

STUDI PENERAPAN TEKNIK STRUCTURE LIGHT SYSTEM PADA PEMINDAIAN BENDA TIGA DIMENSI

Irwansyah dan M. Hafidz Mubarrik

Jurusan Teknik Mesin

Universitas Syiah Kuala

Jl. Syech Abdul Rauf No. 7 Darussalam, Banda Aceh (23111)

South Sumatera, Indonesia

Phone: +62-651-7552222, FAX: +62-651-7552222, E-mail: wansyah_ir@yahoo.com

ABSTRAK

Salah satu metode untuk memperoleh data geometri dari suatu benda tiga dimensi (3D) yang tidak memiliki data teknis, adalah dengan melakukan rekayasa ulang atau Reverse Engineering (RE). Untuk merespon kebutuhan aplikasi rekayasa ulang maka pada makalah ini diajukan teknik pemindaian berbasis structure light system (SLS). Rancang bangun alat pemindai 3D merupakan pertimbangan utama dalam penelitian ini untuk memperoleh data geometris yang akurat. Berdasarkan hasil rancang bangun dan penelitian, alat pemindai 3D yang digunakan adalah proyektor laser dengan bentuk berkas cahaya berupa garis dan panjang gelombang cahaya 650nm. Jarak Pindai efektif antara proyektor laser dan objek adalah 55 cm – 65 cm untuk objek yang dilapisi emulsi berwarna putih. Persentase penyimpangan ukuran yang ditemukan antara model CAD 3D hasil pemindaian dengan objek aslinya adalah 9,6 % untuk jarak pindai 55cm dan 9,3 % untuk jarak pindai 65cm.

Kata Kunci : *structure light system, teknologi reverse engineering, pemindai laser 3D.*

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi dewasa ini yang demikian cepatnya mengakibatkan persaingan yang terjadi di pasar global semakin meningkat dan ketat. Tuntutan akan teknologi yang dapat melakukan rancang bangun ulang sebuah produk sangat dikehendaki untuk memangkas waktu produksi. Reverse engineering (RE) merupakan sebuah teknologi alternatif yang diperkenalkan untuk mengatasi hal tersebut. Teknologi rekayasa ini dimaksudkan untuk memperoleh data geometri dari produk yang telah ada dan merekonstruksi ulang menjadi model gambar tiga dimensi sehingga waktu produksi dapat diminimalkan.

Konsep dasar teknologi reverse engineering adalah memproduksi suatu bagian atau komponen berdasarkan pada benda asli atau model fisik tanpa menggunakan gambar teknik. Dengan kata lain, pengambilan data geometri dihasilkan dari proses digitalisasi dan modifikasi benda asli menjadi model 3D dengan bantuan perangkat lunak (Computer Aided Design/CAD). Salah satu aplikasi teknologi reverse engineering dapat diamati pada industri rancang bangun ulang komponen mesin. Sebagai contoh suku cadang atau elemen mesin yang sudah tidak diproduksi

lagi oleh perusahaan pembuatnya atau tidak adanya data teknik pendukung, maka teknik *reverse engineering* dapat diterapkan untuk memproduksi kembali elemen mesin tersebut. Proses Reverse Engineering diawali dengan pemindaian bentuk tiga dimensi dari suatu obyek atau komponen menggunakan peralatan pemindai seperti Coordinate Measuring Machines (CMM), laser based range finders, optic based scanner dan selanjutnya hasil pemindaian tersebut dikonversikan menjadi model gambar tiga dimensi dengan bantuan perangkat lunak CAD.

