



UNIVERSITAS NEGERI PADANG

"Alam Takambang Jadi Guru"

TUGAS AKHIR - MSN1.62.8004

**STUDI EKSPERIMENTAL AKURASI GEOMETRIS 3D SCANNER ARTEC LEO
PADA PEMINDAIAN OBJEK KOMPLEKS**

Muhammad Khattami Al Saidhi

NIM. 21338046

Dosen Pembimbing

Rifelino, S.Pd., M.T.

PROGRAM STUDI S1 TEKNIK MESIN

Departemen Teknik Mesin

Fakultas Teknik

Padang

2025

PERSETUJUAN TUGAS AKHIR

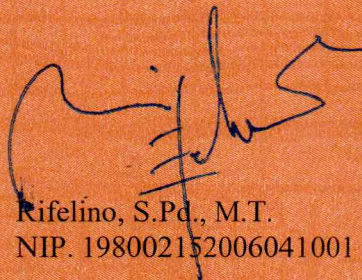
Judul : Studi Eksperimental Akurasi Geometris 3d *Scanner Artec Leo* Pada
Pemindaian Objek Kompleks.
Nama : Muhammad Khattami Al Saidhi
NIM : 21338046
Tahun Masuk : 2021
Program Studi : S1 Teknik Mesin
Departemen : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik

Koordinator Program Studi
Teknik Mesin



Yolli Fernanda, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 197607062003121001

Dosen Pembimbing S1



Rifelino, S.Pd., M.T.
NIP. 198002152006041001

PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Dinyatakan lulus setelah mempertahankan Tugas Akhir di depan tim penguji Program Studi S1 Teknik Mesin, Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang

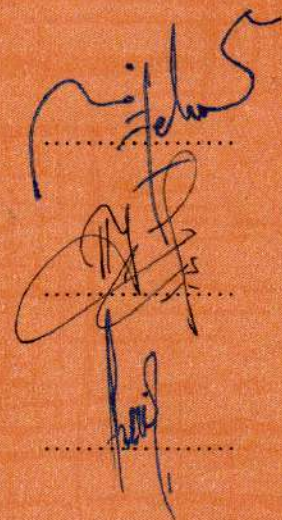
Judul : Studi Eksperimental Akurasi Geometris 3d *Scanner Artec Leo* Pada Pemindaian Objek Kompleks.
Nama : Muhammad Khattami Al Saidhi
NIM : 21338046
Tahun Masuk : 2021
Program Studi : S1 Teknik Mesin
Departemen : Teknik Mesin
Fakultas : Fakultas Teknik

Padang, 23 Oktober 2025

Tim Penguji

Nama

1. Ketua : Rifelino, S.Pd., M.T.
2. Anggota : Delima Yanti Sari, S.T., M.T., Ph.D.
3. Anggota : Febri Prasetya, S.Pd., M.Pd.T.



PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Karya tulisan saya, tugas akhir dengan judul “Studi Eksperimental Akurasi Geometris 3d *Scanner Artec Leo* Pada Pemindaian Objek Kompleks.” adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik, baik di Universitas Negeri Padang, maupun di Perguruan Tinggi Lainnya.
2. Karya tulis ini murni hasil gagasan, rumusan, dan penilaian saya sendiri, tanpa bantuan tidak sah dari pihak lain, kecuali arahan dari tim pembimbing dan penguji.
3. Di dalam karya tulis ini tidak terdapat hasil karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali dikutip secara tertulis dengan jelas dan dicantumkan pada daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sungguh-sungguh tanpa ada paksaan dari pihak lain dan apa bila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dari tulisan ini maka saya bersedia menerima sanksi akademik, berupa pencabutan gelar yang telah saya peroleh karena karya tulis ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma dan ketentuan hukum yang berlaku.

Padang, 23 Oktober 2025

Saya yang menyatakan,



Muhammad Khattami Al Saidhi
NIM. 21338057

ABSTRAK

Muhammad Khattami Al Saidhi, 2025. Studi Eksperimental Akurasi Geometris 3D Scanner Artec Leo pada Pemindaian Objek Kompleks. Tugas Akhir, Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi akurasi geometris 3D Scanner Artec Leo dalam memindai objek kompleks dengan mempertimbangkan pengaruh jarak, sudut, dan kondisi pencahayaan terhadap hasil pemindaian. Metode yang digunakan adalah studi eksperimental dengan dua objek uji, yaitu velg dan fan blade, yang dipindai menggunakan 3D Scanner Artec Leo pada variasi jarak 50 cm dan 100 cm, sudut 45° dan 90°, serta kondisi pencahayaan dalam dan luar ruangan. Analisis dilakukan menggunakan perangkat lunak Artec Studio untuk mengukur deviasi geometris hasil pemindaian terhadap data referensi objek asli. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jarak 50 cm menghasilkan deviasi terkecil, sudut 90° memberikan akurasi terbaik untuk velg, sedangkan sudut 45° lebih optimal untuk fan blade. Pencahayaan dalam ruangan menghasilkan hasil yang lebih stabil dan akurat dibandingkan pencahayaan luar ruangan. Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa 3D Scanner Artec Leo memiliki tingkat akurasi yang memadai untuk digunakan pada aplikasi industri yang memerlukan ketelitian tinggi seperti rekayasa balik dan kontrol kualitas, dengan deviasi hasil masih berada dalam batas toleransi.

