

# Registrasi Point Cloud Objek Berkontur Menggunakan Metode Red Green Blue Color Iterative Closest Point

Yoedo Ageng Suryo<sup>1</sup>, Eko Mulyanto<sup>2</sup>, Ahmad Zaini<sup>3</sup>, I Ketut Eddy Purnama<sup>4</sup>

Jurusan Teknik Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)  
Surabaya, Indonesia

yoedo11@mhs.ee.its.ac.id<sup>1</sup>,ekomulyanto@ee.its.ac.id<sup>2</sup>, zaini@ee.its.ac.id<sup>3</sup>, ketut@ee.its.ac.id<sup>4</sup>

**Abstract**—Registrasi *point cloud* menggunakan metode *iterative closest point* dapat konvergen pada *local optima*, dikarenakan dengan menggunakan jarak terdekat tidak semua *point cloud* dapat menemukan titik pasangan yang sesuai. Pada penelitian ini dilakukan penambahan fitur warna *Red Green Blue* (RGB) pada permukaan objek untuk mendapatkan hasil registrasi yang akurat. Normalisasi warna RGB dilakukan untuk mengurangi pengaruh intensitas cahaya sewaktu proses pemindaian berlangsung. Berdasarkan hasil uji coba pada pemberian nilai bobot warna 0,5 sampai dengan 4, menunjukkan prosentase penurunan nilai *residual error* rata – rata sebesar 3,395%. Hal ini menunjukkan bahwa adanya penambahan fitur warna RGB dapat meningkatkan akurasi registrasi

**Keywords**—Registrasi; Korespondensi; *Local optima*; *point cloud*; RGB Color.

## I. PENDAHULUAN

Penelitian terkait pemrosesan data dimensi tiga dapat dilakukan dengan langkah awal berupa tahapan aktivitas pemindaian permukaan objek berkontur. Data yang didapatkan berupa kumpulan titik-titik dalam koordinat dimensi tiga dengan kerapatan tinggi [9]. Kumpulan titik-titik (yang selanjutnya disebut *point cloud*) hasil pemindaian kedua permukaan, diregistrasikan untuk kebutuhan pemodelan. Kedua data diproses untuk digabungkan ke dalam sistem koordinat dimensi tiga. Metode yang secara umum digunakan adalah *iterative closest point* [2]. Pada metode ini, korespondensi diantara dua set *point cloud* dilakukan dengan mencari kesesuaian antar titik pada salah satu *point cloud* dengan titik terdekat pada *point cloud* yang lain. Kinerja korespondensi ini masih konvergen pada lokal minima, dimana ada bagian tertentu pada *point cloud* yang masih belum menemukan pasangan titik.

Beberapa peneliti, mencoba memperbaiki performa registrasi agar dapat menuju global minima. Chen telah melakukan *interactive range images registration* berbasis jarak minimum vektor normal diantara dua permukaan. Algoritma ini bermanfaat untuk mengurangi jumlah batasan yang diakibatkan oleh penggunaan korespondensi titik terdekat [3]. Zhang mengusulkan metode *KD tree* sebagai salah satu cara untuk mempercepat *closest point computation* dan penggunaan *robust statistic* untuk membangun *dynamic distance threshold*

[9]. Registrasi dimensi tiga yang dikombinasikan dengan penambahan informasi warna, dilakukan sebagai pengembangan kegiatan penelitian terkait korespondensi *point cloud*. Diantaranya Johnson mengkombinasikan registrasi dengan warna dan tekstur sebagai representasi permukaan ke fungsi objektif *mean square distance* sehingga menjadikan *error* registrasi dapat dikurangi [9]. Peneliti Douadi menggunakan warna YIQ untuk menggantikan permukaan apabila informasi geometri permukaan tidak mencukupi [4].

Pengembangan penelitian registrasi dimensi tiga yang dikombinasikan dengan warna, menginspirasi penulis untuk memanfaatkan informasi komponen warna RGB. Pada penelitian ini, penulis memanfaatkan hasil pemindaian perangkat pemindai 3D yang selain berupa data koordinat *point cloud* juga terdapat penambahan data warna. Penggabungan kedua data ini, diharapkan mampu membantu mempercepat korespondensi *point cloud* dan meningkatkan keakurasian registrasi dimensi tiga. Tujuan terkait penelitian ini adalah menerapkan fitur warna *Red Green Blue* pada permukaan objek untuk mendapatkan hasil registrasi yang akurat. Penerapan metode registrasi warna RGB diaplikasikan pada *point cloud* yang memiliki informasi koordinat posisi dan warna ( $w, y, z, r, g, b$ ).

