

PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI SISTEM KOMUNIKASI DAN KONTROL FORMASI PADA SWARM BOAT

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF COMMUNICATION SYSTEM AND FORMATION CONTROL ON SWARM BOAT

Khikmah Nur Dwi Nofanti¹, Angga Rusdinar ST, MT, PhD², Ramdhan Nugraha S.Pd., MT.³

Prodi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹khikmah.nofanti@gmail.com, ²anggarusdinar@telkomuniversity.ac.id, ³ramdhan@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

USV atau *Unmanned Surface Vehicle* merupakan kendaraan tanpa awak yang beroperasi di permukaan air. Pada penggunaannya USV telah merambah di berbagai bidang, seperti untuk pembelajaran / riset, misi penyelamatan, pertahanan serta diikutkan dalam medan pertempuran di dunia militer. Pada tujuannya untuk penyelamatan, pertahanan maupun pertempuran, dilakukan oleh banyak USV, untuk itu diperlukan koordinasi antar USV.

Koordinasi pada banyak USV dapat menggunakan metode *swarm*. *swarm* merupakan sistem kendali multi robot, yang terinspirasi dari perilaku berkoloni hewan terkhusus jenis insekta. Pada *Swarm* masing-masing individu robot berinteraksi secara lokal dengan sesama robot maupun lingkungannya.

Pada tugas akhir ini, metode *swarm* diimplementasikan pada sistem kendali multi-USV. Keluaran yang dicapai adalah formasi yang dibentuk oleh USV-USV anggota *Swarm Boat*. Formasi terbentuk dengan menempatkan USV *follower* sesuai posisi yang ditentukan dengan menyesuaikan posisi dari USV *leader*. Formasi yang terbentuk terdapat 3 bentuk, yaitu segitiga, sejajar, serta baris. Pada pengujian yang dilakukan didapat bahwa waktu untuk formasi segitiga adalah 30.04 detik, untuk formasi sejajar adalah 30.18 detik, serta formasi baris adalah 30.28 detik. Sistem pada USV ini menggunakan motor brushless sebagai aktuator yang di bantu servo untuk arah, dan sensornya menggunakan kamera *raspicam*.

Kata Kunci : Kendali multi-robot, *Swarm boat*, USV.

Abstract

USV or *Unmanned Surface Vehicle* is an unmanned vehicle operating on the water surface. In its use USV has penetrated in various fields, such as for learning / research, rescue mission, and included in the field of battle in the military world. In the case of rescue and combat, carried out by many USVs, it is necessary to coordinate between USVs.

Coordination on many USVs can use the *swarm* method. *Swarm* is a multi robot control system, which is inspired from the behavior of colonies of animals in particular types of insects. In *Swarm* each individual robot interact locally with fellow robots and their environment.

In this final project, *swarm* method is implemented on multi-USV control system. The output achieved is a formation formed by USV-USV members of *Swarm Boat*. Formation is formed by placing the USV *follower* according to the position specified by adjusting the position of the USV *leader*. Formation formed there are 3 forms, namely triangle, parallel, and line. In the test it was found that the time for the triangle formation is 30.04 seconds, for the parallel formation is 30.18 seconds, and the line formation is 30.28 seconds. The system on this USV uses a brushless motor as an actuator in the servo aids for directions, and the sensor uses a *raspicam* camera.

Keywords: Multi robot control, *Swarm boat*, USV.

1. Pendahuluan

Indonesia merupakan sebuah negara kepulauan dengan dua pertiga luas lautan lebih besar daripada daratan. Banyak ancaman datang, seperti yang dilakukan negara tetangga yang melakukan illegal fishing ataupun klaim sepihak atas pulau terluar. Dalam perkembangan teknologi kini, berkembang pula metode kendali tanpa awak. Untuk beroperasi di perairan, telah dikembangkan *unmanned surface vehicle* (USV) atau kendaraan yang beroperasi di permukaan air tanpa awak.

USV yang sudah ada, merupakan kapal perang yang beroperasi secara individu, namun dalam strategi perang yang terdiri dari beberapa kapal perang, diperlukan sistem kendali yang diterapkan di beberapa USV untuk membentuk formasi yang menunjang strategi perang. Oleh karena itu perlu dirancang USV dengan algoritma kontrol formasi tersebut.

