

SISTEM KENDALI JARAK JAUH SECARA *REAL-TIME* PADA KAPAL TANPA AWAK UNTUK PENGAMBILAN SAMPEL AIR LIMBAH INDUSTRI

Syamsiar Kautsar¹⁾, Ryan Yudha Adhitya²⁾, Rachmad Tri Soelistijono³⁾, Lilik Subiyanto⁴⁾

^{1),2)} Teknik Fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

^{3),4)} Teknik Kelistrikan Kapal Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 62111

Email : kautsar.sam@gmail.com¹⁾, ryanyudhaadhitya@gmail.com²⁾,
rachmad.tri@gmail.com³⁾, llksubiyanto@gmail.com⁴⁾

Abstrak

Dewasa ini, semakin banyak terjadi kerusakan ekosistem akibat pembuangan limbah industri. Instansi pemerintah secara berkala melakukan pengambilan sampel perairan untuk diteliti kadar pencemarannya. Beberapa titik pengambilan sampel terletak pada lokasi yang sulit dijangkau. Pada penelitian ini, dirancang sebuah kapal tanpa awak (*unmanned surface vehicle*) yang terkoneksi dengan komputer secara nirkabel, sehingga dapat dikendalikan secara manual untuk mengambil sampel air limbah pada lokasi tertentu. Mikrokontroler ATmega128 digunakan sebagai kontroler pada kapal tanpa awak. Pertukaran data antara kontroler kapal dan komputer remote menggunakan komunikasi serial berbasis XBee. Sensor kompas, sensor jarak ultrasonik, dan wireless IP camera digunakan untuk memonitor data kondisi lingkungan saat kapal dioperasikan dan ditampilkan pada GUI.

Pengambilan sampel air menggunakan 2 buah motor pompa DC yang masing-masing terhubung dengan tabung penyimpanan air dengan kapasitas 200cc. Delay terkecil yang dapat digunakan untuk komunikasi data secara *real-time* adalah 300 mili second. Terdapat algoritma *loss data detection* untuk mendeteksi adanya kegagalan komunikasi data antara komputer remote dengan mikrokontroler kapal dengan tingkat keberhasilan 100%. PID-controller digunakan sebagai kontrol navigasi kapal untuk menepi secara otomatis ketika terjadi kegagalan komunikasi data. Penggunaan $K_p=4$, $K_i=2$, $K_d=1$ terhadap error sebesar 10 derajat sensor kompas menghasilkan error steady state = 1 derajat dan settling time = 5 detik.

Kata kunci: XBee, ATmega128, kapal tanpa awak, komputer remote, PID-controller.

1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Pembuangan limbah industri ke sungai tanpa melalui proses pengolahan membuat kerusakan ekosistem. Dalam beberapa kasus ditemukan ikan yang mati ataupun terjadinya gagal panen akibat perairan untuk irigasi telah tercemar limbah industri.

Untuk menanggulangi hal tersebut, secara periodik dinas lingkungan di pemerintah kota atau kabupaten setempat melakukan pengambilan sampel air sungai di lokasi pembuangan limbah secara berkala untuk diteliti kandungan airnya. Titik lokasi pengambilan sampel air limbah tidak selalu mudah dijangkau. Beberapa lokasi mengharuskan petugas menaiki perahu rakitan ataupun turun ke dalam sungai. Selain memakan waktu lama, faktor keamanan manusia juga menjadi pertimbangan. Oleh sebab itu, dalam penelitian ini dirancang sebuah kapal tanpa awak yang dapat dikendalikan melalui komputer (selanjutnya disebut *PC-remote*) yang dapat digunakan untuk mengambil sampel air sungai di titik tertentu[1].

Kapal tanpa awak menggunakan desain 2 lambung (katamaran) agar dapat digunakan di perairan yang dangkal. Aplikasi *Graphic User Interface* (GUI) dirancang menggunakan Borland Delphi 7.0 untuk melakukan komunikasi dan pengolahan data dengan kontroler kapal tanpa awak. Aplikasi ini mencakup sistem monitor kapal tanpa awak dengan tampilan *adaptive view*, kendali jarak jauh secara *real-time*, dan tampilan data gambar dari wireless IP camera. Data gambar dapat disimpan dalam format JPEG sebagai dokumentasi dari kondisi sungai. Algoritma *loss data detection* ditanamkan pada mikrokontroler agar kapal tanpa awak dapat menepi secara otomatis jika terjadi kegagalan komunikasi data dengan *PC-remote*.

