



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Studi Kinerja *Handheld Portable 3D Scanner*
Dalam Pengukuran Diameter dan Kedalaman Lubang
Pada Spesimen Logam

TESIS

POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA

Anang Wahyu Setiawan

NIM 2009521009

PROGRAM STUDI MAGISTER TERAPAN
REKAYASA TEKNOLOGI MANUFAKTUR
PASCASARJANA POLITEKNIK NEGERI JAKARTA
DEPOK
JULI 2022



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Studi Kinerja *Handheld Portable 3D Scanner*
Dalam Pengukuran Diameter dan Kedalaman Lubang
Pada Spesimen Logam

TESIS

POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA

Anang Wahyu Setiawan
NIM 2009521009

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan
Mencapai Derajat Magister Terapan dalam Bidang Rekayasa Teknologi Manufaktur

PROGRAM STUDI MAGISTER TERAPAN
REKAYASA TEKNOLOGI MANUFaktur
PASCASARJANA POLITEKNIK NEGERI JAKARTA
DEPOK
JULI 2022



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

HALAMAN PENGESAHAN

Tesis ini yang diajukan oleh:

Nama : Anang Wahyu Setiawan
NIM : 2009521009
Program Studi : Magister Terapan Rekayasa Teknologi Manufaktur
Judul : Studi Kinerja *Handheld Portable 3D Scanner* Dalam Pengukuran Diameter dan Kedalaman Lubang Pada Spesimen Logam

Telah diuji oleh Tim Penguji dalam Sidang Tesis pada hari Jumat tanggal 12 Agustus tahun 2022 dan dinyatakan LULUS untuk memperoleh Derajat Gelar Magister Terapan pada Magister Terapan Rekayasa Teknologi Manufaktur Politeknik Negeri Jakarta.

Pembimbing I : Dr. Muslimin, ST, MT ()
Pembimbing II : Dr. Ghany Heryana ()
Penguji I : Dr. Belyamin ()
Penguji II : Dr. Dianta Mustofa K. ()
Penguji III : Dr. Eng Pribadi M. Adhi ()

Depok, 12 Agustus 2022

Disahkan oleh
Kepala Pascasarjana Politeknik Negeri Jakarta




Dr. Isdawimah, S.T., M.T.
NIP. 196305051988112001




Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis yang saya susun ini adalah hasil karya saya sendiri, dan semua sumber baik yang dikutip maupun yang dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Anang Wahyu Setiawan
NIM : 2009521009
Tanda Tangan : 
Tanggal : 12 Agustus 2022

POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA

HALAMAN PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertanda tangan di bawah ini menyatakan dengan sebenarnya bahwa tesis ini saya susun tanpa tindakan plagiarisme sesuai dengan peraturan yang berlaku di Politeknik Negeri Jakarta.

Jika di kemudian hari ternyata saya melakukan tindakan plagiarisme, saya akan bertanggung jawab sepenuhnya dan menerima sanksi yang diajukan oleh Politeknik Negeri Jakarta kepada saya.

Depok, 12 Agustus 2022



Anang Wahyu Setiawan

NIM 2009521009



POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta





Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang dengan izin Nya tesis ini dapat diselesaikan. Penulis juga perlu menyampaikan rasa terima kasih kepada pihak yang memberikan andil dalam penyelesaian tesis ini :

- Dr. Muslimin atas diskusi, bimbingan, saran dan masukan terhadap penentuan topik dan isi tesis.
- Dr. Ghany Heryana atas diskusi dan arahnya dalam penyiapan spesimen logam serta diskusi, bimbingan, saran dan masukan terhadap isi tesis.
- Wahyudin P.Syam, Ph.D atas diskusi dan masukannya terkait dengan CMM
- Bapak Yudi dan Bapak Dendi dari PT Trimitra Digital Solusi yang telah menyediakan dan membantu pengoperasian *Handheld Portable 3D Scanner – AMETEK Creaform , HandySCAN 700* untuk digunakan dalam penelitian ini.
- Bapak Feri Ferdiansyah dari Laboratorium Teknologi Manufaktur dan Otomasi Jurusan Teknik Mesin Universitas Indonesia untuk penggunaan stylus CMM dan diskusinya .
- Saudari Dhiya Luqyana dari Laboratorium Metrologi Politeknik Negeri Jakarta untuk bantuan pengoperasian dan penggunaan CMM dan ragam CNC.
- PT Kalpindo untuk penggunaan *gaugeblock* .
- Istri tercinta, Ratna Indah dan anak – anak penyejuk mata : Najib, Nazmina, Namira, Najwan , atas dukungan dan doanya yang tidak pernah lepas.

