

# Kontrol Lengan Robot yang Meniru Pergerakan Tangan untuk Inspeksi Objek yang Mengandung Gas Berbahaya

Wahyu Satrio Prayogo, Muhammad Rivai, Fajar Budiman  
Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)  
E-mail: muhammad\_rivai@ee.its.ac.id

**Abstrak**—Beberapa tahun terakhir ini banyak sekali teror bom yang ada di Indonesia, hal tersebut menyebabkan ketidaknyamanan orang dalam melakukan aktifitas sehari-hari di tempat umum. Untuk itu pada penelitian ini telah dibuat suatu lengan robot yang dapat dikendalikan berdasarkan pergerakan lengan manusia secara *wireless*. Pergerakan lengan dideteksi oleh sensor IMU MPU6050. Sensor ini dapat mendeteksi perubahan posisi pada sumbu x, y dan z, sehingga lengan robot dapat bergerak sesuai dengan perubahan posisi dari lengan operator. Pergerakan *gripper* dideteksi oleh sensor flex yang diletakkan pada jari operator, sehingga dari pergerakan jari dapat mengontrol pergerakan gripper yang ada pada lengan robot. Posisi lengan robot dikendalikan menggunakan kontrol Proporsional. Alat ini dilengkapi dengan sensor gas MQ2 yang digunakan sebagai sensor gas berbahaya. Mikrokontroler Arduino Uno digunakan mengakuisisi data sensor gas, menggerakkan motor servo dan sistem pengendali. Sedangkan mikrokontroler Arduino Nano digunakan untuk mengakuisisi data sensor IMU dan Flex. Dari hasil eksperimen menunjukkan bahwa nilai kesalahan posisi pada lengan robot untuk sumbu *pitch* dan *yaw* masing – masing sebesar 4% dan 0,2%. Jarak maksimal modul Bluetooth dalam mengirimkan data adalah 5 meter tanpa terhalang apapun. Hasil dari rancang bangun lengan robot ini diharapkan dapat membantu pekerjaan manusia dan juga memperkecil resiko terluka akibat bahan peledak atau gas yang membahayakan manusia.

**Kata Kunci**—Lengan Robot, Mikrokontroler Arduino, Sensor IMU, Sensor Gas.

## I. PENDAHULUAN

BEBERAPA tahun terakhir dunia mengalami krisis dalam keamanan dan kenyamanan dalam beraktifitas di ruang publik. Hal tersebut dapat terjadi dikarenakan ada beberapa ulah kelompok tertentu yang memberikan teror berupa bom atau barang berbahaya lainnya yang diletakkan pada suatu tas yang mencurigakan, kemudian diletakkan tempat-tempat umum yang ramai dengan aktifitas manusia. Sudah banyak peristiwa yang telah terjadi yang dampaknya sangat merugikan, dari kerugian materil hingga hilangnya nyawa manusia karena terkena ledakan bom tersebut. Terdapat 6 peristiwa teror yang besar telah terjadi di Indonesia. Yang pertama yaitu bom Bali 1 yang terjadi pada tahun 2002 yaitu rentetan tiga peristiwa pengeboman terus-menerus yang terjadi pada malam hari tanggal 12 Oktober 2002. Kedua yaitu peristiwa ledakan bom JW Marriott pada tanggal 5 Agustus 2003 di kawasan Mega kuningan Jakarta.

Selama ini proses inspeksi barang berbahaya yang dilakukan oleh pihak berwajib hanya dengan menggunakan anjing atau dengan mengecek barang tersebut secara langsung. Proses penginspeksian tersebut akan menimbulkan

resiko yang teramat besar bagi petugas maupun anjing yang digunakan untuk menginspeksi barang yang dicurigai. Sebagai contoh peristiwa yang telah menelan korban akibat bom buku pada tahun 2011 di Utan kayu Jakarta Timur.

Dari banyaknya peristiwa teror diatas maka pada penelitian ini dibuatlah sebuah *prototype* lengan robot yang dapat menginspeksi barang mencurigakan yang terdapat pada tempat umum. Robot ini akan bergerak sesuai dengan pergerakan lengan manusia yang dilengkapi dengan sensor gas yang dapat memberikan informasi adanya gas berbahaya.

