ANALISIS KETELITIAN GEOMETRIK MESIN GURDI TPM D018S DENGAN TAHAPAN *REVERSE ENGINEERING*

Skripsi

diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar

Sarjana Teknik Program Studi Teknik Mesin

Oleh

Fajar Satrio Aji

NIM.5212415005

TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

2019

UNNES

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

ANALISIS KETELITIAN GEOMETRIK MESIN GURDI TPM D018S DENGAN TAHAPAN *REVERSE ENGINEERING*

Skripsi

diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar

Sarjana Teknik Program Studi Teknik Mesin

Oleh

Fajar Satrio Aji

NIM.5212415005

TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

2019

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Nama : Fajar Satrio Aji

NIM : 5212415005

Program Studi : Teknik Mesin

Judul : Analisis Ketelitian Geometrik Mesin Gurdi TPM D018S dengan Tahapan *Reverse Engineering*.

Skripsi ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke sidang panitia ujian skripsi Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

Semarang, 27 September 2019

Pembimbing

Dr. Ir. Rahmat Doni Widodo, S.T., M.T., IPP.

NIP. 197509272006041002

PENGESAHAN

Skripsi dengan judul Analisis Ketelitian Geometrik Mesin Gurdi TPM D018S dengan Tahapan *Reverse Engineering* telah dipertahankan di depan sidang Panitia Ujian Skripsi pada tanggal 30 September 2019

Oleh

Nama : Fajar Satrio Aji

NIM : 5212415005

Program Studi : Teknik Mesin

Panitia:

Ketua	Sekretaris
Rusiyanto, S.Pd., M.T.	Rusiyanto, S.Pd., M.T.
NIP. 197403211999031002	NIP. 197403211999031002

Penguji I	Penguji II	Pembimbing
Dr. Wirawan Sumbodo, M.T.	Samsudin Anis, S.T., M.T., Ph.D.	Dr. Ir. Rahmat Doni Widodo, S.T., M.T., IPP.
NIP. 196601051990021002	NIP. 197601012003121002	NIP. 197509272006041002

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang

Dr. Nur Qudus, M.T., IPM.

NIP. 196911301994031001

PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Skripsi ini, adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik (sarjana, magister, dan/atau doktor), baik di Universitas Negeri Semarang (UNNES) maupun di perguruan tinggi lain.
2. Karya tulis ini adalah murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan pembimbing dan masukan Tim Penguji.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah di tulis atau di publikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan di sebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang di peroleh karena karya ini, serta sanksi lainya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi ini.

Semarang, 26 September 2019

Yang membuat pernyataan,

Fajar Satrio Aji

NIM. 5212415005

MOTTO

Success is walking from failure to failure with no loss of enthusiasm

(Winston Churcill)

RINGKASAN

Aji, Fajar Satrio. 2019. Analisis Ketelitian Geometrik Mesin Gurdi TPM D018S dengan Tahapan *Reverse Engineering*. Dr. Ir. Rahmat Doni Widodo, S.T., M.T., IPP. Teknik Mesin.

Mesin gurdi TPM D018S merupakan produk *reverse engineering*, namun mesin tidak dapat dioperasikan. Tahapan perbaikan dan pengetesan mesin juga belum dilakukan. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui permasalahan ketidakberfungsian mesin dan memperbaikinya serta melakukan analisis ketelitian geometrik mesin gurdi berdasarkan ISO 2773-1.

Perbaikan dilakukan dengan membuat gambar teknik sampai perwujudan komponen. Uji keberfungsian mesin dilakukan untuk memastikan mesin dapat berfungsi sebelum pengetesan ketelitian geometrik dilakukan. Pengetesan ketelitian geometrik dilakukan pada 4 fitur pengukuran yaitu kerataan permukaan meja kerja, ketegaklurusan sumbu spindel terhadap meja kerja, ketegaklurusan meja kerja terhadap gerak vertikal *spindle housing*, ketegaklurusan meja kerja terhadap gerak vertikal *spindle head*.

Hasil perbaikan mesin meliputi penggantian motor, pembuatan poros *driver pulley*, penggantian *bearing cover*, dan penambahan komponen berupa kopling transmisi dan *ring* bantalan gelinding. Hasil pengetesan ketelitian geometrik berdasarkan ISO 2773-1 pada 4 fitur pengukuran menunjukkan bahwa mesin gurdi TPM D018S tidak memenuhi standar karena penyimpangan pada hasil pengukuran melebihi batas toleransi yang diizinkan.

Kata Kunci: Mesin gurdi, Ketelitian geometrik, *Reverse engineering*, ISO 2773-1.

PRAKATA

Puji syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul "Analisis Ketelitian Geometrik Mesin Gurdi TPM D018S dengan Tahapan *Reverse Engineering*". Skripsi ini disusun sebagai salah satu persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi S1 Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang.

Penyelesaian karya tulis ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih serta penghargaan kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Fathur Rokhman, M. Hum., Rektor Universitas Negeri Semarang atas kesempatan yang diberikan kepada penulis untuk menempuh studi di Universitas Negeri Semarang.
2. Bapak Dr. Nur Qudus, M.T., IPM., Dekan Fakultas Teknik, dan Bapak Rusyanto S.Pd., M.T. Ketua Jurusan Teknik Mesin atas fasilitas yang disediakan bagi mahasiswa.
3. Dr. Ir. Rahmat Doni Widodo, S.T., M.T., IPP. Selaku Pembimbing yang penuh perhatian memberikan bimbingan teoretis maupun praktis.
4. Bapak Dr. Wirawan Sumbodo, M.T selaku Penguji I yang telah memberikan arahan agar skripsi ini lebih baik.
5. Samsudin Anis S.T., M.T., Ph.D. selaku Penguji II sekaligus Koordinator Program Studi Teknik Mesin S1 yang telah memberikan arahan untuk skripsi dan kegiatan akademis penlulis.
6. Prof. Ir. Yatna Yuwana Martawirya selaku Ketua Kelompok Keahlian Teknik Produksi Institut Teknologi Bandung (ITB) yang telah memberikan tempat dan fasilitas untuk mengerjakan tugas akhir.
7. Dr. Sri Raharno, S.T., M.T., IPM selaku dosen pembimbing selama penulis melakukan penelitian di ITB yang penuh perhatian membimbing penulisan skripsi.
8. Bapak dan Ibu yang telah memberi semangat dan dukungan kepada saya.
9. Muhammad Bagus Laroybafih, rekan penulis dalam penelitian ini.

10. Seluruh keluarga besar Teknik Mesin S1 angkatan 2015 dan seluruh angkatan.
11. Seluruh keluarga besar Tim Pandawa.
12. Muhammad Zulfahmi, mahasiswa S2 ITB.
13. Bapak Edi, Pak Miftah, Pak Syaiful, Pak Asep, Pak Eko, Teknisi Laboratorium Teknik Produksi ITB.
14. Bagas dan Widi yang telah menjadi rekan diskusi terkait desain.

Penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak, baik akademik, pembaca, serta perkembangan ilmu pengetahuan.

Semarang, 26 September 2019

Penulis

DAFTAR ISI

PERSETUJUAN PEMBIMBING.....**Error! Bookmark not defined.**

PENGESAHAN iv

PERNYATAAN KEASLIAN..... v

MOTTO vi

RINGKASAN viii

PRAKATA..... ix

DAFTAR ISI xi

DAFTAR SINGKATAN TEKNIS DAN LAMBANG xiv

DAFTAR TABEL xvi

DAFTAR GAMBAR xviii

DAFTAR LAMPIRAN xxi

BAB I PENDAHULUAN 1

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Identifikasi Masalah 4

1.3 Pembatasan Masalah 4

1.4 Rumusan Masalah 5

1.5 Tujuan 6

1.6 Manfaat 6

BAB II KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI 8

2.1 Kajian Pustaka..... 8

2.2 Landasan Teori..... 13

2.2.1 *Reverse Engineering* 13

2.2.2 Mesin Gurdi 14

2.2.3 Karakteristik Geometrik..... 17

2.2.4 Pengetesan Ketelitian Geometrik Mesin Gurdi 19
BAB III METODE PENELITIAN..... 26
3.1 Waktu dan Tempat Pelaksanaan 26
3.1.1 Waktu Penelitian 26
3.1.2 Tempat Penelitian..... 26
3.2 Desain Penelitian..... 26
3.2.1 Metode Penelitian..... 26
3.2.2 Proses Penelitian 28
3.3 Alat dan Bahan Penelitian..... 34
3.3.1 Alat Penelitian..... 34
3.3.2 Bahan Penelitian..... 42
3.4 Parameter Penelitian..... 43
3.4.1 Variabel Bebas 43
3.4.2 Variabel Terikat 45
3.5 Teknik Pengumpulan Data..... 45
3.6.1 Jangka Sorong (*Vernier Caliper*)..... 48
3.6.2 *Spirit Level* 48
3.6.3 Dial Gauge 49
3.7 Teknik Analisis Data..... 49
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 51
4.1 Deskripsi Data..... 51
4.1.1 Perbaikan Mesin..... 51
4.1.2 Keberfungsian Mesin 52
4.1.3 Pengetesan Ketelitian Geometrik..... 54
4.2 Analisis Data dan Pembahasan 59

