

METODE PENJADWALAN *SLEEP WAKEUP* DENGAN EFISIENSI ENERGI UNTUK MODEL *P-COVERAGE* DAN *Q-CONNECTIVITY* PADA JARINGAN SENSOR NIRKABEL BERBASIS TARGET

Fuad Dary Rosyadi¹⁾ dan Radityo Anggoro²⁾

^{1,2)}Departemen Teknik Informatika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya, Indonesia 60111

e-mail: rosyadi.19051@mhs.its.ac.id¹⁾, onngo@if.its.ac.id²⁾

ABSTRAK

Keterbatasan energi menjadi permasalahan yang paling banyak mendapat perhatian dalam dunia Wireless Sensor Network (WSN). Metode penjadwalan sleep wakeup merupakan salah satu teknik yang paling efisien untuk meningkatkan waktu operasional sensor node pada WSN. Namun pada lingkungan target based WSN dengan model p-coverage dan q-connectivity, penggunaan sleep wakeup scheduling harus memperhatikan konstrain jumlah konektivitas pada sensor dan coverage pada target. Genetic Algorithm menjadi solusi permasalahan dari Sleep wakeup scheduling dengan permasalahan multi-objektif. Penelitian ini mengusulkan sebuah metode baru sleep wakeup scheduling berbasis Genetic Algorithm untuk efisiensi energi pada target based WSN dengan model p-coverage dan q-connectivity. Metode baru ini menggunakan faktor jangkauan sensor, jangkauan konektivitas dan energi sebagai fungsi objektif pada fitness function dalam Genetic Algorithm. Dengan adanya faktor energi sebagai salah satu fungsi objektif dapat meningkatkan efisiensi energi pada target based WSN dengan model p-coverage dan q-connectivity.

Kata Kunci: Genetic algorithm, jaringan sensor nirkabel, p-coverage, q-connectivity, sleep wakeup scheduling.

ENERGY EFFICIENT SLEEP WAKEUP SCHEDULING METHOD FOR P-COVERAGE AND Q-CONNECTIVITY MODEL IN TARGET BASED WIRELESS SENSOR NETWORKS

Fuad Dary Rosyadi¹⁾ and Radityo Anggoro²⁾

^{1,2)}Department of Informatics, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya, Indonesia 60111

e-mail: rosyadi.19051@mhs.its.ac.id¹⁾, onngo@if.its.ac.id²⁾

ABSTRACT

Energy limitations are the problem that gets the most attention in the term of Wireless Sensor Networks (WSN). Sleep wakeup scheduling method is one of the most efficient techniques to increase sensor node operational time on WSN. However, in the target-based WSN environment with p-coverage and q-connectivity models, the use of wake-up scheduling has to consider the constraints on the number of connectivity on the sensor and coverage on the target. Genetic Algorithm is a solution to the problem of sleep-wake scheduling with multi-objective problems. This study proposes a new method of sleep wakeup scheduling based on Genetic Algorithm for energy efficiency in target-based WSN with p-coverage and q-connectivity models. This new method uses the sensor range, connectivity range and energy as an objective function of the fitness function in the Genetic Algorithm. With the presence of energy as a factor of the objective function can increase energy efficiency in target-based WSN with p-coverage and q-connectivity models.

Keywords: Genetic algorithm, p-coverage, q-connectivity, sleep wakeup scheduling, wireless sensor network.

