

**MIPA**

**Laporan Hasil Penelitian Unggulan Perguruan Tinggi  
Tahun Anggaran 2012**



**Perancangan Kendali untuk Formasi Gerak Wahana Transportasi  
Melalui Fenomena Swarm dengan Pengaruh Pemimpin**

**Ketua Peneliti : Dr. Miswanto, M.Si.  
Anggota Peneliti : Dr. Janson Naiborhu  
Dr. Aries Sulisetyono**

Dibiayai oleh DIPA Universitas Airlangga sesuai dengan  
Surat Keputusan Rektor Tentang Kegiatan Penelitian Unggulan Perguruan Tinggi  
Tahun Anggaran 2012 Nomor: 2613/H3/KR/2012, Tanggal 9 Maret 2012

**FAKULTAS SAIN DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS AIRLANGGA  
2012**

**Laporan Hasil Penelitian Unggulan Perguruan Tinggi  
Tahun Anggaran 2012**



**Perancangan Kendali untuk Formasi Gerak Wahana Transportasi  
Melalui Fenomena Swarm dengan Pengaruh Pemimpin**

**Ketua Peneliti : Dr. Miswanto, M.Si.  
Anggota Peneliti : Dr. Janson Naiborhu  
Dr. Aries Sulisetyono**

Dibiayai oleh DIPA Universitas Airlangga sesuai dengan  
Surat Keputusan Rektor Tentang Kegiatan Penelitian Unggulan Perguruan Tinggi  
Tahun Anggaran 2012 Nomor: 2613/H3/KR/2012, Tanggal 9 Maret 2012

**FAKULTAS SAIN DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS AIRLANGGA  
2012**

**HALAMAN PENGESAHAN**

1. Judul : Perancangan Kendali untuk Formasi Gerak Wahana  
Transportasi Melalui Fenomena Swarm dengan  
Pengaruh Pemimpin.
2. Ketua Peneliti :
- a. Nama Lengkap : Dr. Miswanto, M.Si.
  - b. Jenis Kelamin : Laki-laki
  - c. NIP : 196802041993031002
  - d. Pangkat/Golongan : Penata/III-c
  - e. Jabatan Fungsional : Lektor
  - f. Bidang Keahlian : Teori Kontrol
  - g. Fakultas/Prodi : Sains dan Teknologi/S1 Matematika
  - h. Perguruan Tinggi : Universitas Airlangga

Tim Peneliti:

No	NAMA PENELITI	BIDANG KEAHLIAN	FAKULTAS	PERGURUAN TINGGI
1	Dr. Miswanto, M.Si.	Teori Kontrol	Sains dan Teknologi	UNAIR
1	Dr. Janson Naiborhu	Teori Kontrol	MIPA	ITB
2	Dr. Aries Sulisetyono	Desain Kapal	Teknik Kelautan	ITS

3. Pendanaan dan jangka waktu penelitian

- Jangka waktu penelitian yang diusulkan : 2 tahun
- Biaya yang diusulkan : Rp. 100000000,
- Biaya yang disetujui tahun ini : Rp. 35.000.000,-

Surabaya, 30 Oktober 2012  
Ketua Peneliti,



Mengetahui  
Dekan Fak. Sains dan Teknologi,

Prof. Win Darmanto, M.Si., Ph.D  
NIP. 196106161987011001

Dr. Miswanto, M.Si.  
NIP. 196802041993031002

Menyetujui,  
Ketua Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat



Dr. Djoko Agus Purwanto, Apt., M.Si.  
NIP 195908051987011001

## RINGKASAN

Fenomena gerak bergerombol (*Swarm*) yang terjadi pada beberapa makhluk hidup sering dijumpai di alam. Dengan fenomena *swarm*, tugas atau suatu pekerjaan dituntaskan secara bersama oleh semua anggota *swarm*. Penelitian ini memanfaatkan perilaku *swarm* di alam untuk pengendalian sekumpulan wahana transportasi yang bergerak mengikuti lintasan gerak pemimpin dengan formasi geometri tertentu. Oleh karena itu penelitian ini juga membahas pemodelan *swarm* yang dipengaruhi oleh pemimpin. Pada pemodelan ini sekelompok wahana transportasi dibagi menjadi dua bagian, yaitu bagian pemimpin yang bersifat *independent* terhadap anggota yang lain dan bagian anggota yang lintasan geraknya bergantung pada lintasan gerak pemimpin. Hubungan antara kedua bagian ini akan dimodelkan dan dicari kondisi-kondisi yang mengoptimalkan gerakan sekelompok wahana tersebut. Wahana transportasi yang dibahas dalam penelitian ini adalah model Dubin's dan model Kapal. Pada penelitian tahun pertama ini dibahas model Dubin's tiga anggota dengan salah satu anggota berfungsi sebagai pemimpin. Pertama-tama didesain kendali gerak pemimpin dengan *tracking error dynamics* guna melakukan *tracking* terhadap suatu lintasan yang ditentukan dari suatu posisi ke posisi lain. Berdasarkan hasil simulasi numerik diperoleh bahwa *error* antara lintasan pemimpin dengan lintasan yang ditentukan cukup minimal juga simulasi numerik untuk tiga anggota menunjukkan bahwa lintasan anggota dapat mengikuti lintasan pemimpin. Sedangkan desain kendali untuk anggota yang lain menggunakan posisi dan orientasi pemimpin sebagai umpan balik (*feedback*) bagi anggota yang lain. Pada awal penelitian, gerak dari tiga wahana akan dibahas. Selanjutnya, jumlah wahana yang gerak bergerombol akan ditingkatkan.

## SUMMARY

Phenomenon of the collective motion is happen of organisms in groups often found in nature. With the phenomenon swarming, task or a job is done by all members of the swarm. This research utilizes a swarm behaviors in nature to control the collective motion of the vehicle tranportations. This research models the collective motion of the vehicle follow the leader trajectories with the formation of a particular geometry. Therefore, this research also discusses modeling swarm influenced by the leader. In this group of vehicle transport modeling is divided into two parts, namely the leader who is independent of the other members and the members who depend on the trajectory of motion trajectories leader. The relationship between the two parts will be modeled and sought conditions that optimize the movement of the vehicle. The research discuss about Dubin's models and model ship. In the first year of the research are discussed model of Dubin's three members with one member serves as leader First, the control design of motion of the leader using tracking error dynamics and sliding mode control to tracking of a desired path from a position to another. The results numerical simulation show that the error between the trajectory of the leader with a track set fairly minimal. The numerical simulations also show that the three members of the track members can follow the trajectory of the leader. While the control design for other members using the position and orientation of the leader feedback for other members. At baseline, the motion of the three members will be discussed. Furthermore, the number of vehicle movements will be improved.



## ABSTRAK

**Swarm** merupakan fenomena gerak bergerombol yang sering dijumpai di alam. Penelitian ini memodelkan fenomena gerak bergerombol (*swarm*) dan memanfaatkannya untuk pengendalian sekumpulan gerak wahana transportasi. Penelitian ini membahas permasalahan pengendalian *optimal tracking* dari *swarm* yang anggotanya bergerak dengan formasi geometri tertentu. Pada pemodelan ini sekelompok wahana transportasi dibagi menjadi dua bagian, yaitu bagian pemimpin yang bersifat *independent* terhadap anggota yang lain dan bagian anggota yang lintasan gerakanya bergantung pada lintasan gerak pemimpin. Pertama-tama didesain kendali gerak pemimpin dengan *tracking error dynamics* dan *sliding mode control* guna melakukan *tracking* terhadap suatu lintasan yang ditentukan dari suatu posisi ke posisi lain. Sedangkan desain kendali untuk anggota yang lain menggunakan posisi dan orientasi pemimpin sebagai umpan balik (*feedback*) bagi anggota yang lain.

**Kata kunci:** *Swarm, independent, tracking error dynamics, sliding mode control*

## ABSTRACT

Swarming is a phenomenon the collective motion that is often found in nature. This research models phenomenon the collective motion and The utilizes to control the collective motion of the vehicle tranportations. This research discusses the optimal tracking control problem for swarm whose agents together in a specific geometry formation. In this group of vehicle transport modeling is divided into two parts, namely the leader who is independent of the other members and the members who depend on the trajectory of motion trajectories leader. The relationship between the two parts will be modeled and sought conditions that optimize the movement of the vehicle. First, the control design of motion of the leader using tracking error dynamics and sliding mode control to tracking of a desired path from a position to another. While the control design for other members using the position and orientation of the leader feedback for other members.

**Keywords:** *Swarm, independent, tracking error dynamics, sliding mode control*

## KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan laporan penelitian ini.

Pada kesempatan ini penulis menyampaikan rasa terima kasih kepada :

1. Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat Universitas Airlangga, yang telah membiayai penelitian ini melalui dana DIPA Universitas Airlangga.
2. Rektor Universitas Airlangga dan ketua lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat Universitas Airlangga, yang telah menyetujui dan memproses usulan penelitian ini.
3. Dekan FMIPA universitas Airlangga, yang telah memberikan persetujuan penelitian ini.
4. Ketua Departemen Matematika yang telah memberikan rekomendasi penelitian ini.
5. Dr. Janson Naiborhu dan Dr. Aries Sulistyono yang bersedia meluangkan waktunya untuk berdiskusi tentang desain kendali system multi agen.
6. Teknisi Departemen Matematika, Sumilan yang banyak membantu penulis dalam membuat program untuk penelitian.
7. Bagian Tata Usaha Departemen Matematika, Edi Wiroso dan Agus Nuryadi yang banyak membantu sehingga penelitian dapat diselesaikan.

Penulis menyadari bahwa penelitian ini masih jauh dari sempurna oleh karena itu saran dan kritik yang membangun sangat diharapkan.

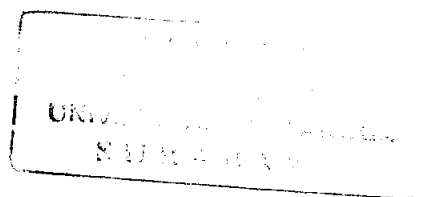
Surabaya, Oktober 2012

Penulis

**SISTEMATIKA LAPORAN  
HIBAH PENELITIAN UNGGULAN PERGURUAN TINGGI**

**DAFTAR ISI**

	Halaman
LEMBAR IDENTITAS DAN PENGESAHAN .....	i
A. LAPORAN HASIL PENELITIAN	
RINGKASAN DAN SUMMARY .....	ii
ABSTRAK .....	iii
PRAKATA .....	iv
DAFTAR ISI .....	v
DAFTAR TABEL .....	vi
DAFTAR GAMBAR .....	vii
DAFTAR LAMPIRAN .....	viii
BAB I PENDAHULUAN .....	1
I.1. Latar Belakang Masalah .....	1
I.2. Batasan dan Asumsi Penelitian .....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	4
BAB III TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN .....	7
III.1. Tujuan Penelitian .....	7
III.2. Manfaat Penelitian .....	7
BAB IV METODE PENELITIAN .....	8
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN .....	10
V.1. Swarm dengan Pengaruh Pemimpin .....	10
V.2. Kendali Formasi Sistem Dubin's Tiga Anggota dengan Pendekatan Geometri .....	13
V.2.1. Desain Kendali Pemimpin .....	14
V.2.2. Kendali Gerak Anggota .....	15
V.2.2.1. Kendali Gerak Anggota Pertama.....	15
V.2.2.1. Kendali Gerak Anggota Kedua .....	16
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN .....	18
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	



**DAFTAR TABEL**

	Halaman
TABEL 1. ....	12
TABEL 1. ....	16



**DAFTAR GAMBAR**

	Halaman
GAMBAR 1.....	12
GAMBAR 2.....	13
GAMBAR 3.....	15
GAMBAR 4.....	16
GAMBAR 5.....	17

**DAFTAR LAMPIRAN**

LAMPIRAN 1 : Publikasi Artikel Ilmiah

LAMPIRAN 2 : Biodata Anggota Peneliti

## BAB I PENDAHULUAN

### I.1. Latar Belakang Masalah

**Swarm** merupakan suatu fenomena gerak menggerombol yang dapat ditemukan di alam pada beberapa makhluk hidup, mulai dari makhluk hidup yang sederhana (bakteri) sampai pada mamalia. Fenomena *swarm* dapat terjadi di darat, laut dan udara. Fenomena *swarm* merupakan fenomena gerak secara bersama-sama dari setiap anggota *swarm* yang menuju suatu daerah tertentu, dengan gerak setiap anggota mempengaruhi dan dipengaruhi oleh gerak anggota yang lainnya. Ada dua macam fenomena *swarm*, yaitu fenomena gerak bergerombol tanpa berformasi dan fenomena gerak bergerombol dengan berformasi. Fenomena gerak bergerombol tanpa berformasi merupakan fenomena gerak yang selalu menggerombol dari suatu daerah ke daerah lain tanpa membentuk formasi gerak, seperti sekelompok ikan hering yang selalu menggerombol dalam bergerak. Ikan hering selalu melepaskan lendir ketika bergerak, hal ini dilakukan untuk mengurangi daya hambat dari gelombang laut. Sehingga, dengan bergerombol lendir yang dilepaskan oleh sekelompok ikan hering semakin banyak melingkupi kelompok ikan hering akibatnya sekelompok ikan hering dapat bergerak lebih cepat. Sedangkan, fenomena gerak bergerombol dengan berformasi merupakan fenomena gerak bergerombol dari suatu daerah ke daerah lain dengan membentuk formasi gerak, seperti sekawanan burung angsa. Sekawanan burung angsa melakukan fenomena *swarm* dan membentuk formasi terbang untuk mengurangi hambatan terbang.

