

# Rekonstruksi 3D Berbasis LiDAR TF Mini Plus

Zindhu Maulana Ahmad Putra<sup>1</sup>, Dania Kiki Sandiya<sup>2</sup>, Ryan Yudha Adhitya<sup>3</sup>, Mat Syai'in<sup>4</sup>, Rachmad Tri Soelistijono<sup>5</sup>, Boedi Herijono<sup>6</sup>, Ii Munadhif<sup>7</sup>, Samudra Rozzak Arrachman<sup>8</sup>, Achmad Nawawi<sup>9</sup>

e-mail: [zindhu@ppns.ac.id](mailto:zindhu@ppns.ac.id), [rania.kiki@student.ppns.ac.id](mailto:rania.kiki@student.ppns.ac.id), [ryanyudhaadhitya@ppns.ac.id](mailto:ryanyudhaadhitya@ppns.ac.id),  
[matt.syaiin@ppns.ac.id](mailto:matt.syaiin@ppns.ac.id), [rachmad\\_tri@ppns.ac.id](mailto:rachmad_tri@ppns.ac.id), [boedihj@ppns.ac.id](mailto:boedihj@ppns.ac.id), [iimunadhif@ppns.ac.id](mailto:iimunadhif@ppns.ac.id),  
[samudrarozzak@gmail.com](mailto:samudrarozzak@gmail.com), [achmadnawawi11@gmail.com](mailto:achmadnawawi11@gmail.com)

<sup>1,2,3,4,5,6,7,8,9</sup> Jurusan Teknik Kelistrikan Kapal, Program Studi Teknik Otomasi, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Jalan Teknik Kimia, Keputih, Sukolilo, Surabaya, Jawa Timur, Indonesia

## Informasi Artikel

### Riwayat Artikel

Diterima 23 Mei 2024

Direvisi 28 Juni 2024

Diterbitkan 31 Juli 2024

### Kata kunci:

Sensor LIDAR

TF Mini Plus

Koordinat Kartesian

Point-Clouds

Rekonstruksi 3D

## ABSTRAK

Rekonstruksi 3D adalah teknik membentuk objek tiga dimensi dari bentuk aslinya di dunia nyata untuk divisualisasikan di komputer. Awalnya, proses ini dilakukan secara manual dengan pengukuran langsung, namun rentan terhadap kesalahan karena ketidakakuratan pengukuran. Dalam penelitian ini, sistem rekonstruksi 3D menggunakan teknologi digital dengan sensor LiDAR TF-Mini Plus. Sensor LiDAR menggunakan pulsa laser untuk mengukur jarak ke objek dan menghasilkan data *point-clouds* yang merepresentasikan permukaan objek. Sensor ini digerakkan oleh dua motor, yaitu motor servo untuk rotasi pitch dan motor stepper untuk rotasi yaw, memungkinkan cakupan penuh objek dan rekonstruksi yang lebih rinci. Pengujian menunjukkan bahwa sistem ini mampu menghasilkan rekonstruksi 3D dengan akurasi 95% kemiripan dengan objek yang di *scanning*. Data *point-clouds* yang dikumpulkan oleh sensor LiDAR merepresentasikan bentuk asli tangki dengan presisi, termasuk lekukan dan kontur secara jelas. Hal ini membuktikan efektivitas sistem dalam menciptakan model 3D yang berguna untuk berbagai analisis dan visualisasi.

## ABSTRACT

*3D reconstruction is a technique of shaping a three-dimensional object from its original form in the real world to be visualized on a computer. Originally, this process was done manually by direct measurement, but it is prone to errors due to measurement inaccuracies. In this research, the 3D reconstruction system uses digital technology with the LiDAR TF-Mini Plus sensor. The LiDAR sensor uses laser pulses to measure the distance to the object and generates point-clouds data representing the surface of the object. The sensor is driven by two motors, a servo motor for pitch rotation and a stepper motor for yaw rotation, enabling full coverage of the object and more detailed reconstruction. Tests show that the system is capable of producing 3D reconstructions with an accuracy of 95% similarity to the scanned object. The point-clouds data collected by the LiDAR sensor represented the original shape of the tank with precision, including clear curves and contours. This proves the effectiveness of the system in creating 3D models that are useful for various analyses and visualizations.*