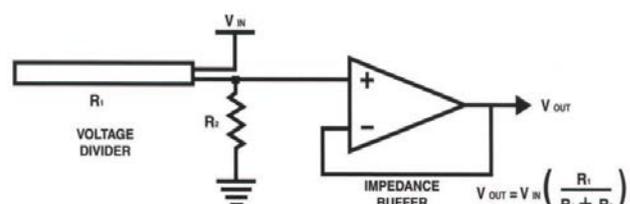
## II. TEORI PENUNJANG

### A. Sensor IMU MPU 6050

MPU 6050 merupakan sensor 3 axis gyroscope dan 3 axis accelero, ditunjukkan pada Gambar 1. Sensor gyroscope menggunakan prinsip dasar MEMS (micro electro mechanical system). Ketika gyroscope bergerak maka akan menghasilkan tegangan output, sedangkan saat gyroscope diam maka tegangan akan konstan. Ketika gyroscope berputar searah jarum jam terhadap sumbu Z maka tegangan output berkurang (-Z), dan ketika gyroscope berputar berlawanan arah jarum jam maka tegangan output bertambah (+ Z).

Accelerometer merupakan sebuah sensor yang menghitung percepatan atau perubahan kecepatan. Accelerometer mengukur percepatan relative terhadap frame yang popular disebut G-force. Pada saat accelero diam yang searah dengan percepatan gravitasi, maka akan bernilai 1g dan ketika accelero mendeteksi adanya sebuah percepatan maka g-force akan berubah.

Sensor MPU 6050 memiliki tegangan suplay 3,3V. Sensor ini dapat mengirimkan data dari accelero dan gyroscope dengan menggunakan komunikasi I2C SDA dan SCL. Untuk mengakses data dari MPU 6050 ini maka perlu dilakukannya pengaturan pada pengambilan data melalui I2C. Untuk mendapatkan data gyro dan accelero dari MPU6050 maka harus mengatur pin SDA SCL. Pertama pin SDA dan SCL diset HGH kemudian dengan mengakses alamat dari gyro dan accelero.



Gambar 1. Rangkaian dasar sensor flex.

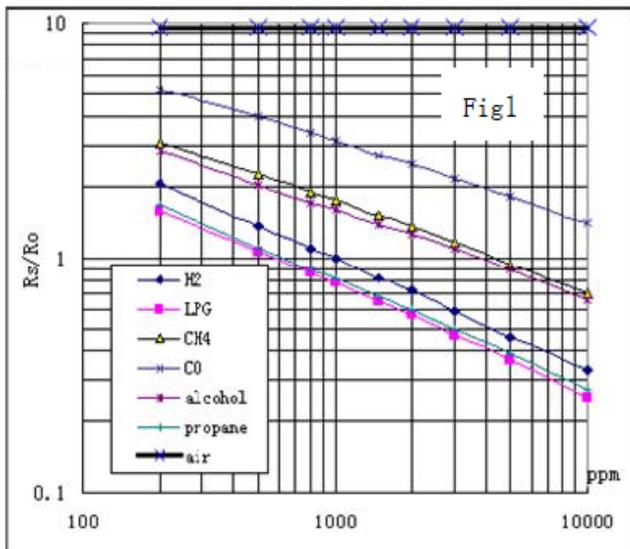
**B. Sensor Flex**

Sensor flex merupakan sebuah sensor fleksibel yang memiliki panjang 4,5 inch. Sensor flex menghasilkan suatu resistansi apabila ditekuk. Nilai resistansi dari sensor ini berubah seiring besarnya nilai sudut yang dibentuk[1]. Pada Gambar 1 menunjukkan rangkaian dasar dari sensor flex. Tegangan *output* dari sensor dapat dirumuskan seperti pada persamaan 1.

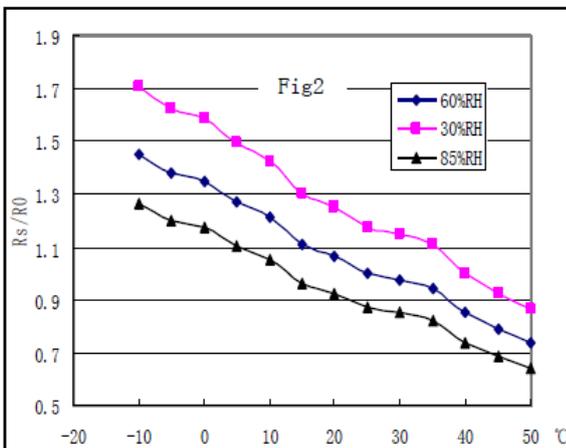
$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times V_{in} \tag{1}$$

