

KENDALI LENGAN ROBOT MANIPULATOR MENGGUNAKAN KAMERA *STEREO*

M. Ary Alfianto¹, Budi Sugandi^{1*}, dan Handri Toar¹

¹Politeknik Negeri Batam, Batam, Indonesia

*Email: budi_sugandi@polibatam.ac.id

Abstrak—Robot Manipulator banyak digunakan dalam berbagai proses, salah satunya dibidang kedokteran. Dokter menggunakan alat bantu berupa robot manipulator sebagai alat mentranslasikan pergerakan tangan untuk melakukan pembedahan. Pada aplikasi lain, pergerakan robot manipulator menggunakan *joystick* dan membutuhkan kemampuan untuk mengontrol pergerakan robot. Berdasarkan pemaparan tersebut, penulis membuat sistem kendali robot manipulator menggunakan pergerakan tangan. Sistem kendali yang menghubungkan robot manipulator dengan kamera *stereo* menggunakan koneksi TCP IP. Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu metode *offline* dan *online*. Metode *offline* yaitu hasil data yang diterima dari kamera *stereo* akan ditampilkan visual robot manipulator pada PC. Sedangkan metode *online*, data yang di terima dari input akan di kirim ke PC server menggunakan komunikasi TCP IP untuk mengendalikan robot manipulator. Simpulan dari hasil penelitian ini adalah robot manipulator dapat bergerak sesuai dengan pergerakan tangan secara *offline* maupun *online*. Kecepatan pergerakan robot manipulator mendekati kecepatan pergerakan tangan ketika kecepatan internal dari robot manipulator maksimal.

Kata kunci: kontrol robot manipulator, kamera *stereo*, *online*, *offline*, simulasi

I. PENDAHULUAN

ROBOT adalah salah satu sarana yang dapat membantu tugas atau kerja manusia. Robot telah banyak digunakan dalam berbagai sektor seperti sektor rumah tangga, perkantoran, industri, pertambangan, hiburan, hingga dunia kesehatan. Robot sebagai mesin yang dapat diprogram sesuai keinginan, telah mampu meringankan pekerjaan manusia. Bahkan pekerjaan yang paling rumitpun dapat digantikan oleh peran

robot. Sehingga banyak masyarakat yang mengatakan bahwa robot adalah perangkat cerdas.

Robot sebagai alat yang cerdas, digunakan hampir disemua sektor rumah sakit. Rumah sakit di dalam maupun di luar negeri. Berkat kemampuan robot, peran para dokter telah banyak dibantu dalam menangani pasien seperti mendeteksi penyakit, melakukan operasi berat maupun ringan, dan lain sebagainya. Tindakan medis yang dulu dikerjakan secara manual, saat ini telah dapat dilakukan secara digital dengan resiko yang semakin kecil.

Salah satu Robot yang banyak digunakan di rumah sakit adalah robot manipulator. Manipulator adalah lengan yang mampu membuat robot bergerak untuk memutar, melipat, atau menjangkau objek. Gerakan ini disebut derajat kebebasan robot atau jumlah sumbu yang ada pada robot. Manipulator terdiri dari beberapa segmen dan sambungan (*joint*). Robot manipulator banyak digunakan dalam proses operasi. Saat posisi pasien berjauhan dari dokter, dokter membutuhkan alat bantu berupa robot manipulator sebagai alat mentranslasikan pergerakan tangan untuk melakukan pembedahan. Komunikasi antara robot manipulator dengan *input* kontrol menggunakan TCP/IP. Komunikasi menggunakan TCP/IP memungkinkan *user* dapat berada diberbagai tempat selagi terkoneksi dengan internet.

Sensor yang populer saat ini yaitu kamera *stereo*. Kamera *stereo* digunakan untuk meringankan kerja komputer. *Image processing* dilakukan dalam *system embedded* yang sudah tersedia dalam perangkat kamera *stereo*. Beberapa produk yang sudah mengaplikasikan *image processing* dalam *system embedded* antara lain Leap Motion, Intel Kinect, Intel Realsense dan Orbbec Astra. Kamera *Stereo* selain mengeluarkan *raw data* (berupa data RGB), juga mampu mengeluarkan data hasil *image processing*. Sehingga *user* dimudahkan memanipulasi citra hasil kamera tersebut dan proses data tidak membutuhkan *resource* komputer yang besar.

