

# *Autonomous Surface Vehicle* sebagai Alat Pemantau Lingkungan Menggunakan Metode Navigasi *Waypoint*

Fadlila Rizki Saputra, Muhammad Rivai

Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

*E-mail:* fadlilarizki.e53@gmail.com, muhammad\_rivai@ee.its.ac.id

**Abstrak**—Polusi lingkungan seperti gas dan cairan limbah banyak terdapat pada sungai, danau, serta pantai di sekitar area industri. Polusi tersebut dapat membahayakan kesehatan, sehingga diperlukan sebuah alat untuk pemantau kondisi udara dan air di sekitar perairan tersebut. *Autonomous Surface Vehicle* (ASV) merupakan robot kapal yang dapat bergerak secara otomatis dari suatu titik ke titik lain dengan menggunakan metode *waypoint*. ASV dilengkapi dengan *Global Positioning System* (GPS), sensor gas MQ-7 untuk karbon monoksida (CO), dan keasaman (pH). ASV tersebut mampu menyusuri perairan dengan medan yang sulit dijangkau manusia. Ketika lokasi telah ditentukan, kapal akan bergerak secara otomatis dan mengukur kadar gas CO dalam satuan ppm serta tingkat keasaman air dalam satuan pH yang ada di sekitar lokasi kapal secara real-time. Hasil pengukuran data tersebut langsung dikirimkan ke pengguna melalui telemetri radio. Hasil pengujian sistem yang dilakukan di danau menunjukkan bahwa ASV mampu bergerak secara otomatis maupun manual untuk pengambilan data sensor. Pada pengukuran data sensor gas CO memiliki rerata kesalahan sebesar 5%, sedangkan pada pengukuran data sensor keasaman memiliki rerata kesalahan 13%. Sistem navigasi *waypoint* GPS memiliki rerata kesalahan jarak sebesar 2 meter. Berdasarkan perancangan dan pengujian sistem, ASV ini mampu memantau lingkungan secara otomatis sehingga dapat menginformasikan tingkat bahaya bagi kesehatan manusia.

**Kata kunci**—ASV, GPS, Sensor kadar keasaman, Sensor gas, Telemetri.

## I. PENDAHULUAN

PENCEMARAN lingkungan dapat dilihat dari kandungan udara dan air pada suatu lingkungan. Udara merupakan suatu unsur yang sangat penting bagi kehidupan makhluk hidup di bumi. Kandungan gas di udara meliputi Oksigen (O<sub>2</sub>), yang memungkinkan makhluk hidup untuk bernafas. Namun terdapat pula kandungan gas pada udara yang tidak boleh dihirup oleh manusia contohnya adalah gas yang tercipta dari sisa hasil pembakaran yaitu gas karbon monoksida (CO). Jika udara yang dihirup tercemar oleh gas CO maka udara tersebut dapat meracuni tubuh.

Menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No.41 tahun 1999, Pencemaran udara adalah masuknya atau dimasukkannya zat, energi, dan/atau komponen lain ke dalam udara ambien oleh kegiatan manusia sehingga mutu udara ambien turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan udara ambien tidak dapat memenuhi fungsinya. Pencemaran

udara dapat berasal dari kendaraan bermotor dan kegiatan industri.

Terdapat pula cairan limbah yang berada di perairan sehingga mencemari lingkungan sekitar. Untuk mengetahui jenis air yang tidak tercemar dapat diketahui mengukur kadar keasaman atau pH air tersebut, air yang dapat dikonsumsi memiliki nilai pH antara 6,5 – 8,5.

Polusi lingkungan seperti gas CO dan cairan limbah tersebut banyak terdapat pada sungai, danau, serta pantai disekitar area industri. Dengan berkembangnya industri dan semakin banyaknya berbagai macam kendaraan maka semakin banyak gas-gas berbahaya yang dihasilkan sehingga dapat mengancam kesehatan tubuh.

Timbulnya permasalahan tersebut maka terciptanya sebuah penelitian untuk memonitoring udara dan gas di sekitar perairan dengan menggunakan alat modern yaitu berupa kapal yang dilengkapi dengan sensor gas MQ7, sensor pH air dan GPS yang dapat berjalan secara otomatis. Dari monitoring ini dapat diketahui lokasi-lokasi berbahaya dan dapat mengurangi resiko yang timbul akibat gas dan udara yang tercemar oleh gas beracun disekitar perairan tersebut.

