

BAB V

HASIL DAN ANALISA

5.1 Pengukuran dan Pengujian

Guna memastikan sistem 3D Scanner berbasis Arduino nano berfungsi sesuai dengan tujuan pembuatan alat, dilakukan beberapa pengukuran dan pengujian. Pengujian ini mencakup beberapa aspek seperti fungsionalitas, kalibrasi, dan visualisasi hasil data. Selain itu, sistem juga dilakukan pengujian berdasarkan bahan permukaan yang di pindai serta pengujian terhadap data *txt* dihasilkan oleh 3D Scanner. Pada setiap pengujian ditujukan untuk menilai beberapa aspek penting yang merepresentasikan keberhasilan implementasi sistem, serta mengidentifikasi kekurangan yang ada pada 3D Scanner berbasis Arduino Nano.

5.1.1 Tujuan dan Parameter Pengujian

Pada subbab ini, akan dijelaskan tujuan utama dari pengujian yang dilakukan serta parameter yang digunakan untuk mengevaluasi kinerja sistem 3D Scanner berbasis Arduino Nano. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa sistem dapat bekerja secara menyeluruh sesuai dengan desain yang telah dirancang, dengan fokus utama pada evaluasi akurasi sensor ToF dalam mengukur jarak, pergerakan stepper motor, dan visualisasi *file txt* yang dihasilkan alat ini. Beberapa parameter pengujian yang tertera antar lain :

1. Kalibrasi Sensor ToF

Pengujian dilakukan untuk memastikan bahwa sensor ToF dapat mengukur jarak dengan akurat. Pengujian ini mencakup pengujian terhadap berbagai titik jarak yang telah ditentukan dan membandingkan hasil pengukuran sensor dengan alat ukur standar.

2. Kalibrasi Stepper Motor

Sistem diuji untuk memastikan bahwa motor stepper dapat bergerak sesuai dengan perhitungan jumlah langkah yang telah ditentukan. Uji kalibrasi ini bertujuan untuk memverifikasi apakah pergerakan motor vertikal dan horizontal sudah sesuai dengan ekspektasi.

3. Data Koordinat XYZ

Pengujian dilakukan untuk memeriksa apakah data koordinat XYZ yang dihasilkan oleh sistem pemindaian sesuai dengan model referensi yang sudah ada. Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi akurasi dan ketepatan data yang dihasilkan selama proses pemindaian objek.

5.1.2 Prosedur dan Lingkungan Pengujian

Pengujian dilaksanakan di lokasi yang minim getaran, karena untuk hasil sensor maksimal sangat bergantung dengan ketepatan sensor membaca titik. Tekstur objek yang digunakan pun mempengaruhi hasil kinerja sensor yang dimana jika permukaan objek bersifat transparan dan mengkilap akan timbul hasil yang kurang maksimal. Peralatan yang digunakan dalam pengujian meliputi :

1. 3D Scanner berbasis Arduino Nano.
2. Objek *scanner* dengan permukaan dan bentuk sesuai dengan ketentuan (tidak transparan dan tidak mengkilap serta berbentuk silindris).
3. Laptop yang akan memproses data dari SD card untuk divisualisasikan ke bentuk 3D.

Langkah-langkah pengujian disusun dengan mengacu pada alur penggunaan sistem secara nyata, dimulai dari pemasangan posisi objek, aktivasi alat, hingga pemrosesan data *txt*. Adapun langkah-langkah pengujian dilakukan sebagai berikut:

1. Memasang objek yang hendak dipindai tepat ditengah *turntable*.
2. Menyalakan alat
3. Menekan tombol homing.
4. Menekan tombol scanning.
5. Menekan tombol *manual stop* jika dirasa cukup atau biarkan alat memindai sesuai dengan ketinggian barang.
6. Mencabut SD card lalu memasangnya pada laptop
7. Membuka aplikasi *meshlab* yang nantinya guna mengubah file *txt* menjadi visual 3D.

