

Dasar Pemodelan dan Navigasi *Flocking Mobile Robot* dengan Aplikasi Sensor Jarak

Tresna Dewi, Politeknik Negeri Sriwijaya

Abstract—The main concept of flocking mobile robot is one robot leader followed by other robots, this concept was inspired by nature, flocking of birds, swarms of bees etc. This research objective is to investigate the possibility of applying distance sensors modeled as virtual spring-damper in navigating flocking robot within leader-follower robot system. Distance sensors installed at follower robots in order to maintain certain distance to leader robot and by the time leader robot stop so will the follower robots. This research started by modeling the system in virtual spring-damper system, simulating the effectiveness of proposed method in MATLAB/Simulink and finally applying the method in to real mobile robot system. Simulation results shows that follower robots follow leader robot in certain fixed distance and the velocities output of leader robot and follower robots are also the same, meaning that the robots within the system maintain their initial formation; train formation or wedge formation. The simulation results also shows that modeling distance sensor as virtual spring damper is an effective method for navigating the flocking robot system, moreover stable spring-damper system will ensure the system stability. Simulation results successfully applied to real system consist of one leader robot and one follower robot.

Index Term—flocking robot, robot leader, robot follower, sensor jarak dan virtual spring-damper

I. PENDAHULUAN

Flocking mobile robot robot atau robot berkelompok Pmulai banyak dikenalkan dalam dunia robotika saat ini.

Sedangkan navigasi *flocking mobile* robot itu sendiri telah menjadi perhatian besar bagi masyarakat robotika dalam dekade terakhir karena sistem multiple robotika memiliki potensi untuk dapat menyelesaikan tugas/tujuan yang tidak bisa dilaksanakan oleh robot tunggal.[3]

Aplikasi *flocking mobile* robot bisa ditemui baik di dunia industri, militer, maupun hiburan. *Flocking mobile* robot itu sendiri terinspirasi dari alam, seperti sekelompok burung yang terbang, kawanannya bebek maupun sekelompok ternak yang merumput.

Konsep dasar *flocking mobile robot* adalah satu robot *leader* diikuti oleh banyak robot lainnya. Robot *leader* berfungsi mengarahkan jalan robot-robot lain dan juga mengatur formasi dalam *flocking robot* tersebut. *Flocking mobile robot* dapat berupa *car-like mobile robot*, *humanoid robot* maupun *mobile robot* jenis lainnya. *Flocking mobile robot* itu sendiri dapat diaplikasikan sebagai robot permainan (*robot soccer*) maupun robot penelitian untuk daerah berbahaya yang luas, sehingga dapat bekerja dalam area yang luas dalam waktu yang singkat.[3]

Multiple *mobile robot* seringkali dalam aplikasinya harus berada dalam formasi tertentu untuk menyelesaikan tugas yang diberikan pada mereka. Format navigasi yang digunakan dalam paper ini adalah teknik *leader-follower*. Dalam teknik *leader-follower*, *multiple mobile robot*

diklasifikasikan menjadi robot *leader* dan robot *follower*. Robot *follower* akan mengikuti robot *leader* dan pada saat yang bersamaan akan mempertahankan jarak tertentu atau sudut tertentu. [3]

Kendali formasi dan navigasi tersebut akan semakin sulit jika *mobile robot* yang digunakan memiliki beberapa batasan kinematik yang umumnya disebut juga batasan non-holonomic untuk *car-like mobile robot*. [4]

Dalam paper ini dibahas dasar *flocking robot* dengan aplikasi sensor jarak yang dimodelkan dengan sistem spring-damper. Penelitian ini bertujuan untuk melihat kemungkinan pengaplikasian sensor jarak pada navigasi *flocking robot* dengan sistem *leader-follower*. Pada robot *follower* terpasang sensor jarak yang akan mendeteksi jarak antara robot *leader* dan robot *follower*, robot *follower* akan terus mempertahankan jarak terhadap robot *leader* dan jika robot *leader* berhenti maka robot *follower* pun akan berhenti.

Penelitian awal dimulai dengan pemodelan sistem *spring-damper* dan keefektifan metode ini akan disimulasikan menggunakan MATLAB/Simulink dan setelah diperoleh hasil yang cukup memuaskan maka akan diaplikasikan kepada real sistem.[6] Aplikasi pada sistem *mobile robot* yang real hanya menggunakan 2 *mobile robot* sebagai awal dimana satu robot *leader* dan satu robot *follower*.

II PEMODELAN *SPRING-DAMPER* UNTUK SENSOR JARAK PADA SISTEM *FLOCKING MOBILE ROBOT*

Pemodelan *spring-damper* merupakan metode pemodelan dengan strategi *force control*. Sensor jarak yang diaplikasikan pada robot *follower* dimaksudkan untuk mendeteksi jarak antara robot *leader* dan robot *follower*, robot *follower* akan terus mempertahankan jarak tertentu terhadap robot *leader* (maupun jarak dengan robot *follower* lainnya) dan jika robot *leader* berhenti maka robot *follower* pun akan berhenti.

Sensor jarak yang terpasang pada robot *follower* dimodelkan sebagai model virtual *spring-damper* sehingga formasi robot *leader* dan robot *follower* pun dimodelkan sebagai formasi robot dengan serangkaian massa, *spring* dan *damper*.

Penurunan persamaan matematis robot *leader* dan robot *follower* berdasarkan gaya yang diaplikasikan pada sistem tersebut dengan mengacu pada Hukum Newton.[1],[5],[6]

Pergerakan robot dilihat berdasarkan jarak yang ditempuh dan kecepatan dari *mobile robot* tersebut dan penurunan output jarak dan kecepatan tersebut diperoleh dari input gaya yang diberikan kepada sistem. [1],[5],[6]

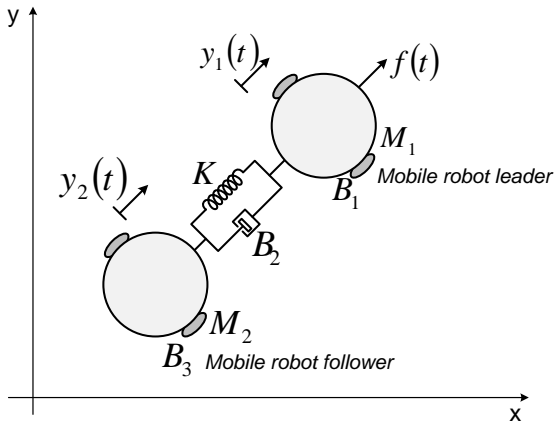
Sistem robot terdiri dari satu robot *leader* dan satu atau lebih robot *follower*. Interkoneksi antar robot tergantung dari bentuk formasi yang diinginkan. Pada kajian ini, formasi

robot berdasarkan formasi kereta dan formasi segitiga (*wedge formation*)

A. Pemodelan Spring-Damper untuk Flocking 2 mobile robot

Pemodelan sensor jarak sebagai *virtual spring-damper* dimulai dengan 2 *mobile robot*. Satu robot leader dan satu robot *follower*.

Gambar 1 memperlihatkan model *spring-damper* untuk *flocking 2 mobile robot*.



Gambar 1: Model *spring-damper* untuk 2 *mobile robot* dengan aplikasi sensor jarak pada robot *follower*

Dimana:

- F(t) Gaya (N)
- y₁ (t) Jarak (output) robot *leader* (m)
- y₂ (t) Jarak (output) robot *follower* (m)
- M₁ Massa robot *leader* (kg)
- M₂ Massa robot *follower* (kg)
- B₁ Gesekan pada roda robot *leader* (N/m/sec)
- B₂ Damper (N/m/sec)
- K Spring (N/m)

Dari gambar 1 dapat diturunkan persamaan sebagai berikut:

$$f(t) = M_1 \frac{d^2 y_1(t)}{dt^2} + B_1 \frac{dy_1(t)}{dt} + B_2 \left(\frac{dy_1(t)}{dt} - \frac{dy_2(t)}{dt} \right) + K(y_1(t) - y_2(t))$$

... pers (1a)

$$B_2 \left(\frac{dy_1(t)}{dt} - \frac{dy_2(t)}{dt} \right) + K(y_1(t) - y_2(t)) = M_2 \frac{d^2 y_2(t)}{dt^2} + B_3 \frac{dy_2(t)}{dt}$$

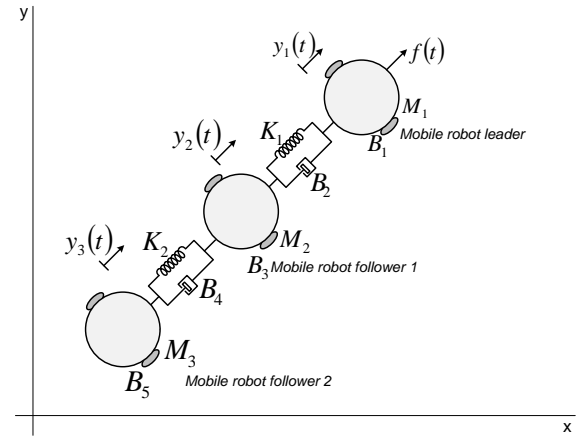
... pers (1b)

B. Pemodelan Spring-Damper untuk Flocking 3 mobile robot dengan formasi kereta

Pemodelan *spring-damper* untuk *flocking robot 3 mobile robot* dengan formasi kereta terdiri dari 1 robot *leader* dan 2 robot *follower*.

Sensor jarak terpasang pada *mobile robot follower 1* untuk mendeteksi jarak antara robot *leader* dengan robot *follower 1*, dan sensor jarak juga terpasang pada robot *follower 2* untuk mendeteksi jarak antara robot *follower 1* dan *follower 2*.

Gambar 2 memperlihatkan model *spring-damper* untuk *flocking 3 mobile robot* dengan formasi kereta.



Gambar 2: Model *spring-damper* untuk 1 *mobile robot* dengan aplikasi sensor jarak pada robot *follower 1* dan robot *follower 2* dengan formasi kereta

Dimana:

- F(t) Gaya (N)
- y₁ (t) Jarak (output) robot *leader* (m)
- y₂ (t) Jarak (output) robot *follower 1* (m)
- y₃ (t) Jarak (output) robot *follower 2* (m)
- M₁ Massa robot *leader* (kg)
- M₂ Massa robot *follower 1* (kg)
- M₃ Massa robot *follower 2* (kg)
- B₁ Gesekan pada roda robot *leader* (N/m/sec)
- B₂ Damper 1 (N/m/sec)
- B₃ Gesekan pada roda robot *follower 1* (N/m/sec)
- B₄ Damper 2 (N/m/sec)
- B₅ Gesekan pada roda robot *follower 2* (N/m/sec)
- K₁ Spring 1 (N/m)
- K₂ Spring 2 (N/m)

Dari gambar 2 dapat diturunkan persamaan sebagai berikut:

$$f(t) = M_1 \frac{d^2 y_1(t)}{dt^2} + B_1 \frac{dy_1(t)}{dt} + B_2 \left(\frac{dy_1(t)}{dt} - \frac{dy_2(t)}{dt} \right) + K_1(y_1(t) - y_2(t))$$

... pers (2a)

$$B_2 \left(\frac{dy_1(t)}{dt} - \frac{dy_2(t)}{dt} \right) + K_1 (y_1(t) - y_2(t)) = M_2 \frac{d^2 y_2(t)}{dt^2} + B_3 \frac{dy_2(t)}{dt} + B_4 \left(\frac{dy_2(t)}{dt} - \frac{dy_3(t)}{dt} \right) + K_2 (y_2(t) - y_3(t))$$

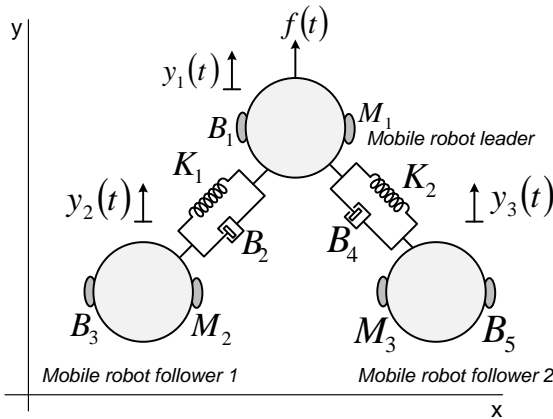
... pers (2b)
 ... pers (2c)

$$B_4 \left(\frac{dy_2(t)}{dt} - \frac{dy_3(t)}{dt} \right) + K_2 (y_2(t) - y_3(t)) = M_3 \frac{d^2 y_3(t)}{dt^2} + B_5 \frac{dy_3(t)}{dt}$$

C. Pemodelan Spring-Damper untuk Flocking 3 mobile robot dengan formasi segitiga (wedge formation)

Pemodelan spring-damper untuk flocking robot 3 mobile robot dengan formasi segitiga, sensor jarak terpasang pada mobile robot follower 1 untuk mendeteksi jarak antara robot leader dengan robot follower 1, dan sensor jarak juga terpasang pada robot follower 2 untuk mendeteksi jarak antara robot follower 2 dan robot leader.

Gambar 3 memperlihatkan model spring-damper untuk flocking 3 mobile robot formasi segitiga.



Gambar 3: Model spring-damper untuk 1 mobile robot dengan aplikasi sensor jarak pada robot follower 1 dan robot follower 2 dengan formasi segitiga (wedge formation)

Dimana:

F(t)	Gaya (N)
y ₁ (t)	Jarak (output) robot leader (m)
y ₂ (t)	Jarak (output) robot follower 1 (m)
y ₃ (t)	Jarak (output) robot follower 2(m)
M ₁	Massa robot leader (kg)
M ₂	Massa robot follower 1 (kg)
M ₃	Massa robot follower 2 (kg)
B ₁	Gesekan pada roda robot leader (N/m/sec)
B ₂	Damper 1(N/m/sec)
B ₃	Gesekan pada roda robot follower 1 (N/m/sec)
B ₄	Damper 2(N/m/sec)
B ₅	Gesekan pada roda robot follower 2

5 K (N/m/sec)
 Spring 1 (N/m)
 Dari gambar 3 dapat diturunkan persamaan sebagai berikut:

$$f(t) = M_1 \frac{d^2 y_1(t)}{dt^2} + B_1 \frac{dy_1(t)}{dt} + B_2 \left(\frac{dy_1(t)}{dt} - \frac{dy_2(t)}{dt} \right) + K_1 (y_1(t) - y_2(t)) + B_4 \left(\frac{dy_2(t)}{dt} - \frac{dy_3(t)}{dt} \right) + K_2 (y_2(t) - y_3(t))$$

... pers (3a)

$$B_2 \left(\frac{dy_1(t)}{dt} - \frac{dy_2(t)}{dt} \right) + K_1 (y_1(t) - y_2(t)) = M_2 \frac{d^2 y_2(t)}{dt^2} + B_3 \frac{dy_2(t)}{dt}$$

... pers 3b)

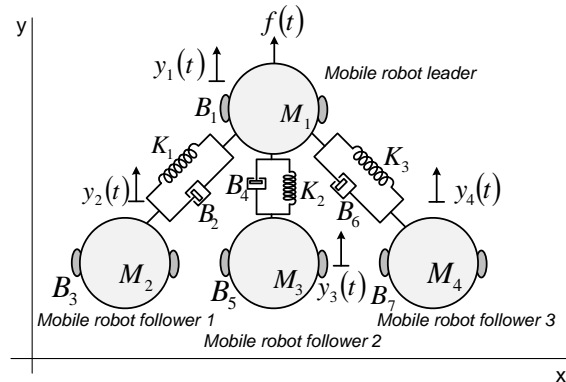
$$B_4 \left(\frac{dy_2(t)}{dt} - \frac{dy_3(t)}{dt} \right) + K_2 (y_2(t) - y_3(t)) = M_3 \frac{d^2 y_3(t)}{dt^2} + B_5 \frac{dy_3(t)}{dt}$$

... pers 3c)

D. Pemodelan Spring-Damper untuk Flocking 4 mobile robot dengan formasi segitiga

Pemodelan spring-damper untuk flocking robot 4 mobile robot dengan formasi segitiga, sensor jarak terpasang pada masing-masing mobile robot follower untuk mendeteksi jarak antara robot-robot follower dengan robot leader.

Gambar 4 memperlihatkan model spring-damper untuk flocking 4 mobile robot dengan formasi segitiga.

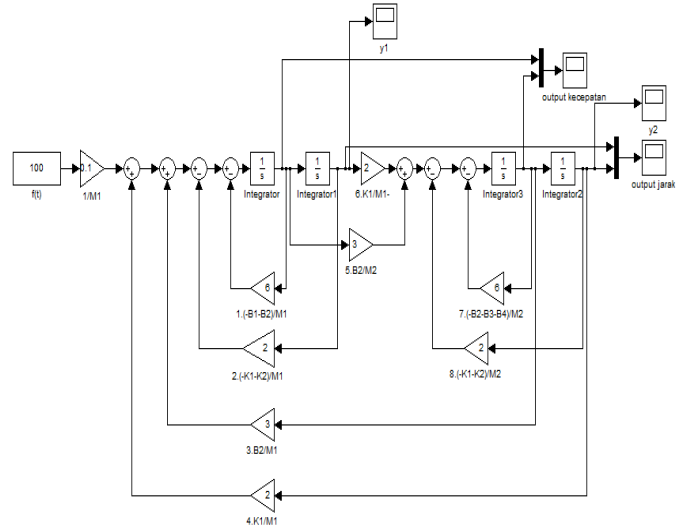


Gambar 4: Model spring-damper untuk 1 mobile robot dengan aplikasi sensor jarak pada robot-robot follower dengan formasi segitiga

Dimana:

F(t)	Gaya (N)
y ₁ (t)	Jarak (output) robot leader (m)
y ₂ (t)	Jarak (output) robot follower 1 (m)
y ₃ (t)	Jarak (output) robot follower 2(m)
y ₄ (t)	Jarak (output) robot follower 3 (m)
M	Massa robot leader (kg)
M ₁	Massa robot follower 1 (kg)
M ₂	Massa robot follower 2 (kg)

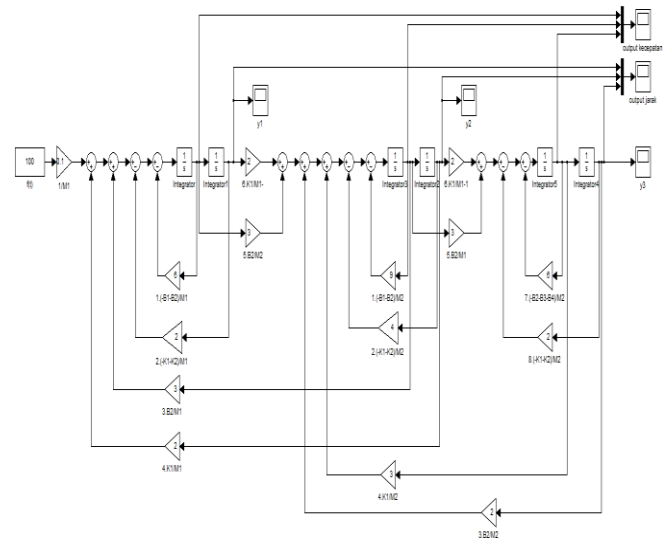
- 3 M Massa robot *follower 3* (kg)
- 4 B Gesekan pada roda robot *leader* (N/m/sec)
- 1 B *Damper 1*(N/m/sec)
- 2 B Gesekan pada roda robot *follower 1* (N/m/sec)
- 3 B *Damper 2*(N/m/sec)
- 4 B Gesekan pada roda robot *follower 2* (N/m/sec)
- 5 B *Damper 3*(N/m/sec)
- 6 B Gesekan pada roda robot *follower 3* (N/m/sec)
- 7 K *Spring 1* (N/m)
- 1 K *Spring 2* (N/m)
- 2 K *Spring 3* (N/m)
- 3



Gambar 5. Simulasi MATLAB Simulink untuk *flocking 2 mobile robot*

B.Simulasi Pemodelan Spring-Damper untuk Flocking 3 mobile robot

Simulasi untuk pemodelan *spring-damper flocking 3 mobile robot* dengan formasi kereta diperlihatkan pada gambar 6 berdasarkan model gambar 2, dimana: $F(t) = 100$ N, $M_1 = M_2 = M_3 = 10$ kg, $B_1 = B_2 = B_3 = 30$ N/m/sec dan $K_1 = K_2 = 20$ N/M



Gambar 6. Simulasi MATLAB/Simulink untuk *flocking 3 mobile robot* dengan formasi kereta

C.Simulasi Pemodelan Spring-Damper untuk Flocking 3 mobile robot dengan formasi segitiga

Adapun Simulasi untuk pemodelan *spring-damper flocking 3 mobile robot* dengan formasi segitiga (*wedge formation*) diperlihatkan pada gambar 7 berdasarkan model gambar 3, dimana:

$F(t) = 100$ N, $M_1 = M_2 = M_3 = 10$ kg, $B_1 = B_2 = B_3 = 30$ N/m/sec dan $K_1 = K_2 = 20$ N/M

Dari gambar 4 dapat diturunkan persamaan sebagai berikut:

$$f(t) = M_1 \frac{d^2 y_1(t)}{dt^2} + B_1 \frac{dy_1(t)}{dt} + B_2 \left(\frac{dy_1(t)}{dt} - \frac{dy_2(t)}{dt} \right) + K_1 (y_1(t) - y_2(t)) + B_4 \left(\frac{dy_2(t)}{dt} - \frac{dy_3(t)}{dt} \right) + K_2 (y_2(t) - y_3(t)) + B_6 \left(\frac{dy_3(t)}{dt} - \frac{dy_4(t)}{dt} \right) + K_3 (y_3(t) - y_4(t))$$

... pers (4a)

$$B_2 \left(\frac{dy_1(t)}{dt} - \frac{dy_2(t)}{dt} \right) + K_1 (y_1(t) - y_2(t)) = M_2 \frac{d^2 y_2(t)}{dt^2} + B_3 \frac{dy_2(t)}{dt}$$

... pers (4b)

$$B_4 \left(\frac{dy_2(t)}{dt} - \frac{dy_3(t)}{dt} \right) + K_2 (y_2(t) - y_3(t)) = M_3 \frac{d^2 y_3(t)}{dt^2} + B_5 \frac{dy_3(t)}{dt}$$

... pers (4c)

$$B_6 \left(\frac{dy_3(t)}{dt} - \frac{dy_4(t)}{dt} \right) + K_3 (y_3(t) - y_4(t)) = M_4 \frac{d^2 y_4(t)}{dt^2} + B_7 \frac{dy_4(t)}{dt}$$

... pers (4d)

III SIMULASI

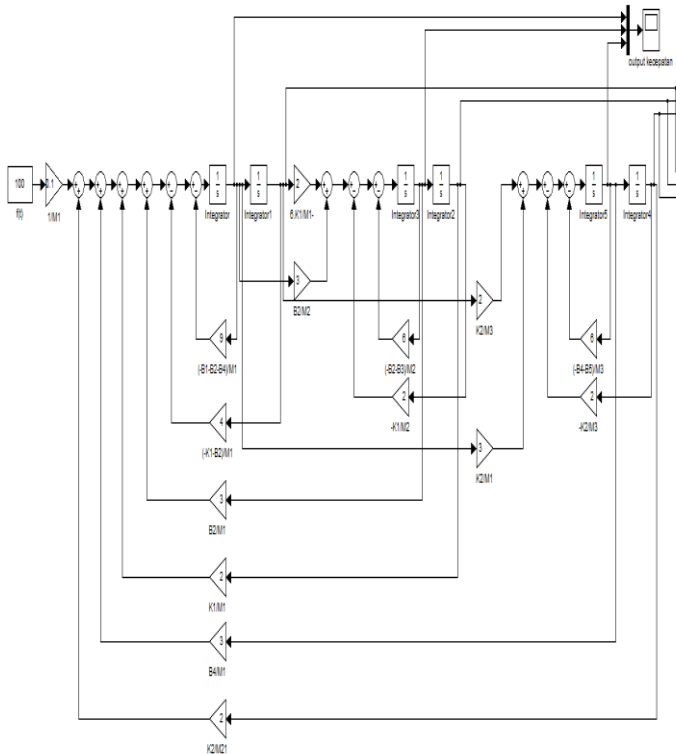
A.Simulasi Pemodelan Spring-Damper untuk Flocking 2 mobile robot

Simulasi untuk pemodelan virtual *spring-damper flocking 2 mobile robot* dilakukan dengan MATLAB/Simulink dengan model simulink pada gambar 4 berdasarkan model gambar 1, dimana:

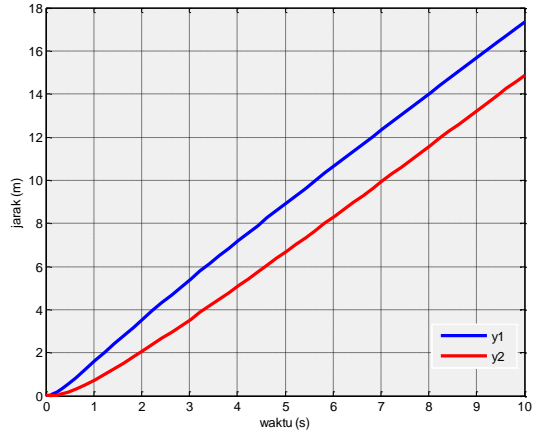
$F(t) = 100$ N, $M_1 = M_2 = 10$ kg, $B_1 = B_2 = 30$ N/m/sec dan $K = 20$ N/M

IV. HASIL SIMULASI DAN PEMBAHASAN

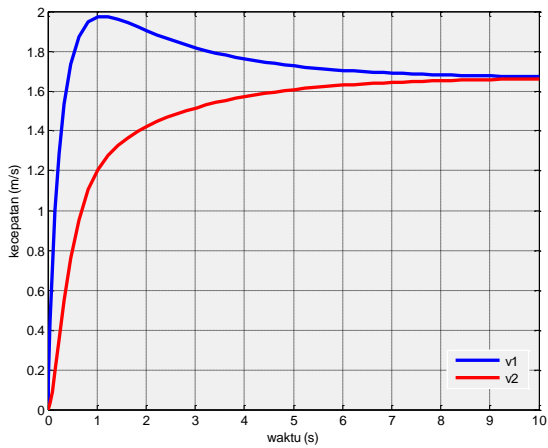
A. Simulasi Pemodelan *Spring-Damper* untuk *Flocking 2 mobile robot*



Hasil simulasi pemodelan *spring-damper* untuk *flocking 2 mobile robot* pada gambar 5 diperlihatkan pada gambar 9.



(a)



(b)

Gambar 9. Hasil simulasi MATLAB/Simulink untuk *flocking 2 mobile robot*; (a) Output Jarak (b) Output kecepatan

Gambar 9.a adalah output jarak kedua robot, baik robot *leader* (y1) maupun robot *follower* (y2). Dari gambar 9.a terlihat bahwa robot *follower* mengikuti robot *leader* dalam jarak yang hampir sama tanpa menabrak robot *leader*

Gambar 9.b adalah output kecepatan kedua robot, kecepatan robot *leader* (v1) dan kecepatan robot *follower* (v2). Walau pada kondisi awal kecepatan kedua robot berbeda, namun pada kondisi tunak (*steady state*) kedua robot memiliki kecepatan yang sama. Hal ini tentunya menunjang hasil gambar 9.a yang memperlihatkan jarak yang sama antara robot *leader* dan robot *follower*.

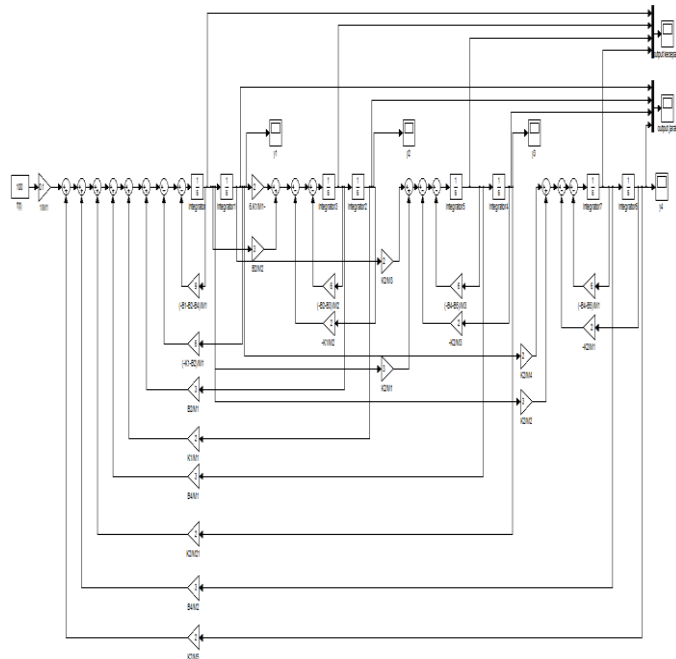
B. Simulasi Pemodelan *Spring-Damper* untuk *Flocking 3 mobile robot*

Hasil simulasi MATLAB/Simulink untuk *flocking 3 mobile robot* dengan formasi kereta pada gambar 6 diperlihatkan pada gambar 10.

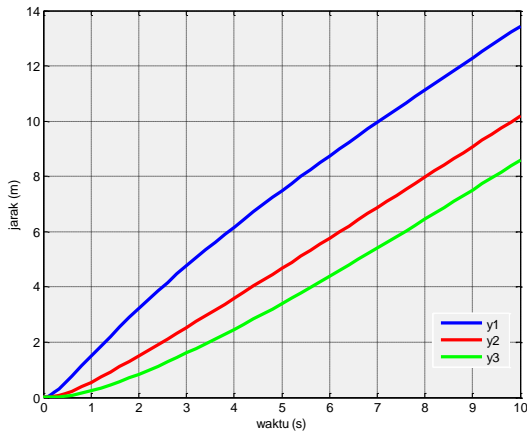
Gambar 7 Simulasi MATLAB/Simulink untuk *flocking 3 mobile robot* dengan formasi segitiga

D. Simulasi Pemodelan *Spring-Damper* untuk *Flocking 4 mobile robot* dengan formasi segitiga

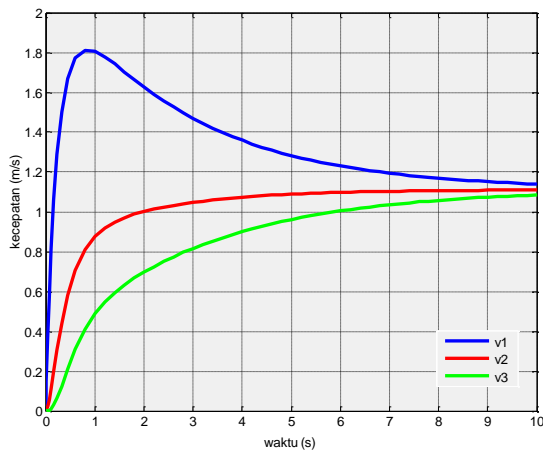
Adapun Simulasi untuk pemodelan *spring-damper flocking 4 mobile robot* dengan formasi segitiga diperlihatkan pada gambar 11 berdasarkan model gambar 5, dimana: $F(t) = 100 \text{ N}$, $M_1 = M_2 = M_3 = M_4 = 10 \text{ kg}$, $B_1 = B_2 = B_3 = B_4 = 30 \text{ N/m/sec}$ dan $K_1 = K_2 = K_3 = 20 \text{ N/M}$



Gambar 8. Simulasi MATLAB/Simulink untuk *flocking 4 mobile robot* dengan formasi segitiga



(a)



(b)

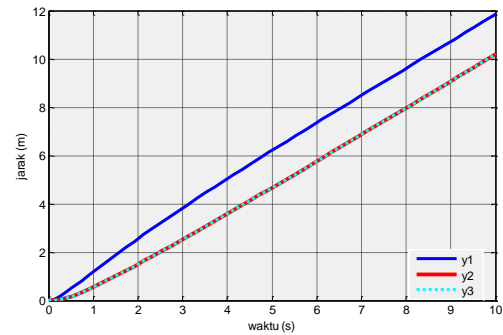
Gambar 10. Hasil simulasi MATLAB/Simulink untuk *flocking 3 mobile robot* dengan formasi kereta (a) Output jarak (b) Output kecepatan

Gambar 10.a adalah output jarak *flocking 3 mobile robot*, robot *leader* (y1) maupun robot *follower 1* (y2) dan robot *follower 2* (y3). Dari gambar 10.a terlihat bahwa robot *follower 1* mengikuti robot *leader* dalam jarak yang hampir sama tanpa menabrak robot *leader* dan robot *follower 2* mengikuti robot *follower 1* dan tidak menabrak robot *follower 1*.

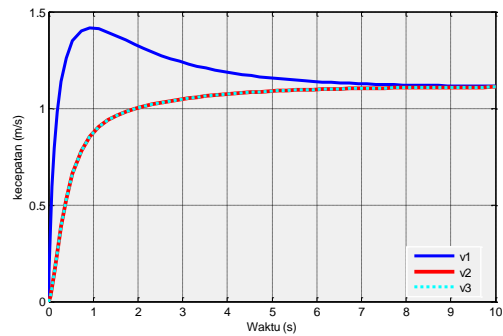
Pada gambar 10.b adalah output kecepatan ketiga robot dalam formasi kereta tersebut. Kecepatan robot *leader* (v1) dan kecepatan robot *follower* (v2) serta kecepatan robot *follower 2* (v3) adalah sama pada saat kondisi tunak tercapai. Hal ini tentunya menunjang hasil gambar 10.a yang memperlihatkan jarak yang sama antara robot *leader* dan robot *follower 1* serta antara robot *follower 1* dan robot *follower 2*.

C.Simulasi Pemodelan *Spring-Damper* untuk *Flocking 3 mobile robot* dengan formasi segitiga

Hasil simulasi untuk pemodelan *spring-damper flocking 3 mobile robot* dengan formasi segitiga (*wedge formation*) pada gambar 7 diperlihatkan pada gambar 11.



(a)



(b)

Gambar 11. Hasil Simulasi MATLAB/Simulink untuk *flocking 3 mobile robot* dengan formasi segitiga (a) Output Jarak (b) Output Kecepatan

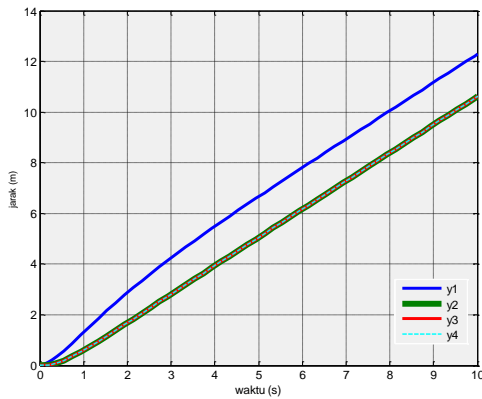
Gambar 11.a adalah output jarak *flocking 3 mobile robot* dengan formasi segitiga (*wedge formation*), dimana kedua robot *follower* berdampingan mengikuti robot *leader*.

Output jarak robot *leader* (y1) antara robot *follower 1* (y2) dan robot *follower 2* (y3) tetap dalam jarak yang hampir sama. Hal ini berarti kedua robot *follower* berdampingan mengikuti robot *leader* sehingga formasi segitiga tetap terjaga.

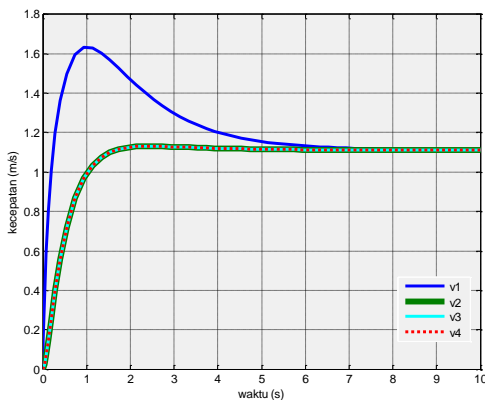
Pada gambar 11.b adalah output kecepatan ketiga robot dalam formasi segitiga tersebut. Kecepatan robot *leader* (v1) dan kecepatan robot *follower* (v2) serta kecepatan robot *follower 2* (v3) adalah sama pada saat kondisi tunak tercapai. Hal ini tentunya menunjang hasil gambar 11.a yang memperlihatkan jarak yang sama antara robot *leader* dengan robot *follower 1* dan robot *follower 2*.

D.Simulasi Pemodelan *Spring-Damper* untuk *Flocking 4 mobile robot* dengan formasi segitiga

Hasil simulasi untuk pemodelan *spring-damper flocking 4 mobile robot* dengan formasi segitiga) pada gambar 8 diperlihatkan pada gambar 12.



(a)



(b)

Gambar 12. Hasil Simulasi MATLAB/Simulink untuk flocking 4 mobile robot dengan formasi segitiga (a) Output Jarak (b) Output Kecepatan

Gambar 12.a adalah output jarak flocking 4 mobile robot dengan formasi segitiga, dimana ketiga robot follower berdampingan mengikuti robot leader.

Output jarak robot leader (y_1) antara robot follower 1 (y_2), robot follower 2 (y_3) dan robot follower 3 (y_4) tetap dalam jarak yang hampir sama. Hal ini berarti ketiga robot follower berdampingan mengikuti robot leader sehingga formasi segitiga tetap terjaga.

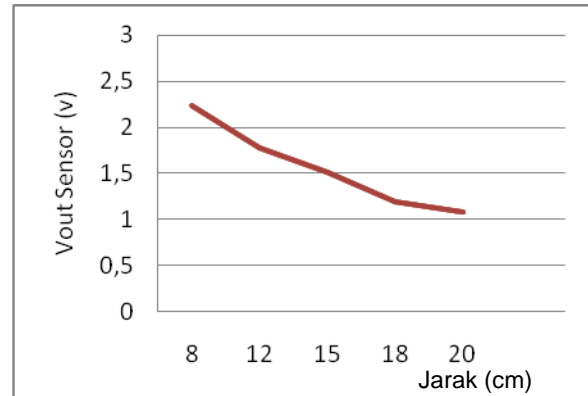
Pada gambar 11.b adalah output kecepatan ketiga robot dalam formasi segitiga tersebut. Kecepatan robot leader (v_1), kecepatan robot follower (v_2), kecepatan robot follower 2 (v_3) serta kecepatan robot follower 2 (v_4) adalah sama pada saat kondisi tunak tercapai. Hal ini tentunya menunjang hasil gambar 11.a yang memperlihatkan jarak yang sama antara robot leader dengan robot follower 1, robot follower 2 dan robot follower 3.

V. APLIKASI SISTEM MOBILE ROBOT REAL

Hasil simulasi diaplikasikan ada real sistem yang terdiri dari satu robot leader dan satu robot follower. Sensor jarak yang terpasang pada robot follower adalah sensor SHARP GP2D12 memiliki tegangan keluaran yang hampir linier terhadap jarak sehingga memudahkan proses kalibrasi jarak, tidak terpengaruh terhadap warna, dan dilengkapi filter IR (Infra Red) sehingga bisa menghalau interferensi cahaya luar. Sebagai kendali utama sistem flocking robot ini diunggah ke Mikrokontroler Atmega 8535.

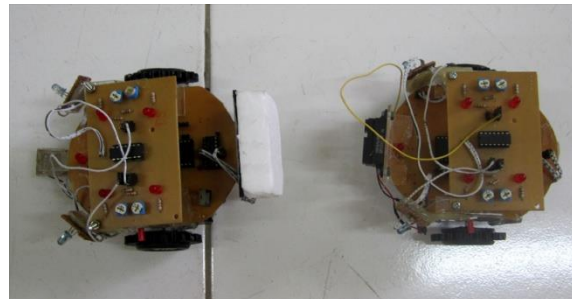
Tabel 1. Data pengukuran sensor jarak

No	Jarak (cm)	Vout sensor (V)
1	8	2.23
2	12	1,77
3	15	1,51
4	18	1,19
5	20	1,08



Gambar 13. Grafik hubungan tegangan dengan jarak (sensor jarak GP2D12)

Dari tabel hasil pengukuran 1 dan gambar 13 dapat dilihat bahwa Vout sensor berbanding terbalik dengan jarak, semakin jauh jaraknya maka Vout sensor akan semakin kecil demikian sebaliknya semakin dekat jaraknya maka Vout sensor akan semakin besar. Sensor jarak GP2D12 berfungsi untuk memastikan robot follower mengikuti robot leader dan menjaga jarak antara robot follower dengan robot leader agar tidak terjadi tabrakan.



Gambar 14. Aplikasi simulasi pada sistem mobile robot real

VI. KESIMPULAN

Hasil simulasi memperlihatkan bahwa robot-robot follower mengikuti robot leader dalam jarak yang sama dan tetap. Output kecepatan dari masing-masing robot, baik robot leader maupun robot-robot follower adalah sama pada saat keadaan tunak tercapai. Hal ini menunjukkan pada saat pergerakan robot, robot-robot tetap mempertahankan formasi yang telah ditentukan, baik formasi kereta maupun formasi segitiga. Hasil simulasi juga menunjukkan bahwa pemodelan sensor jarak sebagai virtual spring-damper efektif dalam aplikasi flocking mobile robot. Sistem spring-damper yang stabil juga memungkinkan terciptanya sistem yang stabil. Hasil simulasi diaplikasikan ada real sistem yang terdiri dari satu robot leader dan satu robot follower. Sensor jarak yang terpasang pada robot follower adalah sensor SHARP GP2D12 dan sebagai kendali utama sistem flocking

robot ini diunggah ke Mikrokontroler Atmega 8535. Dari tabel hasil pengukuran 1 dan gambar 13 dapat dilihat bahwa Vout sensor berbanding terbalik dengan jarak, semakin jauh jaraknya maka Vout sensor akan semakin kecil demikian sebaliknya semakin dekat jaraknya maka Vout sensor akan semakin besar. Sensor jarak GP2D12 berfungsi untuk memastikan robot *follower* mengikuti robot *leader* dan menjaga jarak antara robot *follower* dengan robot *leader* agar tidak terjadi tabrakan.

VII. DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Bolton, W., "*Control Engineering*", Addison Wesley Longman, Malaysia, 1998
- [2]. Desai, Jaydev P, Ostrowski, James P, Kumar, R Vijay. "*Modeling Control of Formation of Nonholonomic Mobile Robot*", IEEE Transactions on Robotics and Automation, Vol 17. No.6, 2001.
- [3]. Fujimori, Atsushi, Fujimoto, Takeshi. Bohac, Gabor, "*Formated Navigation of Mobile Robot Using Distributed Leader-Follower Control*", IFAC, 2005.
- [4]. Golnaraghi, Farid, Siegwart, R., Nourbakhsh I.R., *Introduction to Autonomous Mobile Robot*, Massachusetts Institute of Technology, USA, 2004.
- [5]. Haugen Finn, "*Discrete-time Signal and Systems*", TechTeach, Norway, 2005
- [6]. Kuo, B.C., Golnaraghi, F., "*Automatic Control Systems*", Wiley International Edition, USA, 2003
- [7]. Ogren, Petter, Leonard, Naomi Ehrlich, "*Obstacle Avoidance in Formation*", IEEE ICRA, 2003

Tresna Dewi, Dosen tetap Politeknik Negeri Sriwijaya sejak maret 2000 dan dosen LB di Fasilkom UNSRI sejak tahun 2007.