## Penulis Korespondensi:

Zindhu Maulana Ahmad Putra,

Jurusan Teknik Kelistrikan Kapal, Program Studi Teknik Otomasi,

Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya,

Jl. Teknik Kimia, Keputih, Kec. Sukolilo, Surabaya, Jawa Timur, Indonesia, 60111

Email: [zindhu@ppns.ac.id](mailto:zindhu@ppns.ac.id)

Nomor HP/WA aktif: 083857105060



## 1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi saat ini semakin pesat, memberikan banyak kemudahan bagi manusia dalam memperoleh informasi di berbagai bidang seperti kesehatan, pendidikan, industri, dan lainnya. Pengetahuan tentang informasi sangat penting dan diperlukan untuk menyelesaikan masalah dengan lebih mudah dan cepat. Karena pentingnya informasi ini, banyak peneliti terus berupaya mengembangkan teknologi. Salah satu teknologi yang berkembang adalah citra (gambar) dalam bentuk rekonstruksi 3D. Rekonstruksi 3D adalah teknik untuk memperoleh kembali informasi objek 3D dari dunia nyata dan disusun kembali ke dalam titik-titik pada komputer sehingga komputer dapat mengolah serta menampilkan informasi yang mirip dari objek di dunia nyata melalui tampilan komputer [1]. Melalui rekonstruksi 3D, objek dari dunia nyata dapat direproduksi dengan waktu yang lebih singkat dan efisien. Pada awalnya, kegiatan rekonstruksi dilakukan secara manual melalui pengukuran langsung pada objek di lapangan. Hal ini tentunya cukup menguras tenaga, membutuhkan waktu yang relatif lama, dan juga membutuhkan ketelitian yang tinggi agar hasilnya sesuai dengan yang diinginkan. Selain itu, juga beresiko dan berbahaya ketika proses pengukuran dilakukan pada tempat atau lokasi yang sulit untuk dijangkau karena faktor keamanan dan tingkat kecelakaan yang besar yang dapat dialami oleh petugas karena harus terjun langsung ke lokasi. Namun untuk saat ini, karena adanya perkembangan teknologi, proses rekonstruksi pun semakin mudah sebab tidak lagi dilakukan secara manual melainkan melalui teknologi digital.

Adanya teknologi digital ini sangat membantu dalam dunia konstruksi pemodelan 3D. Teknologi digital membantu para arsitek ataupun desainer untuk menciptakan gambar maupun desain hingga ke tahap konstruksi [2]. Hal ini mempermudah dan membuat pekerjaan dari arsitek maupun desainer menjadi lebih efisien. Contohnya dalam bidang industri, pemodelan 3D secara digital mempermudah arsitek untuk membuat bangunan, jembatan, gedung pencakar langit, dan lainnya. Selain itu pemodelan 3D digital juga mempermudah pekerjaan dalam bidang kesehatan misalkan untuk pemodelan organ tubuh manusia, dan juga dalam bidang perfilman untuk menghasilkan objek gambar animasi [3]. Tidak hanya itu, rekonstruksi pemodelan juga banyak digunakan sebagai sarana pemetaan suatu wilayah maupun pemetaan ruangan. Pemetaan ini merupakan sarana informasi yang disampaikan secara digital untuk menggambarkan sebuah area atau lingkungan untuk lebih mudah dipahami oleh pengguna [4].