4.2.1 Perbaikan Mesin 59
4.2.2 Keberfungsian Mesin 65
4.2.3 Pengetesan Ketelitian Geometrik 67
BAB V PENUTUP 74
5.1 Kesimpulan 74
5.2 Saran 76
DAFTAR PUSTAKA 77
LAMPIRAN 79

DAFTAR SINGKATAN TEKNIS DAN LAMBANG

%	= Persen
Kemenperin	= Kementerian Perindustrian
TPM	= Teknik Produksi Mesin
ISO	= *International Organization of Standardization*
CAD	= *Computer Aided Design*
α	= Besar sudut (°)
l	= Jarak (mm)
D	= Diameter (mm)
mm	= milimeter
µm	= mikrometer (10^{-6} m)
ITB	= Institut Teknologi Bandung
2D	= Dua Dimensi
3D	= Tiga Dimensi
M	= Metrik
Ø	= Diameter
A	= *Ampere*
W	= *Watt*
kW	= *Kilowatt*

rpm	= *rotation per minute*
V	= *Volt*
HP	= *Horse Power*

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Hasil pengukuran *pararelism* sumbu *spindle* terhadap pergerakan longitudinal *cariage* posisi vertikal…… 10

Tabel 2.2 Toleransi Geometrik Struktur Komponen Mesin Gurdi Worner 12

Tabel 2.3 Simbol Karakteristik Geometrik…… 18

Tabel 3.1 Fitur-fitur yang Diukur……... 30

Tabel 3.2 Rancangan Tabel Permasalahan dan Solusi Perbaikan Mesin…… 46

Tabel 3.3 Rancangan Tabel Hasil Perbaikan Komponen-Komponen Mesin. 46

Tabel 3.4 Rancangan Tabel Hasil Pengukuran Kerataan Permukaan Meja… 46

Tabel 3.5 Rancangan Tabel Hasil Pengukuran Ketegaklurusan Sumbu Spindel terhadap Permukaan Meja Kerja……... 47

Tabel 3.6 Rancangan Tabel Hasil Pengukuran Ketegaklurusan Permukaan Meja Kerja Terhadap Gerak Vertikal *Spindle Housing*……. 47

Tabel 3.7 Rancangan Tabel Hasil Pengukuran Ketegaklurusan Permukaan Meja Kerja Terhadap Gerak Vertikal *Spindle Head*…….. 47

Tabel 4.1 Evaluasi Permasalahan dan langkah perbaikan pada mesin gurdi TPM D018S……... 52

Tabel 4.2 Keberfungsian komponen setelah perbaikan……. 53

Tabel 4.3 Data Pengukuran Kerataan Permukaan Meja Kerja..... 56

Tabel 4.4 Data Pengukuran ketegaklurusan sumbu spindel terhadap permukaan meja kerja…… 57

Tabel 4.5 Data Pengukuran Ketegaklurusan Meja Kerja terhadap Gerak Vertikal *Spindle Housing*……... 58

Tabel 4.6 Data Pengukuran Ketegaklurusan Meja Kerja terhadap Gerak Vertikal *Spindle Head*…… 59

Tabel 4.7 Spesifikasi Motor Moswell…… 60

Tabel 4.8 Spesifikasi Motor Yuema…….. 60

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Konstruksi mesin gurdi TPM D018S……. 8

Gambar 2.2 *Exploded View* Transmisi Mesin Gurdi TPM D018S…… 9

Gambar 2.3 Konstruksi Mesin Gurdi Tegak (*Upright*)…….. 15

Gambar 2.4 Objek Pengukuran *Laveling* Mesin…… 20

Gambar 2.5 Objek Pengukuran Kerataan Meja Kerja …….. 21

Gambar 2.6 Pengukuran *Camming* Meja Putar……. 21

Gambar 2.7 Pengukuran *Run-out Internal Tapper Spindle*……... 22

Gambar 2.8 Pengukuran Kelurusan Pilar dan Kepersegian Sumbu Spindel.. 23

Gambar 2.9 Pengukuran Ketegaklurusan Permukaan Meja Terhadap Gerakan Vertikal *Spindle Housing*…… 24

Gambar 2.10 Pengukuran Ketegaklurusan Permukaan Meja Terhadap Gerakan Vertikal *Spindle Head*……. 24

Gambar 2.11 Grafik Proporsi Toleransi…….. 25

Gambar 3.1 Diagram Alir Proses Penelitian……. 27

Gambar 3.2 Ukuran Permukaan Meja Kerja yang Akan Diukur…….. 31

Gambar 3.3 Titik-titik Pengukuran Kerataan Meja Kerja……. 31

Gambar 3.4 *Internal tapper* spindel mesin gurdi TPM D018S …… 32

Gambar 3.5 Mandrel Untuk Pengukuran *Run-Out Internal Tapper* Spindel. 32

Gambar 3.6 *Axis* pada Pengetesan Ketelitian Geometrik…….. 33

Gambar 3.7 Jangka Sorong…… 34

Gambar 3.8 Mesin Bubut…….. 35

Gambar 3.9 Mesin Frais…… 35

Gambar 3.10 Mesin Gerinda Duduk…… 36

Gambar 3.11 Mesin Las Listrik……... 36

Gambar 3.12 Mesin Gurdi……... 37

Gambar 3.13 Tap……. 37

Gambar 3.14 *Icon* Autodesk Inventor……. 38

Gambar 3.15 Mesin Gurdi TPM D018S…….. 39

Gambar 3.16 *Dial Gauge*…….... 39

Gambar 3.17 *Spirit Level*…… 40

Gambar 3.18 Penyiku…….. 40

Gambar 3.19 Meja Rata…….. 41

Gambar 3.20 Magnet……... 41

Gambar 3.21 Aluminium……. 42

Gambar 3.22 Baja ST 40…….. 43

Gambar 3.23 Baut M4 dan M8……. 43

Gambar 3.24 Kalibrasi *Spirit Level*…….. 49

Gambar 4.1 Proses *Leveling* mesin…… 54

Gambar 4.2 *Mounting* Motor Setelah Modifikasi…….. 61

Gambar 4.3 *Bushing* Motor……... 62

Gambar 4.4 Poros *Driver Pulley*…… 62

Gambar 4.5 Susunan *Driver Pulley* dan Poros dengan Poros Motor……. 63

Gambar 4.6 Rangkaian *Driven Pulley* dengan Penutup Roda Gigi…… 63

Gambar 4.7 Rangkaian *Driven Pulley* dengan *Bearing Cover*……... 64

Gambar 4.8 Posisi *Ring* untuk Menjaga Posisi *Bearing*……. 64

Gambar 4.9 Pemasangan Kopling Transmisi……. 65

Gambar 4.10 Mesin Gurdi TPM D018S Setelah Perbaikan……. 66

Gambar 4.11 Rangkaian Sistem Pemindah Kecepatan Setelah Perbaikan….. 66

Gambar 4.12 Grafik Kerataan Pengukuran Kerataan Permukaan Meja Kerja……... 67

Gambar 4.13 Grafik 3D Pengukuran Kerataan Permukaan Meja Kerja…….. 68

Gambar 4.14 Grafik Ketegaklurusan Sumbu Spindel terhadap permukaan meja kerja……... 69

Gambar 4.15 Grafik Ketegaklurusan Meja Kerja terhadap Gerak Vertikal *Spindle Housing*……. 71

Gambar 4.16 Grafik Pengukuran Ketegaklurusan Permukaan Meja terhadap Gerak Vertikal *Spindle Head*…….. 72

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Struktur Komponen Mesin Gurdi TPM D018S…….. 79

