

Skema Lokalisasi Node pada Jaringan Sensor Nirkabel Berbasis Algoritma Hibrid Bat-PSO

*Node Localization Scheme on Wireless Sensor Network Based on
Bat-PSO Hybrid Algorithm*

Nifty Fath
Universitas Budi Luhur
E-mail: nifty.fath@budiluhur.ac.id

Abstrak

Jaringan sensor nirkabel terdiri dari ratusan hingga ribuan *nodes*. Metode konvensional yang digunakan untuk mengetahui posisi *node* sensor yang tersebar pada lokasi pengamatan adalah pemasangan GPS pada setiap *node*. Namun, hal ini sangat tidak efektif dan membutuhkan biaya yang besar. Oleh karena itu dibutuhkan suatu metode lokalisasi yang akurat untuk dapat mengestimasi posisi dari setiap *node* sensor. Salah satu metode yang dapat digunakan adalah menggunakan algoritma metaheuristik. Pada penelitian ini, diusulkan sebuah algoritma metaheuristik yang menggabungkan keunggulan dari algoritma Bat dan algoritma *particle swarm optimization* (PSO) untuk menyelesaikan permasalahan lokalisasi pada jaringan sensor nirkabel. Berdasarkan hasil penelitian, algoritma hibrid Bat-PSO mampu digunakan untuk mengestimasi seluruh posisi *node* dalam berbagai variasi kepadatan *node*. Algoritma hibrid Bat-PSO juga dapat mengestimasi posisi *node* dengan lebih akurat jika dibandingkan dengan algoritma orisinal Bat.

Kata kunci: jaringan sensor nirkabel, algoritma Bat, algoritma PSO, lokalisasi *node*

Abstract

Wireless sensor networks consist of hundreds of nodes. The conventional method used to determine the position of the sensor nodes scattered in the observation location is the installation of GPS at each node. However, this is an unreliable and costly method. Therefore, an accurate localization method is needed to be able to estimate the position of each sensor node. Metaheuristic algorithm is a powerful method to overcome this problem. In this study, an algorithm that combines the advantages of Bat and particle swarm optimization (PSO) algorithm is proposed to solve localization problems in wireless sensor networks. The result shows that the Bat-PSO hybrid algorithm is able to estimate all node positions in various density variations of nodes. The Bat-PSO hybrid algorithm can also estimate node positions more accurately when compared to the original Bat algorithm.

Keywords: wireless sensor network, bat algorithm, PSO algorithm, node localization

1. PENDAHULUAN

Jaringan sensor nirkabel (*wireless sensor network*, WSN) terdiri atas kumpulan *node* yang saling terkoneksi dan saling bertukar informasi dalam sebuah media transmisi nirkabel [1]. Setiap *node* yang tersebar pada area tertentu digunakan untuk mengumpulkan data agar dapat memonitoring suatu keadaan atau sistem di sekitarnya. Setiap *node* sensor dapat dirancang untuk memiliki mobilitas yang statis ataupun dinamis, bergantung kepada kebutuhan. Akhir-akhir ini, teknologi jaringan sensor nirkabel berkembang dengan sangat cepat karena proses instalasi yang mudah dan mampu melakukan *self-organization* dengan sistem cerdas. Setiap *node* sensor dirancang untuk dapat merekam hasil pengamatan dan mengirimkan data tersebut ke *base station* yang bertugas untuk mengolah data.

Pada umumnya, suatu jaringan sensor nirkabel terdiri dari ratusan atau ribuan *node*.

Posisi *node* sensor bersifat menyebar dan acak sehingga posisi dari setiap *node* sensor perlu diketahui. Apabila menggunakan teknik konvensional sebagai metode identifikasi posisi *node*, maka setiap *node* perlu dipasang sebuah GPS untuk dapat terpantau lokasinya. Akan tetapi, hal ini sangat tidak efektif dan membutuhkan biaya yang besar akibat dari jumlah *node* sensor yang berjumlah banyak. Selain itu, penggunaan GPS kurang maksimal apabila jaringan sensor berada di ruang tertutup [2].

Oleh karena itu, dibutuhkan suatu teknik lokalikasi yang bertujuan untuk menentukan posisi perangkat *node* pada suatu WSN secara akurat [3]. Metode yang umum digunakan pada saat ini adalah memasang sebuah GPS pada beberapa *anchor node* saja, sehingga *node* yang tidak diketahui posisinya (*unknown node*) dapat diestimasi lokasinya menggunakan suatu algoritma lokalisasi. Hasil estimasi posisi dari masing-masing *node* sensor kemudian dikirim ke *base station*.