Beberapa peneliti telah melakukan penelitian rekonstruksi pemetaan diantaranya yaitu penelitian [5] yang berhasil merancang suatu sistem pemetaan ruangan 2D dengan menggunakan sensor ultrasonik dan menghasilkan peta yang dapat dilihat pada layar komputer dalam bentuk peta ruang 2 dimensi. Penelitian lain [6] menghasilkan peta ruangan dan jumlah objek yang dideteksi dalam bentuk 2 dimensi menggunakan sensor lidar. Penelitian lainnya [7] telah menghasilkan sistem pemetaan objek dengan menggunakan sensor lidar yang dapat bergerak ke atas dan ke bawah dengan posisi objek yang dipindah akan bergerak memutar 360 derajat.

Dalam penelitian ini, akan dibuat suatu sistem untuk rekonstruksi 3D dengan menggunakan sensor LiDAR (*Light Detection and Ranging*) tipe TF - Mini Plus LiDAR produk dari produsen Benewake. Sensor ini akan digerakkan oleh dua motor pada dua axis yaitu motor servo yang akan menggerakkan pada rotasi *pitch* dan motor stepper pada rotasi *yaw*. Pergerakan ini, akan mempermudah sensor untuk dapat menjangkau seluruh bagian objek sehingga menghasilkan rekonstruksi 3D yang lebih rinci dengan posisi objek yang tetap diam.

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1 LiDAR (*Light Detection and Ranging*)

LiDAR (*Light Detection and Ranging*) merupakan salah satu teknologi berupa sensor jarak jauh untuk mendeteksi objek dengan cara memancarkan sinar laser ke objek kemudian dipantulkan kembali ke sensor [8]. Sensor LiDAR sering digunakan pada aktivitas-aktivitas pengukuran, pengamatan, atau pemetaan menggunakan teknik penginderaan jauh dengan cahaya laser untuk pengukuran jarak terhadap objek dengan kerapatan dan akurasi yang tinggi. Sensor ini terdiri dari perangkat optik dan elektronik khusus yang mengintegrasikan algoritma adaptif untuk keperluan pengukuran jarak pada area *outdoor* maupun *indoor*. LiDAR menggunakan teknologi *Time of Flight* (ToF). *Time of Flight* (ToF) merupakan sebuah metode pengukuran jarak yang didapatkan dari sinyal yang dikirim dan kembali lagi diterima oleh sensor [9]. Maka, prinsip yang digunakan pada LiDAR yaitu waktu tempuh menentukan jarak objek yang diobservasi [10].

$$ToF = nT + \frac{\varphi}{2\pi} T \quad (1)$$



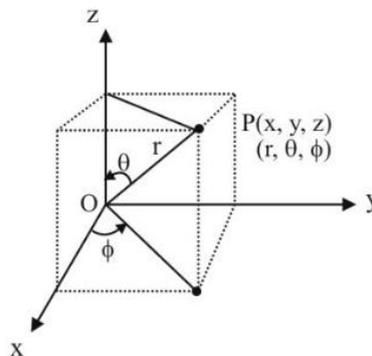
Persamaan (1) merupakan persamaan untuk mencari ToF berdasarkan beda fase ( $\phi$ ) dari gelombang yang disebar dengan hasil pantulan gelombang dari objek, dengan  $n$  merupakan jumlah gelombang secara penuh sedangkan  $T$  adalah waktu tempuh cahaya dalam satu panjang gelombang. Setelah mengetahui nilai ToF, selanjutnya nilai jarak (*distance*) dapat dihitung.

$$D = \frac{c \times ToF}{2} \tag{2}$$

Persamaan (2) merupakan persamaan untuk menghitung jarak berdasarkan nilai ToF yang sudah didapatkan sebelumnya, dengan  $C$  yang merupakan nilai kecepatan cahaya di udara.

