

# Pengembangan Robot Hexapod untuk Melacak Sumber Gas

Hani Avrilyantama, Muhammad Rivai, Djoko Purwanto

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

*e-mail:* djoko@ee.its.ac.id

**Abstrak**— Saat ini untuk mengevaluasi kebocoran pipa gas atau minyak bahan bakar dilakukan oleh manusia. Robot dapat diimplementasikan untuk mengganti tugas manusia dalam hal pencarian lokasi kebocoran gas. Pada penelitian ini telah dirancang dan dibuat suatu robot hexapod yang dapat mendeteksi gas bocor dengan menggunakan garis hitam sebagai garis pemandu. Robot hexapod ini dilengkapi dengan dua buah sensor gas dan tujuh buah sensor pendeteksi garis dalam berjalan dan menemukan kebocoran gas. Metode gerak robot dengan menggunakan *inverse kinematics*. Hasil dari pengujian sistem ini menunjukkan bahwa robot dapat mendeteksi sumber gas dan mengikuti garis hitam dengan tingkat keberhasilan 90%.

**Kata Kunci**—*Inverse kinematics*, Robot hexapod, Sensor gas.

## I. PENDAHULUAN

Masalah kebocoran pipa gas atau minyak bahan bakar adalah sesuatu hal yang tidak mudah dideteksi oleh penglihatan, dan penciuman manusia. Hal ini dapat menjadikan bencana kebakaran akibat dari kebocoran pipa gas yang tidak terdeteksi secara kasat mata. Kebocoran pipa gas banyak terjadi pada perusahaan minyak di Indonesia, baik perusahaan lokal maupun perusahaan asing. Seperti kebocoran pipa gas PT. Pertamina di kampung Batang, Sukasari, Subang, Jawa Barat yang mengakibatkan kebakaran pada pipa gas. Kebakaran ini tidak hanya PT. Pertamina yang mengalami kerugian tetapi pihak warga juga dirugikan karena terdapat dua unit rumah warga yang mengalami kebakaran dan memakan dua korban meninggal dalam peristiwa tersebut [1]. Ledakan lain juga terjadi di Kaoshiung, Taiwan. Pipa gas yang bocor mengakibatkan 25 orang tewas dan 267 luka-luka akibat dari kebocoran gas dan mengakibatkan ledakan besar [2]. Dengan adanya kebocoran gas tersebut tidak secara terus-menerus menggunakan sistem yang masih manual tetapi menciptakan alat yang dapat melacak kebocoran pipa gas.

Sekarang ini perkembangan teknologi yang cukup pesat membutuhkan sesuatu yang inovatif dan inspiratif agar berkembang ke arah yang berguna bagi kehidupan. Teknologi robot berkembang dengan begitu pesatnya. Dunia industri teknologi robot sudah menjadi bagian utama dalam proses industri, dan perkembangan robot

sudah digunakan dalam bidang militer. Dengan menggunakan mobile robot maka posisi kebocoran pipa gas dapat ditemukan secara otomatis. Robot hexapod mampu melakukan pergerakan pada permukaan yang kasar atau permukaan tanah yang tidak rata. Robot ini dilengkapi dengan sensor yang dapat mendeteksi sumber kebocoran pipa gas. Sistem gerak robot ini menggunakan metode *inverse kinematics* dalam melakukan pergerakan kakinya. Pada penelitian ini telah dirancang robot hexapod dalam mendeteksi kebocoran gas dengan menggunakan garis hitam sebagai garis pemandu.