Terdapat beberapa metode lokalisasi berdasarkan jarak (*range-based*), yakni dengan parameter *received signal strength*, *time of arrival*, *time division of arrival*, dan *angle of arrival* [4]. Penelitian [5] menggunakan metode trilaterasi berbasis RSSI dalam proses lokalisasi. Selain itu, terdapat suatu metode untuk menyelesaikan permasalahan di bidang optimasi yang umum digunakan yakni algoritma metaheuristik. Algoritma metaheuristik unggul untuk menyelesaikan permasalahan optimasi, terlebih pada suatu sistem yang melakukan *self-organization* [6], seperti pada sistem jaringan sensor nirkabel [7].

Beberapa penelitian menggunakan algoritma optimasi metaheuristik berbasis *swarm-intelligence* sebagai metode lokalisasi, seperti algoritma Bat [2], algoritma *firefly* [8], algoritma *butterfly* [9], *particle swarm optimization* [10], *flower pollination* [3], *sperm swarm* [11], algoritma *chicken swarm* [12], dan *elephant herding* [13]. Namun, beberapa penelitian belum terdapat pengujian waktu komputasi. Pada penelitian ini, optimasi dilakukan untuk meminimalkan error dari estimasi posisi *node* dengan menggabungkan keunggulan dari algoritma optimasi metaheuristik Bat dan PSO untuk memperoleh nilai akurasi yang lebih baik. Setiap *node* dapat berkomunikasi secara kooperatif dengan *node* yang lain dan dengan *base station*.

2. METODE PENELITIAN

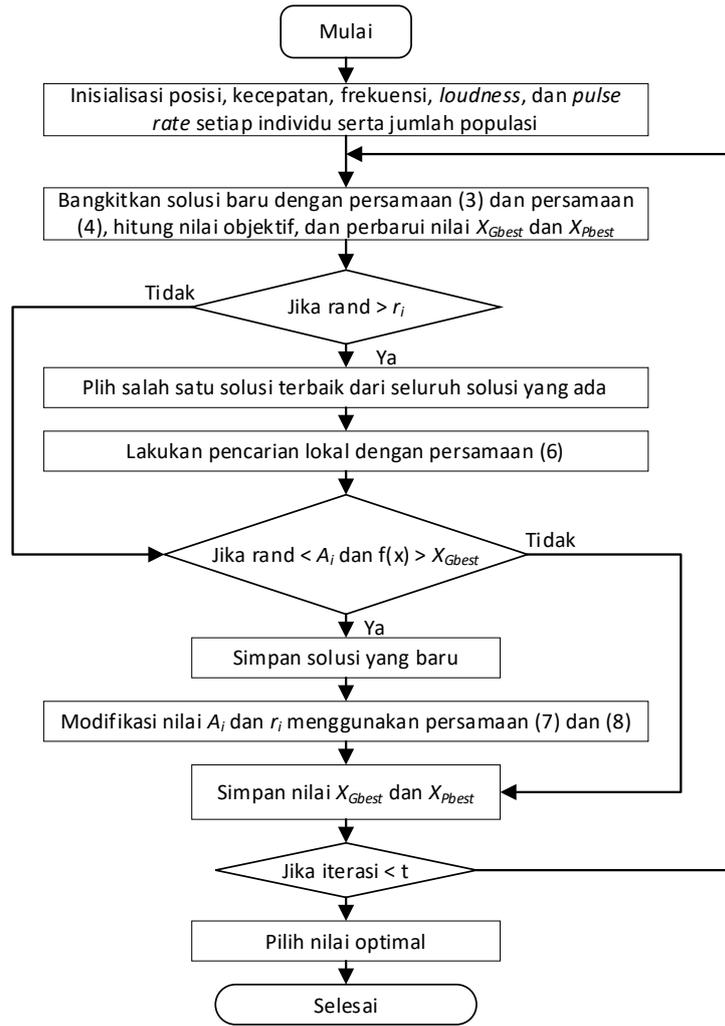
2.1 Perancangan Algoritma Hibrid Bat-PSO

Algoritma PSO merupakan teknik optimasi berdasarkan populasi yang terinspirasi oleh perilaku pergerakan sekawanan burung atau ikan, sedangkan algoritma Bat terinspirasi dari proses ekolokasi dari kelelawar [14]. Keunggulan dari algoritma PSO adalah kemampuan setiap individu untuk mampu berpindah posisi mendekati nilai optimal dengan kecepatan tertentu di setiap iterasi berdasarkan posisi terbaik dari setiap individu (X_{Pbest}) dan posisi terbaik dari suatu populasi (X_{Gbest}). Algoritma Bat memiliki keunggulan dalam hal eksplorasi dan eksploitasi terhadap solusi-solusi yang ada dengan metode *random walk*. Persamaan dari kedua algoritma tersebut adalah menggunakan parameter posisi dan kecepatan dari setiap individu untuk memperbarui nilai optimalnya. Proses untuk memperbarui kecepatan pada algoritma Bat menggunakan persamaan 1 sedangkan pada algoritma PSO menggunakan persamaan 2.