Kata kunci: 3D Scanner, Artec Leo, Akurasi Geometris, Structured Light, Pemindaian Objek Kompleks

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah Subhanahu Wa Ta'ala atas limpahan rahmat, hidayah, dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan Tugas Akhir berjudul “Studi Eksperimental Akurasi Geometris 3D Scanner Artec Leo pada Pemindaian Objek Kompleks.” Shalawat serta salam tak lupa penulis sampaikan kepada Nabi Muhammad Shallallahu ‘Alaihi Wasallam, yang telah membawa umat manusia dari zaman kegelapan menuju peradaban yang terang benderang melalui ilmu pengetahuan.

Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat akademik pada Program Studi S1 Teknik Mesin, Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang. Penulis berharap karya ini dapat memberikan manfaat bagi penulis sendiri, bagi pihak lain yang membutuhkan, serta menjadi kontribusi kecil dalam pengembangan ilmu pengetahuan di bidang teknologi pemindaian tiga dimensi (3D).

Tersusunnya Tugas Akhir ini tidak terlepas dari dukungan, semangat, doa, serta bantuan dari berbagai pihak yang telah memberikan motivasi dan bimbingan selama proses penyusunan hingga terselesaikannya laporan ini. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati, penulis menyampaikan terima kasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua dan keluarga tercinta yang senantiasa mencurahkan kasih sayang, doa, nasihat, serta semangat yang tak pernah putus. Dengan

kesabaran dan ketulusan luar biasa, mereka selalu mendampingi setiap langkah penulis. Mereka adalah anugerah terindah dalam kehidupan ini.

2. Bapak Dr. Eko Indrawan, S.T., M.Pd., selaku Ketua Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang, yang telah memberikan dukungan dan fasilitas selama proses penyusunan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Yolli Fernanda, S.T., M.T., Ph.D., selaku Ketua Program Studi S1 Teknik Mesin, yang telah memberikan bimbingan, dukungan, dan motivasi kepada penulis sepanjang pelaksanaan penelitian ini.
4. Ibu Delima Yanti Sari, S.T., M.T., Ph.D., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang senantiasa memberikan arahan, semangat, serta dorongan selama masa perkuliahan.
5. Bapak Rifelino, S.Pd., M.T., selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang dengan sabar memberikan bimbingan, arahan, dan masukan berharga kepada penulis dalam setiap tahap penyusunan Tugas Akhir ini.
6. Segenap dosen dan staf administrasi Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang atas ilmu, bantuan, dan dukungan yang telah diberikan selama masa studi.
7. Seluruh rekan dan sahabat seperjuangan di Program Studi S1 Teknik Mesin yang telah memberikan semangat, kebersamaan, dan dukungan moral maupun material selama proses penyusunan Tugas Akhir ini.
8. Teristimewa, untuk jodoh penulis kelak. Engkau adalah salah satu alasan penulis berjuang menyelesaikan Tugas Akhir ini, meskipun saat ini penulis

menjalaninya sendiri tanpa kehadiranmu, dan penulis tidak mengetahui dengan siapa engkau berada sekarang. Namun penulis percaya pada takdir Allah, seperti kata Bapak B. J. Habibie: *“Kalau memang kamu dilahirkan untuk saya, dia jungkir balik pun tetap saya yang dapat.”*

Semoga Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi penulis, pembaca, dan semua pihak yang memerlukannya. Penulis menyadari sepenuhnya bahwa dalam penyusunan karya ini masih terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang bersifat membangun sangat penulis harapkan demi penyempurnaan karya ini di masa mendatang.

Padang, 5 Mei 2025

Muhammad Khattami Al Saidhi

DAFTAR ISI

PERSETUJUAN TUGAS AKHIR.....	i
PENGESAHAN TUGAS AKHIR.....	ii
PERNYATAAN.....	iii
ABSTRAK	iv
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Identifikasi Masalah	5
C. Batasan Masalah.....	7
D. Rumusan Masalah	8
E. Tujuan Penelitian.....	8
F. Manfaat Penelitian.....	9
BAB 2 LANDASAN TEORI	11
A. Teknologi Pemindaian 3D.....	11
B. Teknologi <i>Structured-light</i> Scanning	14
C. <i>Artec Leo</i> : Spesifikasi dan Karakteristik.	17

BAB 3 METODE PENELITIAN	38
A. Jenis Penelitian	38
B. Waktu dan Tempat Pelaksanaan.....	38
C. Prosedur Penelitian	38
D. Variabel Penelitian	42
E. Kondisi Pengujian dan Faktor Eksternal	44
F. Komponen Penelitian	45
G. Prosedur Pengujian.....	45
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	49
A. Hasil Penelitian.....	49
B. Analisis Hasil Penelitian	55
C. Pembahasan	63
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	72
A. Kesimpulan.....	72
B. Saran	73
C. Rekomendasi Penelitian Lanjutan	74
DAFTAR RUJUKAN.....	76
LAMPIRAN.....	82