**C. Sensor gas MQ-2**

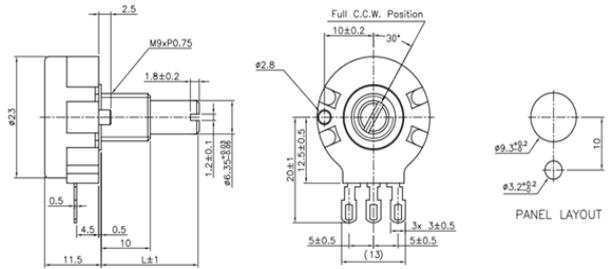
MQ-2 adalah sensor semikonduktor untuk gas yang mudah terbakar. Bahan sensitif dari sensor gas MQ-2 adalah SnO<sub>2</sub> yang mempunyai konduktivitas rendah di udara bersih. Ketika terdapat target gas yang mudah terbakar, maka konduktivitas sensor lebih tinggi seiring dengan meningkatnya konsentrasi gas. Sensor gas MQ-2 memiliki kepekaan yang tinggi terhadap LPG, Propana dan Hidrogen. Pada Gambar 2 menunjukkan karakteristik sensitivitas khas (Rs/Ro), absis adalah konsentrasi gas. Rs adalah resistensi sensor untuk gas yang berbeda, Ro adalah resistensi sensor dalam 1000ppm Hidrogen. Semua tes berada dalam kondisi uji standar. Pada Gambar 3 menunjukkan karakteristik suhu dan kelembaban yang khas untuk sensor ini[2].



Gambar 2. Karakteristik sensitivitas sensor MQ-2.



Gambar 3. Karakteristik suhu dan kelembaban sensor MQ-2.



Gambar 4. Dimensi potensiometer.

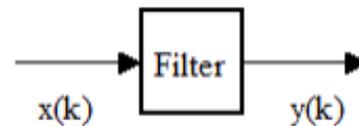
**D. Sensor Posisi Potensiometer**

Potensiometer adalah resistor tiga terminal dengan sambungan geser yang membentuk pembagi tegangan yang dapat diatur. Jika hanya dua terminal yang digunakan (salah satu terminal tetap dan terminal geser), maka potensiometer berperan sebagai resistor variabel atau Rheostat. Potensiometer biasanya digunakan untuk mengendalikan piranti elektronik seperti pengendali suara pada penguat. Potensiometer dapat dioperasikan sebagai transduser. Dimensi dari suatu potensio dapat dilihat pada Gambar 4. Output potensiometer ini berupa resistansi yang linier sehingga dapat digunakan untuk mengukur perubahan posisi dari perubahan resistansi. Output dari potensiometer dapat ditunjukkan pada persamaan 2.

$$V_{out} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \times V_{in} \tag{2}$$

**E. Metode Exponential Filter**

Filter eksponensial adalah filter yang melewatkan frekuensi rendah dan meredam frekuensi tinggi. Metode ini hanya memiliki satu parameter metode pengaturan. Metode ini membutuhkan penyimpanan hanya satu variabel keluaran sebelumnya. Diagram blok dari filter exponential dapat dilihat pada Gambar 5. Persamaan filter eksponensial dinyatakan pada persamaan 3.



Gambar 5. Diagram blok exponential filter

$$Y(k) = a * Y(k - 1) + (1 - a) * x(k) \tag{3}$$

dimana X(k) data pembacaan sensor tiap satuan waktu, Y(k) output dari filter tiap satuan waktu, A adalah konstanta antara 0 sampai 1, normalnya antara 0.8 dan 0.99, (a-1) atau a terkadang dikenali dengan istilah “smoothing constant”[3], [4].

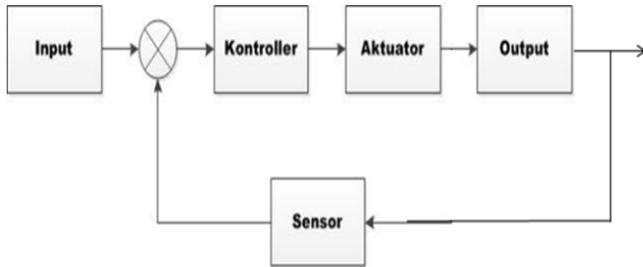
**F. Sistem Kontrol Closed Loop**

Sistem kontrol terbagi dua, yaitu sistem kontrol *open loop* dan kontrol *closed loop*. Sistem kontrol *closed loop* identik dengan sistem kontrol umpan balik dimana nilai dari keluaran akan ikut mempengaruhi pada aksi kontrolnya[3], [5]. Gambar 6 menunjukkan hubungan masukan dan keluaran dari sistem kontrol ini. Sistem *closed loop* ini digunakan untuk mengatur posisi dari motor servo yang ada pada lengan robot. Sehingga dengan menggunakan sistem *closed loop* diharapkan *output* dapat tetap terjaga pada *setpoint* yang diberikan.