Lampiran 2. Fungsi Komponen-komponen Mesin Gurdi TPM D018S……. 80

Lampiran 3. Gambar Teknik *Mounting Motor* Sebelum perbaikan……... 81

Lampiran 4. Gambar Rancangan *Mounting Motor* Setelah Perbaikan…….. 82

Lampiran 5. Gambar Teknik *Bushing* Motor Sebelum Perbaikan……. 83

Lampiran 6. Gambar Rancangan Poros *Driver Pulley* Setelah Perbaikan…….. 84

Lampiran 7. Gambar Teknik Penutup Roda Gigi Transmisi Sebelum Perbaikan.. 85

Lampiran 8. Gambar Rancangan *Bearing Cover* Setelah Perbaikan……. 86

Lampiran 9. Gambar Rancangan *Ring* Bantalan Gelinding (*Bearing*)…….. 87

Lampiran 10. Gambar Rancangan Kopling Transmisi…….. 88

Lampiran 11. Dokumentasi Penelitian……... 89

Lampiran 12. Sertifikat Magang Tugas Akhir (TA) di ITB……...92

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri manufaktur berperan penting dalam kemajuan bangsa. Laporan Badan Pusat Statistik (2017) menyatakan bahwa kontribusi output sektor industri manufaktur selama periode triwulan I-III tahun 2017 mencapai angka 20 persen, hal ini menunjukan bahwa sektor industri manufaktur menjadi *leading sector* yang memberikan sumbangan terbesar terhadap Produk Domestik Bruto (PDB) dibanding sektor lainnya. Proses pemesinan dengan menggunakan mesin perkakas merupakan proses yang paling banyak digunakan dalam dunia industri, khususnya dalam membuat komponen-komponen mesin (Yanis dan Leonardo, 2015:17). Hal ini menunjukan bahwa setiap pekerjaan industri, khususnya industri manufaktur selalu memerlukan mesin-mesin perkakas dalam menunjang proses produksi atau pemesinan.

Tingginya kontribusi industri manufaktur terhadap PDB tidak selaras dengan keseimbangan ekspor-impor peralatan produksi. Hafid dan Herjanto (2015:50) menyatakan bahwa Industri manufaktur logam nasional belum berkembang, ditandai dengan besarnya impor yang tidak mampu diimbangi dengan peningkatan ekspor produk mesin. Laporan ekspor-impor industri pengolahan dari Kementrian Perindustrian (2018) menunjukkan bahwa sektor industri yang mengalami defisit tertinggi pada bulan Juni 2018 adalah mesin dan Perlengkapan Yang Tidak Dapat Diklasifikasikan di Tempat Lain (YTDL), yaitu senilai US$ 1,11 miliar. Nilai impor

yang tinggi memperlihatkan peluang yang besar untuk memenuhi kebutuhan industri mesin perkakas di dalam negeri.

Industri mesin perkakas didorong agar mandiri dengan upaya penguatan Sumber Daya Manusia (SDM) (Kemenperin, 2014). Salah satu solusi untuk mengatasi masalah pengadaan mesin produksi yaitu dengan melakukan *reverse engineering. Reverse engineering* adalah proses menduplikasi *part, subassembly* atau produk yang sudah ada sebelumnya tanpa gambar, dokumentasi, atau model komputer (Raja dan Fernandes, 2008:1). *Reverse engineering* di industri merupakan suatu langkah meniru produk yang sudah ada (dari produsen lain) sebagai dasar untuk merancang produk baru yang sejenis, dengan mengubah desain, memperkecil kelemahan dan meningkatkan keunggulan produk dari para pendahulunya (Raja dalam Febriantoko, 2012: 319).

Mesin gurdi TPM D018S merupakan produk hasil rekayasa peniruan (*reverse engineering*) yang dilakukan oleh mahasiswa Institut Teknologi Bandung yang ditiru dari mesin gurdi Worner B13S. Mesin gurdi TPM D018S dirancang menggunakan metode perancangan parametrik yang memperkecil hasil produk rekayasa peniruan sebesar 65 % dari produk aslinya. Rekayasa peniruan memuat 7 tahapan hingga produk tiruan siap diproduksi (Rochim, 2012:1). Tahapan perwujudan mesin sudah dilakukan di penelitian sebelumnya, tetapi mesin belum berfungsi dengan baik. Hal itu dapat dilihat dari kondisi mesin yang belum mampu melakukan fungsi *drilling* sehingga tujuan *reverse engineering* belum tercapai. Perlu dilakukan analisis permasalahan terhadap mesin gurdi TPM D018S. Tahap

ke-7 dalam *reverse engineering* yaitu perbaikan dan persiapan produksi produk yang dapat mengaktifkan kembali proses dalam semua tahap (Rochim, 2012:1).

Mesin gurdi TPM D018 dirancang untuk melakukan fungsi pengeboran (*drilling*) terhadap benda kerja logam sehingga menghasilkan produk benda kerja yang baik. Kualitas produk yang dibuat sangat tergantung pada kondisi kerja mesin tersebut. Banyak faktor yang mempengaruhi ketelitian produk tersebut. Salah satu faktor yang berpengaruh adalah ketelitian geometrik mesin perkakas, yang meliputi; ketelitian permukaan referensi, ketelitian gerak linier, ketelitian gerak spindel dan ketelitian perpindahan (Apriana et al., 2015). Pengujian mesin perkakas diperlukan untuk mendapatkan data-data kualitas sebuah mesin perkakas. Pengujian yang dapat dilakukan untuk mengetahui kualitas mesin perkakas yaitu pengujian pada aspek ketelitian geometrik. Hasil pengujian ketelitian geometrik dapat memberikan informasi nilai penyimpangan. Besarnya penyimpangan tidak boleh melewati batas yang diizinkan (Runtu et al., 2015:64).

Penelitian ini menggunakan tahapan *reverse engineering* untuk mengidentifikasi masalah yang terjadi pada mesin gurdi TPM D018S sehingga dapat dilakukan perbaikan pada komponen yang bermasalah. Pengetesan ketelitian geometrik juga akan dilakukan untuk mengevaluasi kelayakan mesin gurdi TPM D018S agar tujuan *reverse engineering* dapat tercapai. Hasil yang diharapkan dari penelitian ini yaitu desain komponen-komponen yang telah dilakukan perbaikan serta data hasil pengetesan ketelitian geometrik mesin yang dapat melengkapi dokumen perancangan *reverse engineering* mesin gurdi TPM D018S.

1.2 Identifikasi Masalah

Identifikasi permasalahan yang timbul akibat latar belakang di atas adalah sebagai berikut:

1. Mesin gurdi TPM D018S tidak dapat menjalankan fungsi *drilling* sehingga perlu diidentifikasi permasalahan yang mengakibatkan mesin tidak berfungsi.
2. Kualitas produk benda kerja yang dibuat dengan mesin sangat tergantung pada kondisi kerja mesin tersebut.
3. Salah satu faktor yang mempengaruhi kualitas produk pada proses produksi menggunakan mesin perkakas adalah ketelitian geometrik mesin.
4. Pengetesan ketelitian geometrik belum dilakukan pada penelitian *reverse engineering* mesin gurdi TPM D018S sebelumnya.

1.3 Pembatasan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah di atas, maka penelitian ini dibatasi oleh parameter-parameter sebagai berikut:

1. Pemodelan geometri komponen mesin gurdi TPM D018S yang dilakukan adalah untuk komponen yang dilakukan perbaikan, penggantian, atau penambahan.
2. Pengetesan ketelitian geometri mengacu pada ISO 2773-1:1973, yaitu *Test conditions for pillar type vertical drilling machines -- Testing of the accuracy -- Part 1: Geometrical tests.*

3. Pengetesan ketelitian geometri mesin gurdi TPM D018S yang akan dilakukan yaitu: Pengukuran kerataan permukaan meja kerja, ketegaklurusan sumbu spindel terhadap permukaan meja kerja, ketegaklurusan permukaan meja kerja terhadap gerak vertikal *spindle housing*, dan ketegaklurusan permukaan meja kerja terhadap gerak vertikal *spindle head*.
4. Pengetesan dilakukan menggunakan alat ukur yang tersedia di tempat penelitian.

1.4 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, dapat dirumuskan permasalahan yang terjadi adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana permasalahan yang mengakibatkan mesin gurdi TPM D018S tidak berfungsi?
2. Bagaimana perbaikan yang dilakukan pada komponen-komponen yang bermasalah pada mesin gurdi TPM D018S?
3. Bagaimana hasil pengetesan ketelitian geometrik mesin gurdi TPM D018S berdasarkan standar ISO 2773-1?
4. Bagaimana kelayakan operasional mesin gurdi TPM D018S berdasarkan hasil pengetesan ketelitian geometrik mesin?

