

Uji Kinerja *Surface Scanner* 3D Menggunakan Sensor VL53L0X dan Mikrokontroler ATMEGA8535

Putut Son Maria¹ dan Elva Susianti²

¹Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau

²Jurusan Teknik Elektronika, Politeknik Caltex Riau

putut.son@gmail.com¹, elva@pcr.ac.id²

Abstract— *Digital data recording of the geometry of 3-dimensional objects require a 3D scanner tool which are mostly using an imagery sensor. However there is hardly used information of scanned result, named color. Imagery sensor requires high specification processing unit as capable as a personal computer for data acquisition processing. This research aims to build a 3D surface scanner using a time of flight laser ranging sensor and to develop its simple function to become more valuable device. Using point to point displacement method, the sensor measures the distance between the outermost point of the object and the sensor surface perpendicularly, once when one measurement is done then the object to be rotated along with the rotary table. The prototype was built using the VL53L0X sensor and ATMEGA8535 microcontroller as a motor controller for rotary table and vertical axis. Scanned data is sent from the microcontroller to the computer to be visualized in real time. The results show that the VL53L0X sensor is suitable for scanning convex objects but it is not capable to handle objects with multiple cavities.*

Keywords— *Scanner 3D, VL53L0X, ATMEGA8535*

Abstrak— *Perekaman data secara digital terhadap geometri dari sebuah obyek 3 dimensi memerlukan alat berupa scanner 3D. Sebagian besar scanner 3D yang telah dikembangkan umumnya didominasi menggunakan imagery sensor yang mana tidak semua entitas informasi akan diolah lebih lanjut, misalnya informasi warna. Imagery sensor memerlukan pendamping berupa laser untuk menunjang proses kerjanya selain itu juga memerlukan pengolah digital yang berspesifikasi setingkat Personal Computer. Penelitian ini bertujuan untuk membangun surface scanner 3D menggunakan sensor jarak yang mana tipikal fungsinya yang sangat sederhana akan dikembangkan utilitasnya untuk membangun sistem yang lebih bernilai signifikan. Metode yang digunakan adalah perekaman point per point dengan mekanisme rotasi obyek, yaitu sensor mengukur jarak antara titik terluar dari sisi obyek terhadap permukaan sensor secara perpendicular, setelah usai satu titik pengukuran maka kemudian obyek yang dipindai akan dirotasi bertumpu pada rotary table. Prototipe dibangun menggunakan sensor VL53L0X dan mikrokontroler ATMEGA8535 sebagai pengendali motor untuk rotary table dan vertical mover. Data hasil pemindaian dikirim oleh mikrokontroler menuju komputer untuk divisualisasikan secara real time. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor VL53L0X sesuai untuk memindai obyek yang bersifat convex tetapi kurang sesuai untuk memindai obyek dengan banyak cavity.*

Kata kunci— *Scanner 3D, VL53L0X, ATMEGA8535*

I. PENDAHULUAN

Teknologi untuk memindai obyek 3 dimensi (3D) secara *non-contact* telah dikembangkan sejak tahun 1980-an dengan menggunakan sumber cahaya, kamera dan proyektor [1]. Hal positif dari teknik *non-contact* adalah minimnya risiko kerusakan terhadap benda obyek akibat proses pemindaian. Teknik tersebut akan sangat sesuai pada berbagai karakter geometri obyek 3D yang dipindai, terutama jika obyek yang dipindai bersifat *fragile* atau memiliki nilai sejarah dan seni yang tinggi.

Beberapa contoh transduser yang digunakan sebagai sensor yang telah digunakan pada beberapa penelitian diantaranya adalah Kamera Microsoft Kinect, *Laser Range Finder*,

OPTO-HE dan *Webcam*. Semua perangkat tersebut secara teknis memiliki spesifikasi yang tinggi sehingga untuk dapat memfungsikan *device* tersebut memerlukan pendukung berupa *hardware* yang memadai dan *software* atau pemrograman yang menggunakan *library* masif. Penggunaan sensor *imagery* berupa kamera Kinect untuk memindai obyek *dummy* dan membuat model rekonstruksi telah dilakukan oleh [2]. Obyek *dummy* dipindai dari sisi muka obyek tanpa menambahkan mekanisme untuk mengubah posisi obyek. Hasilnya menunjukkan bahwa tingkat *error* dari *depth* obyek bernilai cukup besar, penyebabnya ditengarai karena sistem melakukan hanya satu sudut pemindaian. Peneliti [3] menggunakan metode *triangulation* untuk memindai benda kerja dalam rangka *reverse engineering*. Metode tersebut

memerlukan kamera, mikrokontroler dan *laser source* khusus yang berpola *stripe*. Hasil pemindaian telah dapat merekonstruksi bentuk replika 3D secara kasar, namun demikian pemindaian pada sisi miring dari obyek ternyata tidak dapat diterjemahkan secara akurat oleh sistem. Metode lainnya seperti pada [4], [5], [6], dan [7] masing-masing secara berurutan menggunakan sensor OPTO-HE, Raspberry Pi dengan jumlah puluhan, kamera khusus dan *joint armed* robot tidak serta merta menjamin bahwa sistem *scanner* yang dibangun akan optimal dan efisien.