Prosedur umum pemindaian objek pada teknik *reverse engineering* terbagi atas dua metode yaitu metode kontak dan metode non-kontak. Metode kontak merupakan metode yang sederhana akan tetapi memiliki kendala kontak dengan objek, dan tidak dapat diaplikasikan untuk obyek-obyek yang mudah berdeformasi. Sedangkan metode non-kontak merupakan bentuk pengembangan untuk mengatasi permasalahan yang ditemukan pada metode kontak. Metode non-kontak mengaplikasikan gelombang cahaya seperti : laser atau sinar yang terstruktur dengan bantuan medium udara sebagai pengganti sensor kontak yang digunakan untuk alat pemindai. Akan tetapi, metode ini terkendala pada perangkat pembangkit

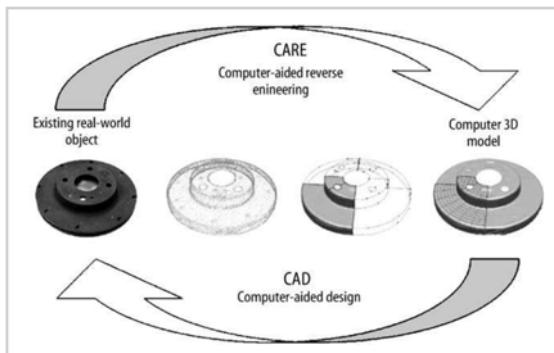


berkas sinar yang mahal. Salah satu bentuk perwujudan metode non-kontak kian berkembang dibidang manufaktur adalah *Structure Light System (SLS)*.

Makalah ilmiah ini pada dasarnya mengkaji dan mengembangkan pemanfaatan prototype alat pemindai yang murah, mudah diperoleh dan mudah untuk diaplikasikan. Sehingga dengan mempelajari dan mengendalikan parameter proses pemindaian seperti jarak pindai dan warna emulsi obyek dapat diperoleh penyimpangan hasil pindai yang rendah.

2. Teknologi Structure Light System

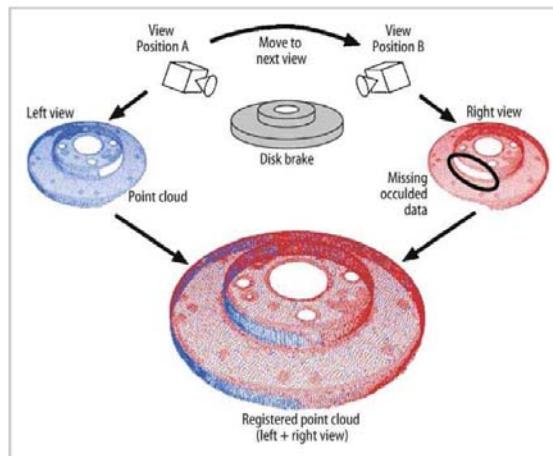
Teknik rekayasa adalah suatu proses perancangan, pembuatan, perakitan, dan pemeliharaan produk. Pada proses rancang bangun sebuah produk terutama untuk memproduksi ulang produk yang tidak memiliki data atau tanpa informasi teknis berupa gambar teknik atau geometri produk, menghendaki teknologi yang mampu mengatasi keterbatasan tersebut. Teknik merekayasa ulang produk tanpa data teknis dikenal dengan teknik *Reverse Engineering (RE)*. Menurut Abella dkk. (1994), "RE adalah konsep dasar untuk memproduksi suatu bagian berdasarkan pada benda asli atau model fisik tanpa menggunakan gambar teknik". Yau dkk. (1995), menyatakan bahwa RE, "proses pemerolehan kembali data geometri suatu objek dengan cara digitalisasi dan memodifikasi dengan model CAD yang sudah ada". Prinsip dasar proses RE terlihat pada gambar 1 berikut :



Gambar 1. Skema proses reverse engineering [10]

Pada tahap ini dilakukan pemindaian terhadap suatu objek untuk memperoleh data geometri dan dimensi dari objek tersebut dalam bentuk point cloud data seperti terlihat pada gambar 2,3, dimana dilakukan proses pengumpulan data geometri dari sebuah *disk brake* yang kemudian diperoleh dalam bentuk *point cloud*. Pada tahap ini juga dilakukan penyatuan data pemindaian ganda. Terkadang, pemindaian yang berulang dilakukan untuk meyakinkan bahwa semua permukaan telah dipindai. Ini dilakukan dengan

memutar objek yang dipindai atau dengan melakukan pemindaian berulang pada bagian permukaan objek. Oleh karena itu, setiap data pindai menjadi sangat penting. Perencanaan pemindaian ganda memiliki pengaruh langsung pada langkah pemrosesan titik. Perencanaan yang baik akan mengurangi usaha dalam memproses titik dan mencegah eror dalam menyatukan data pindai ganda atau berulang.