## II. DASAR TEORI

### A. Transformasi Rigid

Transformasi rigid terdiri dari rotasi (R) dan translasi (t). Kedua nilai ini mentransformasikan objek rigid dari satu koordinat dimensi tiga menuju koordinat referensi. Transformasi *point cloud* dari satu koordinat dimensi tiga menuju koordinat yang lain, ditransformasikan dengan besaran nilai rotasi dan translasi tertentu. Bentuk umum transformasi rigid dapat dituliskan sebagai :

$$X' = R_p + t \quad (1)$$

R adalah matrik identitas 3 x 3 dan t adalah matrik translasi dimensi tiga  $t_x, t_y$  dan  $t_z$ . Apabila didapatkan  $\det(R) = 1$ , maka transformasi rotasi yang diperoleh sudah sesuai dengan transformasi rigid objek secara fisik. Rotasi objek pada sumbu koordinat Kartesian mewakili besar ketiga sudut rotasi  $\theta_x, \theta_y$  dan  $\theta_z$ . Ketiga sudut rotasi ini mengikuti urutan sebagai berikut :

rotasi terhadap sumbu  $x$  :

$$R_x = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta_x & \sin \theta_x \\ 0 & -\sin \theta_x & \cos \theta_x \end{bmatrix} \quad (2)$$

rotasi terhadap sumbu  $y$  :

$$R_y = \begin{bmatrix} \cos \theta_y & 0 & \sin \theta_y \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \theta_y & 0 & \cos \theta_y \end{bmatrix} \quad (3)$$

rotasi terhadap sumbu  $z$  :

$$R_z = \begin{bmatrix} \cos \theta_z & -\sin \theta_z & 0 \\ \sin \theta_z & \cos \theta_z & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

### B. Registrasi Point Cloud

Dilakukan sebagai proses estimasi transformasi rigid data terhadap referensi dalam sistem koordinat yang sama [6]. Proses registrasi *point cloud* dilakukan terhadap minimal dua himpunan *point cloud* yang didefinisikan sebagai model dan data. Keduanya terpisah jarak Euclidean sebagai persamaan :

$$\|d_1 - d_2\| \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2} \quad (5)$$

Proses transformasi ini menghasilkan perhitungan *error matching* sebagai persamaan :

$$e(R, t) = \sum_k \|(R p_k + t) - c(p_k)\|^2, p_k \in P \quad (6)$$

$e(R, t)$  : *error matching* rotasi dan translasi

### C. Algoritma Registrasi Point Cloud

Diasumsikan terdapat dua himpunan *point cloud* sebagai notasi  $X$  (model) dan  $P$  (data). Keduanya memiliki himpunan titik-titik yang berjumlah  $N_x$  untuk model dan  $N_p$  untuk data, dimana  $X = \{x_i\}$  dengan  $i = 1 \dots N_x$  dan  $P = \{p_i\}$  dengan  $i = 1 \dots N_p$ . Himpunan *point cloud* data ditransformasikan menuju *point cloud* model sebagai koordinat referensi dimensi tiga. *Point cloud* data diinisialisasi dengan kondisi sebagai berikut : iterasi( $k$ ) = 0,  $P_0 = P$ ,  $R_0 = [I]$  dan  $t_0 = [3 \times 0]$ . Selanjutnya, proses registrasi *point cloud* data berlanjut dengan beberapa tahapan sebagai berikut :

a. Menghitung korepondensi titik terdekat

$$d(p, x) = \|\vec{p} - \vec{x}\|^2 \quad (7)$$

Untuk menghitung  $N_p$  sebagai pasangan titik terdekat  $Y_k = \{y_{i,k}\}$  dan  $P_k = \{p_{i,k}\}$  didefinisikan sebagai  $\vec{y}_{i,k} = c(\vec{p}_{i,k}) = X | \min_{\vec{x} \in X} d(\vec{p}_{i,k}, \vec{x})$

b. Menghitung registrasi

Diketahui himpunan *point cloud* terdekat sebagai fungsi objektif *mean square* yang harus diminimisasi sebagai fungsi  $R_x$  dan  $t_k$ .