Pada penelitian ini, USV yang dirancang akan menggunakan metode swarm robotics. Swarm robotics merupakan sebuah metode yang digunakan dalam pengendalian koordinasi sistem multi-robot[2]. Swarm Robotics menggunakan kontrol terdistribusi untuk mencapai perilaku yang terkoordinasi. Misalnya, dalam migrasi yang dilakukan sejumlah burung, mereka dengan sendirinya menempatkan diri membentuk formasi. Dengan metode tersebut formasi dari beberapa USV akan terbentuk.

2. Dasar Teori dan Perancangan

2.1 Unmanned Surface Vehicle (USV)

Unmanned Surface Vehicle (USV) merupakan sebuah wahana tanpa awak yang dapat dioperasikan di permukaan air. USV dapat dikendalikan dengan otomatis maupun dengan bantuan pilot yang mengendalikannya dari jarak jauh. USV dengan kendali otomatis termasuk jenis roboboat. USV pada umumnya memiliki ukuran panjang berkisar dari 3 hingga 5 meter. Ukuran ini mempengaruhi kecepatan dari USV itu sendiri, rata-rata USV yang memiliki ukuran 3 meter memiliki spesifikasi kecepatan hingga 27 knot atau bisa dikonversi menjadi 14 meter per detiknya[3].

Penggunaan USV yang diikutkan pada medan pertempuran digunakan sebagai alat pengintai pergerakan musuh serta sebagai alat penghancur dengan membawa peralatan persenjataan yang mumpuni. Dalam pertempuran tersebut diperlukan pertahanan yang baik, untuk menunjang pertahanan tersebut diperlukan armada yang besar dan kuat[4]. Armada dengan formasi yang sesuai akan memberikan tingkat pertahanan yang tinggi[5]. Pembentukan armada ini dapat dilakukan oleh beberapa USV yang memiliki kemampuan yang sebanding dengan kapal berawak pada umumnya.

2.2 Swarm Robotics

Swarm robotics merupakan metode yang digunakan untuk sistem kendali koordinasi multi-robot[6]. Metode ini muncul dilandaskan pada perilaku kolektif suatu sistem yang dapat mengatur dirinya sendiri. Swarm robotics juga dapat disebut kecerdasan berkoloni, disebut demikian karena tingkah laku hewan yang suka berkoloni untuk suatu tujuan.

Berikut merupakan kriteria yang ada untuk menjelaskan bagaimana Swarm Robotics tersebut, yaitu [6] :

1. Robot anggota swarm adalah robot yang sistemnya berupa autonomous, serta robot ini mampu berkesinambungan dengan lingkungan disekitarnya.
2. Jumlah dari robot anggota swarm lebih dari satu atau minimal sesuai dengan aturan kendalinya.
3. Robot anggota yang terlibat merupakan robot yang homogen atau robot yang keseluruhannya sama.
4. Robot tidak mampu berdiri sendiri dalam mencapai tujuan yang diberikan, robot harus berkolaborasi untuk mencapai tujuan serta menyelesaikan masalah yang ada.
5. Robot memiliki komunikasi lokal dan kemampuan untuk mendeteksi keadaan. Ini menjamin bahwa koordinasi terdistribusi dengan baik serta tercapainya formasi.

Penerapan swarm robotics pada wilayah laut sudah beragam, seperti untuk penarikan kapal yang sudah tidak berfungsi, mengangkut komponen lepas pantai yang besar seperti untuk pengeboran minyak dan gas, serta menempatkan peralatan pengamanan pesisir [7].

2.3 Komunikasi Nirkabel (Wireless)

Wireless adalah koneksi antar suatu perangkat dengan perangkat lainnya tanpa menggunakan kabel atau suatu metode yang digunakan untuk mengirim sinyal tanpa menggunakan kabel. Gelombang radio / elektromagnetik dan sinar infra merah merupakan dua jenis media yang biasa digunakan dalam komunikasi wireless[8]. Pada komunikasi wireless terdapat pengirim (transmitter) dan penerima (receiver). Transmitter berfungsi untuk mengirimkan data dengan bentuk gelombang radio ke tempat lain. Sedangkan receiver merupakan bagian yang difungsikan untuk menerima sinyal atau data yang dikirimkan oleh transmitter.