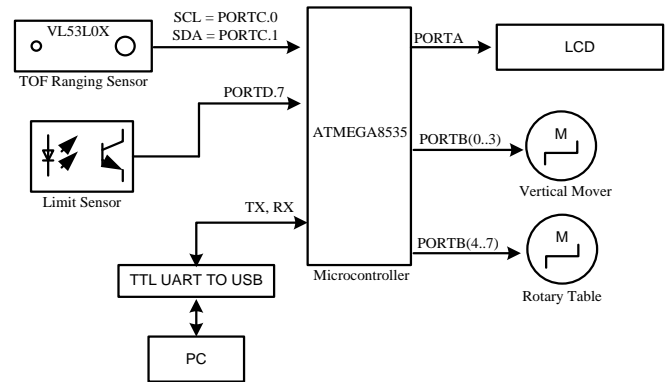
Tipikal *scanner* 3D yang menggunakan *imagery sensor* adalah peran komputer mencakup sebagai *data generator*, *data acquisitioner* dan *visual display*. Fungsi komputer pada sistem tersebut adalah dominan karena untuk mengimbangi spesifikasi tinggi dari piranti sensoriknya. Pada sistem yang lebih sederhana, dapat dirancang agar sistem sensorik menggunakan *non-imagery sensor* sehingga peran sebagai *data generator* dapat ditangani oleh mikrokontroler dan komputer hanya sebagai penampil visual. Penulis menemukan hanya satu penelitian yang menggunakan *non-imagery sensor* untuk sistem *scanner* 3D yang dilakukan oleh [8]. Metode yang digunakan adalah memanfaatkan sensor jarak yang menggunakan gelombang ultrasonik dimana mikrokontroler sebagai *data generator* dan komputer sebagai *visual display*, dan hasilnya telah dapat memvisualisasikan *envelope surface* dari obyek yang dipindai walaupun terbatas hanya pada obyek silindris.

Penelitian ini bertujuan untuk membangun *surface scanner* 3D menggunakan komponen *non-imagery sensor* berupa VL53L0X TOF (*Time of flight*) *laser ranging sensor* yang mana masih dapat di-handle oleh mikrokontroler sebagai pengendalinya dan sekaligus sebagai *data generator*. Fungsi *default* sensor jarak yang hanya mampu memberikan satu jenis besaran akan dikembangkan utilitasnya untuk membangun sistem yang lebih bernilai signifikan. Beberapa bentuk geometri obyek 3D akan diujikan pada prototipe sistem yaitu obyek dengan karakter silindris, *boxy*, *trapezoidal*, dan *free form* sehingga dapat diketahui karakterisasi sensor VL53L0X untuk implementasi *scanner* 3D.

II. METODOLOGI PENELITIAN

A. Blok Diagram Sistem

Gambar 1 menunjukkan blok diagram sistem *surface scanner* 3D pada penelitian ini. VL53L0X adalah komponen sensor jarak yang menggunakan media sinar laser berdaya rendah yang telah terintegrasi dengan *internal controller* pada saat dipasarkan. Limit sensor sebagai transduser elektromekanik untuk membatasi pergerakan *vertical mover* agar tidak menabrak *spindle* motor sekaligus sebagai *low-offset* dari obyek. Mikrokontroler bertugas untuk melakukan *request* data jarak kepada sensor, mengatur pergerakan *vertical mover* dan *rotary table*, menampilkan informasi penting ke LCD dan mengirim data koordinat ke komputer melalui komunikasi UART.

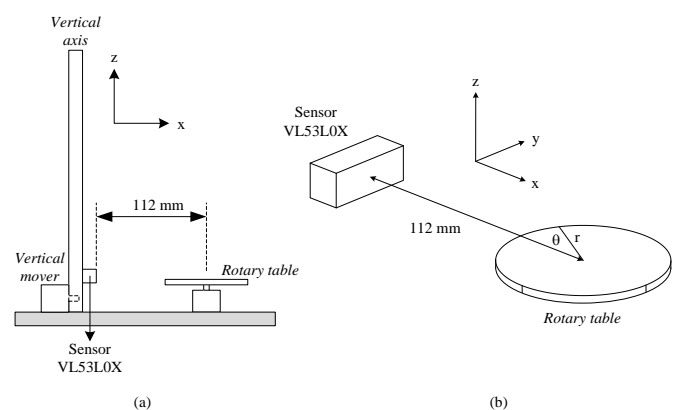


Gambar 1. Blok diagram sistem

Mekanisme pemindaian adalah dengan mengukur jarak antara sensor dengan obyek yang dipindai dan setelah itu merotasikan obyek yang dipindai sebesar sudut tertentu sesuai dengan parameter yang dipilih oleh *user* melalui program pengendali. Oleh karena obyek harus dirotasikan dan sensor harus bergerak vertikal sebesar jarak spasial tertentu, maka motor *stepper* adalah jenis penggerak yang sesuai untuk kriteria sistem di atas.

B. Perumusan Koordinat 3 Dimensi

Data yang dihasilkan dari sensor jarak adalah jarak spasial antara permukaan *transmitter* sensor terhadap permukaan obyek yang dipindai secara *perpendicular*. Untuk membuat visualisasi grafik dari obyek yang dipindai maka harus menghitung radius obyek yang sebenarnya yaitu jarak *offset* dikurangi dengan hasil pengukuran dari sensor seperti ditulis pada persamaan (1). Jarak *offset* adalah jarak antara permukaan sensor terhadap titik pusat obyek yang dipindai, dalam hal ini diukur langsung pada fisik konstruksi mekanik. Pada penelitian ini jarak *offset* antara permukaan *transmitter* sensor dengan sumbu *rotary table* adalah 112 mm seperti ditunjukkan pada Gambar 2.a.