## II. DASAR TEORI

### A. Pencemaran Lingkungan

#### 1) Pencemaran Udara

Udara dan air merupakan unsur alam yang sangat pokok bagi makhluk hidup yang ada di muka bumi terutama manusia. Tanpa udara dan air yang bersih maka manusia kesehatan manusia akan terganggu dan dapat menyebabkan kematian.

Kualitas udara ambien dari suatu daerah ditentukan oleh jumlah sumber pencemaran atau beban pencemaran dari sumber yang ada di daerah tersebut. Zat-zat yang dikeluarkan oleh sumber pencemar ke udara dan dapat mempengaruhi kualitas udara salah satunya adalah gas Karbon Monoksida

Udara bersih dan udara kotor menurut WHO.

Parameter	Udara Bersih	Udara Tercemar
Bahan Partikel	0,01 – 0,02 mg/m <sup>3</sup>	0,07 – 0,7 mg/m <sup>3</sup>
SO <sub>2</sub>	0,003 – 0,02 ppm	0,02 – 2 ppm
CO	< 1 ppm	5 – 200 ppm
NO <sub>2</sub>	0,003 – 0,02 ppm	0,02 – 0,1 ppm
CO <sub>2</sub>	310 – 330 ppm	350 – 0,1 ppm
Hidrokarbon	< 1 ppm	1 – 20 ppm

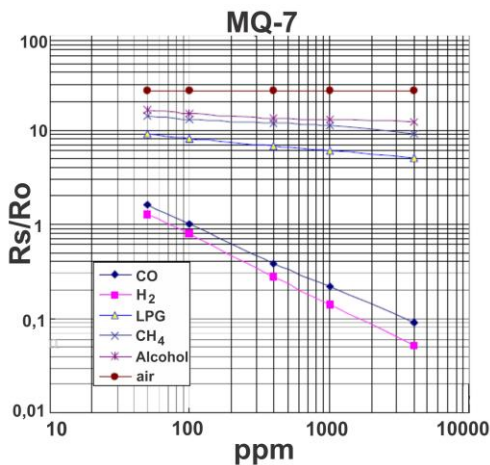
Karbon monoksida merupakan hasil dari pembakaran yang tidak sempurna, seperti gas CO yang merupakan hasil dari emisi gas buang kendaraan bermotor. Karbon monoksida memiliki sifat senyawa yang tidak berbau, tidak berasa dan pada suhu udara normal berbentuk gas yang tidak berwarna. Kandungan gas CO pada udara yang tidak boleh dihirup oleh manusia karena dapat menyebabkan keracunan, mual, pusing, dan juga sesak nafas, serta kematian apabila menghirup gas CO dalam jumlah yang tinggi.

2) *Pencemaran Air*

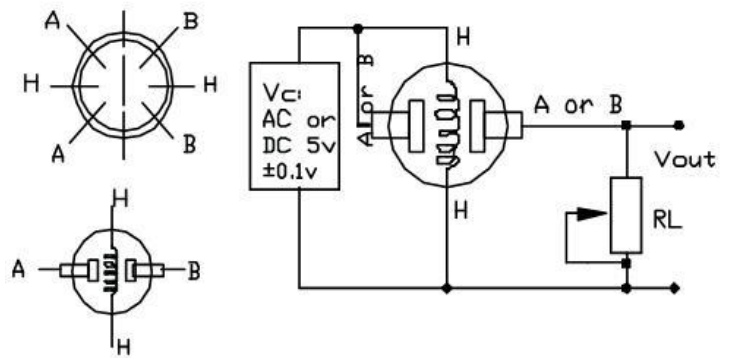
Air merupakan kebutuhan pokok bagi makhluk hidup di bumi ini, terutama bagi manusia, karena digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Air dapat digunakan sebagai air minum apabila air tersebut bersih dan tidak tercemar. Menurut Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia, No.416/PER/MENKES/IX/1990 tentang syarat-syarat dan pengawasan kualitas air, air bersih adalah air yang digunakan untuk keperluan sehari-hari yang kualitasnya memenuhi syarat dan dapat diminum apabila telah dimasak.