2.3.1. RF (Radio Frequency)

Komunikasi Radio Frequency (RF), merupakan komunikasi wireless atau komunikasi yang menggunakan gelombang elektromagnetik tanpa ada koneksi fisik. Gelombang elektromagnetik merepresentasikan semua frekuensi. Spektrum Radio Frequency (RF) menempati range 9 KHz - 300 GHz. Komunikasi RF biasanya digunakan dalam komunikasi jarak jauh. Dalam kaitannya dengan telekomunikasi dalam komunikasi jarak jauh dapat dibedakan atas 3 macam, yaitu :

1. Komunikasi satu arah (Simplex), yaitu pengirim dan penerima informasi tidak dapat menjalin komunikasi yang bersinambungan melalui media yang sama.
2. Komunikasi dua arah (Duplex), yaitu pengirim dan penerima informasi dapat menjalin komunikasi yang bersinambungan melalui media yang sama.
3. Komunikasi semi dua arah (Half Duplex), yaitu pengirim dan penerima informasi berkomunikasi secara bergantian di media yang sama namun tetap berkesinambungan.

2. 4. Mikrokontroler

Mikrokontroler adalah sebuah chip yang berfungsi sebagai pengendali rangkaian elektronik dan umumnya dapat menyimpan program. Mikrokontroler terdiri dari CPU (Central Processing Unit), memori, Input/Output tertentu dan unit pendukung seperti Analog-to-Digital Converter (ADC) yang sudah terintegrasi di dalamnya. Kelebihan utama dari mikrokontroler ialah tersedianya RAM dan peralatan Input/Output pendukung sehingga ukuran papan mikrokontroler menjadi sangat ringkas.

2. 5. Single Board Computer

Single Board Computer (SBC) adalah komputer yang lengkap dibangun pada papan sirkuit tunggal, berikut mikroprosesor, memori, input / output dan fungsi lain yang dibutuhkan pada sebuah komputer fungsional. Banyak jenis komputer portabel yang mengintegrasikan semua fungsi mereka ke sebuah papan sirkuit tunggal. Berbeda dengan komputer dekstop, SBC tidak bergantung pada port untuk terhubung ke suatu fungsi karena sudah adanya GPIO (General Purpose Input Output).

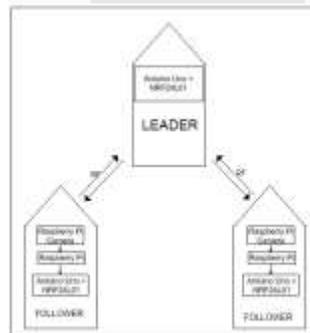
2. 6. Motor Brushless

Brushless Motor, merupakan salah satu jenis motor DC. Motor DC adalah motor listrik yang memerlukan suplai tegangan arus searah pada kumparan medan untuk diubah menjadi energi gerak mekanik. Ini adalah jenis motor DC yang tidak memiliki sikat (brush), menggunakan bahan semikonduktor untuk merubah maupun membalik arah putarannya untuk menggerakkan motor, serta tingkat kebisingan motor jenis ini rendah karena putarannya halus.

2. 7. Motor Servo

Motor servo merupakan aktuator yang terdiri dari motor DC, serangkaian gerar, potensiometer, serta rangkaian pengendali. Bagian-bagian tersebut memiliki fungsinya masing-masing. Potensiometer di motor servo digunakan sebagai pembatas sudut yang dapat diberikan motor servo. Untuk sudut motor servo diatur berdasar lebar pulsa yang diberikan dari kaki sinyal yang terhubung dengan kabel data.

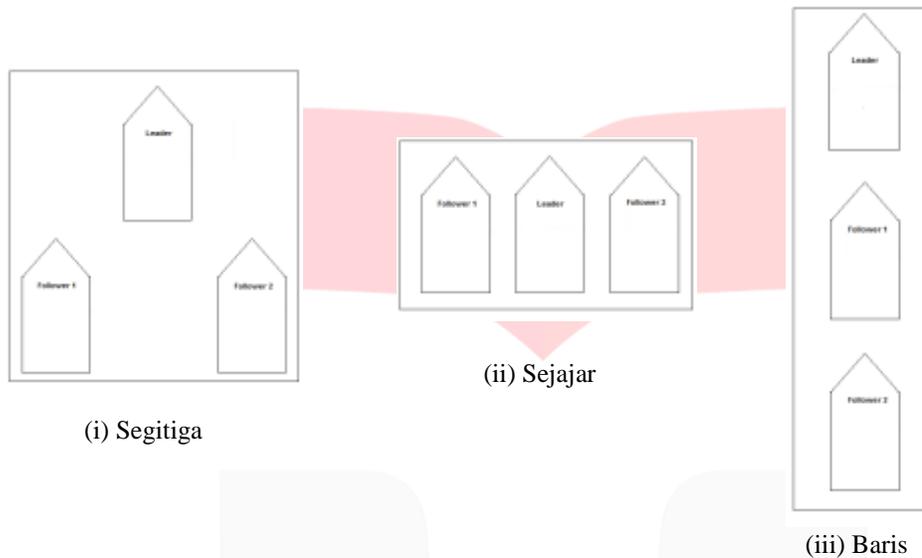
2.8. Perancangan Sistem



Gambar Error! No text of specified style in document.1. Perancangan Sistem Komunikasi dan Kontrol Formasi