Semoga tesis ini dapat memberikan manfaat, walaupun sedikit, bagi kita semua.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	v
RESIS UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIK.....	v
Abstrak	vi
Abstract	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
HALAMAN SIMBOL DAN SINGKATAN	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	1
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Batasan Penelitian	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
1.6 Sistematika Penyajian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Kajian Teoritis	4
2.1.1 <i>Coordinate Measuring Machine (CMM)</i>	4



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

2.1.2	Konsep Ketertelusuran Pengukuran, Error Dan Ketidakpastian Pengukuran pada CMM.....	5
2.1.3	<i>Handheld Portable 3D Scanner</i>	6
2.1.4	Triangulasi Pada <i>3D Scanner</i>	7
2.1.5	Konsep Ketertelusuran Pengukuran, Error Dan Ketidakpastian Pengukuran pada <i>3D Scanner</i>	8
2.2	Kajian Penelitian Terdahulu.....	10
2.2.1	Pengukuran benda kerja dan penentuan ketidakpastian CMM.....	10
2.2.2	Penentuan Karakteristik <i>3D Scanner</i>	11
2.2.3	Penentuan Kinerja Dengan Menggunakan <i>En number</i>	12
BAB III METODE PENELITIAN.....		14
3.1.	Alur Penelitian.....	14
3.2.	Pengujian <i>Analysis of Variance (ANOVA)</i> Pada Data Hasil Pengukuran.....	17
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....		19
4.1	Hasil verifikasi CMM.....	19
4.2	Hasil Pengukuran Diameter (D) Lubang Spesimen Logam	22
4.3	Hasil Pengukuran Kedalaman (d) Lubang Spesimen Logam.....	24
4.4	Ketidakpastian Pengukuran Diameter Lubang Spesimen Logam Oleh CMM	25
4.5	Ketidakpastian Pengukuran Kedalaman Lubang Spesimen Logam Oleh CMM	26
4.6	Ketidakpastian Pengukuran Diameter Lubang Spesimen Logam Oleh <i>Handheld Portable 3D Scanner</i>	27
4.7	Ketidakpastian Pengukuran Kedalaman Lubang Spesimen Logam Oleh <i>Handheld Portable 3D Scanner</i>	29



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

4.8	Perhitungan Error <i>Handheld Portable 3D Scanner</i> terhadap CMM.....	30
4.9	Perhitungan En	32
BAB V SIMPULAN DAN SARAN.....		34
5.1	Simpulan.....	34
5.2	Saran.....	34
Daftar Pustaka		35





DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 CMM Measurement Error.....	20
Tabel 4. 2 Rata-rata hasil pengukuran CMM untuk diameter (D).....	22
Tabel 4. 3 Rata-rata hasil pengukuran diameter (D) handheld portable 3D scanner.....	23
Tabel 4. 4 Rata – rata hasil pengukuran kedalaman.....	24
Tabel 4.5 Rata – rata hasil pengukuran kedalaman (d) handheld portable 3D scanner.....	24
Tabel 4. 6 Pengukuran diameter lubang spesimen logam oleh CMM.....	25
Tabel 4. 7 Pengukuran diameter CMM.....	25
Tabel 4. 8 U_{95} pengukuran diameter oleh CMM	26
Tabel 4. 9 Pengukuran kedalaman spesimen logam oleh CMM.....	26
Tabel 4. 10 Pengukuran kedalaman oleh CMM.....	26
Tabel 4. 11 Pengukuran kedalaman oleh CMM.....	27
Tabel 4. 12 Pengukuran diameter lubang spesimen logam oleh handheld portable 3D scanner.....	28
Tabel 4. 13 Pengukuran diameter lubang spesimen logam oleh handheld portable 3D scanner.....	28
Tabel 4. 14 U_{95} pengukuran diameter oleh handheld portable 3D scanner	28
Tabel 4. 15 pengukuran diameter oleh handheld portable 3D scanner.....	29
Tabel 4. 16 pengukuran diameter oleh handheld portable 3D scanner	29
Tabel 4. 17 U_{95} pengukuran kedalaman oleh handheld 3D scanner	29
Tabel 4. 18 Error pengukuran diameter (D) handheld portable 3D scanner terhadap CMM.....	30