Formasi terbang yang dibentuk oleh sekawanan burung angsa seringkali menyerupai huruf V terbalik. Keuntungan sekawanan burung angsa melakukan formasi ini adalah jarak terbangnya meningkat 70 persen dan daya terbangnya 24 persen lebih cepat dari pada terbang sendirian (Lissaman dan Shollenberger, 1970). Formasi V terbalik yang dilakukan oleh sekawanan burung angsa juga terjadi pada dunia militer. Kapal laut angkatan laut sering terlihat melakukan formasi V terbalik dalam berkonvoi. Formasi V terbalik yang dilakukan oleh sekawanan burung angsa dan kapal laut selalu ada pemimpin. Pemimpin pada

formasi ini mempengaruhi gerak anggota yang lain dan lintasan gerak pemimpin selalu diikuti oleh anggota yang lain. Hal ini berarti anggota yang lain melakukan penelusuran lintasan (*tracking*) berdasarkan lintasan yang dibentuk oleh pemimpin dengan jarak tertentu. Pemimpin pada formasi sekawanan burung angsa bersifat tidak tetap yang berarti bisa dilakukan secara bergantian oleh anggota lainnya, sedangkan pemimpin pada formasi kapal laut bersifat tetap. Salah satu peranan pemimpin dalam formasi gerak kedua obyek ini adalah memecah gelombang udara yang menghambat gerak formasi dari seluruh anggota, sehingga anggota yang ada dibelakangnya terbang dengan gaya hambat yang lebih ringan. Fenomena *swarm* yang terjadi pada sekawanan burung angsa dan kapal laut merupakan salah satu contoh fenomena gerak *swarm* yang dipengaruhi oleh gerak pemimpin.

Penelitian ini membahas tentang permasalahan kendali *tracking* yang optimum dari sekelompok wahana transportasi yang dipengaruhi gerak pemimpin terhadap suatu lintasan tertentu. Dalam penelitian ini didesain kendali untuk gerak salah satu anggota yang bersifat *independent* atau bebas terhadap anggota lain dan berfungsi sebagai pemimpin. Sejak semula pada skenario ini anggota wahana transportasi yang berfungsi sebagai pemimpin telah ditetapkan. Pengendalian gerak pemimpin untuk melakukan *tracking*, yaitu gerak pemimpin dapat mengikuti lintasan yang telah ditentukan sebelumnya. Sehingga dengan pengendalian gerak pemimpin diharapkan jarak antara lintasan pemimpin dengan lintasan yang ditentukan sebelumnya sedekat mungkin. Berdasarkan hal tersebut, permasalahan yang dikaji dalam penelitian ini adalah pengendalian gerak sekumpulan wahana transportasi ideal yang dipengaruhi oleh pemimpin, khususnya masalah *tracking* terhadap lintasan geraknya. Wahana transportasi yang dibahas dalam penelitian ini ada adalah model gerakan Dubin's dan kapal laut. Adapun model kapal yang dibahas dalam penelitian ini mengikuti model kapal dari Toussaint, dkk (2000). Pada tahun pertama ini dibahas model Dubin's dengan tiga anggota, sedangkan untuk tahun kedua akan dibahas tentang model dinamik kapal.

Pertama-tama dalam bagian ini didesain kendali untuk anggota yang berfungsi sebagai pemimpin. Kendali gerak pemimpin untuk menelusuri lintasan yang ditentukan, kemudian didesain kendali untuk anggota yang lain

menggunakan pendekatan geometri berdasarkan posisi dari pemimpin. Metode yang digunakan dalam penelitian ini ada dua, yaitu metode analitik dan metode simulasi numerik. Metode analitik digunakan untuk merancang suatu sistem kendali untuk gerak pemimpin dan gerak anggota yang lain, sedangkan metode simulasi numerik digunakan untuk menjamin kehandalan dari metode analitik, yaitu mengetahui ilustrasi model dari hasil analitik serta besarnya *error* yang terjadi.

## 1.2 Batasan dan Asumsi Penelitian

Dalam suatu penelitian seringkali adanya batasan dan asumsi. Adanya batasan dan asumsi dalam suatu penelitian dimaksudkan agar penelitian dapat terarah dalam mencapai tujuan penelitian. Adapun batasan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Anggota bergerak pada ruang dimensi dua.
2. Faktor-faktor alam (kecepatan angin, tekanan udara dan turbulensi) yang dapat mengganggu aktivitas sekelompok kapal laut tidak dikaji.

Adapun asumsi-asumsi yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Anggota yang berperan sebagai pemimpin bersifat tetap, yaitu peranan pemimpin tidak dapat digantikan oleh anggota yang lain. Sejak semula anggota yang berfungsi sebagai pemimpin telah ditetapkan.
2. Gerak anggota yang berperan sebagai pemimpin tidak dipengaruhi anggota yang lain tetapi mempengaruhi gerak anggota yang lain.
3. Lintasan yang ditelusuri oleh pemimpin bersifat mulus (kontinu).
4. Pada desain kendali anggota, anggota yang berperan sebagai pemimpin dan anggota yang lain mempunyai tahanan yang sama.



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

Fenomena **swarm** telah banyak diaplikasikan pada beberapa wahana transportasi, seperti formasi terbang pesawat terbang dan konvoi kapal laut. Dari kajian beberapa literatur diperoleh bahwa wahana transportasi yang melakukan fenomena **swarm** dan membentuk suatu formasi tertentu akan memperoleh keuntungan, yaitu dapat menempuh jarak yang lebih jauh dan kecepatan geraknya jauh lebih cepat. Sehingga dengan melakukan fenomena **swarm** dan membentuk formasi tertentu wahana transportasi dapat menghemat bahan bakar. Dalam penelitian ini, fenomena **swarm** dimodelkan sebagai sistem multi-agen yang terdiri dari beberapa sistem dinamis dengan satu agen bersifat independen terhadap yang lain dan berfungsi sebagai pemimpin. Gerak pemimpin mempengaruhi gerak agen yang lain.

Beberapa peneliti telah mengkaji permasalahan tracking dari model kapal laut, diantaranya Pettersen dan Fossen (2000) mempelajari posisi dinamik dari sistem kapal yang mempunyai dua input kendali, yaitu surge force and yaw moment. Desain kedua kendali tersebut digunakan untuk pengendalian posisi dan orientasi dari sistem kapal yang telah ditentukan. Hasil penelitian mereka menunjukkan bahwa posisi dan orientasi sistem kapal konvergen ke posisi dan orientasi yang telah ditentukan. Toussaint, dkk (2000) membahas desain kendali sistem kapal untuk permasalahan *tracking* terhadap suatu lintasan taklinear. Metode desain kendali dari sistem kapal menggunakan pengembangan *backstepping* untuk *control law* dengan memperluas metode *backstepping* untuk input gaya sistem kapal. Behal, dkk (2001) membahas kendali dari posisi atau orientasi dari model kapal untuk permasalahan *tracking* dengan metode *adaptive tracking control*. Aguir dan Hespanha (2003) mempelajari permasalahan *tracking* dari model kapal dengan metode *tracking* kendali taklinear. Hasil kajian mereka menunjukkan bahwa desain kendali dari model kapal merupakan stabil global

dan konvergen eksponensial ke lintasan yang ditentukan. Hal ini menunjukkan bahwa *tracking error* menjadi cukup kecil sesuai dengan perubahan waktunya. Doa, dkk (2004) membahas kendali dari model kapal dengan parameter yang diketahui untuk kestabilan lintasannya dalam menelusuri lintasan yang diberikan. Desain kendali untuk model kapal menggunakan metode Lyapunov's dan teknik backstepping. Kemudian, mereka menerapkan hasil yang diperoleh untuk permasalahan parkir dari model kapal berdasarkan titik-titik lintasan yang diikutinya. Yang dan Kim (1999) mempelajari *sliding mode control* untuk menyelesaikan permasalahan *tracking* dari sistem *nonholonomic* gerak robot. Variabel dalam model ini direpresentasikan dalam koordinat polar dengan perancangan *sliding surfaces* yang distabilkan. Hal ini berarti, kendali orientasi dari sistem menggunakan metode *error dynamics*.

Miswanto, dkk (2008) membahas tentang permasalahan *tracking* terhadap lintasan yang diberikan untuk model kapal dengan metode pendekatan *tracking error dynamic*. Metode ini merupakan penyederhanaan dari metode *sliding mode control*. Hal ini dikarenakan metode ini menggunakan turunan kedua dari *tracking error*, jadi tidak diperlukan pembentukan *sliding surface* yang merupakan metode didalam *sliding mode control*. Hasil analitik dan simulasi numerik menunjukkan bahwa *tracking error* dapat dibuat cukup kecil.

Peneliti-peneliti di atas hanya membahas permasalahan *tracking* untuk satu kapal, sedangkan dalam penelitian ini dibahas untuk beberapa buah wahana transportasi yang bergerak secara bersama-sama dengan membentuk formasi geometri tertentu.

Beberapa peneliti juga telah membahas model *swarm*, diantaranya Miswanto, dkk (2006), membahas tentang gerak dari model *swarm* dengan satu anggota berperan sebagai pemimpin. Desain kendali pemimpin untuk mengoptimalkan gerak pemimpin dalam menelusuri lintasan yang diberikan. Adapun metode yang digunakan untuk desain kendali pemimpin adalah metode kuadrat terkecil. Model *swarm* Miswanto dkk, ini merupakan generalisasi dari model Gazi dan Passino (2003). Gazi dan Passino membahas tentang stationer dari pusat *swarm* yang merupakan rata-rata dari posisi anggota *swarm*. Gazi dan Passino juga membahas tentang kestabilan gerak anggota *swarm* yang menuju



pusat *swarm* dan menentukan ukuran dari *swarm*. Yao, dkk (2007) membahas permasalahan *tracking* terhadap lintasan tertentu dari model *swarm* dengan metode *artificial potential* dan *sliding mode control*. Metode *artificial potential* digunakan untuk desain kendali sistem kinematik, sedangkan *sliding mode control* digunakan untuk desain sistem dinamik.

Miswanto, dkk (2010), membahas desain kendali dari sistem simetri untuk permasalahan *tracking* terhadap suatu lintasan tertentu dengan halangan (*obstacle*). Metode yang digunakan untuk desain kendali sistem adalah metode *tracking error dynamic*. Pertama-tama didesain kendali sistem untuk menelusuri suatu lintasan yang diberikan, kemudian lintasan dimodifikasi dengan memberikan halangan pada lintasan tersebut. Hasil analitik dan simulasi numerik menunjukkan bahwa *tracking error* dapat dibuat sekecil mungkin. Kemudian, pada tahun 2011, miswanto, dkk membahas perilaku *swarm* untuk permasalahan *tracking*. Model *swarm* yang diperoleh merupakan modifikasi dari model Gazi dan Passino (2003), yaitu pada fungsi penarik (*attractor*) dan penolak (*repellent*). Pada model *swarm* Gazi dan Passino, fungsi penarik dan penolaknya merupakan fungsi transenden, sedangkan model *swarm* Miswanto, dkk (2011) fungsi penarik dan penolak merupakan fungsi aljabar biasa. Hal ini menyebabkan analisisnya lebih mudah.

Penelitian-penelitian tentang permasalahan *tracking* dari model *swarm* di atas merupakan sistem dinamik dari model *swarm* tanpa adanya keterkaitan dengan gerak wahana transportasi, sedangkan dalam penelitian ini fenomena *swarm* digunakan untuk perancangan kendali gerak berformasi dari wahana transportasi.

### **BAB III**

## **TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN**

### **III.1 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah memanfaatkan fenomena *swarm* yang terjadi di alam untuk pengendalian sekumpulan agen, sehingga didapatkan formasi gerak yang mirip misalnya dengan formasi terbang yang dilakukan oleh sekawanan burung angsa. Desain gerak yang didapatkan akan diterapkan pada pengendalian gerak segerombolan wahana transportasi, khususnya masalah *tracking* terhadap lintasan gerak wahana transportasi tersebut, sehingga wahana transportasi tersebut dapat beroperasi dengan bahan bakar yang dapat dihemat apabila melakukan formasi ini.

### **III.2 Manfaat Penelitian**

Penelitian ini merupakan penelitian awal tentang fenomena *swarm* yang terjadi alam. Hasil penelitian bermanfaat sebagai pengembangan wawasan matematikawan untuk pengembangan ilmu matematika, khususnya tentang sistem dinamik. Adapun manfaat yang lain sebagai bahan kajian untuk pengembangan pemodelan matematika dalam hubungannya dengan fenomena yang terjadi di alam.

## BAB IV

### METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini ada dua, yaitu metode analitik dan metode simulasi numerik. Metode analitik digunakan untuk mendesain suatu kendali untuk anggota *swarm* yang berupa sistem dinamik. Pertama-tama didesain kendali gerak pemimpin dengan metode *tracking error dynamic* dan *sliding mode control*. Desain kendali gerak pemimpin dimaksudkan untuk menelusuri lintasan yang diberikan. Harapannya adalah lintasan gerak pemimpin mempunyai *error* yang minimal dengan lintasan yang telah ditentukan tersebut. Sedangkan, desain kendali anggota yang lain menggunakan posisi dan orientasi pemimpin sebagai umpan balik (**feedback**) bagi anggota yang lain. Pada awal penelitian, gerak dari tiga anggota akan dibahas. Selanjutnya, jumlah anggota yang gerak bergerombol akan ditingkatkan.