Gambar 2. Ilustrasi sistem *surface scanner* 3D
(a) ZX plane view
(b) 3D perspective view

Sumbu rotasi dari *rotary table* sekaligus merepresentasikan titik origin atau *origin point* dimana nantinya visualisasi secara grafis dari obyek yang dipindai akan mengacu pada titik tersebut. Gambar 2.b menunjukkan arah vektor dari sistem koordinat 3D yang digunakan pada penelitian ini. Ilustrasi yang ditampilkan hanya fokus pada bagian sensor dan *rotary table* karena pada bagian ini penting untuk penurunan rumus koordinat x dan y. Proyeksi radius r dengan sudut θ terhadap sumbu x dan y dihitung menurut persamaan (2) dan (3).

$$r = 112 - \text{distance} \quad (1)$$

$$x = r \cos \theta \quad (2)$$

$$y = r \sin \theta \quad (3)$$

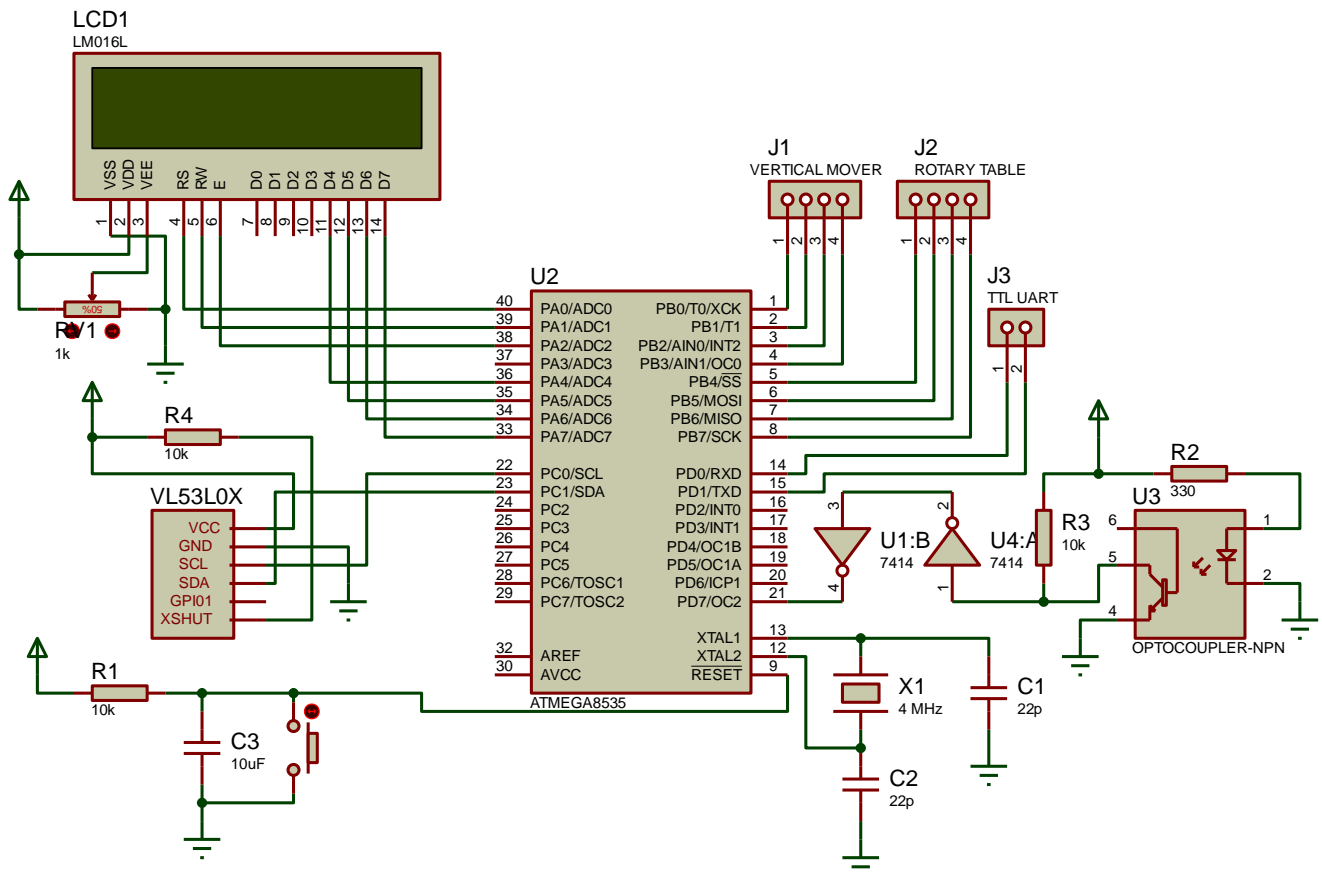
C. Skema Rangkaian dan Set Up Eksperimen

Gambar 3 menunjukkan skema rangkaian yang digunakan pada penelitian ini. Komunikasi antara sensor VL53L0X terhadap mikrokontroler ATMEGA8535 menggunakan protokol I2C standar melalui jalur SDA (PC1) dan SCL (PC0).