I. PENDAHULUAN

WIRELESS Sensor Network (WSN) merupakan sekumpulan *sensor node* dalam jumlah besar yang tersebar dalam suatu lokasi geografis untuk secara kolektif mengumpulkan data dari lingkungan [1]. WSN dapat diaplikasikan secara luas seperti pengawasan lingkungan, prediksi bencana, keamanan nasional, dan kesehatan. Dalam lingkungan WSN berbasis target, setiap *sensor node* memiliki jangkauan sensor dan jangkauan konektivitas. Jangkauan sensor merupakan radius sebuah sensor untuk dapat mendeteksi dan mendapatkan data dari suatu target. Sedangkan jangkauan konektivitas adalah radius sebuah sensor untuk dapat mendeteksi *sensor node* lain dan meneruskan data untuk menuju *base station* [1]. Istilah *p-coverage* dan *q-connectivity* merupakan suatu model dimana dalam suatu jaringan WSN harus terdapat *p sensor node* yang menjangkau sebuah target dan setiap *sensor node* terhubung secara langsung dengan sensor lain sejumlah *q* konektivitas. Model tersebut digunakan sebagai ukuran dari aspek *Quality of Service (QoS)*. Yang menjadi tantangan utama dalam lingkungan

tersebut adalah mengenai cara pengoperasian WSN dengan penggunaan energi seminimal mungkin dengan tetap memperhatikan aspek yang harus dipenuhi dalam model *p-coverage* dan *q-connectivity* [2]. Hal ini dikarenakan pada pengaplikasiannya hampir tidak dimungkinkan untuk mengisi ulang daya baterai pada *sensor node*. Sehingga efisiensi energi dari WSN menjadi masalah penting yang harus diselesaikan untuk dapat memperpanjang masa operasional WSN.

Metode penjadwalan *sleep wakeup* merupakan salah satu teknik yang paling efisien untuk meningkatkan waktu operasional sensor node pada WSN [3]. *Sleep* merupakan status dimana sebuah sensor tidak aktif untuk dapat menghemat energi, sedangkan *wakeup* merupakan status sensor melakukan *sensing* dan mengirimkan data menuju *sensor node* lain. Pada teknik penjadwalan *sleep wakeup* ini tidak semua node harus berada dalam posisi *wakeup* sehingga daya yang dikonsumsi akan berkurang secara signifikan. Namun untuk melakukan penjadwalan tersebut, harus tetap memperhatikan aspek yang harus terpenuhi dalam *p-coverage* dan *q-connectivity*. Sehingga untuk menjamin ketercapaian model tersebut dibutuhkan algoritme yang dapat melakukan penjadwalan secara dinamis dengan mempertimbangkan aspek *p-coverage* dan *q-connectivity* sebagai fungsi objektif.

Kontribusi dalam penelitian ini adalah mengusulkan sebuah fungsi objektif baru dalam optimasi heuristik *Genetic Algorithm* untuk proses *sleep wakeup scheduling* yang dapat meningkatkan efisiensi energi pada target based WSN dengan model *p-coverage* dan *q-connectivity*. Fungsi objektif baru yang diusulkan melakukan optimasi dengan memodifikasi fungsi objektif pada *Genetic Algorithm* yang melibatkan faktor jangkauan sensor, jangkauan konektivitas dan energi sisa pada sensor node. Dengan adanya faktor jangkauan sensor dan jangkauan konektivitas metode yang diusulkan dapat menjamin batasan yang ada pada model *p-coverage* dan *q-connectivity*. Sedangkan faktor energi sisa digunakan untuk dapat meningkatkan efisiensi penggunaan energi pada sensor node secara keseluruhan sehingga WSN dapat beroperasi lebih lama.

Artikel ini ditulis dengan sistematika sebagai berikut: Bab 2 menjelaskan mengenai penelitian sebelumnya yang mendasari penelitian ini serta beberapa penelitian lain yang berada dalam satu topik dengan penelitian ini. Bab 3 menjelaskan mengenai metode dan permodelan algoritme yang diusulkan pada penelitian ini. Bab 4 berisi skenario pengujian yang dilakukan serta evaluasi hasil pengujian. Bab 5 merupakan kesimpulan dari penelitian ini.

