

Gestur Berbasis Estimasi Sudut Gulung untuk Pengendalian Manipulator

Muhammad Fuad

Fakultas Teknik, Universitas Trunojoyo Madura

fuad@trunojoyo.ac.id, ibrahim.fuad@gmail.com

Abstrak

Salah satu tantangan dalam pengendalian robot manipulator dengan menggunakan gestur tubuh secara intuitif terletak pada kesulitan penentuan sudut gulung dari end-effector. Penelitian ini mengusulkan suatu metoda untuk melakukan estimasi sudut gulung dengan menafsirkan perubahan tata letak dari fitur-fitur citra yang terbaca dari aliran data video. Sebuah kamera web yang dipasang pada lengan pengguna menangkap perubahan dari lingkungan dan mengubah informasi ini menjadi perintah untuk mengendalikan sudut gulung. SCORBOT -ER 9 Pro digunakan dalam percobaan dengan menerapkan kemampuan untuk mengendalikan sumbu kelima dari manipulator ini.

Kata Kunci: gestur tubuh, sudut gulung, SCORBOT -ER 9 Pro, kamera web

1 Pendahuluan

Pengendalian robot manipulator dapat dilakukan dengan beberapa cara. Menggunakan fasilitas *teach pendant*, atau memanfaatkan antar muka pemrograman secara *off-line* berbasis PC yang dilengkapi kontroler robot [1] merupakan teknik yang lazim dipakai dalam pengendalian robot jenis ini. Proses mengajarkan lintasan yang harus dilalui robot dengan cara pemrograman cukup mudah dilakukan namun membutuhkan waktu yang tidak singkat. Di samping itu, cara ini juga memerlukan adanya pelatihan kepada operator yang akan memandu proses ini agar dapat melaksanakan proses ini dengan benar. Hal ini menegaskan bahwa pengendalian manipulator dengan pemrograman tidak dapat dilakukan sebarang orang yang tidak memiliki cukup pengetahuan mengenai robot. Dengan kata lain, pemrograman robot manipulator bukan merupakan cara pengendalian yang intuitif.

Berlandaskan fakta ini, lahirlah riset dalam bidang interaksi antara manusia dan robot (*Human-Robot interaction*, HRI) untuk mengeksplorasi suatu pendekatan dalam pengendalian robot yang dilakukan secara alami dengan menggunakan bahasa tubuh atau gestur. Diharapkan dari riset HRI berbasis gestur tubuh, dapat dicapai suatu teknik pengendalian yang intuitif sehingga dapat dengan mudah digunakan oleh pengguna yang bahkan tidak atau kurang memiliki pengetahuan tentang robot. Beberapa perangkat yang digunakan dalam riset gestur untuk HRI diulas dalam [2].

Perangkat yang digunakan di antaranya berupa sarung tangan bersensor (*wired gloves*), pakaian khusus yang dilengkapi dengan sensor *Electro Myo Graphy* (EMG), hingga menggunakan sistem komputasi visual yang memanfaatkan kamera. Perangkat yang disebutkan terakhir memiliki keunggulan dari segi harga yang relatif lebih murah dibandingkan dengan perangkat yang lain.

Pengenalan gestur secara visual memanfaatkan kamera PTZ dengan mengkombinasikan beberapa teknik di antaranya deteksi warna, pencocokan bentuk, dan *Dynamic Time Warping* (DTW) dikerjakan dalam [3] untuk mengendalikan gerakan memungut bola dari robot mobil ActivMedia PIONEER -2DX. Gerakan robot berotasi dalam sumbu Y sebesar sudut yaw dikendalikan berdasarkan interpretasi sudut yang terbentuk dari terangkatnya

lengan operator. Terdapat beberapa tipe kamera yang dapat digunakan dalam riset ini. Di antaranya terdapat jenis kamera yang menyediakan kemampuan untuk mengestimasi jarak obyek yang berada di dalam jangkauan tertentu dalam lingkup sudut tangkapan kamera. Kinect, sebuah sensor untuk mesin permainan yang pada empat tahun terakhir ini dimanfaatkan dalam riset terkait HRI berbasis gestur.