Gambar 2. Proses pemindaian menerapkan teknik non-kontak [10]

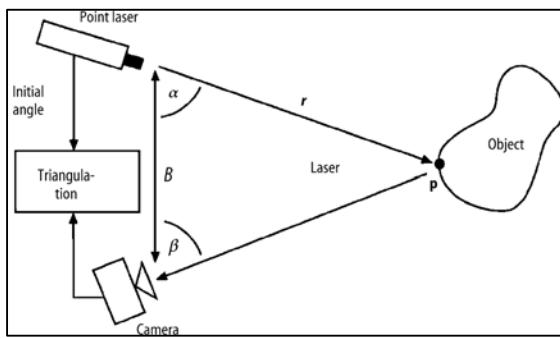
Metode non-kontak merupakan suatu metode *Reverse Engineering* dimana alat ukur dapat memiliki jarak tertentu maupun jarak bebas dari objek. Ada beberapa metode yang dapat digunakan dengan metode non-kontak ini, antara lain yaitu : 1). Dengan *photogrammetry*, 2). Aplikasi dari gelombang cahaya misalnya *laser scanner*, dan 3). Aplikasi suara dengan bantuan medium udara sebagai pengganti sensor kontak, misalnya : *Ultrasound*.

Beberapa varian teknik pemindaian telah berhasil dikembangkan untuk memperoleh data geometri dari objek berbasis teknologi laser 3D. Menurut Stefanus Ongkodjojo, dkk. (2008), mengatakan bahwa, "Metode triangulasi laser merupakan salah satu metode untuk memperoleh posisi titik-titik pada berkas garis laser yang jatuh pada obyek. Pada metode ini proyektor laser, titik berkas laser, dan kamera diposisikan membentuk segitiga satu dengan lainnya. Dengan mengetahui jarak antara kamera dan proyektor laser, serta sudut kemiringan proyektor laser, maka sudut kemiringan kamera dapat ditentukan melalui jatuhnya berkas garis laser pada *image* kamera. Ketiga informasi ini dapat digunakan untuk menentukan ukuran dan bentuk dari rangkaian segitiga serta posisi jatuhnya titik berkas laser pada obyek."

Menurut Vinesh Raja and Kiran J. Fernandes (2008), beberapa pendekatan yang paling menjanjikan untuk *Computere Aided Reverse Engineering (CARE)*



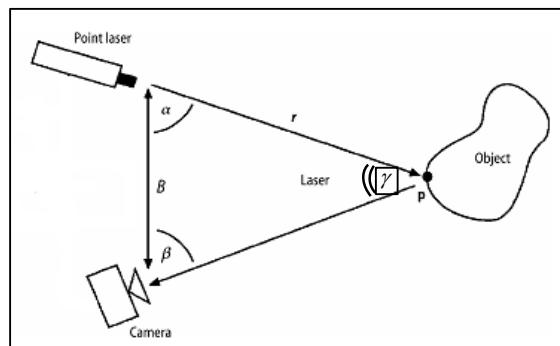
adalah pendekatan cahaya terstruktur. Ini merupakan metode triangulasi, di mana posisi dari laser, kamera, dan objek yang dimanfaatkan untuk memperoleh jarak antara kamera ke objek. Jarak ini adalah fungsi dari tiga parameter, yaitu: baseline (jarak antara sumber cahaya dan kamera), sudut kamera, dan sudut pencahayaan dari sumber cahaya (laser). Dari gambar 3 dapat ditentukan persamaan jarak r.



Gambar 3. Proses pemindaian menerapkan teknik non-kontak [10]

Dengan menggunakan aturan sinus, maka dapat diperoleh jarak proyektor laser dengan objek (r).

$$\frac{A}{\sin A} = \frac{B}{\sin B} = \frac{C}{\sin C} \quad \dots\dots\dots(1)$$



Gambar 4. Bidang triangulasi antara proyektor laser, kamera dan objek [10].