II. STUDI LITERATUR

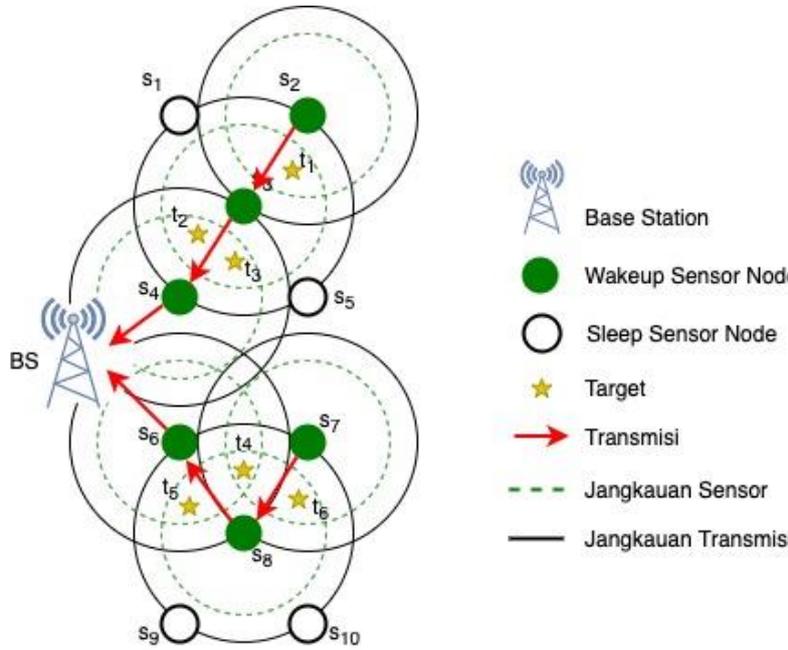
Metode *Genetic Algorithm* diusulkan untuk melakukan *sleep wakeup scheduling* secara dinamis dengan memodelkan jangkauan sensor dan konektivitas sebagai fungsi objektif. Dari fungsi objektif tersebut kemudian direpresentasikan dalam fungsi linier yang dijadikan sebagai *fitness function* dalam *Genetic Algorithm*. Metode tersebut mampu mengurangi *active node* dengan tetap mempertimbangkan aspek objektif tersebut. Namun algoritme yang diusulkan terbatas pada *1-coverage* dan *1-connectivity* saja [3].

Sebuah metode *Genetic Algorithm* diusulkan untuk melakukan penentuan *active node* dalam WSN. Metode yang diusulkan mengangkat 3 objektif yaitu pemilihan node seminimal mungkin, *k-coverage*, dan *m-connectivity* dari *active node*. Metode ini merepresentasikan objektif tersebut kedalam model kromosom yang dapat menentukan *active node* secara efisien [4]. Namun dalam metode ini masih bersifat statis tidak dan mempertimbangkan energi yang menjadi parameter penting dalam operasional WSN. Penggunaan faktor energi dalam proses penjadwalan pada *sensor node* penting untuk mengatasi kemungkinan untuk mendapatkan hasil penjadwalan yang sama pada setiap siklus. Dalam penerapannya apabila hanya memperhatikan faktor konektivitas dan jangkauan sensor saja, maka *sensor node* yang memiliki posisi paling strategis cenderung memiliki fungsi objektif yang lebih baik sehingga akan lebih sering berada dalam kondisi *wakeup*. Ketika suatu *node* lebih sering berada dalam kondisi *wakeup* maka energi pada node tersebut juga akan lebih cepat habis. Hal ini akan berdampak pada waktu *first node die* (FND) yang lebih singkat yang juga akan mempengaruhi waktu operasional WSN secara keseluruhan.

Sebuah metode *scheduling* WSN yang melibatkan *M-Coverage* sets diusulkan sebagai parameter *Quality of Services*. Metode yang diusulkan menggunakan algoritme *Greedy* dan memformulasikan permasalahan dalam fungsi linier. Metode yang diusulkan mampu meningkatkan waktu operasional WSN secara keseluruhan [5]. Namun pada penelitian ini tidak melibatkan faktor konektivitas dari WSN tersebut.