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Tabel 4. 19 Error pengukuran kedalaman (d) handheld 3D scanner terhadap CMM.....	31
Tabel 4. 20 Nilai En pengukuran diameter (D) handheld 3D scanner terhadap CMM.....	32
Tabel 4. 21 Nilai En pengukuran kedalaman (d) handheld portable 3D scanner terhadap CMM	33
Tabel 1. Data Pengukuran Diameter (D).....	38
Tabel 2 Data Pengukuran Kedalaman (d).....	38
Tabel 3 Data Pengukuran Diameter (D).....	39
Tabel 4 Data Pengukuran Kedalaman (d).....	39
Tabel 5 ANOVA pengukuran gaugeblock pada arah sumbu x, y, z.....	40
Tabel 6 ANOVA pengukuran diameter 8 mm portable handheld 3D scanner	40
Tabel 7 ANOVA pengukuran diameter 1 mm portable handheld 3D scanner	40
Tabel 8 ANOVA pengukuran diameter 4 mm portable handheld 3D scanner	40
Tabel 9 ANOVA pengukuran diameter 2 mm portable handheld 3D scanner	40
Tabel 10 ANOVA pengukuran kedalaman 4 mm portable handheld 3D scanner	41
Tabel 11 ANOVA pengukuran kedalaman 2 mm portable handheld 3D scanner	41
Tabel 12 ANOVA pengukuran kedalaman 1 mm portable handheld 3D scanner	41
Tabel 13 ANOVA pengukuran kedalaman 0.5 mm portable handheld 3D scanner	41
Tabel 14 ANOVA pengukuran diameter 8 mm oleh CMM	41
Tabel 15 ANOVA pengukuran kedalaman 1 mm oleh CMM	41
Tabel 16 Tangkapan Layar Perangkat Lunak Pengukuran	42



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Prinsip Triangulasi [8].....	7
Gambar 2. 2 Prinsip triangulasi pada pengukuran lubang.	7
Gambar 2. 3 Benda Kerja yang digunakan Mendricky [2] untuk mengevaluasi kinerja 3D Scanner.....	8
Gambar 2. 4 Papan Kalibrasi Handheld 3D Scanner.....	9
Gambar 3. 1 Diagram Alir	18
Gambar 3. 2 Gambar desain spesimen logam yang digunakan sebagai standar... ..	15
Gambar 3. 3 Spesimen logam yang digunakan.....	15
Gambar 4. 1 Verifikasi CMM dengan gaugeblock.....	19
Gambar 4. 2 Grafik CMM Measurement Error terhadap Maximum Permissible Error (MPE) CMM.....	20
Gambar 4. 3 Indeks yang mewakili diameter dan kedalaman tertentu	22
Gambar 4.4 Error pengukuran diameter oleh handheld 3D scanner.....	31
Gambar 4. 5 Error pengukuran kedalaman oleh handheld portable 3D scanner ..	31

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

STUDI KINERJA *HANDHELD PORTABLE 3D SCANNER*

DALAM PENGUKURAN DIAMETER DAN KEDALAMAN LUBANG PADA SPESIMEN LOGAM

Anang Setiawan¹, Muslimin², Ghany Heryana³

^{1,2,3} Magister Terapan Rekayasa Teknologi Manufaktur, Jurusan Teknik Mesin,
Politeknik Negeri Jakarta

Email: ¹anang.wahyusetiawan.tm20@mhs.w.pnj.ac.id, ²muslimin@mesin.pnj.ac.id,
³ghany.heryana@mesin.pnj.ac.id

Abstrak

Handheld portable 3D scanner adalah alat berbasis optik yang dapat digenggam dengan tangan dan dipindahkan dari satu tempat ke tempat lainnya. Alat ini digunakan untuk pemindaian permukaan *part* dan menghasilkan representasi tiga dimensi berbentuk *point cloud*. Penggunaan *3D scanner* tumbuh signifikan dalam beberapa tahun terakhir khususnya dalam aplikasi bidang metrologi, inspeksi industri manufaktur dan *reverse engineering*. Terlepas dari kemudahan pemakaian dan fleksibilitas penggunaannya, sebagai alat berbasis optik dengan prinsip triangulasi, *handheld portable 3D scanner* memiliki keterbatasan dalam memindai bentuk geometri lubang sempit atau celah. Spesifikasi yang diterbitkan oleh pabrikan belum sepenuhnya menggambarkan kinerja alat dalam hal ini. Untuk itu dilakukan evaluasi kinerja *handheld 3D scanner* melalui penentuan error dan *En number* pengukuran lubang pada benda kerja dengan variasi kedalaman dan diameter. Sebagai nilai acuan digunakan hasil pengukuran *Coordinate Measuring Machine –CMM*. Hasil studi menunjukkan *handheld 3D scanner* secara umum memiliki error pengukuran diameter dan pengukuran kedalaman lubang, di atas spesifikasi 0.03 mm. Nilai *En* berkategori “*unsatisfactory*” ditemukan pada lubang berdiameter 1 mm dengan kedalaman 0.5, 1, 2, 4 mm dan lubang berdiameter 2 mm dengan kedalaman 4 mm.