Di masa depan, teknologi ini akan dapat digunakan pada *mini PC* maupun android yang tidak memerlukan *resource* komputer yang besar. *Output* hasil dari kamera *stereo* yang akan dimunculkan di PC berupa data koordinat serta visual *gesture* tangan *user*. Berdasarkan paparan tersebut, penulis ingin merealisasikan pengontrolan robot manipulator dengan

kamera *stereo* dan merancang sebuah sistem kendali yang terstruktur dengan menggunakan komunikasi TCP/IP.

II. DASAR TEORI

A. Tracking Gerak Tangan

Tangan manusia adalah sebuah struktur mekanik kompleks yang terdiri atas beberapa segmen tulang, ligamen-ligamen yang menghubungkan antara segmen tulang secara leluasa, otot-otot yang berperan sebagai motor gerak, tendon yang berperan untuk menghubungkan otot dengan tulang, dan kulit serta saraf-saraf halus yang menyelubungi otot dan tulang. Tulang-tulang saling terhubung pada persendian dan tidak berubah ukuran. Otot-otot menghasilkan tenaga penggerak dan menggerakkan sendi-sendi.

Kajian dari penelitian-penelitian tentang estimasi terhadap pose tangan berbasis visi komputer telah dilakukan oleh Erol pada tahun 2007 [1]. Dalam kajian tersebut diuraikan bahwa beberapa kesulitan dalam mendesain sistem untuk melakukan estimasi pose tangan yaitu sebagai berikut:

1. Masalah dimensi yang tinggi

Tangan manusia adalah sebuah obyek artikulasi yang memiliki lebih dari 20 DOF (*Degree of Freedom*). Karena ada interdependensi diantara ruas-ruas jari ketika bergerak, maka derajat kebebasan tangan pada kenyataan tidak sampai 20 DOF. Sehingga banyak parameter yang harus dicari.

2. Self-occlusion

Tangan merupakan obyek artikulasi maka proyeksi terhadap pose tangan menghasilkan beragam bentuk dengan banyak oklusi oleh bagian-bagian tangan itu sendiri. Hal ini membuat proses segmentasi diantara bagian-bagian dan ekstraksi fitur-fitur level tinggi menjadi sulit dilakukan.

3. Kecepatan pemrosesan

Sistem visi komputer *realtime* harus memproses data yang besar meskipun digunakan pada sekuen tunggal. Sehingga aplikasi sistem membutuhkan tenaga komputasi yang besar pula, seperti menggunakan *hardware* khusus dan pemrosesan paralel.

4. Lingkungan yang tidak terkendali

Sistem IMK banyak digunakan di lingkungan dengan beragam keadaan latar belakang (*background*) dan kondisi pencahayaan. Hal ini masih menjadi tantangan di bidang visi komputer.

5. Kecepatan pergerakan tangan

Tangan sanggup melakukan gerakan dengan sangat cepat. Kecepatan gerakan tangan dapat mencapai 5 meter/detik untuk gerakan tipe translasi, dan 300°/detik untuk gerakan tipe orientasi. Saat ini kamera hanya sanggup mendukung frekuensi *frame* 30-60 Hz. Selain itu banyak algoritma *tracking* visi komputer kesulitan memproses kecepatan

tracking 30 Hz. Kombinasi antara kecepatan gerakan tangan yang tinggi dan *sampling rate* yang rendah menghasilkan algoritma *tracking* yang lebih sulit [2].