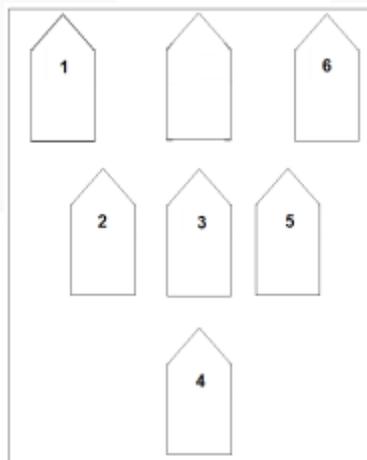
Pada gambar 1 menunjukkan bahwa leader dan follower berkomunikasi menggunakan RF (Radio Frequency). Pada leader ketika berfungsi sebagai TX / transmitter (pengirim), itu mengirimkan data formasi ke masing-masing follower. Sedangkan pada fungsinya sebagai RX / receiver (penerima), itu akan menerima feedback atau umpan balik yang dikirimkan dari masing-masing follower. Umpan balik ini berupa tanda bahwa masing-masing follower telah menempati posisinya.

Ketika follower berfungsi sebagai RX, itu akan menerima perintah yang dikirimkan oleh leader. Perintah tersebut selanjutnya akan diproses pada Arduino untuk menentukan posisi. Dalam menentukan posisi ini juga melibatkan data dari pembacaan image processing. Data tersebut disandingkan dengan perintah formasi, sehingga didapat posisi untuk setiap follower. Setelah didapat posisi tersebut maka follower akan menjadi TX, yang akan mengirimkan tanda ke leader.



Gambar 2. Bentuk Formasi

Gambar 2 menunjukkan bagaimana formasi akan terbentuk dari satu leader serta dua follower. Ketika formasi segitiga maka follower harus menempati posisi 2 dan 5, lalu ketika formasi sejajar maka follower harus menempati posisi 1 dan 6, serta ketika formasi baris maka follower harus menempati posisi 3 dan 4. Untuk penomoran pada posisi-posisi tersebut akan ditunjukkan pada gambar 3 dibawah ini.

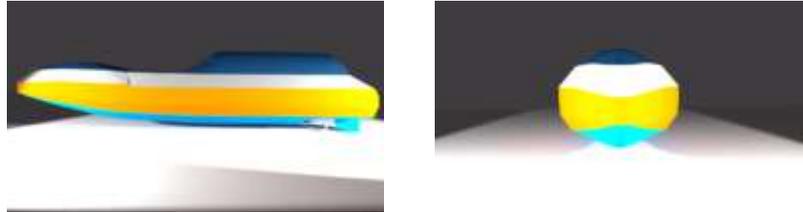


Gambar 3. Penempatan posisi untuk pembentukan formasi

Untuk penempatan posisi ini mengambil data dari hasil image processing. Image processing dilakukan untuk mendapat keluaran kartesian (x,y) dari USV teman. Untuk mendapatkan hasil keluaran tersebut digunakan Raspberri Camera (Raspicam) yang terhubung ke Mini Komputer Raspberri Pi sehingga menghasilkan koordinat x dan y dengan satuan sentimeter. Hasil dari Raspicam ini dikirim secara serial ke Arduino Uno.