Terdapat beberapa capaian yang mendayagunakan Kinect dalam Implementasi gestur untuk pengendalian manipulator berdasarkan teknik *inverse kinematics*, seperti dibahas pada bagian riset pendahulu dalam [4]. Posisi dari *end-effector* suatu robot manipulator ditentukan berdasarkan gestur satu tangan. Sedangkan orientasi diperoleh dari tangan yang lain dengan perangkat bantuan *smartphone* terintegrasi sensor *accelerometer*, atau dengan menginterpretasikan gestur dari tangan tersebut. Dengan demikian, pada umumnya untuk mengendalikan sebuah lengan robot menggunakan gestur secara visual, dibutuhkan dua tangan dan satu atau dua sensor. Riset [4] mengimplementasikan teknik *forward kinematics* dan gestur berbasis citra *skeleton* pada robot manipulator SCORBOT -ER 9Pro dengan kemampuan 5 derajat kebebasan (*Degree Of Freedom*, DOF) sehingga dapat mengendalikan 4 dari 5 sendi. Sendi *base* merepresentasikan sudut putar pada sumbu Y (*yaw*). Sedangkan sendi *shoulder*, *elbow*, dan *wrist*, kombinasi ketiganya menyatakan sudut angguk pada sumbu X (*pitch*).

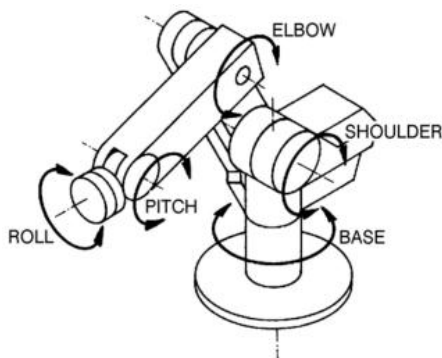
Sendi kelima yang belum dapat dikendalikan dengan gestur berbasis citra *skeleton* ini, membutuhkan kemampuan estimasi terhadap sudut gulung dari pergerakan lengan bawah dari operator. Kemampuan ini digunakan untuk melakukan kontrol terhadap gerak rotasi dari *end-effector* di sumbu Z sebesar sudut gulung (*roll angle*).

Riset [5] meneliti teknik untuk estimasi sudut gulung dengan menerapkan *statistical learning* pada histogram orientasi gradien dari video yang diletakkan pada kendaraan bermotor roda dua. Arah hadap robot mobil dalam [6] dipersepsikan sebagai sudut putar di sumbu Y (*yaw*) berdasarkan kemunculan *vanishing point* dalam bidang horizontal. Orientasi robot mobil sebagai hasil gerak rotasi terhadap sumbu Y dalam [7] didekati dengan pelacakan pasangan fitur visual dengan RANSAC. Sudut gulung robot mobil diperoleh dari ekstraksi *local direction detector* yang dihitung menggunakan teknik statistik dan dinyatakan dalam arah gravitasi dan horizon diteliti dalam [8]. Penelitian mengenai estimasi sudut gulung dengan menerapkan algoritma citra gradien pada garis horizon yang terbaca kamera diteliti dalam [9] untuk meningkatkan kemampuan pengendalian suatu *Automatic Aerial Vehicle* (AAV).

Riset ini memiliki kontribusi untuk merepresentasikan pengendalian pada sendi kelima dari SCORBOT -ER 9 Pro 5 DOF menggunakan gestur tangan secara visual dengan melakukan interpretasi terhadap perubahan yang terjadi pada posisi fitur-fitur citra. Aliran data video dari kamera web digunakan sebagai masukan pada proses estimasi sudut gulung sedemikian hingga dapat dihasilkan luaran berupa kemampuan pengendalian gerakan menggulung (*roll*) dari *end-effector*.