Pada saat ini banyak terdapat cairan limbah yang berada di perairan sehingga mencemari lingkungan sekitar, seperti sungai dan danau. Dengan kondisi tersebut maka air tidak layak dikonsumsi oleh manusia karena dapat membahayakan kesehatan. Untuk mengetahui jenis air yang tidak tercemar dapat diketahui dengan berbagai kriteria, yaitu berdasarkan kadar keasaman atau pH air tersebut. Pada permenkes RI No.416/MENKES/PER/IX/1990 Tanggal 3 September 1990, poin 16 dijelaskan tentang batas air yang dapat dikonsumsi oleh manusia dan makhluk hidup lainnya, yaitu memiliki batas minimum pH 6,5 dan batas maksimum pH 8.5.

B. *Sensor Gas CO*



Gambar 1. Grafik Sensitifitas Sensor MQ-7 [1].



Gambar 2. Rangkaian Sensor MQ7 [1].

Sensor MQ-7 merupakan sensor yang peka terhadap gas karbon monoksida yang merupakan gas hasil dari sisa pembakaran, ditunjukkan pada gambar 1. Sensor ini memiliki sensitivitas tinggi dan waktu respon yang cepat. Pada sensor ini terdapat nilai resistansi sensor ( $R_s$ ) yang dapat berubah bila terkena gas dan juga sebuah pemanas yang digunakan sebagai pembersihan ruangan sensor dari kontaminasi udara luar. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 2, sensor memerlukan dua sumber tegangan, yakni tegangan pemanas ( $V_H$ ) dan tegangan rangkaian sensor ( $V_c$ ). Tegangan rangkaian digunakan untuk memungkinkan pengukuran tegangan ( $V_{RL}$ ) antar kedua terminal tahanan beban ( $R_L$ ) yang dihubungkan seri dengan sensor. Suatu sirkit catu daya umum dapat digunakan baik untuk  $V_c$  maupun  $V_H$  untuk memenuhi kebutuhan listrik sensor [2]. Tegangan pemanas dipakai pada pemanas terintegrasi untuk mempertahankan elemen sensor pada suhu tertentu yang optimal [3].

C. *Autonomous Surface Vehicle (ASV)*

*Autonomous Surface Vehicle* atau ASV merupakan sebuah kapal tanpa awak yang mampu menyusuri perairan secara otomatis. ASV mampu bergerak diatas permukaan air secara otomatis dari suatu lokasi ke lokasi lain dengan bantuan sebuah sistem navigasi berupa *waypoint* dimana titik-titik lokasinya telah ditentukan sebelumnya.

ASV dilengkapi dengan GPS (*Global Positioning System*), sensor gas, sensor pH, *bluetooth*, serta telemetri. Ketika lokasi telah ditentukan, kapal akan bergerak otomatis dan mengukur kadar gas serta kualitas air yang ada di sekitar lokasi kapal secara *real-time*.

Jenis kapal yang digunakan adalah kapal katamaran (*Cattamaran*) merupakan jenis kapal yang memiliki dua buah lambung kapal atau dua badan kapal. Dibandingkan dengan kapal lambung tunggal, Katamaran memiliki beberapa kelebihan yang cukup jelas, yaitu adalah stabilitas pada kapal dan memiliki hambatan yang kecil.



Gambar 3. Contoh kapal tanpa awak [4].

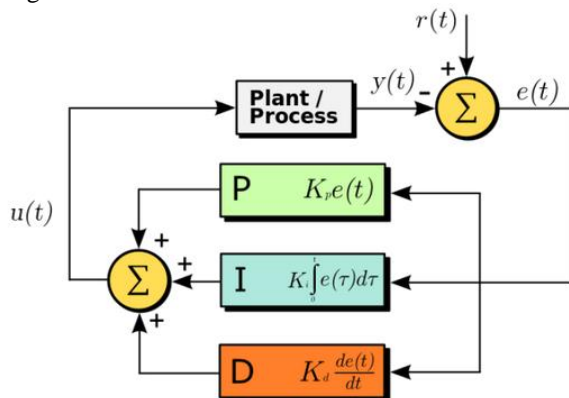
D. Navigasi Waypoint

Waypoint merupakan suatu sistem navigasi yang memungkinkan suatu kendaraan dapat bergerak secara otomatis menuju lokasi-lokasi yang telah ditentukan. Prinsip kerja pada navigasi *waypoint* yaitu dengan cara membuat titik-titik lokasi tujuan yang akan dilalui oleh kapal, kemudian kapal dapat mengikuti jalur yang telah terbentuk menuju titik-titik lokasi yang telah ditentukan tersebut.