Setelah rangkaian pengujian, visual 3D diharap menyerupai bentuk objek yang dipindai guna menilai tingkat keberhasilan pengujian.

5.1.3 Pengujian Kalibrasi Sensor ToF

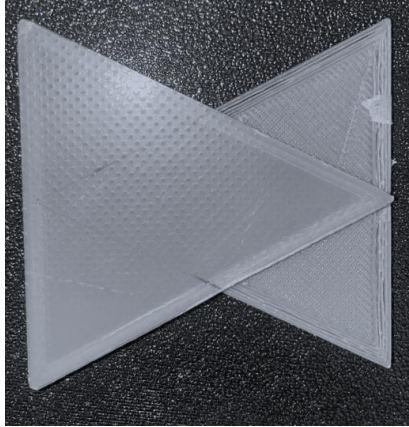
Pengujian kalibrasi sensor ToF dilakukan untuk memastikan bahwa sensor dapat mengukur jarak dengan akurat dan sesuai dengan jarak yang sebenarnya. Pengujian ini penting untuk memverifikasi bahwa sensor ToF memberikan hasil yang konsisten dan dapat diandalkan dalam berbagai kondisi pengukuran.

Pada pengujian ini, sensor ToF diuji pada beberapa titik jarak yang telah ditentukan, dengan tujuan untuk membandingkan hasil pengukuran yang diberikan oleh sensor dengan jarak yang sebenarnya. Alat ukur standar, seperti penggaris atau mikrometer, digunakan sebagai referensi untuk mendapatkan nilai jarak yang tepat.

Pengujian dilakukan dengan mencatat hasil perbandingan pengukuran langsung menggunakan jangka sorong dengan pengukuran menggunakan sensor ToF pada permukaan objek yang mengkilap dan yang tidak mengkilap. Untuk meninjau secara langsung perbedaan data yang dihasilkan, dapat merujuk pada Tabel 5-1 yang menunjukkan data pengukuran 2 objek yang berbeda secara material permukaan, Gambar 5.1 yang merupakan tampilan objek yang tidak mengkilap, serta Gambar 5.2 yang memperlihatkan tampilan objek yang mengkilap.

Tabel 5- 1 Tabel perbandingan pengukuran berdasarkan permukaan objek

Jumlah Pengujian	Jarak Asli	Sensor (Tidak mengkilap)	Sensor (mengkilap)
1	4 cm	3,9 cm	5,7 cm
2	5 cm	5,2 cm	6,1 cm
3	6 cm	6,3 cm	7 cm
4	7 cm	7,4 cm	8,8 cm
5	8 cm	8,4 cm	9,2 cm
6	9 cm	9,5 cm	9,9 cm
7	10 cm	10,2 cm	11,3 cm
8	11 cm	11 cm	12,4 cm
9	12 cm	12,1 cm	12,8 cm
10	13 cm	12,9 cm	14,1 cm
11	17 cm	17, 3 cm	19,2 cm



Gambar 5. 1 Objek tidak mengkilap (PLA)



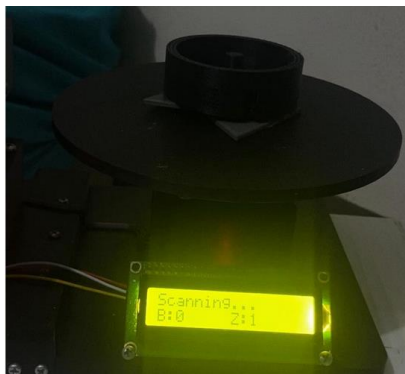
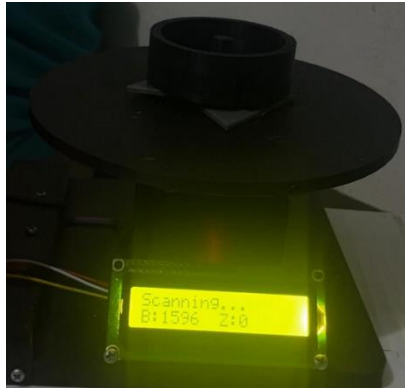
Gambar 5. 2 Objek Mengkilap (Plastik)