$$e(R_k, t_k) = \frac{1}{N_p} \sum_{i=p}^{N_p} \|(R_k \vec{p}_{i,0} + t_k) - \vec{y}_{i,k}\|^2 \quad (8)$$

c. Aplikasikan registrasi

Aplikasikan transformasi rigid untuk mendapatkan  $p_{b,k+1}$  yang didefinisikan sebagai

$$\vec{p}_{i,k+1} = R_k \vec{p}_{i,0} + t_k \quad (9)$$

d. Terminasi iterasi

Iterasi berakhir jika terjadi perubahan *mean square error* dibawah nilai *threshold*. Kondisi ini didapatkan dari selisih *error* jarak di setiap iterasi sebagaimana persamaan 10.

$$d_k - d_{k+1} < \tau \quad (10)$$

dengan  $d_k = \frac{1}{N_p} \sum_{i=1}^{N_p} \|P_{ik} - RP'_{c(i)k} + t\|$  dan  $d_{k+1} = \frac{1}{N_p} \sum_{i=1}^{N_p} \|P_{i(k+1)} - RP'_{c(i)k+1} + t\|$ .

### D. Color Matching

Beberapa penelitian telah mengembangkan teknik korespondensi titik terdekat dengan memanfaatkan fitur permukaan seperti warna ataupun fitur kurvatur yang seringkali terdapat pada data dimensi tiga. Godin membangun korespondensi *closest point* dengan menambahkan komponen warna dalam dua langkah. Langkah pertama dilakukan dengan membangun *subset* titik terdekat dengan menggunakan warna untuk mencari kandidat pasangan titik terdekat dan dilanjutkan dengan mencari titik terdekat menggunakan jarak geometrik diantara pasangan *point cloud* yang sesuai [5].

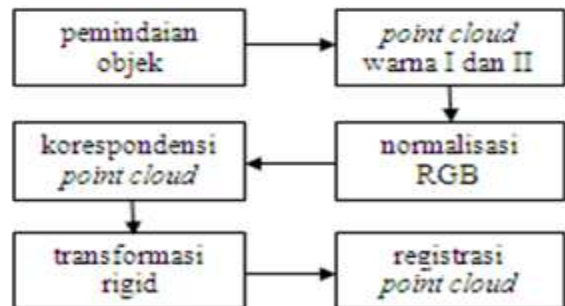
Pengembangan teknik korespondensi titik terdekat yang lain dilakukan dengan menambahkan informasi warna pada perhitungan jarak [9]. Jika komponen warna didefinisikan sebagai vektor  $c = (r, g, b)^T$  maka jarak kuadrat persamaan 5 dituliskan sebagai :

$$d(p, x) = \left[ (x_x - x_p)^2 + (y_x - y_p)^2 + (z_x - z_p)^2 + w(r_x - r_p)^2 + w(g_x - g_p)^2 + w(b_x - b_p)^2 \right] \quad (11)$$

dengan  $x = (x_x, y_x, z_x, r_x, g_x, b_x)$  dan  $p = (x_p, y_p, z_p, r_p, g_p, b_p)$  dimana  $w = (w_1, w_2, w_3)$  merupakan nilai bobot masing – masing warna [4]

### III. REGISTRASI POINT CLOUD WARNA

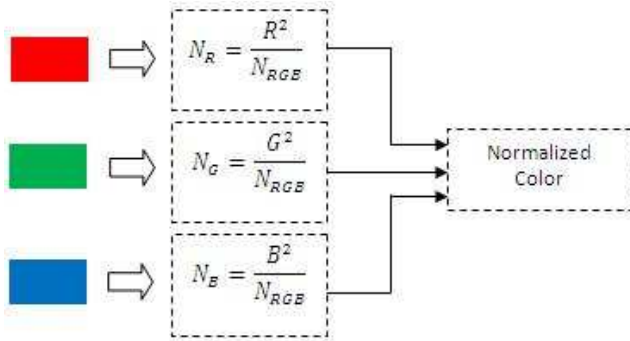
Penelitian ini mengaplikasikan metode registrasi *iterative closest point* yang dikombinasikan dengan informasi warna berbasis *Red Green Blue* (RGB). Oleh karena itu metode yang diaplikasikan disebut sebagai RGB *Color ICP*. Gambar 1 berikut menunjukkan blok diagram proses registrasi *point cloud* warna.