1.5 Tujuan

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi permasalahan yang mengakibatkan mesin gurdi TPM D018S tidak dapat berfungsi.
2. Melakukan perbaikan pada komponen-komponen yang bermasalah.
3. Melakukan pengetesan ketelitian geometrik mesin gurdi TPM D018S berdasarkan standar ISO 2773-1.
4. Mengidentifikasi kelayakan operasional mesin gurdi TPM D018S berdasarkan hasil pengetesan ketelitian geometrik mesin.

1.6 Manfaat

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini dapat menjadi sarana bagi penulis untuk belajar mendalami dan menerapkan ilmu *reverse engineering* mesin perkakas.
2. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi untuk penelitian selanjutnya tentang *reverse engineering* dan pengembangan mesin perkakas.
3. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi sarana untuk menguatkan hubungan kerjasama antara Universitas Negeri Semarang dengan Institut Teknologi Bandung dalam berbagai bidang khususnya untuk pengembangan institusi pendidikan tinggi.

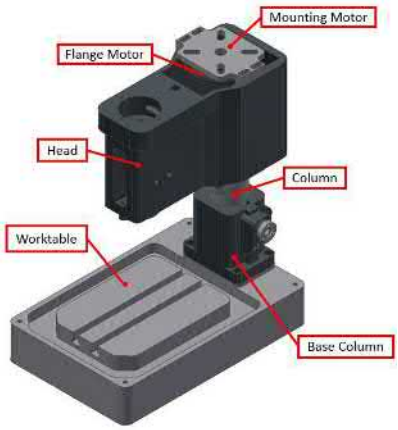
4. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran tentang kondisi industri khususnya mesin perkakas dalam negeri sehingga dapat menjadi motivasi untuk terus berkarya memajukan bangsa.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

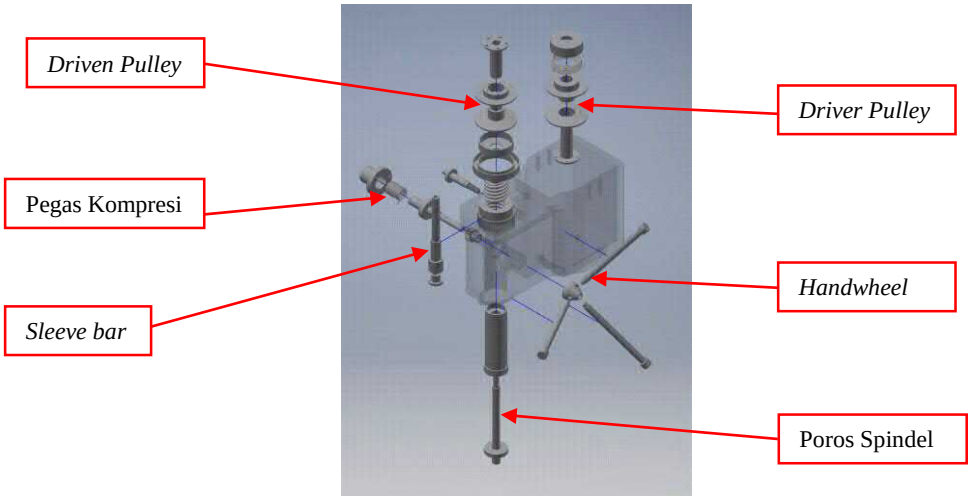
2.1 Kajian Pustaka

Kajian pustaka dilakukan untuk mengkaji penelitian lain yang relevan dengan penelitian ini sehingga dapat menjadi referensi untuk pelaksanaan penelitian. Penelitian tentang perancangan mesin gurdi pernah dilakukan oleh Jayadi pada tahun 2018. Pada penelitian tersebut, Jayadi melakukan rekayasa peniruan (*reverse engineering*) konstruksi mesin gurdi Worner B13S yang diperkecil sebesar 65% dengan metode perancangan parametrik sehingga menghasilkan produk tiruan mesin gurdi TPM D018S yang berukuran lebih kecil dari ukuran mesin asli. Rancangan produk tiruan diawali dengan menentukan hubungan fungsi antar komponen. komponen utama konstruksi mesin gurdi TPM D018S terdiri terdiri dari: *mounting motor, flange motor, head, column, base column,* dan *worktable*. Selanjutnya model rancangan dibuat dengan software Autodesk Inventor. Model rancangan dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Konstruksi mesin gurdi TPM D018S (Jayadi, 2018)

Penelitian tentang perancangan mesin gurdi juga telah dilakukan oleh Siregar pada tahun 2018. Pada penelitian tersebut, Siregar melakukan rekayasa peniruan komponen transmisi mesin gurdi TPM D018S yang diperkecil 65% dari produk aslinya. Hubungan fungsi tiap komponen transmisi ditentukan. Komponen-komponen transmisi mesin gurdi TPM D018S terdiri dari: *driver pulley, poros driver pulley, driven pulley, driven pulley shaft, sleeve bushing, poros spindel, dan pegas kompresi*. Selanjutnya, Model rancangan transmisi mesin gurdi dibuat menggunakan software Autodesk Inventor. Model rancangan transmisi mesin gurdi TPM D018S dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 *Exploded view* transmisi mesin gurdi TPM D018S (Siregar, 2018)

Penelitian untuk menentukan kelayakan operasional mesin perkakas melalui pengujian karakteristik geometrik telah dilakukan oleh Runtu pada tahun 2015. Pengujian dilakukan terhadap mesin bubut Weiler Primus berdasarkan standar ISO 1708. Pengujian yang dilakukan meliputi pengukuran penyelarasan terhadap alas mesin dan eretan, pengukuran kesejajaran gerak pindah kepala lepas relatif terhadap gerak pindah eretan, pengukuran ketelitian spindel utama,

pengukuran kesejajaran sumbu peluncur luar kepala lepas terhadap gerak eretan, dan ketelitian poros pembawa karena keming pada bantalan tekan. Nilai penyimpangan hasil pengujian yang diperoleh selanjutnya dibandingkan dengan nilai penyimpangan yang diizinkan berdasarkan standar ISO 1708. Hasil pengukuran dari lima jenis pengukuran tersebut menunjukan bahwa mesin bubut Weiler Primus memenuhi standar ISO 1708 sehingga memiliki keandalan untuk menghasilkan produk atau benda kerja dengan ketelitian tinggi.

Penelitian tentang analisa kinerja mesin bubut ditinjau dari penyimpangan ketelitian geometrik mesin telah dilakukan oleh Ariyanto pada tahun 2017. Objek pengukuran pada penelitian tersebut adalah mesin bubut DOALL LTI3 yang berjumlah 6 *unit* mesin. Pengukuran geometri mengacu pada standar ISO 1708. Pengukuran yang dilakukan yaitu *measurement of periodic axial slip, Camming of the face plate, run-out spindle nose centring, run-out of axis of centre, pararelism of longitudinal cariage, and run-out of centre.* Berdasarkan hasil pengukuran geometrik, 6 *unit* mesin tersebut sudah keluar dari standar. Data hasil pengukuran *paralelism* sumbu spindel terhadap pergerakan *longitudinal cariage* posisi vertikal dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Hasil pengukuran *pararelism* sumbu *spindle* terhadap pergerakan *longitudinal cariage* posisi vertikal

No	**No mesin**	**Jarak pengukuran (mm)**							**Deviasi yang diizinkan (µm)/300mm**
		0	50	100	150	200	250	300	
		Hasil Pengukuran (µm)							
1	BU 2	0	-13	-5	4	22	44	73	20,32
2	BU 3	0	18	49	55	69	69	71	20,32
3	BU 5	0	39	61	69	70	76	78	20,32
4	BU 6	0	43	60	75	87	87	87	20,32
5	BU 7	0	14	35	54	63	71	78	20,32
6	BU 8	0	34	50	60	58	66	58	20,32

(Sumber: Ariyanto et al., 2017)

Yuhas (2016) melakukan penelitian tentang pengukuran ketelitian statis ketelitian geometrik mesin prekakas. Mesin perkakas yang menjadi objek pengukuran pada penelitian tersebut yaitu mesin bubut Maximat V13. Pengecekan yang dilakukan antara lain meliputi: pengukuran kosentrisitas *spindle* utama, pengukuran kelurusan sumbu *headstock* terhadap *tailstock*, pengukuran kesejajaran sumbu terhadap *bed* mesin, pengukuran ketegaklurusan sumbu terhadap eretan lintang mesin, dan pengukuran *backlash* mesin. Setelah dilakukan pengukuran didapatkan penyimpangan mendekati nilai toleransi, yaitu pengukuran kosentrisitas sumbu = 0,0198 mm (diizinkan = 0,02 mm), kelurusan sumbu = 0,0344 mm (diizinkan = 0,04 mm, kesejajaran sumbu = 0,0281 mm (diizinkan = 0,03 mm), ketegaklurusan sumbu = 0,0198 mm (diizinkan= 0,02 mm), dan pengukuran *backlash* = 0,098 mm (diizinkan = 0,02 mm). Meskipun penyimpangan cukup besar, nilai data pengukuran masih dalam batas toleransi. Saran dari penelitian tersebut yaitu mesin bubut Maximat V13 sebaiknya dikalibrasi karena nilai penyimpangan yang didapat sudah mendekati nilai penyimpangan yang diizinkan.