1.2. Rumusan Masalah

1. Bagaimana sistem komunikasi serial secara nirkabel antara mikrokontroler dan *PC-remote*.
2. Bagaimana pembuatan aplikasi untuk GUI dengan tampilan *adaptive-view*.
3. Bagaimana algoritma pemrograman *loss data detection* sehingga kapal tanpa awak dapat menepi secara otomatis saat terjadi kegagalan komunikasi data dengan *PC-remote*.

1.3. Tujuan

Dihasilkan sebuah sistem kendali jarak jauh untuk kapal tanpa awak secara *real-time* melalui

komputer untuk melakukan pengambilan sampel air limbah di perairan.

1.4. Tinjauan Pustaka

1.4.1 Kapal Dua Lambung

Kapal tanpa awak menggunakan tipe 2 lambung (katamaran) untuk meminimalkan volume badan kapal yang tercelup air sehingga kapal tanpa awak dapat beroperasi di perairan yang dangkal. Gambar 1 berikut adalah desain dari kapal tanpa awak:



Gambar 1. Desain Kapal Tanpa Awak

1.4.2. Mikrokontroler AVR ATmega128

Mikrokontroler AVR ATmega128 dipilih sebagai kontroler kapal tanpa awak karena memiliki 53 I/O, 4 Timer/Counter, dan 128 Kbyte *flash memory* [2]. Hal ini memberi fleksibilitas yang tinggi dalam pemrograman kontroler kapal tanpa awak. Port serial0 pada ATmega128 terhubung dengan modul XBee S1 untuk melakukan komunikasi data serial dengan PC-remote.

1.4.3. Borland Delphi 7.0

Delphi merupakan suatu bahasa pemrograman (*development language*) yang digunakan untuk merancang suatu aplikasi program. Delphi memiliki keunggulan untuk keperluan *interfacing* (ketersediaan komponen comport untuk melakukan komunikasi serial)[3]. Pada penelitian ini, digunakan kabel konverter USB to serial TTL sehingga komunikasi serial menggunakan XBee dapat dilakukan melalui port USB pada PC-remote.

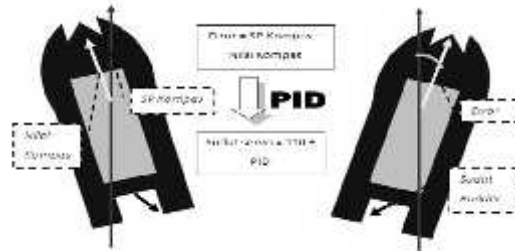
1.4.3. XBee S1

Modul X-Bee atau ZigBee menggunakan komunikasi serial dengan modulasi FSK (*Frequency Shift Keying*) berfrekuensi 2.4 GHz. Jangkauan XBee S1 mencapai 30 meter *indoor* dan 90 meter[4]. XBee merupakan salah satu modul telemetri yang dapat berfungsi sebagai RX dan TX sekaligus atau dapat melakukan komunikasi dua arah[5][6]. Komunikasi serial pada modul XBee sama dengan cara mengirim dan menerima data seperti komunikasi serial menggunakan kabel[7].