2 Metode Penelitian

SCORBOT -ER 9 Pro terdiri dari lima sendi, yaitu *Base*, *Shoulder*, *Elbow*, *Pitch*, dan *Roll* seperti ditampilkan pada Gambar 1.



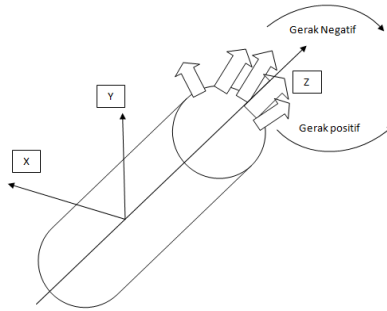
Gambar 1 Sendi dalam SCORBOT -ER 9 Pro [1]

Masing-masing sendi memiliki spesifikasi jangkauan rotasi sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1. Gerak Yaw berputar di sumbu Y dikerjakan dengan memutar sendi *Base* dengan jangkauan 270° . Kombinasi gerakan dari sendi *Shoulder*, *Elbow*, dan *Wrist Pitch* menghasilkan gerak *Pitch* berputar di sumbu X. Masing-masing dari ketiga sendi ini berturut-turut memiliki jangkauan 145° , 210° , dan 196° . Sendi *Wrist Roll* mampu melakukan gerak *Roll* sehingga dapat berotasi pada sumbu Z lebih dari pada dua kali putaran penuh sehingga mencapai nilai 737° . Pada riset sebelumnya [4] telah dilakukan pemetaan antara robot manipulator pada jenis yang sama dengan sendi yang bersesuaian dari sebuah lengan. Proses pemetaan berhasil mengendalikan empat sendi dan masih kesulitan dalam mengendalikan sendi kelima.

Riset ini mengusulkan suatu pendekatan untuk untuk merotasi sendi kelima dari robot manipulator ini terhadap sumbu Z dengan gestur gerakan menggulung dari lengan bawah. Gambar 2 mengilustrasikan sebuah tangan kanan dengan sumbu Y mengarah tegak lurus ke atas, sumbu X tegak lurus terhadap sumbu Y dalam arah horisontal, sedangkan sumbu Z tegak lurus terhadap dua sumbu yang lain dalam arah keluar dari telapak tangan. Gerakan tangan memutar searah jarum jam terhadap sumbu Z dinyatakan sebagai gerak negatif, sedangkan gerakan tangan memutar berlawanan arah jarum jam terhadap sumbu Z merepresentasikan gerak positif.

Table 1 Spesifikasi jangkauan dari sendi [1]

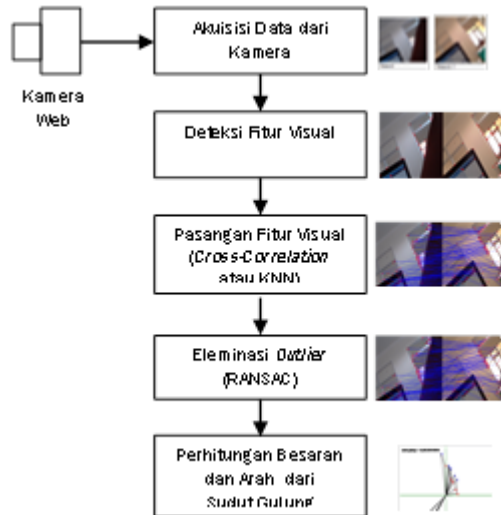
Sendi	Nama Sendi	Rotasi	Jangkauan Rotasi
1	<i>Base</i>	<i>Yaw</i>	270°
2	<i>Shoulder</i>	<i>Pitch</i>	145°
3	<i>Elbow</i>		210°
4	<i>Wrist Pitch</i>		196°
5	<i>Wrist Roll</i>	<i>Roll</i>	737°



