

**PEMBUATAN ALGORITMA EVALUASI GEOMETRI
SILINDRISITAS PADA PERANGKAT LUNAK *COMPUTER*
*AIDED INSPECTION PLANNING***

TUGAS AKHIR

Disusun sebagai salah satu syarat untuk
menyelesaikan pendidikan Sarjana Terapan Diploma IV

Oleh

Ilham Eka Prasetya

219411009



**PROGRAM STUDI TEKNIK REKAYASA MANUFAKTUR
JURUSAN TEKNIK MANUFAKTUR
POLITEKNIK MANUFAKTUR BANDUNG
2023**

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas Akhir yang berjudul:

**Pembuatan Algoritma Evaluasi Geometri Silindrisitas pada
Perangkat Lunak *Computer Aided Inspection Planning***

Oleh

Ilham Eka Prasetya

219411009

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

Bandung, 1 September 2023

Disetujui,

Pembimbing I,

Pembimbing II,



Andri Pratama, S.ST., M.Sc.
NIP: 198509252018031001



Yogi Muldani H, S.ST., MT., Ph.D.,IPM.
NIP: 198611222009121004

Disahkan,
Ketua Penguji,



Iwan Harianton, BSME. M.Eng.
NIP: 196405071992011001

Penguji I,

Penguji II,



M. Ali Suparman, Masch.Ing.HTL, MT.
NIP: 196011011989031000



Haris Setiawan, S.ST., M.T.
NIP: 197512042001121001

PERNYATAAN HAK KEKAYAAN INTELEKTUAL (HKI)

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

Nama : Ilham Eka Prasetya
NIM : 219411009
Jurusan : Teknik Manufaktur
Program Studi : Teknologi Rekayasa Manufaktur
Jenjang Studi : Diploma 4
Jenis Karya : Tugas Akhir
Judul Karya : Pembuatan Algoritma Evaluasi Kebulatan pada Perangkat Lunak *Computer Aided Inspection Planning* dengan Menggunakan Bahasa Pemrograman Python

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 : 1 September 2023
Yang Menyatakan,

(Ilham Eka Prasetya)
NIM 219411009

MOTO PRIBADI

Takdir adalah sesuatu yang Allah izinkan terjadi hingga saat ini. Apa yang terjadi di masa depan adalah imbas dari pilihan yang kita pilih saat ini. Selalu bersyukur dan berprasangka baik pada Allah karena sejatinya Allah selalu menghendaki hal-hal baik terjadi pada kita.

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah SWT yang hanya kepadaNya kami memuji, memohon pertolongan, dan mohon keampunan. Kami berlindung kepadaNya dari kekejian diri dan kejahatan amalan kami. Barang siapa yang diberi petunjuk oleh Allah maka tidak ada yang dapat menyesatkan, dan barang siapa yang tersesat dari jalanNya maka tidak ada yang dapat memberinya petunjuk. Dan aku bersaksi bahwa tiada sembah yang berhak disembah melainkan Allah saja, yang tiada sekutu bagiNya. Dan aku bersaksi bahwa Muhammad adalah hambaNya dan RasulNya.

Atas petunjuk dan pertolongan-Nya, Alhamdulillah penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul: “Pembuatan Algoritma Evaluasi Geometri Silindrisitas pada Perangkat Lunak *Computer Aided Inspection Planning*”

Tugas akhir dibuat dalam rangka memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan Sarjana Terapan (Diploma-IV) pada Program Studi Teknologi Rekayasa Manufaktur di Politeknik Manufaktur Bandung.

Terselesaikannya tugas akhir ini tidak terlepas dari bantuan banyak pihak, sehingga pada kesempatan ini dengan segala kerendahan hati dan penuh rasa hormat penulis menghaturkan terima kasih yang sebesar-besarnya bagi semua pihak yang telah memberikan bantuan moril maupun materil baik langsung maupun tidak langsung dalam penyusunan skripsi ini hingga selesai, terutama kepada yang saya hormati:

1. Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya.
2. Teristimewa untuk keluarga tercinta, Bapak Didik Susanto, Ibu Misanah, dan adik saya Naura Syahla, yang selalu memberikan doa serta dukungannya.
3. Pembimbing tugas akhir Andri Pratama, SST., M.Sc., dan Yogi Muldani Hendrawan, SST., MT., Ph.D., IPM. yang telah membimbing penulis dalam menyelesaikan penelitian tugas akhir yang dilakukan.