Kata Kunci: *Handheld Portable 3D Scanner, error pengukuran, triangulasi*



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Abstract

A handheld portable 3D scanner is an optical-based tool that can be gripped by hand and moved from one place to another. This tool is used to scan part's surface and produce a 3-dimensional representation in the form of a point cloud. The use of 3D scanners has grown significantly in recent years, especially in applications in the metrology, industrial manufacturing inspection, and reverse engineering. Apart from the ease of use and flexibility of use, as an optical-based tool with triangulation principles, handheld portable 3D scanners have limitations in scanning the geometric shape of a narrow hole or slit. The specifications published by the manufacturer do not fully describe tool's performance in this regard. For this reason, an evaluation of the performance of the handheld portable 3D scanner is carried out by determining the error of measuring holes on the workpiece with variations in depth and diameter. As a reference value, the results of the Coordinate Measuring Machine –CMM measurement are used. . The study result show that handheld 3D scanners generally have an error in measuring the diameter and measuring the depth of the hole, above the specification of 0.03 mm. En values categorized as "unsatisfactory" were found in holes with a diameter of 1 mm with a depth of 0.5, 1, 2, 4 mm and holes with a diameter of 2mm with a depth of 4 mm.

Keywords: *Handheld Portable 3D Scanner, measurement error, triangulation*



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penggunaan *3D scanner* tumbuh signifikan dalam beberapa tahun terakhir khususnya dalam aplikasi bidang metrologi, inspeksi industri manufaktur, industri kedirgantaraan, otomotif, dan *reverse engineering*. Meskipun tidak memiliki tingkat akurasi yang setara dengan CMM (*coordinate measuring machine*), *3D scanner*, memiliki keunggulan dalam portabilitas, kemampuan pengukuran cepat, dan relatif mudah saat mengukur permukaan *freeform* / bentuk bebas.

Beberapa tahun belakangan, pengembangan *3D Scanner* mengarah pada *3D Scanner* yang *portable*, *handy* dan akurat sesuai dengan minat pasar. *Handheld portable 3D scanner* adalah alat berbasis optik yang dapat digenggam dengan tangan dan dipindahkan dari satu tempat ke tempat lainnya untuk melakukan pemindaian terhadap permukaan *part* dan menghasilkan representasi 3 dimensi berbentuk *point cloud*. [1]

Scanner 3D menggunakan prinsip *Time of Flight* – TOF atau prinsip triangulasi laser. Pada sistem TOF, pengukuran memiliki presisi yang rendah, namun dengan variasi kedalaman dan jangkauan yang besar. Dalam sistem berbasis triangulasi, pengukuran memiliki presisi yang tinggi tetapi dengan variasi jangkauan dan kedalaman yang terbatas. [2]

Keterbatasan alat *3D scanner* dengan prinsip triangulasi, terletak dalam memindai dan mengukur dimensi celah sempit atau kedalaman lubang kecil. Informasi kuantitatif mengenai hal ini tidak ditemukan dalam spesifikasi teknis alat. Spesifikasi yang diterbitkan oleh pabrikan hanya menginformasikan akurasi pengukuran secara umum.[3].

Dengan mengetahui keterbatasan ini, pengguna alat dapat memakai alat sesuai kemampuannya dan memilih alat yang cocok untuk jenis pekerjaan tertentu.

1.2 Rumusan Masalah

Untuk mengetahui keterbatasan alat dimaksud perlu dilakukan uji kinerja. Uji kinerja dilakukan melalui uji banding pengukuran benda kerja berupa spesimen



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

logam oleh *portable handheld 3D scanner* dan CMM sebagai alat ukur referensi. Kinerja alat akan diketahui melalui nilai En number. Untuk mendapatkan nilai En number tersebut dibuat suatu rumusan masalah sebagai berikut:

- a. Berapa hasil pengukuran CMM berikut ketidakpastiannya untuk diameter dan kedalaman lubang pada spesimen logam?
- b. Berapa hasil pengukuran *portable handheld 3D scanner* berikut ketidakpastiannya untuk diameter dan kedalaman lubang pada spesimen logam?
- c. Berapa nilai error pengukuran *portable handheld 3D scanner*?

1.3 Tujuan Penelitian

Untuk mengevaluasi kinerja *handheld portable 3D scanner*, dilakukan penelitian secara eksperimental, yakni membandingkan data yang diperoleh dari pengukuran benda kerja oleh CMM dengan *handheld portable 3D scanner*. Benda yang diukur adalah artefak sesuai dengan rekomendasi Mendricky [2]. Artefak ini berupa spesimen logam yang terdiri dari 16 lubang dengan variasi diameter dan kedalaman.