Pada sistem navigasi dengan metode *waypoint*, untuk dapat mengetahui posisi titik-titik tersebut diperlukan data berupa *longitude* dan *latitude* yang dapat dilihat pada google maps. Koordinat lokasi dapat dimasukkan ke dalam program mikrokontroler sehingga kapal dapat bergerak berurutan secara otomatis menuju titik tujuan.

E. Pengendali Propotional PID

PID merupakan sebuah kontroler yang berfungsi sebagai pengendali kapal agar dapat bergerak secara otomatis atau biasa disebut *autonomous*. Fungsi utama kontrol PID pada *Autonomous Surface Vehicle* yaitu untuk mengatur arah atau *heading* kapal agar sesuai dengan tujuan. PID merupakan gabungan dari beberapa unsur yaitu P (Propotional), I (Integral), dan D (Derivatif). Unsur P, I, maupun D dapat memprecept respon pada sistem untuk menghilangkan offset. Karena masing-masing mempunyai kelebihan, untuk mentukan besar dari nilai  $K_p$ ,  $K_i$ , maupun  $K_d$  dapat menggunakan cara tuning secara manual untuk mendapatkan nilai yang sesuai.



Gambar 4. Kontrol PID [2].

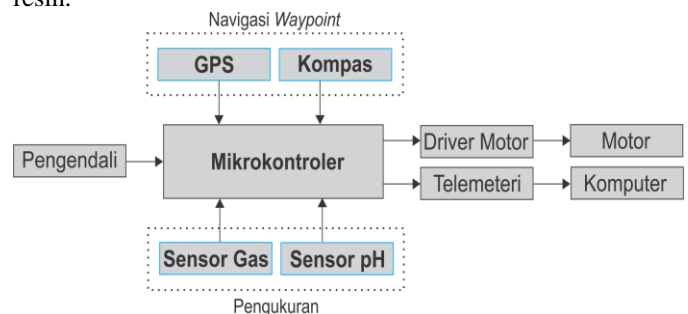
III. PERANCANGAN SISTEM

Perancangan perangkat keras meliputi perancangan elektrik dan mekanik, sedangkan perancangan perangkat lunak meliputi pembacaan ADC. Pada gambar 5 menunjukkan blok diagram sistem keseluruhan pada ASV. ASV bergerak berdasarkan perintah yang dikirimkan oleh pengendali berupa HP Android, kemudian pengendali mengirimkan perintah ke mikrokontroler melalui *bluetooth* HC-05 yang dimiliki oleh ASV. Perintah tersebut berupa pilihan mode yaitu mode otomatis atau mode manual, dan kemudian kapal akan bergerak sesuai perintah tersebut.

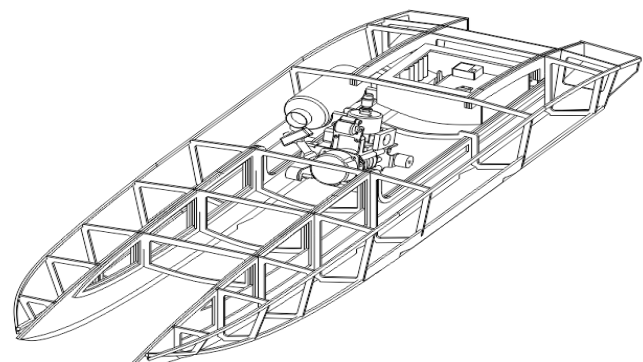
Pada saat sistem ASV menjalankan mode manual, maka kapal akan bergerak sesuai perintah dari pengendali. Data yang akan dikirimkan ke komputer berupa data arah gerak kapal, tanpa menampilkan data GPS maupun sensor yang terdapat pada ASV. Ketika sistem menjalankan mode otomatis, maka kapal akan bergerak secara otomatis dengan menggunakan kontrol PID sebagai pengatur gerak otomatis kapal dan memantau kondisi lingkungan disekitar kapal. Kondisi lingkungan yang pantau dan diukur berupa kadar gas CO dalam satuan PPM serta kualitas air dalam satuan pH, kemudian data tersebut akan dikirimkan secara langsung oleh telemetri ke *ground station (personal computer)* secara *realtime*.