Metode simulasi numerik digunakan untuk mengetahui ilustrasi secara visualisasi dari hasil yang didapatkan secara analitik, menunjukkan bahwa *error* yang terjadi cukup kecil untuk berbagai macam lintasan dan terapan model pada pengendalian gerak segerombolan anggota wahana transportasi.

Secara garis besar metode penelitian yang digunakan dibagi menjadi tiga tahap, yaitu tahap penelitian, tahap penulisan dan publikasi dan tahap penulisan laporan. Adapun ketiga tahap tersebut adalah sebagai berikut

#### (a) Tahap Penelitian

Kegiatan pada tahap penelitian adalah sebagai berikut

1. Memodifikasi model Miswanto, dkk (2006), yaitu gerak salah satu anggotanya bersifat bebas terhadap yang lain, dalam artian gerakanya tidak terpengaruh oleh anggota yang lain tetapi mempengaruhi gerak anggota yang lain. Anggota yang bersifat bebas tersebut berfungsi sebagai pemimpin.
2. Mendesain kendali gerak pemimpin dengan *tracking error dynamics* dan *sliding mode control* untuk masalah tracking terhadap suatu lintasan yang

diberikan. Pada langkah ini dilakukan simulasi numerik untuk melihat besarnya *error* yang terjadi antara lintasan gerak pemimpin dengan lintasan yang diberikan. Kemudian mensimulasikan model yang didapat secara numerik dengan paket program MatLab 2008. Pada langkah ini pertama-tama dipandang tiga anggota, kemudian jumlah anggotanya ditingkatkan dan dianalisis secara analitik.

3. Hasil-hasil yang diperoleh pada langkah-langkah di atas dicoba untuk diterapkan pada ilmu teknik, yaitu pada gerak wahana transportasi, khususnya pada masalah *tracking* terhadap lintasan gerak model Dubin's dan kapal laut. Adapun metode yang digunakan adalah simulasi numerik.

**(b) Tahap Penulisan dan Publikasi**

Beberapa hasil yang didapatkan akan dituliskan dalam bentuk paper yang selanjutnya akan dipresentasikan dan dipublikasikan pada jurnal matematika nasional maupun internasional.

**(c) Tahap Penulisan Laporan**

Kegiatan pada tahap penulisan laporan adalah sebagai berikut

1. Penulisan draf laporan untuk didiskusikan dengan tim peneliti.
2. Perbaikan akhir laporan dan penyerahan naskah final laporan ke LPPM Unair untuk dilaporkan ke Dikti.

## BAB V

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini dibahas model *swarm* yang dipengaruhi pemimpin dengan sistem pemimpinnya berbentuk sistem kontrol. Model *swarm* yang dibahas pada bab ini merupakan modifikasi dari model *swarm* (Miswanto, dkk., 2006), yaitu salah satu anggotanya dilepas dari model *swarm* dan ditetapkan sebagai pemimpin. Adapun modelnya dipostulasikan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \dot{x}_i &= \sum_{j=1}^m f(x_i - x_j); & i = 2, 3, \dots, m \\ \dot{x}_1 &= g(x_1, u) \end{aligned} \quad (5.1)$$

dengan  $\dot{x}_i = \frac{dx_i}{dt}$ ,  $x_i \in \mathbb{R}^n$  menyatakan posisi individu ke- $i$  dan  $f(\cdot)$  menyatakan fungsi penarik dan penolak yang didefinisikan, sebagai berikut

$$f(y) = -y \left( a - \frac{r}{\|y\|^2 + 1} \right), \quad (5.2)$$

dengan  $0 < a < r$ , dan  $\|y\| = \sqrt{y^T y}$  adalah norm Euklides yang menyatakan jarak antara anggota *swarm*.  $g: \mathbb{R}^{n+m} \mapsto \mathbb{R}^n$  pada sistem (5.1) merupakan fungsi untuk gerak pemimpin dan bersifat mulus dengan  $u$  sebagai input kendali. Berdasarkan sistem (5.1) di atas tampak bahwa  $x_1$  mempengaruhi anggota yang lain, namun dirinya tidak terpengaruh anggota yang lain. Pada bab ini disajikan hasil penelitian, yaitu *swarm* dengan pengaruh pemimpin dan *formation control of multiple Dubin's car system with Geometric Approach*. Untuk hasil yang ke-2 telah dipublikasikan pada jurnal internasional, yaitu *IOSR Journal of Mathematics (IOSRJM) Volume 1, Issue 6 (July-Aug 2012), PP 16-20*. Adapun desain kendali untuk gerak pemimpin dengan menggunakan metode *tracking error dynamics*. Adapun hasil-hasil penelitian tersebut adalah sebagai berikut:

### V.1. *Swarm* dengan Pengaruh Pemimpin

Pada model ini didesain kendali gerak pemimpin guna melakukan *tracking* terhadap lintasan yang ditentukan. Adapun modelnya adalah model (5.1) dengan model pemimpin berbentuk sistem symmetri, yang diformulasikan sebagai:

$$\Sigma : \dot{x}_i = \sum_{j=1}^n u_j f_j(x), \quad i = 1, 2, 3, \dots, m. \quad (5.3)$$

$$x = (p, q) \in M = R^n \times 0$$

Dengan  $p \in R^n$  adalah keluaran dari sistem dan 0 adalah manifold mulus yang berdimensi satu. Pada permasalahan ini didesain kendali input ( $u_j$ ) dari sistem pemimpin sehingga jarak keluaran sistem pemimpin dengan lintasan yang ditentukan ( $\gamma \in R^n$ ) cukup kecil. Pertama-tama didefinisikan tracking error  $e(t)$  sebagai jarak antara lintasan pemimpin dengan lintasan yang ditentukan, sebagai berikut:

$$e(t) = [e_1(t), e_2(t), e_3(t), \dots, e_n(t)]^T \quad (5.4)$$

Dengan  $e(t) = p_i(t) - \gamma_i(t); i = 1, 2, 3, \dots, n$ . Misalkan  $\pi$  adalah pemetaan proyeksi dari sistem pemimpin yang didefinisikan sebagai:  $\pi: (p, q) \in M \mapsto p \in R^n$ . Dengan mendiferensialkan persamaan (5.4) terhadap waktu maka diperoleh:

$$e(t) = [\dot{p}_1(t) - \dot{\gamma}_1(t), \dot{p}_2(t) - \dot{\gamma}_2(t), \dot{p}_3(t) - \dot{\gamma}_3(t), \dots, \dot{p}_n(t) - \dot{\gamma}_n(t)]^T$$

$$e(t) = [u_1 f_1(x) - \dot{\gamma}_1(t), u_2 f_2(x) - \dot{\gamma}_2(t), u_3 f_3(x) - \dot{\gamma}_3(t), \dots, u_n f_n(x) - \dot{\gamma}_n(t)]^T$$

Selanjutnya didefinisikan tracking error dinamik  $S$  sebagai berikut  $S = [s_1, s_2, s_3, \dots, s_n]^T$  dan  $s_i(e_i, \dot{e}_i) = 0, i = 1, 2, 3, \dots, n$ , dengan  $s_i(e_i, \dot{e}_i)$  didefinisikan sebagai:

$$s_i(t) = \dot{e}_i(t) + k_i e_i(t), \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (5.5)$$

dengank<sub>1</sub>, k<sub>2</sub>, k<sub>3</sub>, ..., k<sub>n</sub> adalah konstanta positif. Berdasarkan persamaan (5.5) diperoleh:

$$u_i f_i(x) - \dot{\gamma}_i(t) + k_i (p_i(t) - \gamma_i(t)) = 0, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (5.6)$$

Untuk memperjelas teori di atas, berikut ini diberikan sebuah contoh hasil pembahasan. Sistem pemimpin yang dibahas dalam contoh berikut ini adalah sistem Heisenberg. Adapun sistem Heisenberg dipostulasikan sebagai:

$$\begin{aligned} \dot{x} &= u_1 \\ \dot{y} &= u_2 \\ \dot{z} &= u_2 x - u_1 y. \end{aligned} \quad (5.7)$$

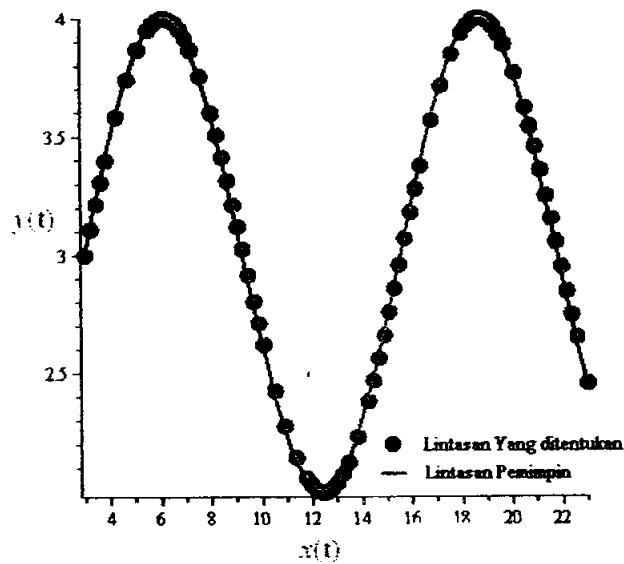
Lintasan yang ditentukan ( $\gamma(t)$ ) didefinisikan sebagai:

$$\begin{aligned} \gamma_x(t) &= 3 + t \\ \gamma_y(t) &= 3 + \sin(0.5t). \end{aligned} \quad (5.8)$$

Waktu yang digunakan untuk simulasi numerik adalah  $t = 0 - 20$  detik. Sehingga, posisi awal dan posisi akhir dari lintasan yang ditentukan adalah  $\gamma(0) = (3,3)$  dan  $\gamma(20) = (23, 2.46)$ . Dengan mensubstitusikan sistem (5.8) dan sistem (5.7) ke persamaan (5.6) diperoleh:  $u_i = \dot{\gamma}_i + k_i(\gamma_i - p_i)$ ,  $i = 1, 2$ . Hasil ini disubstitusikan ke keluaran sistem (5.7), sehingga

$$\begin{aligned} \dot{x}(t) &= \dot{\gamma}_x(t) + k_1(\gamma_x(t) - x(t)) \\ \dot{y}(t) &= \dot{\gamma}_y(t) + k_2(\gamma_y(t) - y(t)) \end{aligned} \tag{5.9}$$

Simulasi numerik di bawah ini menggambarkan hasil tracking keluaran sistem pemimpin terhadap lintasan yang ditentukan dengan  $k_1 = k_2 = 1.5$ .



Gambar 1: Tracking Lintasan pemimpin terhadap lintasan yang ditentukan

Tabel 1. Di bawah ini menunjukkan error tracking lintasan pemimpin terhadap lintasan yang ditentukan.

Tabel 1. Tracking error

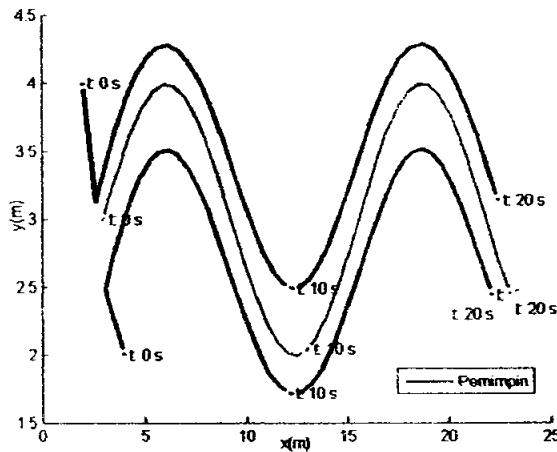
Time (t)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Error	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Time (t)	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Error	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Berdasarkan Gambar 1 dan Tabel 1 di atas terlihat bahwa error lintasan pemimpin terhadap lintasan yang ditentukan cukup kecil. Hal ini menunjukkan bahwa metode



*tracking error dynamics* cukup efektif untuk permasalahan *tracking*. Selanjutnya, ditunjukkan simulasi numerik dari model *swarm* pada persamaan (5.1) dengan fungsi penarik dan penolak pada persamaan (5.2). Jumlah anggota yang digunakan dalam simulasi ini adalah 3 dengan anggota ke-1 berperan sebagai pemimpin. Sistem pemimpin berbentuk seperti pada sistem (5.3) dengan nilai konstanta  $k_1 = k_2 = 1.5$ . Konstan penarik dan penolak yang digunakan adalah  $a = 15$  dan  $r = 25$ . Posisi awal dari tiga anggota *swarm* adalah  $x_1(3,3), x_2(4,2)$  dan  $x_3(2,4)$ . Hasil simulasi numerik dari tiga anggota *swarm* tersebut ditunjukkan pada Gambar 2 di bawah ini.



Gambar 2: Trayektori *swarm* dengan tiga anggota

Berdasarkan hasil gambar 2 di atas terlihat bahwa lintasan anggota dapat mengikuti lintasan pemimpin dengan jarak dan formasi yang dapat dipertahankan.

## V.2. Kendali Formasi Sistem Mobil Dubin's Tiga Anggota dengan Pendekatan Geometri

Perhatikan model Dubin sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \dot{x}_i &= u_i \cos(\theta_i) \\ \dot{y}_i &= u_i \sin(\theta_i) \\ \dot{\theta}_i &= \omega_i \\ Y_i &= [x_i, y_i, \theta_i]^T \end{aligned} \quad i = 1, 2, 3. \quad (5.10)$$

Dengan  $(x_i, y_i) \in R^2$  menyatakan posisi mobil Dubin ke- $i$  dan  $\theta_i \in [0, 2\pi]$  menyatakan orientasi dari mobil. Simbol  $u_i$  dan  $\omega_i$  adalah kecepatan linear dan kecepatan sudut.  $Y_i$  adalah keluaran dari sistem. Sehingga, keluaran model Dubin merupakan posisi dan orientasi mobil. Lintasan yang ditentukan diperoleh dengan metode kalkulus variasi.

Lintasan yang ditentukan dinotasikan sebagai  $\gamma(t) = (\gamma_x(t), \gamma_y(t))$ . Pemasalahan pada pembahasan ini ada dua, yaitu mendesain kendali gerak pemimpin guna melakukan *tracking* terhadap lintasan yang ditentukan dan mendesain kendali gerak anggota guna mengikuti lintasan gerak pemimpin dengan jarak tertentu.

### V.3. Desain Kendali Pemimpin

Sistem pemimpin didefinisikan seperti pada sistem (5.10). Desain kendali gerak pemimpin menggunakan *tracking error dynamics* untuk meminimalkan *tracking error* sehingga jarak lintasan pemimpin dengan lintasan yang ditentukan dapat dipertahankan semimal mungkin. Didefinisikan *tracking error*  $e(t)$  sebagai berikut:

$$e(t) = [x_1(t) - \gamma_x(t), y_1(t) - \gamma_y(t)]^T \quad (5.11)$$

Persamaan *tracking error* (5.11) didiferensialkan terhadap waktu ( $t$ ), sehingga

$$\dot{e}(t) = [\dot{x}_1(t) - \dot{\gamma}_x(t), \dot{y}_1(t) - \dot{\gamma}_y(t)]^T = [u_1 \cos(\theta_1) - \dot{\gamma}_x(t), u_1 \sin(\theta_1) - \dot{\gamma}_y(t)]^T,$$

dan

$$\begin{aligned} \ddot{e}(t) &= [\ddot{x}_1(t) - \ddot{\gamma}_x(t), \ddot{y}_1(t) - \ddot{\gamma}_y(t)]^T \\ &= [\dot{u}_1 \cos(\theta_1) - u_1 u_2 \sin(\theta_1) - \ddot{\gamma}_x(t), \dot{u}_1 \sin(\theta_1) + u_1 u_2 \cos(\theta_1) - \ddot{\gamma}_y(t)]^T. \end{aligned}$$

Selanjutnya, didefinisikan *tracking error dynamics*  $F$  dengan  $F = [f_1, f_2]^T$  dan  $f_i(e_i, \dot{e}_i) = 0, i = 1, 2$ ,

$$\begin{aligned} f_1(t) &= \dot{e}_1(t) + k_1 e_1(t) \\ f_2(t) &= \dot{e}_2(t) + k_2 e_2(t) \end{aligned} \quad (5.12)$$

dengan  $k_1$  dan  $k_2$  adalah konstanta positif. sistem (5.12) didiferensialkan terhadap waktu, diperoleh

$$\begin{aligned} \dot{f}_1(t) &= \ddot{e}_1(t) + k_1 \dot{e}_1(t) \\ \dot{f}_2(t) &= \ddot{e}_2(t) + k_2 \dot{e}_2(t) \end{aligned} \quad (5.13)$$

Kendali dari gerak pemimpin dapat ditentukan dari persamaan (5.10), (5.11), (5.12), dan (5.13)

$$w_1 = \frac{\ddot{\gamma}_y \cos(\theta_1) + k_2 \dot{\gamma}_y \cos(\theta_1) - \dot{\gamma}_x \sin(\theta_1) - k_1 \dot{\gamma}_x \sin(\theta_1)}{u_1} + (k_1 - k_2) \sin(\theta_1) \cos(\theta_1),$$

dengan

$$\begin{aligned} u_1 &= \dot{\gamma}_x \cos(\theta_1) + \dot{\gamma}_y \sin(\theta_1) + k_1 \gamma_x \cos(\theta_1) + k_2 \gamma_y \sin(\theta_1) - k_1 x_1 \cos(\theta_1) \\ &\quad - k_2 y_1 \sin(\theta_1). \end{aligned} \quad (5.14)$$

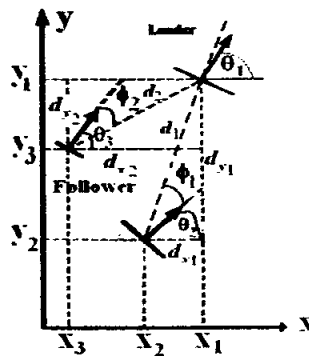
Kendali  $(u_1, w_1)$  disubstitusikan ke sistem (5.10), sehingga diperoleh sistem persamaan diferensial:

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= (\dot{\gamma}_x \cos(\theta_1) + \dot{\gamma}_y \sin(\theta_1) + k_1 \gamma_x \cos(\theta_1) + k_2 \gamma_y \sin(\theta_1) - k_1 x_1 \cos(\theta_1) - k_2 y_1 \sin(\theta_1)) \cos(\theta_1) \\ \dot{y}_1 &= (\dot{\gamma}_x \cos(\theta_1) + \dot{\gamma}_y \sin(\theta_1) + k_1 \gamma_x \cos(\theta_1) + k_2 \gamma_y \sin(\theta_1) - k_1 x_1 \cos(\theta_1) - k_2 y_1 \sin(\theta_1)) \sin(\theta_1) \\ \dot{\theta}_1 &= \frac{\dot{\gamma}_y \cos(\theta_1) + k_2 \dot{\gamma}_y \cos(\theta_1) - \dot{\gamma}_x \sin(\theta_1) - k_1 \dot{\gamma}_x \sin(\theta_1)}{u_1} + (k_1 - k_2) \sin(\theta_1) \cos(\theta_1). \end{aligned} \quad (5.15)$$

Kondisi awal dan Kondisi awal dari variabel state  $(x_1, y_1, \theta_1)$  diketahui. Penyelesaian sistem (5.15) menggunakan pendekatan numerik dengan mensubstitusikan lintasan yang ditentukan ke sistem (5.15).

#### V.4. Kendali Gerak Anggota

Pada bagian ini dibahas desain kendali gerak anggota untuk mengikuti lintasan mobil pemimpin dengan jarak tertentu. Adapun metode yang digunakan adalah metode pendekatan geometri. Perhatikan Gambar 3 menunjukkan posisi awal dari tiga mobil Dubin. Sedangkan,  $d_1$  dan  $d_2$  adalah jarak anggota terhadap posisi awal pemimpin.  $\varphi_1$  dan  $\varphi_2$  adalah orientasi dari anggota terhadap posisi pemimpin.



Gambar 3. Posisi mobil Dubin's dengan tiga anggota

#### V.5. Kendali Gerak Anggota Pertama

Dari Gambar 3. Di atas diperoleh persamaan

$$x_1 - x_2 = d_1 \cos(\theta_2 + \varphi_1) \text{ dan } y_1 - y_2 = d_1 \sin(\theta_2 + \varphi_1).$$

Persamaan di atas didiferensial terhadap waktu dan disubstitusikan ke sistem (5.10), sehingga diperoleh

$$u_2 = \frac{\dot{x}_1 \cos(\theta_2 + \varphi_1) + \dot{y}_1 \sin(\theta_2 + \varphi_1)}{\cos(\varphi_1)}$$

dan

$$\omega_2 = \frac{\dot{y}_1 \cos(\theta_2 + \varphi_1) - \dot{x}_1 \sin(\theta_2 + \varphi_1) - d_1 \dot{\varphi}_1 + (\dot{x}_1 \cos(\theta_2 + \varphi_1) + \dot{y}_1 \sin(\theta_2 + \varphi_1)) \tan(\varphi_1)}{d_1}$$

Sehingga diperoleh sistem persamaan diferensial untuk anggota pengikut pertama:

$$\begin{aligned}\dot{x}_2 &= \frac{\dot{x}_1 \cos(\theta_2 + \varphi_1) + \dot{y}_1 \sin(\theta_2 + \varphi_1)}{\cos(\varphi_1)} \cos(\theta_2) \\ \dot{y}_2 &= \frac{\dot{x}_1 \cos(\theta_2 + \varphi_1) + \dot{y}_1 \sin(\theta_2 + \varphi_1)}{\cos(\varphi_1)} \sin(\theta_2) \\ \dot{\theta}_2 &= \frac{\dot{y}_1 \cos(\theta_2 + \varphi_1) - \dot{x}_1 \sin(\theta_2 + \varphi_1) - d_1 \dot{\varphi}_1 + (\dot{x}_1 \cos(\theta_2 + \varphi_1) + \dot{y}_1 \sin(\theta_2 + \varphi_1)) \tan(\varphi_1)}{d_1}\end{aligned}\quad (5.16)$$

## V.6. Kendali Gerak Anggota Kedua

Dari Gambar 3. Di atas diperoleh persamaan

$$x_1 - x_3 = d_2 \cos(\theta_3 - \varphi_2) \text{ dan } y_1 - y_3 = d_2 \sin(\theta_3 - \varphi_2)$$

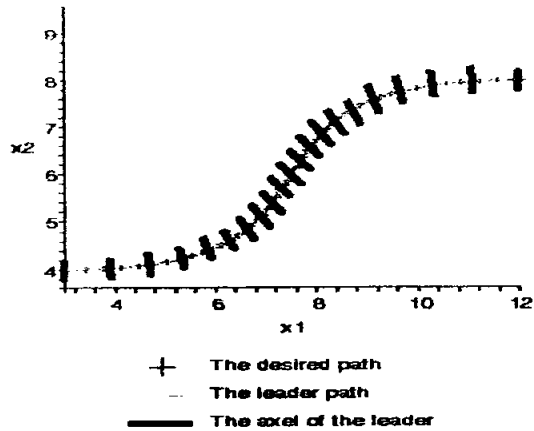
Dengan menggunakan langkah yang sama seperti pada 2.2.1. diperoleh sistem persamaan diferensial anggota pengikut kedua:

$$\begin{aligned}\dot{x}_3 &= \frac{\dot{x}_1 \cos(\theta_3 - \varphi_2) + \dot{y}_1 \sin(\theta_3 - \varphi_2)}{\cos(\varphi_2)} \cos(\theta_3) \\ \dot{y}_3 &= \frac{\dot{x}_1 \cos(\theta_3 - \varphi_2) + \dot{y}_1 \sin(\theta_3 - \varphi_2)}{\cos(\varphi_2)} \sin(\theta_3) \\ \dot{\theta}_3 &= \frac{\dot{y}_1 \cos(\theta_3 - \varphi_2) - \dot{x}_1 \sin(\theta_3 - \varphi_2) - d_2 \dot{\varphi}_2 - (\dot{x}_1 \cos(\theta_3 - \varphi_2) + \dot{y}_1 \sin(\theta_3 - \varphi_2)) \tan(\varphi_2)}{d_2}\end{aligned}\quad (5.17)$$

Hasil desain kendali tiga anggota mobil Dubin dengan metode pendekatan geometri ditunjukkan pada simulasi numerik di bawah ini. Pertama-tama diberikan lintasan yang ditentukan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}y_1(t) &= \frac{11}{4000} t^3 - \frac{33}{400} t^2 + t + 3 \\ y_2(t) &= -\frac{11}{1000} t^3 - \frac{3}{100} t^2 + 4\end{aligned}\quad (5.18)$$

Kondisi awal dan akhir pemimpin diberikan sebagai berikut  $(x_1(0), y_1(0), \theta_1(0)) = (3, 4, 0)$  dan  $(x_1(5), y_1(5), \theta_1(5)) = (12, 8, 0)$ . Lintasan yang ditentukan (5.18) disubstitusikan (5.10) dengan  $k_1 = 2$  dan  $k_2 = 2$ . Gambar 4. Di bawah ini menunjukkan hasil tracking lintasan pemimpin terhadap lintasan yang ditentukan.



Gambar 4. Trayektori lintasan pemimpin dan lintasan yang ditentukan

Tabel 2 di bawah ini menunjukkan *tracking error* dari lintasan pemimpin terhadap lintasan yang ditentukan.

Tabel 2. Tracking error

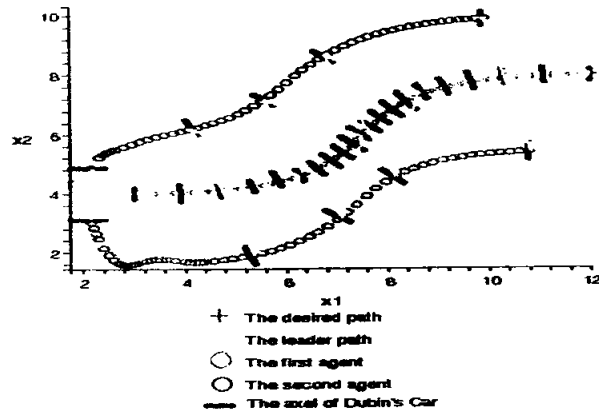
Time (t)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Error	0	0	0	1E-08	1E-08	5E-08	5E-08	1E-07	6E-06	5E-08	2E-08
Time (t)	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
Error	5E-08	5E-06	3E-08	9E-08	1.3E-07	0	2E-08	4E-08	9E-06	9E-08	

Berdasarkan Table 2 di atas terlihat bahwa tracking error cukup kecil. Selanjutnya, ditunjukkan simulasi numerik untuk menggambar sistem (5.10) dengan  $i = 1, 2, 3$  pada ruang dimensi dua, sedangkan lintasan anggota pengikut diberikan pada persamaan (5.16) dan (5.17). Adapun  $d_1, d_2 = 1$ ,  $\varphi_1 = \frac{1}{4}\pi$  dan  $\varphi_2 = \frac{1}{18}\pi$ .

Posisi awal dari dua anggota diberikan sebagai sebagai berikut

$$(x_2(0), y_2(0), \theta_2(0)) = (2.13, 3.13, -90) \text{ dan } (x_3(0), y_3(0), \theta_3(0)) = (2.13, 4.87, 90).$$

Hasil simulasi numerik dari model dengan tiga anggota ditunjukkan pada Gambar 5 di bawah ini.



Gambar 5. Trayektori *swarm* dengan tiga anggota.

Berdasarkan hasil gambar 5 di atas terlihat bahwa lintasan anggota dapat mengikuti lintasan pemimpin dengan jarak dan formasi yang dapat dipertahankan.

## BAB VI

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### VI.1. Kesimpulan

Simulasi numerik dari Gambar 1 dan Gambar 4 menunjukkan *tracking error* dari model (5.1) dan (5.10) cukup kecil dan jarak antar anggotanya dapat dipertahankan. Hal ini menunjukkan bahwa metode *tracking error dynamics* cukup efektif untuk permasalahan tracking. Untuk kendali formasi mobil Dubin dapat menggunakan pendekatan geometri. Hal ini ditunjukkan pada Gambar 5, yaitu jarak antar anggota dan formasi gerak ketiga anggota dapat dipertahankan.

#### VI.2. Saran

Penelitian ini merupakan penelitian awal, sehingga perlu kajian lebih lanjut terutama kestabilan dari sistem yang diperoleh. Peneliti menyarankan untuk kajian kestabilan sistem menggunakan kestabilan Lyapunov.



## DAFTAR PUSTAKA

1. A. Behal, D. M. Dawson, B. Xian, and P. Setlur, 2001, Adaptive Tracking Control of Underactuated Surface Vessels, *Proceedings of the IEEE International Conference on Control Applications*, Mexico City, Mexico.
2. A.P. Aguir and J.P. Hespanha, June 2003, Position Tracking of Underactuated Vehicles, *Proceedings of the American Control Conference*, pp. 1988-1993, Denver, Colorado.
3. G. J. Toussaint, T. Basar, F. Bullo, 2000, Tracking for Nonlinear Underactuated Surface Vessels with Generalized Forces, *IEEE Conf. on Control Applications*, Anchorage, Alaska.
4. J.M. Yang and J.H. Kim , 1999, Sliding Mode Control for Trajectory Tracking of Nonholonomic Wheeled Mobile Robots, *IEEE Transactions on robotics and automation*, VOL. 15, NO. 3.
5. J. Yao, R. Ordonez, dan V. Gazi, 2007, Swarm Tracking Using Artificial Potentials and Sliding Mode Control, *Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control*, vol. 129, p.p. 749-754.
6. K.D. Doa, Z.P. Jiang, J. Pan, 2004, Robust adaptive path following of underactuated ships, *Automatica* 40 (2004) pp. 929 – 944.
7. K.Y. Pettersen and T.I. Fossen, 2000, Underactuated Dynamic Positioning of a Ship—Experimental Results, *IEEE Transactions on control systems technology*, VOL. 8, NO. 5.
8. P. B. S. Lissaman dan C. A. Shollenberger, 1970, Formation Flight of Birds, *Science*, vol. 168. No. 3934, pp. 1003 – 1005.
9. Miswanto, I. Pranoto and. H. Muhammad, Juli 2006, Pemodelan Swarm dengan Fungsi Penarik dan Penolak, *Konferensi Matematika Nasional XII*, Semarang.
10. Miswanto, I. Pranoto, dan H. Muhammad dan D. Mahayana, 2008, The Control Design of Ship for Tracking a Desired Path Using Tracking Error Dynamics, *Prosiding Konferensi Matematika Nasional XIV*, Palembang.
11. Miswanto, I. Pranoto, dan H. Muhammad dan D. Mahayana, 2010, The Control Design of Symmetric System for Tracking a Desired Path with an Obstacle Using Tracking Error Dynamics, *East-West J. of Mathematics, a special volume 2010*.
12. Miswanto, I. Pranoto, dan H. Muhammad dan D. Mahayana, 2011, The Collective Behavior of Multi-Agents System for Tracking a Desired Path, *International Journal of Basic & Applied Sciences IJBAS-IJENS* Vol: 11 No: 01.

13. Miswanto, I. Pranoto, J. Naiborhu, S. Achmadi, 2012, Formation Control of Multiple Dubin's Car System with Geometric Approach, *IOSR Journal of Mathematics* (IOSRJM), Volume 1, Issue 6 (July-Aug 2012), PP 16-20.
14. V. Gazi dan K. M. Passino, 2003, Stability Analysis of Swarms, *IEEE Transaction on Automatic Control*, Vol. 48, No. 4.

## LAMPIRAN

## 1. Publikasi Artikel Ilmiah

*IOSR Journal of Mathematics (IOSRJM)**ISSN: 2278-5728 Volume 1, Issue 6 (July-Aug 2012), PP 16-20**www.iosrjournals.org*

## Formation Control of Multiple Dubin's Car System with Geometric Approach

Miswanto<sup>1</sup>, I. Pranoto<sup>2</sup>, J. Naiborhu<sup>3</sup>, S. Achmadi<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Department of Mathematics, Airlangga University, Indonesia

<sup>2,3</sup> Industrial and Financial Mathematics Research Groups, ITB, Indonesia

<sup>4</sup> Informatics Engeneering, ITN, Malang, Indonesia

**Abstract :** Formation control is an important behavior for multi-agents system (swarm). This paper addresses the optimal tracking control problem for swarm whose agents are Dubin's car moving together in a specific geometry formation. We study formation control of the swarm model which consists of three agents and one agent has a role as a leader. The agents of swarm are moving to follow the leader path. First, we design the control of the leader with tracking error dynamics. The control of the leader is designed for tracking the desired path. We show that the tracking error of the path of the leader tracing a desired path is sufficiently small. The desired path is obtained using calculus variational method. After that, geometry approach is used to design the control of the other. We show that the positioning and the orientation of each agent can be controlled dependent on the leader. The simulation results show to illustrate of this method at the last section of this paper.

**Keywords** - Swarm model, Dubin's car system, Tracking error, Calculus Variational, Numerical simulation.

### I. INTRODUCTION

Natural phenomena are very interesting to analyze mathematically. One of the examples is the phenomenon called swarming which occurs in various groups of organisms. Swarming behavior or aggregation of organisms in groups is abundant in nature. For examples, the behavior can be seen in animal aggregation, flocks of birds (geese), schools of fish, herds of mammals etc. Flocks of geese often fly along in the inverted "V" formation. By flying in the inverted "V" formation they obtain some advantages. One of these advantages is that they are able to have 24% faster flying power and 71% greater flying range than if each goose flies on its own. One of the most interesting area is motion of swarm in [[10], [17]]. The motion of a swarm can be used in engineering for cooperative control (multi-robots) and formation control (aircraft and ship).

The formation preservation of the swarm have received considerable attentions. Gazi et al. [18], [19] and Miswanto, et. al. [15] study the coordination and tracking control problem of the motion of the swarm. In the literature, some researchers have discussed the formation control of mobile robots. In [14], the authors study a stable and decentralized control strategy for multi agent systems to capture a moving target in a specific formation. They use artificial potentials to take care both tracking and formation task. In [8], the authors study the stability properties of mobile agent formation which are based on leader following. They derive nonlinear gain estimates that capture how leader behavior affects the interconnection errors observed in the formation. In [16], the authors study a behavior based approach to robot formation preservation. In [13], the authors study control and coordination for many robots moving in formation using decentralized controllers. They investigate feedback law used to control multiple robots moving together in formation. They propose a method for controlling formations that uses only local sensor based information, in a leader-follower motion. They use methods of feedback linearization to exponentially stabilize the relative distance and orientation of follower and show that the zero dynamics of the system are also stable. In [11], the authors study the natural algebraic structure of the chained form system together with ideas from sliding mode theory while designing the control law. They consider sliding mode approach to the stabilization and tracking problfor the so called chained from nonholonomic system. In [6], the authors consider a problem of leader following in the case of a heterogeneous multi robot team. They use a discrete time sliding mode approach for control of nonholonomic robots performing a leader following task.

Another researchers have discussed the control design of a mobile robot to track a desired path. In [21], the authors discuss the tracking control of mobile robots using integrator backstepping. Many mechanical systems with nonholonomic constraints can be locally or globally converted to the chained form under coordinate change. In [22], the authors study the tracking control problem of nonholonomic system in chained form. They derive semi global tracking controllers for general chained form systems by means of backstepping and they achieve global tracking results for some special cases. In [4] an adaptive tracking control problem is studied for a four wheel mobile robot. The authors propose a formulation for the adaptive tracking problem that meets the

natural prerequisite such that it reduces to the state feedback tracking problem if the parameters are known. They derive a general methodology for solving their problem. In [5], the authors study exponential tracking control of a mobile car using a cascaded approach. They show that the nonlinear controllers proposed in [21] can be simplified into linear controller for both the kinematic model and a simple dynamic model of the mobile robot. Their approach is based on cascaded system. In [2], the authors study a sufficient condition for the full state tracking stability of nonholonomic wheeled mobile robots by using the tracking control schemes based on the input output dynamics. They show that the tracking error internal dynamics and zero dynamics play a critical role of the full state tracking stability of such mobile robots. In [12], the authors propose a novel sliding mode control law for solving trajectory tracking problems of nonholonomic mobile robots. They use dynamic models of mobile robots to describe their behaviors with bounded disturbances in system dynamics. In [9], the authors propose a variable structure controller of a wheeled mobile robot to track the desired trajectory.

In this paper we consider the optimal tracking control problem for swarming behavior of three agents whose agents are moving to track a desired path in a desired geometric formation. We also compute the tracking error of the path of the leader tracing a desired path is sufficiently small and the distance between the leader path and the desired path is preserved. In the next section, the formal problem statement is described. In section 3, we design the control of the leader using tracking error dynamics. In section 4, we design the control of each agent follower using geometric approach. In section 5, we show numerical simulations to illustrate our results.

**II. Problem Statement**

Consider three Dubin's Car system described as:

$$\begin{aligned} \dot{x}_i &= u_i \cos(\theta_i) \\ \dot{y}_i &= u_i \sin(\theta_i) \\ \dot{\theta}_i &= \omega_i \\ Y_i &= [x_i, y_i, \theta_i]^T \end{aligned} \quad i = 1, 2, 3. \tag{1}$$

Where  $(x_i, y_i) \in R^2$  denotes the position of the  $i$ -th Dubin's car, and  $\theta_i \in [0, 2\pi]$  denotes the orientation of the car. The symbols  $u_i$  and  $\omega_i$  are the linear and angular velocities, respectively. Here,  $Y_i$  is the output of the system. Thus, the output is the position and orientation of the car. In this paper, the desired path  $\gamma$  that would be tracked by the leader is obtained using calculus variational method. The path is denoted by  $\gamma(t) = (\gamma_x(t), \gamma_y(t))$ .

In this paper, there are two problems which will be discussed. First, we design the control of the leader. Furthermore, we design the control of the other agents by geometry approach to follow the leader's path with a certain distance.

**III. The Control Design Of The Leader**

We consider a model of the leader, such as (1). We design the control of the leader by tracking error dynamics for minimizing the tracking error in order to keep the position of the leader close to the desired path. We define a tracking error  $e(t)$  as the difference between the actual leader path and the desired path:

$$e(t) = [x_1(t) - \gamma_x(t), y_1(t) - \gamma_y(t)]^T \tag{2}$$

Differentiating the error equation (2) with respect to time yields.

$$\dot{e}(t) = [\dot{x}_1(t) - \dot{\gamma}_x(t), \dot{y}_1(t) - \dot{\gamma}_y(t)]^T = [u_1 \cos(\theta_1) - \dot{\gamma}_x(t), u_1 \sin(\theta_1) - \dot{\gamma}_y(t)]^T,$$

and

$$\begin{aligned} \ddot{e}(t) &= [\ddot{x}_1(t) - \ddot{\gamma}_x(t), \ddot{y}_1(t) - \ddot{\gamma}_y(t)]^T \\ &= [\dot{u}_1 \cos(\theta_1) - u_1 u_2 \sin(\theta_1) - \ddot{\gamma}_x(t), \dot{u}_1 \sin(\theta_1) + u_1 u_2 \cos(\theta_1) - \ddot{\gamma}_y(t)]^T. \end{aligned}$$

Now, we define the tracking error dynamics  $F$  where  $F = [f_1, f_2]^T$  and  $f_i(e_i, \dot{e}_i) = 0, i = 1, 2$

$$\begin{aligned} f_1(t) &= \dot{e}_1(t) + k_1 e_1(t) \\ f_2(t) &= \dot{e}_2(t) + k_2 e_2(t) \end{aligned} \tag{5}$$

where  $k_1$  and  $k_2$  are positive constants. Differentiating the system (5) with respect to time, one obtains

$$\begin{aligned} \dot{f}_1(t) &= \ddot{e}_1(t) + k_1 \dot{e}_1(t) \\ \dot{f}_2(t) &= \ddot{e}_2(t) + k_2 \dot{e}_2(t) \end{aligned} \tag{6}$$

The control of the leader can be determined directly from equations (1), (2), (3), (4), (5) and (6)

$$w_1 = \frac{\ddot{\gamma}_y \cos(\theta_1) + k_2 \dot{\gamma}_y \cos(\theta_1) - \ddot{\gamma}_x \sin(\theta_1) - k_1 \dot{\gamma}_x \sin(\theta_1)}{u_1} + (k_1 - k_2) \sin(\theta_1) \cos(\theta_1),$$

where

$$u_1 = \dot{\gamma}_x \cos(\theta_1) + \dot{\gamma}_y \sin(\theta_1) + k_1 \gamma_x \cos(\theta_1) + k_2 \gamma_y \sin(\theta_1) - k_1 x_1 \cos(\theta_1) - k_2 y_1 \sin(\theta_1). \tag{7}$$

Then, this control  $(u_1, w_1)$  is substituted to the system (1). Thus, if one uses (7), one obtains a system of differential equations:

*Formation Control Of Multiple Dubin's Car System With Geometric Approach*

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= (\dot{y}_x \cos(\theta_1) + \dot{y}_y \sin(\theta_1) + k_1 \gamma_x \cos(\theta_1) + k_2 \gamma_y \sin(\theta_1) - k_1 x_1 \cos(\theta_1) - k_2 y_1 \sin(\theta_1)) \cos(\theta_1) \\ \dot{y}_1 &= (\dot{y}_x \cos(\theta_1) + \dot{y}_y \sin(\theta_1) + k_1 \gamma_x \cos(\theta_1) + k_2 \gamma_y \sin(\theta_1) - k_1 x_1 \cos(\theta_1) - k_2 y_1 \sin(\theta_1)) \sin(\theta_1) \\ \dot{\theta}_1 &= \frac{\dot{y}_y \cos(\theta_1) + k_2 \dot{y}_x \cos(\theta_1) - \dot{y}_x \sin(\theta_1) - k_1 \dot{y}_y \sin(\theta_1)}{u_1} + (k_1 - k_2) \sin(\theta_1) \cos(\theta_1). \end{aligned} \tag{8}$$

The initial and final conditions of the state variables  $(x_1, y_1, \theta_1)$  are known. The solution of this system of differential equations uses numerical approximation by substituting the desired path in system (8).

**IV. The Control Design Of The Following Agents**

In this section, we design the control of the follower using geometry approach. Figure 1 shows three Dubin's cars. Where  $d_1$  and  $d_2$  are the distance of agents to the leader.  $\varphi_1$  and  $\varphi_2$  are the orientation of agents to position of the leader.

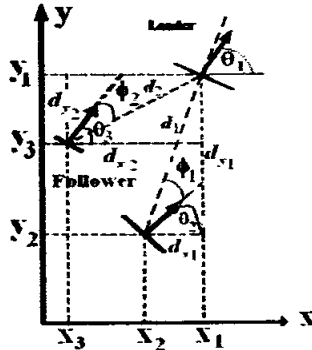


Figure 1: Three Dubin's cars

**IV.1 The Control Design of The First Follower**

From the figure 1, we have

$$x_1 - x_2 = d_1 \cos(\theta_2 + \varphi_1) \text{ and } y_1 - y_2 = d_1 \sin(\theta_2 + \varphi_1)$$

Differentiating the equations above with respect to time, one obtains

$$\dot{x}_1 - \dot{x}_2 = -d_1 \sin(\theta_2 + \varphi_1)(\dot{\theta}_2 + \dot{\varphi}_1) \text{ and } \dot{y}_1 - \dot{y}_2 = d_1 \cos(\theta_2 + \varphi_1)(\dot{\theta}_2 + \dot{\varphi}_1) \tag{9}$$

Thus, we obtain

$$(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) \cos(\theta_2 + \varphi_1) + (\dot{y}_1 - \dot{y}_2) \sin(\theta_2 + \varphi_1) = 0 \tag{10}$$

Substituting the system (1) for  $i = 1, 2$  in the equation (10), one obtains

$$u_2 = \frac{\dot{x}_1 \cos(\theta_2 + \varphi_1) + \dot{y}_1 \sin(\theta_2 + \varphi_1)}{\cos(\varphi_1)}$$

From the system (9), we have

$$(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) \sin(\theta_2 + \varphi_1) - (\dot{y}_1 - \dot{y}_2) \cos(\theta_2 + \varphi_1) = -d_1(\dot{\theta}_2 + \dot{\varphi}_1)$$

Therefore,

$$\dot{x}_1 \sin(\theta_2 + \varphi_1) - \dot{y}_1 \cos(\theta_2 + \varphi_1) - u_2 \sin(\varphi_1) + d_1 \omega_2 + d_1 \dot{\varphi}_1 = 0$$

From this equation, we obtain

$$\omega_2 = \frac{\dot{y}_1 \cos(\theta_2 + \varphi_1) - \dot{x}_1 \sin(\theta_2 + \varphi_1) - d_1 \dot{\varphi}_1 + (\dot{x}_1 \cos(\theta_2 + \varphi_1) + \dot{y}_1 \sin(\theta_2 + \varphi_1)) \tan(\varphi_1)}{d_1}$$

Then, this control  $(\omega_2, u_2)$  is substituted to the system (1) with  $i = 2$ . Thus, we obtain a system of the differential equations of the first follower:

$$\begin{aligned} \dot{x}_2 &= \frac{\dot{x}_1 \cos(\theta_2 + \varphi_1) + \dot{y}_1 \sin(\theta_2 + \varphi_1)}{\cos(\varphi_1)} \cos(\theta_2) \\ \dot{y}_2 &= \frac{\dot{x}_1 \cos(\theta_2 + \varphi_1) + \dot{y}_1 \sin(\theta_2 + \varphi_1)}{\cos(\varphi_1)} \sin(\theta_2) \\ \dot{\theta}_2 &= \frac{\dot{y}_1 \cos(\theta_2 + \varphi_1) - \dot{x}_1 \sin(\theta_2 + \varphi_1) - d_1 \dot{\varphi}_1 + (\dot{x}_1 \cos(\theta_2 + \varphi_1) + \dot{y}_1 \sin(\theta_2 + \varphi_1)) \tan(\varphi_1)}{d_1} \end{aligned} \tag{11}$$

**IV.2 The Control Design of The Second Follower**

From the figure 1, we have  $x_1 - x_3 = d_2 \cos(\theta_3 - \varphi_2)$  and  $y_1 - y_3 = d_2 \sin(\theta_3 - \varphi_2)$

Using similar steps such as in 4.1., one may design the control of the second follower. Thus, we obtain a system of differential equations of the second follower:

Formation Control Of Multiple Dubin's Car System With Geometric Approach

$$\begin{aligned} \dot{x}_3 &= \frac{\dot{x}_1 \cos(\theta_3 - \varphi_2) + \dot{y}_1 \sin(\theta_3 - \varphi_2)}{\cos(\varphi_2)} \cos(\theta_3) \\ \dot{y}_3 &= \frac{\dot{x}_1 \cos(\theta_3 - \varphi_2) + \dot{y}_1 \sin(\theta_3 - \varphi_2)}{\cos(\varphi_2)} \sin(\theta_3) \\ \dot{\theta}_3 &= \frac{\dot{y}_1 \cos(\theta_3 - \varphi_2) - \dot{x}_1 \sin(\theta_3 - \varphi_2) - d_2 \dot{\varphi}_2 - (\dot{x}_1 \cos(\theta_3 - \varphi_2) + \dot{y}_1 \sin(\theta_3 - \varphi_2)) \tan(\varphi_2)}{d_2} \end{aligned} \tag{12}$$

IV.2 Numerical Simulations

In this section, some numerical simulations to illustrate the system (8), (11) and (12) are reported. For illustration, a desired path is the following parametric curve:

$$\begin{aligned} \gamma_1(t) &= \frac{11}{4000} t^3 - \frac{33}{400} t^2 + t + 3 \\ \gamma_2(t) &= -\frac{11}{1000} t^3 - \frac{3}{100} t^2 + 4 \end{aligned} \tag{13}$$

The leader is expected to maneuver tracing this path as close as possible. The initial and final conditions of the leader are given by  $(x_1(0), y_1(0), \theta_1(0)) = (3, 4, 0)$  and  $(x_1(5), y_1(5), \theta_1(5)) = (12, 8, 0)$  respectively. The desired path in equation (17) is substituted in (10) and the parameters are  $k_1 = 2$  and  $k_2 = 2$ . Fig. 2 shows the path of the leader tracing the desired path by using the method.

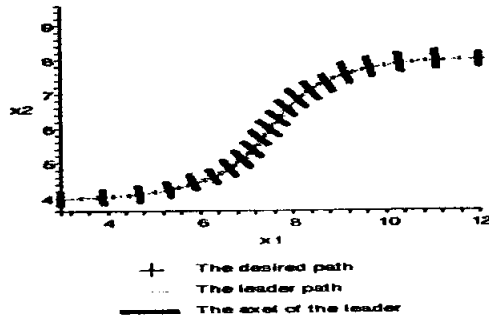


Figure 2: The trajectory of the desired path and the leader path.

Table 1. The tracking error

Time (t)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Error	0	0	0	1E-08	1E-08	5E-08	5E-08	1E-07	8E-08	5E-08	2E-08
Time (t)	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
Error	5E-08	5E-08	8E-08	9E-08	1.3E-07	0	2E-08	4E-08	9E-08	9E-08	

Table 1 above shows the tracking error. Next, we show the numerical simulations to illustrate model (1) where  $i = 1, 2, 3$  in the two dimensional space. The movement of the two agents are described by the systems (13) and (16) and the leader is described by the system (10). The parameters  $d_1, d_2 = 1$ ,  $\varphi_1 = \frac{1}{4}\pi$  and  $\varphi_2 = \frac{1}{18}\pi$ . The initial values of the agents are given by  $(x_2(0), y_2(0), \theta_2(0)) = (2.13398, 3.13398, -90)$  and  $(x_3(0), y_3(0), \theta_3(0)) = (2.13398, 4.86603, 90)$ . The results are presented in Fig. 3.

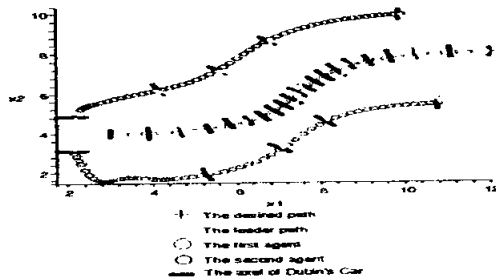


Figure 3: The trajectory of the swarm with three agent.



**V. CONCLUSION**

A From the numerical simulation results above, it can be seen that the tracking error of the path of the leader tracing a desired path is sufficiently small and the distance between the leader path and the desired path is preserved. A geometry approach for formation control of a group of Dubin's car is investigated in this paper. The simulation on three Dubin's car formation demonstrates that the proposed method is effective and feasible. In future works, we will apply this method for movement control of another swarm model with a specific geometry formation.

**VI. Acknowledgements**

Authors would like to thank the my institution (Airlangga University) for financial supporting this research. The authors would also like thanks Directorate General of Higher Education Department of National Education, Indonesia. This research was supported by Unggulan Perguruan Tinggi (UPT) grant under contract number 4074/H3.13/PPd/2012.

**REFERENCES**

- [1] A. Balluchi, A. Bicchi, A. Balestrino, and G. Casalino, Path Tracking Control for Dubin's Cars, : *Proceeding of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, Volume: 4*, pp. 3123-3128, 1998.
- [2] D. Wang and G. Xu, Full State Tracking and Internal Dynamics of Nonholonomic Wheeled Mobile Robots, *Proceedings of the American Control Conference*, pp. 3274-3278, Chicago, Illinois, June 2000.
- [3] E. Bicho and S. Monteiro, Formation Control for Multiple Mobile Robots: a Nonlinear Attractor Dynamics Approach, *Proceeding of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2003)*, Vol. 2, pp. 2016- 2022, 2003.
- [4] E. Lefeber and H. Nijmeijer, Adaptive Tracking Control of Nonholonomic Systems: an example, *Proceedings of the 38th Conference on Decision & Control*, Phoenix, Arizona USA, December 1999.
- [5] E. Panteley, E. Lefeber, A. Loria and H. Nijmeijer, Exponential Tracking Control of a Mobile Car Using a Cascaded Approach, *Proceeding of the IFAC Workshop on Motion Control*, pp. 221-226, Grenoble France, September 1998.
- [6] G. Orlando, E. Frontoni, A. Mancini, and P. Zingaretti, Sliding Mode Control for Vision Based Leader Following, *3rd European Conference on Mobile Robots*, Freiburg, Germany, September 19-21 1999.
- [7] G.Y. Tang, Y.D. Zhao and Hui Ma, Optimal Output Tracking Control for Bilinear Systems, *Transactions of the Institute of Measurement and Control* 28, 4, pp. 387-397, 2006.
- [8] H.G. Tanner, G.J. Pappas, and V. Kumar, Leader to Formation Stability, *IEEE Trans. on Robotics and Automation*, Vol. 20 No. 3, June 2004.
- [9] H.S. Shim, J. H. Kim, and K. Koh, Variable Structure Control of Nonholonomic Wheeled Mobile Robot, *Proceeding of the IEEE International Conference on Robotics and Automation on Volume 2*, Page(s):1694 - 1699, May 21-27 1995.
- [10] H. Shi, L. Wang and T. Chu, Swarming Behavior of Multi-Agent Systems, *J. Control Theory And Applications* Vol. 2 No. 4, pp. 313-318, 2004.
- [11] J. Lu, S. Sakhavat, M. Xie, and C. Lougier, Sliding Mode Control for Nonholonomic Mobile Robot, in : *Proc. of the Int. Conf. on Control, Automation, Robotics and Vision*, pp. 465-470, Singapore (SG), Dec. 2000.
- [12] J.M. Yang and J.H. Kim, Sliding Mode Control for Trajectory Tracking of Nonholonomic Wheeled Mobile Robots, *IEEE Trans. on Robotics and Automation*, Vol. 15 No. 3, pp. 578-587, June 1999.
- [13] J.P. Desai, J. Ostrowski, and V. Kumar, Controlling Formation of Multiple Mobile Robots, *Proceeding of the IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Leuven, Belgium, May 1998.
- [14] J. Yao, R. Ordonez, and V. Gazi, Swarm Tracking Using Artificial Potentials and Sliding Mode Control, *Bio. Bull* 202, pp. 296-305, 2002.
- [15] Miswanto, I. Pranoto, and H. Muhammad, A Model of Swarm Movement with The Presence of A Leader, *Proceeding of the International Conference on Mathematics and Natural Sciences*, pp. 740-742, ITB, Bandung, 2006.
- [16] T. Balch and R.C. Arkin, Behavior Based Formation Control for Multi-Robot Teams, *IEEE Trans. on Robotics and Automation*, Vol. XX No. y, Month 1999.
- [17] V. Gazi and K.M. Passino, Stability Analysis of Swarms, *IEEE Trans. on Automatic Control* 48 No. 4, pp. 692-697, 2003.
- [18] V. Gazi, B. Fidan, Y.S. Hanay, and M. Ilter Köksal, Aggregation, Foraging and Formation Control of Swarm with Non-Holonomic Agents Using Potential Functions and Sliding Mode Techniques, *Turk. J. Elec. Engin.* Vol. 15 No. 2, 2007.
- [19] V. Gazi and R. Ordonez, Target Tracking Using Artificial Potentials and Sliding Mode Control, *International Journal of Control*, Vol. 80 No. 10, pp. 1626-1635, October 2007.
- [20] Z. Jamaludin, H.V. Brussel, and J. Swevers, Classical Cascade and Sliding Mode Control Tracking performance for a XY Feed Table of a High-Speed Machine Tool, *Int. J. Precision Technology*, vol. 1, no. 1, 2007.
- [21] Z-P. Jiang and H. Nijmeijer, Tracking Control of Mobile Robots: a Case Study in Backstepping, *Automatica*, vol. 33, no. 7, pp. 1393-1399, 1997.
- [22] Z-P. Jiang and H. Nijmeijer, A Recursive Technique for Tracking Control of Nonholonomic Systems in Chained Form, *IEEE Transaction on Automatic Control*, vol. 44, no. 2, pp. 256-279, 1999b.

**Lampiran****CURRICULUM VITAE**

Nama : Dr. Miswanto, M.Si  
 NIP : 196802041993031002  
 Tempat dan Tanggal Lahir : Surabaya, 4 Februari 1968  
 Jenis Kelamin : Laki-laki  
 Status Perkawinan : Kawin  
 Agama : Islam  
 Golongan / Pangkat : III c / Penata  
 Jabatan Fungsional Akademik : Lektor  
 Perguruan Tinggi : Universitas Airlangga  
 Alamat : Jl. Mulyorejo Surabaya 60115  
 Telp./Faks. : 031-5936502 / 031-5936501  
 Alamat Rumah : Jl SMPP 21 Panjang Jiwo, Surabaya 60299  
 Telp./Faks/Hp. : Hp. 081572455431  
 Alamat e-mail : miswanto@unair.ac.id

**RIWAYAT PENDIDIKAN PERGURUAN TINGGI**

Tahun Lulus	Jenjang	Perguruan Tinggi	Jurusan/Bidang Studi
1992	S1	Universitas Airlangga	Matematika
2002	S2	Universitas Gadjah Mada	Matematika
2010	S3	Institut Teknologi Bandung	Matematika

**PELATIHAN**

Tahun	Pelatihan	Penyelenggara	Jangka waktu
1995	MIPA Dasar	FMIPA ITB	3 bulan
1997-1998	Penataran Pra Pascasarjana untuk Program Studi Matematika dalam rangka PPTA Ditjen Dikti	Program Pascasarjana UGM	4 bulan
2008	Workshop on Value of Scopus and Science Direct to University Research	ITB	1 hari
2010	Workshop on Dynamical Systems in Biology of the cell	Matematika ITB	1 hari
2011	Agent of Change Revitalisasi Sains Dasar	Dikti	3 hari
2011	Workshop KaProdi S1, S2 dan S3 Matematika, Statistika dan Pendidikan matematika	Jurusan Matematika FMIPA UGM	1 hari

2008	Penilaian Buku Pelajaran Matematika, SD, SMP-SMA dan SMEA	BSNP-Pusat Perbukuan	4 hari
------	---	----------------------	--------

**PENGALAMAN MENGAJAR**

<b>Mata Kuliah</b>	<b>Jenjang</b>	<b>Institusi/Jurusan/Program</b>	<b>Sem/Tahun Akad</b>
Kalkulus III	S1	Prodi Matematika Unair	Pendek 2002/2003
Topologi Umum	S1	Prodi Matematika Unair	Gasal 2002/2003
Pemodelan Matematika	S1	Prodi Matematika Unair	Gasal 2002/2003
Kalkulus III	S1	Prodi Matematika Unair	Genap 2002/2003
Praktikum Kalkulus III	S1	Prodi Matematika Unair	Genap 2002/2003
Topologi Umum	S1	Prodi Matematika Unair	Genap 2002/2003
Analisis Real II	S1	Prodi Matematika Unair	Gasal 2003/2004
Topologi Umum	S1	Prodi Matematika Unair	Gasal 2003/2004
Kalkulus II	S1	Prodi Matematika Unair	Genap 2003/2004
Analisis Real I	S1	Prodi Matematika Unair	Genap 2003/2004
Pemodelan Matematika	S1	Prodi Matematika Unair	Genap 2003/2004
Analisis Real II	S1	Prodi Matematika Unair	Gasal 2004/2005
Topologi Umum	S1	Prodi Matematika Unair	Gasal 2004/2005
Kalkulus III	S1	Prodi Matematika Unair	Gasal 2004/2005
Praktikum Kalkulus III	S1	Prodi Matematika Unair	Gasal 2004/2005
Analisis Real I	S1	Prodi Matematika Unair	Genap 2004/2005
Analisis Real II	S1	Prodi Matematika Unair	Gasal 2005/2006
Topolgi Umum	S1	Prodi Matematika Unair	Gasal 2005/2006
Pemodelan Matematika	S1	Prodi Matematika Unair	Gasal 2010/2011
Analisis Real I	S1	Prodi Matematika Unair	Gasal 2010/2011



Persamaan Diferensial	S1	Prodi Matematika Unair	Gasal 2010/2011
Persamaan Diferensial	S1	Prodi Kimia Unair	Gasal 2010/2011

**PRODUK BAHAN**

<b>Mata Kuliah</b>	<b>Jenjang</b>	<b>Jenis Bahan Ajar</b>	<b>Semester / Tahun Akademik</b>
Analisis Real I	S1	Diktat (cetak)	Genap 2004/2005

**PENGALAMAN PENELITIAN**

<b>Tahun</b>	<b>Judul Penelitian</b>	<b>Jabatan</b>	<b>Sumber Dana</b>
2004	Analisis Eksistensi dan Ketunggalan Limit Cycle Pada Generalisasi Sistem Lienard	Ketua	Penelitian Dosen Muda
2006	Pemodelan Perilaku Swarm pada Sistem Multi Agen melalui Kontrol Optimum	Anggota	Riset KK ITB
2007	Model Formasi Gerak pada Wahana Transportasi Melalui Fenomena Swarm	Anggota	Riset KK ITB
2007	Analisis Kestabilan Limit Cycle pada generalisasi Sistem Lienard	Ketua	DIPA Unair
2009	Desain Kendali Gerak Pemimpin untuk Optimalisasi Tracking pada Formasi Gerak Sistem Multi Agen	Ketua	Hibah Penelitian Program Doktor-Dikti

**KARYA TULIS ILMIAH**

<b>Tahun</b>	<b>Judul</b>	<b>Penerbit/Jurnal</b>
2002	Tidak Adanya Orbit Periodik Pada Generalisasi Sistem Lienard	Jurnal MIPA Unair
2007	The Application of the Steepest Gradient Descent for Control Design of Dubin's Car for Tracking a Desired Path	Jurnal Limits of Mathematics and Its Applications, vol 4, no.1 ITS Surabaya
2010	The Control Design of Symmetric System for Tracking a Desired Path with an Obstacle Using Tracking Error Dynamics	East West Journal of Mathematics, special volume 2010
2011	The Collective Behavior of Multi-Agents System for Tracking a Desired Path	International Journal of Basic & Applied Sciences IJBAS-IJENS vol. 11 no. 01

**B. Makalah/Poster**

<b>Tahun</b>	<b>Judul</b>	<b>Penyelenggara</b>
2006	Swarming Behavior of Multi-Agents with Disturbance	STIE ITB
2006	Pemodelan Swarm dengan Fungsi Penarik dan Penolak	Jurusan Matematika FMIPA , Universitas Negeri Semarang
2006	A Model of Swarm Movement with The Presence of a Leader	FMIPA, ITB-Bandung
2006	The Aggregation of Social Foraging Swarm with Disturbance	Unisba Bandung dan UPM Malaysia
2007	Tracking Control for Swarm Model with The Presence of a Leader	FTI ITB, Bandung
2007	Desain Kendali untuk Gerak Pemimpin pada Model Swarm Guna Melakukan Tracking terhadap Suatu Lintasan	Jurusan Teknik Mesin dan Industri FT UGM, Yogyakarta.
2007	Pemodelan Swarm dengan Pengaruh Pemimpin	Jurusan Matematika, ITB, Bandung
2008	The Control Design of Ship for Tracking a Desired Path Using Tracking Error Dynamics	Universitas Sriwijaya, Palembang
2009	The Control Design of Symmetric System for Tracking a Desired Path with an Obstacle Using Sliding Mode	Mahidol University , Bangkok Thailand

**KONFERENSI/SEMINAR/LOKAKARYA/SIMPOSIUM**

<b>Tahun</b>	<b>Judul Kegiatan</b>	<b>Penyelenggara</b>	<b>Sebagai</b>
2003	Lokakarya <i>Teaching Grant</i>	Semi-QUE V Jurusan Matematika	Peserta
2003	Lokakarya <i>Research Grant</i>	Semi-QUE V Jurusan Matematika	Peserta
2004	Lokakarya Pemanfaatan Media dan Metode Pembelajaran	Semi-QUE V Jurusan Matematika	Peserta
2004	Lokakarya Eksplorasi Topik Penelitian	Semi-QUE V Jurusan Matematika	Peserta
2004	Lokakarya Applied Approach	Universitas Airlangga	Peserta
2004	Seminar Nasional Modelling Asian Urban Population-Environment Dynamics	Universitas Airlangga	Peserta



2006	The First International Conference on Mathematics and Statistics	Unisba Bandung dan UPM Malaysia	Pemakalah
2006	<i>The 6<sup>th</sup> Asian Control Conference</i>	STIE ITB	Pemakalah
2006	<i>Konferensi Nasional Matematika XIII</i>	Jurusan Matematika FMIPA , Universitas Negeri Semarang	Pemakalah
2006	<i>International Conference on Mathematics and Natural Sciences</i>	FMIPA, ITB-Bandung	Pemakalah
2007	the Second Regional Conference on Aerospace Science, Technology and Industry (RC-ASTI)	FTI-ITB-Bandung	Pemakalah
2007	Seminar Nasional Mahasiswa S3 Matematika dan Pendidikan Matematika	FMIPA ITB-Bandung	Pemakalah
2007	Seminar Nasional Teknologi Simulasi III	Jurusan Teknik Mesin dan Industri FT UGM, Yogyakarta	Pemakalah
2008	Konferensi Nasional Matematika XIV	Universitas Sriwijaya, Palembang	Pemakalah
2009	International Conference in Mathematics and Applications (ICMA)	Mahidol University, Bangkok Thailand	Pemakalah

### KEGIATAN PROFESIONAL/PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT

Tahun	Kegiatan
2003	Sosialisasi dan Pelatihan International Mathematical Olympiad (IMO)
2004	Pembinaan Olimpiade Matematika Tingkat Propinsi Jawa Timur
2004	Pelatihan dan Sosialisasi International Mathematical Olympiad (IMO) untuk guru-guru se-Kabupaten Gresik
2005	Pelatihan Teknik Pembuatan Proposal PengMas: Penerapan IPTEKS, Program Vucer dan Pengembangan Budaya Kewirausahaan.
2011	Pelatihan Latex
2011	Workshop Penggunaan Program Excel Untuk Menganalisis Butir Soal dalam Rangka Peningkatan Mutu Soal Ujian Sekolah
2011	Workshop Desain Praktikum Matematika SMP

**PENGALAMAN JABATAN**

<b>Peran</b>	<b>Institusi</b>	<b>Tahun</b>
PIC Teaching Grant	Jurusan Matematika FMIPA Unair	2003
PIC Research Grant	Jurusan Matematika FMIPA Unair	2004
Anggota Tim Penyusun Evaluasi Diri	Jurusan Matematika FMIPA Unair	2004
Anggota Komisi I (Pendidikan) BPF	Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Airlangga	2011-2015
Ketua Program Studi S1 Matematika	Departemen Matematika FST Unair	2011-2015
Ketua Departemen Matematika	Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Airlangga	2011-2015

**PERAN DALAM KEGIATAN KEMAHASISWAAN**

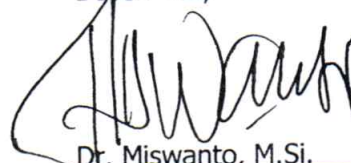
<b>Tahun</b>	<b>Nama Kegiatan</b>	<b>Peran</b>	<b>Tempat</b>
2010	Lomba Mahasiswa Matematika "Student Grant"	Tim Juri	Departemen Matematika FST Unair
2011	Seleksi Tahap II On MIPA PT	Tim Steering Committee	ITN Malang
2011	Pembinaan untuk Guru-Guru dalam Olimpiade Matematika 2011 Unair Tingkat SMP dan SMA se-Jawa Timur	Instruktur	Fakultas Sains dan Teknologi

**ORGANISASI PROFESI/ILMIAH**

<b>Tahun</b>	<b>Organisasi</b>	<b>Jabatan</b>
2011	International Conference and Workshop on Basic and Applied Science FST Unair-UTM	Seksi Ilmiah

Surabaya, 1 Juli 2011

Dosen Ybs,



Dr. Miswanto, M.Si.

NIP. 196802041993031002



**CV ANGGOTA TIM PENELITI**

Nama : Dr. Janson Naiborhu  
 NIP : 131 875 443  
 Jabatan : Lektor Kepala  
 Kantor/Unit Kerja : KK Matematika Industri dan Keuangan, FMIPA  
 Institut Teknologi Bandung  
 Alamat Kantor/Unit Kerja : Jalan Ganesa No 10  
 Bandung  
 Telepon/Faksimile/E-mail : 022 250 2545  
 022 250 6450  
 janson@math.itb.ac.id  
 Mobile : 0813 944 86068  
 Bidang Keahlian : Kontrol Taklinear

**Pendidikan (Mulai dari S1)**

No.	Tempat Pendidikan	Kota/Negara	Tahun Lulus	Bidang Studi
1	ITB(S1)	Bandung/Indonesia	1989	Matematika
2	ITB(S2)	Bandung/Indonesia	1992	Kontrol
3	ITB(S3)	Bandung/Indonesia	2005	Kontrol

**Pengalaman Riset (5 tahun terakhir)**

No.	Judul Riset	Tahun
1	Kontrol "Gradient Descent" pada Sistem Nonlinear yang tidak dapat distabilkan secara Asimtotik dengan Linearisasi	2002-2005
2	Evaluasi Kinerja Sistem Telefon Bergerak Seluler di Indonesia	2004
3	Performance Analysis of Cellular Mobile Telecommunication Network with Dynamic Cell Splitting	2005

**Publikasi (5 tahun terakhir)**

1. **J. Naiborhu** and K. Shimizu, Direct Gradient Descent Control for Global Stabilization of General Nonlinear Systems, *IEICE Trans. Fundamentals*, Vol.E83-A, NO.3 March 2000, pp. 516-523.(with K. Shimizu)
2. **J. Naiborhu**, S.M. Nababan, R. Saragih and I. Pranoto, Direct Gradient Descent Control and Sontag's Formula on Asymptotic Stability of General Nonlinear Control System, *International Journal of Control, Automation, and Systems*, Vol. 3, No. 2, June 2005, 244-251.
3. **J. Naiborhu**, S.M. Nababan, R. Saragih and I. Pranoto, Direct Gradient Descent Control as A Dynamic Feedback Control for Linear System, *Bulletin of the Malaysian Mathematical Sciences Society*,
4. H. Tjahjana, I. Pranoto, H. Muhammad, and **J. Naiborhu** 'Swarm With Triangle Formation', *Proceeding International Conference on Mathematics and Natural Sciences*, 29-30 November, Bandung
5. H. Tjahjana, I. Pranoto, H. Muhammad, and **J. Naiborhu**, 'On The Numerical Control Design for a pair of Linear System', accepted for oral presentation on International Conference on Mathematical Biology, 27-29 Agustus 2007
6. H. Tjahjana, I. Pranoto, H. Muhammad, and **J. Naiborhu**, 'Linear Model of Swarm Movement', accepted for oral presentation on Second Regional Conference on Aerospace Science, Technology and Industry, 4-6 September 2007
7. H. Tjahjana, I. Pranoto, H. Muhammad, and **J. Naiborhu**, 'The Numerical Control Design for a Pair of Dubin's Vehicles' Submitted to International Conference on Intelligent Unmanned System, 24-25 Oktober 2007.

Bandung, 16 Agustus 2007



**CURRICULUM VITAE****IDENTITAS DIRI**

**Nama** : Aries Sulisetyono, ST, MASc, PhD  
**NIP/NIK** : 197103201995121002  
**Tempat dan Tanggal Lahir** : Surabaya, 20 Maret 1971  
**Jenis Kelamin** :  Laki-laki  
**Status Perkawinan** :  Kawin  
**Agama** : Islam  
**Golongan / Pangkat** : IIIc / Lektor  
**Jabatan Akademik** : Sekretaris Jurusan Teknik Perkapalan  
**Jabatan Lain** : Ketua (Koordinator) NASDEC-ITS  
**Perguruan Tinggi** : ITS Surabaya  
**Alamat** : Kampus ITS Sukolilo Surabaya 60111  
**Telp./Faks.** : 031-5947254  
**Alamat Rumah** : Perumahan ITS Blok W-10 Surabaya 60111  
**Telp./Faks.** : 031-5915968  
**Alamat e-mail** : [sulisea@na.its.ac.id](mailto:sulisea@na.its.ac.id)

**RIWAYAT PENDIDIKAN PERGURUAN TINGGI**

<b>Tahun Lulus</b>	<b>Pendidikan</b>	<b>Perguruan Tinggi</b>	<b>Jurusan/ Program Studi</b>
1994	Sarjana	ITS Surabaya	Teknik Perkapalan
1999	Magister	Dalhousie University, Canada	Mechanical Engineering Department / Naval Architecture and Marine Engineering
2005	Doctor	Dalhousie University, Canada	Mechanical Engineering Department / Naval Architecture and Marine Engineering

**PELATIHAN PROFESIONAL**

<b>Tahun</b>	<b>Jenis Pelatihan (dalam/luar negeri)</b>	<b>Penyelenggara</b>
2004	Pelatihan MARPOL : Peraturan pencegahan polusi limbah kapal	Biro Klasifikasi Indonesia
2004	Pelatihan SOLAS : Safety of carriage cargo	Biro Klasifikasi Indonesia (BKI)
2007	Sistem Manajemen Mutu, ISO 9000:2000	PJM - ITS

2008	Pelatihan ToT – KBK	ITS - DIKTI
2009	Wordwide Quality Assurance – South East Asia; QMS – IWA2 : 2007	WQA - ITS
2009	MARIN training aNySim-pro 2009	MARIN Belanda
2010	MARIN training aNySim-pro 2010	MARIN Belanda

### PENGALAMAN PENELITIAN

Tahun	Judul Penelitian	Ketua/Anggota Tim	Sumber Dana
2007	Inovasi Robotika Untuk Misi Bawah Air	Anggota	Hibah Bersaing DP2M DIKTI
2008, 2009 dan 2010	Inovasi Kemudi Kapal Untuk Meningkatkan Kemampuan Kapal Bermanuver di Perairan Terbatas,	Ketua	Hibah Bersaing DP2M DIKTI
2008 dan 2009	Pengembangan Moda Kapal Berbadan Banyak untuk Transportasi Sungai dan Penyeberangan yang Aman, Nyaman dan Efisien,	Anggota	Insentif RISTEK.
2008	Desain Kemudi Dua Flap Untuk Memperbaiki maneuverability Kapal di Perairan Terbatas	Ketua	LPPM - ITS
2009	Studi Eksperimental Dan Simulasi Numerik Getaran Pada Vertical-Axis Turbine Dalam Upaya Pengembangan Pembangkitan Energi Terbarukan Dari Arus Laut	Anggota	Hibah Pasca DP2M DIKTI
2009 dan 2010	Inovasi Kapal Hybrid yang hemat bahan bakar dan ramah lingkungan.	Anggota	Strategi Nasional DP2M DIKTI
2009 dan 2010	Desain Kapal Ferry yang berkinerja baik, hemat bahan bakar dan ramah lingkungan	Ketua	PHKI – Program C ITS
2011	Rancang Bangun Kapal Hybrid Trimaran Sebagai Angkutan Penumpang Antar Pulau	Ketua	Insentif Ristek

### KARYA ILMIAH\*

Tahun	Judul	Penyelenggara
2005	Analytic Solution of The Memory part of Time Domain Green's Function	International Mathematical Journal, Vol. 6, N0.1
2005	Analytic Solution of the Ordinary Differential Equation of Transient Green's	International Conference Of Applied Mathematics,

	Function for Wave-Body Interaction Problem	Bandung, ITB
2006	A Power Series of the Transient Free-surface Green's Function for Radiation Problem of a Floating Body	Seminar Nasional Teori dan Aplikasi Teknologi Kelautan VI, FT K, ITS
2007	Modifikasi daun kemudi tunggal (konvensional) menjadi daun kemudi dengan flap untuk meningkatkan maneuverability kapal	Seminar Nasional Teori dan Aplikasi Teknologi Kelautan VII, FT Kelautan, ITS
2008	Analisa heading angle barge dalam mendapatkan performance seakeeping dengan nilai respon minimum	Seminar Nasional Teknologi Simulasi IV, Yogyakarta, UGM
2008	An investigation into ship wave breaking phenomena	Universitas Indonesia
2008	Pengembangan kapal hemat energy dengan konfigurasi kapal berbadan banyak	Fakultas Teknik Universitas Gajah Mada
2009	Dynamics Stability Prediction of the Mini-Submarine in Underwater Mission	Seminar Nasional Pascasarjana IX, ITS
2009	Tinjauan desain layar untuk aplikasi kapal barang antar pulau di Indonesia	Seminar Nasional Pascasarjana IX, ITS
2009	The min-submarine design for monitoring of the pollutant and sewage discharge in coastal area	5 <sup>th</sup> International Conference on Asian and Pacific Coasts, NTU, Singapore
2009	Numerical computation of time domain green's function of free surface hydrodynamics	Seminar Nasional Teori dan Aplikasi Teknologi Kelautan IX, FT K, ITS
2009	Investigasi efek sloshing tangki kapal angkut ikan hidup	Seminar Nasional Teori dan Aplikasi Teknologi Kelautan IX, FT K, ITS
2009	Analisa seakeeping FPSO dengan system tambat turret mooring	Seminar Nasional Teori dan Aplikasi Teknologi Kelautan IX, FTK, ITS
2010	An Analytical Approach of the Free Surface Green's Function for Radiation Problem	International Conference on Ship and Offshore Technology (ICSOT), ITS
2010	Wind Sail Analysis Using Computational Fluid Dynamics Simulation	The International Conference on Marine Technology (MARTEC), BUET, Dhaka, Bangladesh

### KEGIATAN PROFESIONAL/PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT

Tahun	Jenis>Nama Kegiatan	Tempat
2006	Study Assesment of Realibility and Integrity for Arjuna Sakti Storage Barge,	ITS



2007	Study Manuver Sandar Tongkang dan Desain Extention Temporary Jetty Kapasitas Sandar 10000 DWT,	PT (Persero) Petrokimia Gresik Indonesia.
2008	Training sertifikasi estimator dan pengawas bidang perkapalan di lingkungan PT Pelindo III	ITS
2008	Pelatihan desain kapal menggunakan software maxsurf	Unpati Ambon
2009-2010	FLNG Mooring and Offloading study, INPEX Masela Ltd	ITS – MARIN Belanda
2009-2011	Optimal design of cargo containment system for SE Asian site, DSME Korea	ITS – DSME Korea
2010	Study peningkatan kapasitas rubber fender sisi darat jetty I dermaga untuk kepentingan sendiri (DUKS) PT Petrokimia Gresik	PT (persero) Petrokimia Gresik Indonesia