4. Seluruh dosen, instruktur dan karyawan Politeknik Manufaktur Bandung khususnya jurusan Teknik Manufaktur atas segala ilmu yang telah diberikan.
5. Orang-orang terdekat, saudara, dan kerabat yang selalu memberikan semangat serta motivasi selama penulis berkuliah dan menyelesaikan tugas akhir ini.
6. Seluruh rekan MED 2019 yang telah membantu, membagikan ilmunya, dan selalu memberikan semangat selama 4 tahun berkuliah hingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
7. Rekan rekan RnB 4 yang selalu menyisihkan waktunya untuk mabar, nongkrong, dan melepas stress bersama beristirahat sejenak dari hiruk pikuk kesibukan duniawi.
8. Pihak lain yang tidak dapat disebutkan namanya satu per satu yang telah terlibat dan membantu sehingga tugas akhir ini dapat disusun dengan baik dan lancar.

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. Aamiiin Ya Robbal Alamin.

Bandung, September 2023

Ilham Eka Prasetya

ABSTRAK

Profil lubang silinder pada umumnya digunakan sebagai pasangan poros atau pena pada saat komponen akan diassembly, tentunya profil yang memiliki fungsi seperti lubang silinder membutuhkan kesesuaian bentuk dan nilai penyimpangan minimal. Sehingga dibutuhkan nilai toleransi silindrisitas yang sesuai. Tugas akhir ini mengembangkan algoritma evaluasi geometri 2D berupa evaluasi penyimpangan kebulatan, menjadi evaluasi geometri 3D berupa silindrisitas yang diterapkan pada perangkat lunak CAIP. *Computer Aided Inspection Planning* (CAIP) merupakan perangkat lunak untuk proses inspeksi, dimana pada sistemnya terdapat algoritma untuk mengevaluasi suatu fitur secara otomatis. Proses evaluasi dan inspeksi silindrisitas dilakukan dengan metode *On Machine Measurement* (OMM), metode ini melakukan proses evaluasi pada mesin menggunakan probe yang dipasang pada mesin. Data *toolpath* yang diperoleh dari hasil inspeksi kemudian diolah menggunakan suatu algoritma yang diprogram pada suatu aplikasi evaluasi silindrisitas. Proses ujicoba untuk validasi metode dilakukan dengan mengukur nilai penyimpangan 3 parameter silindrisitas. Hasil dari penelitian ini adalah algoritma yang dibuat telah mampu mengukur nilai penyimpangan silindrisitas lubang silinder yang diukur.

Kata kunci: CAIP, Silindrisitas, OMM, Penyimpangan Silindrisitas

ABSTRACT

Cylindrical hole profiles are generally used as shaft pairs or dowels when components will be assembled, of course, profiles that have functions such as cylindrical holes require shape conformity and minimal deviation values. So that an appropriate cylindricity tolerance value is needed. This final project develops a 2D geometry evaluation algorithm in the form of roundness deviation evaluation, into a 3D geometry evaluation in the form of cylindricity applied to CAIP software. Computer Aided Inspection Planning (CAIP) is a software for inspection process, in which there is an algorithm to evaluate a feature automatically. The cylindricity evaluation and inspection process is carried out with the On Machine Measurement (OMM) method, this method performs the evaluation process on the machine using a probe mounted on the machine. The toolpath data obtained from the inspection results is then processed using an algorithm programmed in a cylindricity evaluation application. The test process for validation of the method is carried out by measuring the deviation value of 3 cylindricity parameters. The result of this research is that the algorithm created has been able to measure the deviation value of the measured cylindrical hole cylindricity.

Key Words: *CAIP, Cylindricity, OMM, Cylindricity deviation*

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
PERNYATAAN HAK KEKAYAAN INTELEKTUAL (HKI).....	iii
MOTO PRIBADI.....	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK	
<i>ABSTRACT</i>	
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR ISI	ix
BAB I PENDAHULUAN.....	I-1
I.1 Latar Belakang	I-1
I.2 Rumusan Masalah.....	I-2
I.3 Batasan Masalah	I-3
I.4 Tujuan dan Manfaat	I-3
I.5 Sistematika Penulisan	I-4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	II-1
II.1 Tinjauan Teori	II-1
II.1.1 <i>Computer Aided Inspection Planning (CAIP)</i>	II-1
II.1.2 Silindrisitas	II-3
II.1.3 <i>Software Model Process</i>	II-10
II.1.4 Ruang Lingkup Standarisasi.....	II-13
II.2 Tinjauan Alat.....	II-14
II.2.1 HYUNDAI WIA F510 M.....	II-14
II.2.2 <i>Probe</i>	II-16
II.2.3 <i>PrimoTM</i> RENISHAW System	II-17
II.2.4 Python.....	II-19
II.3 Studi Penelitian Terdahulu	II-19
BAB III METODOLOGI PENYELESAIAN MASALAH	III-1
III.1 Metodologi Penelitian.....	III-1
III.2 Pembuatan Modul Evaluasi Silindrisitas	III-6