Berdasarkan gambar 4. Maka diperoleh persamaan untuk jarak (r) adalah :

$$\frac{r}{\sin \beta} = \frac{B}{\sin \gamma} \quad \dots\dots\dots(2)$$

$$r = \frac{B \cdot \sin \beta}{\sin \gamma} \quad \dots\dots\dots(3)$$

Akurasi geometri dan sistem pengaturan resolusi kamera diterjemahkan sebagaimana terlihat pada gambar 4. Di mana α adalah sudut pencahayaan, dan B adalah dasar jarak antara kamera dan sumber cahaya. Susunan yang paling umum adalah sudut pandangan α berada di kisaran $30-60^\circ$, dan resolusi kamera adalah pada kisaran 512×512 piksel atau lebih. Sudut kamera (α) meningkat ke arah 90° atau berkurang terhadap nol, kisaran akurasi menurun. Pada sudut pandang ekstrem ini, kamera kesulitan mendeteksi perubahan posisi laser. Pertama, set sudut pandang nol. Jika objek permukaan datar dan tegak lurus terhadap proyektor laser, kamera tidak akan menangkap laser. Kedua, set sudut 90° . Dengan pandangan ini, kamera hampir memandang lurus ke bidang laser. Kamera mendeteksi laser pada posisi yang sama tanpa memperhatikan kedalaman perubahan pada permukaan benda. Posisi kamera ini, merupakan posisi yang paling baik dalam menerima pantulan dari laser. Jadi, sudut $30-60^\circ$ jarak yang seimbang dari dua permasalahan kemiringan kamera dan resolusi proyeksi. Ini juga merupakan fungsi dari jarak *baseline* B antara kamera dan laser.

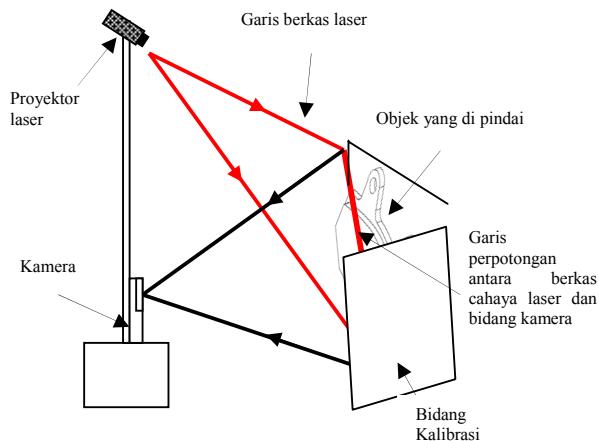
3. Metode Evaluasi

Ada beberapa prosedur yang dilakukan sebelum proses pemindaian. Tahap awal yaitu mempersiapkan alat-alat yang dipergunakan dalam proses pemindaian, seperti proyektor laser, kamera, bidang kalibrasi dan objek yang akan dipindai. Setelah persiapan peralatan dan objek selesai dilakukan, tahapan selanjutnya dilakukan pengaturan posisi dari probe dengan objek yang dipindai yaitu dengan meletakkan objek di depan bidang kalibrasi, pengaturan posisi probe terhadap objek dan pengaturan cahaya sekitar (cahaya dalam ruangan) untuk selanjutnya proses pemindaian dapat dilakukan. Skema dari proses pemindaian seperti terlihat pada gambar 5. Sebagai catatan, pengaruh cahaya dalam ruangan sangat mempengaruhi hasil dari pemindaian, di mana cahaya yang terlalu terang dapat mengurangi intensitas cahaya laser yang dipancarkan ke objek, sehingga berpengaruh terhadap antara garis cahaya laser dengan bidang kamera tidak optimal.