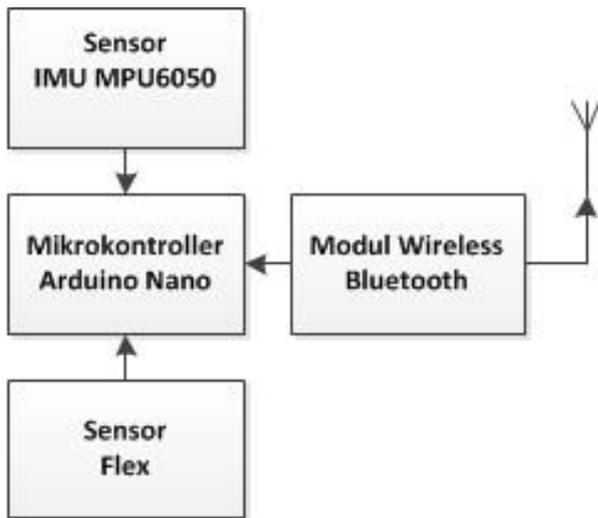
III. PERANCANGAN SISTEM

A. Diagram Blok Fungsional Sistem

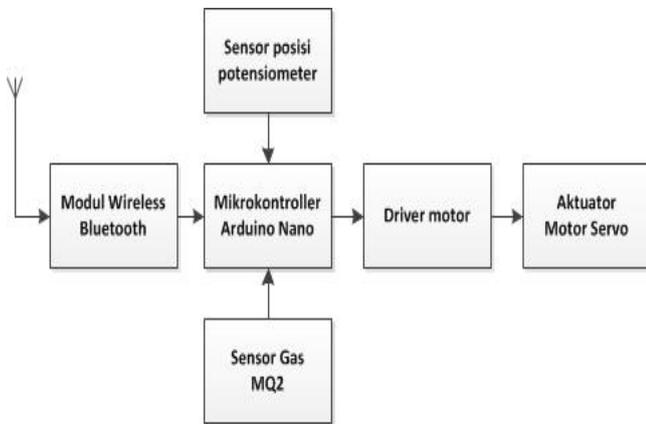
Secara keseluruhan blok fungsional sistem pada sisi operator dan sisi lengan robot dapat dilihat pada Gambar 7 dan 8.



Gambar 1. Diagram kontrol closed loop.



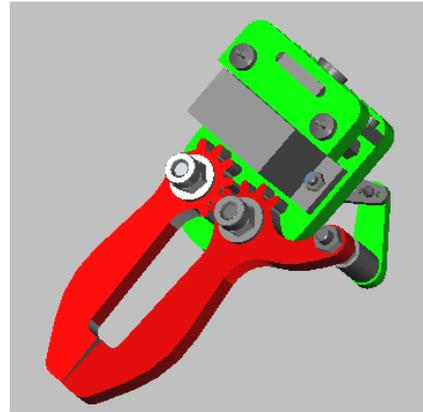
Gambar 7. Diagram blok sistem pada sisi operator.



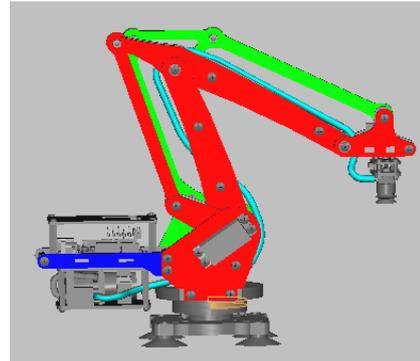
Gambar 8. Diagram blok sistem pada sisi lengan robot.