2.9. Perancangan Mekanik

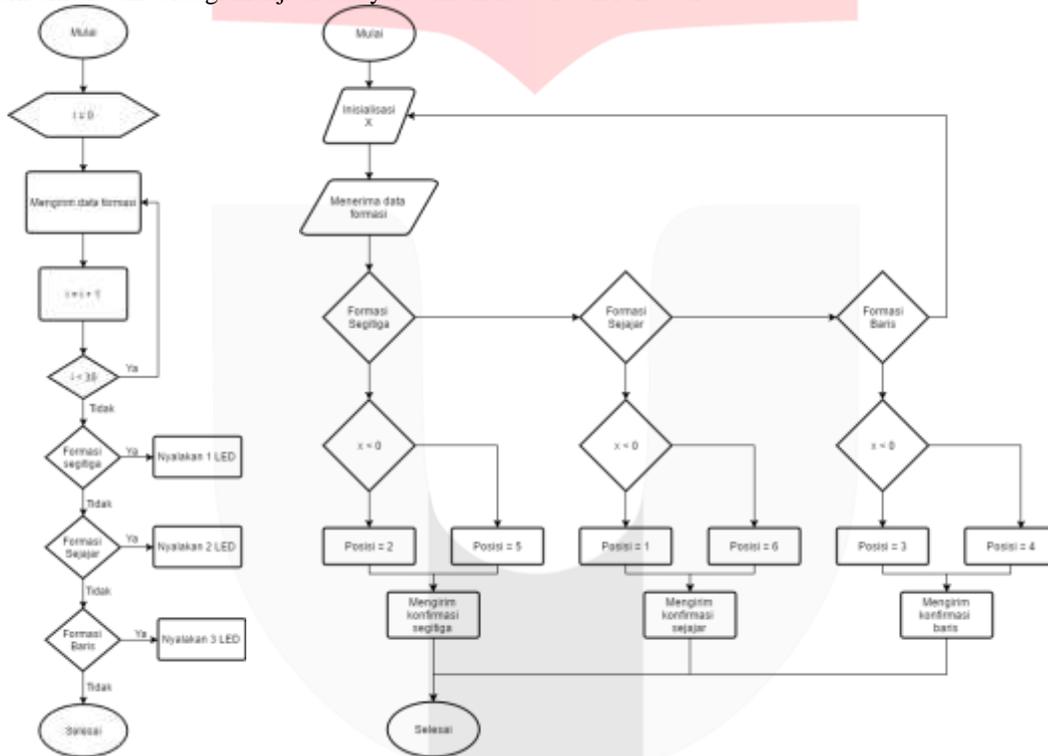
Pada perancangan mekanik dibuat desain kapal yang nantinya sebagai dasar sistem. Bagian lambung kapal merupakan bagaian yang dapat mempengaruhi kecepatan serta kestabilan kapal. Karena itu dipilih bentuk lambung V, karena bentuk lambung ini biasa digunakan untuk kapal yang berkecepatan tinggi dan memiliki hambatan yang kecil sehingga lebih hemat dalam penggunaan daya battery.



Gambar 4. Perancangan desain kapal tampak samping dan tampak depan

2.10 Diagram Alir Sistem

Diagram alir sistem terbagi menjadi dua yaitu untuk leader dan follower.



Gambar 5. Flowchart leader dan follower

Untuk leader, ketika berfungsi sebagai TX, ia akan mengirimkan data atau perintah untuk melakukan suatu formasi. Pada pengiriman menggunakan pengulangan untuk mengirim data formasi. Pengulangan ini berlangsung selama 30 detik untuk setiap formasi. Selama pengulangan data formasi dikirim menggunakan komunikasi RF (Radio Frequency). Ketika leader berfungsi sebagai RX, ia akan menerima data dari masing-masing follower yang berisi bahwa follower telah menempati posisi dan membentuk formasi. Data yang diterima ini akan menghidupkan LED sebagai tanda bahwa formasi telah terbentuk. Untuk formasi segitiga, satu buah LED akan hidup, ketika formasi sejajar ada dua buah LED yang hidup, serta tiga buah LED hidup untuk menandakan bahwa formasi baris terbentuk.

Pada kedua follower, masing-masing terlebih dahulu membaca x dari hasil image processing. Nilai x ini yang nantinya akan menentukan posisi dari pada USV follower. Saat ini follower berfungsi sebagai RX yang akan menerima data atau perintah pembentukan formasi. Jika yang dikirim formasi segitiga maka x akan menentukan

posisi 2 atau 5, untuk formasi sejajar, x akan menentukan posisi 1 atau 6, serta formasi baris, x akan menentukan posisi 3 atau 4. Selanjutnya, setelah menempati posisi masing-masing, maka follower akan berfungsi sebagai TX yang akan mengirimkan feedback atau konfirmasi bahwa ia sudah berada di posisinya ke leader.

3. Uji Cobadan Analisa

3.1. Pengujian Komunikasi 1 Penerima

Pada bagian ini dilakukan untuk mengetahui hasil dan akurasi komunikasi yang dilakukan oleh satu pengirim dan satu penerima. Pada pengujian ini terdapat satu data pengirim dan satu penerima. Pada data pengirim ditampilkan pada Arduino IDE Serial Monitor melalui laptop. Lalu pada data penerima ditampilkan oleh LCD 20x4.