B. Robot Manipulator

Sebuah robot industri terdiri dari manipulator robot, *power supply*, dan pengendali. Robot Manipulator terdiri dari beberapa sendi yang dihubungkan. Pergelangan digunakan untuk mengarahkan posisi benda di lokasi kerja. Robot manipulator diciptakan dari urutan *link* dan kombinasi bersama. *Link* adalah anggota kaku yang menghubungkan sendi. Sumbu adalah komponen bergerak dari robot manipulator yang menyebabkan gerakan relatif antara *link* sebelah. Sendi mekanis digunakan untuk membangun lengan manipulator robot. Sendi mekanis terdiri dari lima jenis utama yaitu dua dari sendi yang linear dan tiga jenis rotari. Dua dari sendi linier adalah gerakan relatif antara *link* yang berdekatan atau disebut dengan non-rotasi. Sedangkan tiga jenis rotari yaitu gerakan relatif yang melibatkan rotasi antara *link* [3].

Beberapa bagian lengan robot manipulator berdasarkan salah satu dari empat konfigurasi, masing-masing anatomi ini menghasilkan fungsi kerja yang berbeda dan cocok untuk berbagai aplikasi, yaitu sebagai berikut:

1. Gantry

Robot ini memiliki sendi linear dan dipasang di atas kepala. Gantry juga disebut robot Cartesian dan bujur sangkar.

2. Silinder

Robot anatomi silinder dibuat dari sendi linear yang terhubung ke basis *rotary joint*.

3. Polar

Basis bersama pada robot polar memungkinkan untuk memutar. Sedangkan sendi adalah kombinasi dari jenis rotari dan linear. Ruang kerja yang dibuat oleh konfigurasi ini adalah bulat.

4. Bersendi

Arm paling populer di konfigurasi robot industri. Lengan terhubung dengan sendi memutar dan *link* di dalamnya terhubung dengan sendi putar.

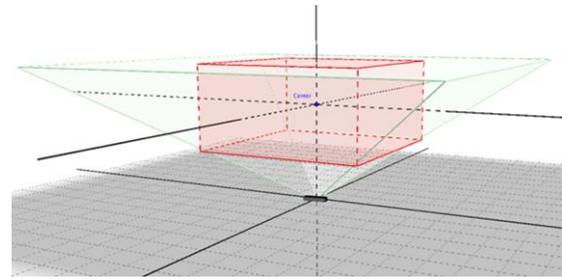
Dari masing-masing fungsi tersebut, robot manipulator hanya menggunakan fungsi silinder, polar dan bersendi. Robot manipulator ditunjukkan pada Gambar 1.

C. Leap Motion Controller

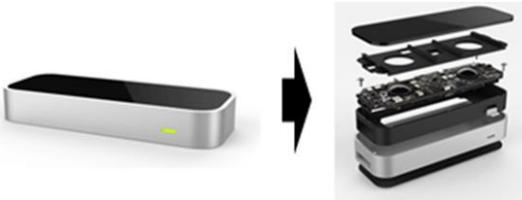
Pirani kamera *Stereo* yang digunakan pada sistem ini adalah *Leap Motion*. *Leap Motion* seperti yang terlihat pada Gambar 2 adalah perangkat yang terdiri dari dua kamera dan tiga LED inframerah. Perangkat ini memiliki lensa sudut yang cukup lebar sehingga area interaksi yang dimiliki juga besar. Sebelumnya, berbagai tampilan *Leap Motion Controller* terbatas sekitar 2 kaki (60 cm) di atas perangkat. Dengan *software* Orion *beta* mampu diperluas menjadi 2,6 kaki (80 cm).



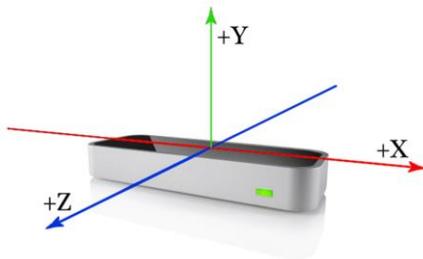
Gambar 1. Robot Manipulator Denso RC7.