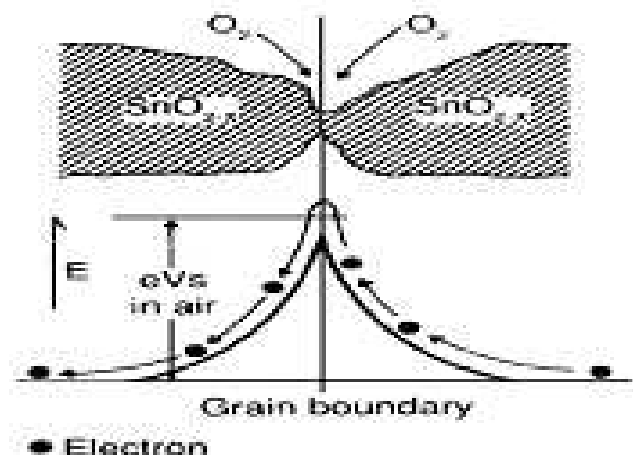
## II. DASAR TEORI

### A. Sensor Gas Semikonduktor

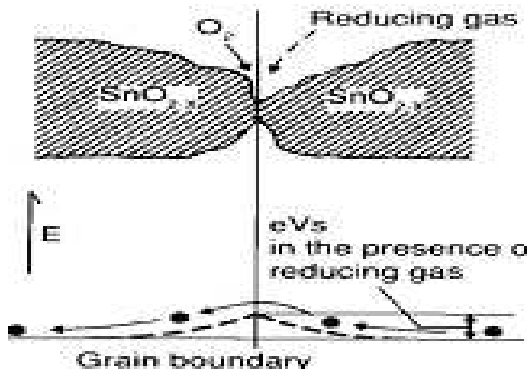
Bahan sensor semikonduktor adalah *metal oxide*  $\text{SnO}_2$ . Sensor gas ini dapat menghasilkan perubahan hambatan listrik sebagai fungsi interaksinya dengan senyawa kimia yang dalam hal ini berupa gas atau uap senyawa organik. Hubungan antara hambatan sensor dengan konsentrasi dari gas dapat dinyatakan dalam persamaan (1),

$$R_s = A[C]^{-\alpha} \quad (1)$$

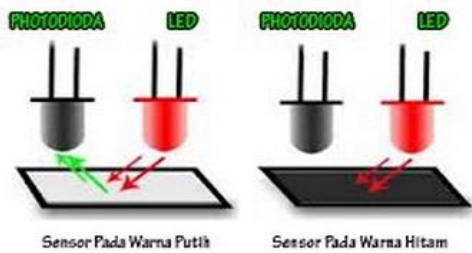
Dimana  $R_s$  = hambatan elektris dari sensor,  $A$  = konstanta,  $[C]$  = konsentrasi gas dan  $\alpha$  = lekuk dari kurva  $R_s$



Gambar 1. Model dari *inter-grain* potensial penghalang pada saat tidak ada gas [3]-[5].



Gambar 2. Model dari *inter-grain* potensial penghalang pada saat ada gas pereduksi [3, 5]



Gambar 3. Karakteristik sensor pendeteksi garis [6]

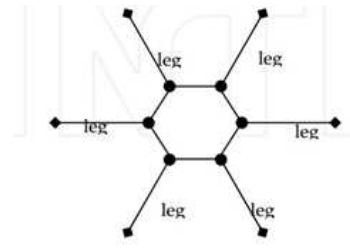
Jenis sensor yang digunakan dalam penelitian ini adalah TGS 2620 yang diproduksi oleh Figaro Inc. Pada gambar 1 menunjukkan keadaan sensor gas ketika tidak mendeteksi adanya gas pereduksi sehingga *inter-grain* potensial menjadi besar dan ketika sensor gas mendeteksi adanya gas maka *inter-grain* potensial menjadi kecil dapat dilihat pada gambar 2. Sensor gas TGS 2620 memiliki sensitifitas yang tinggi terhadap gas etanol, metanol dan pelarut organik lainnya.

**B. Sensor Pendeteksi Garis**

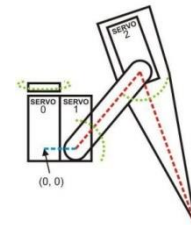
Sensor pendeteksi garis terdiri dari dua buah komponen yaitu LED dan photodioda. LED berfungsi sebagai pemancar cahaya pada sistem sensor pendeteksi garis sedangkan photodioda berfungsi sebagai penerima cahaya. Ketika photodioda disinari cahaya LED mengakibatkan adanya arus saturasi bias terbalik yang besar pada photodioda sedangkan ketika tidak disinari mengakibatkan arus yang kecil. Sistem kerja dari sensor pendeteksi garis dapat dilihat pada gambar 3.

**C. Robot Hexapod**

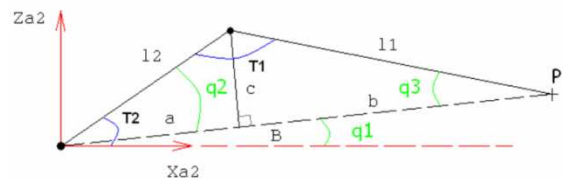
Robot hexapod terdiri dari enam buah kaki dan tiap kaki terdiri dari tiga buah motor servo sehingga jumlah motor servo yang digunakan pada robot hexapod sejumlah delapan belas. Robot hexapod dalam melakukan jalan menggunakan tiga paramater sumbu yaitu sumbu x, y dan z dengan menggunakan metode *inverse kinematics*.