Gambar 2 Arah gerak gestur tangan untuk mengendalikan sendi *wrist roll*

Arah gerakan tangan positif atau negatif sebagai gestur untuk menerbitkan perintah sudut gulung untuk memutar *Wrist Roll* didasarkan pada karakteristik dari *plant*. Nilai negatif dari sudut gulung akan merotasi sendi kelima searah jarum jam. Sebaliknya, nilai positif akan menyebabkan sendi berputar berlawanan arah jarum jam. Gestur gerakan pada riset ini dipersepsikan sebagai perintah sudut gulung dengan memanfaatkan sebuah kamera. Lengan pengguna dilengkapi dengan sebuah kamera web sedemikian hingga jika pengguna menggerakkan tangan maka kamera menangkap citra dan mempersepsikannya sebagai suatu perintah sudut gulung.

Formula untuk menghitung besaran sudut gulung didasarkan pada transformasi dari fitur visual pada bidang citra. Deteksi fitur menggunakan algoritma Harris atau SURF dimanfaatkan untuk mendapatkan fitur-fitur visual. Fitur visual dari dua buah citra dibandingkan untuk memperoleh sudut gulung. Fitur visual pada citra awal dibandingkan dengan fitur visual pada citra berikutnya. Kedua pasang fitur visual dipasangkan dengan algoritma *cross correlation* atau dengan *K-Nearest Neighbor* (KNN). Terdapat banyak pasangan fitur visual yang jumlahnya diperkecil dengan menggunakan RANSAC. Pasangan titik dalam jumlah lebih kecil ini yang dihitung transformasinya menggunakan hukum cosinus dalam Trigonometri. Urutan langkah dalam proses estimasi sudut gulung yang terdiri dari deteksi fitur visual, penentuan pasangan fitur visual yang bersesuaian, eliminasi data *outlier* dari pasangan fitur, dan perhitungan besaran dan arah sudut gulung disajikan pada diagram blok dalam Gambar 3.



Gambar 3 Diagram blok proses persepsi gestur untuk estimasi sudut gulung

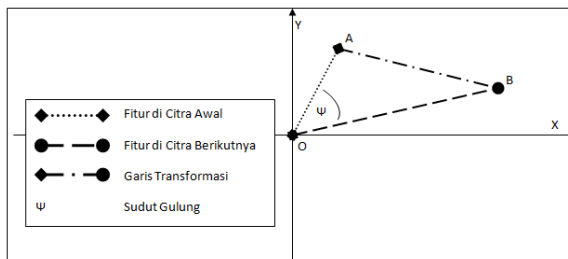
Urutan proses deteksi fitur visual, pemasangan fitur visual yang bersesuaian, dan eliminasi *outlier* menghasilkan pasangan titik fitur dalam jumlah terbatas yang diperoleh dari sepasang citra. Citra awal merepresentasikan gestur dalam posisi bersiap. Citra berikutnya mewakili kondisi saat gestur sudut gulung telah diperagakan.

Jika diketahui titik fitur visual pada citra awal, titik fitur visual pada citra berikutnya, dan titik pusat origin dari sumbu koordinat Cartesius di tengah layar maka dapat dihitung sudut gulung terhadap sumbu Z. Sudut gulung ini diapit dengan dua buah garis dan berada di hadapan sebuah garis lain. Dua buah garis yang mengapit sudut ini yaitu garis yang menghubungkan titik origin dan titik fitur visual di citra awal; dan garis yang menghubungkan titik origin dan titik fitur visual di citra berikutnya. Garis yang berada di hadapan sudut gulung ini merupakan garis yang menghubungkan titik fitur visual di citra awal dan titik fitur visual di citra berikutnya. Dengan bermodalakan tiga garis ini, sudut gulung dapat dihitung dengan memanfaatkan hukum Cosinus.

Gambar 4 menampilkan ilustrasi penerapan Trigonometri dalam perhitungan sudut gulung. Titik A merupakan simbol titik fitur visual pada citra awal. Titik B menyatakan titik fitur visual pada citra berikutnya. Titik pusat origin koordinat Cartesius dilambangkan dengan O.