5.1.4 Pengujian Stepper Motor

Pengujian kalibrasi stepper motor dilakukan untuk memastikan bahwa motor dapat bergerak dengan tepat sesuai dengan jumlah langkah yang telah diprogram. Kalibrasi ini sangat penting agar motor dapat menggerakkan sensor dengan presisi, baik dalam pergerakan vertikal maupun horizontal, sehingga pemindaian objek dapat dilakukan dengan akurat. Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi apakah pergerakan stepper motor sesuai dengan ekspektasi dalam hal jumlah langkah dan kecepatan.

Total step yang harus ditempuh stepper motor A (horizontal) adalah 1600 step dengan putaran default 400 step ditambah penggunaan *microstep* $\frac{1}{4}$ yang akan ditunjukkan pada Gambar 5.3. Setiap 1600 step motor A berotasi, maka Stepper B

akan naik 1 langkah ke atas dengan jarak 0,5 mm yang akan ditunjukkan pada Gambar 5.4. Serta terkait akan dicantumkan pada Gambar 5.5 yaitu total waktu yang dihabiskan ketika memindai 1 *layer horizontal*.



Gambar 5. 3 Peralihan dari step 1596 menuju 0 pada stepper motor A





Gambar 5. 4 Perbedaan 0,5 mm setiap kenaikan 1 step stepper motor B

5.1.5 Pengujian Data Koordinat XYZ

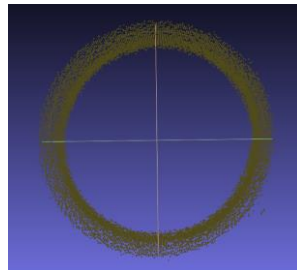
Pengujian data koordinat XYZ dilakukan untuk memastikan bahwa data yang dihasilkan oleh sistem pemindaian objek sesuai dengan model referensi yang telah ditentukan. Akurasi data koordinat XYZ sangat penting untuk menjamin bahwa pemindaian objek dapat menghasilkan representasi 3D yang menyerupai bentuk aslinya, yang akan digunakan untuk analisis lebih lanjut atau pembuatan model 3D. Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi apakah sistem dapat menghasilkan data koordinat yang sesuai dengan posisi objek yang sebenarnya.

Dikarenakan terdapat lebih dari 1000 data titik XYZ maka akan ditampilkan 20 sampling data meliputi 10 data pertama dan 10 data terakhir dari setiap percobaan yang akan ditampilkan pada tabel 5-2. dan tabel 5-3. Objek yang dipindai serta Visualisasi 3D yang sudah diproses oleh aplikasi *meshlab* akan ditampilkan pada Gambar 5.5, Gambar 5.6, Gambar 5.7, Gambar 5.8, Gambar 5.9, dan Gambar 5.10.

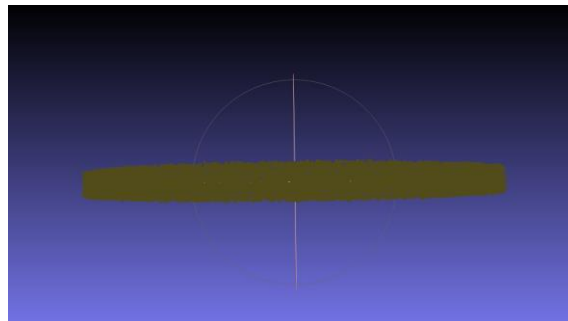
Tabel 5- 2 Potongan data koordinat XYZ dari tutup lem (2cm)

(X)	(Y)	(Z)
41.65	78.65	0.50
39.95	78.41	0.50
37.84	77.23	0.50
37.04	78.72	0.50
36.21	80.20	0.50
34.55	79.84	0.50
33.30	80.38	0.50