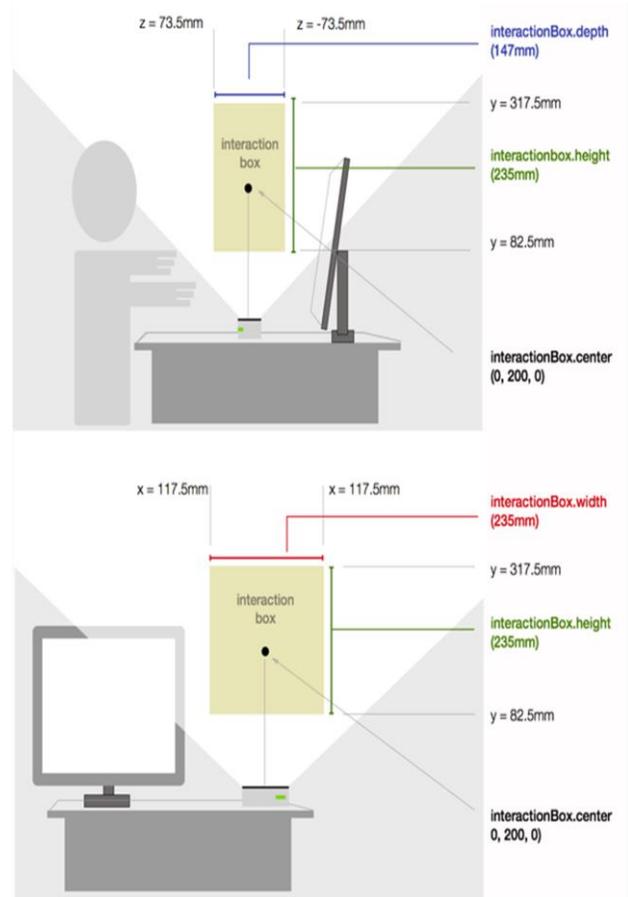
Gambar 4. Area *Interaction Box* pada *Leap Motion*



Gambar 2. *Leap Motion*



Gambar 3. Koordinat *Leap Motion*.



Gambar 5. *Size Interaction Box*

Leap Motion Controller yang menghasilkan koordinat dalam satuan millimeter di dalam kerangka *Leap Motion* seperti Gambar 3. Posisi ujung jari dijadikan sebagai $(x, y, z) = [100, 100, -100]$, atau $x = +10\text{cm}$, $y = 10\text{cm}$, $z = -10\text{cm}$. *Leap Motion* dapat mendeteksi telapak tangan maupun jari, sedangkan dalam penelitian ini pendeteksiaan jari hanya digunakan pada *grap action*. *Grap action* berfungsi sebagai program perintah *emergency stop* untuk menonaktifkan program.

Interaction Box (Gambar 4) merupakan area bujur sangkar dalam *Leap Motion*. *Interaction Box* adalah area yang apabila tangan pengguna atau jari tetap berada dalam kotak ini maka koordinat tangan masih akan terdeteksi.

Ukuran dari *Interaction Box* (Gambar 5) ditentukan oleh bidang *Leap Motion* dan pengaturan ketinggian interaksi pengguna (pada panel kontrol *Leap Motion*). *Software* pengontrol menyesuaikan ukuran kotak berdasarkan tinggi untuk menjaga bagian bawah sudut. Jika pengguna mengatur interaksi ketinggian yang lebih tinggi maka kotak menjadi lebih besar. Pengguna dapat mengatur ketinggian interaksi berdasarkan tinggi pengguna [4].

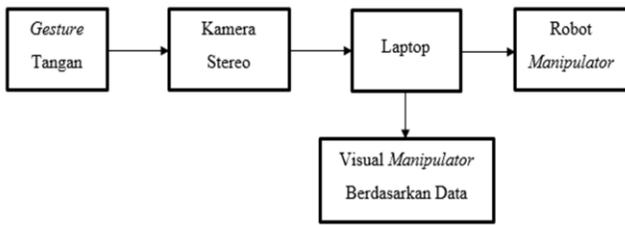
Beberapa kelas API (*Application Program Interface*) *Leap Motion* antara lain:

1. Kelas *Leap Controller*

Kelas *Controller* merupakan antarmuka utama pada *Leap Motion Controller*, membuat sebuah *instance* dari kelas *Controller* untuk mengakses *frame* data pelacakan dan informasi konfigurasi. *Data frame* dapat dipakai kapan saja dengan menggunakan fungsi *Controller: frame()*. Pemanggilan *frame()* atau *frame(0)* untuk mendapatkan *frame* terbaru. Sebuah *Controller* menyediakan sampai 60 *frame* dalam *history frame*.