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Pemancaran Structured Light saat memindai objek.....	19
Gambar 2. Penangkapan data oleh Kamera Sensor	19
Gambar 3. Hasil Pemindaian pada layar Artec Leo	20
Gambar 4. Pembuatan Model 3D di Artec Studio	20
Gambar 5. Diagram Prinsip Kerja Artec Leo.....	21
Gambar 6. Flowchart Prosedur Penelitian	40
Gambar 7. Alat 3D Scanner Artec Leo saat digunakan dalam eksperimen	41
Gambar 8. Ilustrasi Pemindaian Objek	44
Gambar 9a. Foto Velg.....	50
Gambar 9b. Foto Fan Blade	50
Gambar 10. Empat Titik pada Velg yang dipilih sebagai acuan deviasi	51
Gambar 11. Grafik Deviasi Geometris tiap kombinasi parameter pada Velg.....	52
Gambar 12. Empat Titik pada Fan Blade yang dipilih sebagai acuan deviasi	53
Gambar 13. Grafik Deviasi Geometris tiap kombinasi parameter pada Fan Blade	54
Gambar 14. Grafik Persentase Deviasi berdasarkan jarak pemindaian	56
Gambar 15. Grafik Persentase Deviasi berdasarkan sudut pemindaian.....	59
Gambar 16. Grafik Persentase Deviasi berdasarkan kondisi pencahayaan.....	62

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Spesifikasi Teknis 3D Scanner Artec Leo	18
Tabel 2. Variabel Penelitian.....	43
Tabel 3. Parameter Pemindaian.....	46
Tabel 4. Spesifikasi Detail Objek Uji	50
Tabel 5. Deviasi Hasil Pemindaian Velg	51
Tabel 6. Deviasi Hasil Pemindaian Fan Blade.....	54
Tabel 7. Rata-rata Deviasi Geometris Berdasarkan Jarak Pemindaian.....	56
Tabel 8. Rata-rata Deviasi Geometris Berdasarkan Sudut Pemindaian.....	58
Tabel 9. Rata-rata Deviasi Geometris Berdasarkan Kondisi Pencahayaan.....	61

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Objek Uji	82
Lampiran 2. Proses Scan	84
Lampiran 3. Hasil Pemindaian pada Artec Studio	88
Lampiran 4. Hasil Fusion pada Artec Studio	89
Lampiran 5. Hasil Pengukuran pada SolidEdge	90
Lampiran 6. Lembar Konsultasi Tugas Akhir.....	110

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Teknologi pemindaian tiga dimensi (3D) telah mengalami perkembangan pesat dalam berbagai sektor industri, termasuk manufaktur, otomotif, medis, dan rekayasa balik (*Reverse engineering*). Pemindaian 3D memungkinkan akuisisi data geometris objek secara digital, yang kemudian dapat digunakan untuk rekonstruksi model digital, analisis bentuk, dan kontrol kualitas (YU et al., 2021). Keunggulan utama teknologi ini adalah kemampuannya dalam menangkap detail objek secara presisi dan efisien, menggantikan metode pengukuran konvensional yang lebih lambat dan rentan terhadap kesalahan manusia (SEIFERT & GRIFFIN, 2020). Dengan meningkatnya kebutuhan akan desain berbasis data, akurasi pemindaian menjadi faktor krusial dalam industri yang membutuhkan tingkat presisi tinggi.

Salah satu perangkat pemindaian 3D yang menjanjikan adalah *Artec Leo*, yang menawarkan pemindaian real-time dengan kemudahan penggunaan tanpa perlu koneksi ke komputer eksternal. Teknologi *Structured-light* yang digunakannya memungkinkan pemindaian objek dengan detail tinggi dan akurasi hingga 0,1 mm (Artec Leo 3d, 2022). Meskipun demikian, belum banyak studi yang secara khusus mengevaluasi tingkat akurasi geometris *Artec Leo* dalam pemindaian objek kompleks, seperti permukaan bertekstur tinggi atau bentuk tidak beraturan. Sebagian besar penelitian yang telah dilakukan

lebih berfokus pada objek sederhana atau bagian tubuh manusia, seperti tangan dan wajah (Rudari et al., 2024).

Kesenjangan ini menjadi penting karena dalam berbagai aplikasi industri, pemindaian 3D sering kali diterapkan pada objek dengan bentuk yang kompleks, termasuk komponen mesin dengan banyak lekukan, permukaan reflektif, atau struktur dengan rongga kecil. Akurasi geometris dalam pemindaian objek semacam ini sangat menentukan keberhasilan proses desain, manufaktur, dan analisis rekayasa balik (Helle & Lemu, 2021). Tanpa pemahaman yang mendalam mengenai batasan dan keakuratan pemindaian *Artec Leo* pada objek kompleks, pengguna industri berisiko mengalami deviasi hasil yang dapat berdampak pada kualitas produk akhir.

Pemindaian 3D menjadi metode yang sangat penting dalam rekayasa balik (*Reverse engineering*), yaitu proses menganalisis suatu objek fisik untuk memahami struktur, desain, dan fungsinya guna mereplikasi atau meningkatkan desain tersebut (Helle & Lemu, 2021). Dalam konteks industri, *Reverse engineering* menggunakan pemindaian 3D untuk menciptakan model digital dari komponen yang sudah ada, terutama ketika dokumentasi asli tidak tersedia. Dengan metode ini, industri dapat mengembangkan kembali suku cadang yang tidak lagi diproduksi atau meningkatkan desain produk yang ada berdasarkan data hasil pemindaian.