(X)	(Y)	(Z)
33.13	83.68	0.50
31.11	82.32	0.50
30.15	83.74	0.50
28.51	83.25	0.50
26.89	82.74	0.50
25.88	84.11	0.50
24.27	83.55	0.50
23.49	85.85	0.50
21.89	85.23	0.50
20.08	83.62	0.50
19.42	86.86	0.50
17.44	84.21	0.50
17.05	89.39	0.50



Gambar 5. 5 visual tampak atas dari tutup lem



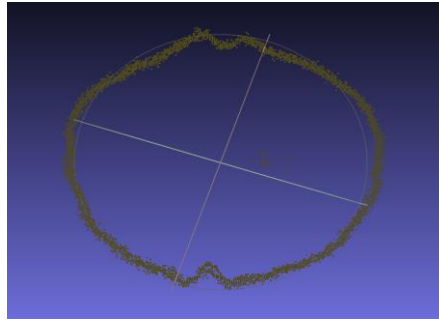
Gambar 5. 6 visual tampak samping dari tutup lem



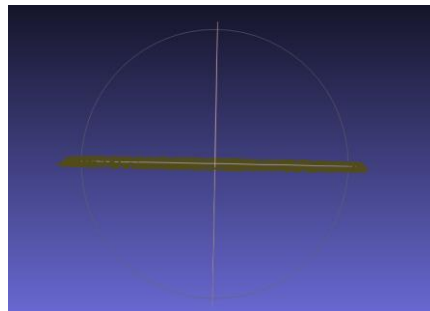
Gambar 5. 7 Tutup Lem yang dipindai

Tabel 5- 3 Potongan data koordinat XYZ dari alas charger (5mm)

(X)	(Y)	(Z)
-23.82	-77.42	1.00
-22.33	-76.82	1.00
-20.85	-76.20	1.00
-20.15	-78.45	1.00
-18.21	-75.84	1.00
-17.46	-78.07	1.00
-16.63	-80.29	1.00
-15.00	-78.58	1.00
-13.59	-77.82	1.00
-12.21	-77.04	1.00
-10.86	-76.23	1.00
-10.03	-79.37	1.00
-8.89	-80.51	1.00
-7.25	-76.66	1.00
-6.13	-77.76	1.00
-4.97	-78.84	1.00
-3.82	-80.91	1.00
-2.52	-79.96	1.00
-1.25	-78.99	1.00
-0.01	-80.00	1.00



Gambar 5. 8 Visual tampak atas alas charger



Gambar 5. 9 Visual tampak samping alas charger



Gambar 5. 10 Alas charger yang dipindai

5.2 Analisa

Setelah dilakukan serangkaian pengujian terhadap sistem pengukuran dan pengambilan data titik koordinat, diperlukan analisa lebih lanjut untuk mengevaluasi efektivitas sistem, keakuratan, serta kelengkapan fungsi yang telah diimplementasikan. Sistem ini dirancang untuk menangkap koordinat titik pada objek menggunakan sensor ToF yang nantinya tercatat di SD card dan divisualisasikan menggunakan aplikasi *meshlab*. Berdasarkan hasil pengujian menggunakan dua objek yang berbeda dari segi tekstur permukaan, sistem menunjukkan kinerja yang sesuai dengan tujuan perancangan, dimana seluruh fitur berjalan sebagaimana mestinya. Analisa pada subbab berikut akan dibagi

berdasarkan aspek kalibrasi sensor, dan stepper motor serta terkait data koordinat yang dihasilkan sistem.

5.2.1 Analisa Kalibrasi Sensor ToF

Sensor VL53L0X digunakan sebagai komponen utama untuk mengukur jarak antara sensor dan permukaan objek secara langsung. Untuk menjamin keandalan hasil pengukuran selama proses pemindaian, dilakukan proses kalibrasi sederhana dengan metode perbandingan terhadap alat ukur manual (penggaris) pada dua jenis permukaan objek, yaitu permukaan mengkilap dan tidak mengkilap.