Gambar 4. Design mekanik robot hexapod [7]



Gambar 5. Penentuan sumbu x, y, dan z pada satu kaki robot hexapod [8]



Gambar 6. Perhitungan *inverse kinematics* untuk sudut T2

Gambar 4 merupakan desain robot hexapod dari tampak atas. Tiap kaki robot hexapod terdiri dari tiga motor servo yang dapat dilihat pada gambar 5. Gambar 6 merupakan acuan dengan menggunakan dua sumbu koordinat yaitu sumbu x dan z. Parameter inputan yang digunakan perhitungan *inverse kinematics* adalah l1 dan l2 untuk mendapatkan sudut T1 dan sudut T2. Berikut adalah penurunan rumus dalam mencari sudut T2 :

$$B = a + b \tag{2}$$

$$q1 = \arccos \frac{Xa2}{a} \tag{3}$$

$$a^2 = l2^2 - c^2 \tag{4}$$

$$c^2 = l1^2 - b^2 \tag{5}$$

Dengan menggunakan metode substitusi dari persamaan (4) dan (5) maka

$$a^2 = l2^2 - l1^2 + b^2$$

$$a^2 = l2^2 - l1^2 + (B - a)^2$$

$$a^2 = l_2^2 - l_1^2 + B^2 + a^2 - 2aB$$

Lalu dilakukan pemindahan ruas sehingga di dapatkan,

$$a = \frac{B^2 + l_2^2 - l_1^2}{2B} \tag{6}$$

$$q_2 = \arccos \frac{a}{l_2} \tag{7}$$

$$T_2 = q_1 + q_2 \tag{9}$$

Setelah didapatkan sudut T2 dilakukan penurunan rumus untuk mencari sudut T1 dengan menggunakan teorema cosinus dapat dilihat pada gambar 7. Berikut adalah penurunan rumus dalam mencari T2.

$$\text{Arc Cos } A = \frac{c^2 + b^2 - a^2}{2 * c * b}$$

Dengan mengasumsikan  $c = l_2$ ,  $b = l_1$  dan sudut  $A = T_1$  maka akan menjadi,

$$\text{Arc Cos } T_1 = \frac{l_2^2 + l_1^2 - B^2}{2 * l_1 * l_2} \tag{10}$$

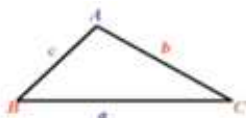
Setelah mendapatkan sudut T1 dan sudut T2 lalu mencari sudut  $\gamma$ . Ilustrasi gambar dapat dilihat pada gambar 8 berikut penurunan rumus untuk mencari sudut  $\gamma$ ,

$$\text{Arc Tan } \gamma = \frac{x}{y} \tag{11}$$

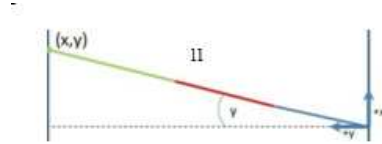
## II. PERANCANGAN SISTEM

### A. Blok Diagram Perancangan Perangkat Keras

Sistem ini terdiri dari beberapa bagian dimana blok diagram ditunjukkan pada gambar 9. Sensor pendeteksi garis dan sensor gas dijadikan sebagai inputan dan diolah oleh mikrokontroller. Mikrokontroller mengirim perintah ke driver motor servo XISC 32 untuk menggerakkan delapan belas motor servo dengan menggunakan metode *inverse kinematics*. Mikrokontroller mengirim data ke XISC 32 dengan menggunakan komunikasi serial yang dilengkapi dengan variabel pengaturan kecepatan data yaitu 2400, 9600, 38400, dan 115200 bps.