$$v_i^t = v_i^{t-1} + (x_i^t - X_{GBest}) f_i \quad (1)$$

$$v_i^t = v_i^{t-1} + c_1 r_1 (X_{PBest_i}^t - x_i^t) + c_2 r_2 (X_{GBest_i}^t - x_i^t) \quad (2)$$

Algoritma hibrid Bat-PSO pada penelitian ini menggabungkan kedua keunggulan dari masing-masing algoritma untuk dapat mencapai nilai yang lebih optimal. Tahapan algoritma hibrid Bat-PSO yang dirancang dalam penelitian ini dapat dilihat pada diagram alir Gambar 1. Dalam setiap iterasi, masing-masing individu memperbarui posisinya berdasarkan solusi terbaik yang telah didapat oleh masing-masing individu (X_{Pbest}) dan solusi terbaik pada populasi (X_{Gbest}). Persamaan 3 adalah persamaan untuk memperbarui kecepatan yang diusulkan dalam penelitian ini.



Gambar 1 Diagram Alir Algoritma hibrid Bat-PSO

$$v_i^t = wv_i^{t-1} + (c_1r_1(X_{Pbest_i}^t - x_i^t) + c_2r_2(X_{Gbest_i}^t - x_i^t)) * f_i \quad (3)$$

$$x_i^t = x_i^{t-1} + v_i^t \quad (4)$$

dengan v_i^t adalah kecepatan individu ke- i pada iterasi ke- t , x_i^t adalah solusi (posisi) individu ke- i pada iterasi ke t , dan f_i adalah frekuensi. Parameter c_1 , c_2 adalah konstanta positif, dan r_1 , r_2 adalah dua variabel acak terdistribusi uniform antara 0 sampai 1. Pada Persamaan 5, w adalah bobot inersia yang menunjukkan pengaruh perubahan kecepatan dari vektor lama ke vektor yang baru. Nilai w diperoleh dari persamaan berikut

$$w = w_{max} - \left(\frac{w_{max} - w_{min}}{N} \right) t \quad (5)$$

dengan $w_{max} = 0,9$, $w_{min} = 0,4$. Selanjutnya, proses eksplorasi dan eksploitasi dilakukan dengan mengadaptasi algoritma Bat. Proses eksploitasi dibangkitkan dengan pencarian lokal menggunakan *random walk* pada persamaan berikut.

$$x_{baru} = x_{lama} + \varepsilon A^t \quad (6)$$

dengan ε bernilai acak pada rentang $[-1,1]$ dan A^t adalah rata-rata tingkat keras suara dari seluruh individu pada step waktu ke- t . Semakin dekat suatu individu dengan target, maka tingkat keras suara akan semakin berkurang. Parameter tingkat keras suara A_i dan pesat emisi r_i juga diperbarui pada saat setiap solusi baru diperoleh yakni dengan persamaan

$$A_i^{t+1} = \alpha A_i^t \tag{7}$$

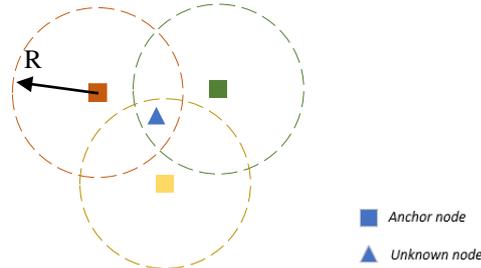
$$r_i^{t+1} = r_i^0 [1 - e^{-\gamma t}] \tag{8}$$

dengan $\alpha = 0,97$ dan $\gamma = 0,9$.

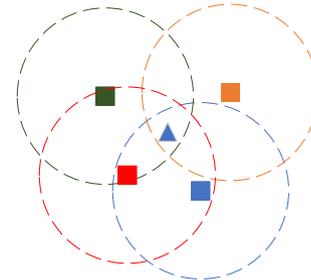
2.2 Perancangan Skema Lokalisasi Node pada Jaringan Sensor Nirkabel dengan Algoritma Bat-PSO

Konfigurasi jaringan sensor nirkabel terdiri dari beberapa parameter yakni *anchor nodes*, *unknown nodes*, dimensi jaringan, topologi jaringan, dan jarak komunikasi setiap *node* (R). *Anchor nodes* adalah *node* yang telah diketahui posisinya masing-masing secara otomatis karena telah dilengkapi oleh GPS, sedangkan *unknown nodes* adalah *node* yang tidak diketahui posisinya.

Berdasarkan konsep posisi trilaterasi dan multilaterasi, sebuah *unknown node* dapat dilakukan proses lokalisasi apabila berada dalam jangkauan paling sedikit tiga *anchor nodes*, seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2 dan Gambar 3. Estimasi jarak antar *node* yang dinotasikan dengan \hat{d}_i diperoleh berdasarkan nilai RSSI (*received signal strength indicator*) pada komunikasi antar *node*. Berikut adalah skema lokalisasi *node* pada jaringan sensor nirkabel.