Wibowo et al. (2018) melakukan penelitian tentang rekayasa peniruan (*reverse engineering*) struktur mesin gurdi Worner. Rekayasa peniruan dilakukan untuk mendapatkan desain struktur mesin yang dapat dibuat oleh sumber daya dengan kemampuan terbatas dengan menggunakan proses sederhana. Proses pembongkaran mesin gurdi dan pengukuran masing-masing komponen dasar dilakukan untuk mendapatkan *set* geometri dan data ukuran masing-masing komponen. Analisis toleransi *stackup* juga dilakukan untuk menentukan jenis dan nilai toleransi geometrik dan dimensi, yang dapat mempengaruhi kemudahan

komponen yang akan diproduksi dan dirakit. Proporsi harga toleransi untuk *subsystem* struktur mesin dan *subsystem* spindel ditentukan berdasarkan jumlah bagian di setiap *subsystem.* Jumlah bagian dalam *subsystem* struktur mesin adalah 6, sedangkan dalam *subsystem* spindel adalah 4 sehingga rasio harga 6: 4. Toleransi geometrik sebagai hasil dari analisis *stackup* toleransi untuk komponen struktur mesin gurdi dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Toleransi Geometrik Struktur Komponen Mesin Gurdi Worner

No	Hubungan fitur geometrik	Bidang X-Z		Bidang Y-Z	
		Sensitivity (E/mm)	Toleransi (mm)	*Sensitivity* (E/mm)	Toleransi (mm)
1	Kesejajaran antara dudukan alas kolom dan meja kerja	0,41	0,001	0,28	0,002
2	Kerataan setiap permukaan yang berpasangan antara dudukan alas kolom dan dudukan pada alas	0,41	0,002	0,28	0,002
		0,41	0,002	0,28	0,002
3	Ketegaklurusan antara sumbu silinder dan dudukan alas kolom	0,29	0,004	0,29	0,002
4	Kesilindrisan setiap silinder yang berpasangan pada dasar alas kolom dan kolom	0,29	0,004	0,29	0,002
		0,29	0,004	0,29	0,002
5	Ketegaklurusan permukaan sambungan *head* terhadap sumbu silinder kolom	0,14	0,005	0,14	0,003
6	Kerataan setiap permukaan yang berpasangan antara sambungan kolom *head* permukaan alas	0,32	0,004	0,47	0,002
		0,32	0,004	0,47	0,002
7	Ketegaklurusan antara sumbu utama spindel dan permukaan sambungan *head*	0,57	0,003	0,47	0,002

(Sumber: Wibowo et al., 2018)

2.2 Landasan Teori

2.2.1 *Reverse Engineering*

Reverse engineering (rekayasa peniruan) adalah proses untuk menemukan kembali teknologi dan prinsip kerja suatu produk atau objek berupa alat, perkakas, mesin (keseluruhan atau bagiannya) atau sistem melalui analisis struktur, fungsi, dan cara kerjanya (Rochim, 2012:1). Sedangkan menurut Raja dan Fernandes (2008:2), proses menduplikasi bagian yang ada, *subassembly*, atau produk, tanpa gambar, dokumentasi, atau model komputer dikenal sebagai *reverse engineering*. Terdapat beberapa alasan penggunaan pernggunaan *reverse engineering*, antara lain sebagai berikut (Raja dan Fernandes, 2008:3):

1. Pabrikan asli tidak ada lagi, tetapi pelanggan membutuhkan produk.
2. Pabrikan asli suatu produk tidak lagi menghasilkan produk tersebut.
3. Dokumentasi desain produk asli telah hilang atau tidak pernah ada.
4. Membuat data untuk memperbarui atau membuat bagian yang tidak ada data CAD, atau yang datanya sudah usang atau hilang.
5. Inspeksi dan kontrol kualitas dengan membandingkan komponen yang diproduksi pabrik dengan deskripsi CAD atau ke standar yang ada.
6. Beberapa fitur buruk suatu produk perlu dihilangkan.
7. Memperkuat fitur yang baik dari suatu produk dengan berdasarkan prinsip penggunaan jangka panjang.
8. Menganalisis fitur baik dan buruk dari produk pesaing.
9. Mencari jalan baru untuk meningkatkan kinerja dan fitur produk.

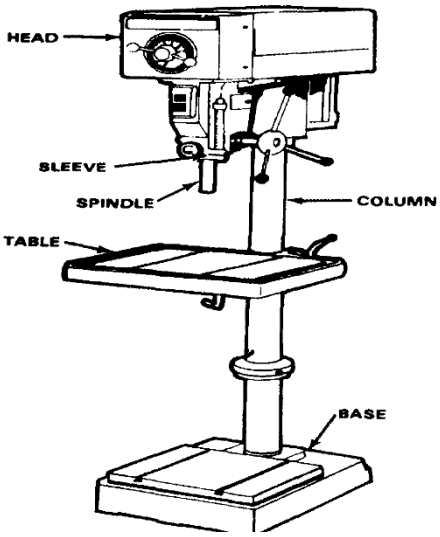
Menurut Rochim (2012:1), terdapat 7 tahapan dalam *reverse engineering* yaitu sebagai berikut:

1. Pengumpulan informasi mengenai produk atau jasa yang ditiru.
2. Analisis fungsi menyeluruh dan analisis per bagian/kelompok/subrakitan.
3. Pengukuran dan pemodelan geometrik.
4. Analisis keberfungsian, kehandalan dan keterbuatan.
5. Perwujudan produk hasil peniruan.
6. Pengetesan dan penilaian ketercapaian peniruan.
7. Perbaikan dan persiapan produksi produk tiruan.

Terdapat catatatan pada tujuh tahap tersebut. Proses dalam tahap 1 sampai 4 bisa berjalan serentak atau simultan, sementara tahap 5 sampai 7 berjalan berurutan. Tahap 7 bisa mengaktifkan kembali proses dalam semua tahap.

2.2.2 Mesin Gurdi

Mesin gurdi adalah sebuah mesin yang digunakan untuk melakukan proses gurdi**.** Proses gurdi adalah proses pembuatan lubang bulat dengan menggunakan mata bor (*twist drill*) (Rahdiyanta, 2010:2). Mesin gurdi merupakan salah satu mesin perkakas yang umum digunakan. Mesin gurdi tersusun oleh komponen-komponen utama, yang dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Konstruksi mesin gurdi tegak (*upright*) (Headquarters, 1996)

Fungsi masing-masing komponen tersebut yaitu sebagai berikut (Headquarters, 1996:4-2):

1. *Spindle*

   Spindle berfungsi memegang mata bor atau alat pemotong dan berputar dalam posisi tetap pada *sleeve*. Sebagian besar mesin bor menggunakan *spindle* vertikal dan pekerjaannya didukung oleh meja kerja horisontal.

2. *Sleeve* atau *quill*

   Sleeve berfungsi sebagai pemegang spindel. *Sleeve* tidak berputar ketika spindel berputar, tetapi mungkin geser dalam kaitannya dengan arah yang sejajar dengan porosnya.

3. *Column*

   Column berfungsi menyangga *assembly* dari *head* dan *sleeve. Column* pada sebagian besar mesin gurdi berbentuk lingkaran silinder serta kokoh.

4. *Head*

Head berfungsi sebagai tempat *sleeve, spindle*, motor listrik, dan komponen *feeding mechanism*.

5. *Worktable*

Worktable (meja kerja) ditopang pada lengan yang dipasang ke *column*. Meja kerja dapat disesuaikan secara vertikal untuk mengatur ketinggian kerja yang berbeda. Fungsi utama meja kerja adalah untuk meletakan kerja ketika proses gurdi.