B. Perancangan Mekanik Gripper dan Lengan Robot

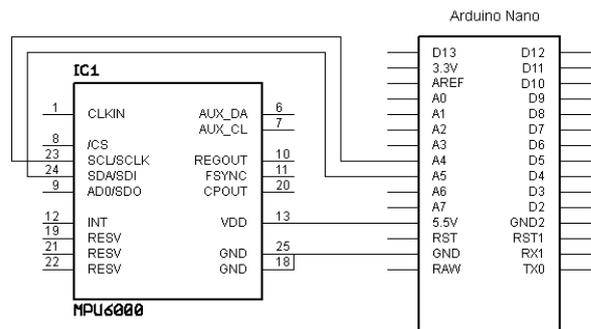
Pada perancangan gripper atau penggenggam ini direncanakan mampu bergerak 1 DOF dengan lebar sudut yang dapat dibuat sebesar 60 derajat. Dimensi dari gripper yaitu 10cm x 3cm x 2,5cm. Desain 3D dari gripper dapat dilihat pada Gambar 9. Pada perancangan lengan robot digunakan bahan berupa akrilik dengan ukuran tebal 4mm. Lengan robot direncanakan mampu bergerak 2 DOF dengan jangkauan lengan maksimal 60cm. Dimensi dari lengan robot yaitu 30cm x 30cm x 45cm. Desain 3D dari lengan robot dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 9. Desain 3D gripper.



Gambar 10. Desain 3D lengan robot.



Gambar 11. Rangkaian sensor MPU6050.

C. Perancangan Rangkaian Sensor MPU6050

Pada perancangan rangkaian sensor MPU6050, pinout dari MPU6050 yang digunakan yaitu pin SDA, SCL, INT, VCC dan GND. Sedangkan pada sisi arduino nano digunakan pin A4 untuk SDA, A5 untuk SCL, D2 untuk INT kemudian VCC dan GND. Perancangan rangkaian MPU6050 dapat dilihat pada Gambar 11[6], [7].

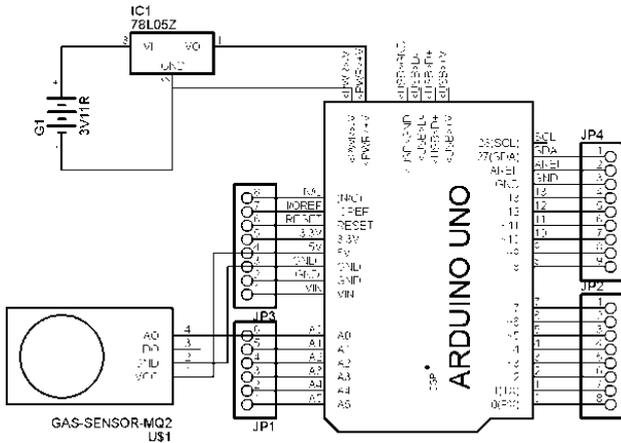
D. Perancangan Rangkaian Sensor Gas MQ-2

Pada sensor gas MQ-2 terdapat 4 macam pin output, diantaranya yaitu pin VCC, GND, D0, dan A0. Untuk pin D0 merupakan output yang bernilai digital, sedangkan A0 merupakan pin output yang bernilai Analog. Rangkaian sensor gas MQ-2 dapat dilihat pada Gambar 12[8], [9].

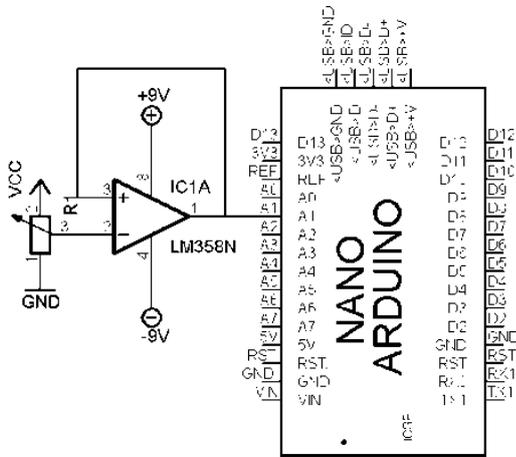
E. Perancangan Rangkaian Sensor Flex

Output dari sensor flex ini berupa resistansi sehingga diperlukan resistor sebagai pembagi tegangan yang dapat dibaca oleh ADC dari arduino nano. Penambahan komponen op-amp digunakan apabila terjadi drop tegangan yang diakibatkan karena terlalu panjang kabel dari sensor menuju mikrokontroler. Op-amp yang digunakan LM358 dengan konfigurasi non-inverting amplifier. Pin yang digunakan