Data yang dihasilkan dari pengukuran adalah :

- a. Data pengukuran diameter dan kedalaman lubang pada spesimen logam oleh CMM berikut nilai ketidakpastiannya;
- b. Data pengukuran diameter dan kedalaman lubang pada spesimen logam oleh *handheld portable 3D scanner* berikut nilai ketidakpastiannya;
- c. Data error pengukuran *handheld portable 3D scanner* terhadap CMM

Berdasarkan uraian di atas, tujuan umum penelitian adalah : mengevaluasi nilai En *number* sebagai indikator kinerja *portable handheld 3D scanner* dalam mengukur lubang pada spesimen logam dengan variasi diameter dan kedalaman sesuai rekomendasi Mendricky.

1.4 Batasan Penelitian

- a. Penelitian dilakukan pada Creaform HandySCAN 700 *metrology grade* milik PT Trimitra Digital Solusi



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- b. Geometri benda yang diukur mengacu pada usulan Mendricky [2]
- c. Benda kerja yang diukur berbahan baja S45C dengan proses pelubangan menggunakan EDM (*Electrical Discharge Machine*)
- d. Diameter lubang minimum adalah 1 mm, sedangkan diameter lubang maksimum adalah 8 mm.
- e. Kedalaman lubang minimum adalah 0.5 mm, sedangkan kedalaman lubang maksimum adalah 4 mm.

1.5 Manfaat Penelitian

- a. Pemilik alat memiliki referensi error pengukuran dan keterbatasan alat dalam mengukur bentuk geometri berupa lubang.
- b. Pengetahuan dan pengalaman dalam menentukan akurasi *handheld portable 3D scanner* dapat didesiminasikan ke industri manufaktur sehingga secara bertahap meningkatkan kualitas pengukuran yang dilakukan.

1.6 Sistematika Penyajian

Tesis ini disajikan dengan sistematika sebagai berikut:

BAB I Pendahuluan berisi latarbelakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan penelitian dan manfaat penelitian.

BAB II Tinjauan Pustaka berisi tentang kajian teoritis *3D Scanner* yang menggunakan prinsip *Time of Flight (TOF)* dan prinsip triangulasi. Kemudian dibahas mengenai prinsip kerja *handheld portable 3D scanner* dan perbedaannya dengan *3D scanner* statis. Kemudian pembahasan dilanjutkan dengan pemaparan hasil penelitian sebelumnya mengenai evaluasi kinerja *3D scanner* baik yang statis

BAB III Metodologi Penelitian

BAB IV Hasil Penelitian dan Pembahasan

BAB V Simpulan dan Saran



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB V SIMPULAN DAN SARAN

1 Simpulan

Pada studi ini diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

- Pengukuran kedalaman lubang oleh *handheld 3D scanner* memiliki nilai En berkategori “*satisfactory*/memuaskan” pada 11 dari 16 pengukuran kedalaman lubang. Nilai En berkategori “*unsatisfactory*/tidak memuaskan” ditemukan pada pengukuran kedalaman lubang 0,5, 1, 2, 4 mm pada diameter 1 mm dan kedalaman 4 mm pada diameter 2 mm
- Pengukuran diameter lubang 2 mm, 4 mm dan 8 mm oleh *handheld 3D scanner* memiliki nilai En berkategori “*satisfactory*/ memuaskan” pada 10 dari 12 pengukuran diameter lubang. Nilai En berkategori “*unsatisfactory*/tidak memuaskan” ditemukan pada pengukuran diameter lubang 2 mm pada kedalaman 1 mm dan diameter 4 mm pada kedalaman 0,5 mm.
- Pengukuran diameter 1 mm oleh *handheld 3D scanner* tidak memiliki nilai En karena nilai pengukuran diameter 1 mm oleh CMM tidak bisa dijadikan sebagai nilai referensi.

Berdasarkan temuan ini dapat disimpulkan bahwa *handheld portable 3D scanner* memiliki kinerja yang tidak memuaskan dalam mengukur kedalaman kedalaman $\geq 0,5$ mm untuk lubang dengan diameter 1 mm. Begitu pula kinerja dalam mengukur kedalaman ≥ 4 mm untuk lubang dengan diameter 2 mm

2.2 Saran

Handheld 3D scanner disarankan tidak digunakan untuk mengukur lubang dengan diameter 1 mm atau lebih kecil karena secara nilai En berkategori “*unsatisfactory*/kurang memuaskan”.