Panjang ruas garis OA, OB, dan AB dapat dihitung berdasarkan pasangan titik fitur visual A dan B relatif terhadap O. Panjang ruas garis ini dihitung menggunakan persamaan (1) yang dikenal dengan formula *Euclidean Distance*.

Setelah panjang setiap ruas garis dalam segitiga OAB diketahui, besaran sudut gulung ψ dapat ditentukan dengan menggunakan hukum Cosinus seperti ditampilkan pada persamaan (2).



Gambar 4 Perhitungan sudut gulung dengan penerapan trigonometri

$$OA^2 = (xO - xA)^2 + (yO - yA)^2$$

$$OB^2 = (xO - xB)^2 + (yO - yB)^2 \tag{1}$$

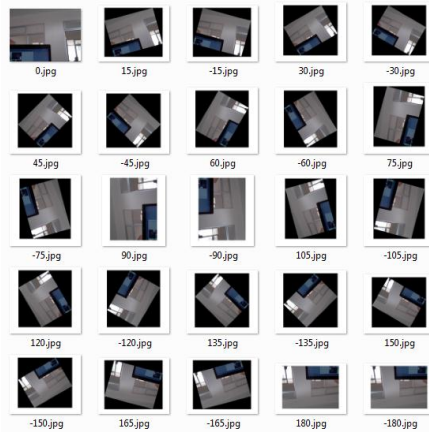
$$AB^2 = (xA - xB)^2 + (yA - yB)^2$$

$$\psi = \arccos [(OA^2 + OB^2 - AB^2) / 2 * OA * OB] \tag{2}$$

3 Hasil dan Pembahasan

Disediakan 25 citra dalam format jpg untuk menguji algoritma estimasi sudut gulung dengan menerapkan persamaan (1) seperti ditampilkan pada Gambar 5. Citra dalam posisi netral diwakili dengan file 0.jpg yang menyatakan sumbu vertikal kamera berada pada posisi tegak lurus terhadap bidang datar. Selanjutnya, berturut-turut citra dimodifikasi dengan melakukan rotasi terhadap sumbu Z di titik pusat citra sejauh 15° searah jarum jam dan berlawanan arah jarum jam.

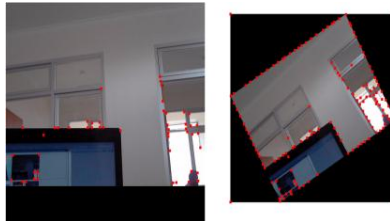
Tahap pertama dari proses estimasi sudut gulung diawali dengan melakukan akuisisi data. Dua buah citra disusun berdampingan sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 6. Citra Awal merepresentasikan citra yang dibaca dari kamera pada suatu saat tertentu. Citra Berikutnya menggambarkan citra yang tertangkap kamera setelah gestur diperagakan. Dalam contoh ini, citra Berikutnya merupakan hasil rotasi 30° dari citra Awal. Deteksi fitur visual diterapkan pada kedua citra sehingga diperoleh sejumlah fitur yang dinyatakan dengan titik-titik merah seperti diperlihatkan pada Gambar 7.



Gambar 5 Citra dalam proses uji algoritma estimasi sudut gulung



Gambar 6 Citra awal (kiri) dan citra berikutnya (kanan) disusun berdampingan



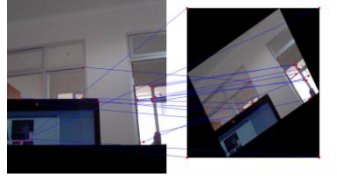
Gambar 7 Deteksi fitur visual pada citra dengan Harris

Algoritma *Cross-Correlation* diterapkan pada dua citra untuk memasangkan fitur-fitur visual yang bersesuaian. Pasangan fitur berupa titik-titik merah dihubungkan dengan garis-garis berwarna biru sebagaimana diilustrasikan pada Gambar 8. Dalam contoh ini, terdapat 17 pasang fitur.