Gambar 1 Blok Registrasi Point Cloud Warna

### A. Normalisasi RGB

Sewaktu proses pemindaian berlangsung, adanya intensitas cahaya lingkungan dapat mempengaruhi hasil *point cloud* warna. Selain dipengaruhi oleh intensitas cahaya, adanya pengaruh bayangan dari lingkungan juga turut menentukan kualitas hasil pemindaian. Oleh karena itu proses normalisasi dilakukan untuk meminimalisasi adanya pengaruh pencahayaan saat proses pemindaian berlangsung [7].



Gambar 2 Proses normalisasi warna RGB

Setiap satu *point cloud* selain terletak dalam koordinat dimensi tiga, juga terdapat kombinasi warna RGB. Hal ini dapat dituliskan sebagai  $P(x_1, y_1, z_1, r_1, g_1, b_1)$ . Dimana  $P$  merupakan himpunan *point cloud* warna. Proses normalisasi dilakukan sebagaimana persamaan 12.

$$N_{RGB} = \sqrt{R^2 + G^2 + B^2} \quad (12)$$

Melalui persamaan 12, masing – masing komponen warna R, G dan B dihitung nilai kuadrat setiap nilai. Nilai ini memiliki batasan *range* diantara 0 – 255. Pembagi nilai normalisasi dihitung berdasarkan kuadrat penjumlahan masing – masing komponen warna. Normalisasi masing – masing komponen nilai RGB, selanjutnya dibagi dengan persamaan 12, menjadi bentuk umum sebagaimana persamaan 13.

$$N_x = \frac{x}{N_{RGB}} \quad (13)$$

### B. Korespondensi Point Cloud Warna

Proses korespondensi *point cloud* didapatkan dengan mencari pasangan titik – titik terdekat pada jarak Euclidean. Hal ini dapat memungkinkan adanya satu titik berpasangan dengan lebih dari satu titik yang lain. Pemanfaatan komponen fitur warna dapat menjadikan korespondensi titik dapat terarah ke masing – masing pasangan warna.

Proses korespondensi ini dapat dijelaskan sebagai berikut. Diketahui *point cloud* model ( $P$ ) yang memiliki himpunan  $P = \{p_1, p_2, p_3, \dots, p_n\}$  dan *point cloud* data ( $P'$ ) yang memiliki himpunan  $P' = \{p'_1, p'_2, p'_3, \dots, p'_n\}$ . Jika pada kedua *point cloud* terdapat fitur warna, maka masing – masing titik selain terdapat informasi koordinat dimensi tiga juga terdapat penambahan nilai komponen warna. Oleh karena itu pada masing – masing *point cloud* model dituliskan sebagai  $p_i = (x_i, y_i, z_i, wr_i, wg_i, wb_i)$  dengan  $p_i \in P$ . *Point cloud* data dituliskan sebagai  $p'_j = (x'_j, y'_j, z'_j, wr'_j, wg'_j, wb'_j)$  dengan  $p'_j \in P'$ . Kedua *point cloud* memiliki perhitungan jarak

$$\left\| (x_i - x'_j)^2 + (y_i - y'_j)^2 + (z_i - z'_j)^2 + w(r_i - r'_j)^2 + w(g_i - g'_j)^2 + w(b_i - b'_j)^2 \right\| \quad (14)$$

Korespondensi *point cloud*  $P$  ke  $P'$  dinotasikan  $\{p_i, p'_{c(i)}\}$  dengan  $p'_{c(i)} \in P'$ . Nilai  $c_i$  ditentukan sebagaimana persamaan 13.

$$c_{(i)} = \operatorname{argmin}_j \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \left\| (x_i - x'_j)^2 + (y_i - y'_j)^2 + (z_i - z'_j)^2 + w(r_i - r'_j)^2 + w(g_i - g'_j)^2 + w(b_i - b'_j)^2 \right\|^{\frac{1}{2}} \quad (15)$$

### C. Estimasi Transformasi Rigid

Sepasang himpunan *point cloud* model ( $X$ ) dan data ( $P$ ) memiliki pasangan titik – titik yang berkorespondensi, ditransformasikan untuk meminimalkan *error*  $e(R, t)$  sesuai persamaan 12.