Studi selanjutnya dilakukan identifikasi faktor – faktor yang berkontribusi pada error pengukuran diameter dan kedalaman lubang dengan kinerja terburuk.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Daftar Pustaka

- [1] M. Givi, L. Cournoyer, G. Reain, and B. J. Eves, "Performance evaluation of a portable 3D imaging system," *Precis. Eng.*, vol. 59, no. December 2018, pp. 156–165, 2019, doi: 10.1016/j.precisioneng.2019.06.002.
- [2] J. G. D. M. França, M. A. Gazziro, A. N. Ide, and J. H. Saito, "A 3D scanning system based on laser triangulation and variable field of view," *Proc. - Int. Conf. Image Process. ICIP*, vol. 1, pp. 425–428, 2005, doi: 10.1109/ICIP.2005.1529778.
- [3] "https://3dscannertech.com/creaform-3d-laser-scanners/creaform-handyscan-3d-700." <https://www.creaform3d.com/en/portable-3d-scanner-handyscan-3d/technical-specifications> (accessed Jul. 15, 2022).
- [4] W. P. Syam, "Metrologi Manufaktur: Pengukuran Geometri dan Analisis Ketidakpastian," no. January, p. 204, 2018, [Online]. Available: <https://osf.io/preprints/inarxiv/zdfxm/>.
- [5] "https://www2.mitutoyo.co.jp/eng/support/service/catalog/01/E16013.pdf." <https://www2.mitutoyo.co.jp/eng/support/service/catalog/01/E16013.pdf> (accessed Jul. 15, 2022).
- [6] *ISO 10360-2 Geometrical product specifications (GPS) - Acceptance and reverification test for coordinate measuring machines (CMM) - Part 2 : CMMs used for measuring linier dimensions*, vol. 3rd edition. 2009.
- [7] "JCGM 200: 2012 International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM) 3rd edition," vol. 108, no. 36. 2012, doi: 10.1016/j.tetlet.2017.07.069.
- [8] J.-A. Beraldin, B. Carrier, D. MacKinnon, and L. Cournoyer, "Characterization of Triangulation-Based 3D Imaging Systems Using Certified Artifacts," *NCSLI Meas.*, vol. 7, no. 4, pp. 50–60, 2012, doi: 10.1080/19315775.2012.11721620.
- [9] "https://www.youtube.com/watch?v=p33qxdEwVc4 3DScanner: How It Works?," *Dilihat pada 07 Juli 2021.* .
- [10] R. Mendricky, "Analysis of measurement accuracy of contactless 3D



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

optical scanners,” *MM Sci. J.*, vol. 2015, no. OCTOBER, pp. 711–716, 2015, doi: 10.17973/MMSJ.2015_10_201541.

- [11] M. Muslimin, “Inspection and Verification of 3D Laser Scanning Datasets Registration for Reverse Engineering Application, Part 1: A Product with Datum,” *Int. J. Simul. Syst. Sci. Technol.*, pp. 1–13, 2020, doi: 10.5013/ijssst.a.20.01.36.
- [12] R. Mendricky, “Determination of measurement accuracy of optical 3D scanners,” *MM Sci. J.*, vol. 2016, no. DECEMBER, pp. 1565–1572, 2016, doi: 10.17973/MMSJ.2016_12_2016183.
- [13] G. Guidi, “Metrological characterization of 3D imaging devices,” *Videometrics, Range Imaging, Appl. XII; Autom. Vis. Insp.*, vol. 8791, no. December, p. 87910M, 2013, doi: 10.1117/12.2021037.
- [14] J. A. Beraldin, D. MacKinnon, and L. Cournoyer, “Metrological characterization of 3D imaging systems: Progress report on standards developments,” *17th Int. Congr. Metrol. CIM 2015*, vol. 3, pp. 1–21, 2015, doi: 10.1051/metrology/20150013003.
- [15] R. G. Wilhelm, R. Hocken, and H. Schwenke, “Task specific uncertainty in coordinate measurement,” *CIRP Ann. - Manuf. Technol.*, vol. 50, no. 2, pp. 553–563, 2001, doi: 10.1016/S0007-8506(07)62995-3.
- [16] H. Li *et al.*, “Uncertainty Modeling and Evaluation of CMM Task Oriented Measurement Based on SVCMM,” *Meas. Sci. Rev.*, vol. 17, no. 5, pp. 226–231, 2017, doi: 10.1515/msr-2017-0027.
- [17] J. P. Kruth, N. Van Gestel, P. Bleys, and F. Welkenhuyzen, “Uncertainty determination for CMMs by Monte Carlo simulation integrating feature form deviations,” *CIRP Ann. - Manuf. Technol.*, vol. 58, no. 1, pp. 463–466, 2009, doi: 10.1016/j.cirp.2009.03.028.
- [18] K. Takamasu, S. Takahashi, M. Abbe, and R. Furutani, “Uncertainty estimation for coordinate metrology with effects of calibration and form deviation in strategy of measurement,” *Meas. Sci. Technol.*, vol. 19, no. 8, 2008, doi: 10.1088/0957-0233/19/8/084001.
- [19] C. X. J. Feng, A. L. Saal, J. G. Salisbury, A. R. Ness, and G. C. S. Lin,