III. METODE

Pada Bab 3 ini akan dijelaskan perancangan model WSN, metode *sleep wakeup scheduling* dengan *Genetic Algorithm* serta representasi kromosom dan *fitness function* yang digunakan dalam metode yang diusulkan pada penelitian ini.



Gambar 1. Contoh 2-coverage dan 1-connectivity WSN.

A. Model WSN

Ruang lingkup WSN terdiri dari sekumpulan sensor yang tersebar dalam mencakup *base station*, *sensor node* dan target yang tersebar dalam suatu area dengan luas tertentu. Sebuah *sensor node* memiliki jangkauan sensor dan jangkauan konektivitas yang terbatas. Sebuah target dapat terdeteksi apabila berada dalam jangkauan sensor dari suatu *node*. Proses pengambilan data dari target dilakukan dalam suatu siklus. Pada setiap siklus *sensor node* yang melingkupi target dalam jangkauan sensor nya dapat mengirimkan data menuju *base station* secara langsung atau melalui sensor lain jika *base station* atau *sensor node* berada dalam jangkauan konektivitas.

Pada *target based WSN* dengan model *p-coverage* dan *q-connectivity* memiliki batasan yang harus dipenuhi. *p-coverage* berarti dalam sebuah jaringan harus terdapat *p sensor node* yang menjangkau sebuah target. Dengan begitu ketika terjadi sebuah kesalahan sensor pada *p-1 sensor node*, suatu target masih dapat tercakup oleh sebuah *sensor node*. Sedangkan *q-connectivity* dari *sensor node* berarti sebuah *sensor node* harus terhubung secara langsung dengan *q sensor node* lain atau *base station*. Hal ini bertujuan agar suatu *sensor node* masih dapat terhubung ketika terjadi kegagalan komunikasi pada *q-1 sensor node*. Gambar 1 menunjukkan sebuah contoh target based WSN dengan model 2-coverage dan 1-connectivity.

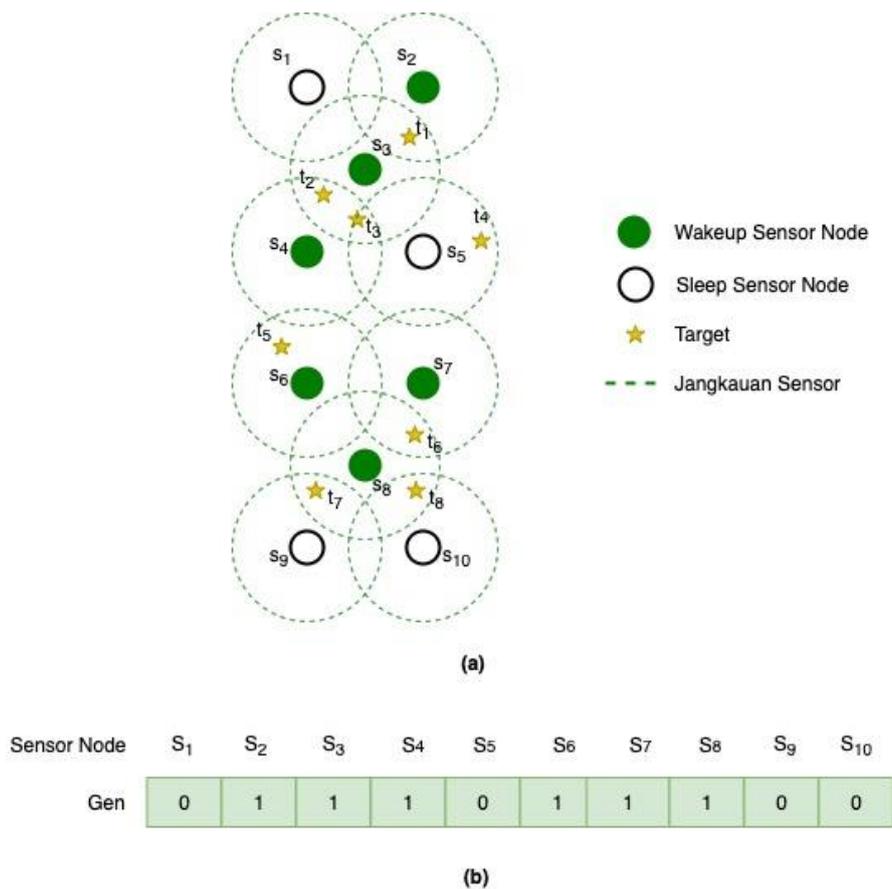
Dalam lingkungan WSN ini diasumsikan terdapat sejumlah *N* sensor node $S = \{s_1, s_2, s_3, \dots, s_N\}$ yang secara acak diletakan pada suatu area untuk melakukan *sensing* pada sejumlah *K* target $t = \{t_1, t_2, t_3, \dots, t_K\}$. Sebuah *sensor node* hanya dapat melakukan *sensing* terhadap target apabila target berada pada jangkauan sensor (R_{sen}) dari suatu *node*. *Sensor node* dapat berkomunikasi dengan sensor lain atau *base station* ketika berada dalam jangkauan komunikasi (R_{com}).