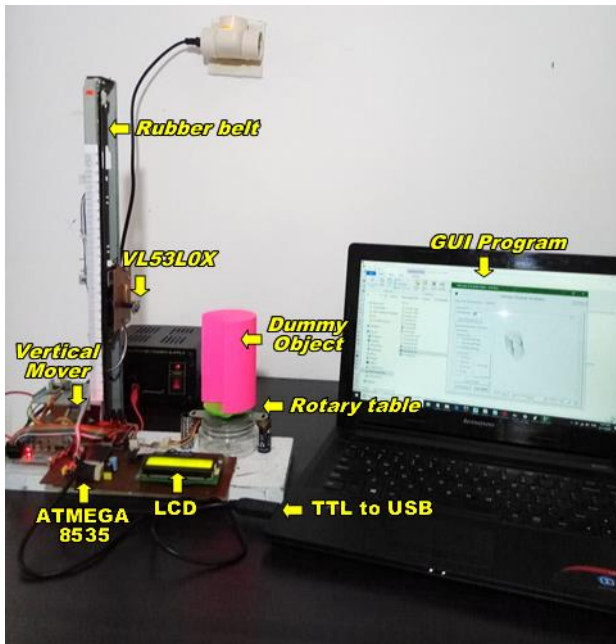
Untuk men-drive motor stepper *vertical mover* dan *rotary table* digunakan PORTB. Jenis dan spesifikasi kedua motor stepper yang digunakan adalah *unipolar (5 wire)*, $1,8^\circ/\text{step}$, 12 Volt. Komunikasi serial UART dari mikrokontroler ke Komputer menggunakan *TTL to USB dongle*. *Setting baud rate* (bps) ditetapkan sebesar 9600 bps, 8 bit, dan *no parity*.

Gambar 4 menunjukkan *set up* eksperimen pada penelitian ini. *Dummy object* diberikan perekat pada bagian alasnya dan diletakkan pada *rotary table* agar tidak mengalami pergeseran akibat hentakan motor stepper. Untuk *dummy object* silindris, *boxy*, dan *trapezoidal* dibuat dari bahan kertas *papercraft* jenis *WF paper*, sedangkan untuk obyek *freeform* adalah boneka jadi yang terbuat dari bahan plastik.

Setiap titik yang telah selesai diukur maka datanya langsung dikirim ke komputer dengan format koordinat x, y, dan z, selanjutnya komputer akan mem-*visual*-kan grafik obyek secara 3D sehingga *user* dapat langsung mengamati proses pemindaian secara *realtime*.



Gambar 3. Rangkaian elektronik *Surface Scanner* 3D pada penelitian ini



Gambar 4. Capture prototipe alat

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Program Surface Scanner 3D

Program pengendali bagi *user* yang dijalankan pada komputer dibangun menggunakan bahasa Pascal dengan *compiler* Delphi, pada antarmuka disediakan fitur pemilihan resolusi untuk sudut *rotary table* dan pergerakan *vertical mover* yang mana *term* resolusi dalam konteks ini merepresentasikan *sampling rate* secara spasial. Fitur tersebut untuk memfasilitasi pemindaian obyek yang memiliki banyak lekukan pada *body*-nya seperti pada obyek organis atau *freeform*. Visualisasi obyek pada program dapat dipilih sesuai *perspective* yang diinginkan oleh *user* dengan cara mengatur sudut rotasi dan elevasi seperti ditunjukkan pada Gambar 5.

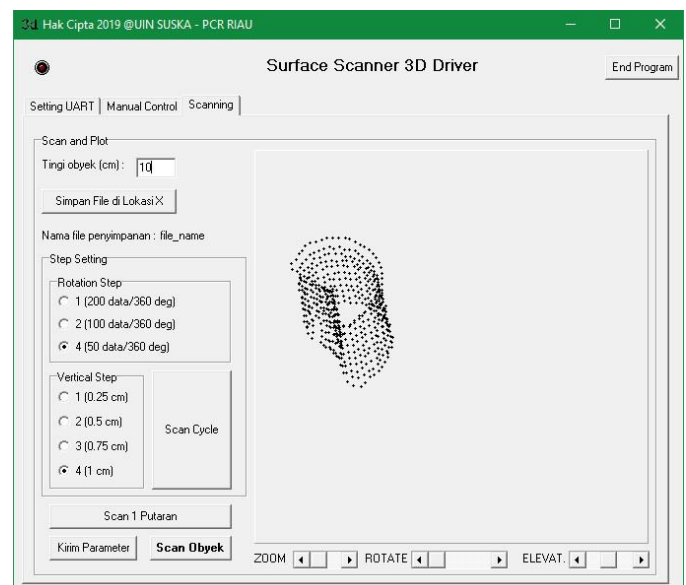
Meskipun jenis motor *stepper* yang digunakan memiliki spesifikasi sama $1,8^\circ/\text{step}$, namun demikian pilihan untuk *step* rotasi berbeda dengan vertikal karena tergantung pada struktur fisik sub mekanik dari prototipe.

Pada mekanik *rotary table*, bantalan tumpuan *dummy object* langsung terhubung dengan *shaft* dari motor *stepper*, sehingga *azimuth* terkecil dari *dummy object* sama dengan $1,8^\circ$ per *step*, dengan demikian untuk satu putaran penuh *shaft* motor dapat dihasilkan sampel data maksimum sebanyak 200 data atau ekuivalen 200 data per 360° rotasi. Pada program juga disediakan pilihan 100 data dan 50 data per 360° derajat yang berarti interval gerakan rotasi obyek akan terpaut sebesar $3,6^\circ$ dan $7,2^\circ$.