6. *Base*

Base menopang seluruh komponen mesin. Ketika dibaut ke lantai, base harus mampu memberikan *vibration free* atau kebebasan getaran dan keakurasian proses pemesinan. Bagian atas pada *base* dapat pula digunakan sebagai meja kerja dan mungkin perlu penambahan *t-slots* untuk mengunci posisi benda kerja.

Terdapat dua jenis mesin gurdi yang digunakan oleh praktisi *maintenance* untuk proses perbaikan (*repairing*) dan kebutuhan *part* fabrikasi yaitu (Headquarters, 1996: 4-3):

1. *Hand-feed drilling machines*

Hand-feed drilling machines adalah jenis mesin gurdi yang paling sederhana dan paling umum digunakan. Terdapat tuas yang berfungsi menekan benda kerja ketika proses gurdi. Operator harus mampu merasakan gerakan makan dari *cutting tool* karena dijalankan secara manual oleh operator. Mesin

gurdi ini digerakkan oleh motor lisrik yang menggerakkan *belt* pada *pulley* motor yang terhubung dengan *pulley* spindel.

2. *Power-feed drilling machines*

Power-feed drilling machine umumnya digunakan pada pengerjaan skala yang lebih besar dan berat. Mesin gurdi jenis ini dilengkapi dengan kemampuan untuk pemakanan secara otomatis.

Tipe lain dari mesin gurdi seperti mesin gurdi *radial, numerically controlled drilling machine, multiple spindle drilling machine, gang drilling machine,* dan *turret drill press* adalah variasi dari konsep dasar mesin gurdi *hand-feed* dan *power-feed.*

2.2.3 Karakteristik Geometrik

Karakteristik geometrik komponen-komponen mesin mempunyai pengaruh yang besar terhadap fungsi mesin. Suatu komponen mesin mempunyai karakteristik geometrik yang ideal apabila komponen tersebut sesuai dengan yang dikehendaki, yaitu mempunyai (Rochim, 2001:3):

1. Ukuran atau dimensi yang teliti
2. Bentuk yang sempurna
3. Permukaan yang halus

Karakteristik geometrik dapat dibedakan ke dalam 5 kategori berdasarkan jenis toleransinya, yang dapat dilihat pada Tabel 2.3 (Cogorno, 2006:18).

Tabel 2.3 Simbol Karakteristik Geometrik

Berkaitan dengan	**Kategori**	**Karakteristik Geometrik**	**Simbol**
Fitur individual	Bentuk	Kelurusan	—
		Kerataan	▱
		Kebulatan	○
		Kesilindrisan	⌭
Fitur individual atau berkaitan dengan fitur lain	Profil	Profil garis	⌒
		Profil bidang	⌓
Berkaitan dengan fitur lain	Orientasi	Ketegaklurusan	⊥
		Kesejajaran	//
		Kemiringan	∠
	Lokasi	Posisi	⌖
		Konsentrisitas	◎
		Kesimetrian	⌯
	Runout	*Runout*	↗
		Total runout	⌰

(Sumber: Cogorno, 2006:18)

Tidak semua ukuran, bentuk, dan kekasaran setiap bagian produk (komponen mesin) dianggap utama. Komponen–komponen mesin yang dianggap utama dianggap perlu atau tidak tergantung pada fungsi komponen tersebut. Terdapat komponen yang tidak perlu diberikan toleransi geometrik, seperti (Rochim, 2001:10):

1. Tebal pelat yang hanya berfungsi sebagai penutup.
2. Diameter dan posisi lubang pada pelat penutup.
3. Diameter poros pada bagian tengah yang tidak bersatu dengan komponen lain.

4. Permukaan luar komponen penutup di bagian tengah.
5. Kemiringan, ketirusan, atau radius pada poros yang tidak bersatu dengan komponen lain.
6. Ketegaklurusan dinding pemisah.

2.2.4 Pengetesan Ketelitian Geometrik Mesin Gurdi

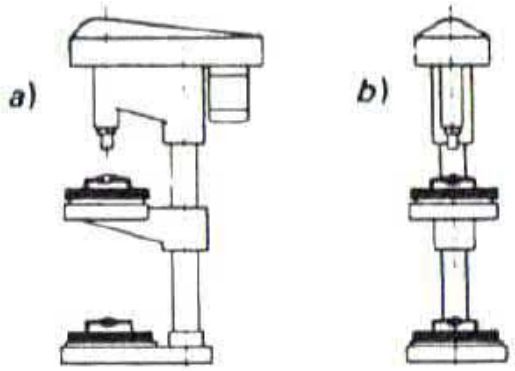
Hubungan antara karakteristik mesin perkakas dan akurasi hasil kerja mesin harus dievaluasi untuk mengendalikan penyimpangan dalam toleransi yang diperlukan sehingga mesin dapat menghasilkan komponen dengan akurasi yang telah ditentukan, Selanjutnya, untuk menegakkan kinerja dan fungsi alat mesin, kegiatan perawatan yang tepat perlu direncanakan dan dilaksanakan. Pentingnya analisis akurasi alat mesin dan evaluasi kinerja menjadi semakin penting ketika mempertimbangkan persyaratan presisi yang sangat tinggi dalam aplikasi permesinan. Salah satu cara untuk mengetahui dan mengontrol kinerja mesin adalah dengan mengukur kemampuan fitur fisik mesin. Istilah kemampuan mesin mencakup status individu dan agregat dari alat mesin yang terkait dengan akurasi dan kemampuan kerja melalui penentuan kemampuan fungsional struktur alat mesin (Archenti dan Laspas, 2019:3).

Akurasi adalah ketepatan antara nilai yang diukur dan nilai sebenarnya dari suatu pengukuran, sedangkan presisi atau keterulangan didefinisikan sebagai ketepatan antara pengukuran berturut-turut dari jumlah yang sama atau hasil operasi (Archenti dan Laspas, 2019:5). Standar pengetesan ketelitian geometri untuk mesin bor vertikal tipe pilar telah diatur dalam ISO 2773-1. Hasil pengukuran dibandingkan dengan penyimpangan yang diizinkan untuk menentukan kelayakan

mesin gurdi. Saat memeriksa mesin, tidak perlu melakukan semua tes yang diberikan dalam standar internasional. Terserah kepada pengguna untuk memilih properti yang penting bagi pengguna, tetapi tes ini harus dilakukan ketika memesan mesin. ketika menstabilkan toleransi untuk rentang pengukuran yang berbeda dari yang ada di standar internasional, harus dipertimbangkan bahwa nilai minimum toleransi adalah 0,01 mm. Detail standar pengetesan ketelitian geometri mesin gurdi menurut ISO 2773-1 adalah sebagai berikut:

1. *Leveling* mesin

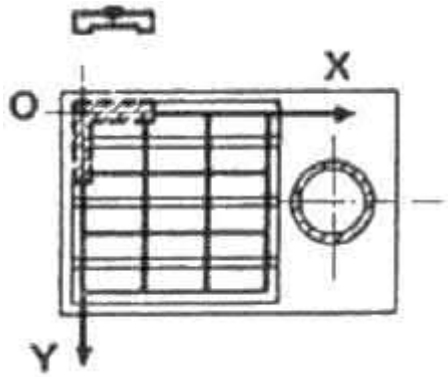
Leveling mesin merupakan pendahuluan yang harus dilakukan sebelum melaksanakan pengukuran fitur-fitur. Tujuan *leveling* yaitu untuk mendapatkan posisi stabil yang statis dari mesin sehingga akan memudahkan pengukuran, khususnya pengukuran yang relatif terhadap kelurusan komponen tertentu (ISO, 1996:5). Pengukuran dilakukan di bidang simetri pada mesin seperti pada Gambar 2.4 di huruf “a” dan di bidang yang tegak lurus dengan bidang simetri pada mesin dan melewati sumbu spindel seperti ditunjukan oleh huruf “b” pada Gambar 2.4. Toleransi penyimpangan yang diizinkan 0,03/300 mm. Alat ukur yang diperlukan adalah *level* dan *straightedge* (ISO 2773-1, 1973).