B. Sleep Wakeup Scheduling dengan Genetic Algorithm

Sleep wakeup scheduling akan dikontrol secara terpusat melalui *base station*. Proses *scheduling* dilakukan pada *base station* dengan *Genetic Algorithm*. Proses *scheduling* ini akan menghasilkan kromosom sepanjang jumlah *node* pada WSN. *Base station* akan mengirimkan sinyal kepada setiap *node* untuk berada pada kondisi *wakeup* atau *sleep* berdasarkan hasil kromosom dari proses *scheduling*. Kondisi sleep atau wakeup dari setiap *node* akan terjadi dalam satu siklus dengan waktu tertentu yang telah ditentukan dimana *base station* akan melakukan *scheduling* ulang dalam setiap siklusnya.

Adapun tahapan dari *Genetic Algorithm* yaitu proses evaluasi terhadap *fitness function*, seleksi, mutasi dan persilangan. Untuk melakukan evaluasi terhadap *fitness function*, perlu kembali memperhatikan fungsi objektif pada WSN, beberapa parameter yang dijadikan sebagai fungsi objektif adalah:

- Jumlah *active node* seminimal mungkin
- Memastikan semua target tercakup dalam *p sensor node*
- Memastikan *sensor node* memiliki *q* konektivitas menuju *sensor node* lain atau *base station*
- *Sensor node* yang memiliki sisa energi lebih banyak di prioritaskan.



Gambar 2. (a) Contoh skenario dengan 10 sensor node, dan (b) hasil kromosom.

Tahap selanjutnya adalah seleksi berdasarkan nilai *fitness function*, semakin tinggi maka akan semakin baik. Kemudian untuk mendapatkan populasi baru, dilakukan permutasi dan persilangan pada kromosom. Kemudian dari populasi baru tersebut dilakukan evaluasi ulang menggunakan *fitness function*. Proses tersebut akan diulangi hingga mencapai iterasi yang telah ditetapkan pada proses inisialisasi WSN. Ketika telah ditemukan kromosom yang dengan *fitness value* terbaik, itulah solusi untuk operasional WSN pada saat itu.

C. Representasi Kromosom

Sebuah kromosom dinyatakan dalam bilangan biner 0 dan 1. Nilai 0 untuk menyatakan *node* berada dalam kondisi *sleep*, sedangkan nilai 1 menyatakan *node* dalam kondisi *wakeup*. Kromosom yang dibentuk dari sebuah N *sensor node* dalam WSN juga memiliki panjang N . Pada Gambar 3.6 (a) Misalkan terdapat 10 *sensor node* $S = \{s_1, s_2, s_3, \dots, s_{10}\}$, Kromosom yang dibentuk juga akan memiliki panjang 10 seperti pada Gambar 3.6 (b).