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- “Design and analysis of experiments in CMM measurement uncertainty study,” *Precis. Eng.*, vol. 31, no. 2, pp. 94–101, 2007, doi: 10.1016/j.precisioneng.2006.03.003.
- [20] E. Savio, “Uncertainty in testing the metrological performances of coordinate measuring machines,” *CIRP Ann. - Manuf. Technol.*, vol. 55, no. 1, pp. 535–538, 2006, doi: 10.1016/S0007-8506(07)60476-4.
- [21] M. Mussatayev, M. Huang, and S. Beshleyev, “Thermal influences as an uncertainty contributor of the coordinate measuring machine (CMM),” *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 111, no. 1–2, pp. 537–547, 2020, doi: 10.1007/s00170-020-06012-3.
- [22] J. Hodolic, “Different Approaches in Uncertainty Evaluation Measuring Machine,” vol. 15, no. 3, pp. 111–118, 2015.
- [23] H. Haitjema, “Task specific uncertainty estimation in dimensional metrology,” *Int. J. Precis. Technol.*, vol. 2, no. 2/3, p. 226, 2011, doi: 10.1504/ijptech.2011.039461.
- [24] F. A. M. Ferreira, J. De Vicente Y Oliva, and A. M. Sanchez Perez, “Evaluation of the performance of coordinate measuring machines in the industry, using calibrated artefacts,” *Procedia Eng.*, vol. 63, pp. 659–668, 2013, doi: 10.1016/j.proeng.2013.08.232.
- [25] Y. Cheng *et al.*, “Evaluation and optimization of task-oriented measurement uncertainty for coordinate measuring machines based on geometrical product specifications,” *Appl. Sci.*, vol. 9, no. 1, 2018, doi: 10.3390/app9010006.
- [26] BSN, “Penilaian kesesuaian — Persyaratan umum uji profisiensi SNI ISO 17043,” 2010.
- [27] A. Woźniak and M. Dobosz, “Metrological feasibilities of CMM touch trigger probes. Part I: 3D theoretical model of probe pretravel,” *Meas. J. Int. Meas. Confed.*, vol. 34, no. 4, pp. 273–286, 2003, doi: 10.1016/j.measurement.2003.05.001.



- Hak Cipta :**
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Lampiran A

Hasil Pengukuran Diameter dan Kedalaman Lubang oleh CMM

Tabel 1. Data Pengukuran Diameter (D)

23/05/2022
 suhu awal 27.6
 suhu akhir 27.9

		D (mm)			
kedalaman lubang	pengukuran ke	1	2	4	8
A 0.5 mm	i	1.719	1.937	3.941	7.989
	ii	1.709	1.963	3.937	7.986
	iii	1.708	1.958	3.954	7.769
B 1 mm	i	1.233	1.884	3.921	7.981
	ii	1.244	1.934	3.943	7.983
	iii	1.259	1.92	3.935	7.998
C 2 mm	i	1.309	1.908	3.947	7.974
	ii	1.286	1.913	3.965	7.977
	iii	1.302	1.841	3.94	7.976
D 4 mm	i	1.614	1.974	3.953	7.984
	ii	1.604	1.974	3.97	7.998
	iii	1.385	1.981	3.954	7.987

Tabel 2 Data Pengukuran Kedalaman (d)

		d (mm)			
diameter lubang	pengukuran ke	A(0.5)	B(1)	C(2)	D(4)
1 mm	i	0.483	1.002	1.982	4.012
	ii	0.486	1.003	1.983	3.98
	iii	0.486	1.004	1.99	4.004
2 mm	i	0.517	0.919	1.979	3.991
	ii	0.518	1.006	1.985	3.989
	iii	0.523	1.009	1.979	3.992
4 mm	i	0.5	0.997	1.982	3.973
	ii	0.503	0.989	1.98	3.978
	iii	0.509	0.989	1.992	3.983
8 mm	i	0.519	1.017	2.013	4.017
	ii	0.523	1.011	1.997	4.016
	iii	0.514	1.023	2.011	4.012



Lampiran B

Hasil Pengukuran Diameter dan Kedalaman Lubang oleh *Handheld Portable 3D Scanner*