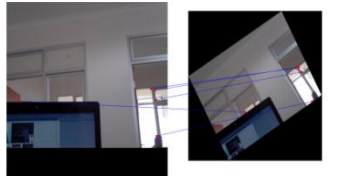
Untuk memperkecil jumlah data dan menghilangkan data yang salah, diterapkan algoritma RANSAC. Data yang salah atau *outlier* dihilangkan dari kumpulan data sedemikian hingga tersisa 5 pasang fitur seperti ditunjukkan pada Gambar 9.

Koordinat dari masing-masing titik fitur visual ditampilkan beserta sumbu koordinat Cartesius seperti ditampilkan pada Gambar 10. Sumbu koordinat digambarkan berupa garis berwarna hijau.

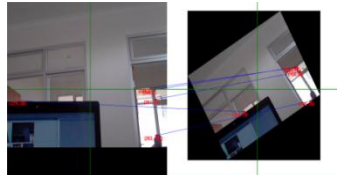
Seluruh titik fitur visual yang bersesuaian dari dua citra dikumpulkan dan digambarkan ke dalam suatu bidang dua dimensi yang dilengkapi dengan sumbu koordinat Cartesius seperti diilustrasikan pada Gambar 11.



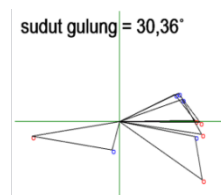
Gambar 8 Pemasangan fitur visual yang bersesuaian pada dua citra dengan *Cross-Correlation*



Gambar 9 Penghilangan *outlier* dengan RANSAC



Gambar 10 Menampilkan sumbu cartesius dan koordinat dari setiap pasang titik fitur visual



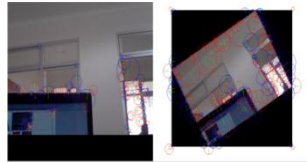
Gambar 11 Perhitungan Sudut Gulung Menggunakan Hukum Cosinus.

Setiap pasang fitur yang saling terhubung dengan titik pusat origin menghasilkan sebuah segitiga. Setiap segitiga dapat dihitung panjang sisi-sisinya berdasarkan koordinat titik-titik penyusunnya dengan menggunakan Persamaan (1). Setelah setiap sisi dari segitiga diketahui panjangnya, sudut gulung dapat dihitung dengan menerapkan Persamaan (2). Estimasi sudut gulung dinyatakan sebagai rata-rata dari jumlahan setiap sudut gulung yang ada di dalam setiap segitiga. Estimasi sudut gulung menghasilkan nilai 30.36° untuk pasangan citra yang menerapkan Harris dalam deteksi fiturnya dan *Cross-Correlation* dalam tahap pemasangan titik fitur yang bersesuaian.

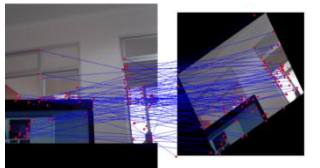
Berbeda dengan hasil yang ditunjukkan algoritma Harris, deteksi fitur visual yang mengimplementasikan algoritma SURF menghasilkan lebih banyak titik fitur seperti ditunjukkan pada Gambar 12. Jumlah pasangan fitur yang diperoleh dengan penerapan algoritma K-NN jauh melebihi dari luaran *Cross-Correlation* sebagaimana ditampilkan pada Gambar 13. Eliminasi *outlier* dilengkapi dengan visualisasi koordinat menyisakan 12 pasangan fitur seperti ditunjukkan pada Gambar 14. Dari pasangan fitur yang sudah bersih

dari *outlier*, dapat disusun 12 segitiga seperti diperlihatkan pada Gambar 15. Rata-rata dari jumlahan sudut gulung dari setiap segitiga, dengan menggunakan SURF untuk deteksi fitur dan K-NN untuk pemasangan fitur, menghasilkan estimasi sudut gulung sebesar 30.05° .