Selain itu, berbagai faktor teknis dapat mempengaruhi akurasi pemindaian 3D, termasuk resolusi pemindai, sudut dan jarak pemindaian, serta

karakteristik permukaan objek (Javaid et al., 2021). Misalnya, objek dengan permukaan reflektif atau transparan sering kali sulit dipindai karena distorsi cahaya yang dapat menyebabkan kesalahan dalam rekonstruksi digital (He et al., 2022). Beberapa parameter utama dalam pemindaian 3D mencakup:

1. Resolusi pemindaian: Menentukan tingkat detail yang dapat ditangkap oleh pemindai.
2. Akurasi geometris: Mengukur seberapa dekat hasil pemindaian dengan bentuk asli objek.
3. Kecepatan akuisisi data: Berpengaruh pada efisiensi pemindaian, terutama dalam aplikasi industri.
4. Jarak dan sudut pemindaian: Mempengaruhi hasil akhir, terutama untuk objek dengan bentuk kompleks.
5. Kondisi pencahayaan: Dapat memengaruhi kualitas hasil pemindaian, terutama untuk teknologi *Structured-light*.

Dalam praktiknya, industri membutuhkan metodologi standar seperti penggunaan objek referensi atau kalibrasi (*calibration artifact*) dengan dimensi yang diketahui, analisis deviasi titik ke titik menggunakan perangkat lunak metrologi untuk mengukur akurasi pemindaian 3D. Metodologi ini biasa diterapkan pada pengujian perangkat pemindaian dalam skenario industri untuk memastikan bahwa hasil pemindaian berada dalam batas toleransi yang dapat diterima. Namun, saat ini belum ada pendekatan standar yang secara spesifik mengukur performa *Artec Leo* dalam kondisi pemindaian objek kompleks. Tanpa adanya pedoman yang jelas, pengguna industri akan menghadapi

tantangan dalam menentukan kelayakan pemindai ini untuk kebutuhan spesifik mereka (Wang et al., 2024). Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan metode evaluasi sistematis terhadap akurasi geometris *Artec Leo* dengan membandingkan hasil pemindaian dengan data geometris referensi.

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang paling berpengaruh terhadap akurasi pemindaian, termasuk jenis dan bentuk objek, kondisi pencahayaan, serta parameter teknis pemindaian. Dengan mengevaluasi bagaimana masing-masing faktor ini mempengaruhi hasil pemindaian, diharapkan penelitian ini dapat memberikan wawasan bagi pengguna industri dalam mengoptimalkan pengaturan pemindaian mereka. Hasil dari studi ini juga dapat menjadi acuan bagi pengembang teknologi pemindaian 3D untuk meningkatkan performa perangkat di masa mendatang (Trojnacki et al., 2022).

Dengan memahami akurasi geometris *Artec Leo* dalam pemindaian objek kompleks, penelitian ini akan berkontribusi dalam memperluas wawasan mengenai aplikasi pemindaian 3D dalam berbagai sektor industri. Selain itu, penelitian ini dapat memberikan pedoman bagi operator alat dalam memilih dan mengonfigurasi pemindai 3D yang paling sesuai dengan kebutuhan spesifik mereka. Temuan ini juga akan membantu meningkatkan efektivitas dan efisiensi pemanfaatan teknologi pemindaian 3D dalam proses desain, manufaktur, dan rekayasa balik (Boehnen & Flynn, 2005).

Secara keseluruhan, penelitian ini berupaya menjawab pertanyaan utama mengenai sejauh mana *Artec Leo* dapat menangkap detail geometris dari objek kompleks serta bagaimana deviasi hasil pemindaian dapat dioptimalkan. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi yang bermanfaat bagi akademisi, industri, dan pengembang teknologi dalam memahami serta meningkatkan akurasi pemindaian 3D berbasis *Structured-light* untuk aplikasi yang lebih luas dan presisi tinggi.

B. Identifikasi Masalah

Dalam penelitian ini terdapat beberapa permasalahan yang perlu diidentifikasi agar arah penelitian menjadi lebih jelas dan terstruktur. Permasalahan tersebut terutama berkaitan dengan keterbatasan pengetahuan mengenai tingkat akurasi geometris *3D Scanner Artec Leo* saat digunakan untuk memindai objek kompleks. Adapun identifikasi masalah dapat dirinci sebagai berikut:

1. Keterbatasan pemahaman mengenai akurasi *Artec Leo* pada objek kompleks.

Belum banyak penelitian yang secara spesifik mengevaluasi akurasi geometris *Artec Leo* pada objek dengan bentuk rumit, lekukan tajam, maupun rongga kecil.

2. Pengaruh karakteristik permukaan objek

Permukaan reflektif, transparan, atau sangat bertekstur sering kali menimbulkan distorsi pada hasil rekonstruksi digital, sehingga dapat mengurangi ketepatan hasil pemindaian.

3. Variasi jarak dan sudut pemindaian

Jarak serta sudut pemindaian berperan penting dalam menentukan presisi hasil, namun hingga saat ini belum ada standar yang jelas mengenai konfigurasi optimal untuk objek dengan geometri kompleks.

4. Dampak kondisi pencahayaan terhadap hasil pemindaian

Pemindaian dengan teknologi *Structured-light* yang digunakan *Artec Leo* sangat sensitif terhadap kondisi pencahayaan, sehingga hasilnya dapat berbeda signifikan antara pencahayaan buatan (*Indoor*) dan alami (*Outdoor*).