1.4.4 PID-control

Sistem kontrol PID terdiri dari tiga buah cara pengaturan yaitu kontrol P (*Proportional*), D (*Derivative*) dan I (*Integral*), dengan masing-masing memiliki kelebihan dan kekurangan[9]. Dalam perancangan sistem kontrol PID, perlu dilakukan pengaturan parameter P, I atau D agar tanggapan sinyal keluaran sistem terhadap masukan tertentu sesuai dengan yang diinginkan. Pada penelitian ini,

kontrol PID[8][9] digunakan untuk mengatur sudut kerja servo *rudder* dengan referensi eror dari sensor kompas CMPS03[10]. Gambar 2 berikut adalah gambaran dari penerapan PID untuk sistem navigasi kapal tanpa awak:



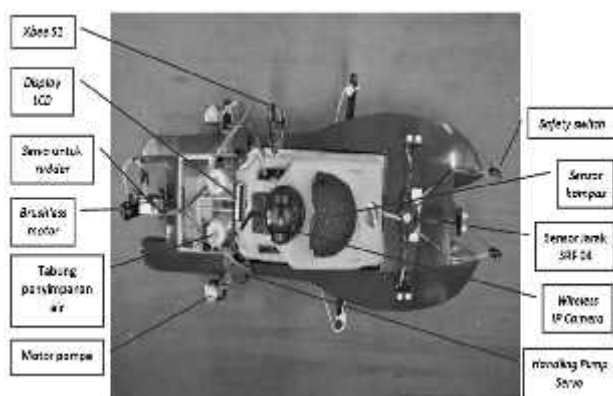
Gambar 2. Implementasi PID-control pada sistem navigasi kapal tanpa awak

2. Pembahasan

2.1. Pembuatan Kapal Tanpa Awak

Badan kapal dibuat dari triplek khusus yang mempunyai sifat ringan dan kuat. Pada bagian tengah terdapat bangunan kapal yang terbuat dari *foam* dengan ketebalan 3cm. Pemilihan keseluruhan bahan tersebut untuk meminimalkan berat keseluruhan kapal. Semakin ringan kapal, maka semakin rendah beban pada motor *brushless* untuk menggerakkan *propeller* serta semakin kecil luas bidang yang tercelup air sehingga mempermudah kapal bermanuver.

Hasil akhir kapal secara keseluruhan dapat dilihat pada gambar 3. Xbee S1 dan *wireless IP camera* diletakkan pada bagian paling atas untuk mengurangi kemungkinan adanya gangguan saat dilakukan komunikasi data secara nirkabel. Untuk sistem catu daya, *board* kontroler dan *driver* motor diletakkan pada bagian dalam bangunan atas kapal untuk menghindari konsleting akibat percikan air.



Gambar 3. Hasil akhir pembuatan dan pemasangan hardware pada kapal tanpa awak

2.2. Pembuatan GUI dengan Delphi 7.0

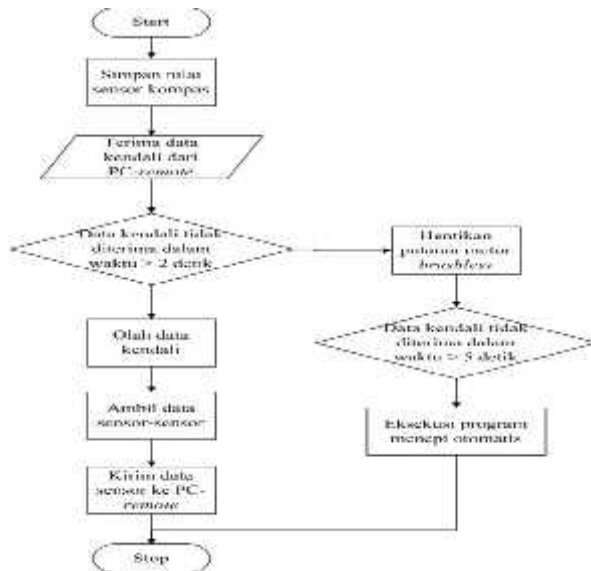
Terdapat 3 form yang dibuat sebagai GUI: form kendali, form monitor, dan form tampilan IP camera. Form kendali berisi komponen *image* untuk pengaturan sudut *rudder* dan kecepatan putar

propeller, komponen *scroll bar* untuk pengaturan kecepatan putar *propeller* dan *button* untuk pengaktifan motor pompa kanan dan kiri.