III.2.1	Algoritma Perhitungan Parameter <i>Roundness</i>	III-8
III.2.2	Algoritma Perhitungan Parameter <i>Vertical Straightness</i>	III-10
III.2.2	Algoritma Perhitungan Parameter <i>Parallelism</i>	III-12
III.3	Pembuatan <i>Interface</i>	III-13
III.4	Rencana Pengujian.....	III-15
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	IV-1
IV.1	Hasil Aplikasi	IV-1
IV.1.1	Logo Aplikasi	IV-1
IV.1.2	Tampilan <i>Interface</i> Aplikasi	IV-2
IV.2	Pengujian	IV-3
IV.2.1	Tahapan Pengujian.....	IV-3
IV.3	Analisa Hasil Pengujian.....	IV-10
IV.3.1	Penerapan Formula Kompensasi Titik Sentuh Probe	IV-10
IV.3.2	Kalkulasi <i>Parallelism Value</i>	IV-11
IV.3.2	Analisa Perhitungan <i>Vertical Straightness</i>	IV-11
IV.3.1	Tujuan Kriteria Keberhasilan.....	IV-11
IV.3.2	Analisis Perbandingan Hasil	IV-12
BAB V	PENUTUP.....	V-1
V.1	Kesimpulan.....	V-1
V.2	Saran.....	V-2
DAFTAR PUSTAKA	VI-3

DAFTAR TABEL

Tabel II. 1 Penelitian Terdahulu mengenai CAIP	II-21
Tabel III. 1 Tabel penjelasan diagram alir penelitian	III-4
Tabel IV. 1 Tahapan pengujian aplikasi	IV-4
Tabel IV. 2 Tabel Hasil Pengukuran Manual Benda Uji 1	IV-12
Tabel IV. 3 Tabel Hasil Pengukuran Manual Benda Uji 2	IV-13
Tabel IV. 4 Tabel Hasil Pengukuran Manual Benda Uji 3	IV-14
Tabel IV. 5 Tabel Hasil Pengukuran Manual Benda Uji 4	IV-15
Tabel IV. 6 Tabel Hasil Pengukuran Manual Benda Uji 5	IV-16
Tabel IV. 7 Tabel Hasil Pengukuran OMM Benda Uji 1	IV-17

DAFTAR GAMBAR

Gambar II. 1 Klasifikasi fitur untuk pengembangan CAIP (di adaptasi dari E. A. Nasr et al., Set up planning for automatic generation of inspection plan, The International Conference on Sustainable Intelligent Manufacturing, Lisbon, Portugal, Jun 26–29, 2013.)	II-2
Gambar II. 2 Toleransi geometri silindrisitas	II-4
Gambar II. 3 <i>Median line deviation</i>	II-5
Gambar II. 4 <i>Radial deviation</i>	II-5
Gambar II. 5 <i>Cross-section deviation</i>	II-5
Gambar II. 6 Metode Evaluasi Penyimpangan Silindrisitas	II-7
Gambar II. 7 <i>The waterfall model</i>	II-10
Gambar II. 8 Hyundai WIA F510M.....	II-14
Gambar II. 9 Dimensi Eksternal Ukuran Mesin Hyundai WIA F510M.....	II-15
Gambar II. 10 Dimensi Ukuran Table Mesin Hyundai WIA F510M.....	II-15
Gambar II. 11 Spesifikasi Mesin Hyundai WIA F510M.....	II-16
Gambar II. 12 <i>Primo Radio part setter</i>	II-18
Gambar II. 13 <i>Primo Interface Visual Diagnostics</i>	II-19
Gambar II. 14 Peta Jalan Penelitian CAIP	II-20
Gambar III. 1 Diagram alir penelitian.....	III-1
Gambar III. 2 Diagram alir penelitian.....	III-2
Gambar III. 3 Diagram alir penelitian.....	III-3
Gambar III. 4 Grafik persamaan lingkaran	III-7
Gambar III. 5 <i>Minimum Zone Circle (MZC) method</i>	III-9
Gambar III. 6 <i>Minimum Zone Reference Lines</i>	III-10
Gambar III. 7 Zona toleransi penyimpangan sumbu silinder.....	III-10
Gambar III. 8 Parameter <i>Parallelism</i> pada silinder	III-12
Gambar III. 9 Diagram alir penggunaan <i>interface</i>	III-14
Gambar III. 10 Model 3D benda uji.....	III-15
Gambar IV. 1 Tampilan logo aplikasi <i>Cylindricity Evaluate</i>	IV-1
Gambar IV. 2 Tampilan Interface aplikasi <i>Cylindricity Evaluate</i>	IV-2
Gambar IV. 3 Gambar urutan lubang pada benda uji	IV-3
Gambar IV. 4 Ketidaksesuaian <i>touching point</i> yang terbaca	IV-10