Gambar 7. Perhitungan *inverse kinematics* untuk sudut T2

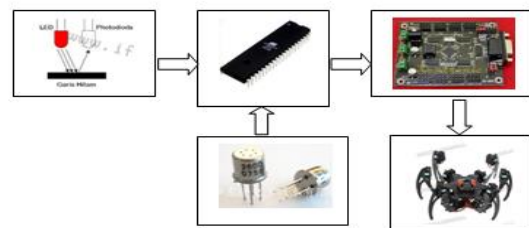


Gambar 8. Ilustrasi dua dimensi untuk mencari sudut  $\gamma$

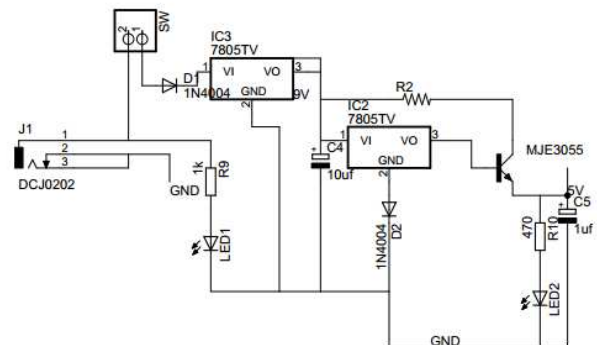
### B. Perancangan Elektrik Robot Hexapod

Dalam perancangan elektrik yang digunakan dalam robot hexapod adalah perancangan catu daya, sensor gas dan sensor deteksi garis. Pada perancangan catu daya 5 volt komponen utama adalah regulator 7805 dan transistor MJE 3055. Regulator 7805 digunakan untuk menurunkan tegangan 12 volt menjadi 5 volt dengan arus yang relatif kecil yaitu 700 mA sehingga rangkaian ditambah transistor yang mampu meningkatkan arus mencapai 6 A. Gambar rangkaian dapat dilihat pada gambar 10.

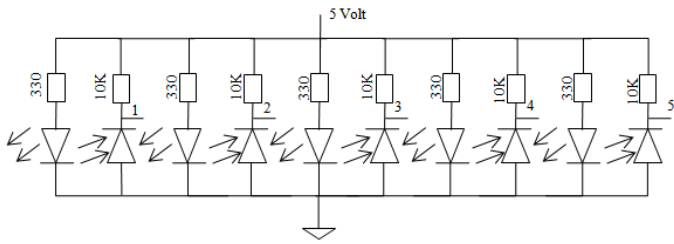
Perancangan sensor pendeteksi garis terdiri dari tujuh buah sensor yang terletak pada sisi depan robot dan pada sisi tengah robot. Sisi depan robot terdiri dari lima buah sensor pendeteksi garis dan dua buah sensor pada sisi tengah robot yang terletak di sebelah kanan dan sebelah kiri. Gambar rangkaian untuk sensor pendeteksi garis depan pada gambar 11 dan untuk sensor garis tengah pada gambar 12.



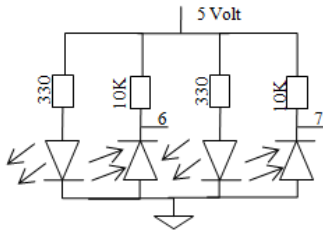
Gambar 9. Diagram blok sistem



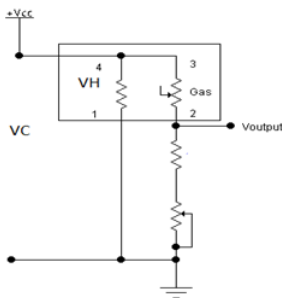
Gambar 10. Perancangan catu daya dengan menggunakan regulator 5 volt dan transistor MJE 3055 [9]