### 2.2 Point-Clouds

*Point-clouds* merupakan sekumpulan titik dalam koordinat tiga dimensi yang memiliki ukuran panjang, lebar, dan tinggi, serta dapat direpresentasikan dalam bentuk koordinat X, Y, dan Z atau koordinat kartesius. Dalam penelitian ini nilai  $x$ ,  $y$ , dan  $z$  diperoleh dari hubungan antara koordinat kartesius dengan koordinat bola. Proses ini melibatkan transformasi koordinat dari titik P dalam koordinat bola ( $r, \theta, \phi$ ) menjadi titik P dalam koordinat kartesius ( $x, y, z$ ):



Gambar 1: Koordinat Bola

$$x = r \sin \theta \cos \phi \tag{3}$$

$$y = r \sin \theta \sin \phi \tag{4}$$

$$z = r \cos \theta \tag{5}$$

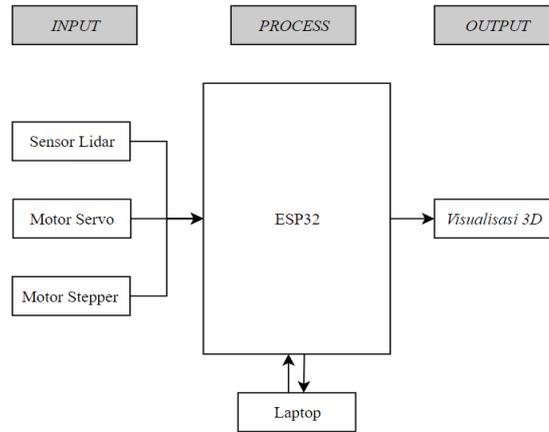
Nilai  $x$ ,  $y$ , dan  $z$  ini diperlukan untuk dapat membentuk visualisasi 3D. Ketiga nilai ini merujuk pada koordinat dalam sistem koordinat tiga dimensi yang digunakan untuk menentukan posisi tepat dari setiap titik dalam ruang 3D. Dimana koordinat  $x$  untuk menentukan posisi horizontal dari suatu titik, kemudian koordinat  $y$  untuk menentukan posisi vertikal dari suatu titik, dan koordinat  $z$  untuk menentukan posisi kedalaman dari suatu titik. Dengan menggunakan ketiga koordinat ini, setiap titik dalam *point-clouds* dapat ditempatkan dengan presisi dalam ruang tiga dimensi, memungkinkan pembentukan model 3D yang sesuai dengan objek asli. Transformasi dan pemetaan yang tepat dari koordinat ini sangat penting untuk memastikan bahwa visualisasi 3D yang dihasilkan dapat merepresentasikan bentuk, ukuran, dan posisi objek secara akurat.

### 2.3 Perancangan Sistem

Perancangan dalam sebuah penelitian merupakan hal yang sangat penting. Karena dengan adanya perancangan, penelitian akan lebih mudah diimplementasikan secara terarah dan terstruktur. Dalam pembuatan alat, penulis perlu membuat perancangan sistem untuk mengetahui *input* yang digunakan, *process* yang dilakukan hingga mendapatkan *output* sesuai dengan yang direncanakan. Pada penelitian ini, fokus utama adalah pada pembuatan sistem *scanning* objek yang kemudian divisualisasikan dalam bentuk 3D. Proses perancangan dimulai dengan menentukan jenis sensor dan motor yang akan digunakan untuk mengumpulkan data *point-clouds*, diikuti dengan pengaturan mekanisme pergerakan untuk memastikan cakupan penuh dari objek yang dipindai. Setelah data

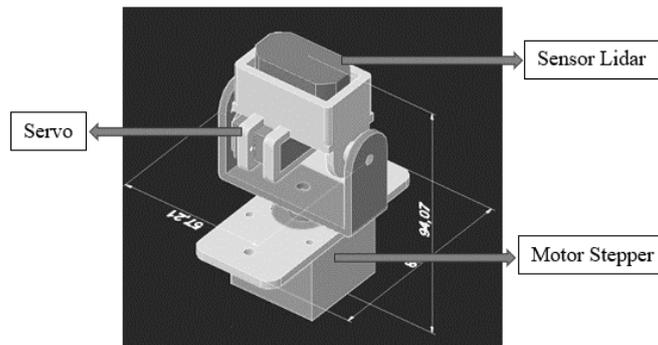


dikumpulkan, langkah selanjutnya adalah memproses data tersebut menjadi format yang dapat divisualisasikan dan mengimpor data tersebut ke perangkat lunak visualisasi 3D. Dengan perancangan yang telah dibuat, sistem ini diharapkan dapat menghasilkan visualisasi 3D yang akurat dan dapat diandalkan, sesuai dengan tujuan penelitian.



