

SKRIPSI
PEMBENTUKAN FORMASI *SWARM ROBOT* DENGAN
INPUT LOKALISASI BERBASIS KAMERA MENGGUNAKAN
ALGORITMA *PARTICLE SWARM OPTIMIZATION* (PSO)



Disusun Untuk Memenuhi Syarat mendapatkan Gelar Sarjana Teknik Pada
Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya

Oleh :

MUHAMMAD IRSYAD RAZAN

03041281924059

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA

2023

LEMBAR PENGESAHAN
PEMBENTUKAN FORMASI *SWARM ROBOT* DENGAN
INPUT LOKALISASI BERBASIS KAMERA MENGGUNAKAN
ALGORITMA *PARTICLE SWARM OPTIMIZATION* (PSO)



SKRIPSI

Disusun untuk Memenuhi Syarat Mendapatkan Gelar Sarjana Teknik pada
Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik

Universitas Sriwijaya

Oleh:

MUHAMMAD IRSYAD RAZAN

03041281924059

Indralaya, 22 Juli 2023

Menyetujui,
Pembimbing Utama

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Elektro



Muhammad Abu Bakar Sidik., S.T., M.Eng., Ph.D
NIP. 197108141999031005



Dr. Eng. Ir. Suci Dwijavanti, S.T., M.S., IPM
NIP. 198407302008122001

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Muhammad Irsyad Razan

NIM : 03041281924059

Fakultas : Teknik

Jurusan Prodi : Teknik Elektro

Univeristas : Universitas Sriwijaya

Hasil Pengecekan *software iThenticate/Turnitin* : 3%

Menyatakan bahwa tugas akhir saya yang berjudul “Pembentukan Formasi *Swarm Robot* Dengan Input Lokalisasi Berbasis Kamera Menggunakan Algoritma *Particle Swarm Optimization (PSO)*” merupakan hasil karya sendiri dan benar keasliannya. Apabila ternyata dikemudian hari ditemukan unsur penjiplakan/plagiat dalam karya ilmiah ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya dan tanpa paksaan.

Palembang, 22 Juli 2023



Muhammad Irsyad Razan
NIM. 03041281924059

Saya sebagai Pembimbing dengan ini menyatakan bahwa saya telah membaca dan menyetujui skripsi ini dan dalam pandangan saya ruang lingkup dan kualitas skripsi ini mencukupi sebagai skripsi mahasiswa sarjana strata satu (S1).

Tanda Tangan :  _____

Pembimbing Utama : Dr. Eng. Ir. Suci Dwijayanti, S.T., M.S., IPM

Tanggal : 22 / Juli / 2023

**PERYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK
KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai civitas akademik Universitas Sriwijaya, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhammad Irsyad Razan

NIM : 03041281924059

Jurusan/Prodi : Teknik Elektro

Fakultas : Teknik

Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Sriwijaya **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

**PEMBENTUKAN FORMASI *SWARM ROBOT* DENGAN
INPUT LOKALISASI BERBASIS KAMERA MENGGUNAKAN
ALGORITMA *PARTICLE SWARM OPTIMIZATION (PSO)***

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Sriwijaya berhak menyimpan, mengalih media /formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan tulisan saya tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di Palembang

Pada tanggal : 22 Juli 2023

Yang menyatakan



Muhammad Irsyad Razan

NIM. 03041281924059

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis kepada Allah SWT yang telah melimpahkan segala rahmat dan karunia-Nya sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik dan tepat waktu. Skripsi ini disusun untuk memenuhi syarat mendapatkan gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya, dan juga sebagai bentuk pertanggungjawaban penulis terhadap penelitian dalam rangka Tugas Akhir yang dilakukan sebelumnya. Skripsi ini merupakan laporan tertulis hasil penelitian dalam pengujian algoritma *Particle Swarm Optimization* (PSO) dalam mempertahankan posisi untuk formasi pada *swarm robot*. Secara garis besar, laporan ini disusun menjadi lima bab, yaitu pendahuluan, tinjauan pustaka, metode penelitian, hasil dan pembahasan, serta kesimpulan dan saran.

Dalam penyusunan skripsi maupun selama pelaksanaan penelitian di lapangan, penulis banyak mendapatkan bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, oleh karena itu penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua saya (**Rachmad Chandra dan Desi Fachriani Siregar**) yang telah banyak mendoakan dan selalu memberikan dukungan tak ternilai baik secara moriil maupun materiil sehingga bisa menyelesaikan perkuliahan ini dengan baik dan tepat waktu, saya ucapakan terima kasih yang sebesar-besarnya.
2. **Ibu Dr. Eng. Ir. Suci Dwijayanti, S.T., M.S., IPM.** Dan **Bapak Ir. Zaenal Husin, MSc** Selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir, atas kesediaannya membimbing, mengajarkan, dan megarahkan penulis selama penelitian dan penyusunan Laporan Tugas Akhir ini.
3. **Bapak M. Irfan Jambak, S.T., M.Eng., Ph.D.** Selaku dosen Pembimbing Akademik yang selalu memberi dukungan dan masukan selama masa perkuliahan.
4. **Bapak Muhammad Abu Bakar Sidik, S.T., M.Eng., Ph.D., IPU.** Selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
5. **Seluruh dosen di lingkungan Teknik Elektro Universitas Sriwijaya,** yang selama empat tahun membekali penulis dengan ilmu yang bermanfaat.

6. **Kak Selamat, Kak Ryan, Kak Rusman, Bu Diah** selaku Staf Adm Jurusan Teknik Elektro Universitas Sriwijaya, yang telah banyak membantu selama ini.
7. **Rosidi, Darryl Prasanna, dan R.M. Ubaidillah** yang telah merelakan waktu, pikiran dan tenaganya untuk membantu membuat prototype pada penelitian ini dapat diselesaikan.
8. **Muhammad Fatchan, Roni Wijaya, Alya Apriani, Rahman Hafidzin, Muhammad Deni Fajri, M. Azmi Tegar Putra Nova**, dan semua teman-teman Teknik Elektro yang namanya tidak bisa saya sebutkan satu persatu terkhusus angkatan 2019 yang telah memberikan bantuan selama penyusunan Laporan Tugas Akhir ini.
9. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, penulis ucapkan terima kasih.

Ibarat pepatah “tak ada gading yang tak retak”, penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan didalam penyusunan skripsi ini. Oleh karena itu, kritik dan saran yang konstruktif dari bapak/ibu dosen serta teman-teman sekalian sangatlah diharapkan sebagai masukan di kemudian hari.

Akhir kata, semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat positif bagi peningkatan ilmu pengetahuan dan berguna bagi semua kalangan yang membutuhkan khususnya mahasiswa/iTeknik Elektro Universitas Sriwijaya.

Palembang, 22 Juli 2023

Penulis

ABSTRAK

PEMBENTUKAN FORMASI *SWARM ROBOT* DENGAN INPUT LOKALISASI BERBASIS KAMERA MENGGUNAKAN ALGORITMA *PARTICLE SWARM OPTIMIZATION (PSO)*

(Muhammad Irsyad Razan, 03041281924059, 2023, 62 halaman)

Pekerjaan yang terus berulang pada industri *warehouse* memerlukan tenaga kerja yang tidak sedikit serta memakan waktu dan biaya. Salah satu upaya untuk mengatasi hal tersebut adalah dengan menggunakan *swarm robot* yang merupakan sekumpulan robot yang bekerja sama dalam melaksanakan tugas. *Swarm robot* menggunakan lokalisasi diri untuk bernavigasi secara mandiri. Namun, penggunaan *global positioning system (GPS)* untuk navigasi menentukan posisi masih belum efektif. Sehingga, pada penelitian ini dikembangkan metode untuk melokalisasi *swarm robot* berbasis kamera menggunakan algoritma *Particle Swarm Optimization (PSO)*. Prototipe *swarm robot* yang telah dirancang kemudian diuji performansinya agar dapat melokalisasi diri dengan input visual dari sensor kamera menggunakan algoritma PSO untuk mengetahui posisi terbaik pada masing-masing robot selama bertugas agar menghindari kerusakan. Hasil dari pengujian performa algoritma PSO menunjukkan bahwa nilai akhir *fitness* yang didapat untuk masing-masing formasi adalah 0 untuk formasi 1 dan 4, serta , 0,71 untuk formasi 2 dan 3. Hasil ini menunjukkan bahwa *swarm robot* dapat melakukan lokalisasi diri menggunakan algoritma PSO.

Kata kunci: *Swarm Robot, Lokalisasi, Formasi, Kamera, Particle Swarm Optimization (PSO).*

ABSTRACT

FORMATION OF SWARM ROBOT WITH CAMERA-BASED LOCALIZATION INPUT USING PARTICLE SWARM OPTIMIZATION (PSO) ALGORITHM

(Muhammad Irsyad Razan, 03041281924059, 62 page)

The repetitive tasks in the warehouse industry require a significant amount of workforce, time, and cost. One effort to overcome this is by using swarm robots, which are a group of robots that work together to perform tasks. Swarm robots use self-localization to navigate autonomously. However, the use of the global positioning system (GPS) for determining the position is still not effective. Therefore, in this research, a method is developed to localize swarm robots based on camera using the Particle Swarm Optimization (PSO) algorithm. The prototype of the swarm robot that has been designed is then tested for its performance to self-localize using visual input from the camera sensor, using the PSO algorithm to find the best position for each robot during their tasks to avoid damage. The results of the performance testing of the PSO algorithm show that the final fitness values obtained for each formation are 0 for formations 1 and 4, and 0.71 for formations 2 and 3. These results indicate that swarm robots can perform self-localization using the PSO algorithm.

Keyword: *Swarm Robot, Localization, Formation, Camera, Particle Swarm Optimization (PSO).*

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Pembatasan Masalah	4
1.5 Keaslian Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 State of Art	7
2.2 Swarm Robot	12
2.3 Computer Vision	15
2.4 Particle Swarm Optimization (PSO)	17
2.5 Formation Control	21
2.6 Localization	23
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	26
3.1 Studi Literatur	26
3.2 Pengambilan Data	27
3.3 Perancangan <i>Hardware</i>	27
3.3.1 Desain Robot	27
3.3.2 Komponen Swarm Robot	29
3.4 Perancangan Algoritma <i>Particle Swarm Optimization</i> (PSO)	37
3.5 Evaluasi	39

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	40
4.1 Perancangan Alat.....	40
4.1.1 <i>Setting</i> Parameter Pixycam	42
4.2 Pembentukan formasi	44
4.2.1 Pengambilan Data Koordinat Posisi	47
4.3 Pembentukan Algoritma PSO	48
4.3.1 Inisialisasi Partikel	48
4.3.2 Evaluasi <i>Fitness</i> Partikel.....	49
4.3.3 Posisi Optimal Partikel	50
4.4 Pengujian Algoritma.....	51
4.4.1 Formasi 1	52
4.4.2 Formasi 2	54
4.4.3 Formasi 3	55
4.4.4 Formasi 4	57
4.5 Pengujian Realtime Pada Prototipe	59
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	62
5.1 Kesimpulan.....	62
5.2 Saran	62
DAFTAR PUSTAKA	63

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Taksonomi perilaku <i>swarm</i> [16]	13
Gambar 2.2 (a) Klasifikasi citra (b) Deteksi objek (c) Segmentasi contoh[18].....	15
Gambar 2.3 Metode <i>dynamic triangulation</i> [19]	16
Gambar 2.4 Diagram blok sistem <i>stereo vision</i> [20].....	17
Gambar 2.5 <i>Flowchart</i> algoritma <i>particle swarm optimization</i> [21].....	19
Gambar 2.6 Algoritma PSO[14]	21
Gambar 2.7 <i>Leader-follower control level</i> [24]	23
Gambar 2.8 (a) Peta <i>planar</i> (b) Peta <i>point-cloud</i>	24
Gambar 3.1 <i>Flowchart</i> metodologi penelitian	26
Gambar 3.2 Formasi <i>swarm robot</i> berjalan (kiri) akhir (kanan).....	27
Gambar 3.3 (a) Tampak depan, (b) Tampak atas, (c) Tampak <i>isometric</i> , (d) Tampak dalam.....	28
Gambar 3. 4 (a) Keseluruhan Komponen AGV (b) Ukuran AGV	29
Gambar 3.5 Diagram <i>hardware</i>	29
Gambar 3.6 Arduino Mega 2560 R3 ATMEGA 16U2.....	30
Gambar 3.7 U-blox NEO-M8N <i>module</i>	31
Gambar 3.8 Xbee S2C.....	32
Gambar 3.9 Sensor Ultrasonik HC-SR04	33
Gambar 3.10 Sensor Sharp GP2Y0A41SK0F	34
Gambar 3.11 Motor Driver BTS7960	34
Gambar 3.12 Motor DC Gearbox 281RPM	35
Gambar 3.13 Motor Servo MG995	36
Gambar 3.14 Pixy2 Cmu Cam5	37
Gambar 3.15 <i>Flowchart</i> Algoritma PSO	38
Gambar 4.1 PCB pada aplikasi EAGLE	40
Gambar 4.2 Implementasi PCB	41
Gambar 4.3 <i>Base</i> bawah <i>swarm robot</i>	41
Gambar 4.4 <i>Base</i> atas <i>swarm robot</i>	42
Gambar 4.5 Setting menu dan bounding box pada pixymon.....	43

Gambar 4.6 Formasi 1	44
Gambar 4.7 Formasi 2	45
Gambar 4.8 Formasi 3	46
Gambar 4.9 Formasi 4	47
Gambar 4.10 Program deteksi objek pada arduino	48
Gambar 4.11 Program inisialisasi PSO	49
Gambar 4.12 Program perhitungan <i>fitness</i> partikel	50
Gambar 4.13 Program <i>update</i> kecepatan partikel	50
Gambar 4.14 Program update posisi partikel	51
Gambar 4.15 Hasil uji algoritma PSO	52
Gambar 4.16 Posisi dan Fitness Formasi 1	53
Gambar 4.17 Posisi dan Fitness Formasi 2	55
Gambar 4.18 Posisi dan Fitness Formasi 3	56
Gambar 4.19 Posisi dan Fitness Formasi 4	58
Gambar 4.20 Pengujian Realtime pada prototipe	59
Gambar 4.21 Grafik fitness Gbest secara realtime	60

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Spesifikasi Arduino Mega 2560 R3 ATMEGA 16U2.....	30
Tabel 3.2 Spesifikasi U-blox NEO-M8N <i>Module</i>	31
Tabel 3.3 Spesifikasi Xbee S2C.....	32
Tabel 3.4 Spesifikasi Sensor Ultrasonik HC-SR04	33
Tabel 3.5 Spesifikasi Motor Driver BTS7960	35
Tabel 3.6 Spesifikasi Motor DC Gearbox 281RPM	35
Tabel 3.7 Spesifikasi Motor Servo MG995	36
Tabel 3.8 Spesifikasi Pixy2 Cmu Cam5	37
Tabel 4.1 Data Koordinat Posisi	48

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penerapan *mobile robot* dalam dunia industri khususnya di *warehouse* (gudang) telah banyak digunakan. Penggunaan *mobile robot* bertujuan untuk menghemat waktu dan biaya karena *mobile robot* dapat melakukan pekerjaan yang berulang, seperti tugas mengambil dan membawa rak di dalam gudang. *Mobile robot* ini diciptakan otonom sehingga dapat menavigasi secara mandiri di dalam gudang menggunakan jalur yang telah dirancang[1]. Salah satunya adalah *multi-autonomous guided vehicle* (AGV) menggunakan *framework Robot Operating System* (ROS) telah diterapkan untuk dialokasikan di dalam area gudang, dimana robot ini dirancang untuk menghitung jalur terpendek menuju lokasi secara otonom dan dapat mengoordinasikan gerakan dengan robot lainnya[2].

Koordinasi antar robot ini dapat diimplementasikan pada *swarm robot* yang juga dapat bekerja pada *warehouse*. Penelitian terkait *swarm robot* di *warehouse* telah dilakukan oleh Liu, Y *et al* [3]. Penelitian tersebut mengusulkan platform simulasi robot yang mereka sebut *MultiBots* berdasarkan metode *multi-agent pathfinding* (MAPF) dan strategi *collision avoidance* untuk mengevaluasi strategi alokasi tugas dalam skenario logistik *warehouse*. Dibandingkan dengan robot tunggal, *swarm robot* dapat secara meningkatkan efisiensi dan memberikan ketangguhan dalam kemampuan beradaptasi yang lebih baik dalam beberapa tugas pencarian target. Untuk menyelesaikan tugas-tugas tersebut kinerja *swarm robot* sangat bergantung pada koordinasi antar robot yaitu pembentukan formasi.

Formasi pada *swarm robot* juga bertujuan untuk membentuk pedoman kontrol yang dapat menggerakkan robot ke keadaan yang diinginkan sehingga target formasi dapat dicapai. Formasi dapat dibagi menjadi beberapa kasus seperti *leaderless*, *single-leader*, dan *multi-leader*. Tujuan dibentuknya *leader* adalah untuk mengarahkan *follower* terhadap rentang jarak yang diinginkan oleh *leader*

karena *leader* memiliki fleksibilitas dan kemampuan bermanuver untuk mengendalikan seluruh formasi[4].

Swarm mobile robot disusun oleh berbagai modul, seperti persepsi, lokalisasi, navigasi atau *movement control*, serta gerak. Siklus dimulai dengan ekstraksi data dari lingkungan *real* (modul persepsi) melalui sensor yang digabungkan, seperti ultrasonik, kamera, dan RFID. Data ini kemudian diproses dan digunakan sebagai parameter masukan dari algoritma agar robot dapat menemukan dirinya sendiri (modul lokalisasi). Setelah lokalisasi robot diperkirakan, kemudian dibandingkan dengan peta global untuk menentukan tindakan selanjutnya. Selanjutnya, robot mengeksekusi gerakan dan menavigasi lingkungan hingga mencapai posisi tujuan (modul *movement control*)[5].

Dari keempat modul tersebut, lokalisasi merupakan masalah yang paling sering ditemui. Lim *et al* menyatakan bahwa prasyarat utama untuk berhasil dalam navigasi robot adalah mengidentifikasi lokalisasi saat ini dengan tepat[6]. Lokalisasi dapat dibagi menjadi lokalisasi lokal dan global. Secara keseluruhan, menggunakan *global positioning system* (GPS) memecahkan masalah lokalisasi global secara efisien. Diskusi utama justru terkait dengan lokalisasi lokal di lingkungan dalam ruangan. Dalam hal ini, metode seperti *computer vision*[7].

Sistem *computer vision* adalah sistem yang biasanya memiliki gambar digital sebagai masukan dan memberikan atribut pemandangan/pandangan sebagai keluaran. *Computer vision* bekerja secara efisien, namun memerlukan daya komputasi yang cukup besar, seperti untuk melakukan algoritma pra-pemrosesan, segmentasi, ekstraksi atribut, dan pengenalan pola dalam gambar yang diambil. Bessa *et al* [8] menggunakan citra panoramik untuk jawaban atas keterbatasan tersebut, dimana citra panoramik adalah citra yang menangkap atau mencoba menangkap informasi secara 360⁰ dari suatu lingkungan atau disebut juga citra *omnidirectional*. Schilling *et al* telah melakukan penelitian tentang *swarm drone* yang menggunakan strategi kontrol reaktif berdasarkan informasi visual lokal menggunakan algoritma *convolution neural network* (CNN)[9]. Hasil penelitian

tersebut menunjukkan bahwa algoritma CNN dapat menghindari tabrakan antar *swarm* maupun penghalang dan efisien terhadap kohesi antar *swarm*.

Pada proses pembentukan formasi, *swarm robot* menggunakan sensor dan aktuator untuk berinteraksi dengan lingkungan, untuk bergerak, dan menjalankan fungsinya secara otonom. Gerakan tersebut diperintahkan oleh sistem navigasi robot untuk bergerak melalui serangkaian posisi tujuan berdasarkan informasi yang diberikan oleh sensor[7]. Biasanya, sebuah *swarm robot* menggunakan GPS untuk mengetahui posisi akan tetapi GPS kurang efisien, terutama untuk operasi di dalam ruangan. Hal ini dikarenakan pada saat berada di dalam ruangan GPS akan mengamati satelit lebih sedikit daripada di luar ruangan[10].

Sehingga, pada penelitian ini akan membahas tentang lokalisasi *swarm robot* di dalam gedung menggunakan input berbasis *computer vision* berupa kamera dan algoritma *Particle Swarm Optimization* (PSO) yang merupakan sebuah algoritma cerdas yang terinspirasi dari kawanan burung. Algoritma ini banyak dipelajari dan digunakan dalam tugas pencarian robot *swarm* karena memiliki kompatibilitas yang baik untuk robot *swarm*[11]. Beberapa penelitian berkaitan dengan *swarm robot* menggunakan metode PSO telah dilakukan antara lain oleh Wahab et al [12] yang menggunakan *Particle Swarm Optimization* dan Fringe Search (PSOFS) untuk menemukan jalur terbaik untuk *swarm robot*. Penelitian selanjutnya dilakukan [13] yang menggunakan Constriction Factors *Particle Swarm Optimization* (CFPSO) untuk strategi mencari banyak target dalam waktu bersamaan.

Pada penelitian ini, sistem kontrol formasi *swarm robot* yang dikembangkan berbasis *leader-follower* di dalam ruangan menggunakan algoritma PSO dengan input lokalisasi robot menggunakan kamera *vision*. Desain sistem kontrol formasi ini akan diimplementasikan pada prototipe *swarm robot* dan diharapkan dapat meningkatkan akurasi dari formasi sehingga *swarm robot* dapat bergerak dengan tetap mempertahankan formasi serta menghindari tabrakan antar robot sehingga dapat diimplementasikan pada *warehouse*.

1.2 Perumusan Masalah

GPS memiliki kemampuan yang terbatas dalam lokalisasi di dalam ruangan dan hanya efektif jika berada di luar ruangan. Sedangkan, *swarm robot* yang bekerja di *warehouse* perlu mempertahankan formasi di dalam ruangan. Sehingga, lokalisasi *swarm robot* menggunakan sensor visual dari kamera yang dapat melokalisasi *swarm robot* di dalam ruangan perlu dilakukan.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan dan menguji performansi sistem *swarm robot* agar dapat melokalisasi diri dengan input visual dari sensor berupa kamera menggunakan algoritma PSO sehingga dapat mempertahankan formasi di dalam ruangan.

1.4 Pembatasan Masalah

Beberapa batasan masalah yang diperlukan agar penelitian ini menjadi terarah adalah sebagai berikut :

1. Lokasi pengujian sebagai asumsi *warehouse* berada di ruangan pada gedung I Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya Palembang.
2. Algoritma PSO untuk membuat formasi dan *visual recognition* untuk proses input visual terhadap *swarm robot*.
3. Proses pengambilan input visual menggunakan kamera yang telah disediakan di dalam ruangan.
4. Pengujian dilakukan secara simulative dengan menggunakan kamera pixy.

1.5 Keaslian Penelitian

Penelitian tentang lokalisasi sumber polusi oleh *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) *swarm* menggunakan algoritma *Local Particle Swarm Optimization* (LoPSO) dilakukan oleh Saadaoui, H., & El Bouanani, F [8]. Pada penelitian ini, terdapat dua fase, yaitu algoritma *greedy* untuk fase eksplorasi dan algoritma LoPSO untuk fase eksploitasi. Hasil penelitian ini menunjukkan kinerja dan

ketahanan algoritma yang sangat baik karena UAV mampu menemukan sumber polusi dalam berbagai situasi lingkungan.

Penelitian lainnya dilakukan oleh Da Mota, F. A., Rocha, M. X., Rodrigues, J. J., De Albuquerque, V. H. C., & De Alexandria, A. R[7]. Peneliti melakukan lokalisasi *mobile robot* menggunakan RFID dengan metode *Petri Nets* (PN). *Mobile robot* ini masih menggunakan *line follower* dan hasil percobaan dari penelitian ini menunjukkan bahwa metode *Petri Nets* memiliki kelayakan dan keefektifan.

Penelitian selanjutnya dilakukan oleh de Sá, A. O., Nedjah, N., & de Macedo Mourelle, L[14]. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui lokalisasi dari *swarm robotic system* (SRS) dan membandingkan algoritma PSO dengan *Backtracking Search Algorithm* (BSA). Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa efisiensi dan kinerja Algoritma BSA lebih baik dibandingkan dengan PSO.

Penelitian lainnya dilakukan oleh de Sá, A. O., Nedjah, N., & de Macedo Mourelle, L [15]. Penelitian ini dilakukan untuk memecahkan masalah lokalisasi berdasarkan referensi pengukuran jarak node menggunakan metode Min-Max dan PSO. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan metode yang diusulkan, robot dapat mengurangi kesalahan rata-rata lokalisasi sebesar 84%.

Kemudian, Schilling, F., Lecoecur, J., Schiano, F., & Floreano, D.[9] membahas masalah *swarm drone* yang posisinya bergantung pada penanda visual sehingga diusulkan strategi kontrol reaktif berdasarkan informasi visual lokal menggunakan algoritma CNN. Algoritma ini diusulkan karena dapat menghindari rintangan dan efisien terhadap kohesi antar *swarm*. Hasil dari percobaan penelitian ini menunjukkan bahwa *swarm drone* dapat melakukan penerbangan berbasis visual lokal tanpa penanda.

Ab Wahab, M. N., Lee, C. M., Akbar, M. F., & Hassan, F. H[12] pada penelitiannya menguji perbandingan algoritma pada robot untuk menemukan jalur dari titik awal ke tujuan dengan menggunakan algoritma PSOFS dengan algoritma *Particle Swarm Optimization A** (PSOA) dan *Particle Swarm Optimization D** (PSOD) . Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa PSOFS lebih baik 66,67%

pada 4 percobaan dari 6 percobaan. Hal ini mengindikasikan bahwa PSOFS telah berhasil menemukan jalur yang lebih pendek, lebih halus, dan lebih aman dibandingkan dengan algoritma PSOA dan PSOD.

Penelitian selanjutnya dilakukan oleh Tang, Q., Ding, L., Yu, F., Zhang, Y., Li, Y., & Tu, H merancang sebuah strategi untuk robot *swarm* mencari beberapa target secara bersamaan [13]. Strategi ini menggunakan *constriction factors Particle Swarm Optimization* (CFPSO) dan bantuan *Searching auxiliary points* (SAPs) untuk membantu robot menentukan jumlah dan struktur grup. Hasil dari simulasi menunjukkan bahwa strategi tersebut memiliki akurasi dan kemampuan beradaptasi yang baik di lingkungan dengan banyak target dan halangan. Namun, penelitian ini baru disimulasikan pada aplikasi dan belum dicoba pada robot.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. V. Kumar and C. S. Kumar, "Development of collision free path planning algorithm for warehouse mobile robot," in *Procedia Computer Science*, 2018, vol. 133, pp. 456–463, doi: 10.1016/j.procs.2018.07.056.
- [2] I. Draganjac and S. Bogdan, "Decentralized Control of Multi-AGV Systems in Autonomous Warehousing Applications," *IEEE Trans. Autom. Sci. Eng.*, vol. 13, no. 4, pp. 1–15, 2016, doi: 10.1109/TASE.2016.2603781.
- [3] Y. Liu, L. Wang, H. Huang, M. Liu, and C. Z. Xu, "A novel swarm robot simulation platform for warehousing logistics," in *2017 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, ROBIO 2017*, 2017, vol. 2018-Janua, pp. 2669–2674, doi: 10.1109/ROBIO.2017.8324822.
- [4] H. Zhi, L. Chen, C. Li, and Y. Guo, "Leader-Follower Affine Formation Control of Second-Order Nonlinear Uncertain Multi-Agent Systems," *IEEE Trans. Circuits Syst. II Express Briefs*, vol. 68, no. 12, pp. 3547–3551, 2021, doi: 10.1109/TCSII.2021.3072652.
- [5] R. Siegwart, I. R. Nourbakhsh, and D. Scaramuzza, *Introduction To Autonomous Mobile Robots*, vol. 23, no 2. 2004.
- [6] J. Lim, S. Lee, G. Tewolde, and J. Kwon, "Indoor Localization and Navigation for a Mobile Robot Equipped with Rotating Ultrasonic Sensors Using a Smartphone as the Robot's Brain," *Int. J. Handheld Comput. Res.*, vol. 7, no. 1, pp. 1–11, 2016, doi: 10.4018/ijhcr.2016010101.
- [7] F. A. X. Da Mota, M. X. Rocha, J. J. P. C. Rodrigues, V. H. C. De Albuquerque, and A. R. De Alexandria, "Localization and navigation for autonomous mobile robots using petri nets in indoor environments," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 31665–31676, 2018, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2846554.
- [8] H. Saadaoui and F. El Bouanani, "A Local PSO-Based Algorithm for

- Cooperative Multi-UAV Pollution Source Localization,” *IEEE Access*, vol. 10, no. September, pp. 106436–106450, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3212079.
- [9] F. Schilling, J. Lecoeur, F. Schiano, and D. Floreano, “Learning Vision-Based Flight in Drone Swarms by Imitation,” *IEEE Robot. Autom. Lett.*, vol. 4, no. 4, pp. 4523–4530, 2019, doi: 10.1109/LRA.2019.2935377.
- [10] K. Chen and G. Tan, “SatProbe: Low-energy and fast indoor/outdoor detection based on raw GPS processing,” 2017, doi: 10.1109/INFOCOM.2017.8057095.
- [11] M. O. Okwu and L. K. Tartibu, “Particle Swarm Optimisation,” *Stud. Comput. Intell.*, vol. 927, pp. 5–13, 2021, doi: 10.1007/978-3-030-61111-8_2.
- [12] M. N. A. Wahab, C. M. Lee, M. F. Akbar, and F. H. Hassan, “Path Planning for Mobile Robot Navigation in Unknown Indoor Environments Using Hybrid PSOFS Algorithm,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 161805–161815, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3021605.
- [13] Q. Tang, L. Ding, F. Yu, Y. Zhang, Y. Li, and H. Tu, “Swarm Robots Search for Multiple Targets Based on an Improved Grouping Strategy,” *IEEE/ACM Trans. Comput. Biol. Bioinforma.*, vol. 15, no. 6, pp. 1943–1950, 2018, doi: 10.1109/TCBB.2017.2682161.
- [14] A. O. de Sá, N. Nedjah, and L. de Macedo Mourelle, “Distributed efficient localization in swarm robotic systems using swarm intelligence algorithms,” *Neurocomputing*, vol. 172, pp. 322–336, 2016, doi: 10.1016/j.neucom.2015.03.099.
- [15] A. O. De Sá, N. Nedjah, and L. D. M. Mourelle, “Distributed efficient localization in swarm robotics using Min-Max and Particle Swarm Optimization,” *Expert Syst. Appl.*, vol. 50, pp. 55–65, 2016, doi: 10.1016/j.eswa.2015.12.007.

- [16] M. Schranz, M. Umlauft, M. Sende, and W. Elmenreich, "Swarm Robotic Behaviors and Current Applications," *Front. Robot. AI*, vol. 7, no. April, 2020, doi: 10.3389/frobt.2020.00036.
- [17] L. Meier, P. Tanskanen, F. Fraundorfer, and M. Pollefeys, "PIXHAWK: A system for autonomous flight using onboard computer vision," in *Proceedings - IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 2011, pp. 2992–2997, doi: 10.1109/ICRA.2011.5980229.
- [18] H. Wu, D. Wu, and J. Zhao, "An intelligent fire detection approach through cameras based on computer vision methods," *Process Saf. Environ. Prot.*, vol. 127, pp. 245–256, 2019, doi: 10.1016/j.psep.2019.05.016.
- [19] L. C. Básaca-Preciado *et al.*, "Optical 3D laser measurement system for navigation of autonomous mobile robot," *Opt. Lasers Eng.*, vol. 54, pp. 159–169, 2014, doi: 10.1016/j.optlaseng.2013.08.005.
- [20] E. Dandil and K. K. Cevik, "Computer Vision Based Distance Measurement System using Stereo Camera View," in *3rd International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies, ISMSIT 2019 - Proceedings*, 2019, pp. 6–9, doi: 10.1109/ISMSIT.2019.8932817.
- [21] D. Wang, D. Tan, and L. Liu, "Particle swarm optimization algorithm: an overview," *Soft Comput.*, vol. 22, no. 2, pp. 387–408, 2018, doi: 10.1007/s00500-016-2474-6.
- [22] Y. P. Zhou, L. J. Tang, J. Jiao, D. D. Song, J. H. Jiang, and R. Q. Yu, "Modified particle swarm optimization algorithm for adaptively configuring globally optimal classification and regression trees," *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 49, no. 5, pp. 1144–1153, 2009, doi: 10.1021/ci800374h.
- [23] Z. Miao *et al.*, "Vision-Based Formation Control of Mobile Robots With FOV Constraints and Unknown Feature Depth," *IEEE Trans. Control Syst. Technol.*, vol. 29, no. 5, pp. 2231–2238, 2020, doi: 10.1109/TCST.2020.3023415.

- [24] L. Shao, J. Xie, G., & Wang, “Leader-following formation control of multiple mobile vehicle,” *IET Control Theory Appl.*, vol. 16, pp. 263–268, 2007, doi: 10.1049/iet-cta.
- [25] S. Kuutti, S. Fallah, K. Katsaros, M. Dianati, F. Mccullough, and A. Mouzakitis, “A Survey of the State-of-the-Art Localization Techniques and Their Potentials for Autonomous Vehicle Applications,” *IEEE Internet Things J.*, vol. 5, no. 2, pp. 829–846, 2018, doi: 10.1109/JIOT.2018.2812300.
- [26] C. Li, B. Dai, and T. Wu, “Vision-based precision vehicle localization in urban environments,” in *2013 Chinese Automation Congress*, 2013, pp. 599–604, doi: 10.1109/CAC.2013.6775806.