D. Fitness Function

Tujuan dari metode yang diusulkan pada penelitian ini adalah memilih *wakeup node* pada sampel kromosom seminimal mungkin dengan memperhatikan *p-coverage* dan *q-connectivity* dari *wakeup node*. Dengan pemilihan *wakeup node* seminimal mungkin ditujukan untuk meningkatkan efisiensi penggunaan energi secara keseluruhan pada WSN. Selain itu juga sisa energi disetiap siklus ikut dipertimbangkan guna mendapatkan distribusi energi yang lebih merata sehingga waktu FND dapat ditingkatkan. *Fitness function* diperoleh dari fungsi objektif tersebut akan dijelaskan sebagai berikut:

1) Minimum node

Pemilihan jumlah *wakeup node* seminimal mungkin. Diasumsikan terdapat *wakeup node* g_i dengan jumlah seluruh *node* N maka fungsi objektif pertama dinyatakan sebagai berikut:

$$\text{Objektif 1: } \text{Min } F_1 = \sum_{i=1}^N g_i$$

2) *P-coverage target*

Himpunan sensor yang mencakup sebuah target t_i yang berada dalam R_{sen} dinyatakan $Cov(t_i)$. Fungsi biaya dari sebuah $Cov(t_i)$ dinyatakan sebagai berikut:

$$Cost\ Cov(t_1) = \begin{cases} p, & \text{jika } |Cov(t_i)| \geq p \\ p - |Cov(t_1)|, & \text{sebaliknya.} \end{cases} \quad (1)$$

Objektif 2: $Max\ F_2 = \frac{1}{K \times p} \sum_{i=0}^K Cov_{cost}(t_i)$

3) *Q-connectivity sensor*

Himpunan sensor yang berada dalam R_{sen} dari node s_i dinyatakan sebagai $Com(s_i)$. Fungsi biaya dari sebuah $Com(s_i)$ dinyatakan sebagai berikut:

$$Cost\ Com(s_i) = \begin{cases} q, & \text{jika } |Com(s_i)| \geq q \\ q - |Com(s_i)|, & \text{sebaliknya.} \end{cases} \quad (2)$$

Objektif 3: $Max\ F_3 = \frac{1}{N \times q} \sum_{i=0}^N Com_{cost}(s_i)$

4) *Mimimum energy*

Pemilihan *sensor node* dengan sisa energi maksimum. Sisa energi dari sebuah sensor $E_r(s_i)$. Fungsi objektif ke 4 dinyatakan sebagai berikut:

Objektif 4: $Max\ F_4 = Min\{E_r(s_i) | g_i = 1, \forall i, 1 \leq i \leq N\}$

Dari keempat fungsi objektif diatas terdapat beberapa konflik satu sama lain. Untuk memastikan *p-coverage* dan *q-connectivity* digunakan konsep *Weight Sum Approach* (WSA) untuk membuat sebuah *multi objective fitness function* [6]. Pada kasus ini setiap fungsi dikalikan dengan bobot (W_i) sehingga didapatkan *fitness function* sebagai berikut.

$$Fitness = W_1 \times \left(1 - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N g_i \right) + W_2 \times \frac{1}{K \times p} \sum_{i=0}^K Cov_{cost}(t_i) + W_3 \times \frac{1}{N \times q} \sum_{i=0}^N Com_{cost}(s_i) + W_4 \times \frac{E_{min}}{E_{max}} \quad (3)$$