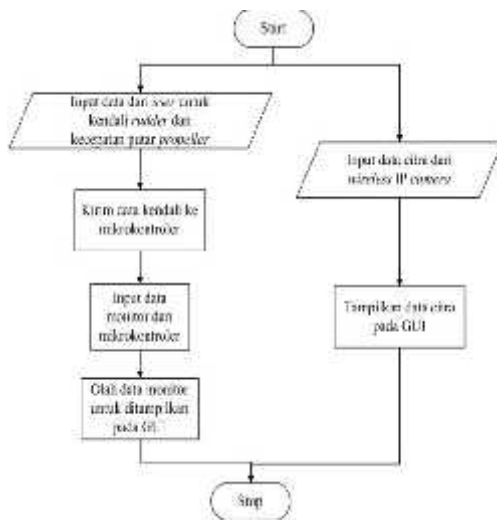
Form monitor merupakan form untuk menampilkan data kondisi kapal tanpa awak, yang terdiri atas: status *safety switch*, status motor pompa, posisi sudut rudder, persen kecepatan kapal, nilai dan arah sensor kompas, nilai sensor jarak SRF04[11], dan jumlah putaran *propeller*. Untuk form tampilan IP *camera* berisi komponen video *grabber* yang dapat menampilkan data citra yang dikirim oleh *wireless IP camera*.

2.3. Alur Pembuatan Program

Pembuatan program terdiri atas 2 bagian, pembuatan program pada mikrokontroler (menggunakan Bascom AVR), dan perancangan *software* untuk GUI pada PC-remote menggunakan Borland Delphi 7.0[7]. Berikut adalah diagram alur pemrograman pada mikrokontroler (gambar 4) dan PC-remote (gambar 5):



Gambar 4. Diagram alur pemrograman mikrokontroler



Gambar 5 Diagram alur pemrograman pada PC-remote

2.4. Integrasi Sistem

Sistem komunikasi untuk pengendalian kapal tanpa awak menggunakan sistem umpan balik. PC-remote mengirimkan data untuk pengendalian kapal (disebut data kendali). Setelah itu, mikrokontroler akan mengambil data sensor-sensor yang terhubung, mengolahnya menjadi 1 baris data dan dikirim ke PC-remote (disebut data monitor). Paket data kendali akan dipecah oleh mikrokontroler yang selanjutnya diterjemahkan menjadi nilai untuk pengaturan aktuator. Sedangkan paket data monitor dipecah kembali oleh PC-remote dan ditampilkan pada GUI. Keseluruhan data dikirim dalam format bilangan heksa.

Data kendali memiliki panjang 5 karakter berformat ABBCC, dengan:

- A : status motor
 - 0 = pompa 1&2 mati
 - 1 = pompa 1 aktif & pompa 2 mati
 - 2 = pompa 1 mati & pompa 2 aktif
- BB: nilai *byte* PWM untuk ESC
- CC: nilai *byte* PWM untuk servo *rudder*

Sedangkan data monitor memiliki panjang 17 karakter berformat ASSTTUUVVWXXYYZZCC, dengan:

- A...CC : sebagai *security protocol* untuk komunikasi data antara PC-remote dengan mikrokontroler
- SS : kondisi *safety swieth*,
 - SS = H08 : *safety switch* 1 aktif
 - SS = H04 : *safety switch* 2 aktif
 - SS = H04 : *safety switch* 1 & 2 aktif
- TT : Data sensor kompas
- UU : Nilai sensor SRF04 kiri
- VV : Nilai sensor SRF04 depan
- WW : Nilai sensor SRF04 kanan
- XX : Nilai sudut servo untuk *rudder*
- YY : Nilai kecepatan motor *brushless*
- ZZ : Jumlah putaran motor *brushless*

2.5. Kalibrasi servo *rudder* dan ESC untuk motor *brushless*

Pada bahasa pemrograman Bascom AVR, terdapat fasilitas pengaktifan pulsa PWM untuk menggerakkan motor servo dengan memanfaatkan Timer0. Pulsa dihasilkan setiap 20 milisecond, dengan lebar *pulse on* sesuai dengan nilai masukan pada mikrokontroler. Lebar *pulse on* dinyatakan dengan bilangan 8 bit (255) dikalikan 10. Tabel 1 berikut adalah data hasil kalibrasi servo Hitech MG-64:

Tabel 1. Data Kalibrasi Servo Penggerak *Rudder*

Sudut yang Dikehendaki (derajat)	Lebar <i>pulse on</i>
- 90	45 (450 us)
-45	77 (770 us)
0	110 (110 us)
45	142 (1420 us)
90	175 (1750 us)

Masukan sinyal pada ESC (*Electronic Speed Controller*) untuk menggerakkan motor *brushless* sama dengan masukan pulsa PWM untuk pengendalian servo. ESC akan menyimpan nilai *pulse on* saat *start-up* sebagai titik nol. Pada penelitian ini, titik nol menggunakan nilai *pulse on* = 1000us (*byte* 100). Nilai *pulse on* < 1000us akan menyebabkan motor *brushless* berputar CCW, sedangkan nilai *pulse on* > 1000us menyebabkan motor *brushless* berputar CW. Putaran motor searah jarum jam akan menyebabkan kapal bergerak maju. Kecepatan putar motor berbanding lurus dengan selisih nilai *pulse on* yang diberikan terhadap titik nol.

Supply daya untuk motor *brushless* menggunakan baterai Li-Po 2 Cell 25C 5.3 Ah. Kalibrasi dilakukan pada saat kondisi tegangan baterai sebesar 8.3 Volt (lihat tabel 2). Berdasarkan hasil kalibrasi, motor mulai bergerak pada nilai *pulse on* 1040us, dan mencapai kecepatan maksimum nilai *pulse on* 1370us. Untuk mempermudah proses pengendalian manual dari PC-remote, kecepatan kapal direpresentasikan dalam nilai 0-100% dan diskalakan terhadap pulsa *pulse on* untuk ESC pada rentang nilai 100-140 (dalam format *byte*).

Tabel 2. Data Kalibrasi Servo Penggerak Rudder

Nomor	Lebar Pulse On	RPM
1	100 (1000us)	0
2	102 (1020us)	0
3	103 (1030us)	0
4	104 (1040us)	1918,2
5	105 (1050us)	3059,5
6	110 (1100us)	7343,9
7	120 (1200us)	10.559
8	130 (1300us)	11.554
9	135 (1350us)	12.100
10	137 (1370us)	12.150
11	140 (1400us)	12.150

2.6. Pengujian Sistem

2.6.1. Pengendalian Nirkabel pada Sistem Penggerak Kapal Tanpa Awak menggunakan PC-Remote

Setting komunikasi serial yang digunakan dalam penelitian ini adalah 9600, 8, n 1. Terdapat 2 cara untuk pengaturan kecepatan putar *propeller* menggunakan GUI. Pertama, menggunakan komponen *scroll bar*. *Range* nilai *scroll bar* dikonversi menjadi nilai untuk ESC dengan persamaan:

$$Pulsa\ ESC = (2/5 * scrollbar.position) + 100 \dots (1)$$

Cara kedua adalah menggunakan komponen *Image* (*width*=400, *height*=200) yang difungsikan sebagai *controller box*. Nilai *height* dikonversi menjadi pulsa PWM untuk ESC dengan persamaan:

$$Pulsa\ ESC = (Image.height / 5) + 100 \dots (2)$$

Nilai *width* pada komponen *Image* digunakan untuk pengendalian sudut servo *rudder*. Nilai *width* dibagi menjadi 2 area, area kiri (*width* 0-200, Gambar 6) dan area kanan (*width* 201-400). Selanjutnya nilai *width* dikonversi menjadi nilai *byte* PWM untuk servo *rudder* dengan persamaan:

$$\begin{cases} \text{if } image.width \leq 200, \\ \theta = -1 * (90 - (image.width * 200/90)) \dots(3) \\ \text{if } image.width > 200: \\ \theta = -1 * (90 - (image.width * 200/90)) \end{cases}$$

$$Pulsa\ servo\ rudder = 13/18 * \theta + 11 \dots (4)$$

Hasil pengujian respon motor penggerak dan servo *rudder* terhadap pengendalian dari PC-remote ditampilkan pada gambar 6 berikut:



Gambar 6. Respon sistem penggerak kapal terhadap pengendalian pada GUI secara wireless

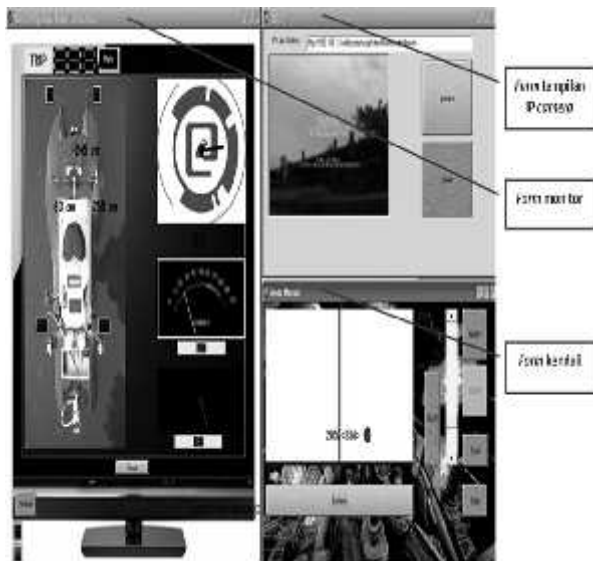
2.6.2. Penerimaan Data Monitor dari Mikrokontroler dan Data Citra dari Wireless IP Camera

Data monitor dikirimkan mikrokontroler ATmega128 setelah data kendali berhasil diterima. Selanjutnya data monitor dipecah dan ditampilkan pada *form* monitor dalam bentuk visualisasi gambar dan angka (lihat gambar 7). Data kendali dikirim dari PC-remote secara periodik. Waktu minimum untuk pengiriman data kendali dan penerimaan data monitor dengan *error* sebesar 0% adalah 300 mili second (ditampilkan pada tabel 3).

Tabel 3. Pengujian waktu minimum untuk komunikasi data antara PC-remote dengan mikrokontroler pada kapal tanpa awak

Pengujian	Interval	Error setelah n-menit
1	100ms	1
2	150ms	1
3	200ms	1,5
4	250ms	3
5	300ms	-
6	350ms	-
7	400ms	-

Perbedaan kecepatan *clock* mikrokontroler (16MHz) dibandingkan kecepatan *clock* prosesor PC-remote (dalam penelitian ini menggunakan prosesor intel dual core @1.6 GHz) menjadi kendali tersendiri untuk memperkecil *delay* komunikasi data. Untuk pengambilan data citra dari *wireless IP camera* digunakan koneksi wifi pada PC-remote dengan IP address 192.168.1.3 dan nama koneksi "SamIPCam". Pengambilan data citra pada GUI menggunakan komponen Videograbber, dengan *setting* URL <http://192.168.1.3/videostream.cgi?rate=0&user=admin&pwd=>. Keseluruhan data dari kapal tanpa awak ditampilkan sesuai gambar 7 berikut:



Gambar 7. Tampilan keseluruhan GUI pada PC-remote

2.6.3 Uji Coba di Lapangan

Selanjutnya dilakukan uji coba pada perairan. Lokasi yang digunakan adalah kolam uji coba kapal PPNS dengan ukuran 50x35 m². Kapal diarahkan tegak lurus dengan bibir kolam pada saat *start-up* dan nilai sensor kompas disimpan sebagai nilai *set point* untuk kontrol PID. *User* dapat mengendalikan kapal tanpa awak dengan melihat tampilan data sensor dan data citra pada GUI. Data tersebut ditampilkan secara *real-time* pada PC-remote. Kondisi saat *trial* pada kolam percobaan ditampilkan pada gambar 8 berikut:



Gambar 8. *Trial* kapal tanpa awak di kolam percobaan (gambar kiri) dan hasil pengambilan sampel air (gambar kanan)