Gambar 2.4 Objek Pengukuran *Laveling* Mesin (ISO 2773-1, 1973)

2. Kerataan meja kerja

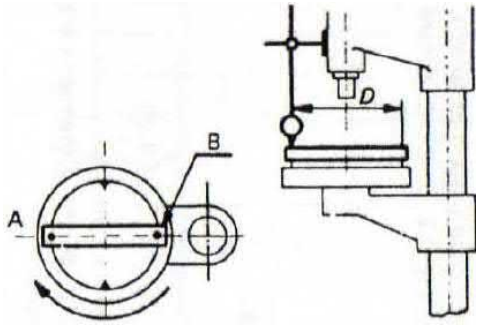
Pengukuran dilakukan di meja kerja atau *base plate*. Penyimpangan yang diizinkan yaitu 0,03 mm untuk seluruh pengukuran sepanjang 300 mm. *Precision level* atau *straightedge* dan *gauge blocks.* Posisi pengukuran kerataan meja kerja dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Objek Pengukuran Kerataan Meja Kerja (ISO 2773-1, 1973)

3. *Camming* meja putar

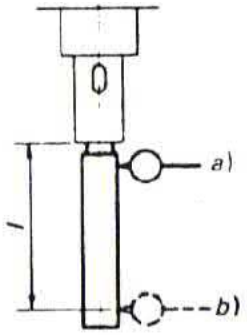
Pengukuran *camming* dari meja putar (untuk mesin yang memiliki fitur ini). Penyimpangan yang diizinkan 0,05 mm dan 0,075 mm (untuk D = 300 mm) Alat yang diperlukan yaitu *straightedge* dan *dial gauge*. Posisi pengukruan *Camming* meja putar dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Pengukuran *Camming* Meja Putar (ISO 2773-1, 1973)

4. *Run-out internal tapper spindle*

Pengukuran *run-out* pada *internal tapper* spindel. Pengukuran dilakukan di dekat *spindle nose* seperti ditunjukan pada huruf “a” dan pada jarak *l* dari *spindle nose*. Penyimpangan yang diizinkan yaitu 0,015 mm pada titik “a” dan 0,02 mm pada titik “b” untuk *l* = 100 mm, 0,02 mm pada titik “a” dan 0,035 mm pada titik “b” untuk *l* = 200 mm, 0,025 mm pada titik “a” dan 0,05 mm pada titik “b” untuk *l* = 300. Alat yang diperlukan adalah *dial gauge* dan *test mandrel*. Posisi pengukuran Pengukuran *Run-out Internal Tapper Spindle* dapat dilihat pada Gambar 2.7.

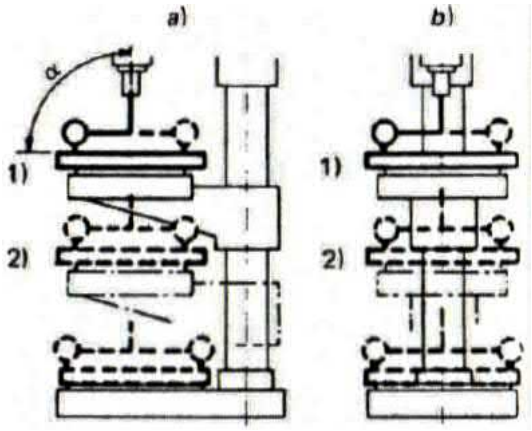


Gambar 2.7 Pengukuran *Run-out Internal Tapper Spindle* (ISO 2773-1, 1973)

5. Kelurusan pilar dan ketegaklurusan sumbu spindel terhadap permukaan meja kerja

Pengukuran dilakukan pada bidang “a” yaitu bidang yang simetri pada mesin dan bidang “b” yaitu bidang yang tegak lurus terhadap bidang simetri tersebut. Penyimpangan yang diizinkan pada bidang “a” adalah 0,06/300 mm dengan nilai $\alpha \leq 90°$ dan pada bidang “b” 0,06/300 mm. Alat yang diperlukan adalah *dial gauge* dan *straightedge*. Posisi pengukuran Kelurusan pilar dan

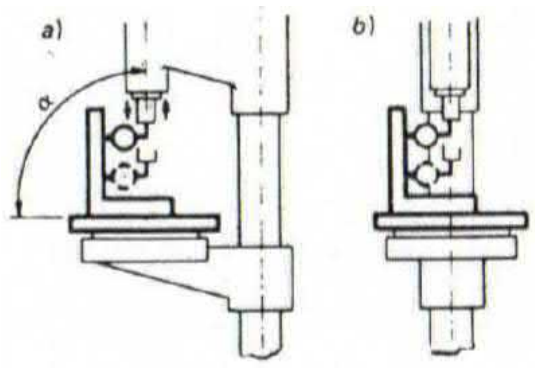
ketegaklurusan sumbu spindel terhadap permukaan meja kerja dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Pengukuran Kelurusan Pilar dan Kepersegian Sumbu Spindel (ISO 2773-1, 1973)

6. Ketegaklurusan permukaan meja terhadap gerakan vertikal *spindle housing atau quill*

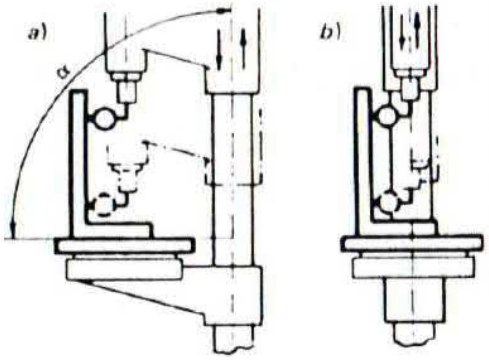
Pengukuran dilakukan pada bidang yang simetri pada mesin dan pada bidang yang tegak lurus dengan bidang simetri tersebut. Penyimpangan yang diizinkan yaitu 0,1/300 mm untuk bidang "a" dengan $\alpha \leq 90°$ dan 0,1/300 mm untuk bidang "b". Alat yang digunakan yaitu *dial gauge*, *straightedge*, dan *square*. Posisi pengukuran Ketegaklurusan permukaan meja terhadap gerakan vertikal *spindle housing atau quill* dapat dilihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Pengukuran Ketegaklurusan Permukaan Meja Terhadap Gerakan Vertikal *Spindle Housing* (ISO 2773-1, 1973)

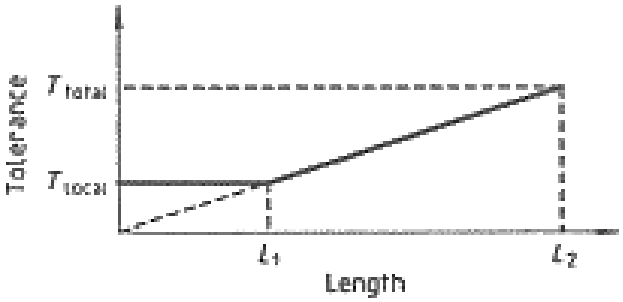
7. Ketegaklurusan permukaan meja terhadap gerakan vertikal *spindle head*

Pengukuran dilakuakan pada bidang yang simetri pada mesin dan pada bidang yang tegak lurus dengan bidang simetri tersebut. Penyimpangan yang diizinkan yaitu 0,1/300 mm untuk bidang "a" dengan $\alpha \leq 90°$ dan 0,1/300 mm untuk bidang "b". Alat yang digunakan yaitu *dial gauge*, *straightedge*, dan *square*. Posisi pengukuran Ketegaklurusan permukaan meja terhadap gerakan vertikal *spindle head* dapat dilihat pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Pengukuran Ketegaklurusan Permukaan Meja Terhadap Gerakan Vertikal *Spindle Head* (ISO 2773-1, 1973)

Pengukuran lebih baik diulang untuk jumlah tertentu. Hasil pengukuran diperoleh dari nilai rata-rata dari sejumlah pengukuran. Tetapi, perbedaan hasil pengukuran seharusnya tidak terlalu besar antara pengukuran satu dengan lainnya. Toleransi harus dinyatakan dalam satuan yang sama. Jika toleransi diketahui mempunyai jarak yang diberikan, maka toleransi untuk jarak yang lain dibandingkan dengan toleransi yang telah ditentukan tersebut. Toleransi tersebut dapat ditentukan dengan hukum proporsionalitas (perbandingan) (ISO 230-1, 1996:2). Perbandingan toleransi dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut (ISO, 230-1, 1996:4):



Gambar 2.11 Grafik Proporsi Toleransi (ISO 230-1, 1996:4)

$T_{local} = \frac{T_{total}}{L2} \; x \; L1$ …..…… (2.1)

Keterangan:

T_{local} = Toleransi yang akan digunakan pada pengukuran (mm atau µm)

T_{total} = Toleransi yang tertera pada standar ISO (mm atau µm)

L2 = Jarak pengukuran yang tertera pada standar ISO (mm)

L1 = Jarak yang akan digunakan pada pengukuran.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perbaikan dan pengetesan ketelitian geometrik, dapat disimpulkan bahwa:

1. Identifikasi mesin telah dilakukan dan diketahui permasalahan yang mengakibatkan mesin mesin gurdi TPM D018S tidak dapat berfungsi adalah motor yang tidak dapat menggerakkan komponen transmisi, tidak terdapat poros tetap yang menghubungkan motor dengan *pulley* penggerak, tidak terdapat komponen yang dapat mencegah bantalan gelinding pada *driven pulley shaft* agar tidak mengalami pergeseran posisi, permukaan *power screw* menyentuh bantalan gelinding bagian dalam (*inner ring*) sehingga dapat mengakibatkan hambatan pada mekanisme perpindahan kecepatan. Selain itu terdapat permasalahan yang berkaitan dengan estetika yaitu penutup roda gigi yang tidak dapat menutupi *bearing* pada sistem transmisi kecepatan.
2. Perbaikan telah dilakukan. Perbaikan yang dilakukan untuk mengatasi masalah yang terdapat pada mesin gurdi TPM D018S adalah penggantian motor, pembuatan poros sebagai penghubung motor dengan *driver pulley*, pembuatan penutup bearing (*bearing cover*) untuk menggantikan fungsi penutup roda gigi, pembuatan *ring* untuk menjaga posisi *bearing* transmisi terhadap *driven pulley*, dan pembuatan kopling untuk memperlancar mekanisme perpindahan kecepatan.