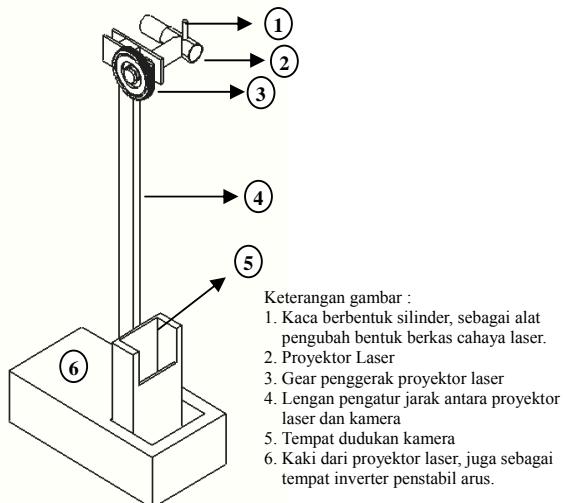
Pada penelitian ini, divariasikan jarak proyektor laser ke objek dan warna coating dari objek yang dipindai. Jarak antara proyektor laser ke objek di gunakan 4 variasi jarak yaitu jarak 45, 55, 65 dan jarak 75 (cm). Sedangkan warna emulsi yang digunakan adalah warna hitam dan warna putih. Untuk setiap pengujian dilakukan tiga kali perulangan. Setelah diperoleh semua proses pemindaian selesai, selanjutnya



dilakukan tahap analisa terhadap model gambar 3D yang dihasilkan dari pemindaian. analisa yang dilakukan yaitu, mengambil ukuran dari beberapa bagian model gambar 3D tersebut untuk divalidasi dengan objek orisinalnya.

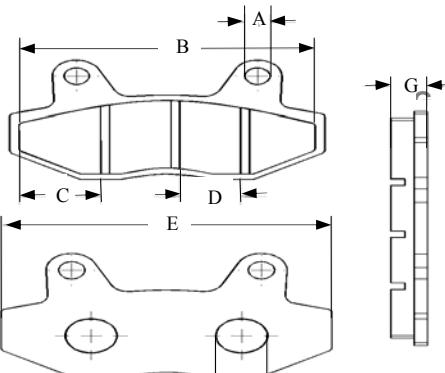


Gambar 5. Skema proses pemindaian



Gambar 6. Prototype alat pindai

Setelah proses pemindaian selesai dilakukan, maka akan diperoleh model gambar CAD 3D. Selanjutnya gambar model CAD 3D tersebut diukur dengan menggunakan perangkat lunak Meshlab V1.2.2. Bagian yang diukur adalah bagian dari sisi A, B, C, D, E, F, dan G dari model CAD 3D, sehingga akan diperoleh berapa besar penyimpangan yang terjadi antara model CAD 3D yang dihasilkan dari proses pemindaian dengan objek nyata.



Gambar 7. Bagian kampas rem cakram yang diukur
4. Hasil dan Pembahasan



Gambar 8. Kampas rem cakram yang telah dilapis emulsi
Penggunaan laser sebagai alat pemindai tidak



serta-merta dapat digunakan pada seluruh objek, karena objek dengan permukaan yang kasar, terlalu gelap, berkilau dan transparan tidak dapat langsung dipindai, karena akan berefek pada kualitas dari pemindaian. Maka objek tersebut harus di lapis dengan suatu lapisan emulsi seperti, kalsit (CaCO_3), tepung, cat dan lain-lain. Dalam penelitian ini dipilih kampas rem cakram (*Brake pad*) pada sepeda motor sebagai objek yang akan dipindai, seperti terlihat pada gambar 8. Sebelum dilakukan proses pemindaian, kampas rem cakram ini dibersihkan terlebih dahulu, selanjutnya dilakukan pelapisan bagian luarnya dengan menggunakan cat, untuk memperoleh hasil pemindaian yang baik. Dalam penelitian ini dilakukan *coating* dengan warna putih, hitam dan abu-abu (*gray*).

Tabel 1. Tabel hasil pemindaian kampas rem cakram dilapisi emulsi warna putih.