Tabel 3 Data Pengukuran Diameter (D)

kedalaman lubang	pengukuran ke	D (mm)			
		1	2	4	8
A 0.5 mm	i	1.1	1.97	4.01	8.036
	ii	1.21	2.1	4.097	8.141
	iii	1.26	2.037	4.016	7.51
B 1 mm	i	1.3	2.03	3.909	7.947
	ii	1.256	2.08	3.976	8.045
	iii	1.1	2.02	3.889	7.97
C 2 mm	i	0.962	1.88	3.894	7.6
	ii	1.1	1.94	3.895	7.96
	iii	0.77	1.988	3.863	7.935
D 4 mm	i	0.857	1.89	3.98	7.845
	ii	0.9	1.99	3.99	7.801
	iii	0.834	1.932	4.032	7.998

Tabel 4 Data Pengukuran Kedalaman (d)

diameter lubang	pengukuran ke	d (mm)			
		A(0.5)	B(1)	C(2)	D(4)
1 mm	i	0.442	0.817	0.516	0.688
	ii	0.427	0.761	0.687	0.642
	iii	0.375	0.648	0.698	0.657
2 mm	i	0.53	0.98	1.87	0.84
	ii	0.49	0.94	1.90	0.80
	iii	0.50	0.97	1.91	0.81
4 mm	i	0.51	0.97	1.95	3.88
	ii	0.50	0.97	1.96	3.90
	iii	0.50	0.99	1.97	3.92
8 mm	i	0.52	1.02	2.02	4.00
	ii	0.53	1.01	2.01	4.01
	iii	0.52	1.01	2.03	4.01

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Lampiran C
Hasil Uji ANOVA

Tabel 5 ANOVA pengukuran gaugeblock pada arah sumbu x, y, z

Source of Variation	SS	Df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	5.28E-05	4	1.32E-05	0.37	0.82	3.47
Within Groups	0.00035	10	3.524E-05			
Total	0.000405	14				

Tabel 6 ANOVA pengukuran diameter 8 mm portable handheld 3D scanner

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0.03798	3	0.01266	0.30136	0.82374	4.06618
Within Groups	0.33607	8	0.04201			
Total	0.37405	11				

Tabel 7 ANOVA pengukuran diameter 1 mm portable handheld 3D scanner

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0.28181	3	0.09394	8.10934	0.00826	4.06618
Within Groups	0.09267	8	0.01158			
Total	0.37448	11				

Tabel 8 ANOVA pengukuran diameter 4 mm portable handheld 3D scanner

	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0.04564	3	0.01521	11.0043	0.00327	4.06618
Within Groups	0.01106	8	0.00138			
Total	0.0567	11				

Tabel 9 ANOVA pengukuran diameter 2 mm portable handheld 3D scanner

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0.03256	3	0.01085	4.09234	0.04928	4.06618
Within Groups	0.02122	8	0.00265			
Total	0.05378	11				

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Tabel 10 ANOVA pengukuran kedalaman 4 mm portable handheld 3D scanner

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	31.0537	3	10.3512	27264	2.25128E-16	4.06618
Within Groups	0.00304	8	0.00038			
Total	31.0567	11				

Tabel 11 ANOVA pengukuran kedalaman 2 mm portable handheld 3D scanner

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	3.96467	3	1.32156	475.851	2.36817E-09	4.06618
Within Groups	0.02222	8	0.00278			
Total	3.98689	11				

Tabel 12 ANOVA pengukuran kedalaman 1 mm portable handheld 3D scanner

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0.13674	3	0.04558	23.0077	0.000274236	4.06618
Within Groups	0.01585	8	0.00198			
Total	0.15259	11				

Tabel 13 ANOVA pengukuran kedalaman 0.5 mm portable handheld 3D scanner

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0.02126	3	0.00709	16.2407	0.000917106	4.06618
Within Groups	0.00349	8	0.00044			
Total	0.02475	11				

Tabel 14 ANOVA pengukuran diameter 8 mm oleh CMM

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0.01122	3	0.00374	0.93179	0.46878	4.06618
Within Groups	0.03212	8	0.00401			
Total	0.04334	11				

Tabel 15 ANOVA pengukuran kedalaman 1 mm oleh CMM

Source of Variation	SS	Df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0.00247	3	0.00082	1.23496	0.359	4.06618
Within Groups	0.00534	8	0.00067			
Total	0.00782	11				

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



- Hak Cipta :**
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
 2. Dilarang menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Lampiran D

Tangkapan Layar Perangkat Lunak Pengukuran

Tabel 16 Tangkapan Layar Perangkat Lunak Pengukuran

		Pengukuran diameter 1 mm
		Pengukuran diameter 2 mm
		Pengukuran diameter : 4 mm
		Pengukuran diameter: 8 mm
	Pengukuran kedalaman	