Table 1. Pengujian Komunikasi NRF24L01 satu penerima

| Pengujian Ke- | Transmitter | | Receiver | |
|---------------|-------------|-----------|----------|-----------|
| | Data | Waktu (s) | Data | Waktu (s) |
| 1 | 1 | 30 | Segitiga | 30.1 |
| | 2 | 30 | Sejajar | 30.3 |
| | 3 | 30 | Baris | 30.2 |
| 2 | 1 | 30 | Segitiga | 30.8 |
| | 2 | 30 | Sejajar | 29.9 |
| | 3 | 30 | Baris | 30.1 |
| 3 | 1 | 30 | Segitiga | 29.4 |
| | 2 | 30 | Sejajar | 29.6 |
| | 3 | 30 | Baris | 30.6 |
| 4 | 1 | 30 | Segitiga | 29.6 |
| | 2 | 30 | Sejajar | 30.9 |
| | 3 | 30 | Baris | 30.3 |
| 5 | 1 | 30 | Segitiga | 30.3 |
| | 2 | 30 | Sejajar | 30.2 |
| | 3 | 30 | Baris | 30.2 |

Berdasarkan pengujian satu penerima dapat dilihat waktu untuk setiap formasi, dengan perhitungan rata-ratanya. Maka dari hasil perhitungan didapat nilai rata-rata untuk masing-masing formasi untuk satu penerima. Pada formasi segitiga nilai rata-ratanya adalah 30.04 s, formasi sejajar adalah 30.18 s, lalu pada formasi baris adalah 30.28 s. Dari data tersebut dapat disimpulkan dalam pengiriman yang ditujukan untuk 1 penerima memiliki selisih yang kecil dari waktu yang ditentukan, hal ini dikarenakan pengiriman yang dilakukan NRF24L01 memiliki delay yang sangat kecil sehingga data terus-menerus terkirim.

3.2. Pengujian Komunikasi 2 Penerima

Pada bagian ini dilakukan untuk mengetahui hasil dan akurasi komunikasi yang dilakukan oleh satu pengirim dan dua penerima. Pada pengujian ini terdapat satu data pengirim dan dua penerima. Pada data pengirim ditampilkan pada Arduino IDE Serial Monitor melalui laptop. Lalu pada data penerima ditampilkan oleh LCD 20x4 serta Serial Monitor.

Table 2. Pengujian Komunikasi NRF24L01 dua penerima

| Pengujian Ke- | Leader | | Follower I | | Follower II | |
|---------------|--------|-----------|------------|-----------|-------------|-----------|
| | Data | Waktu (s) | Data | Waktu (s) | Data | Waktu (s) |
| 1 | 1 | 30 | Segitiga | 30.9 | Segitiga | 30.8 |
| | 2 | 30 | Sejajar | 29.9 | Sejajar | 29.8 |
| | 3 | 30 | Baris | 29.4 | Baris | 30.5 |
| 2 | 1 | 30 | Segitiga | 30.1 | Segitiga | 30.2 |
| | 2 | 30 | Sejajar | 30.4 | Sejajar | 30.4 |
| | 3 | 30 | Baris | 29.3 | Baris | 30.8 |
| 3 | 1 | 30 | Segitiga | 30.1 | Segitiga | 30.2 |
| | 2 | 30 | Sejajar | 30.8 | Sejajar | 30.9 |
| | 3 | 30 | Baris | 30.4 | Baris | 29.4 |
| 4 | 1 | 30 | Segitiga | 29.3 | Segitiga | 29.4 |

| | | | | | | |
|---|---|----|----------|------|----------|------|
| 5 | 2 | 30 | Sejajar | 30.2 | Sejajar | 30.3 |
| | 3 | 30 | Baris | 29.9 | Baris | 30.7 |
| | 1 | 30 | Segitiga | 29.5 | Segitiga | 29.6 |
| | 2 | 30 | Sejajar | 29.8 | Sejajar | 29.9 |
| | 3 | 30 | Baris | 30.4 | Baris | 30.6 |

Berdasarkan pengujian dua penerima dapat dilihat waktu untuk setiap formasi, dengan perhitungan rata-ratanya. Maka dari hasil perhitungan didapat nilai rata-rata untuk masing-masing formasi untuk dua penerima. Pada penerima pertama, formasi segitiga nilai rata-ratanya adalah 29.98 s, formasi sejajar adalah 30.22 s, lalu pada formasi baris adalah 29.88 s. Sedangkan pada penerima kedua formasi segitiga nilai rata-ratanya adalah 30.04 s, formasi sejajar adalah 30.26 s, lalu pada formasi baris adalah 30.4 s. Nilai rata-rata pada Receiver 2 memiliki hasil sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan Receiver 1, itu dikarenakan pada pengiriman terlebih dahulu mengirim data untuk Receiver 1 lalu dilanjutkan untuk Receiver 2, dengan delay yang sangat kecil.