Gambar 2. Trilaterasi



Gambar 3. Multilaterasi

Langkah 1. Inisialisasi *unknown node* sejumlah N dan *anchor node* sebanyak M dengan jangkauan komunikasi setiap *node* adalah $R = 30$ meter. Hitung jarak antar *anchor nodes* dengan persamaan Euclidian berikut.

$$d = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} \tag{9}$$

Langkah 2. Apabila sebuah *unknown node* berada di dalam jangkauan dari tiga atau lebih *anchor node*, maka *node* tersebut disebut dengan *localized node* atau *node* yang dapat terlokalisasi dan dapat diketahui posisinya.

Langkah 3. Hitung estimasi jarak antara *unknown node* ke- i dengan *anchor node* ke- j . Dalam prakteknya, estimasi jarak antara *unknown node* dan *anchor node* dapat dilakukan berdasarkan kuat sinyal atau RSSI yang diterima oleh *anchor node*. Nilai dari estimasi jarak diperoleh dari persamaan berikut

$$\hat{d}_{ij} = d_{ij} + N_{ij} X_{\sigma} \tag{10}$$

dengan $N_{ij} X_{\sigma}$ adalah nilai error yang terdistribusi secara zero-mean Gaussian dengan standar deviasi X_{σ} yang dapat dihitung dari

$$\sigma = \sqrt{\gamma^2 \times d_{ij}^2} \tag{11}$$

dengan γ adalah faktor derau yang memiliki nilai 0,1 [15] dan d_{ij} adalah jarak aktual antara

unknown node dan *anchor node*.

Langkah 4. Algoritma optimasi hibrid Bat-PSO dilakukan untuk mencari posisi *unknown node* (x, y) dengan cara meminimalkan error dalam lokalisasi *node* di jaringan sensor nirkabel. Fungsi objektif dari proses optimasi adalah nilai *mean square error* (MSE) antara koordinat estimasi dari *unknown node* dan estimasi jarak \hat{d}_{ij} .

$$f(x, y) = \min \left(\sum_{j=1}^M \left(\sqrt{(x - x_j)^2 + (y - y_j)^2} \right) - \hat{d}_{ij} \right) \quad (12)$$

dengan M adalah jumlah *anchor node* ($M \geq 3$) yang berada di dalam jangkauan dari *unknown node* dan \hat{d}_{ij} adalah estimasi jarak antara *unknown node* dan *anchor node* yang diperoleh berdasarkan parameter RSSI. Koordinat (x, y) adalah posisi *unknown node* yang akan dioptimasi, sedangkan (x_j, y_j) adalah koordinat *anchor node*.

Langkah 5. Apabila sebuah *unknown node* telah diketahui posisinya, maka *unknown node* tersebut akan berubah statusnya menjadi *anchor node* pada iterasi berikutnya. Ulangi Langkah 2 – 4 hingga seluruh *unknown node* diketahui koordinat posisinya.

Untuk mengetahui tingkat keakuratan dari algoritma optimasi yang digunakan, nilai rata-rata error lokalisasi dihitung berdasarkan rata-rata jarak dari hasil optimasi posisi *unknown node* (x, y) dengan posisi aktual *unknown node* (x_i, y_i) untuk nilai $i = 1, 2, 3, \dots, N_L$ seperti pada persamaan berikut

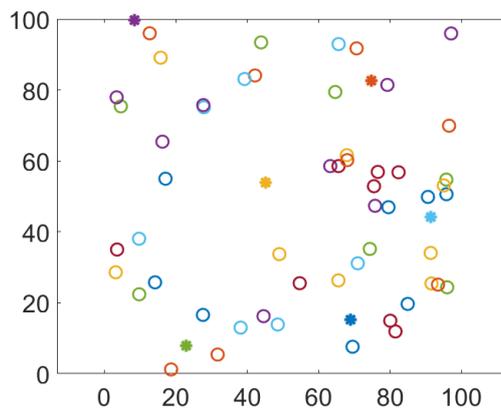
$$\text{Rata - rata error lokalisasi node} = \frac{\sum_{i=1}^{N_L} \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2}}{N_L} \quad (13)$$

dengan N_L adalah jumlah *unknown node* yang terlokalisasi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Simulasi Skema Lokalisasi Node Dengan Algoritma Hibrid Bat-PSO

Seluruh sensor *node* dibangkitkan secara acak di dalam sebuah area dua dimensi berukuran $100 \times 100 \text{ m}^2$. Jumlah sensor *node* yang dibangkitkan memiliki variasi kepadatan *anchor node* dan jumlah *node*. Gambar 4 menunjukkan konfigurasi jaringan dengan parameter jumlah *node* 60 dan kepadatan *anchor node* 10%, dengan makna jaringan tersebut memiliki *anchor node* sejumlah $60 \times 10\%$ yakni 6 *nodes* dan *unknown node* sebanyak 54 *nodes*. *Anchor node* dilambangkan dengan tanda bintang sedangkan *unknown node* dilambangkan dengan tanda lingkaran.