Gambar 2: Perancangan Sistem

Gambar 2 merupakan rancangan sistem yang akan dibuat pada penelitian ini. Pada sistem ini terdapat 3 *input* yaitu sensor lidar, motor servo, dan motor stepper yang nilainya nanti akan diolah dengan rumus koordinat bola menggunakan mikrokontroler ESP32 hingga mendapatkan data *point clouds*. Data *point clouds* didapatkan dari hasil jarak sensor lidar dan hasil sudut servo dan stepper. Dimana sudut motor stepper digunakan sebagai sudut  $\phi$  (Phi), sudut servo digunakan sebagai sudut  $\theta$  (tetha), dan pembacaan yang diperoleh dari sensor lidar akan menjadi radius. Dari situ akan didapatkan kumpulan data (radius, phi, theta). Namun dari kumpulan data tersebut harus diubah menjadi kartesian (x, y, z). Sehingga, perlu dilakukan konversi dari sistem koordinat bola ke koordinat kartesian menggunakan rumus dari persamaan (3), (4), dan (5). Setelah mendapatkan data *point clouds* data ini akan divisualisasikan dalam bentuk 3D sesuai dengan objek yang di *scanning*. Untuk dapat mengaplikasikan sistem ini, penulis membuat perancangan *hardware* untuk 3D scanner yang ditunjukkan pada Gambar 3.

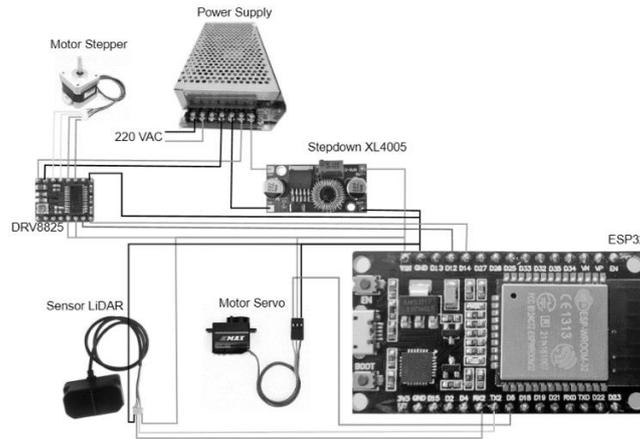


Gambar 3: Perancangan *Hardware* 3D Scanner

Gambar 3 merupakan rancangan desain braket untuk 3D scanner yang dibuat menggunakan *software* autocad kemudian dicetak pada 3D printer. Hasil dari desain ini akan membuat 3 komponen (sensor lidar, servo, motor stepper) bekerja sama saat jalannya sistem. Braket ini berfungsi sebagai kerangka yang mengintegrasikan dan menstabilkan ketiga komponen tersebut. Saat sistem berjalan, sensor LiDAR digerakkan oleh motor stepper untuk bergerak pada rotasi *yaw*, yang memungkinkan gerakan horizontal, dan motor servo untuk rotasi *pitch* yang memungkinkan gerakan vertikal. Kombinasi pergerakan ini memungkinkan sensor LiDAR memindai seluruh



permukaan objek dengan presisi dan menghasilkan data *point-clouds* yang diperlukan untuk visualisasi 3D yang akurat. Dengan desain braket yang optimal, komponen-komponen ini dapat berfungsi secara sinergis untuk menghasilkan hasil *scanning* yang efisien dan tepat.