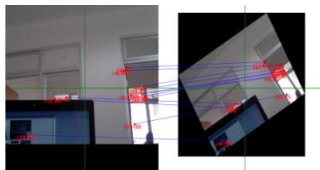
Pengujian terhadap algoritma estimasi sudut gulung dilakukan terhadap 25 data citra seperti ditampilkan pada Gambar 5.



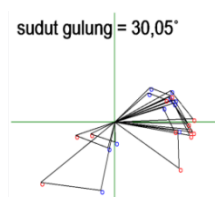
Gambar 12 Implementasi SURF untuk deteksi fitur



Gambar 13 Penerapan K-NN untuk pemasangan fitur



Gambar 14 Eleminasi *outlier* dan visualisasi koordinat



Gambar 15 Estimasi sudut gulung

Citra tanpa rotasi atau 0° diatur sebagai citra awal. Sedangkan 24 citra yang lain diposisikan sebagai citra berikutnya. Hasil estimasi sudut gulung dari dua pendekatan ini ditampilkan dalam Tabel 2.

Table 2 Perbandingan hasil estimasi sudut gulung antara Harris dan *Cross-Correlation* dengan SURF dan k-NN

Citra Awal	Citra Berikutnya	Estimasi Sudut Gulung (dalam °)			
		Harris, <i>Cross-Correlation</i>		SURF, K-NN	
		Ψ	<i>Error</i>	Ψ	<i>Error</i>
0	15	38.41	23.41	34.39	19.39
0	30	30.36	0.36	30.05	0.05
0	45	46.81	1.81	45.17	0.17
0	60	58.62	1.38	59.37	0.63
0	75	75.18	0.18	74.97	0.03
0	90	90.49	0.49	89.42	0.58
0	105	104.10	0.9	104.61	0.39
0	120	119.27	0.73	120.79	0.79
0	135	133.28	1.72	135.34	0.34
0	150	148.80	1.2	150.09	0.09
0	165	152.71	12.29	144.95	20.05
0	180	171.60	8.4	168.60	11.4
0	-15	46.94	31.94	38.77	23.77
0	-30	29.76	0.24	30.10	0.1
0	-45	47.64	2.64	43.79	1.21
0	-60	59.30	0.7	60.26	0.26
0	-75	74.26	0.74	75.01	0.01
0	-90	89.67	0.33	90.39	0.39
0	-105	85.04	19.96	105.24	0.24
0	-120	121.27	1.27	120.19	0.19
0	-135	134.38	0.62	134.70	0.3
0	-150	152.65	2.65	150.18	0.18
0	-165	160.15	4.85	159.75	5.25
0	-180	171.60	8.4	168.50	11.5
Rata-rata <i>Error</i>		5.30		4.05	

Secara umum, rata-rata *error* dari kombinasi SURF dan K-NN lebih kecil 1.25 dari pada kombinasi Harris dan *Cross-Correlation*. Kedua pendekatan ini memiliki keterbatasan dalam jangkauan sudut yang bisa diestimasi. Sudut yang lebih kecil dari pada 30° atau sudut yang lebih besar dari pada 150° tidak dapat diestimasi dengan baik. Hal ini dapat dijelaskan berdasarkan sifat suatu segitiga dengan total jumlah sudut 180°, persamaan (2)

tidak dapat menghasilkan nilai sudut gulung yang benar ketika suatu rotasi mendekati 0° atau mendekati 180° . Implementasi dari persamaan (1) dan persamaan (2) dalam estimasi sudut gulung ini hanya dapat menghasilkan besaran sudut namun tidak dapat menyajikan arah putaran. Sehingga pada saat aplikasi diujicobakan pada robot manipulator SCORBOT -ER 9Pro, sendi *Wrist Roll* hanya dapat bergerak berlawanan arah jarum jam sebagai manifestasi dari perintah gerakan berupa sudut gulung yang bernilai positif. Gambar 16 menampilkan sendi *Wrist Roll* yang bergerak berdasarkan gestur gerakan tangan yang menggulung sebesar 30° .