2. Kelas *Leap Vektor*

Vektor merupakan matematika tiga komponen/ titik seperti arah atau posisi dalam ruang tiga dimensi. Perangkat lunak *Leap Motion* mengadopsi sistem koordinat kartesian



Gambar 6. Diagram Blok

tangan kanan. Nilai yang diberikan dalam satuan millimeter. Titik pusat berasal dari titik tengah alat *Leap Motion Controller*. Sumbu X dan Z terletak pada bidang horizontal. Sumbu X berjalan sejajar dengan sisi panjang alat. Sumbu Y terletak pada bidang *vertical*, dengan nilai positif ke arah atas dari alat. Sumbu Z memiliki nilai positif dengan gerakan tangan mengarah ke user atau menjauh dari layar komputer. Sumbu Z merupakan kedalaman data dari pergerakan tangan pengguna ke sensor *Leap Motion*.

III. PERANCANGAN SISTEM

A. Rancangan Sistem

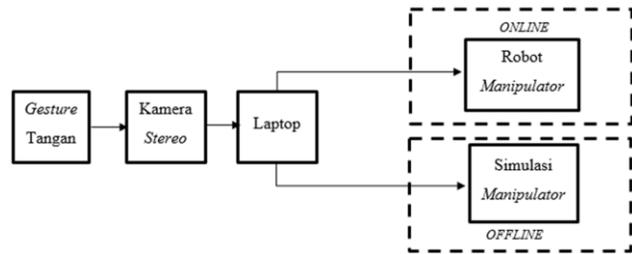
Pada penelitian ini akan dibuat sistem kendali manipulator dengan diagram blok seperti pada Gambar 6. Seperti yang terlihat pada diagram blok, *Gesture* tangan di baca oleh kamera stereo. Kemudian didapatkan data dari kamera stereo, lalu secara *offline* akan menampilkan visualisasi manipulator berdasarkan data yang didapat dari kamera stereo. Selanjutnya data akan dikirim dengan Ethernet ke robot Manipulator.

B. Perbandingan Sistem Offline dan Online

Sistem *offline* adalah ketika gerakan tangan hanya menampilkan simulasi tanpa menggerakkan robot manipulator, sedangkan sistem *online* yaitu Gerakan tangan dapat menggerakkan aktuator sehingga dibutuhkannya media koneksi berupa ethernet. Berdasarkan penggunaan sistem kontrol secara *offline* dan hasil perbandingan berdasarkan dari kedua *output*, maka dapat didesain sistem seperti terlihat pada Gambar 7.

C. Gambaran Proses Pengujian

Proses pengujian penelitian ini diawali dengan pembacaan *gesture* tangan oleh kamera *stereo*. Kemudian data dikirim ke laptop untuk diolah, sehingga dapat menampilkan visual dari *gesture* tangan yang dideteksi. Data yang diterima dari kamera *stereo* akan dikirimkan ke robot manipulator menggunakan program C#, data yang terkirim berikutnya menggerakkan robot manipulator *sesuai gesture* tangan. Proses pengujian dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 7. Diagram Blok Sistem Kontrol Offline dan Online



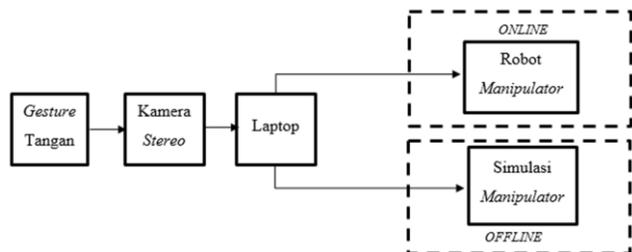
Gambar 8. Proses Pengujian

IV. HASIL DAN ANALISIS

A. Pengambilan Data

Pengambilan data dari kamera *stereo*, diambil hanya dengan menggunakan tangan kanan dan dimulai pada titik pusat *interaction Box* yaitu *centre* (0, 200, 0). Kamera *stereo* menggunakan pengaturan *default*, sehingga tidak memerlukan proses kalibrasi jika terjadi perubahan sudut berupa gerakan *Pitch*, *Yaw* dan *Roll*. Data diambil sebanyak tiga kali yaitu *pitch* 1, *pitch* 2 dan *pitch* 3. Kemudian ketiga data tersebut akan dihitung nilai rata-rata agar akurasi alat lebih baik. Hasil pengambilan data kamera *stereo* dapat dilihat pada Tabel I.