3.3. Pengujian Formasi ke Posisi

Pada bagian ini dilakukan untuk mengetahui hasil dan akurasi perbandingan dari data yang diinginkan dengan posisi sebenarnya. Pada pengujian ini terdapat 3 USV yang beroperasi, data formasi terkirim dapat dilihat dari Serial Monitor pada laptop yang telah terhubung dengan Arduino Uno dan modul NRF24L01. Data posisi dapat dilihat di kenyataan bagaimana USV menentukan posisi.

Table 3. Pengujian Formasi dan Posisi

| Pengujian Ke- | Follower I | | | Follower II | | |
|---------------|------------|--------|--------|-------------|--------|--------|
| | Data | X (cm) | Posisi | Data | X (cm) | Posisi |
| 1 | Segitiga | -8 | 2 | Segitiga | 10 | 5 |
| | Sejajar | -3 | 1 | Sejajar | 33 | 6 |
| | Baris | -17 | 3 | Baris | 16 | 4 |
| 2 | Segitiga | -7 | 2 | Segitiga | 43 | 5 |
| | Sejajar | -10 | 1 | Sejajar | 4 | 6 |
| | Baris | -8 | 3 | Baris | 26 | 4 |
| 3 | Segitiga | -10 | 2 | Segitiga | 0 | 5 |
| | Sejajar | 31 | 1 | Sejajar | 14 | 6 |
| | Baris | -24 | 3 | Baris | 21 | 4 |
| 4 | Segitiga | -9 | 2 | Segitiga | 4 | 5 |
| | Sejajar | -24 | 1 | Sejajar | 5 | 6 |
| | Baris | -12 | 3 | Baris | 27 | 4 |
| 5 | Segitiga | -3 | 2 | Segitiga | 12 | 5 |
| | Sejajar | -9 | 1 | Sejajar | 33 | 6 |
| | Baris | -10 | 3 | Baris | 28 | 4 |

Dari hasil pengujian tersebut menampilkan data x hasil *image processing*. Data x tersebut menentukan posisi dari masing-masing USV. Ketika posisi *leader* berada di sisi kiri USV Receiver 1, maka nilai x akan minus atau kurang dari nol. Sehingga ketika formasi yang dikirimkan adalah segitiga maka akan USV 1 akan menempati posisi 2, jika sejajar di posisi 1, dan baris di posisi 3. Sedangkan ketika posisi *leader* ada di sisi kanan USV Receiver 2 maka nilai x akan lebih besar dari nol. Sehingga ketika formasi segitiga, Receiver 2 berada di posisi 5, pada formasi sejajar berada di posisi 6, serta pada formasi baris berada di posisi 4.

3.4. Pengujian Formasi Tercapai

Pada bagian ini dilakukan untuk mengetahui hasil dan akurasi apakah formasi dapat terbentuk dan *follower* berada di posisi yang sesuai. Pada pengujian ini terdapat 3 USV yang beroperasi, data formasi tercapai dilihat dari berapa LED yang hidup. Pada perancangan LED hidup selama 5 detik.

Table 4. Pengujian formasi tercapai

| Pengujian | Formasi | Posisi | | LED (buah) | Waktu (s) |
|-----------|----------|------------|------------|------------|-----------|
| | | Follower 1 | Follower 2 | | |
| 1 | Segitiga | 2 | 5 | 1 | 1 |
| | Sejajar | 1 | 6 | 2 | 3 |

| | | | | | |
|---|----------|---|---|---|---|
| | Baris | 3 | 4 | 3 | 5 |
| 2 | Segitiga | 2 | 5 | 1 | 2 |
| | Sejajar | 1 | 6 | 2 | 4 |
| | Baris | 3 | 4 | 3 | 5 |
| 3 | Segitiga | 2 | 5 | 1 | 4 |
| | Sejajar | 1 | 6 | 2 | 5 |
| | Baris | 3 | 4 | 3 | 1 |
| 4 | Segitiga | 2 | 5 | 1 | 5 |
| | Sejajar | 1 | 6 | 2 | 2 |
| | Baris | 3 | 4 | 3 | 1 |
| 5 | Segitiga | 2 | 5 | 1 | 3 |
| | Sejajar | 1 | 6 | 2 | 5 |
| | Baris | 3 | 4 | 3 | 5 |