5. Ketiadaan standar pengujian khusus untuk *Artec Leo*

Hingga kini, belum tersedia pedoman baku yang dapat dijadikan acuan dalam mengevaluasi kinerja *Artec Leo* pada pemindaian objek kompleks di lingkungan industri.

6. Keterbatasan penelitian terdahulu

Studi yang ada lebih banyak menitikberatkan pada objek sederhana atau bagian tubuh manusia, sementara kebutuhan industri menuntut pengujian pada objek dengan kompleksitas yang lebih tinggi.

C. Batasan Masalah

Pada penelitian ini perlu adanya batasan masalah agar pembahasan lebih terarah. Adapun batasan masalah pada penelitian ini sebagai berikut.

1. Penelitian ini dibatasi pada penggunaan dua jenis objek uji utama, yaitu velg dan fan blade (baling - baling kipas). Kedua objek tersebut dipilih karena memiliki bentuk geometri yang serupa namun berbeda dalam ukuran, di mana satu objek berukuran kecil dan satu objek berukuran besar. Pengukuran hanya difokuskan pada tingkat keakuratan geometris hasil pemindaian menggunakan *3D Scanner Artec Leo*, dengan membandingkan data hasil pemindaian terhadap data geometris asli dari objek yang diteliti.
2. Pengujian dilakukan dalam dua kondisi pencahayaan yang berbeda, yaitu di dalam ruangan dengan pencahayaan buatan yang terkontrol dan di luar ruangan dengan pencahayaan alami.
3. Evaluasi akurasi pemindaian hanya berfokus pada tiga parameter utama:
 - a. Jarak pemindaian
Mengamati bagaimana variasi jarak mempengaruhi akurasi hasil pemindaian pada objek dengan ukuran berbeda.
 - b. Sudut pemindaian
Menganalisis pengaruh perubahan sudut terhadap ketepatan geometri hasil pemindaian.

c. Kondisi pencahayaan

Membandingkan hasil pemindaian di dalam ruangan dan di luar ruangan untuk melihat pengaruh pencahayaan terhadap akurasi pemindaian.

4. Pengujian dilakukan dalam kondisi laboratorium standar, tanpa mempertimbangkan faktor eksternal seperti suhu tinggi, kelembaban, atau gangguan cahaya yang ekstrem.

D. Rumusan Masalah

Pemindaian 3D dengan *Artec Leo* unggul dalam real-time scanning dan kemudahan penggunaan, tetapi masih menghadapi tantangan akurasi geometris, terutama pada objek kompleks. Faktor seperti jenis objek, kondisi pemindaian, dan parameter teknis memengaruhi hasilnya. Penelitian ini akan menganalisis akurasi geometris *Artec Leo* dalam berbagai kondisi pemindaian dengan merumuskan beberapa pertanyaan penelitian sebagai berikut:

1. Bagaimana tingkat akurasi geometris yang dihasilkan oleh *3D Scanner Artec Leo* dalam pemindaian objek kompleks?
2. Bagaimana hasil pemindaian *Artec Leo* dapat dibandingkan dengan data geometris referensi dalam mengukur deviasi dan pola kesalahan?

E. Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dengan tujuan sebagai berikut:

1. Mengetahui tingkat akurasi geometris *3D Scanner Artec Leo* dalam pemindaian objek dengan kompleksitas geometri yang bervariasi.

2. Mengidentifikasi dan menganalisis faktor-faktor yang mempengaruhi akurasi pemindaian 3D menggunakan *Artec Leo*, termasuk jenis objek, karakteristik permukaan, jarak dan sudut pemindaian, serta kondisi pencahayaan.
3. Membandingkan antara hasil pemindaian *Artec Leo* dengan data geometris referensi untuk mengukur deviasi dan mengidentifikasi pola kesalahan yang mungkin terjadi.
4. Merumuskan rekomendasi praktis untuk implementasi *Artec Leo* dalam aplikasi industri yang membutuhkan tingkat presisi tinggi berdasarkan hasil studi eksperimental.

F. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dalam penelitian ini adalah :

1. Penelitian ini memberikan kontribusi ilmiah yang signifikan pada pengembangan pengetahuan tentang teknologi pemindaian 3D berbasis *Structured-light*. Melalui pengembangan metodologi sistematis untuk evaluasi performa scanner 3D, hasil penelitian ini dapat menjadi acuan penting bagi penelitian sejenis di masa mendatang, serta memperkaya literatur akademis mengenai faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas hasil pemindaian 3D pada objek kompleks.
2. Bagi sektor industri, penelitian ini menyediakan panduan praktis untuk optimasi penggunaan *Artec Leo* dalam berbagai aplikasi. Dengan mengidentifikasi parameter optimal pemindaian untuk berbagai jenis objek dan kompleksitas geometri, hasil penelitian dapat membantu meningkatkan

efisiensi proses produksi, quality control, dan *Reverse engineering*, serta memberikan informasi berharga bagi pengambilan keputusan investasi teknologi.