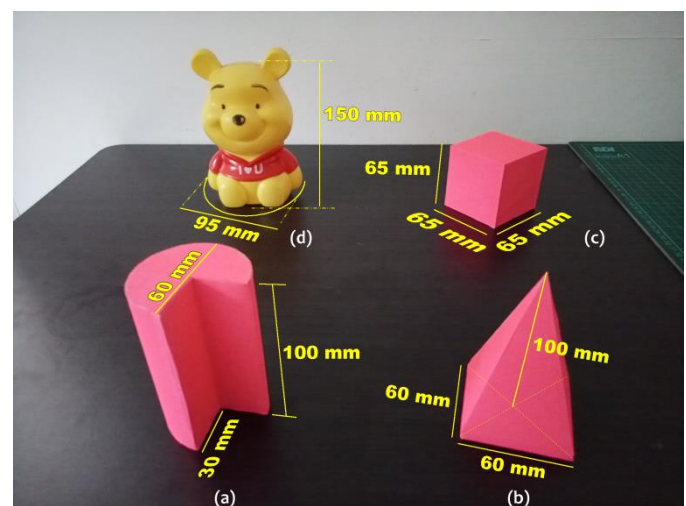
Bracket tempat sensor VL53L0X dipasang tertaut pada *rubber belt* yang akan memanifestasikan gerakan rotasi *pulley* pada *shaft* motor *stepper* menjadi *displacement* linier. Jarak perpindahan linier dipengaruhi oleh diameter *pulley* dan jumlah *step* motor, karena diameter *pulley* adalah tetap maka pengendalian perpindahan linier cukup dengan memberikan

sejumlah *step* tertentu pada motor. Untuk memudahkan *user* dalam menentukan resolusi spasial linier maka pilihan resolusi pergerakan vertikal dinyatakan dalam besaran *displacement* linier yaitu 0,25 cm, 0,5 cm, 0,75 cm, dan 1 cm. Dengan kondisi tersebut, maka jumlah sampel data dari sebuah obyek yang dipindai ekuivalen dengan perkalian antara *rotational step* dan tinggi obyek yang dibagi dengan *vertical step*.

Obyek uji yang digunakan selama eksperimen terdiri dari obyek silindris, *boxy*, *trapezoidal*, dan *freeform*. Dimensi masing-masing obyek ditunjukkan seperti pada Gambar 6. Tiga model *dummy object* terbuat dari bahan kertas sehingga tingkat ketepatan ukurannya terdapat selisih sebesar 0,5 mm sampai 1 mm akibat proses pengeleman dan pengguntingan yang mana masih dianggap wajar.



Gambar 5. Antarmuka program pengendali surface scanner 3D

Gambar 6. Obyek uji
(a) Silindris, (b) Trapezoidal, (c) Boxy, dan (d) Freeform

B. Hasil Pemindaian Obyek Geometris

Tabel I menunjukkan hasil pemindaian terhadap *dummy object* silindris dengan pengaturan resolusi pemindaian vertikal 10 mm dan 50 sampel data per 360 derajat rotasi obyek. Sebagai pembanding visual digunakan program AutoCAD untuk memudahkan dalam pengukuran dimensi model digital. Model yang diplot pada AutoCAD merupakan representasi dari hasil pemindaian oleh sensor yang disimpan dalam bentuk file dengan struktur koordinat x, y, dan z. Hasil plot menunjukkan bahwa sensor mampu memindai obyek silindris secara baik dengan bias pengukuran absolut sebesar ± 3 mm. Nilai ini diukur dengan cara membuat lingkaran bantu dari sudut pandang *top view* dimana lingkaran luar, tengah dan dalam merepresentasikan radius obyek terbesar, rata-rata dan terkecil. Nilai *radius* rata-rata terukur sebesar 29,9 mm dimana nilai tersebut hampir sama dengan radius obyek aslinya sebesar 30 mm.

Tabel II menunjukkan hasil pemindaian terhadap *dummy object* silindris, *boxy*, dan *trapezoidal* dengan pengaturan resolusi pemindaian vertikal 5 mm dan 50 sampel data per 360 derajat rotasi obyek.

Hasil pemindaian terhadap obyek silindris baik pada Tabel I atau Tabel II, prototipe telah dapat mengukur tinggi obyek secara baik, namun tingkat ketelitian sudut bagian dalam juring tidak tepat membentuk 90 derajat. Pengukuran sudut bagian dalam juring pada model rekonstruksi AutoCAD memberikan angka 101 derajat. Kesalahan hasil pemindaian tersebut dipengaruhi oleh dua faktor yaitu resolusi spasial sudut *rotary table* dan karakteristik berkas sinar laser dari sensor. Resolusi spasial sudut *rotary table* pada kedua data tersebut adalah 50 sampel/360 derajat atau ekuivalen dengan 7,2 derajat/*move*. Hal ini berarti ada titik-titik yang terlompoti dari pemindaian oleh sensor. Dengan menghitung radius silinder 30 mm dan sudut setiap rotasi 7,2 derajat maka setiap titik pada sisi terluar silinder akan mengalami pergeseran posisi sebesar 3,8 mm/*move*, konsekuensinya adalah titik-titik di antara setiap interval 3,8 mm pada sisi terluar silinder akan