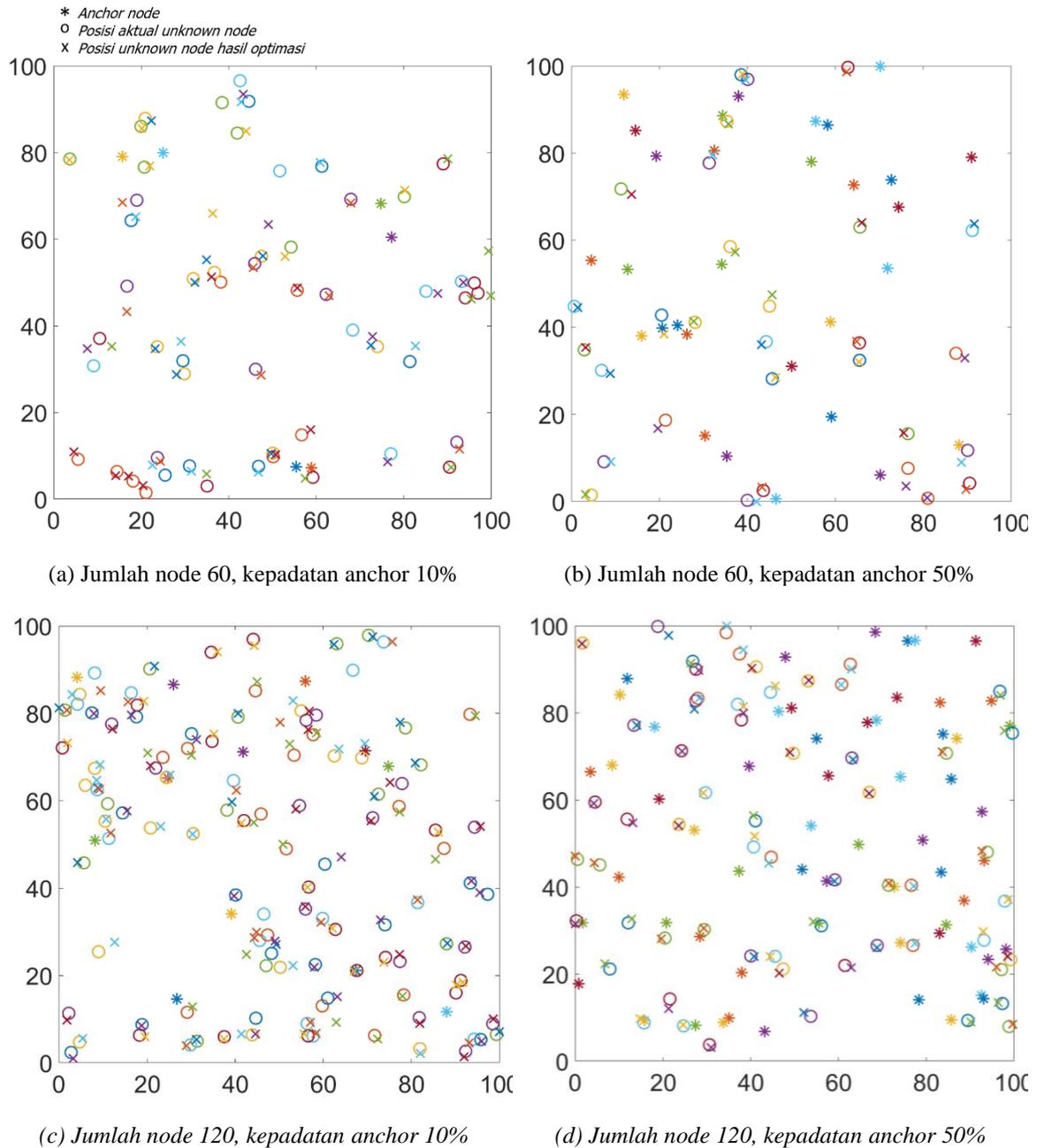
Gambar 4 Konfigurasi Jaringan

b. Pengaruh Kepadatan Anchor Node

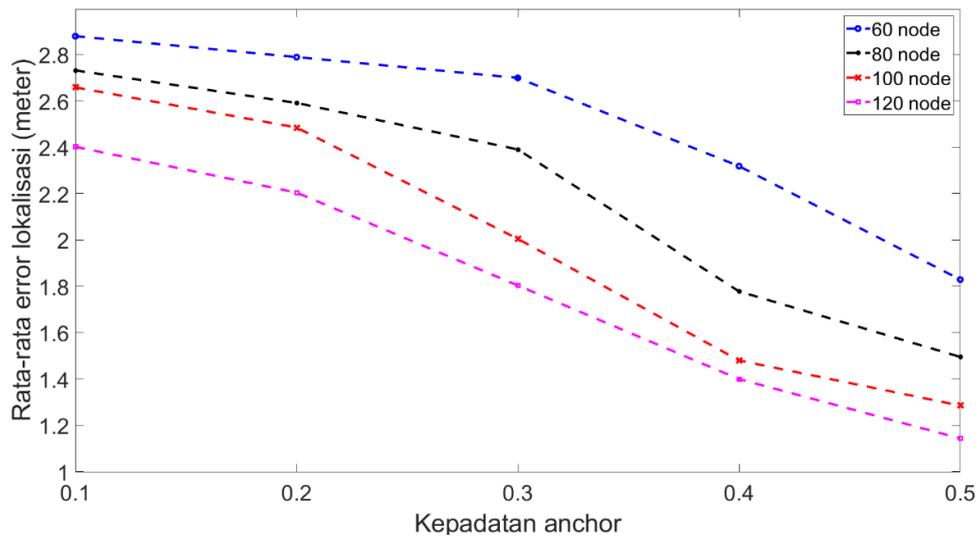
Simulasi pengaruh kepadatan *anchor node* terhadap nilai rata-rata error lokalisasi dilakukan dengan konfigurasi jumlah *node* yang bervariasi yakni 60, 80, 100, dan 120 *node* dengan kepadatan *anchor node* 10%, 20%, 30%, 40%, dan 50%. Gambar 5 menunjukkan

konfigurasi jaringan dengan (a) jumlah *node* 60, kepadatan *anchor node* 10%, (b) jumlah *node* 60, kepadatan *anchor node* 50% serta (c) jumlah *node* 100, kepadatan *anchor node* 10% (d) jumlah *node* 100, kepadatan *anchor node* 50%. *Anchor node* dilambangkan dengan tanda