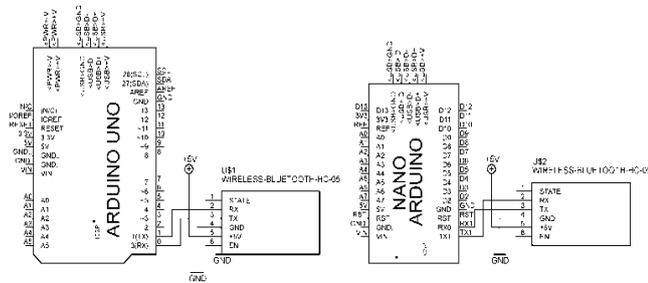
arduino nano untuk membaca nilai ADC yaitu pada pin A1. Rangkaian sensor flex dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 12. Rangkaian sensor gas MQ-2.



Gambar 13. Rangkaian Sensor Flex.



Gambar 14. Rangkaian komunikasi dengan Bluetooth HC-05.

**F. Perancangan Rangkaian Bluetooth HC-05**

Pada penelitian ini menggunakan 2 modul Bluetooth HC-05 yang difungsikan sebagai master dan slave. Pin yang digunakan yaitu Tx, Rx, VCC, dan GND. Konfigurasi pin Tx dan Rx ini dihubungkan secara silang pada pin Arduino. Rangkaian modul komunikasi ini dapat dilihat pada Gambar 14.

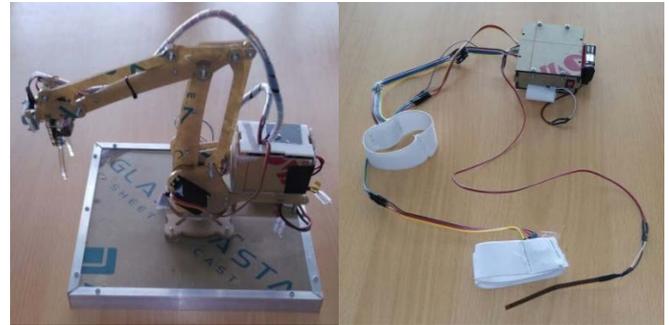
**IV. HASIL PENGUJIAN**

Dari perancangan keseluruhan sistem dapat direalisasikan lengan robot seperti yang di tunjukkan pada Gambar 15. Pengujian diperlukan untuk mengetahui kinerja sistem yang telah dibuat.

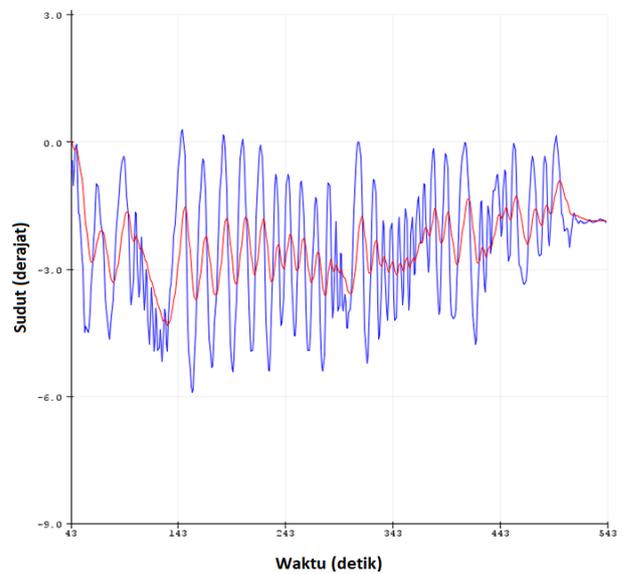
**A. Pengujian Sensor MPU6050**

Gambar 16 menunjukkan perbandingan antara nilai *output* MPU6050 sumbu *yaw* sebelum dan sesudah difilter, dimana