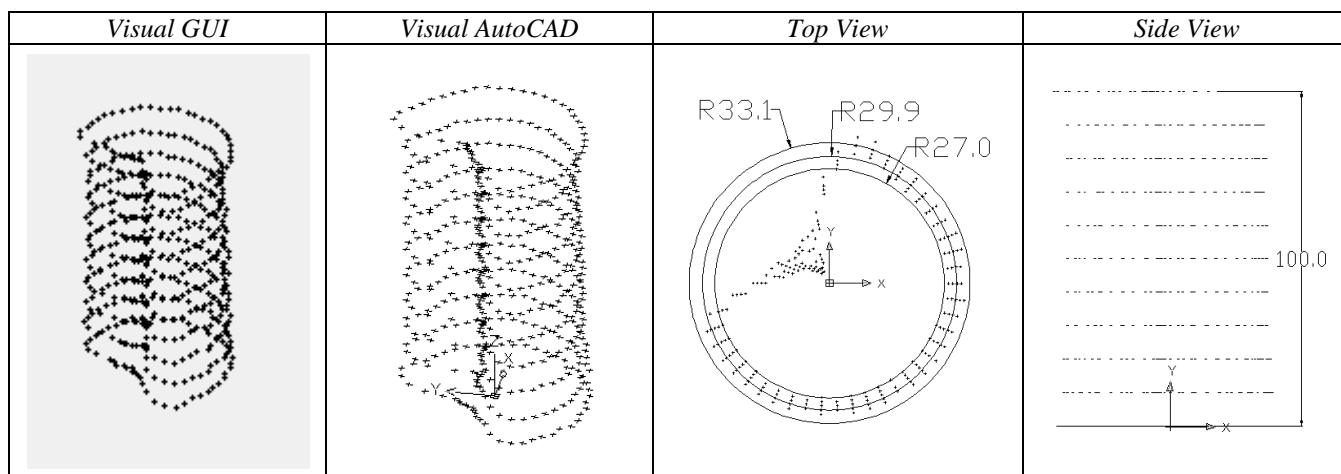
terlewati pemindaianya oleh sensor. Faktor karakter berkas sinar laser dari sensor juga menyumbang kesalahan terhadap hasil pemindaian obyek. Dari [9] diketahui bahwa *field of view* (FOV) dari sensor adalah 25 derajat. Nilai ini relatif cukup besar jika dibandingkan dengan resolusi spasial sudut *rotary table* pada data. Karakteristik FOV dengan sudut 25 derajat berarti bahwa sensor akan mengukur entitas mana saja yang berjarak paling dekat dengan sensor selama entitas tersebut dalam cakupan FOV, konsekuensinya adalah titik-titik yang lebih luar akan terbaca sebagai manifestasi dari titik-titik yang lebih dekat dengan pusat rotasi obyek.

Premis di atas terbukti pada hasil pemindaian *dummy object trapezoidal* dan *boxy*. Obyek dengan puncak meruncing kurang dapat dipindai secara teliti oleh sensor. Semakin kecil sisi miring dari obyek, maka sensor menterjemahkannya sebagai bentuk melingkar. Sebaliknya jika sisi obyek berupa bidang datar dan lebar seperti pada *dummy object* kubus maka sensor dapat memindainya secara lebih baik.

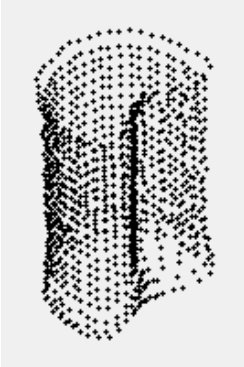
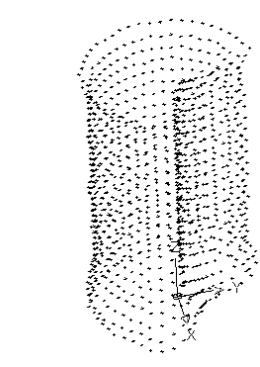
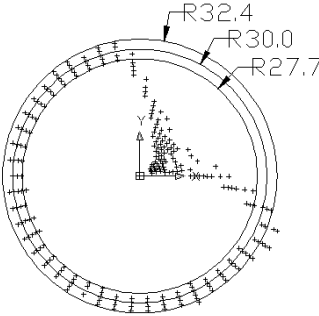
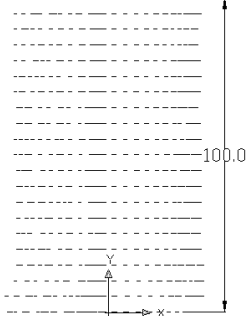
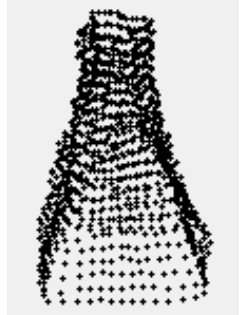
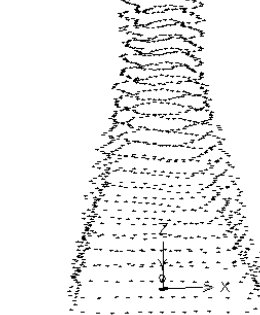
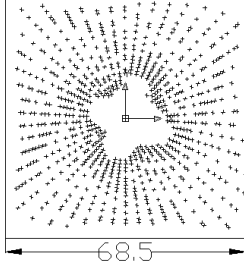
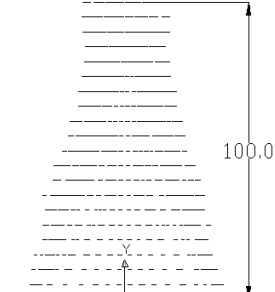
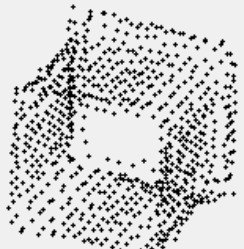
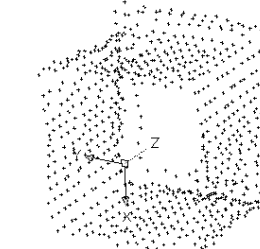
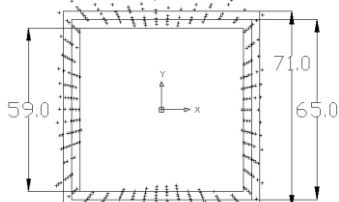
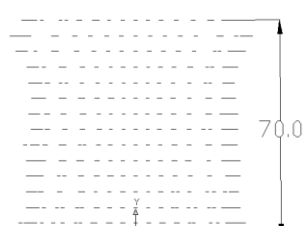
C. Hasil Pemindaian Obyek *Freeform*