bintang, *unknown node* sesungguhnya dilambangkan dengan tanda lingkaran, dan *unknown node* hasil optimasi dilambangkan dengan tanda silang.

Hasil pengujian keseluruhan terlihat pada Gambar 6. Dengan algoritma optimasi hibrid Bat-PSO, diperoleh nilai rata-rata error lokalisasi yang semakin menurun secara signifikan seiring dengan bertambah padatnya *anchor node* dan jumlah *node*. Nilai kepadatan *anchor node* akan mempengaruhi unjuk kerja dari skema lokalisasi dan biaya yang dibutuhkan.



Gambar 5. Konfigurasi Jaringan dengan Variasi Jumlah Node Dan Kepadatan Anchor Node



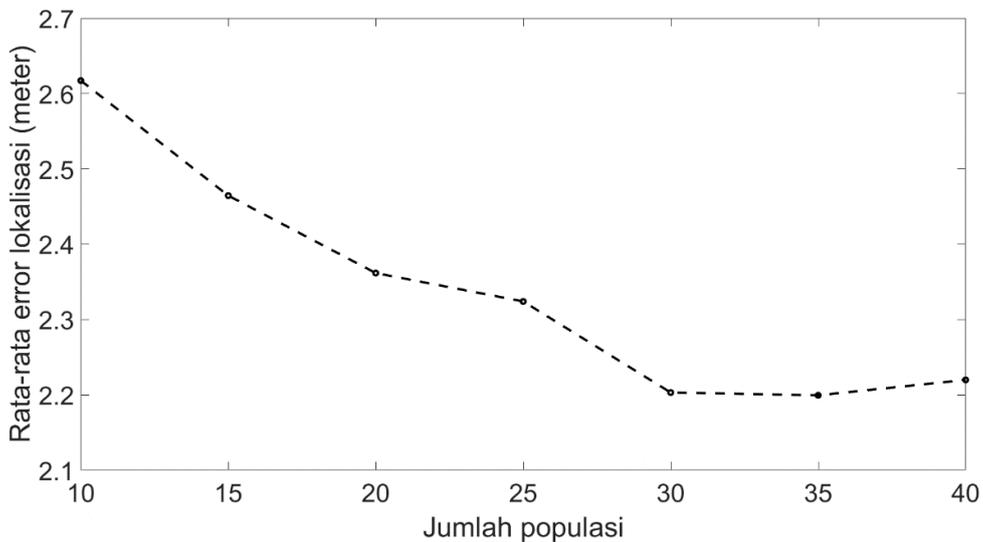
Gambar 6. Pengaruh Variasi Kepadatan Anchor dan Jumlah Node