Tabel I menjelaskan bahwa data yang dihasilkan oleh kamera *stereo* adalah berupa data dengan satuan derajat. Hasil *error* didapat dari selisih antara data *average* atau rata-rata *pitch* 1,2 dan 3 terhadap sudut. Data yang terbaca mengalami sedikit perubahan disetiap pembacaan nilai. Grafik perbandingan data kamera *stereo* dapat dilihat pada Gambar 9. Berdasarkan Gambar grafik dapat dijelaskan bahwa perbedaan setiap pembacaan nilai *pitch* tidak terlalu besar, sehingga tidak berdampak besar pada aktuator.



Gambar 7. Diagram Blok Sistem Kontrol Offline dan Online

TABEL I
DATA KAMERA STEREO (PITCH)

Sudut	Pitch 1	Pitch 2	Pitch 3	Average	Error
90°	70°	77°	72°	73°	17°
80°	69°	72°	69°	70°	10°
70°	65°	60°	58°	61°	9°
60°	49°	50°	45°	48°	12°
50°	41°	43°	42°	42°	8°
40°	24°	28°	25°	25,67°	14,33°
30°	9°	26°	26°	20,33°	9,67°
20°	10°	13°	25°	16°	4°
10°	-2°	10°	15°	7,67°	2,33°
0°	-3°	0°	5°	0,67°	0,67°
-10°	-15°	-12°	-8°	-11,67°	1,67°
-20°	-22°	-17°	-16°	-18,33°	1,67°
-30°	-33°	-15°	-19°	-22,33°	7,67°
-40°	-39°	-28°	-23°	-30°	10°
-50°	-47°	-46°	-38°	-43,67°	6,33°
-60°	-53°	-65°	-52°	-56,67°	3,33°
-70°	-60°	-69°	-60°	-63°	7°
-80°	-72°	-81°	-70°	-74,33°	5,67°
-90°	-82°	-75°	-89°	-82°	8°
Average Error					7,28°

TABEL II
PERBANDINGAN DATA YAW PADA KAMERA STEREO DAN ROBOT MANIPULATOR

Sudut Tangan	Data Kamera Stereo (x)	Data Robot Manipulator (y)	Rumus
0°	-90°	90°	$y = -x$
90°	0°	0°	
180°	90°	-90°	

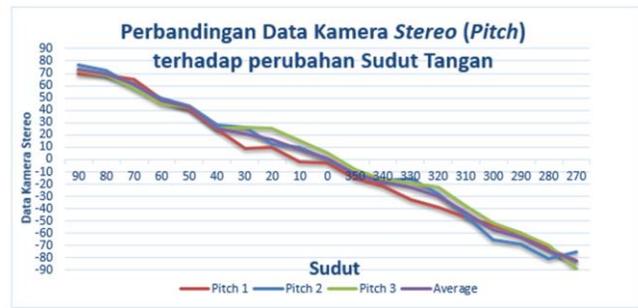
TABEL III
PERBANDINGAN DATA PITCH PADA KAMERA STEREO DAN ROBOT MANIPULATOR

Sudut Tangan	Data Kamera Stereo (x)	Data Robot Manipulator (y)	Rumus
0°	90°	63°	$y = -0.0913x + 83$
90°	0°	83°	
180°	72°	100°	

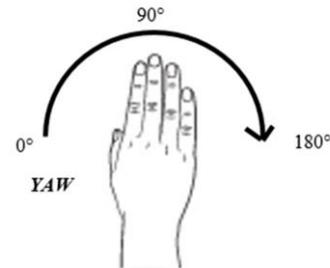
B. Perbandingan Data Kamera Stereo dan Data Robot Manipulator