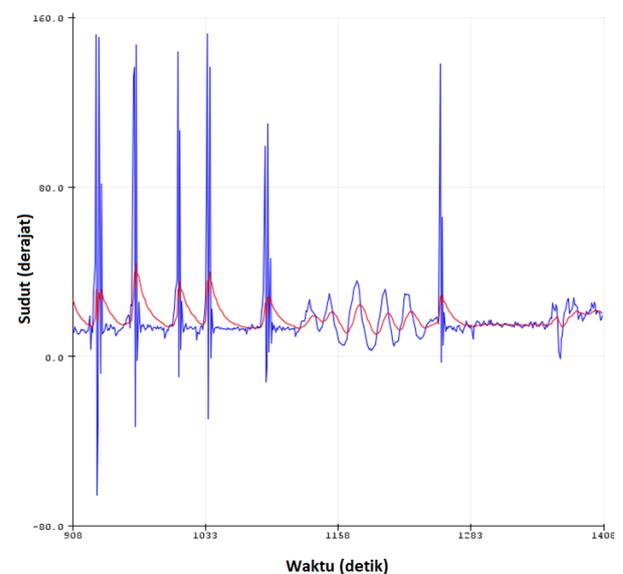
garis biru menunjukkan nilai output sebelum di filter dan garis merah menunjukkan nilai output sesudah di filter. Sedangkan Gambar 17 menunjukkan perbandingan antara nilai output sensor untuk sumbu *pitch*. Setelah proses pemfilteran maka langkah selanjutnya adalah pengujian kesesuaian gerak dari motor servo. Hasil dari pengujian ini dapat dilihat pada Tabel 1.



Gambar 15. Hasil realisasi lengan robot.



Gambar 16. Data yaw sebelum dan sesudah melewati filter.



Gambar 17. Data Pitch sebelum dan sesudah melewati filter.

Tabel 1.  
Penguujian kesesuaian sudut pitch dan yaw

Sudut Input (derajat)	Pitch	Yaw	Error Pitch	Error Yaw
90	88	90	2,2	0
80	79	80	1,2	0
70	68	70	2,8	0
60	57	60	5	0
50	50	55	0	10
40	41	40	2,5	0
30	30	37	0	3,3
20	23	20	15	0
10	11	10	10	0
0	0	0	0	0
-10	-9	-10	10	0
-20	-20	-20	0	0
-30	-30	-32	0	6,6
-40	-38	-40	5	0
-50	-46	-50	8	0
-60	-56	-63	6,6	5
-70	-68	-75	2,8	7,1
-80	-76	-80	5	0
-90	-87	-90	3,3	0
<i>Error Rata-Rata</i>			4,1	0,2

**B. Penguujian Sensor Flex**

Tabel 2 menunjukkan hasil pengukuran sensor *flex*. Dapat dilihat bahwa rentang perubahan nilai ADC yaitu 105. Sedangkan perubahan sudut pada servo berkisar 60 derajat. Untuk mendapatkan konversi sudut maka diskalakan perubahan 105 menjadi 0 sampai 60 derajat.

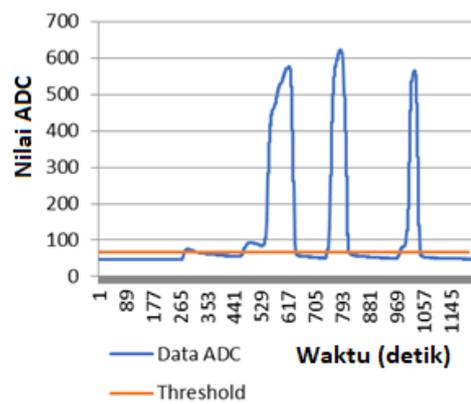
**C. Penguujian Sensor Gas MQ2**

Gas yang digunakan untuk penguujian adalah butana. Proses pengambilan datanya adalah dengan menyemprotkan gas secara perlahan lalu dilihat data ADC yang terbaca pada serial monitor Arduino. Berikut data pengambilan dari sensor gas dapat dilihat pada Gambar 18.

Tabel 2.  
Data penguujian sensor flex.

Sudut (derajat)	ADC	Sudut konversi
0	885	0
10	855	10
20	843	15
30	836	30
40	825	0
50	810	0
60	790	0
70	781	0
80	771	0
90	760	0
100	740	10
110	738	10
120	732	20
130	710	20
140	705	30
150	690	30

Pemilihan nilai *threshold* didasarkan pada tingkat konsentrasi kepekatan suatu gas. Nilai *threshold* diambil saat sensor mulai mendeteksi adanya gas. Pada kondisi udara bersih nilai ADC terbaca 46, namun ketika mulai diberi gas nilainya menjadi 67. Sehingga penentuan *threshold* adalah 67. Penguujian sensor gas untuk indikator *buzzer* dapat dilihat pada Tabel 3.



Gambar 18. Data pembacaan sensor MQ-2.

Tabel 3.  
Data penguujian sensor gas MQ-2.