$$e(R, t) = \sum_{i=1}^N \left\| (R p_i + t) - y_i \right\|^2 \quad (16)$$

Proses transformasi rigid dilakukan dalam beberapa langkah untuk mengurangi *error* registrasi. Nilai rotasi dan translasi yang diperoleh dari langkah sebelumnya, digunakan untuk memperhitungkan iterasi berikutnya. Pada setiap iterasi, besaran transformasi rigid  $R_i$  dan  $t_i$  berfungsi untuk memperkecil adanya *error* disetiap iterasi. Total besar transformasi, diperbarui dengan  $R = R_{i+1} * (R)$  dan  $t = R_{i+1} * t + t_i$ . Melalui pendekatan ini akan mereduksi koordinat geometri *point matching* menjadi persamaan 13.

$$e(R_i, t_i) = \sum_k \left\| (R_i (R_{pk} + t) + t_i) - c(p_k) \right\|^2 \quad (17)$$

Fungsi korespondensi  $c$ , dipilih untuk menjadikan registrasi konvergen ke minimum. Untuk mencari perhitungan transformasi terbaik, persamaan 3.2 didekomposisi menjadi :

$$e(R, t) = \sum_{i=1}^N \left\| R p_i - y_i \right\|^2 + 2t \sum_{i=1}^N (R p_i - y_i) + \sum_{i=1}^N \|t\|^2 \quad (18)$$

Bagian pertama dan terakhir terdapat nilai R dan t sedangkan bagian tengah merupakan gabungan. Jika bagian tengah diatur menjadi 0 maka *error*  $e$  dapat diminimalkan[1]. Nilai *centroid* dari  $p_i$  dan  $y_i$  adalah  $\mu_p = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N p_i$  dan  $\mu_y = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i$  dimana  $p_i$  dan  $y_i$  adalah nilai rata-rata *centroid*.

Pendekomposisian persamaan 16 sebagaimana penjabaran persamaan 18 akan menghasilkan perhitungan rotasi dan translasi.

$$e(R, t) = \sum_{i=1}^N \|R p'_i + t\|^2 \quad (19)$$

dengan  $t' = R_{\mu_p} - \mu_y + t$ . Transformasi setiap *point cloud* data ( $p$ ) dan *point cloud* yang berkorespondensi, diperbarui melalui :  $a_i = p_i - \mu_p$  dan  $b_i = y_i - \mu_y$ . Sehingga persamaan 15 menjadi :

$$e(R, t) = \sum_{i=1}^N \|R a_i - b_i\|^2 + \sum_{i=1}^N \|t\|^2 \quad (20)$$

maka diperoleh vektor translasi  $t$  adalah

$$t = \mu_y - R_{\mu_p} \quad (21)$$

$R_{pp}$  : nilai rotasi *point cloud* data.

Beberapa metode untuk mencari matrik R guna meminimalisasi *matching error* adalah menggunakan *singular value decomposition*[1]. Matrik rotasi R merupakan perkalian dua matrik orthonormal.

$$H = \sum_{i=1}^N a_i b_i \quad (22)$$

$$H = U \Lambda V' \quad (23)$$

dimana  $U$  dan  $V$  : matrik orthonormal 3 x 3 dan  $\Lambda$  : matrik diagonal 3 x 3.

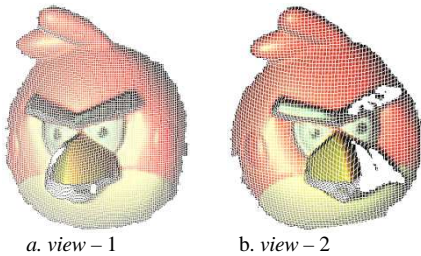
#### IV. HASIL PERCOBAAN

Percobaan pada penelitian ini dilakukan pada objek *angry bird* dengan dimensi panjang 8 cm, lebar 8 cm dan tinggi 6 cm. Objek ini memiliki kombinasi warna merah, kuning, putih dan hitam.