3. Para pengembang teknologi scanner 3D dapat memanfaatkan hasil penelitian ini sebagai masukan berharga untuk pengembangan generasi perangkat berikutnya. Identifikasi komprehensif mengenai area yang memerlukan perbaikan dalam teknologi *Structured-light* scanning dapat mendorong inovasi yang berfokus pada peningkatan akurasi geometris, terutama dalam pemindaian objek kompleks dengan berbagai jenis permukaan dan karakteristik material.
4. Masyarakat luas juga mendapatkan manfaat melalui percepatan adopsi teknologi pemindaian 3D dalam berbagai sektor. Peningkatan pemahaman tentang kapabilitas dan batasan teknologi ini dapat mendukung implementasinya yang lebih luas dalam bidang manufaktur, medis, dan rekayasa, yang berpotensi meningkatkan kualitas produk dan layanan melalui peningkatan presisi, personalisasi, dan efisiensi waktu pengembangan produk baru.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian eksperimental mengenai akurasi geometris *3D Scanner Artec Leo* pada pemindaian objek kompleks (velg dan fan blade), dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Jarak pemindaian berpengaruh signifikan terhadap akurasi hasil. Pemindaian pada jarak dekat (50 cm) menghasilkan deviasi yang lebih kecil dibandingkan jarak jauh (100 cm). Hal ini menunjukkan bahwa jarak yang lebih dekat lebih optimal dalam menangkap detail geometri objek.
2. Sudut pemindaian memberikan hasil yang berbeda tergantung bentuk objek. Pada objek velg, sudut tegak lurus (90°) lebih akurat, sedangkan pada objek fan blade yang memiliki banyak lekukan, sudut miring (45°) lebih sesuai. Hal ini membuktikan bahwa karakteristik geometri objek menentukan sudut optimal pemindaian.
3. Kondisi pencahayaan memengaruhi kestabilan hasil pemindaian. Pemindaian dalam ruangan dengan pencahayaan buatan yang terkendali menghasilkan deviasi lebih kecil dan konsisten dibandingkan pemindaian luar ruangan dengan cahaya alami.
4. Secara umum, kombinasi parameter terbaik diperoleh pada jarak 50 cm, sudut pemindaian sesuai karakter objek (90° untuk velg, 45° untuk fan

blade), serta pencahayaan dalam ruangan. Konfigurasi ini mampu meminimalkan deviasi hasil dan menghasilkan tingkat akurasi yang tinggi.

5. *3D Scanner Artec Leo* layak digunakan untuk aplikasi rekayasa balik dan kontrol kualitas objek kompleks. Deviasi hasil pemindaian masih berada dalam batas toleransi industri, sehingga alat ini dapat dijadikan alternatif yang efisien dibandingkan metode pengukuran konvensional.

B. Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, beberapa saran yang dapat diberikan adalah:

1. Bagi pengguna industri, sebaiknya pemindaian dilakukan pada jarak yang relatif dekat (± 50 cm) dengan pencahayaan ruangan yang terkontrol agar deviasi dapat diminimalisir.
2. Sudut pemindaian perlu disesuaikan dengan geometri objek. Untuk objek sederhana seperti velg, gunakan sudut tegak lurus; sedangkan untuk objek kompleks dengan banyak lekukan seperti fan blade, gunakan sudut miring.
3. Pemindaian sebaiknya dilakukan di dalam ruangan untuk menghindari pengaruh cahaya matahari yang fluktuatif.
4. Operator disarankan memahami karakteristik objek terlebih dahulu sebelum menentukan konfigurasi pemindaian, karena akurasi sangat dipengaruhi oleh kombinasi parameter teknis.

5. Hasil penelitian ini dapat dijadikan pedoman awal untuk pemanfaatan *Artec Leo*, namun tetap perlu pengujian lebih lanjut jika digunakan pada jenis objek dan kondisi pemindaian yang berbeda.

C. Rekomendasi Penelitian Lanjutan

Berdasarkan hasil penelitian dan keterbatasan yang telah diuraikan sebelumnya, terdapat beberapa rekomendasi yang dapat dijadikan acuan untuk penelitian lanjutan agar diperoleh hasil yang lebih komprehensif dan aplikatif:

1. Menambah variasi objek uji. Penelitian ini hanya menggunakan velg dan fan blade. Penelitian selanjutnya dapat menggunakan objek dengan variasi material (permukaan mengkilap, transparan, atau berwarna gelap) maupun bentuk geometri lain (objek dengan rongga sempit atau permukaan kompleks).
2. Eksplorasi parameter pemindaian yang lebih luas. Penelitian ini hanya menguji dua jarak (50 cm dan 100 cm), dua sudut (45° dan 90°), serta dua kondisi pencahayaan. Penelitian berikutnya dapat menambahkan variasi jarak menengah (70–80 cm), sudut lain seperti 30° atau 60° , serta kondisi pencahayaan buatan yang lebih terkendali.
3. Pengembangan metode analisis data. Penelitian ini hanya menggunakan perbandingan titik acuan terhadap model referensi. Analisis selanjutnya dapat mencakup visualisasi *Heatmap* deviasi, distribusi error pada seluruh permukaan, atau metode statistik berbasis *Point cloud Alignment*.

4. Mengaji pengaruh faktor eksternal dan operasional. Misalnya perbedaan hasil antara penggunaan scanner secara *Handheld* dengan *Tripod*, kondisi lingkungan luar ruangan yang berubah-ubah, serta pengaruh waktu pemindaian.
5. Implementasi praktis dalam industri. Hasil pemindaian dapat langsung diuji dalam alur rekayasa balik, kontrol kualitas berbasis CAD, atau manufaktur berbantuan *3D Printing*, sehingga dampak deviasi dapat dinilai secara nyata terhadap kualitas produk.
6. Integrasi dengan metode lain. Penelitian lanjutan dapat mengombinasikan *Structured-light* scanning dengan fotogrammetri atau laser scanning untuk meningkatkan akurasi dan cakupan data, khususnya pada objek industri berukuran besar atau sangat kompleks.