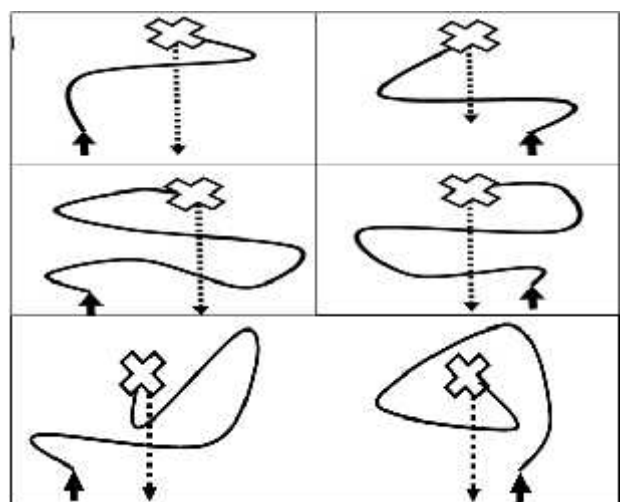
Pengambilan air dilakukan dengan menekan tombol "Aktif P1" dan "Aktif P2" pada *form* kendali (gambar 6) sehingga motor pompa pada kapal tanpa awak aktif. Pengisian air menggunakan sistem pewaktuan. Dari percobaan, didapatkan data kecepatan pompa adalah 40cc/detik. Sehingga untuk mengisi tabung 120cc dibutuhkan waktu selama 3 detik. Namun, metode ini kurang efektif, karena ada kalanya air tidak langsung tersedot saat awal pompa menyala sehingga beberapa kali tabung terisi air kurang dari 120 cc. Tabel 4 berikut merupakan data percobaan untuk pengisian air pada tabung penyimpanan:

Tabel 4. Data Percobaan Pengisian Air pada Tabung Penyimpanan

Percobaan	Pengendalian Kapal	Volume Tabung1	Volume Tabung2
1	Normal	120 cc	120 cc
2	Normal	120 cc	115 cc
3	Normal	110 cc	120 cc
4	Normal	120 cc	120 cc
Error	0 %	2.08 %	1.04 %

Algoritma *loss data detection* menggunakan fasilitas interupsi Timer3 pada mikrokontroler ATmega128. Timer3 akan menghitung lama penerimaan data kendali dari komputer *remote*. Secara normal, data kendali dikirim dari komputer *remote* setiap 300ms. Berikut adalah *rule* untuk *loss data detection*:

- Jika *loss data* kendali > 2 detik, maka hentikan putaran motor *brushless*
- Jika *loss data* kendali > 5 detik, maka eksekusi program menepi otomatis hingga sensor jarak depan < 70 meter atau *safety switch* aktif



Gambar 9. Hasil uji coba program menepi otomatis

Kontrol PID menggunakan nilai $K_p=4$, $K_i=2$, $K_d=1$. Nilai tersebut didapatkan dari hasil *trial and error* dengan waktu terkecil untuk mencapai *set point* adalah 2 detik terhadap pemberian *error* sebesar 20 derajat sudut kompas. Gambar 9 menampilkan data percobaan untuk algoritma *loss data detection*. Kapal

dikendalikan dengan lintasan acak, selanjutnya dilakukan pemutusan koneksi serial pada PC-remote (di lokasi bertanda X pada gambar 9). Dari 6 kali percobaan, mikrokontroler mendeteksi kegagalan komunikasi data dengan PC-remote dengan tingkat keberhasilan 100%. Namun, terdapat 1 kali percobaan kapal tidak berhasil menepi secara sempurna dikarenakan gangguan angin terhadap pembacaan sensor jarak. Mikrokontroler mengartikan kapal telah mencapai tepian perairan jika sensor jarak depan bernilai < 70 meter atau *safety switch* di bagian depan kapal aktif/tertekan.

3. Kesimpulan

XBee S1 dapat digunakan untuk melakukan komunikasi data serial antara mikrokontroler dengan komputer secara nirkabel. Pengiriman banyak informasi dalam bentuk 1 paket data, memberi kemudahan dalam pertukaran data antar 2 devais. Data monitor yang dikirim mikrokontroler dengan panjang 17 karakter dapat diterima secara penuh oleh PC-remote. Perbedaan kecepatan *clock* prosesor antara mikrokontroler dengan PC-remote memberi batasan selang waktu terkecil untuk pertukaran data dengan sistem umpan balik (sebesar 300ms).

