimpangan geometri mesin *coordinate measuring machine* (CMM) Mitutoyo BHN 706.

BAB IV PELAKSANAAN, berisi mengenai hasil pengukuran, dan hasil analisa penyimpangan, penyimpangan geometri mesin *coordinate measuring machine* (CMM) Mitutoyo BHN 706.

BAB V PENUTUP, berisi kesimpulan dan saran yang didapat dari hasil seluruh kegiatan dari proses analisis penyimpangan geometri pada mesin *coordinate measuring machine* (CMM) Mitutoyo BHN 706.