Dengan berbagai rekomendasi tersebut, diharapkan penelitian lanjutan tidak hanya memperdalam pemahaman mengenai faktor teknis yang memengaruhi akurasi pemindaian, tetapi juga memperluas penerapan teknologi 3D scanning dalam konteks industri nyata

DAFTAR RUJUKAN

- Aksjonovs, A., Zaicevs, E., & Martinovs, A. (2017). 3D SCANNERS. DIVERSITY AND OPERATING PRINCIPLES. *HUMAN. ENVIRONMENT. TECHNOLOGIES. Proceedings of the Students International Scientific and Practical Conference*, 21, 13–18. <https://doi.org/10.17770/het2017.21.3576>
- Al Huda, M., Jauhari, K., Yuliansyah, E., Rahman, A. Z., & Wibowo, E. T. (2020). Investigation the effects of cutting parameters on geometric accuracy of machining marine propeller using 3D photo-scanning technique. *WSEAS Transactions on Applied and Theoretical Mechanics*, 15, 1–10. <https://doi.org/10.37394/232011.2020.15.1>
- Ameen, W., Al-Ahmari, A. M., & Mian, S. H. (2018). Evaluation of handheld scanners for automotive applications. *Applied Sciences (Switzerland)*, 8(2). <https://doi.org/10.3390/app8020217>
- Artec Leo 3d. (2022). *Manual-Leo-EN (1)*. https://docs.artec3d.com/leo_/1.8/
- Boehnen, C., & Flynn, P. (2005). *Accuracy of 3D Scanning Technologies in a Face Scanning Scenario*.
- Burcklen, M.-A., Galland, F., & Le Goff, L. (2022). *Optimizing sampling for surface localization in 3D-scanning microscopy*. <https://doi.org/10.1364/ao.XX.XXXXXX>
- Chan, B., Rudan, J. F., Mousavi, P., & Kunz, M. (2020). Intraoperative integration of structured light scanning for automatic tissue classification: a feasibility

- study. *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*, 15(4), 641–649. <https://doi.org/10.1007/s11548-020-02129-8>
- Edl, M., Mizerák, M., & Trojan, J. (2018). 3D LASER SCANNERS: HISTORY AND APPLICATIONS. *Acta Simulatio*, 4(4), 1–5. <https://doi.org/10.22306/asim.v4i4.54>
- He, K., Sui, C., Huang, T., Zhang, Y., Zhou, W., Chen, X., & Liu, Y.-H. (2022). 3D surface reconstruction of transparent objects using laser scanning with a four-layers refinement process. *Optics Express*, 30(6), 8571. <https://doi.org/10.1364/oe.449300>
- Helle, R. H., & Lemu, H. G. (2021). A case study on use of 3D scanning for reverse engineering and quality control. *Materials Today: Proceedings*, 45, 5255–5262. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.01.828>
- Huang, X., Zhang, Y., & Xiong, Z. (2021). High-speed structured light based 3D scanning using an event camera. *Optics Express*, 29(22), 35864. <https://doi.org/10.1364/oe.437944>
- Javaid, M., Haleem, A., & Kumar, L. (2019). Dimensional errors during scanning of product using 3D scanner. In *Lecture Notes in Mechanical Engineering* (pp. 727–736). Pleiades journals. https://doi.org/10.1007/978-981-13-6469-3_67
- Javaid, M., Haleem, A., Pratap Singh, R., & Suman, R. (2021). Industrial perspectives of 3D scanning: Features, roles and it's analytical applications. *Sensors International*, 2. <https://doi.org/10.1016/j.sintl.2021.100114>

- Junjie, M., Dan, L., & Zhilong, L. (2017). Application of 3D Laser Scanning Technology in Complex Rock Foundation Design. *3D Research*, 8(4).
<https://doi.org/10.1007/s13319-017-0144-9>
- Karczewski, M. (2019). Influence of 3D scanner parameters on accuracy evaluation of vehicle element deformation. *AIP Conference Proceedings*, 2078.
<https://doi.org/10.1063/1.5092015>
- Kersten, T. P., Lindstaedt, M., & Starosta, D. (2018). Comparative geometrical accuracy investigations of Hand-Held 3D scanning systems - An update. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 42(2), 487–494.
<https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-487-2018>
- Kumar, K., Zindani, D., & Davim, J. P. (2020). *Rapid Prototyping, Rapid Tooling and Reverse Engineering* (Volume 5). De Gruyter (Berlin/Munich/Boston).
<https://doi.org/10.1515/9783110664904>
- Li, R., Li, X., Heng, P.-A., & Fu, C.-W. (2021). Point Cloud Upsampling via Disentangled Refinement. *IEEE*, 12463–12472.
<https://doi.org/10.1109/CVPR46437.2021.01228>
- Michalíková, M., Bednarčíková, L., Štefanovič, B., Danko, M., Trebuňová, M., & Živčák, J. (2020). HAND 3D SCANNING POSSIBILITIES. *Acta Technológica*, 6(4), 105–110. <https://doi.org/10.22306/atec.v6i4.88>
- Muminović, A. J., Gierz, Ł., Rebihić, H., Smajić, J., Pervan, N., Hadžiabdić, V., Trobradović, M., Warguła, Ł., Wieczorek, B., Łykowski, W., & Sydor, M.