Gambar 16 *Wrist roll* berotasi 30° mengikuti gestur

4 Kesimpulan

Suatu pendekatan untuk mengendalikan gerakan sendi *Wrist Roll* dari SCORBOT -ER 9 Pro secara alamiah dan intuitif diusulkan dalam riset ini dengan menggunakan gestur berupa gerakan tangan menggulung. Estimasi sudut gulung diimplementasikan dengan melakukan persepsi terhadap perubahan tata letak dari fitur-fitur visual pada citra yang terbaca dari aliran data video. Cara kerja dari gestur ini dengan memanfaatkan gerakan lengan pengguna yang dilengkapi sebuah kamera web. Sistem menangkap perubahan dari lingkungan sebagai akibat gerakan tangan. Perubahan visual diubah sebagai informasi rotasi dari titik fitur dengan menggunakan algoritma estimasi sudut gulung. Besaran sudut ini dikirim ke server yang terhubung dengan robot SCORBOT -ER 9 Pro sebagai perintah untuk mengendalikan gerakan menggulung dari *end-effector*. Algoritma estimasi sudut gulung ini mampu bekerja pada jangkauan sudut antara 30° hingga 150° . Riset selanjutnya diarahkan untuk meneliti estimasi pada jangkauan sudut yang lebih luas dan dilengkapi dengan kemampuan untuk mendeteksi arah gerakan gestur.

5 Ucapan Terima Kasih

Terima kasih diucapkan kepada Lab. Sistem Otomasi & Robotika, Lab. *Robotics and Intelligent Systems*, Lab. *Multimedia Computing* atas fasilitas aktuator, sensor serta lokasi percobaan sehingga riset ini dapat dilaksanakan.

6 Daftar Pustaka

- [1] Scorbot ER 9Pro User Manual, Intelitek Inc., 2008
- [2] M. Fuad, "Pengembangan Deteksi Gestur Tangan Berbasis Citra Depth Menggunakan Pencocokan Fitur," Seminar Nasional Ilmu Komputer (SEMINASIK). Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta, Indonesia. pp. 114-149, 18 Oktober 2014.
- [3] K. Qian, C. Hu, "Visually Gesture Recognition for an Interactive Robot Grasping Application," in *International Journal of Multimedia & Ubiquitous Engineering*, vol. 8, no. 3, May 2013, pp. 189-196.
- [4] M. Fuad, "Skeleton Based Gesture to Control Manipulator," *International Conference on Advanced Mechatronics, Intelligent Manufacture, and Industrial Automation*

- (ICAMIMIA). Insitut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya, Indonesia. 16 Oktober 2015.
- [5] M. Schliping, J. Schepanek, and J. Salmen, "Video-Based Roll Angle Estimation for Two-Wheeled Vehicles" in Proceedings of the IEEE Intelligent Vehicles Symposium, 2011, pp. 876–881.
 - [6] M. Fuad, "Estimasi Arah Hadap Robot Menggunakan Kamera RGB-D untuk Navigasi dalam Koridor," Seminar Nasional Sistem & Teknologi Informasi (SNASTI), 2012, pp. ICCS 1 - 6.
 - [7] M. Fuad, "Visual Odometry Menggunakan Sensor Kinect," Seminar Nasional Teknologi Informasi dan Multimedia (SNASTIA), 2013, pp. B 23 - 31.
 - [8] X. Liu, Z. Chao, and C. Zhou, K. Ai, M. Tan, "A Universal Vision-Based Roll Angle Estimation Method for Mobile Robots" in the IEEE 9th Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA), 2014, pp. 468–472.
 - [9] F. Gavilan, M.R. Arahal, C. Ierardi, "Image Debluring in Roll Angle Estimation for Vision Enhanced AAV Control," International Federation of Automatic Control Conference, 2015, pp. 31 - 36.