Gambar 11. Lima buah sensor pendeteksi garis pada sisi depan robot

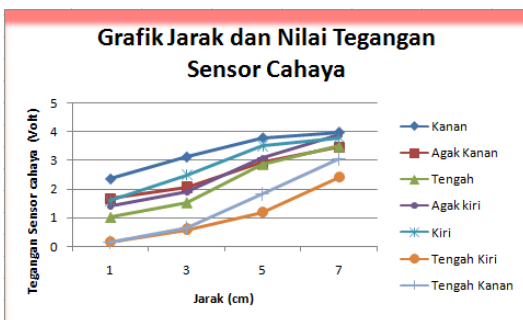


Gambar 12. Perancangan dua buah sensor cahaya

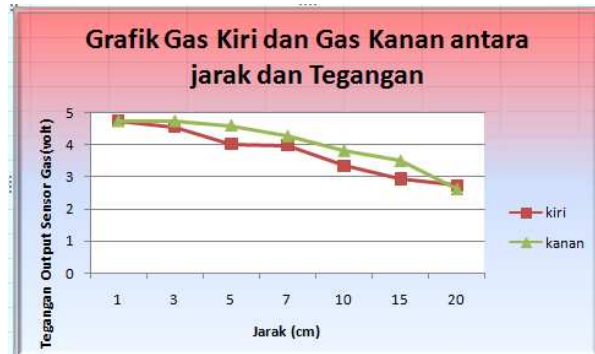


Gambar 13. Rangkaian sensor gas

Pada gambar 13 ditunjukkan sistem perancangan dari sensor gas. Sensor gas yang digunakan memerlukan tegangan sebesar 5 volt untuk pemanas bahan semi konduktor dan digunakan untuk pembagi tegangan terhadap perubahan resistansi bahan sensor. Nilai pembagi tegangan tersebut akan berubah-ubah sesuai dengan kondisi sensor gas dalam pendeteksian gas. Jika sensor gas mendeteksi gas pereduksi maka nilai tegangan output akan besar sedangkan jika tidak mendeteksi gas pereduksi maka nilai tegangan output akan menjadi kecil.



Gambar 14. Grafik tegangan tujuh sensor pendeteksi garis dengan jarak 1, 3, 5, dan 7 cm pada garis putih

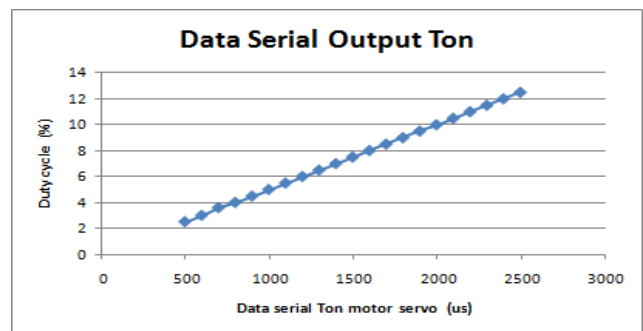


Gambar 15. Pengujian sensor gas terhadap perubahan jarak dari 1 cm sampai dengan 20 cm

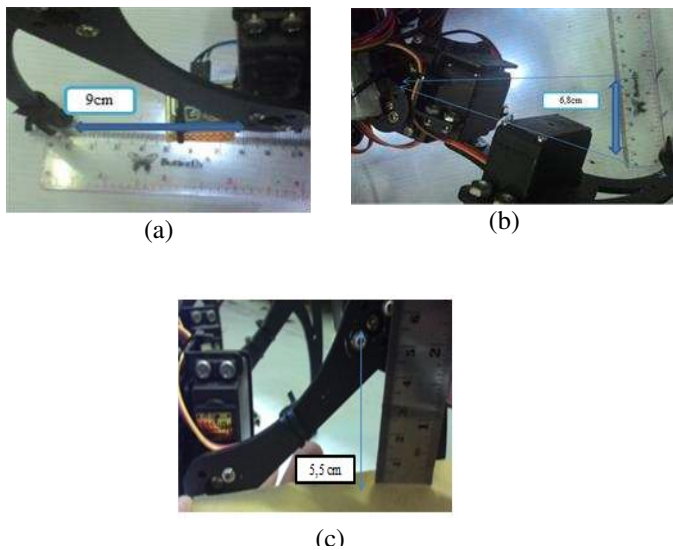
### III. PENGUKURAN DAN ANALISIS SISTEM

Pada pengujian sensor pendeteksi garis dapat dilihat pada gambar 15. Pada gambar tersebut menunjukkan bahwa semakin besar jarak sensor pendeteksi garis maka nilai tegangan sensor pendeteksi garis semakin besar. Setiap sensor pendeteksi garis memiliki karakteristik yang berbeda-beda dalam mendeteksi garis ini dikarenakan posisi dari photodiode dalam menerima cahaya berbeda tetapi semuanya memiliki fungsi yang linier. Semakin jauh maka nilai tegangan output semakin besar.

Pada pengujian dua buah sensor gas memiliki karakteristik yang berbeda dengan sensor pendeteksi garis. Semakin pendek jarak antara sensor dengan sumber gas maka tegangan output semakin besar. Karakteristik dari sensor gas ini dapat dilihat pada gambar 15.



Gambar 16. Pengujian data serial  $T_{on}$  pada servo kontroller



Gambar 17. Pengujian *inverse kinematics* : sumbu x (a) , sumbu y (b) , dan sumbu z (c)

Pada pengujian pulsa servo kontroller dapat dilihat pada gambar 16. Dari grafik tersebut pulsa untuk mengaktifkan servo mulai dari 500-2500 us. Nilai tersebut berbanding lurus dengan nilai dari *duty cycle* .