c. Pengaruh Jumlah Populasi dan Waktu Komputasi

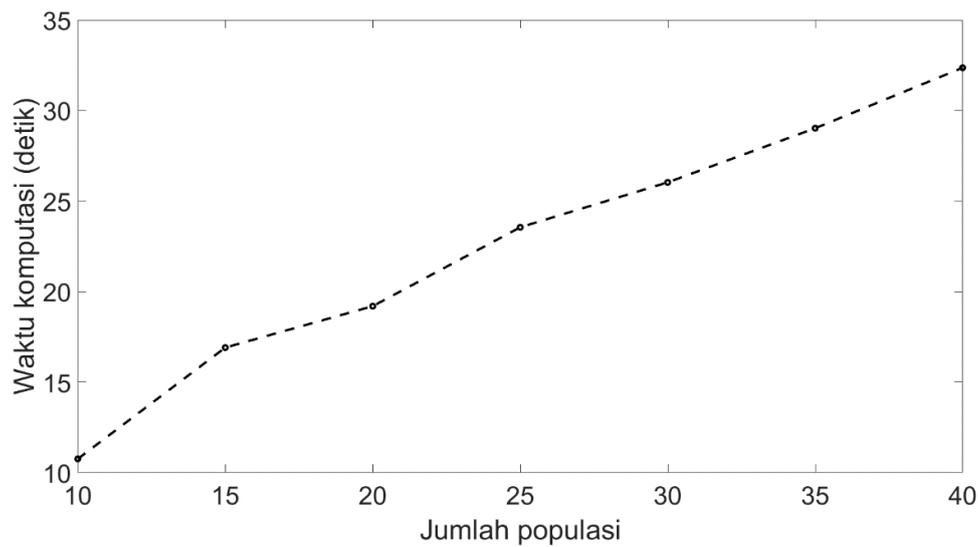
Dalam algoritma optimasi metaheuristik berbasis populasi seperti pada algoritma Bat-PSO, jumlah populasi akan berpengaruh terhadap kecepatan algoritma mencapai nilai konvergen dan menemukan nilai optimal. Berdasarkan hasil pengujian seperti yang terlihat pada

Gambar 7, semakin banyak jumlah populasi maka semakin kecil nilai rata-rata error lokalisasi, dengan nilai penurunan paling signifikan dimulai pada saat jumlah populasi $n = 30$. Namun, semakin banyak jumlah populasi juga akan berpengaruh terhadap waktu komputasi yang dibutuhkan, seperti yang terlihat pada

Gambar 8. Pengujian dilakukan sebanyak 10 kali percobaan untuk masing-masing variasi jumlah populasi.



Gambar 7. Pengaruh Jumlah Populasi Terhadap Rata-Rata Error Lokalisasi

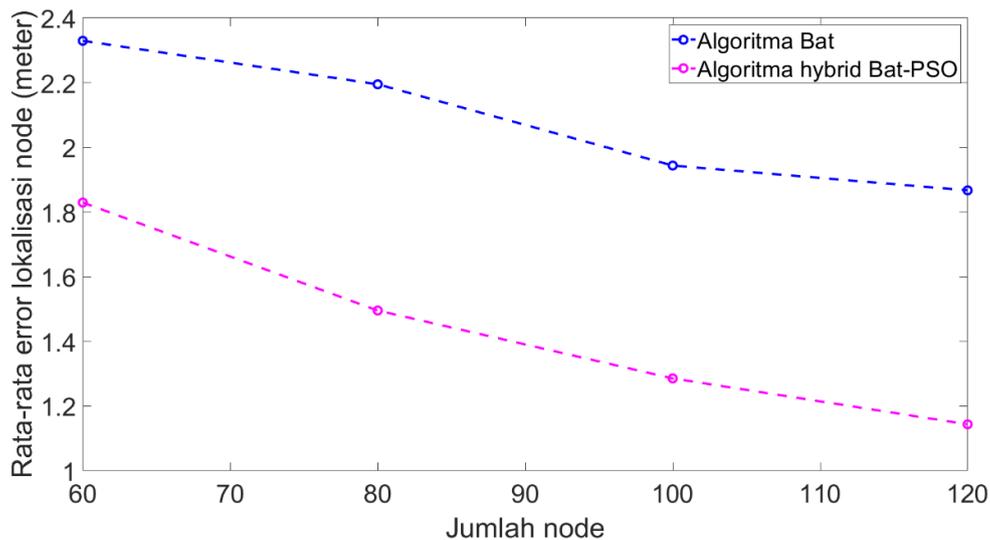


Gambar 8. Pengaruh Jumlah Populasi Terhadap Waktu Komputasi

3.4 Perbandingan algoritma hibrid Bat-PSO dan Bat

Hasil perbandingan unjuk kerja algoritma yang diusulkan dalam penelitian ini yakni algoritma hibrid Bat-PSO dengan algoritma Bat terlihat pada

Gambar 9. Berdasarkan hasil tersebut, terlihat adanya penurunan rata-rata error lokalisasi *node* pada saat menggunakan algoritma hibrid Bat-PSO dengan selisih nilai rata-rata error lokalisasi 0,65 meter. Hal ini membuktikan bahwa keunggulan dari PSO dalam setiap individu untuk mampu berpindah posisi mendekati nilai optimal di setiap iterasi berdasarkan posisi terbaik dari setiap individu dan posisi terbaik dari suatu populasi dapat digabungkan dengan keunggulan dari algoritma bat yang memiliki keunggulan dalam hal eksplorasi dan eksploitasi terhadap solusi-solusi yang ada sehingga dapat mencapai nilai optimal yang lebih baik.