Gambar 3 Objek percobaan *angry bird*

Perangkat pemindai dimensi tiga diletakkan berjarak satu meter dari objek. Pemindaian dilakukan dengan merotasi objek sebesar 20 derajat. Hasil pemindaian didapatkan *point cloud* warna dari berbagai sudut pandang sebagaimana gambar 4.



a. view - 1

b. view - 2

Gambar 4. *Point cloud* warna objek *angry bird*

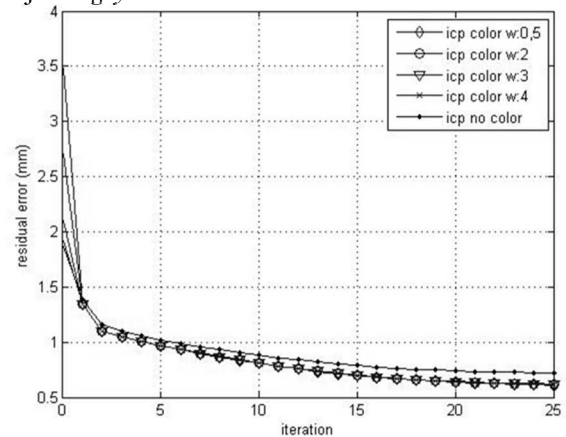
Gambar 4.4a masih belum terjadi rotasi, sedangkan gambar 4.4b telah terjadi rotasi sudut sebesar 20 derajat. Jumlah data *point cloud* hasil pemindaian objek *angry bird* pada masing – masing sudut pandang dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1 Jumlah *point cloud* *angry bird*

| Nama            | Jumlah <i>Point Cloud</i> |
|-----------------|---------------------------|
| <i>view - 1</i> | 30.897                    |
| <i>view - 2</i> | 29.537                    |

Data jumlah *point cloud* pada tabel 1 didapatkan setelah meminimalisasi jumlah *point cloud* lingkungan dan hanya menghitung data *point cloud* objek *angry bird* saja. Registrasi dilakukan dengan memberi bobot dari 0,5 sampai dengan 4.

Gambar 5 berikut merupakan grafik registrasi *point cloud* warna objek *angry bird*.



Gambar 5. Grafik *residual error* registrasi *angry bird* pada beberapa nilai pembobotan

Nilai masing – masing bobot warna dapat meningkatkan akurasi registrasi sebesar 2,916%, 0,116%, 2,99%, dan 1,143% dibandingkan dengan metode ICP *no color*.

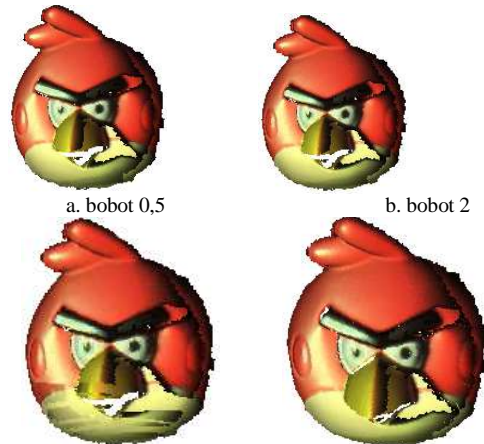
Perbandingan nilai *residual error* registrasi *angry bird* *view - 1* dan *view - 2* pada beberapa nilai bobot dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2 Perbandingan hasil registrasi *angry bird* pada *view-1* dan *view-2*

| Bobot | Konvergen Iterasi |                     | <i>Residual Error</i> (mm) |                     |
|-------|-------------------|---------------------|----------------------------|---------------------|
|       | ICP <i>color</i>  | ICP <i>no color</i> | ICP <i>color</i>           | ICP <i>no color</i> |
| 0,5   | 31                | 31                  | 0,586                      | 0,6036              |
| 2     | 31                | 31                  | 0,6029                     | 0,6036              |
| 3     | 31                | 31                  | 0,5864                     | 0,6036              |
| 4     | 31                | 31                  | 0,5967                     | 0,6036              |

Tabel 2 menunjukkan hasil registrasi yang menyajikan perbandingan nilai konvergen iterasi dan *residual error* menggunakan metode ICP *color* dan ICP *no color*. Pada metode ICP *color*, didapatkan nilai *residual error* yang lebih rendah dibandingkan dengan metode ICP *no color*.