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A Program Aplikasi *Cylindricity Evaluate*

Lampiran B *File Input dan Output (.txt)*

Lampiran B.1 *Input File (.Txt) Data Feature Properties Hole Cylindrical*
Desain Model Uji 1

Lampiran B.2 *Input File (.Txt) data R-parameter hasil pengukuran OMM*

Lampiran B.3 *Output File (.Txt) data report cylindricity detail*

Lampiran B.4 *Output File (.PNG) data grafik polar hasil benda uji 1*

Lampiran C G-Code Inspeksi Kebulatan

Lampiran D Gambar kerja desain model uji

DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN

CAIP	= <i>Computer Aided Inspection Planning</i>
CAD	= <i>Computer Aided Design</i>
CAM	= <i>Computer Aided Manufacturing</i>
CAI	= <i>Computer Aided Inspection</i>
CMM	= <i>Coordinate Measuring Machine</i>
GIP	= <i>Global Inspection Planning</i>
LIP	= <i>Local Inspection Planning</i>
OMM	= <i>On Machine Measurement</i>
CAIPP	= <i>Computer-Aided Inspection Process Planning</i>
MZC	= <i>Minimum Zone Circle</i>
MIC	= <i>Maximum Inscribed Circle</i>
MCC	= <i>Minimum Circumscribed Circle</i>
LSC	= <i>Least-Square Circle</i>
CNC	= <i>Computer Numerical Control</i>
PV	= <i>Parallelism Value</i>
Rdev	= <i>Jari jari deviasi pada vertical straightness</i>

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi industri menuntut inovasi pada proses produksi baik inovasi alat, metode, maupun perangkat lunak yang digunakan. Perkembangan tersebut tak lepas dari bertambahnya permintaan pasar yang semakin meningkat dan beragam, sehingga untuk memenuhi permintaan tersebut dibutuhkan sistem produksi yang efektif dan efisien dalam prosesnya. Pada sistem produksi terdapat proses yang menghasilkan nilai tambah dan proses yang tidak menghasilkan nilai tambah. Proses yang tidak menghasilkan nilai tambah bukan berarti tidak dibutuhkan dalam sistem produksi, karena ada bagian proses ini yang tetap memiliki peranan penting seperti perancangan, setting mesin, inspeksi/QC, dan pengiriman. Dalam proses inspeksi, khususnya evaluasi geometri cukup rumit dilakukan karena diperlukan metode dan alat ukur khusus dalam proses evaluasinya. Maka diperlukan adanya inovasi yang dapat memudahkan proses inspeksi secara langsung pada mesin dengan teknologi *Computer Aided Inspection Planning (CAIP)*.

Computer Aided Inspection Planning (CAIP) merupakan teknologi yang dapat membangun otomasi pada proses inspeksi, dimana proses inspeksi dilakukan dengan menggunakan software yang telah dirancang untuk mengevaluasi geometri tertentu. Proses inspeksi dilakukan dengan metode *On Machine Measurement (OMM)* yang pada prosesnya, suatu komponen akan diukur pada mesin setelah proses machining selesai. Data yang diperoleh dari hasil pengukuran kemudian diolah menggunakan algoritma yang dibuat dan diprogram pada aplikasi tertentu. Tentunya metode ini lebih efisien karena tidak membutuhkan waktu untuk setting alat ukur.