Gambar 3: Perancangan Elektrik Pada Sistem

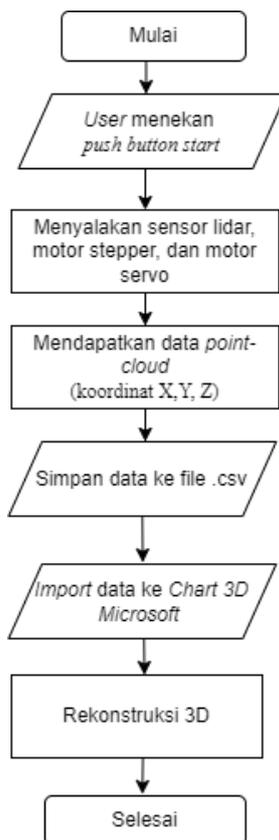
Selain perancangan *hardware*, penulis juga melakukan perancangan elektrik. Gambar 4 merupakan rancangan elektrik dari sistem penelitian ini, dimana terdapat mikrokontroler yang digunakan yaitu ESP32, kemudian sensor LiDAR, motor servo, motor stepper, driver motor drv8825, *stepdown xl4005*, dan *power supply* 12V. Penggunaan *stepdown* pada penelitian ini yaitu sebagai penurun tegangan 12V dari *power supply* menjadi 5V untuk memberikan *supply* ke ESP32, sensor LiDAR, dan motor servo yang bekerja pada tegangan 5V. Sedangkan motor stepper langsung terhubung ke *power supply* karena tegangan yang diperlukan untuk menggerakkan motor stepper adalah 12V. Kemudian untuk mengatur step atau langkah dari putaran motor stepper dibutuhkan sebuah driver, yang mana pada driver ini tegangan referensi ( $V_{ref}$ ) dapat diatur dengan cara memutar potensio yang berada pada driver. Pengaturan  $V_{ref}$  ini perlu dilakukan untuk membatasi arus yang masuk ke motor stepper agar sesuai dengan yang dibutuhkan sehingga tidak sampai merusak motor stepper. Pada penelitian ini, motor stepper yang digunakan yaitu tipe Nema 14PM-M204-10V. Berdasarkan *datasheet*, *rated current/phase* dari motor stepper ini adalah 0,18A sehingga tegangan referensinya yang didapatkan yaitu:

$$V_{ref} = \frac{current}{2} \tag{6}$$

$$V_{ref} = \frac{0,18}{2}$$

$$V_{ref} = 0,09V$$





Gambar 5: Flowchart Alur Kerja Sistem

Gambar 5 merupakan flowchart alur kerja dari sistem penelitian ini, dimana sistem berjalan ketika *user* atau operator menekan tombol *start*, yang mengaktifkan sensor lidar, motor stepper, dan motor servo. Setelah aktif, sistem akan mulai mengumpulkan data *point-clouds* yaitu titik titik dalam koordinat X, Y, dan Z. Ketika data sudah terkumpul semuanya, data disimpan dalam file .csv untuk diimpor ke Chart 3D Microsoft untuk divisualisasikan. Dengan data yang telah diimpor, sistem melakukan rekonstruksi 3D untuk menghasilkan model tiga dimensi.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