Hasil registrasi objek *angry bird* dapat dilihat pada gambar 6 berikut ini.



a. bobot 0,5

b. bobot 2

bobot 4

d. bobot 4

Gambar 6 Hasil registrasi *angry bird* *view - 1* dan *view - 2*

Nilai bobot yang semakin besar menunjukkan pentingnya faktor warna dibandingkan dengan bentuk. Hal ini ditunjukkan dengan hasil grafik (gambar 5).

Kondisi awal *point cloud* sangat mempengaruhi keberhasilan proses registrasi. Pada sudut rotasi 20 derajat, *point cloud* model dan data yang saling bertimpa (*overlap*) terdapat dalam jumlah yang banyak. Hal ini sangat memungkinkan untuk mempermudah terjadinya korespondensi *point cloud*. Ketika korespondensi *point cloud* dapat dilakukan dengan mudah, maka proses registrasi akan berhasil. Pemberian nilai bobot yang bertingkat, berpengaruh terhadap kecenderungan registrasi terhadap warna dibandingkan dengan bentuk. Hal ini ditunjukkan dengan perbandingan grafik *residual error* metode RGB *Color ICP* pada kondisi awal yang mempunyai *residual error* bernilai tinggi dibandingkan dengan metode *ICP no color*. Sudut rotasi 20 derajat, merupakan sudut terbesar yang masih memungkinkan terjadinya kondisi konvergen. Jika dilakukan perlakuan dengan sudut rotasi lebih dari 20 derajat, maka pada sudut rotasi tersebut, terdapat *point cloud* yang saling bertimpa dalam jumlah yang sedikit. Hal ini berakibat pada saat korespondensi *point cloud* berlangsung, hanya didapatkan kesesuaian dalam jumlah yang sedikit. Pemberian nilai bobot pada tingkat berapapun, tentu tidak akan mempengaruhi keberhasilan proses registrasi. Hal ini dikarenakan pada kondisi awal didapatkan *point cloud* yang saling bertimpa dalam jumlah yang sedikit.

#### V. KESIMPULAN

Penelitian ini telah mengembangkan metode registrasi *point cloud* dengan memanfaatkan fitur warna *red green blue* (RGB) pada objek berkontur dan memiliki warna permukaan. Jika dibandingkan dengan metode *ICP no color*, metode RGB

*Color ICP* menunjukkan prosentase penurunan nilai *residual error* rata – rata sebesar 3,395%. Hal ini dapat dijadikan referensi bahwa pemanfaatan fitur warna dapat digunakan untuk meningkatkan akurasi registrasi *point cloud*. Penelitian selanjutnya dapat dikembangkan fitur warna permukaan objek selain RGB untuk keperluan registrasi *point cloud* sehingga dapat tercipta peningkatan akurasi yang lebih baik.

#### REFERENCES

- [1] Arun, K. S., Huang, T. S., Blostein, S. D. (1987)., "Least-Squares Fitting of Two 3-D Point Sets". *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* vol. PAMI-9, No. 5, 698 – 700.
- [2] Besl, P. and McKay, N (1992). "A Method for Registration of 3-D Shapes". *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 14, No. 2, hal 239 – 256
- [3] Chen, Y and Medioni, G (1992), "Object Modelling by Registration of Multiple Range Images", *Image Vision Computer*, vol. 10, no. 3, hal 145 – 155.
- [4] Duoadi, L., Aldon, M. J. dan Crosnier, A. (2006), "Pair-wise Registration of 3D/Color Data Sets with ICP", *Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, Beijing, China
- [5] Godin, G., Rioux, M dan Baribeau, R. (1994), "Three-Dimensional Registration Using Range and Intensity Information", *Proceedings of SPIE*, Vol. 2350, SPIE. Hal 279 – 290
- [6] Goshtasby, Ardeshir (2005), "2-D and 3-D Image Registration for Medical, Remote Sensing and Industrial Applications". A John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, New Jersey
- [7] Johnson, A. E dan Kang, S. B (1997), "Registration and Integration of textured 3-D Data", *International Conference on Recent Advances on 3-D Digital Imaging and Modeling*, hal. 234.
- [8] Linsen, Lars (2001), "Point Cloud Representation", Universitas Karlsruhe, Germany
- [9] Zhang, Zhengyou (1994), "Iterative Point Matching for Registration of FreeForm Curves", *IJCV*, vol. 13, no. 2, hal. 119 – 152