Tabel III menunjukkan hasil pemindaian terhadap *dummy object freeform* yang berupa boneka. Seperti pada pembahasan sebelumnya bahwa karakter sensor dengan FOV lebar akan sulit memindai titik-titik pada daerah cerukan atau *cavity* namun sebaliknya akan mudah memindai titik-titik pada bidang menonjol atau *convex*. Obyek boneka memiliki karakter kombinasi titik-titik pada daerah *cavity* dan *convex*, sehingga sesuai untuk menguji kinerja sensor pada obyek universal. Hasil pemindaian menunjukkan bahwa sensor dapat menterjemahkan secara baik pada bagian dahi, hidung dan pipi karena ketiga bagian tersebut bersifat cembung atau terekspose. Sedangkan pada bagian leher dan tangan kurang dapat diterjemahkan secara baik oleh sensor. Demikian juga pada bagian telinga boneka, sensor gagal untuk menterjemahkan pengukuran karena efek FOV dari sensor, gejala tersebut sama seperti hasil yang didapat pada pemindaian terhadap obyek *trapezoidal*.

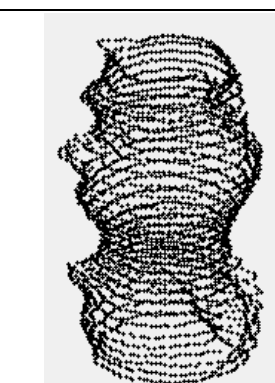
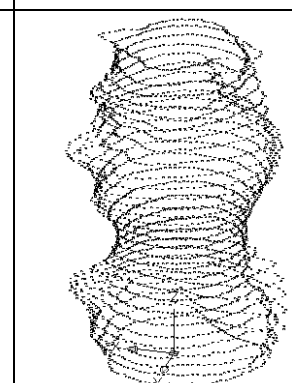
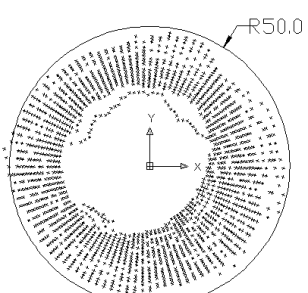
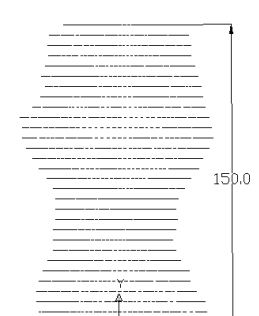
TABEL I. HASIL PEMINDAIAN OBYEK SILINDRIS, RESOLUSI VERTIKAL = 10 MM, SAMPEL/ROTASI = 50 / 360°



TABEL II. HASIL PEMINDAIAN OBYEK GEOMETRIS, RESOLUSI VERTIKAL = 5 MM, SAMPEL/ROTASI = 50 / 360°

<i>Visual GUI</i>	<i>Visual AutoCAD</i>	<i>Top View</i>	<i>Side View</i>
			
			
			

TABEL III. HASIL PEMINDAIAN OBYEK FREEFORM, RESOLUSI VERTIKAL = 5 MM, SAMPEL/ROTASI = 100 / 360°

<i>Visual GUI</i>	<i>Visual AutoCAD</i>	<i>Top View</i>	<i>Side View</i>
			

D. Pembahasan

Tabel IV menunjukkan perbandingan hasil penelitian ini dengan beberapa peneliti lain. Pada dasarnya semua peneliti yang tercantum pada Tabel IV menggunakan komputer atau *personal computer* (PC) untuk menampilkan hasil pemindaian. Tabel IV dapat dipilah menjadi 2 keunikan berdasarkan jenis sensor yang digunakan yaitu *imagery sensor* dan *non-imagery sensor*. Pada penelitian yang menggunakan kamera baik dalam bentuk *webcam* atau terintegrasi, maka semua tugas ditangani oleh komputer. Komputer berperan aktif mengakses sensor, mengolah data, mengatur pergerakan motor, dan menampilkan hasil pemindaian. Peran mikrokontroler hanya sebagai pendukung untuk meneruskan sinyal kontrol ke aktuator. Penggunaan kamera seharusnya mampu memberikan hasil yang lebih natural, namun demikian informasi sekunder seperti misalnya warna obyek yang dipindai ternyata tidak diakomodir sebagai bagian dari hasil pemindaian [2], [3], [10]. Hal ini menunjukkan bahwa parameter yang esensial dan prioritas pada pemindaian obyek 3D adalah entitas titik-titik yang tersusun membentuk model geometri menyerupai obyek aslinya.

Sebaliknya pada penelitian yang menggunakan *non-imagery sensor*, kemampuan untuk menghasilkan data dengan fitur beragam sangat terbatas. Fungsi dasar sensor pada sistem yang digunakan pada penelitian [8] sebanding dengan sensor pada penelitian ini yaitu hanya mampu menghasilkan data *distance*. Parameter akurasi pada penelitian ini belum dapat dihitung secara relatif karena untuk menghitung volume model secara akurat sangat dipengaruhi oleh proses *meshing*, *filtering* dan *refining* pada saat akan membentuk model dari *point cloud* menjadi *closed surface*. Namun demikian dari data hasil eksperimen menunjukkan bahwa kinerja sensor VL53L0X dalam mengukur jarak obyek memiliki toleransi nilai sebesar ± 3 mm *absolute* terhadap nilai *real*.