Data yang dihasilkan oleh kamera stereo tidak dapat langsung digunakan oleh robot manipulator. Sehingga dibutuhkan pengambilan data pada kamera stereo dan robot manipulator untuk dihitung nilai fungsi. Perbandingan data yaw pada kamera stereo dan robot manipulator dapat dilihat pada Tabel II. Sudut tangan yaw dapat dilihat pada Gambar 10. Data kamera stereo dibaca ketika posisi tangan membentuk sudut yaw 0°, 90° dan 180° seperti pada Gambar 10. Data yang terbaca akan dimasukkan ke sebuah fungsi yang didapat dari rumus regresi linier dan menghasilkan data robot manipulator yang sesuai.

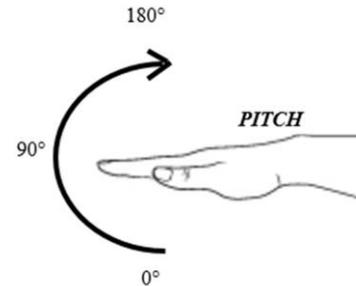
Data kamera stereo dibaca ketika posisi tangan membentuk sudut pitch 0°, 90° dan 180° seperti pada Gambar 11. Data yang terbaca akan dimasukkan ke sebuah fungsi yang didapat dari rumus regresi linier dan menghasilkan data robot manipulator yang sesuai. Sudut tangan pitch dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 9. Grafik Data Kamera Stereo



Gambar 10. Sudut Tangan Yaw



Gambar 11. Sudut Tangan Pitch

TABEL IV
DATA GERAK YAW ROBOT BERDASARKAN KECEPATANNYA

Yaw	Kecepatan (%)									
	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10
10°	0,28	0,36	0,55	0,64	0,68	0,73	0,78	0,94	1,23	2,06
30°	0,44	0,54	0,74	0,8	0,97	0,99	1,04	1,49	1,73	3,97
50°	0,6	0,75	0,85	0,9	1,05	1,13	1,31	1,84	2,77	4,08
70°	0,65	0,89	1,02	1,09	1,2	1,35	1,63	2,05	2,97	6,66
90°	0,69	1,08	1,12	1,36	1,45	1,52	1,88	2,42	3,44	7,45

C. Perbandingan Data Kecepatan Manipulator Terhadap Pergerakan Sudut Yaw

Manipulator tidak bergerak secara realtime dengan gerakan tangan karena kecepatan motor pada manipulator yang bervariasi. Data kecepatan gerakan robot per detik dapat dilihat pada Tabel IV.

Data pada Tabel IV menunjukkan kecepatan internal dari robot manipulator. Pada saat kecepatan 100%, manipulator mendekati kecepatan pergerakan tangan. Sedangkan hasil data dengan kecepatan 10% membuat robot mengalami *delay* mencapai 7.45 *second* untuk menuju sudut 90°.

V. KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini antara lain sebagai berikut:

1. Robot *manipulator* dapat dikontrol menggunakan kamera *stereo* yang dikomunikasikan menggunakan *LAN* atau *wireless*.
2. Pergerakan pada robot *manipulator* akan mendekati kecepatan *gesture* tangan apa bila kecepatan internal robot manipulator bekerja maksimal.
3. Rumus regresi dapat mengkonversi hasil pembacaan kamera *stereo* menjadi data untuk menggerakkan robot *manipulator*.

REFERENSI

- [1] Erol, A. et al., "Vision-based hand pose estimation: A review," *Computer Vision and Image Understanding*, vol. 108, no. 1, pp. 52–73, 2007.
- [2] Mahtarami, A., and Hariadi, M., "Tracking Gerak Tangan Berbasis Pyramidal Lucas-Kanade", *digilib.its.ac.id*, 2009.
- [3] RobotWorx, "Industrial Robot", <https://www.robots.co>. [Aug 2017]
- [4] Leap Motion Developer, "Leap Motion Coordinate Mapping" <https://developer.leapmotion.com>. [Aug 2017]