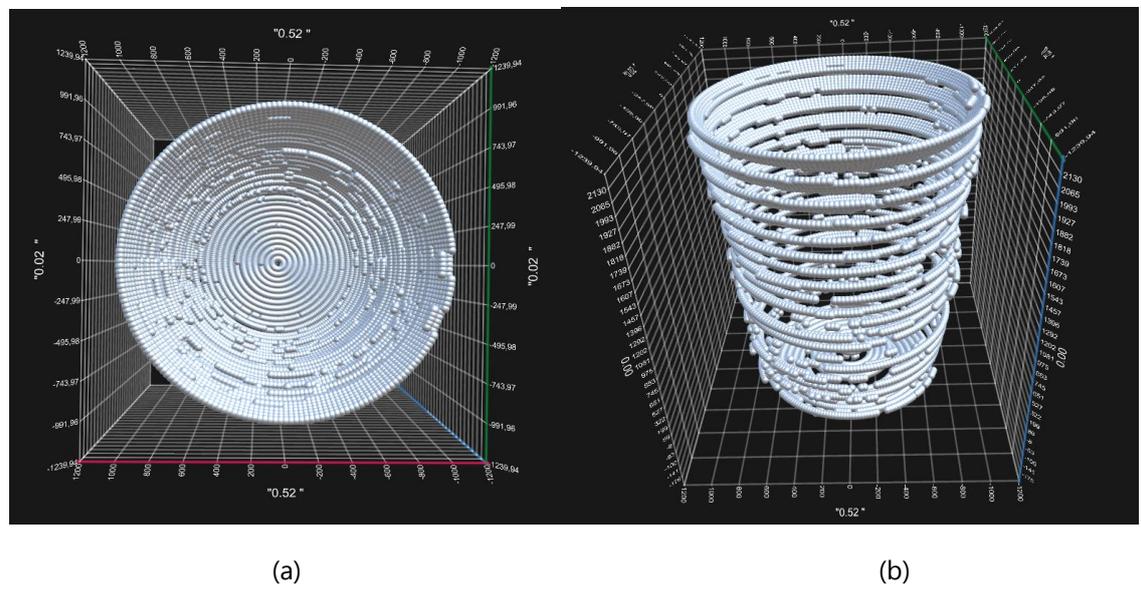
Pengujian dilakukan dengan pengambilan data dari *scanning* tangki kosong. Peletakan sensor dan aktuator yang digunakan yaitu pada posisi atas bagian tengah tangki. Peletakan pada posisi ini bertujuan agar saat proses *scanning* mencakup keseluruhan bagian pada objek. Dengan posisi sentral ini, sensor LiDAR yang digerakkan oleh motor stepper dan motor servo mampu memindai bagian dalam tangki dengan rotasi *yaw* dan *pitch* untuk mencakup seluruh bagian dengan rinci. Penempatan sensor, aktuator, serta objek yang di *scanning* dapat dilihat pada Gambar 6.





Gambar 6: Objek yang di *Scanning*

Seperti yang ditunjukkan pada flowchart alur kerja sistem, dimana proses *scanning* dimulai dari *user* yang menekan *push button start*. Saat *push button start* ditekan, maka sistem akan berjalan dan mulai melakukan proses *scanning*. Dimulai dari motor stepper yang akan berputar ke arah kanan sampai 360 derajat kemudian servo akan bergerak 1 derajat dan dilanjut dengan motor stepper yang bergerak ke arah kiri sampai 360 derajat kemudian servo bergerak kembali 1 derajat. Sistem akan terus mengulang pergerakan tersebut dan akan otomatis berhenti ketika servo sudah mencapai 90 derajat. Data hasil *scanning* berupa *point-clouds* atau nilai *x*, *y*, dan *z* dalam koordinat kartesian. Dari proses *scanning* yang telah dilakukan didapatkan data *point-clouds* sebanyak 10025 data.



Gambar 7: (a) Hasil *Scanning* Tampak Atas, (b) Hasil *Scanning* Tampak Samping

Gambar 7 merupakan hasil dari visualisasi data *point-clouds scanning* tangki kosong dengan gambar (a) yang menunjukkan hasil visualisasi tampak atas dan gambar (b) hasil visualisasi tampak samping. Hasil dari data *scanning* tangki kosong menunjukkan bahwa bentuk yang dihasilkan menyerupai objek sebenarnya. Dengan menggunakan



sensor lidar dan motor yang terintegrasi, sistem berhasil mengumpulkan data *point-clouds* yang cukup akurat. Data ini kemudian diolah dan divisualisasikan menggunakan Chart 3D Microsoft yang menghasilkan rekonstruksi tiga dimensi. Rekonstruksi 3D tersebut menggambarkan bentuk tangki dengan jelas, memperlihatkan detail dan kontur yang sesuai dengan bentuk fisik tangki kosong. Ini menunjukkan keandalan dan presisi sistem dalam menangkap dan memproses data untuk menghasilkan model yang representatif dari objek yang dipindai.