A. Perancangan Perangkat Keras

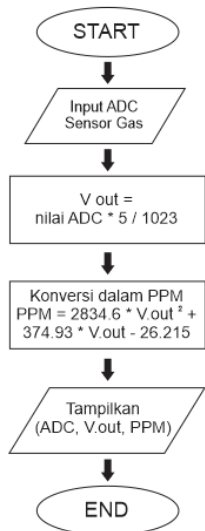
Komponen elektrik yang akan digunakan pada ASV antara lain Arduino Mega, telemetri, GPS *Module*, *bluetooth*, sensor gas MQ7, sensor pH, dan motor DC. Mekanik pada ASV menggunakan kayu balsa yang dilapisi cairan kimia berupa resin.



Gambar 5. Blok diagram sistem ASV.



Gambar 6. Desain ASV.



Gambar 7. Flowchart kalibrasi sensor gas.

Autonomous Surface Vehicle menggunakan desain kapal berjenis katamaran (*catamaran*) seperti gambar 6. Katamaran memiliki dua buah lambung kapal, sehingga jenis kapal katamaran lebih stabil apabila dibandingkan dengan kapal berlambung tunggal.

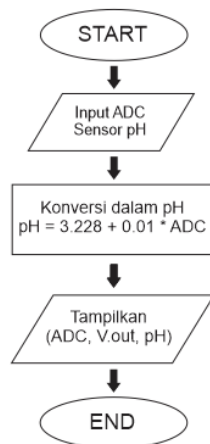
B. Perangkat Lunak Arduino

Pada mikrokontroler Arduino Mega, perangkat lunak pada ASV digunakan untuk melakukan berbagai macam proses, yaitu digunakan sebagai pembacaan nilai ADC dari sensor. Pembacaan ADC yang terdapat pada sistem perangkat lunak ini adalah pembacaan ADC dari sensor gas dan sensor pH untuk kemudian dikalibrasi ke dalam satuan yang telah ditentukan.

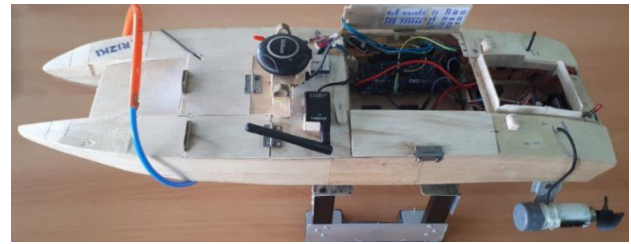
1. Kalibrasi Sensor Gas

Sensor gas yang digunakan adalah sensor MQ7, memiliki keluaran sinyal analog. Sinyal sensor dikonversi oleh ADC pada Arduino Mega untuk mendapatkan sinyal digital *output* sensor. Nilai tersebut dikonversi dalam satuan PPM dengan menggunakan model matematis regresi polinomial orde 2. Proses kalibrasi sensor gas ditunjukkan pada gambar 7.

2. Kalibrasi Sensor PH



Gambar 8. Flowchart kalibrasi sensor pH.



Gambar 9. Autonomous Surface Vehicle.

Sensor pH pada ASV ini juga memiliki keluaran data berupa sinyal analog. Nilai analog tersebut kemudian diproses untuk dikonversi dalam satuan pH dengan menggunakan model matematis regresi linier. Flowchart dari proses kalibrasi sensor pH seperti gambar 8.

IV. PENGUJIAN DAN ANALISIS

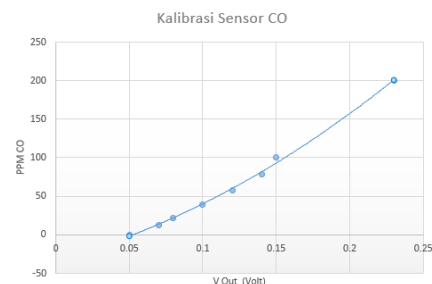
A. Pengujian Mekanik ASV

Proses pengujian mekanik ASV dilakukan berdasarkan realisasi dari desain yang telah dirancang sebelumnya. Pengujian dilakukan setelah body kapal terbentuk, tahap ini merupakan langkah pertama dalam pembuatan ASV, untuk mengetahui kondisi kapal, apakah layak digunakan atau perlu perbaikan sebelum digunakan. Salah satu indikator kelayakan kapal yaitu tidak adanya kebocoran pada lambung kapal, sehingga kapal dapat mengapung diperairan dengan sempurna.

Tahap selanjutnya, kapal diberikan beban sesuai dengan komponen yang digunakan untuk mengetahui kekuatan kapal pada saat berada diperairan serta melihat performa gerakan kapal dengan beban maksimum yang dibawa. Gambar 9 menunjukkan realisasi dari perancangan penelitian.

B. Pengujian Sensor Gas

Rangkaian sensor gas MQ-7 merupakan rangkaian sensor dengan tegangan input 5 volt, sedangkan nilai tegangan output dari sensor MQ-7 adalah nilai yang digunakan dalam proses kalibrasi sensor gas CO untuk dikonversi menjadi satuan PPM (*Part Per Million*). Proses pengujian sensor gas menggunakan wadah tertutup agar gas CO tidak tercampur dengan gas lainnya dalam proses pengukuran. Gas CO yang dalam pengujian ini berupa asap hasil pembakaran kendaraan bermotor. Proses kalibrasi ini menggunakan alat ukur *Carbon Monoxide* meter, dengan model 7701 AZ *instrument*. Pada pengujian tersebut, data yang diambil berupa kadar gas CO dalam satuan PPM yang terbaca pada CO meter, dan nilai ADC serta tegangan output yang terbaca pada sensor MQ-7. Alat ukur yang digunakan adalah CO Meter.



Gambar 10. Kalibrasi sensor gas CO MQ-7.

Tabel 2.  
Perbandingan PPM sensor MQ7 dengan CO meter.

No.	CO Meter (PPM)	Sensor MQ-7 (PPM)	Selisih (PPM)	Error (%)
1	0	-0.382	0.38	-
2	12	13.91964	1.9	15.9
3	22	21.92084	0.07	0.36
4	39	39.624	0.6	1.6
5	58	59.59484	1.6	2.7
6	78	81.83336	3.8	4.9
7	100	93.803	6.2	6.2
8	200	209.96924	9.9	4.9
Rata-rata			3.075	5.257

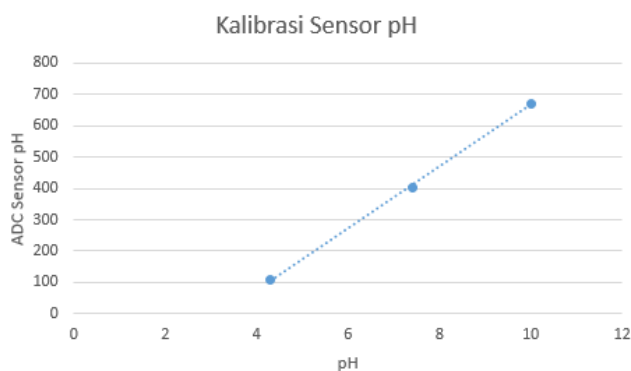
Tegangan *output* sensor MQ-7 dan kadar gas (PPM) dimasukkan ke dalam bentuk grafik seperti pada gambar 10. agar mempermudah dalam mencari model matematisnya. Pencarian model matematis persamaan garis atau kurva menggunakan metode regresi polinomial orde 2. Berdasarkan grafik fungsi regresi polinomial didapatkan fungsi

$$\text{Regresi : } Y = 2204.5 x^2 + 509.43 x - 32.928 \quad (1)$$

Data yang dicari adalah kadar gas PPM (sumbu Y) sedangkan data tegangan keluaran sensor (sumbu X) merupakan nilai yang diketahui. Dengan memasukkan fungsi ke dalam perhitungan, maka akan didapatkan hasil berupa nilai PPM pada sensor MQ-7 seperti pada tabel 2. Tabel tersebut menunjukkan bahwa terdapat *error* rata-rata pembacaan 5.257 % dibandingkan dengan hasil pembacaan PPM pada CO-meter. Hal tersebut dapat terjadi karena adanya perubahan nilai tegangan input pada sensor gas MQ-7 dan nilai sensitivitas sensor gas MQ-7 yang lebih rendah dari CO-meter.