3. Pengetesan ketelitian geometrik telah dilakukan dengan menghasilkan data penyimpangan untuk empat fitur yang diukur. Hasil pengukuran kerataan permukaan meja kerja menunjukan bahwa permukaan meja kerja tidak rata yang ditunjukan dari hasil pengukuran pada 11 titik terhadap 1 titik referensi, semua titik tidak memenuhi batas toleransi penyimpangan yang diizinkan. Ketinggian titik dengan permukaan tertinggi dan terendah masih-masing yaitu 27 µm dan -38 µm. Pada pengukuran ketegaklurusan sumbu spindel terhadap permukaan meja kerja, penyimpangan terjadi pada semua variasi jarak serta pada kedua bidang pengukuran yaitu pada bidang X-Z dan bidang Y-Z. Penyimpangan terbesar terjadi pada pengukuran di bidang X-Y pada jarak 170 mm yaitu sebesar 182 µm. Pada pengukuran ketegaklurusan permukaan meja kerja terhadap gerak vertikal *spindle housing*, terjadi penyimpangan pada semua jarak pengukuran di bidang X-Z dan Y-Z. Penyimpangan terbesar terjadi pada pengukuran bidang X-Z dengan jarak 20 mm yaitu sebesar 243 µm. Pada pengukuran ketegaklurusan permukaan meja kerja terhadap gerak vertikal *spindle head*, diketahui hasil pengukuran ketegaklurusan fitur tersebut melebihi batas toleransi pada seluruh jarak pengukuran dan pada kedua bidang X-Z dan Y-Z. Penyimpangan terbesar terjadi pada pengukuran di bidang X-Y pada jarak 15 mm.
4. Berdasarkan hasil pengeteesan ketelitian geometrik, mesin gurdi TPM D018S tidak memenuhi standar ISO 2773-1 karena besar penyimpangan yang terjadi pada setiap fitur pengukuran melebihi batas yang diizinkan.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan dalam penelitian ini yaitu:

1. Perlu dilakukan evaluasi lebih lanjut pada geometri komponen mesin gurdi TPM D018S berdasarkan hasil pengetesan ketelitian geometrik yang telah dibahas pada penelitian ini agar pengetesan selanjutnya dapat menghasilkan data yang dapat memenuhi standar.
2. Perlu dilakukan pengujian lain terhadap mesin gurdi TPM D018S selain pengetesan ketelitian geometrik untuk menilai ketercapaian produk perancangan.

DAFTAR PUSTAKA

Apriana, A., B. Prianto, dan M. Rahayu. 2015. Analisa Kelayakan Mesin Milling F3 dengan Pengujian Ketelitian Geometrik. *Jurnal Politeknologi* 14(3): 1-14.

Archenti, A. dan T. Laspas. 2019. *Accuracy and Performance Analysis of Machine Tools*. Singapore: Springer Nature Singapore.

Ariyanto, Husman, dan D. Dharta. 2017. Analisa Kinerja Bubut DoAll Lt13 Ditinjau dari Penyimpangan Ketelitian Geometri Mesin dan Kebulatan Benda Kerja. *Prosiding Sentrinov 3*. Bangka. TM 95-106.

Badan Pusat Statistik (BPS). 2017. *Perkembangan Indeks Produksi Industri Manufaktur Besar dan Sedang 2015 – 2017*. Naskah publikasi No. 05310.1706. Jakarta: BPS.

Cogorno, G. R. 2006. *Geometric Dimensioning and Tolerancing for Mechanical Design.* New York USA: McGraw-Hill.

Febriantoko, B. W. 2012. Engineering sebagai Basis Desain Pengembangan Mobil Mini Truk Esemka. *Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Sains dan Teknologi (SNAST) Periode III*. Yogyakarta. 318-324.

Hafid dan E. Herjanto. 2015. Analisis Kendala Penumbuhan Industri Mesin Peralatan Pabrik Nasional. *Jurnal Riset Industri (Journal of Industrial Research)* 9(1): 49-64.

Headquarters. 1996. *Fundamentals of Machine Tools*. Washington DC: Departement of The Army Headquarters.

International Organization of Standardization (ISO). 1973. Test Condition for Pillar Type Vertical Drilling Machines,Testing of Accuracy Part 1: Geometrical Test. Switzerland: ISO

_____. 1996. Test Code for Machine Tools Part 1: Geometric Accuracy of Machines Operating under no-load or finishing conditions. Switzerland: ISO

Jayadi, M. F. 2018. Perancangan dan Pengembangan Ragam Geometri Konstruksi Mesin Gurdi TPM D018S dengan Menerapkan Prinsip Perancangan Parametrik. *Tugas Sarjana*. Program Studi Teknik Mesin Institut Teknologi Bandung. Bandung.

Kementerian Perindustrian (Kemenperin). 2014. *Profil Industri Mesin Perkakas 2014*. http://www.kemenperin.go.id/download/7548/Profil-Industri-Mesin-Perkakas. 14 Juli 2019 (00.39).

_____. 2018. *Ringkasan Eksekutif Perkembangan Ekspor dan Impor Industri Pengolahan Bulan Juni 2018*. http://www.kemenperin.go.id/download/19434/Laporan-Ekspor-Impor-Hasil-Pengolahan-2018-Juni. 14 Juli 2019 (00.20).

Raja, V. dan K. J. Fernandes. 2008. *Reverse Engineering: An Industrial Perspective*. London: Springer.

Rahdiyanta, D. 2010. *Proses Gurdi (Drilling)*. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.

Rochim, T. 2001. *Spesifikasi, Metrologi, dan Kontrol Kualitas Geometrik*. Jilid 1. Bandung: Penerbit ITB.

_____. 2006. *Spesifikasi, Metrologi, dan Kontrol Kualitas Geometrik*. Jilid 2. Bandung: Penerbit ITB.

_____. 2012. *Tujuh Tahapan Rekayasa Peniruan*. Artikel disajikan pada Reverse Engineering Workshop Puslitbang PT. PLN (Persero). Jakarta. 23-24 Mei.

Runtu, R. R., J. Soukotta, dan R. Poeng. Analisis Kemampuan dan Keandalan Mesin Bubut Weiler Primus Melalui Pengujian Karakteristik Statik Menurut Standar ISO 1708. *Jurnal Online Poros Teknik Mesin* 4(1): 63-75.

Siregar, I. A. 2018. Perancangan dan Pengembangan Ragam Geometri Komponen Transmisi Mesin Gurdi TPM D018S dengan Menerapkan Prinsip Perancangan Parametrik. *Tugas Sarjana*. Program Studi Teknik Mesin Institut Teknologi Bandung. Bandung.

Wibowo. A, I. Belly, R. Ilhamsyah, Indrawanto, dan Y. Yuwana. 2018. Reverse Engineering of Worner Type Drilling Machine Structure. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 319. APCOMS-IMEC. 1-6.

Yanis, M. dan H. Leonardo. 2015. Perancangan Dan Pembuatan Alat Bantu Cekam Pada Mesin Sekrap Untuk Mengerjakan Proses Freis. *Jurnal Rekayasa Mesin* 15(1): 17-21.

Yuhas, D., A. Sumpena, dan R. Edial. 2016. Pengukuran Statis Ketelitian Geometrik Mesin Bubut Maximat V13 di Bengkel Teknik Mesin PNJ Menurut Referensi. *Jurnal Politeknologi* 15(3): 215-228.