Jarak Pindai	Bagian Depan Kampas Rem	Bagian Belakang Kampas Rem	Keterangan
45 cm			Model 3D kampas rem cakram hasil pemindaian. Bagian yang dilingkari merah pada model bagian belakang kampas rem cakram, adalah bagian yang mengalami oklusi pada proses pemindaian
Jarak Pindai	Bagian Depan Kampas Rem	Bagian Belakang Kampas Rem	Keterangan
55 cm			Model 3D kampas rem cakram yang dihasilkan sudah lebih baik dari pada model yang dihasilkan pada jarak pindai 45 cm
65 cm			Model 3D kampas rem cakram yang dihasil pada jarak pindai ini sama baiknya dengan jarak pindai 55 cm dan lebih baik dari pada hasil yang diperoleh dari jarak pindai 45 cm.
75 cm			Pada jarak pandai 75 cm, model 3D yang dihasilkan mengalami penurunan kualitas. Dimana terlihat dari tekstur yang lebih kasar dan mengalami efek bayangan (bagian dalam lingkaran merah).

Berdasarkan empat variasi pengujian jarak proyektor terhadap objek yang telah dilakukan. Pengujian pada jarak 55 cm sampai dengan 65 cm ditetapkan dalam melakukan pemindaian menggunakan protipe alat pindai hasil rancang bangun pada penelitian ini. Hal ini disebabkan karena hasil data geometris yang diperoleh baik, dimana bentuk dari model 3D yang ditampilkan baik dan area oklusi yang terjadi lebih sedikit. Untuk hasil pemindaian secara lengkap terlihat pada tabel 1.

Hasil pengujian dengan memvariasikan jarak proyektor laser sejauh 45 cm, 55 cm 65 cm dan 75 cm dengan kampas rem cakram yang dilapisi emulsi warna hitam secara keseluruhan tidak dapat digunakan. Hasil pemindaian secara lengkap terlihat pada tabel 2.

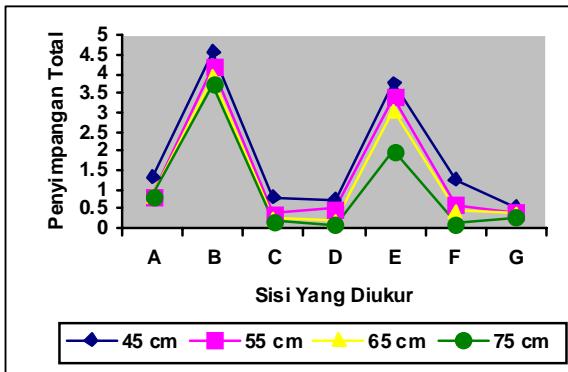
Tabel 2. Tabel hasil pemindaian kampas rem cakram dilapisi emulsi warna hitam.

Jarak Pindai	Bagian Depan Kampas Rem	Bagian Belakang Kampas Rem	Keterangan
45cm			Model 3D kampas rem cakram hasil pemindaian dengan jarak 45 cm, terdapat banyak noise dan permukaan kampas rem tidak terekam dengan sempurna.
Jarak Pindai	Bagian Depan Kampas Rem Cakram	Bagian Belakang Kampas Rem Cakram	Keterangan
55cm			Model 3D kampas rem cakram hasil pemindaian dengan jarak 55 cm. Sama dengan hasil pengujian pada jarak 45 cm terdapat banyak noise dan permukaan kampas rem tidak terekam dengan sempurna.
65cm			Model 3D kampas rem cakram hasil pemindaian dengan jarak 55 cm. Sama dengan hasil pengujian pada jarak 45cm dan 55 cm terdapat banyak noise dan permukaan kampas rem tidak terekam dengan sempurna.
75cm	-	-	Tidak diperoleh data geometri

Berdasarkan tabel 2 dapat dibuat grafik yang menunjukkan penyimpangan hasil pemindaian model 3D kampas rem cakram untuk setiap bagian yang di



ukur berdasarkan jarak dari proyektor laser.



Gambar 9. Grafik hubungan antara penyimpangan total bagian yang diukur dengan jarak pindai.

Berdasarkan hubungan tersebut dapat diamati bahwa percobaan dengan jarak proyektor laser sejauh 45 cm terhadap kampas rem cakram yang dilapisi cat warna putih, penyimpangan total tertinggi terjadi pada bagian B dimana nilai penyimpangan totalnya adalah 4,56 mm. Sedangkan penyimpangan total terkecil terjadi pada bagian D, dimana nilai penyimpangan totalnya adalah 0,548 mm. Untuk percobaan dengan jarak proyektor laser sejauh 55 cm terhadap kampas rem cakram yang dilapisi cat warna putih, penyimpangan total tertinggi juga terjadi pada bagian B, dimana nilai penyimpangan totalnya adalah 4,173 mm. Sedangkan penyimpangan total terkecil terjadi pada bagian C, dimana nilai penyimpangan totalnya adalah 0,39 mm.

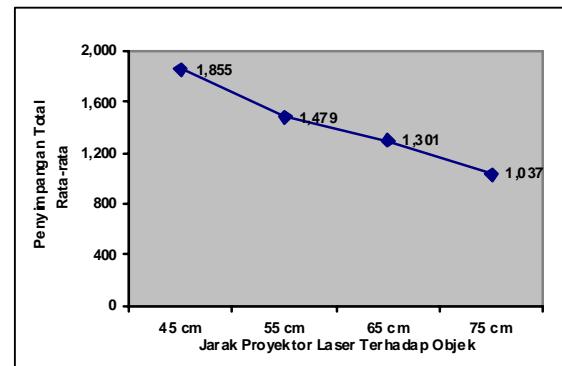
Sementara untuk percobaan dengan jarak proyektor laser sejauh 65 cm terhadap kampas rem cakram yang dilapisi cat warna putih, penyimpangan total tertinggi terjadi pada bagian B, dimana nilai penyimpangan totalnya adalah 3,93 mm. Sedangkan penyimpangan total terkecil terjadi pada bagian D, dimana nilai penyimpangan totalnya adalah 0,193 mm.

Namun demikian lain halnya dengan percobaan pada jarak proyektor laser sejauh 75 cm terhadap kampas rem cakram yang dilapisi cat warna putih, penyimpangan total tertinggi terjadi pada bagian B, dimana nilai penyimpangan totalnya adalah 3,74 mm. Sedangkan penyimpangan total terkecil terjadi pada bagian D, dimana nilai penyimpangan totalnya adalah 0,096 mm.

Secara umum, penyimpangan yang terjadi untuk setiap jenis variasi jarak proyektor laser terhadap kampas rem cakram yang dilapisi cat warna putih adalah sama. Dimana penyimpangan total yang paling tinggi terjadi pada bagian B, dan penyimpangan total yang paling kecil terjadi pada bagian D. Hanya pada jarak pemindaian 55 cm, tingkat penyimpangan paling kecil terjadi pada bagian G.

Untuk penyimpangan total rata-rata yang

diperoleh dari pemindaian dengan jarak 45 cm, 55 cm, 65 cm dan 75 cm terhadap kampas rem cakram yang dilapisi cat warna putih terlihat pada gambar 10 berikut.



Gambar 10. Hubungan nilai penyimpangan terhadap jarak proyektor laser pada objek pindai

Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa, penyimpangan total rata-rata terjadi pada model 3D kampas rem cakram hasil dari pemindaian dengan jarak proyektor laser 55 cm ke kampas rem cakram. Sedangkan penyimpangan total rata-rata terkecil terjadi pada model 3D kampas rem cakram hasil dari pemindaian dengan jarak proyektor laser 75 cm ke kampas rem cakram.

Untuk pengujian dengan menggunakan kampas rem cakram yang di lapisi dengan cat warna hitam, hasil pengujian tidak dianalisa. Hasil model CAD 3D tidak diperoleh dengan sempurna, sehingga harga ukuran dari bagian yang dijadikan sebagai sampel pengukuran tidak dapat diperoleh. Hal ini disebabkan, karena warna hitam yang dijadikan sebagai lapisan dari kampas rem cakram menyerap intensitas dari sinar laser yang di pancarkan, sehingga garis cahaya laser yang jatuh pada bidang objek pindai tidak dapat dibaca atau direkam dengan baik oleh kamera. Dengan demikian, data geometris dari kampas rem cakram tidak dapat diperoleh dengan sempurna.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat dirangkumkan beberapa hal yang berhubungan dengan penerapan teknologi *reverse engineering* dengan teknik pemindai laser 3D pada elemen mesin, sebagaimana berikut:

1. Pemakaian prototipe alat pemindai laser 3D hasil rancangan mampu menampilkan hasil pemindaian yang baik dengan mengendalikan parameter prosesnya.
2. Panjang gelombang cahaya laser yang digunakan adalah 650nm dengan daya 4,5 volt dan berkas cahaya laser yang digunakan adalah berkas cahaya laser yang berbentuk garis (*line laser*).



3. Objek yang berkilau, transparan dan berwarna hitam tidak dapat dipindai. Oleh karena itu, untuk objek-objek tersebut diperlukan suatu perlakuan pelapisan (*coating*) menggunakan lapisan emulsi seperti cat tembok dan *Pylox Duplex*.
4. Jarak Pindai efektif antara proyektor laser dengan objek pindai dalam penelitian ini adalah 55 cm sampai dengan 65 cm.
5. Penyimpangan total rata-rata dari ukuran model CAD 3D hasil pemindaian dengan jarak pindai 55 cm adalah 1,479 mm dan persentase penyimpangannya adalah 4,74 %. Penyimpangan total rata-rata untuk jarak pindai 65 cm adalah 1,301 mm dan persentase penyimpangannya adalah 4,02 %.

Daftar Pustaka

- [1] Abdil Kuş. (2009). *Implementation of 3D Optical Scanning Technology for Automotive Applications*. Uludağ University, Vocational School of Technical Sciences, 16059 Görükle Campus, Bursa –Turkey.
- [2] Abella R, Daschbach J, McNichols R. (1994). *Reverse engineering applications*. Comput Ind Eng 26 (2):381–385.
- [3] C. Bradley, V. Chan. (2001). *A Complementary Sensor Approach to Reverse Engineering*. Dept. of Mechanical Engineering, University of Victoria, Canada
- [4] Campbell RJ, Flynn PJ (2001) A survey of free-form object representation and recognition techniques. Comput Vision Image Understanding 81(2):166–210
- [5] Fahraz Ali, dkk. (2008). *Part Design and Evaluation Through Reverse Engineering Approach*. Proceeding of The IAJC-IJME International Conference. Paper 54, Eng 1003.
- [6] Jaya Suteja. (2008). *Implementasi Reverse Engineering Dalam Meningkatkan Produktivitas Proses Desain Produk Perhiasan*. Seminar Nasional Sains dan Teknologi-II. Universitas Lampung.
- [7] Kazu Kinoshita, Tomonori Miyazaki, Masataka, Takagi. *Monitoring Method of Landslide Using Laser Scanner; Accurate Geometric Transformation by Multi Surfaces Measurement*. Kochi University Of Technology. Japan.
- [8] S. Winkelbach, S. Molkenstruck dan F.M. Wahl. (2006). *Low-Cost Laser Range Scanner and Fast Surface Registration Approach*. Institute of Robotics and Process Control, Technical University of Braunschweig. Germany.
- [9] Stefanus Ongkodjojo, Rudi Adipranata, Stanley Adiwena Oentaryo. (2008). *Perancangan Sistem dan Algoritma Identifikasi Obyek tiga dimensi dengan Pemanfaatan Laser Pointer Sebagai Pembangkit Berkas*. Seminar Nasional Teknik Mesin 3. Universitas Kristen Petra. Surabaya. Indonesia.
- [10] Vinesh Raja and Kiran J. Fernandes. (2008). *Reverse Engineering An Industrial Perspective*. Cardiff University. Cardiff. UK.
- [11] X.N. Chen, Q. Xia, S.H.Zhang, Y. Zhou. (2005). *3D Laser Scanner System For Surveying And Engineering*. ZhengZhou Institute of Survey And Mapping. China.
- [12] Yau H, Haque S, Menq C. (1995). *Reverse engineering in the design of engine intake and exhausts ports*. Manuf Sci Eng, 64:139–148





ISBN 978-602-97742-0-7

MV-58