Gambar 9. Perbandingan Algoritma Bat dan Algoritma Hibrid Bat-PSO

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Skema lokalisasi dengan algoritma hibrid Bat-PSO pada penelitian ini mampu mengestimasi posisi dari *unknown node* dengan menggabungkan keunggulan dari algoritma Bat dan PSO. Berdasarkan hasil pengujian, terlihat bahwa kepadatan *anchor* akan mempengaruhi nilai rata-rata error lokalisasi. Algoritma hibrid Bat-PSO juga dapat mengestimasi posisi *node* dengan lebih akurat jika dibandingkan dengan algoritma orisinal Bat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Paul and T. Sato, "Localization in Wireless Sensor Networks: A Survey on Algorithms, Measurement Techniques, Applications and Challenges," *Journal Sensor Actuator Networks*, vol. 6, no. 4, p. 24, 2017, doi: 10.3390/jsan6040024.
- [2] M. Mihoubi, A. Rahmoun, P. Lorenz, and N. Lasla, "An effective Bat algorithm for node localization in distributed wireless sensor network," *Secur. Priv.*, vol. 1, no. 1, p. e7, 2018, doi: 10.1002/spy2.7.
- [3] T.-S. P. Pan, Jeng-Shyang Thi-Kien Dao, "An Improvement of Flower Pollination Algorithm in Multi-Objective Optimization," *J. Inf. Hiding Multimed. Signal Process.*, vol. 8, no. 2, pp. 486–499, 2017.
- [4] X. Zhang, C. Tepedelenlioglu, M. Banavar, and A. Spanias, *Node Localization in Wireless Sensor Networks*. Morgan & Claypool Publishers, 2017.
- [5] A. Pratiarso, A. S. Putra, P. Kristalina, A. Sudarsono, M. Yuliana, and I. G. P. Astawa, "Skema Lokalisasi Posisi Node Terdistribusi pada Lingkungan Free Space Path Loss," *J. Nas. Tek. Elektro dan Teknol. Inf.*, vol. 6, no. 3, pp. 352–358, 2017, doi: 10.22146/jnteti.v6i3.338.
- [6] X. S. Yang, S. Deb, Y. X. Zhao, S. Fong, and X. He, "Swarm intelligence: past, present and future," *Soft Comput.*, vol. 22, no. 18, pp. 5923–5933, 2018, doi: 10.1007/s00500-017-2810-5.
- [7] S. Sendra, L. Parra, J. Lloret, and S. Khan, "Systems and Algorithms for Wireless Sensor Networks Based on Animal and Natural Behavior," vol. 2015, no. iv, 2015, doi: 10.1155/2015/625972.
- [8] P. SrideviPonmalar, V. J. S. Kumar, and R. Harikrishnan, "Hybrid Firefly Variants Algorithm for Localization Optimization in WSN," *Int. J. Comput. Intell. Syst.*, vol. 10, no. 1, p. 1263, 2017, doi: 10.2991/ijcis.10.1.85.
- [9] S. Arora and S. Singh, "Node Localization in Wireless Sensor Networks Using Butterfly Optimization Algorithm," *Arab. J. Sci. Eng.*, vol. 42, no. 8, pp. 3325–3335, 2017, doi: 10.1007/s13369-017-2471-9.
- [10] D. Li and X. Bin Wen, "An Improved PSO Algorithm for Distributed Localization in Wireless Sensor Networks," *Int. J. Distrib. Sens. Networks*, vol. 2015, 2015, doi: 10.1155/2015/970272.
- [11] H. A. Shehadeh, I. Ahmedy, and M. Y. I. Idris, "Sperm Swarm Optimization Algorithm

- for Optimizing Wireless Sensor Network Challenges,” no. May, pp. 53–59, 2018, doi: 10.1145/3193092.3193100.
- [12] M. Al Shayokh and S. Y. Shin, “Bio Inspired Distributed WSN Localization Based on Chicken Swarm Optimization,” *Wirel. Pers. Commun.*, vol. 97, no. 4, pp. 5691–5706, 2017, doi: 10.1007/s11277-017-4803-1.
- [13] I. Strumberger, M. Minovic, M. Tuba, and N. Bacanin, “Performance of Elephant Herding Optimization and Tree Growth Algorithm Adapted for Node Localization in Wireless Sensor Networks,” *Sensors (Basel)*, vol. 19, no. 11, pp. 1–30, 2019, doi: 10.3390/s19112515.
- [14] X.-S. Yang, “A new metaheuristic bat-inspired algorithm,” in *Nature inspired cooperative strategies for optimization (NISCO 2010)*, Springer, 2010, pp. 65–74.
- [15] J. Cheng and L. Xia, “An effective cuckoo search algorithm for node localization in wireless sensor network,” *Sensors (Switzerland)*, vol. 16, no. 9, 2016, doi: 10.3390/s16091390.