Tabel tersebut menampilkan data *leader*, yang menerima dari masing-masing *follower*. Data tersebut menampilkan waktu LED hidup untuk mengindikasikan formasi tercapai. Seharusnya LED hidup selama 5 detik namun karena waktu yang dibutuhkan mengirim pada masing-masing *follower* berbeda sehingga LED hidup kurang dari sama dengan 5 detik, untuk setiap formasinya. Waktu pengiriman yang berbeda dari tiap *follower* dikarenakan data yang masuk ke *leader* berurutan karena menggunakan komunikasi serial.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisa yang telah dilakukan pada perancangan sistem komunikasi dan kendali formasi Swarm ini, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Komunikasi *radio frequency* dengan modul NRF24L01, yang menghubungkan 3 buah USV, dengan satu sebagai *leader* dan dua lainnya menjadi *follower* telah berhasil diterapkan serta tidak menghasilkan delay yang terlihat mempengaruhi sistem lain.
2. Algoritma formasi dengan penentuan posisi dari masing-masing formasi dapat diterapkan dengan membandingkan nilai x dari hasil pembacaan *image processing*. Jika x kurang dari nol, *follower* menempati sisi kanan, jika x lebih dari nol, *follower* menempati sisi kiri. Ketika berbaris, x kurang dari nol, *follower* berada di tengah, dan lainnya di paling belakang barisan.
3. Formasi yang menempatkan *follower* tetap dekat dengan *leader*, menghasilkan bahwa metode *swarm* dapat diimplementasikan terhadap USV, sehingga tercipta *swarm boat*.

Daftar Pustaka

- [1] Siswandi. B, H. Agoes Santoso, Tony Bambang Musriyadi, (2012), "Perencanaan Unmanned Surface Vehicle (USV) Ukuran 3 Meter Tipe Serbu Cepat", JURNAL TEKNIK ITS Vol. 1, No. 1, (Sept. 2012) ISSN: 2301-9271
- [2] Joel M. Esposito, (2010), "Decentralized Cooperative Manipulation with a Swarm of Mobile Robots: the approach problem", 2010 American Control Conference, 978-1-4244-7427-1/10
- [3] Arif Musa Kusuma Wardhana. Dr.Ir Aulia Siti Asijah, MT. Suwito, ST.MT, (2012), "Perancangan Sistem Komunikasi Wireless Pada Kapal (MCST1- Ship Autopilot) Dengan Media Komunikasi RF Untuk Mendukung Sistem Autopilot", Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- [4] Ian O'Hara, James Paulos, Jay Davey, Nick Eckenstein, Neel Doshi, Tarik Tosun, Jonathan Greco, Jungwon Seo, Matt Turpin, Vijay Kumar and Mark Yim, (2014), "Self-Assembly of a Swarm of Autonomous Boats into Floating Structures", 2014 IEEE International Conference on Robotics & Automation (ICRA), 978-1-4799-3685-4/14
- [5] Iñaki Navarro and Fernando Matía, (2013), "Review Article An Introduction to Swarm Robotics", Hindawi Publishing Corporation, ISRN Robotics, DOI : 10.5402/2013/608164
- [6] Nugroho. Guntur Donny, (2011), "STUDI PERANCANGAN STEERING SYSTEM PADA UNMANNED SURFACE ATTACK BOAT (USAB) 9 METER BERBASIS MICRO CONTROLLER", Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya
- [7] Sayidiman Suryohadiprojo. 2005. *Si Vis Pacem Para Bellum: Membangun Pertahanan Negara Yang Modern Dan Efektif*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- [8] Sekolah Staf dan Komando ABRI (Indonesia). Bagian Laut, Lembaga Pertahanan Maritim. 1978. *Dharma Wiratama: Majalah Resmi SESKO ABRI Bagian Laut, Masalah 37*.
- [9] Sukiswo, (2014), Telekomunikasi Seluler, Lecture Handout : Komunikasi Wireless, Universitas Diponegoro, Semarang.