Pengujian *inverse kinematics* pada sumbu x dapat dilihat pada gambar 17 (a). Pada gambar tersebut menunjukkan bahwa pengukuran dengan menggunakan penggaris bernilai 9 cm sedangkan pada program dimasukkan nilai sebesar 9. Nilai masukan program dapat dilihat pada tabel 1 dengan koordinat kaki X[4]. Faktor kesalahan pengukuran sebenarnya dengan memasukkan nilai pada program untuk kaki X[4] bernilai 0%. Gambar 17 (b) merupakan pengujian *inverse kinematics* pada sumbu y. Pada gambar tersebut dilakukan pengukuran dengan menggunakan penggaris bernilai 6 cm sedangkan pada program dimasukkan nilai sebesar 7. Nilai masukan program dapat dilihat pada tabel 1 dengan koordinat kaki Y[0]. Faktor kesalahan pengukuran sebenarnya dengan memasukkan nilai pada program untuk kaki Y[0] sebesar 2,85 % . Pada gambar 17 (c) merupakan pengujian *Inverse kinematics* pada sumbu z. Pada gambar tersebut ditunjukkan bahwa pengukuran dengan menggunakan penggaris bernilai 5,5 cm sedangkan pada program dimasukkan nilai sebesar 5,5. Nilai masukan program dapat dilihat pada tabel 1 dengan koordinat kaki Z[1]. Faktor kesalahan pengukuran sebenarnya dengan memasukkan nilai pada program untuk kaki [1] sebesar 0%. Pada tabel 1 merupakan pengujian kaki dengan menggunakan *inverse kinematics* antara pengukuran sebenarnya dengan memasukkan nilai pada program. Tiap kaki memiliki faktor kesalahan yang berbeda-beda

Tabel 1. Pengujian tiap kaki dengan menggunakan *inverse kinematics*

Koordinat tiap kaki	Target koordinat kaki(cm)	Pengukuran (cm)	Persentase Kesalahan (%)
X[0]	9	11,5	16,67
Y[0]	7	6,8	2,85
Z[0]	5.5	5,5	0
X[1]	9	9,5	5,5
Y[1]	0	0	0
Z[1]	5.5	5,5	0
X[2]	9	11	22,22
Y[2]	7	7	0
Z[2]	5.5	5,5	0
X[3]	9	10	11,11
Y[3]	7	8	14,2
Z[3]	5.5	5,3	3,6
X[4]	9	9	0
Y[4]	0	0	0
Z[4]	5.5	5	9,09
X[5]	9	11	22,22
Y[5]	7	6	14,28
Z[5]	5.5	5,2	5,45



Gambar 18. Robot ketika berjalan mengikuti garis hitam

dikarenakan sistem yang digunakan masih *open loop* dalam melakukan kalibrasi sehingga tiap kaki robot memiliki tekanan yang berbeda. Faktor kesalahan rata- rata ketika menginputkan sumbu x sebesar 12,95 % , sedangkan sumbu y memiliki faktor kesalahan rata- rata sebesar 5,22 % dan untuk sumbu z memiliki faktor kesalahan sebesar 3,02 %.

Tabel 2. Pengujian sensor gas dari start sampai menemukan gas pada titik 1 di sebelah kanan

Langkah ke	Gas kanan	Gas kiri	Langkah ke	Gas Kanan	Gas Kiri
0	127	113	15	124	108
1	124	110	16	125	109
2	123	109	17	130	110
3	122	108	18	129	111
4	121	107	19	130	110
5	121	107	20	133	123
6	120	108	21	131	122
7	123	106	22	130	119
8	122	109	23	139	119
9	123	110	24	135	118
10	121	106	25	136	122
11	122	109	26	140	123
12	121	108	27	166	125
13	124	107	28	195	135
14	122	106			

Tabel 3. Pengujian sensor gas dari titik 1 sampai menemukan gas pada titik 2 di sebelah kanan