C. Pengujian Sensor PH

Sensor pH yang digunakan pada penelitian ini merupakan modul sensor pH yang memiliki keluaran berupa ADC dengan *input* tegangan pada sensor sebesar 5 volt. Nilai ADC *output* dari modul sensor pH merupakan nilai yang digunakan dalam proses kalibrasi untuk dikonversi menjadi satuan pH. Pengujian kalibrasi modul sensor pH dilakukan menggunakan 3 jenis carian yang memiliki pH berbeda serta menggunakan alat ukur pH meter *Pen Type PH Meter* PH-009(I)A. Berikut merupakan hasil pengujian atau pengukuran pada sensor pH dan pH meter ditunjukkan pada gambar 11.



Gambar 11. Kalibrasi sensor pH.

Tabel 3.  
Perbandingan pH antara sensor dengan pH meter.

No.	Sensor pH (pH)	pH Meter (pH)	Selisih (pH)	Error (%)
1	4.322315708	4.3	0.044	1.02
2	7.307757675	7.4	0.092	1.26
3	10.04792662	10	0.048	0.47
Rata-rata			0.061	0.92

Berdasarkan gambar 11, model matematis yang digunakan dalam kalibrasi sensor pH adalah regresi linier. Regresi linier digunakan untuk mencari fungsi linier yang menyerupai kumpulan titik data (x,y) yang diketahui. Regresi linier hanya digunakan untuk kurva yang berbentuk mendekati garis lurus. Berikut merupakan persamaan yang digunakan untuk regresi linier :

$$Y = a + b X \quad (2)$$

Dimana , Y adalah nilai pH untuk modul sensor PH, ‘a’ adalah konstanta, b adalah gradien, dan X adalah nilai ADC yang terbaca oleh modul sensor pH. Berdasarkan data pada gambar 11, model matematis yang didapatkan ditunjukkan pada persamaan (3)

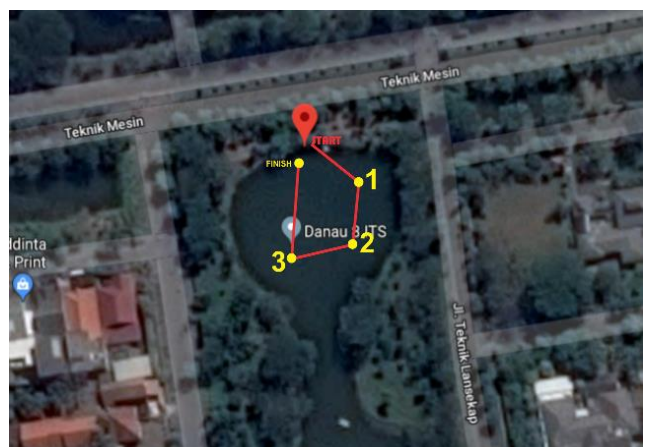
$$Y = 3.228 + 0.01 \times X \quad (3)$$

Dengan memasukkan perhitungan nilai ADC sensor ke dalam persamaan  $Y = 3.228 + 0.01 \times X$ , menunjukkan bahwa terdapat *error* rata-rata pembacaan 0.92% (0,42 – 1,26%) dibandingkan dengan hasil pembacaan pH pada alat ukur pH meter, seperti pada table 3.

D. Pengujian Navigasi Waypoint GPS

*Autonomous Surface Vehicle* dapat bergerak secara otomatis dengan menggunakan sistem navigasi *waypoint* pada GPS. Navigasi *waypoint* tersebut bekerja berdasarkan titik-titik lokasi yang dipilih, sehingga ASV akan dapat bergerak menuju titik ke titik yang telah ditentukan secara otomatis.

Pengujian sistem navigasi *waypoint* dilakukan di perairan yang tidak memiliki arus maupun ombak besar dan lokasi yang dipilih dalam pengujian ini adalah Danau 8 ITS seperti gambar 12. Setelah menentukan titik-titik maka kapal akan bergerak ke posisi tujuan secara berurutan sesuai tabel 4.



Gambar 12. Tujuan ASV pada sistem navigasi *waypoint*.