- (2024). Enhancing Furniture Manufacturing with 3D Scanning. *Applied Sciences (Switzerland)*, 14(10). <https://doi.org/10.3390/app14104112>
- Nguyen, W. L. K., Aprilia, A., Khairyanto, A., Pang, W. C., Seet, G. G. L., & Tor, S. B. (2018). Morphological Box Classification Framework for supporting 3D scanner selection. *Virtual and Physical Prototyping*, 13(3), 211–221. <https://doi.org/10.1080/17452759.2018.1433950>
- Nousiainen, K., & Mäkelä, T. (2020). Measuring geometric accuracy in magnetic resonance imaging with 3D-printed phantom and nonrigid image registration. *Magnetic Resonance Materials in Physics, Biology and Medicine*, 33(3), 401–410. <https://doi.org/10.1007/s10334-019-00788-6>
- Papas, N., Tsongas, K., Karolidis, D., & Tzetzis, D. (2021). A comparison of laser and structured light scanning technologies for archaeological applications. *International Journal of Modern Manufacturing Technologies*, 13(3 Special Issue), 111–116. <https://doi.org/10.54684/ijmmt.2021.13.3.111>
- Polo, M.-E., Cuartero, A., & Felicísimo, Á. M. (2019). *Study of uncertainty and repeatability in structured-light 3D scanners*. arXiv preprint. <https://doi.org/arXiv:1910.13199>
- Raza, S. F., Amjad, M., Ishfaq, K., Ahmad, S., & Abdollahian, M. (2023). Effect of Three-Dimensional (3D) Scanning Factors on Minimizing the Scanning Errors Using a White LED Light 3D Scanner. *Applied Sciences (Switzerland)*, 13(5). <https://doi.org/10.3390/app13053303>

Rudari, M., Breuer, J., Lauer, H., Stepien, L., Lopez, E., Dragu, A., & Alawi, S. A. (2024). Accuracy of Three-dimensional Scan Technology and Its Possible Function in the Field of Hand Surgery. *Plastic and Reconstructive Surgery - Global Open*, 12(4), E5745. <https://doi.org/10.1097/GOX.0000000000005745>

SEIFERT, E., & GRIFFIN, L. (2020, October 25). *Comparison and Validation of Traditional and 3D Scanning Anthropometric Methods to Measure the Hand*. <https://doi.org/10.15221/20.41>

Shcherbina, K. K., Golovin, M. A., Suslyayev, V. G., Marusin, N. V., Yankovskii, V. M., & Zolotukhina, M. V. (2020). An Electronic Geometric Model for 3D Scanning of Human Body Segments and Its Use in Prosthetics and Orthotics. Causes of Defects and Methods for Their Elimination. *Biomedical Engineering*, 54(2), 130–134. <https://doi.org/10.1007/s10527-020-09989-z>

Song, J., Pu, Y., & Xu, X. (2024). Adaptive Ant Colony Optimization with Sub-Population and Fuzzy Logic for 3D Laser Scanning Path Planning. *Sensors*, 24(4). <https://doi.org/10.3390/s24041098>

Syaputra, E. A., Mujahidin, S., Sartika, W., & Rossalina, N. (2023). Integration of 3D Scanning and Augmented Reality (AR) Technology in East Kalimantan Furniture Products in E-Commerce. *VCD Journal of Visual Communication Design*, 08(2), 215–232.

Trojnacki, M., Dąbek, P., & Jaroszek, P. (2022). Analysis of the Influence of the Geometrical Parameters of the Body Scanner on the Accuracy of

- Reconstruction of the Human Figure Using the Photogrammetry Technique. *Sensors*, 22(23). <https://doi.org/10.3390/s22239181>
- Verykokou, S., & Ioannidis, C. (2023). An Overview on Image-Based and Scanner-Based 3D Modeling Technologies. In *Sensors* (Vol. 23, Issue 2). MDPI. <https://doi.org/10.3390/s23020596>
- VOLONGHI, P., SIGNORONI, A., & BARONIO, G. (2016). *3D Scanning for Hand Orthotic Applications: A Comparative Assessment between Static and Real-Time Solutions*. 61–69. <https://doi.org/10.15221/16.061>
- Wang, Y., Zhou, P., Yao, C., Wang, H., & Lin, B. (2024). High accuracy calibration method for multi-line structured light three-dimensional scanning measurement system based on grating diffraction. *Optics Express*, 32(1), 691. <https://doi.org/10.1364/oe.496579>
- Xu, Q. (2021). Modeling 3D geometry using 1D laser distance measurements with application to cylinder for visualization and evaluating surface quality. *ArXiv Preprint*. <https://doi.org/arXiv:2110.14833>
- Yue, H., Yu, Y., Chen, W., & Wu, X. (2018). Accurate three dimensional body scanning system based on structured light. *Optics Express*, 26(22), 28544. <https://doi.org/10.1364/oe.26.028544>
- YU, M., CLOET, A., & GRIFFIN, L. (2021, October 4). *3D Face Scanner Comparison: Visual and Anthropometric Accuracy Analysis*. <https://doi.org/10.15221/21.41>