Kalibrasi dilakukan dengan menempatkan kedua objek pada jarak yang sudah ditentukan (40 mm hingga 130mm, dan 170 mm). Jarak aktual diukur menggunakan penggaris, kemudian dibandingkan dengan hasil pembacaan sensor VL53L0X pada posisi yang sama. Hasil pengukuran disajikan dalam bentuk tabel dan grafik perbandingan antara jarak aktual dan jarak yang terbaca oleh sensor. Berdasarkan hasil pengujian, sensor menunjukkan tingkat akurasi yang cukup baik pada permukaan tidak mengkilap, dengan selisih rata rata dari 11 kali pengujian dengan jarak yang berbeda yaitu 0,2 mm. Namun pada permukaan mengkilap, sensor cenderung memberikan pembacaan yang lebih tinggi daripada jarak sebenarnya, terutama pada rentang 100 – 170 mm. Hal ini disebabkan oleh refleksi sinar inframerah yang kembali tidak tepat menuju penerima, sehingga jarak yang terbaca menjadi lebih panjang. Kondisi ini menunjukkan bahwa permukaan objek memiliki pengaruh signifikan terhadap akurasi sensor ToF. Permukaan reflektif dapat memicu distorsi pengukuran akibat pantulan sudut yang tidak ideal.

Meskipun begitu, secara umum sensor masih berada dalam batas toleransi yang wajar untuk aplikasi pemindaian sederhana. Untuk meningkatkan efektivitas, disarankan agar pemindaian dilakukan pada objek dengan permukaan doff atau dilapisi dengan lapisan anti refleksi jika memungkinkan.

5.2.2 Analisa Stepper Motor

Sistem pemindaian 3D menggunakan dua buah motor stepper, masing-masing berfungsi sebagai penggerak rotasi horizontal (motor A) dan pengangkat vertikal (motor B). Untuk memastikan keakuratan pergerakan pada kedua sumbu tersebut,

dilakukan kalibrasi terhadap jumlah langkah yang diperlukan untuk menghasilkan satu rotasi penuh maupun perpindahan vertikal tertentu.

Motor horizontal digunakan untuk memutar objek secara 360° . Berdasarkan system yang dirancang, motor memiliki 400 langkah per putaran penuh. Dengan pengaturan microstepping sebesar $1/4$, maka total langkah yang diperlukan untuk satu rotasi penuh menjadi 1600 langkah. Kalibrasi dilakukan dengan menampilkan jumlah langkah kumulatif pada layar LCD saat motor menyelesaikan satu putaran penuh. Pengamatan visual menunjukkan bahwa setelah rotasi lengkap, nilai yang tercatat di layar adalah 1600 langkah. Hal ini menunjukkan bahwa sistem berhasil merepresentasikan rotasi 360° secara akurat sesuai perhitungan teoritis.

Motor vertikal digunakan untuk menaikkan dan menurunkan sensor VL53L0X selama proses pemindaian lapisan vertikal. Untuk menguji keakuratan perpindahan setiap langkah, dilakukan pengukuran selisih tinggi sensor menggunakan penggaris sebelum dan sesudah satu langkah gerak.

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa satu langkah motor menghasilkan kenaikan setinggi 0.5 mm secara konsisten. Dengan demikian, jika diperlukan pemindaian vertikal setinggi 14 cm (140 mm), maka jumlah langkah yang dibutuhkan adalah 280 langkah.

Kalibrasi kedua motor menunjukkan hasil yang memuaskan. Motor horizontal mencatat rotasi 360° dalam 1600 langkah secara tepat, dan motor vertikal menunjukkan pergerakan linear sebesar 0.5 mm per langkah. Hal ini menjadi landasan penting bagi keakuratan hasil pemindaian, terutama dalam pembentukan koordinat 3D yang presisi.