Tipe gas	ADC	Tegangan	Keterangan (buzzer)
	47	0	Mati
	67	0.33	Nyala
	127	0.62	Nyala
	315	1.54	Nyala
Butana	402	1.96	Nyala
	584	2.85	Nyala
	734	3.59	Nyala
	818	4.00	Nyala
	857	4.19	Nyala

Tabel 4.  
Penguujian pengiriman data Bluetooth.

Jarak (m)	Keterangan
1	Tersambung
2	Tersambung
3	Tersambung
4	Tersambung
5	Tersambung
6	Terputus
7	Terputus
8	Terputus
9	Terputus
10	Terputus

**D. Penguujian Sistem Peringatan Jarak Aman**

Tujuan dari pengukuran dan penguujian jarak adalah mengetahui kemampuan dari modul Bluetooth dalam mengirimkan data. Cara pengambilan data yang digunakan yaitu dengan mengirimkan data untuk menggerakkan lengan robot. Kemudian dari lengan robot dilihat apakah pergerakan sesuai dengan pergerakan lengan operator, ditunjukkan pada Tabel 4.

**V. KESIMPULAN**

Pada penelitian ini telah dihasilkan suatu lengan robot dengan dua derajat kebebasan yang dilengkapi dengan 1 *gripper*. Jangkauan maksimum dari lengan robot adalah 60 cm. Pada lengan robot ini dilengkapi modul Bluetooth HC-05 yang digunakan sebagai transfer data dari operator menuju lengan robot. Jarak maksimal dari pengiriman data menggunakan modul Bluetooth adalah 5 meter. Proses penentuan sudut dari lengan robot ini menggunakan sensor MPU6050 yang diambil datanya pada sumbu *pitch* dan *yaw*. Dari hasil penguujian sensor tersebut didapatkan bahwa sensor mampu mendeteksi perubahan sudut pada sumbu *pitch* dengan *error* rata-rata sebesar 4,17 % sedangkan untuk

sumbu yaw sebesar 0,2 %. Lengan robot ini juga dilengkapi dengan sensor gas dengan tipe MQ-2 yang digunakan untuk mendeteksi adanya suatu gas yang berada disekitar lokasi lengan robot. Sistem akan mendeteksi adanya gas apabila pembacaan sensor gas melebihi nilai ambang tertentu dengan mengaktifkan indikator *buzzer*.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. A. Kusuma, "Tangan robot peniru gerak tangan manusia berbasis mikrokontroler," Universitas Sanata Dharma, 2015.
- [2] H. Avriyantama, M. Rivai, and D. Purwanto, "Pengembangan robot hexapod untuk melacak sumber gas," *J. Tek. ITS*, vol. 4, no. 1, pp. F12–F17, Mar. 2015.
- [3] D. A. R. Kurniawan, M. Rivai, and R. Dikairono, "Sistem navigasi pada balon udara menggunakan GPS dan kontrol logika fuzzy," *J. Tek. ITS*, vol. 5, no. 2, pp. A173–A178, Aug. 2016.
- [4] R. Setiawan, *Teknik Akuisisi Data*. Yogyakarta: Graha Ilmu, 2008.
- [5] F. A. Muhammad, M. Rivai, and S. Suwito, "Perancangan sistem stabilisasi kamera tiga sumbu dengan metode kontrol fuzzy untuk mobile surveillance robot," *J. Tek. ITS*, vol. 5, no. 2, pp. A167–A172, Aug. 2016.
- [6] "MPU-6000 and MPU-6050 Product Specification Revision 3.4 MPU-6000/MPU-6050 Product Specification," 2013.
- [7] A. Saifuddin, S. Sumardi, and D. Darjat, "Perancangan sistem kendali pergerakan arm manipulator berbasis sensor inertial measurement unit (IMU) dan sensor flex," *TRANSIENT*, vol. 6, no. 3, pp. 424–431, Nov. 2017.
- [8] A. N. Gustica, M. Rivai, and T. Tasripan, "Implementasi Sensor Gas pada Kontrol Lengan Robot untuk Mencari Sumber Gas," *J. Tek. ITS*, vol. 3, no. 1, pp. F90–F95, Mar. 2014.
- [9] H. Sutanto, A. D. Haryowati, and Z. Arifin, "Rancang bangun deteksi alkohol pada urine dengan sensor TGS 2620 berbasis mikrokontroler AT89S51," *Berk. Fis.*, vol. 13, no. 3, pp. 97–100, Mar. 2010.