Waktu akuisisi data sensor pada penelitian ini masih kurang optimal karena menggunakan mode *single reading*. Untuk satu titik pengukuran ternyata memerlukan waktu 1,14 sampai 1,17 detik yang mana durasi ini terlalu lama. Hal ini karena *default kernel* protokol untuk mengakses data dari sensor VL53L0X sangat banyak jumlah perintahnya sehingga berimbas pada semakin banyaknya kode program yang harus ditulis dan pada akhirnya menggunakan sebagian besar memori program pada mikrokontroler. Kinerja yang berhubungan dengan waktu akuisisi dapat diperbaiki dengan menggunakan mode *continuous reading* dengan konsekuensi bahwa akan membutuhkan 2 unit mikrokontroler untuk mencapai hasil yang lebih optimal.

IV. SIMPULAN

Prototipe *surface scanner* 3D menggunakan sensor VL53L0X dan mikrokontroler ATMEGA8535 telah berhasil dibuat dan bekerja secara baik. Kinerja dari prototipe tergantung pada karakteristik sensor VL53L0X dan konstruksi mekanik yang digunakan. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa sensor VL53L0X sesuai untuk memindai obyek dengan karakteristik *convex* tetapi kurang sesuai untuk memindai obyek dengan banyak *cavity*. Ketelitian dari hasil pemindaian menggunakan teknik rotasi obyek dapat ditingkatkan dengan cara memperkecil *displacement* spasial baik untuk parameter translasi sensor dan rotasi obyek dengan konsekuensi bahwa jumlah *vertex* dalam *point cloud* yang dihasilkan akan semakin banyak. *Scantime* yang kurang optimal akan menambah lama total waktu pemindaian sebuah obyek. *Scantime* pada penelitian ini masih dapat diperbaiki dengan menggunakan mode *continuous reading* namun harus menggunakan 2 unit mikrokontroler agar kinerja prototipe lebih signifikan.

TABEL IV. PERBANDINGAN KINERJA SISTEM SCANNER 3D

Peneliti	Unit Pengolah	Sensor	Akurasi	Geometri Obyek	Sampel Data	Waktu Akuisisi	Warna
Retno Tri Wahyuni, <i>et al</i> [2]	PC	Microsoft Kinect	N/A	Letters I, T, S	3	N/A	No
Bolo Dwiartomo, <i>et al</i> [3]	PC	Webcam+ LaserPointer	$\pm 2,417$ mm <i>absolute</i>	Mechanical	1	N/A	No
Edy Junaidi, <i>et al</i> [8]	Arduino UNO	Ultrasonic, HC-SR04	59,54% ~96,5%	Silindris	5	N/A	No
Arif Armansyah, <i>et al</i> [10]	PC	Microsoft Kinect	N/A	Silindris, Boxy Trapezoidal, Freeform	5	N/A	No
Penelitian ini	ATMEGA8535	Laser Ranging, VL53L0X	$\pm 2,7 \sim 3$ mm <i>absolute</i>	Silindris, Boxy Trapezoidal, Freeform	4	1,14 ~ 1,17 <i>sec/point</i>	No

REFERENSI

- [1] M. A. B. Ebrahim, "3D Laser Scanners Techniques Overview", *International Journal of Science and Research*, vol. 4, no. 10, pp.323-331, October 2015.
- [2] R. T. Wahyuni, D. Purwanto, and T. A. Sardjono, "Aplikasi Rekonstruksi 3 Dimensi pada Proses Pemahatan Menggunakan CNC", *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, vol. 1, no. 2, pp. 180-190, October 2013.
- [3] B. Dwiartomo, A. Ruswandi, and K. Nuryanto, "Implementasi Surface 3D Scanner Menggunakan Metode Triangulation dan Tesselation Untuk Reverse Engineering Obyek Sederhana", *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Manufaktur*, 2014, pp. 78 – 95.
- [4] A. Kus, "Implementation of 3D Optical Scanning Technology for Automotive Applications", *Sensors*, vol. 9, no. 3, pp. 1967-1979, doi:10.3390/s90301967, 2009.
- [5] J. Straub and S. Kerlin, "Development of a Large, Low-Cost, Instant 3D Scanner", *Technologies*, vol. 2, no. 2, pp. 76-95, doi:10.3390/technologies2020076, 2014.
- [6] R. Usementiaga, J. Molleda, D. F. Garcia, "Structured Light Sensor Using Two Laser Stripes for 3D Reconstruction without Vibrations", *Sensors*, vol. 14, no. 11, pp. 20041-20063, doi:10.3390/s141120041, 2014.
- [7] A. Chromy, "Application of High Resolution 3D Scanning in Medical Volumetry", *International Journal of Electronics and Telecommunications*, vol. 62, no. 1, pp. 23-31, doi:10.1515/eletel-2016-0003, 2016.
- [8] E. Junaidi, Waslaluddin, and L. Hasanah, "Rancang Bangun Scanner 3D Menggunakan Sensor Ultrasonik dengan Tampilan Realtime Berbasis Mikrokontroler", *Jurnal Online Fisika(Fibusi)*, vol. 3, no. 2, September 2015.
- [9] Datasheet VL53L0X, DocID029104 Rev 2, (2018). [Online]. Available: <https://www.st.com/en/imaging-and-photonics-solutions/vl53l0x.html>
- [10] A. Armasyah, S. Hidayatullah, and A. Herliana, "Perancangan dan Pembuatan Alat Scanner 3D Menggunakan Sensor Kinect Xbox 360", *Jurnal Informatika*, vol. 5, no. 1, pp. 128-136, April 2018.