#### 4. KESIMPULAN

Telah dirancang sebuah sistem 3D *Scanner* menggunakan sensor LiDAR TF Mini Plus yang digerakkan oleh motor servo dan motor stepper pada rotasi *pitch* dan *yaw*. Data yang dihasilkan dari sistem ini yaitu *point-clouds*. *Point-clouds* merupakan sekumpulan titik dalam koordinat tiga dimensi yang memiliki ukuran panjang, lebar, dan tinggi, serta dapat direpresentasikan dalam bentuk koordinat X, Y, dan Z atau koordinat kartesian. Data hasil *scanning* disimpan dalam file dengan format .csv kemudian divisualisasikan ke bentuk 3D menggunakan *software* 3D Chart Microsoft dengan objek yang di *scanning* berupa tangki kosong. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem dapat mengumpulkan data *point-clouds* dengan cukup presisi dengan hasil rekonstruksi yang cukup menyerupai objek yang di *scanning*. Untuk pengembangan penelitian selanjutnya, pergerakan 3D *scanner* dapat diperhalus lagi, karena ini mempengaruhi hasil data *point-clouds*. Jika pergerakan kurang halus dan terjadi getaran maka *point-clouds* akan tidak terbaca, sehingga terdapat bagian yang kosong.

#### 5. UCAPAN TERIMA KASIH

Kepada Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi (Kemdikbudristek) yang telah mendukung dan memberikan dana kepada penulis sehingga dapat merealisasikan penelitian ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] F. Oktariko and Lina, "KAJIAN TENTANG REKONSTRUKSI OBJEK 3D MENGGUNAKAN STEREO VISION DENGAN METODE HARRIS INTEREST POINT DAN RANSAC," 2018.
- [2] R. A. Putra, "PERAN TEKNOLOGI DIGITAL DALAM PERKEMBANGAN DUNIA PERANCANGAN ARSITEKTUR," 2018. [Online]. Available: [www.jurnal.ar-raniry.com/index.php/elkawnie](http://www.jurnal.ar-raniry.com/index.php/elkawnie)
- [3] C. C. Corputty and A. Suhendra, "APLIKASI REKONSTRUKSI OBJEK 3D DARI KUMPULAN GAMBAR 2D DENGAN ALGORITMA GENERALIZED VOXEL COLORING," 2015.
- [4] F. N. Nugrohoadi, F. Samopa, and N. A. Sani, "Pengembangan Peta Tiga Dimensi Interaktif untuk Graha ITS dan UPT Bahasa Institut Teknologi Sepuluh Nopember Menggunakan Unity 3D Engine," *JURNAL TEKNIK POMITS*, vol. 3, no. 2, pp. 204–209, 2014.
- [5] W. Kurniawan and G. E. Setyawan, "Perancangan Sistem Pemetaan Ruang Secara Dua Dimensi Menggunakan Sensor Ultrasonik," 2017. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/324536855>
- [6] G. Andara, D. Arseno, and N. Armi, "ANALISIS KINERJA LIGHT DETECTING AND RANGING (LIDAR) UNTUK DETEKSI OBJEK MENGGUNAKAN METODE JARAK EUCLIDEAN," 2020.
- [7] G. S. Wibowo, "Sistem Rekonstruksi Objek 3D dengan Metode LiDAR Menggunakan Mikrokontroler Arduino Mega," 2019.
- [8] S. Prayoga, A. Budianto, and A. B. K. Atmaja, "Sistem Pemetaan Ruang 2D Menggunakan Lidar," *Jurnal Integrasi*, vol. 9, no. 1, pp. 73–79, 2017.
- [9] F. Nur Aziz and M. Zakariyah, "TF-Mini LiDAR Sensor Performance Analysis for Distance Measurement," 2022.
- [10] W. M. Mutiarasari *et al.*, "Model 3D Multi-Objek Hasil Ekstraksi Data Lidar Multi-Object 3D Model from Lidar Data," *Jurnal Geodesy and Geomatics*, vol. 19, no. 1, pp. 41–48, 2023.