Tabel 4.  
Nilai *longitude* dan *latitude* pada sistem *waypoint*

No	Lokasi Tujuan	Lattitude	Longitude
1	Start (Home)	-7,286172	112,795979
2	Waypoint 1	-7,286269	112,796094
3	Waypoint 2	-7,286412	112,796100
4	Waypoint 3	-7,286418	112,795963
5	Waypoint 4 (Home)	-7,286172	112,795979

Tabel 5.  
Hasil pengujian posisi ASV

Target	Lattitude	Longitude	Beda Sudut (°)	PID Sudut (°)
1	-7.286271	112.796142	-15.42	-8.71
2	-7.286371	112.796142	-6.16	-2.15
3	-7.286350	112.796051	5.48	2.28
4	-7.286324	112.796005	2.33	1.19
5	-7.286331	112.796005	-0.23	-1.24
6	-7.286270	112.795921	92.94	54.75
7	-7.286208	112.795928	9.38	5.00

Tabel 6.  
Hasil pengujian sensor pada ASV.

Target	Gas CO (PPM)	pH (ADC)	pH
1	0	348	5.5
2	2	365	6.05
3	1	349	5.3
4	0	357	5.68
5	2	359	5.77
6	0	349	5.3
7	0	365	6.05

#### E. Pengujian Keseluruhan Sistem

Dari pengujian ini, telemetri mampu mengirimkan data dari ASV ke komputer dengan baik. Data yang dikirimkan berupa koordinat lokasi ASV *longitude* dan *latitude*, sensor gas CO, sensor pH. Pada pengujian ini ASV memonitoring kualitas kondisi air dalam satuan pH dan kondisi gas CO dalam satuan PPM pada lokasi titik-titik yang ditentukan. Data yang diterima laptop tersebut seperti pada tabel 5 dan 6

Untuk mengetahui *error* dari pengukuran yang dibaca oleh sensor pH tersebut dilakukan pengukuran ulang pH air dengan alat ukur pH meter dengan mengambil sampel air danau. Pada pengukuran dengan pH meter menunjukkan air danau memiliki pH 6,4, sehingga *error* rata-rata dari sensor pH adalah 13% (selisih pH sebesar 0,35 – 1,19).

#### V. KESIMPULAN

*Autonomous Surface Vehicle* (ASV) merupakan kapal tanpa awak yang mampu menyusuri perairan secara otomatis dengan bantuan sistem navigasi *waypoint*. ASV tersebut mampu bergerak secara otomatis maupun manual berdasarkan pilihan mode pada *bluetooth controller*. Dari realisasi dan pengujian alat yang dilakukan di danau 8 ITS dapat disimpulkan bahwa sistem navigasi *waypoint* memiliki rerata kesalahan posisi sebesar 2 meter yang merupakan resolusi dari modul GPS *receiver* Ublox M8N. Pada kalibrasi sensor gas CO MQ-7, sensor ini memiliki perbedaan dengan CO meter sebesar 0,4 - 9,9 ppm dan memiliki rerata kesalahan sebesar 5%. Kalibrasi tersebut dilakukan dengan menggunakan regresi polinomial orde 2. Pada kalibrasi sensor pH menggunakan regresi linier memiliki perbedaan pengukuran dengan pH meter sebesar 0,05 – 0,09 pH dan rerata kesalahan 0.1%. Sedangkan pada keseluruhan sistem, sensor pH memiliki perbedaan pengukuran dengan pH meter sebesar 0,35 – 1,19 pH dan memiliki rerata kesalahan 13%. Kesalahan tersebut dikarenakan respon pembacaan sensor pH dan CO pada sistem memiliki waktu tunda.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sparkfun, "Technical Data MQ-7 Gas Sensor" <URL: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Biometric/MQ-7.pdf>>," 2012. .
- [2] R. D. Irfan Fachrudin, Muhammad Rivai, "Pemetaan Distribusi Gas Polutan berbasis Autonomous Waypoint Navigation," *J. Tek. ITS*, vol. 5, no. 2, 2016.
- [3] T. Dwita Mido Gumelar, Muhammad Rivai, "Rancang Bangun Wireless Electronic Nose berbasis Teknologi Internet of Things," *Inst. Teknol. Sepuluh Nop.*, 2017.
- [4] B. Siswandi, "Perencanaan Unmanned Surface Vehicle (USV) ukuran 3 Meter Tipe Serbu Cepat," *Inst. Teknol. Sepuluh Nop.*, 2012.