Politeknik Manufaktur telah melakukan penelitian CAIP sejak 3 tahun yang lalu, pada tahun pertama dilakukan penelitian yang telah mampu membuat aplikasi pendeteksi fitur lubang silinder. Aplikasi tersebut dapat memberikan

data berupa informasi fitur lubang silinder berjenis *single feature*. Informasi data yang diberikan mencakup jumlah fitur, jenis fitur, dimensi fitur, koordinat atau posisi fitur dan arah fitur. Pada tahun kedua penelitian dikembangkan dengan menambah dua modul pada sistem CAIP, (*recognition intersection cylindrical hole feature berupa countersink dan counterbore*) yang dapat mengelola data model 3D dalam format STEP file menjadi fitur data yang dapat ditampilkan. Penelitian dikembangkan lebih lanjut pada tahun ketiga dengan beberapa fokus penelitian. Pertama, optimasi jalur inspeksi. Penelitian ini telah mampu membuat aplikasi yang dapat mengoptimalkan jalur probe pada saat proses *on machine measurement* pada profil lubang silinder. Kedua, G-code generator. Penelitian ini mampu menghasilkan G-Code inspeksi pada *hole cylindrical feature* berdasarkan algoritma yang telah dibuat pada aplikasi G-Code Gen. Penelitian selanjutnya berfokus pada proses pasca *inspection planning* dan *inspection code generated*. Penelitian berupa pembuatan algoritma komparasi dimensi posisi dan ukuran *hole cylindrical feature* dan pembuatan algoritma evaluasi geometri kebulatan, dimana pada penelitian ini mampu mengevaluasi dimensi posisi dan ukuran fitur lubang silinder dan penyimpangan kebulatan.

Pada penelitian kali ini akan mengembangkan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya yang telah sampai pada tahap evaluasi geometri 2D berupa penyimpangan kebulatan dengan menambah fitur yang dapat mengevaluasi geometri 3D berupa penyimpangan silindrisitas profil lubang silinder pada sistem CAIP. Diharapkan aplikasi dengan sistem CAIP tersebut dapat mengevaluasi penyimpangan kesilindrisan secara akurat.

I.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana cara membuat sebuah algoritma pengolah data hasil inspeksi pada mesin untuk mengukur penyimpangan silindrisitas?
2. Bagaimana cara membuat sebuah aplikasi yang menunjang algoritma untuk menyimpulkan hasil evaluasi dan inspeksi penyimpangan silindrisitas?
3. Bagaimana cara membuktikan bahwa sistem aplikasi layak digunakan?

I.3 Batasan Masalah

Berdasarkan permasalahan yang didapatkan, agar dapat dibahas lebih spesifik maka dibentuk beberapa batasan masalah sebagai berikut.

1. Modul yang dibuat hanya untuk evaluasi kesilindrisan saja.
2. Program yang dibuat hanya sampai sistem dapat mengevaluasi dan menginspeksi penyimpangan kesilindrisan pada profil lubang bulat.
3. Proses evaluasi dan inspeksi hanya dilakukan pada mesin Hyundai WIA 510M dengan kontrol SIEMENS.
4. Touch probe yang digunakan adalah touch probe RENISHAW.
5. Nilai akurasi mesin yang digunakan diabaikan
6. Nilai kekasaran permukaan diabaikan.

I.4 Tujuan dan Manfaat

Tujuan dari pembuatan algoritma evaluasi kesilindrisan dengan software CAIP adalah

1. Membuat algoritma untuk mengetahui penyimpangan silindrisitas secara matematis berdasarkan data yang diperoleh dari hasil inspeksi pada proses On Machine Measurement.
2. Membuat program untuk menunjang aplikasi evaluasi penyimpangan silindrisitas pada sistem CAIP.
3. Melakukan pengujian aplikasi evaluasi dan inspeksi penyimpangan silindrisitas dan melakukan analisis hasil pengujian untuk membuktikan hasil yang diuji sudah akurat.

Penelitian dalam karya tulis ini diharapkan memiliki manfaat sebagai berikut:

1. Dapat menambah fitur pada sistem CAIP untuk mengevaluasi dan menginspeksi penyimpangan silindrisitas.
2. Dapat dipergunakan sebagai referensi atau bahan perbandingan jika terdapat pengembangan aplikasi sistem cerdas untuk evaluasi dan inspeksi fitur lainnya.

I.5 Sistematika Penulisan

1. BAB I PENDAHULUAN membahas mengenai latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan dan manfaat, dan sistematika penulisan dalam pembuatan algoritma evaluasi silindrisitas.
2. BAB II TINJAUAN PUSTAKA membahas mengenai tinjauan pustaka dan landasan teori yang berkaitan dengan penyelesaian masalah dalam pembuatan algoritma evaluasi silindrisitas.
3. BAB III METODOLOGI PENYELESAIAN MASALAH membahas mengenai metode dan langkah-langkah dalam pembuatan algoritma evaluasi silindrisitas.
4. BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN, berisi hasil pengambilan data yang telah dilakukan dan pembahasan analisa setiap data.
5. BAB V PENUTUP, berisi kesimpulan tugas akhir dan saran untuk pengembangan pada penelitian selanjutnya.