Dari 4 kali percobaan, kapal tanpa awak dapat dikendalikan dengan tingkat keberhasilan sebesar 100%. Kondisi tabung penyimpanan saat terisi sampel air tidak menimbulkan gangguan pada stabilitas kapal saat bermanuver. Hanya saja, proses pengisian tabung air dengan penggunaan pewaktuan menghasilkan *error* sebesar 2.08% pada motor pompa 1 dan 1.04% pada motor pompa 2. *Wireless IP camera* yang digunakan mempunyai kepekaan yang rendah terhadap perubahan intensitas cahaya lingkungan, sehingga beberapa kali gambar yang ditampilkan pada GUI bersifat gelap.

Penggunaan interupsi Timer3 untuk mendeteksi adanya kegagalan pengiriman data kendali dari komputer *remote* mempunyai tingkat keberhasilan sebesar 100%. Namun, algoritma untuk menepi secara otomatis masih perlu mengalami penyempurnaan. Algoritma ini hanya membuat kapal bernavigasi ke pinggir perairan, namun tidak kembali ke titik awal saat *start-up*. Algoritma untuk menepi secara otomatis mempunyai tingkat keberhasilan sebesar 83.33%.

Daftar Pustaka

- [1] Aamir Zafar, Muhammad, Rauf, Ansaf, and Ashraf Zeeshan, *Design and Development of Effective Manual Control System for Unmanned Air Vehicle*, pp.349-353, 2011
- [2] "ATMega 128 data sheet," Atmel.
- [3] Suyantoro, Sigit, *Panduan Aplikatif dan Solusi (PAS) Aplikasi Cerdas Menggunakan Delphi*, Yogyakarta: Andi, 2009.
- [4] "XBee/XBee PRO RF Modules", Digi International Inc., Minnetonka, MN 55343.
- [5] Lin, Wei, *Real Time Monitoring of Electrocardiogram through IEEE802.15.4 Network*, 2011
- [6] Lutvica, Kemal, at all, *Remote Position Control of Mobile Robot Based on Visual Feedback and ZigBee Communication*, 53rd Internation Symposium ELMAR, pp.169-172, 2011

- [7] Kioumars, Amir Hoshang, *ATMega and XBee-Based Wireless Sensing, Proceedings of the 5th International Conference on Automation, Robotics, and Applications*, pp.351-359, 2011
- [8] Ali, Muhamad, *Pembelajaran Perancangan Sistem Kontrol PID dengan Software MATLAB*, Jurnal Edukasi@Elektro Vol. 1, No. 1, Oktober 2004, hlm. 1-8
- [9] Pitowarno, Endra, *ROBOTIKA: Desain, Kontrol, dan Kecerdasan Buatan*, Yogyakarta: Andi, 2006.
- [10] "CMPS03 - Devantech Magnetic Compass," DigiWare, Surabaya, Indonesia.
- [11] "Devantech SRF04 Ultrasonic Range Finder," Parallax Inc., California, USA.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Republik Indonesia yang telah memberikan beasiswa *fresh graduate* kepada penulis sehingga dapat mengikuti program pasca sarjana di Teknik Fisika ITS.

Biodata Penulis

Syamsiar Kautsar, memperoleh gelar Sarjana Sains Terapan (S.ST.), Program Studi Teknik Otomasi (Manufaktur) Politeknik Perakapalan Negeri Surabaya, lulus tahun 2013. Saat ini menjadi asisten Laboratorium Kontrol di PPNS dan sedang menempuh Program Pasca Sarjana Magister Teknik Fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Ryan Yudha Adhitya, memperoleh gelar Sarjana Sains Terapan (S.ST.), Program Studi Teknik Otomasi (Manufaktur) Politeknik Perakapalan Negeri Surabaya, lulus tahun 2013. Saat ini menjadi asisten Laboratorium Kontrol di PPNS dan sedang menempuh Program Pasca Sarjana Magister Teknik Fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember.