

Autonomous Robot Path Planning Menggunakan Perbandingan Metode Particle Swarm Optimization dan Genetic Algorithm

Miftah Rahmalia Ariyati¹, Ahmad Reza Musthafa²

^{1,2}Program Pasca Sarjana Teknik Fisika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Jl. Raya ITS, Kampus ITS, Sukolilo, Surabaya 60111

E-mail: [1miftah.rahmalia.ariyati@gmail.com](mailto:miftah.rahmalia.ariyati@gmail.com), [2rezaaltraz@yahoo.com](mailto:rezaaltraz@yahoo.com)

Masuk: 26 Februari 2018 ; Direvisi: 8 September 2018; Diterima: 28 September 2018

Abstract. *A research on robot planning path has been widely conducted and developed. Generally, the desired path is the safe one which has no obstacles and it can be conducted in a quick process. There are several methods that can be applied in planning the path including particle swarm optimization method and genetic algorithm. Both methods are compared in this research in order to discover the best method. Particle swarm optimization method utilizes the particle population movement and genetic algorithm method explores a population consisting individuals' solutions. The finding reveals that particle swarm optimization method is better than generic algorithm method. This is due to computation time and path required by particle swarm optimization method are shorter than genetic method algorithm.*

Keyword: *Robot path planning, particle swarm optimization, genetic algorithm*

Abstrak. *Penelitian mengenai perencanaan jalur untuk robot mobil telah banyak diteliti dan dikembangkan. Pada umumnya perencanaan jalur yang diinginkan adalah jalur yang aman, tanpa rintangan, dan jarak tempuh yang singkat. Terdapat beberapa metode yang dapat diterapkan dalam perencanaan jalur ini diantaranya adalah metode particle swarm optimization dan genetic algorithm. Pada penelitian ini, kedua metode optimasi tersebut diterapkan. Kedua metode optimasi tersebut dibandingkan untuk didapatkan metode dengan hasil yang terbaik. Metode particle swarm optimization memanfaatkan pergerakan populasi partikel dan metode genetic algorithm melakukan pencarian pada sebuah populasi dari sejumlah individu-individu yang merupakan solusi permasalahan. Hasil penelitian yang dilakukan dengan membandingkan kedua metode optimasi ini adalah metode particle swarm optimization lebih baik daripada metode genetic algorithm. Hal ini berdasarkan pada waktu komputasi dan jalur tempuh yang dibutuhkan oleh metode particle swarm optimization lebih pendek dibandingkan metode genetic algorithm.*

Kata Kunci: *perencanaan jalur robot, particle swarm optimization, genetic algorithm*

1. Pendahuluan

Robot mobil adalah robot yang bergerak dari satu titik yang kemudian menuju titik sasaran dalam lingkungannya dimana jalur yang ditempuh disesuaikan dengan kemampuan penginderaan yang dimiliki robot mobil untuk menghindari rintangan-rintangan yang ada [1].

Robot bergerak sesuai dengan mekanisme pembacaan informasi dari lingkungannya. Robot pada umumnya dapat mengambil keputusan didasarkan pada peta terprogram dan atau dikendalikan manusia, namun bila kedua hal ini gagal berfungsi maka solusinya adalah melengkapi sistem dengan kemampuan *autonomous*. Kemampuan *autonomous* adalah kemampuan robot untuk mencari jalan (*path*) sendiri menuju sasaran tanpa campur tangan manusia.

Dalam kemampuannya menuju sasaran dan menghindari rintangan-rintangan yang ada dapat ditentukan dengan menggunakan beberapa metode. Sebuah penelitian mengenai perencanaan rute robot mobil pada lingkungan dinamis dengan panjang rute yang minimal. Pada paper ini,

mengusulkan pendekatan untuk menunjang tujuan tersebut. Metode *Particle Swarm Optimization* (PSO) digunakan untuk mencari solusi terbaik dari suatu masalah. PSO merupakan suatu teknik perencanaan rute robot mobil yang baik pada lingkungan yang dinamis untuk menghindari halangan maupun rintangan yang diberikan. Berdasarkan hasil pengujian, metode PSO efektif dalam merencanakan rute robot mobil pada lingkungan yang dinamis [2].

Sebuah penelitian menggunakan kombinasi *Improved Particle Swarm Optimization* (IPSO) dengan *Differentially perturbed Velocity* (DV) *algorithm* untuk menentukan lintasan optimal bagi multi robot dalam lingkungan yang memiliki banyak rintangan. Penelitian ini bertujuan untuk meminimalkan panjang jalur maksimum yang sesuai dengan meminimalkan waktu kedatangan semua robot ke tujuan masing-masing di lingkungan. Penelitian yang dilakukan memberikan hasil bahwa metode IPSO-DV yang diusulkan lebih baik daripada metode yang dibandingkan yakni metode IPSO dan *Differential Evolution* (DE) dalam hal panjang jalur lalu lintas yang optimal dan waktu kedatangan [3].

Penelitian selanjutnya mengenai pendekatan perencanaan jalur global hirarki untuk robot mobil di lingkungan yang penuh dengan rintangan dengan struktur tiga tingkat untuk mendapatkan jalur yang aman, layak, dan optimal dengan menggunakan *Multi-Objective particle swarm optimization*. Hasil penelitian ini adalah keunggulan yang didapatkan dari metode yang diusulkan yakni perencanaan jalur multi arah untuk meminimalkan panjang jalan dan memaksimalkan kelancaran jalur serta efisiensi komputasi untuk jalur robot global yang optimal [4].

Penelitian selanjutnya mengenai implementasi optimal berbasis *Kinect on-line* perencanaan jalur bebas tabrakan untuk robot bergerak dalam jarak jauh menggunakan metode *genetic algorithm* untuk menghasilkan jalur optimal terjadinya tabrakan antara konfigurasi awal robot mobil (Sumber) ke konfigurasi akhir (Target) dan *controller adaptif fuzzy-logic* untuk melacak robot bergerak di jalur yang diinginkan. Hasil dari penelitian ini adalah robot berhasil menyelesaikan beberapa tugas termasuk persepsi dan pemodelan lingkungan sekitar, menemukan jalur bebas terbaik dan menentukan posisi serta orientasinya secara instan [5].

Penelitian lain yang menyajikan varian baru *genetic algorithm* dengan menggunakan kode biner melalui *Matrix Robot Mobile Navigation* (MRN) pada lingkungan statis dan dinamis. Hasil dari penelitian ini adalah diperolehnya simulasi pengendali yang optimal mengenai jalur dan waktu tempuh bila dibandingkan dengan pengendali navigasi cerdas lainnya [6].

Dalam penelitian ini, *Autonomous Robot Path Planning* berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh [2] yang optimal akan dicari melalui dua teknik optimasi yakni yakni *genetic algorithm* dan *particle swarm optimization*. Kedua metode optimasi ini digunakan untuk robot mobil menemukan jalur yang dapat dilalui dengan menghindari beberapa rintangan yang ada, kemudian dari kedua metode optimasi ini akan dibandingkan untuk mengetahui metode yang memiliki hasil paling baik.

2. Tinjauan Pustaka

2.1. *Particle Swarm Optimization*

Particle Swarm Optimization (PSO) merupakan sebuah algoritma optimasi stokastik. Sejak pertama kali ditemukan, algoritma PSO telah digunakan secara luas untuk memecahkan masalah optimasi [7]. *Particle Swarm Optimization* (PSO) adalah suatu metode pencarian acak berbasis populasi yang didasarkan pada perilaku perpindahan individu dalam kawanan, seperti kawanan serangga, semut, rayap, lebah atau burung. Dalam PSO, kawanan diasumsikan mempunyai ukuran tertentu dengan setiap partikel posisi awalnya terletak di suatu lokasi yang acak dalam ruang multidimensi. Setiap partikel diasumsikan memiliki dua karakteristik yaitu posisi dan kecepatan. Setiap partikel bergerak dalam ruang atau *space* tertentu dan mengingat posisi terbaik yang pernah dilalui atau ditemukan terhadap sumber makanan atau nilai fungsi objektif. Setiap partikel menyampaikan informasi atau posisi terbaiknya kepada partikel yang lain dan menyesuaikan posisi

dan kecepatan masing masing berdasarkan informasi yang diterima mengenai posisi terbaik tersebut [8].

Meskipun setiap burung mempunyai keterbatasan dalam hal kecerdasan, maka sebagai solusinya mereka akan mengikuti rule sebagai berikut [9]:

1. Seekor burung tidak berada terlalu dekat dengan burung yang lain
2. Burung tersebut akan mengarahkan terbangnya ke arah rata-rata keseluruhan burung
3. Akan memposisikan diri dengan rata-rata posisi burung yang lain dengan menjaga sehingga jarak antar burung dalam kawanan itu tidak terlalu jauh

Dengan demikian perilaku kawanan burung akan didasarkan pada kombinasi dari 3 faktor simpel berikut:

1. Kohesi - terbang bersama
2. Separasi - jangan terlalu dekat
3. Penyesuaian (*alignment*) - mengikuti arah bersama

Model matematika PSO dapat dilihat pada persamaan (1)

$$V_i^{(t+1)} = \omega \cdot V_i^t + c_1 \cdot \text{rand1}(\cdot) \cdot (P_{\text{best}i} - X_i^t) + c_2 \cdot \text{rand2}(\cdot) \cdot (G_{\text{best}} - X_i^t),$$

$$X_i^{(t+1)} = X_i^t + V_i^{(t+1)},$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, N_{\text{swarm}} \quad (1)$$

Keterangan: i : Indeks dari setiap partikel, t : Jumlah iterasi atau pengulangan, $\text{rand1}(\cdot)$ dan $\text{rand2}(\cdot)$: Nomor acak antara 0 dan 1, $P_{\text{best}i}$: Pengalaman terbaik dari partikel ke- i yang tercatat, G_{best} : Partikel terbaik di antara seluruh populasi, N_{swarm} : Jumlah kawanan, Konstanta c_1 dan c_2 : Faktor bobot dari istilah percepatan stokastik yang menarik setiap partikel terhadap posisi $P_{\text{best}i}$ dan G_{best} , t_{max} : Jumlah maksimum iterasi atau pengulangan, ω : Berat inersia, ω_{max} : Berat inersia maksimum, ω_{min} : Berat inersia minimum, K : Jumlah variabel.

2.2. Genetic Algorithm (GA)

Genetic algorithm adalah algoritma pencarian heuristik yang didasarkan atas seleksi alamiah dan evolusi. Teori seleksi alamiah dan evolusi pertama sekali diperkenalkan oleh Charles Darwin [10]. Algoritma ini didasari oleh konsep evaluasi biologi, dan dapat memberikan solusi alternatif atas suatu masalah yang hendak diselesaikan. *Genetic algorithm* menawarkan suatu solusi pemecahan masalah yang terbaik, dengan memanfaatkan metode seleksi, *crossover*, dan mutasi.

Proses pencarian solusi diawali dengan tahap pembangkitan populasi awal secara acak [11]. Populasi ini terdiri dari kromosom-kromosom dan setiap kromosom merupakan gambaran solusi atas pemecahan masalah. Populasi yang telah dipilih tersebut akan menghasilkan keturunan baru yang sifatnya diharapkan lebih baik dari populasi sebelumnya. Populasi yang baik sifatnya akan memiliki peluang untuk terus dikembangkan agar menghasilkan keturunan populasi yang lebih baik selanjutnya. Pendekatan yang diambil oleh algoritma ini adalah dengan menggabungkan secara acak berbagai pilihan solusi terbaik di dalam suatu kumpulan untuk mendapatkan generasi solusi terbaik berikutnya yaitu pada suatu kondisi yang memaksimalkan kecocokannya atau biasa disebut *fitness*. Generasi ini akan merepresentasikan perbaikan-perbaikan pada populasi awalnya. Dengan melakukan proses ini secara berulang, algoritma ini diharapkan dapat mensimulasikan proses evolusioner. Pada akhirnya, akan didapatkan solusi-solusi yang paling tepat bagi permasalahan yang dihadapi.

3. Metodologi Penelitian

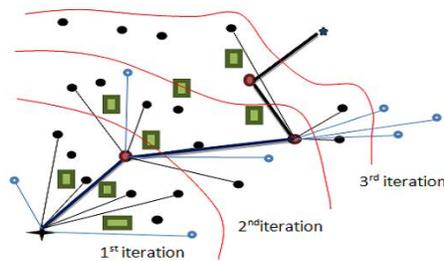
Perencanaan jalur dalam hal ini adalah pengoptimalan terkendali dimana hambatan tersebut merupakan *constraints* dan panjang jalan harus dioptimalkan (diminimalkan) yaitu jarak *euclidean*

dari posisi saat ini ke tujuan adalah fungsi objektif. Posisi yang memberi nilai minimum dari fungsi objektif yaitu posisi yang terdekat dengan titik tujuan yang akan dipilih untuk pergerakan robot berikutnya dalam setiap iterasi algoritma. Perencanaan jalur, dalam penelitian ini adalah optimasi terbatas di mana hambatan merepresentasikan kendala dan lamanya jalur harus dioptimalkan (diminimalkan) yaitu jarak *Euclidean* dari posisi saat ini ke tujuan adalah fungsi obyektif. Posisi yang memberikan nilai minimum fungsi obyektif yaitu posisi terdekat ke titik sasaran harus dipilih untuk pergerakan robot berikutnya dalam setiap iterasi dari algoritma [2]. Dalam penelitian ini, digunakan fungsi obyektif sederhana sebagai berikut:

$$F = \sqrt{(x_i - x_g)^2 + (y_i - y_g)^2}; i = 1, 2, 3, \dots, N \quad (2)$$

Di mana, N adalah jumlah partikel. (x_i, y_i) adalah posisi saat ini dari partikel ke- i dan (x_g, y_g) adalah koordinat titik tujuan.

Penelitian ini memiliki topik perencanaan rute terbaik untuk robot mobil. Suatu robot memiliki *home base* atau titik awal. Robot tersebut diharuskan menuju titik tujuan yang dalam lingkungannya terdapat beberapa halangan berupa objek-objek. Robot tersebut diharuskan menyusuri lingkungan tersebut dan menghindari halangan, kemudian dapat menemukan solusi terbaik berupa rute terpendek untuk menuju ke titik tujuan tersebut. Bentuk rute atau desain perencanaan rute tersebut dapat dicontohkan seperti pada Gambar 1. Berdasarkan aturan tersebut, penelitian ini menggunakan metode optimasi untuk memecahkan masalah tersebut. Metode yang digunakan pada penelitian ini yaitu metode PSO dan GA. Kedua metode tersebut akan dibandingkan kinerjanya dalam perencanaan rute dengan *cost* dan waktu komputasi terbaik.



Gambar 1. Desain perencanaan rute [2]

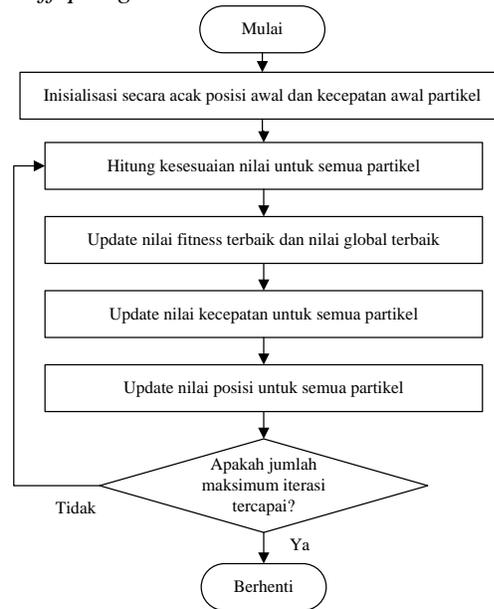
3.1. Perencanaan Rute Menggunakan PSO

Proses algoritma PSO dimulai dengan menentukan kecepatan awal (*velocity*) dan posisi awal (*position*) secara acak. Setelah itu menghitung kecepatan semua partikel. Semua partikel bergerak menuju titik optimal dengan suatu kecepatan tersebut. Nilai kecepatan awal partikel diasumsikan sama dengan nol. Nilai *fitness* setiap partikel ditaksir menurut fungsi sasaran (*objective function*) yang ditetapkan. Jika nilai *fitness* setiap partikel pada lokasi saat ini lebih baik dari nilai P_{best} , maka nilai P_{best} diatur untuk posisi saat ini. Nilai *fitness* partikel dibandingkan dengan G_{best} . Jika G_{best} yang terbaik maka G_{best} yang dipilih. Apabila posisi semua partikel menuju ke satu nilai yang sama, maka disebut konvergen. Apabila belum konvergen maka dilakukan perhitungan nilai baru dari P_{best} dan G_{best} . *Flowchart* proses tersebut ditunjukkan pada Gambar 2.

3.2. Perencanaan Rute Menggunakan GA

Proses dalam *genetic algorithm* diawali dengan inisialisasi. Inisialisasi dilakukan untuk membangkitkan himpunan solusi baru secara acak/random yang terdiri atas sejumlah string kromosom dan ditempatkan pada penampungan yang disebut populasi. Dalam tahap ini harus ditentukan ukuran populasi (*popSize*). Nilai ini menyatakan banyaknya individu atau kromosom yang ditampung dalam populasi. Setelah itu dilakukan tahap reproduksi. Reproduksi dilakukan untuk

menghasilkan keturunan individu-individu yang ada di populasi. Himpunan keturunan ini ditempatkan dalam penampungan *offspring*.

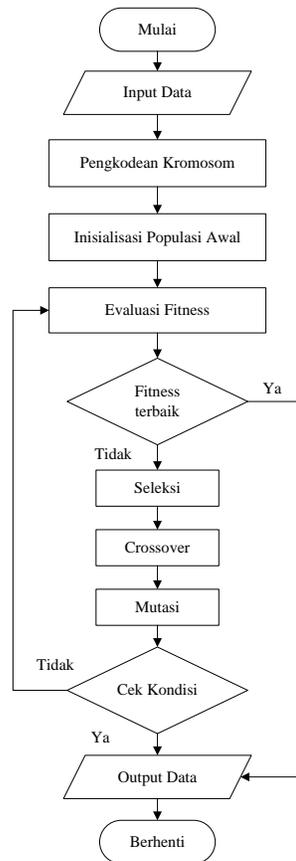


Gambar 2. Flowchart proses PSO [7]

Dua operator genetika yang digunakan dalam proses ini adalah pindah silang (*crossover*) dan mutasi (*mutation*). Setelah tahap tersebut dilakukan evaluasi. Evaluasi digunakan untuk menghitung *fitness* setiap kromosom. Semakin besar *fitness* maka semakin baik kromosom tersebut untuk dijadikan calon solusi. Setelah itu dilakukan seleksi. Seleksi dilakukan untuk memilih individu dari himpunan populasi dan *offspring* yang dipertahankan hidup pada generasi berikutnya. Semakin besar nilai *fitness* sebuah kromosom maka semakin besar peluangnya untuk terpilih. Iterasi GA diulang terus sampai kondisi berhenti tercapai. *Flowchart* proses tersebut ditunjukkan pada Gambar 3.

4. Hasil dan Diskusi

Pada penelitian ini telah dibuat suatu aplikasi berupa simulasi menggunakan bahasa pemrograman MATLAB untuk menguji kinerja metode PSO dan GA dalam topik perencanaan rute robot mobil. Evaluasi yang dilakukan untuk mengukur kinerja masing-masing metode dilakukan dengan menggunakan parameter waktu komputasi dan *cost* terbaik yang dihasilkan. Pada penelitian ini dilakukan pergantian nilai berupa ukuran populasi yang digunakan. Populasi yang diuji coba pada penelitian ini yaitu sebanyak 5 sampai 50 partikel. Pada setiap percobaan berdasarkan populasi tersebut akan dihitung nilai waktu komputasi dan *cost* terbaik dari masing-masing metode tersebut. Berikut adalah hasil pengujian menggunakan metode PSO dengan beberapa jumlah populasi ditunjukkan oleh Gambar 4 dan Gambar 5. Jumlah populasi yang digunakan adalah kelipatan 5 yakni 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, dan 50. Hasil analisa dijelaskan melalui Tabel 1 dan Tabel 2. Hasil pengujian menggunakan metode PSO ditunjukkan pada Tabel 1 dan hasil pengujian menggunakan metode GA ditunjukkan pada Tabel 2 sebagai berikut.



Gambar 3. Flowchart Proses GA [12]

Tabel 1. Hasil pengujian menggunakan metode PSO

Jumlah Populasi	Iterasi Maksimal	Best Cost	Waktu Komputasi (detik)
5	100	17,4629	4,68171
10	100	16,5129	5,63042
15	100	16,3798	6,37949
20	100	16,6853	7,26570
25	100	15,7240	8,23398
30	100	16,3544	8,81535
35	100	16,4963	9,92125
40	100	16,8359	10,8248
45	100	15,6709	11,6352
50	100	16,3176	12,6962
Rata-rata		16,4440	8,60841

Tabel 1 menunjukkan hasil pengujian kinerja dengan menggunakan metode PSO dalam perencanaan rute robot mobil. Pada metode PSO ini dilakukan dengan iterasi maksimal 100 dan jumlah populasi 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, dan 50. Hasil dari pengujian menggunakan metode PSO menunjukkan *best cost* dan waktu komputasi yang bervariasi. Pada jumlah populasi 50 didapatkan *best cost* sebesar 16,3176 dan waktu komputasi terlama yakni 12,6962. Pada jumlah populasi 5 didapatkan *best cost* yakni 17,4629 dengan waktu komputasi tercepat yakni 4,68171 detik. Berdasarkan Tabel 1 dapat diketahui bahwa jumlah populasi dapat mempengaruhi waktu komputasi

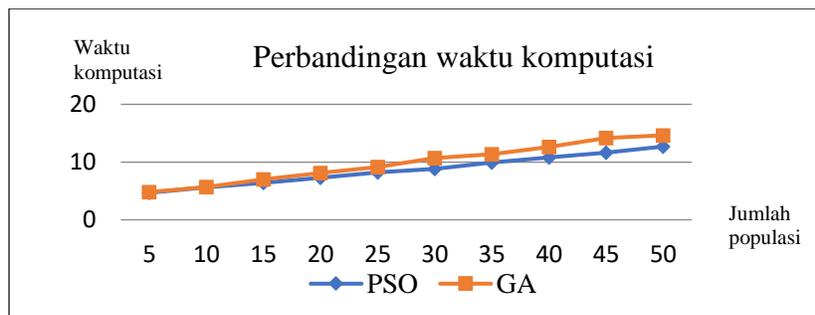
yakni semakin sedikit jumlah populasi maka waktu komputasi yang dibutuhkan juga semakin cepat dan dapat mempengaruhi nilai *best cost*. Berdasarkan Tabel 1 semakin sedikit jumlah populasi maka *best cost* semakin tinggi.

Tabel 2. Hasil pengujian menggunakan metode GA

Jumlah Populasi	Iterasi Maks	Best Cost	Waktu Komputasi (detik)
5	100	20,9997	4,80408
10	100	18,9806	5,70691
15	100	19,2994	7,01733
20	100	16,0605	8,09098
25	100	16,0605	9,16007
30	100	18,9688	10,7154
35	100	18,9806	11,3386
40	100	17,6455	12,6500
45	100	15,9509	14,1774
50	100	16,0605	14,6318
Rata-rata		17,9007	9,829257

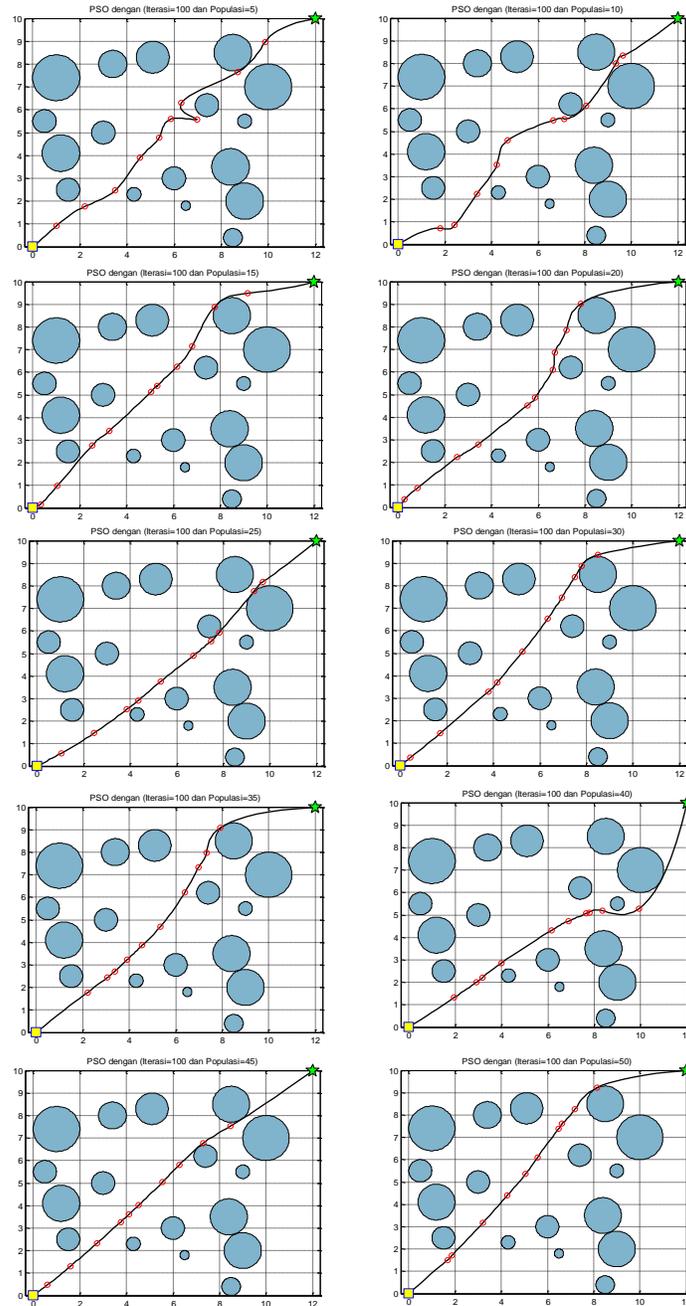
Tabel 2 menunjukkan hasil pengujian kinerja dengan menggunakan metode GA dalam perencanaan rute robot mobil. Pada metode GA ini dilakukan dengan iterasi maksimal 100 dan jumlah populasi 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, dan 50. Hasil dari pengujian menggunakan metode GA menunjukkan *best cost* dan waktu komputasi yang bervariasi. Pada jumlah populasi 50 didapatkan *best cost* sebesar 16,0605 dengan waktu komputasi terlama yakni sebesar 14,6318 detik. Pada jumlah populasi 5 didapatkan *best cost* sebesar 20,9997 dengan waktu komputasi tercepat yakni 4,80408 detik. Berdasarkan Tabel 2 dapat diketahui bahwa jumlah populasi dapat mempengaruhi waktu komputasi yakni semakin sedikit jumlah populasi maka waktu komputasi yang dibutuhkan juga semakin cepat dan dapat mempengaruhi nilai *best cost*. Berdasarkan Tabel 2 semakin sedikit jumlah populasi maka *best cost* semakin tinggi.

Berdasarkan kedua tabel tersebut yakni Tabel 1 mengenai hasil pengujian menggunakan metode PSO dan Tabel 2 mengenai hasil pengujian menggunakan metode GA diketahui bahwa penggunaan metode PSO dalam perencanaan rute robot mobil memiliki waktu komputasi yang lebih cepat dengan rata-rata sebesar 8,60841 detik dibandingkan metode GA dengan rata-rata sebesar 9,829257 detik. Selanjutnya adalah grafik perbandingan waktu komputasi dan panjang rute dari metode PSO dan GA adalah sebagai berikut.

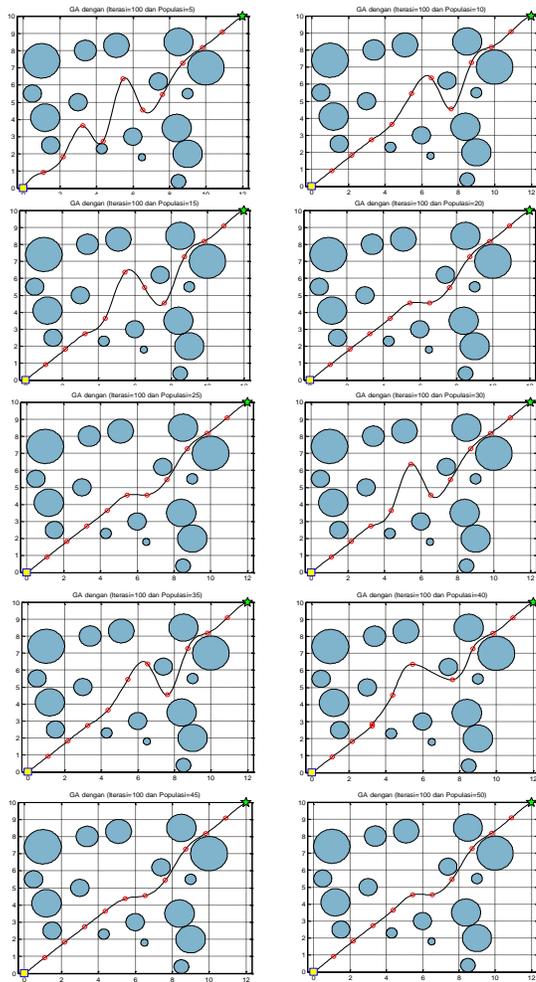


Gambar 4. Grafik perbandingan berdasarkan waktu komputasi

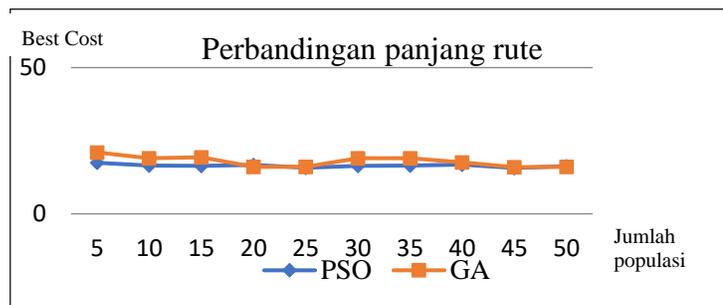
Berdasarkan Gambar 4 mengenai perbandingan waktu komputasi dari metode PSO dan GA diketahui bahwa metode PSO memiliki waktu komputasi yang lebih cepat yakni sebesar 4,68171 detik dibandingkan metode GA yang membutuhkan waktu sebesar 4,80408 detik. Hasil waktu komputasi PSO yang lebih cepat daripada GA dikarenakan pada PSO tidak ada tahap evolusi pada operatornya, misalnya mutasi dan *crossover* seperti pada metode GA. Selain itu, metode PSO lebih efisien karena membutuhkan sedikit komputasi [13].



Gambar 5. Hasil pengujian menggunakan metode PSO dengan jumlah populasi kelipatan 5



Gambar 6. Hasil pengujian menggunakan metode GA dengan jumlah populasi kelipatan 5



Gambar 7. Grafik perbandingan panjang rute dari metode PSO dan GA

Berdasarkan Gambar 7 mengenai perbandingan panjang rute dari metode PSO dan GA diketahui bahwa metode PSO memiliki panjang rute yang lebih pendek dengan *best cost* sebesar 17,4629 dibandingkan metode GA. Hasil perbandingan panjang rute PSO yang lebih pendek dari GA dikarenakan pada PSO pembagian informasi dilakukan secara berkelompok, berbeda dengan GA dimana kromosom membagi informasi sehingga pergerakan mengikuti kelompoknya sendiri. PSO

juga lebih fleksibel dalam menjaga keseimbangan antara pencarian global dan lokal terhadap *search space* dibanding metode GA dan metode heuristik lainnya [13].

5. Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, penggunaan metode *particle swarm optimization* lebih baik dibandingkan dengan metode *genetic algorithm* pada topik perencanaan rute robot mobil. Hal ini berdasarkan pada waktu komputasi yang dibutuhkan oleh metode PSO lebih sedikit dibandingkan metode GA dan perbandingan jalur tempuh PSO juga lebih pendek daripada metode GA. Semakin besar populasi yang digunakan, semakin besar pula waktu komputasi yang dibutuhkan. Besarnya populasi tersebut belum tentu dapat meningkatkan nilai *cost* terbaik dari suatu solusi. Berdasarkan aspek perhitungan matematis, metode PSO memiliki perhitungan yang lebih sederhana dibandingkan dengan metode GA.

Referensi

- [1] G. C. Setyawan, T. Informatika, F. Sains, and U. K. Immanuel, "Sistem Robot Otonom Penghindar Rintang dan Pencari Jalur Menuju Sasaran Berbasis Mikrokontroler PIC16F877A," vol. 7, no. 1, pp. 51–58.
- [2] R. Islam, M. H. Muftee, and S. Hossain, "Autonomous Robot Path Planning Using Particle Swarm Optimization in Dynamic Environment with Mobile Obstacles & Multiple Target ICMIEE-PI-140282-2," 2014.
- [3] P. K. Das, H. S. Behera, S. Das, B. K. Panigrahi, and S. K. Pradhan, "Author 's Accepted Manuscript A Hybrid Improved PSO-DV Algorithm for Multi- Robot Path Planning in a Clutter Environment To appear in : Neurocomputing A Hybrid Improved PSO-DV Algorithm for Multi- Robot Path Planning in a Clutter Environment," *Neurocomputing*, 2016.
- [4] T. T. Mac, C. Copot, D. T. Tran, and R. De Keyser, "Ac ce pt ed us cr t," *Appl. Soft Comput. J.*, 2017.
- [5] A. Bakdi, A. Hentout, H. Boutami, A. Maoudj, O. Hachour, and B. Bouzouia, "Optimal Path Planning and Execution for Mobile Robots using Genetic Algorithm and Adaptive Fuzzy-Logic Control," *Rob. Auton. Syst.*, 2016.
- [6] A. Tuncer and M. Yildirim, "Dynamic path planning of mobile robots with improved genetic algorithm q," *Comput. Electr. Eng.*, vol. 38, no. 6, pp. 1564–1572, 2012.
- [7] A. S. Sankoh, A. R. Musthafa, M. I. Rosadi, and A. Z. Arifin, "Klasterisasi Jenis Musik Menggunakan Kombinasi Algoritma Neural Network , K-Means dan Particle Swarm Optimization," pp. 183–194, 2015.
- [8] S. S. Sri Martyna, "Penerapan metode particle swarm optimization pada artificial neural network backpropagation untuk peramalan penjualan furniture pada cv. octo agung," pp. 1–9, 2011.
- [9] I. P. S. Handika, I. A. Giriantari, and A. Dharma, "Perbandingan Metode Extreme Learning Machine dan Particle Swarm Optimization Extreme Learning Machine untuk Peramalan Jumlah Penjualan Barang," vol. 15, no. 1, pp. 84–90, 2016.
- [10] R. Altoria Mavida, *IMPLEMENTASI ALGORITMA GENETIKA UNTUK MASALAH PENJADWALAN JOB-SHOP*. Yogyakarta: UNIVERSITAS SANATA DHARMA, 2007.
- [11] R. A. Pratama, E. C. Djamel, and A. Komarudin, "Optimalisasi Pengantaran Barang dalam Perdagangan Online Menggunakan Algoritma Genetika," pp. 11–15, 2017.
- [12] M. S. Hoque, "An Implementation of Intrusion Detection System Using Genetic Algorithm A N I M P L E M E N T A T I O N O F I N T R U S I O N D E T E C T I O N," no. May, 2014.
- [13] P. D. Sathya and R. Kayalvizhi, "Engineering Applications of Artificial Intelligence Modified bacterial foraging algorithm based multilevel thresholding for image segmentation," *Eng. Appl. Artif. Intell.*, vol. 24, no. 4, pp. 595–615, 2011.