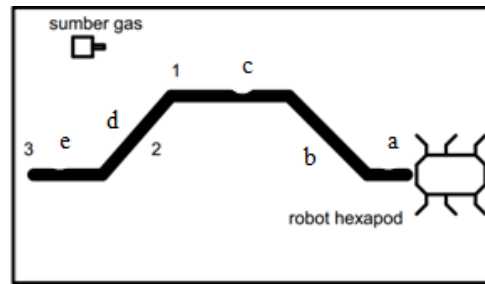
Langkah ke	Gas kanan	Gas kiri
29	115	120
30	141	137
31	138	129
32	145	126
33	150	130

Tabel 4. Pengujian sensor gas dari titik 2 sampai menemukan gas pada titik 3 di sebelah kanan

Langkah ke	Gas kanan	Gas kiri	Langkah ke	Gas Kanan	Gas Kiri
34	145	130	38	131	118
35	148	138	39	132	120
36	152	136	40	131	119
37	151	135	41	131	120
38	129	116	42	178	120

Pada gambar 18 adalah robot hexapod ketika berjalan mengikuti garis hitam sedangkan pada gambar 20 merupakan ilustrasi ketika robot melacak sumber gas pada titik 1, titik 2 dan titik 3. Dari pendeteksian sumber gas dari start sampai titik 1 dengan sumber gas berada disebelah kanan dapat dilihat pada tabel 2. Robot mampu menemukan sumber gas dengan *threshold* yang ditentukan pada sensor gas. Setelah melakukan pendeteksian pada titik 1 dilakukan pendeteksian sumber gas pada titik 2 dan letak sumber gas berada di sebelah kanan. Data pelacakan sumber gas pada robot dapat dilihat pada tabel 3. Pada tabel 3 menunjukkan bahwa robot tidak dapat mendeteksi sumber gas karena robot dalam berjalan mengalami slip pada kaki robot. Setelah dilakukan pelacakan dari titik 2 dilanjutkan pelacakan di titik 3. Data pelacakan sumber gas pada titik 3

dapat dilihat pada tabel 4 dan robot mampu melacak sumber gas dengan tingkat keberhasilan 90%.



Keterangan :  
 a = 35 cm  
 b = 50 cm  
 c = 45 cm  
 d = 45 cm  
 e = 30 cm

Gambar 19. Robot ketika melacak sumber gas pada titik 1, titik 2 dan titik 3

#### IV . KESIMPULAN

Pada penelitian ini telah dibuat dan dirancang suatu robot hexapod yang digunakan untuk melacak sumber gas. Robot dalam melakukan sistem jalan menggunakan metode *inverse kinematics*. Dalam hal ini parameter yang dijadikan acuan metode *inverse kinematics* adalah penginputan sumbu x, y, dan z. Faktor kesalahan rata-rata ketika menginputkan sumbu x sebesar 12,95 % , sedangkan sumbu y memiliki faktor kesalahan rata- rata sebesar 5,22 % dan untuk sumbu z memiliki faktor kesalahan sebesar 3,02 % . Dalam melakukan pelacakan sumber gas, robot hexapod mampu mengikuti garis hitam yang digunakan sebagai garis pemandu dengan tingkat keberhasilan 90 %.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Priatmojo, Dedi, *Ledakan pipa gas PT Pertamina di Subang*. Mediacer: Vivanews (2014).
- [2] Armandhanu Denny, *Ledakan Gad di Taiwan, Bos Perusahaan Minta Maaf*. Vivablog:Vivanews (2014)
- [3] Oktorizal, Andrew, *Studi Sensor Gas Berbasis Surface Acoustic Wave untuk Penerapan pada Sistem Identifikasi Gas*. Jakarta: Fakultas Teknik Departement Teknik Elektro UI (2014).
- [4] *Technical Information for TGS 2620*. USA. <http://www.figarosensor.com/products/2620pdf.pdf>. 23 September 2014.
- [5] Utami,Endrina, *Identifikasi Penyakit Diabetes Melalui Bau Urine dengan Sensor Gas Menggunakan Pembelajaran Backpropagation*. Padang: Politeknik Negeri Padang (2013).
- [6] Saputro, Xaverius B, *Pengenalan Sensor Garis*. Pengetahuan sensor blog: Pengetahuan Sensor.
- [7] Tedeschi, Franco & Guisepe Carbone, *Design Issues for Hexapod Walking Robot*. Italia. <http://www.mdpi.com/2218-6581/3/2/181/pdf>. 23 September 2014.
- [8] *Riset Inverse Kinematik*. Yogyakarta: Penerbit Farid Inawan (2011) .
- [9] *L7805*, Datasheet7805. Available: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Component/LM7805.pdf>