5.2.3 Analisa Data Koordinat XYZ

Setelah proses pengambilan data jarak dari sensor dan gerakan terkoordinasi dari kedua motor stepper (horizontal dan vertikal), sistem mengonversi seluruh data jarak *save_dist* menjadi representasi titik dalam sistem koordinat tiga dimensi (X, Y, Z). Konversi ini dilakukan dengan pendekatan transformasi dari sistem koordinat polar ke kartesian, dengan menggunakan sudut rotasi horizontal dan ketinggian vertikal sebagai parameter utama.

Proses perhitungan koordinat dilakukan dengan rumus sebagai berikut :

$$X = \cos(\theta) \times d$$

$$Y = \sin(\theta) \times d$$

Dengan :

- d sebagai hasil pembacaan sensor VL53L0X
- θ sebagai sudut rotasi motor horizontal dalam radian

Dalam implementasi program Arduino, sudut rotasi diperbarui secara inkremen sebesar 0.9° per langkah, dengan konversi ke radian menggunakan konstanta :

```
#define DEGTORAD 0.017453
angle += DEGTORAD * 0.9;
xp = cos(angle) * save_dist;
yp = sin(angle) * save_dist;
```

Gambar 5. 11 Pengaturan penentuan X dan Y dalam codingan

Hasil pengolahan data kemudian menghasilkan titik 3D (point cloud) yang disimpan dalam format *txt*. Masing-masing baris dalam file tersebut merepresentasikan satu titik dengan nilai X, Y, dan Z. File tersebut kemudian divisualisasikan menggunakan perangkat lunak *meshlab*, dan hasilnya menunjukkan bentuk objek 3D yang menyerupai objek aslinya.

Tabel 5- 4 Hasil konversi lima titik pertama pada objek tidak mengkilap dan berbentuk silindris

Titik	X	Y	Sudut (°)	save_dist	$\sqrt{(X^2 + Y^2)}$
1	85.99	1.35	0.0	85.99	86.00
2	83.96	2.64	0.9	83.97	84.00
3	85.90	4.05	1.8	85.94	86.00
4	85.83	5.4	2.7	85.93	86.00
5	85.73	6.75	3.6	85.9	86.00

Tabel 5- 5 Hasil konversi lima titik pertama pada objek mengkilap dan berbentuk non silindris

Titik	X	Y	Sudut (°)	save_dist	$\sqrt{(X^2 + Y^2)}$
1	84.99	1.34	0.0	84.99	85.00

Titik	X	Y	Sudut (°)	save_dist	$\sqrt{X^2 + Y^2}$
2	85.96	2.70	0.9	85.97	86.00
3	87.90	4.15	1.8	87.94	88.00
4	86.83	5.46	2.7	86.93	87.00
5	88.73	6.98	3.6	88.91	89.00

Berikut adalah analisa terkait hasil pengujian yang dilakukan :

- Pada objek berbentuk silinder dan permukaan *matte*, hasil *point cloud* membentuk siluet melingkar yang utuh dan proporsional.
- Hasil koordinat dari permukaan mengkilap dan bersudut cenderung menghasilkan titik acak akibat pantulan sinyal inframerah yang menyimpang.
- Pada objek tidak mengkilap, pola koordinat terlihat lebih halus dan teratur, menandakan pembacaan sensor yang stabil.

Transformasi data koordinat XYZ pada sistem 3D scanner ini telah berjalan dengan baik untuk permukaan dan bentuk tertentu. Seluruh koordinat terbentuk secara sistematis berdasarkan pembacaan jarak sensor dan posisi motor stepper. Visualisasi hasil menunjukkan bahwa sistem mampu menangkap jarak pengukuran dan mengolahnya ke koordinat XYZ, meskipun permukaan reflektif dan bentuk non silindris masih menjadi tantangan yang perlu diperhatikan dalam pengolahan data lanjutan.