Nilai $\sum W_i = 1$ dengan nilai W_i memenuhi $0 \leq W_i \leq 1$. E_{max} adalah energi maksimal dari *sensor node* dan E_{min} adalah $Min\{E_r(s_i) | g_i = 1, \forall i, 1 \leq i \leq N\}$. kemudian tujuan utama dari *fitness function* tersebut adalah memaksimalkan *fitness value*.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk melakukan ujicoba performa dari metode yang diusulkan, metode diimplemetnasikan menggunakan bahasa pemrograman Python 3 dengan simulator WSN Simpy. Pengujian dilakukan pada laptop Macbook Pro dengan RAM 8GB, prosesor 1,4 GHz Quad-Core Intel Core i5 dan sistem operasi MacOS 11. Ujicoba dilakukan pada WSN dengan model *p-coverage* dan *q-connectivity* dengan parameter nilai p dari 1 hingga 4 dan nilai q dari 1 hingga 4. Beberapa parameter yang digunakan dalam skenario percobaan yang akan dilakukan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 1.

TABEL I
PARAMETER PENGUJIAN.

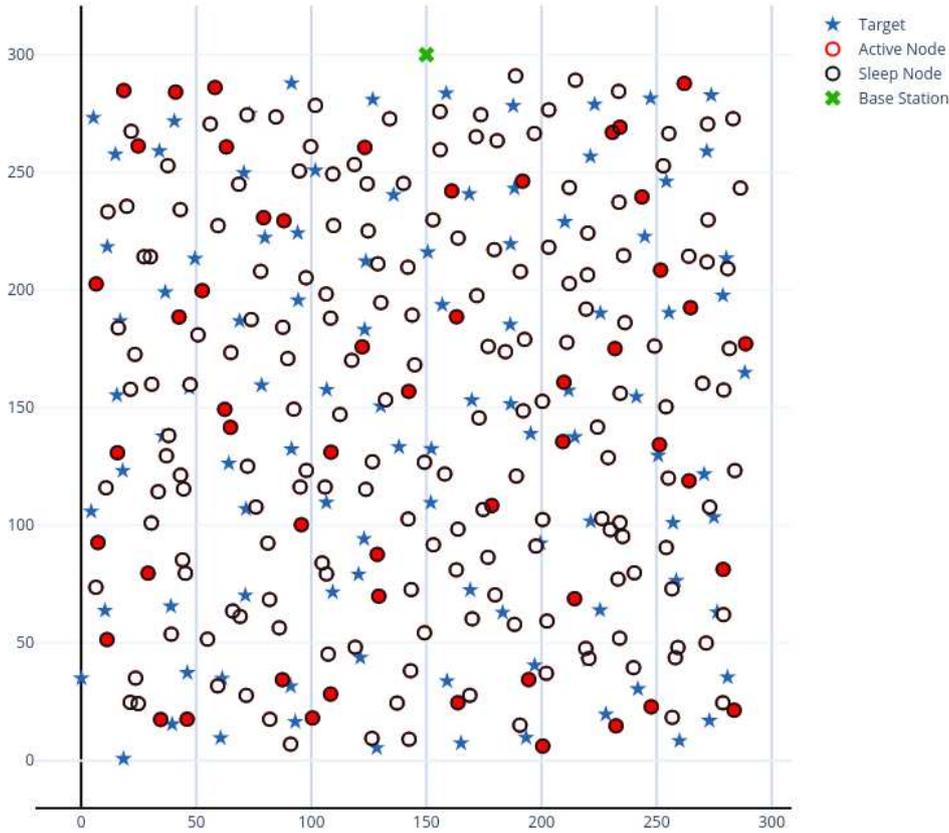
Simbol	Parameter	Nilai
N	Jumlah Sensor Node	225 node
K	Jumlah Target	100 target
Rcom	Radius jangkauan komunikasi	100 m
Rsen	Radius jangkauan sensor	50 m
A	Luas Area WSN	300 x 300 m ²

TABEL II
NILAI WEIGHT TERHADAP NILAI FUNGSI OBJEKTIF DALAM PERSEN (%)

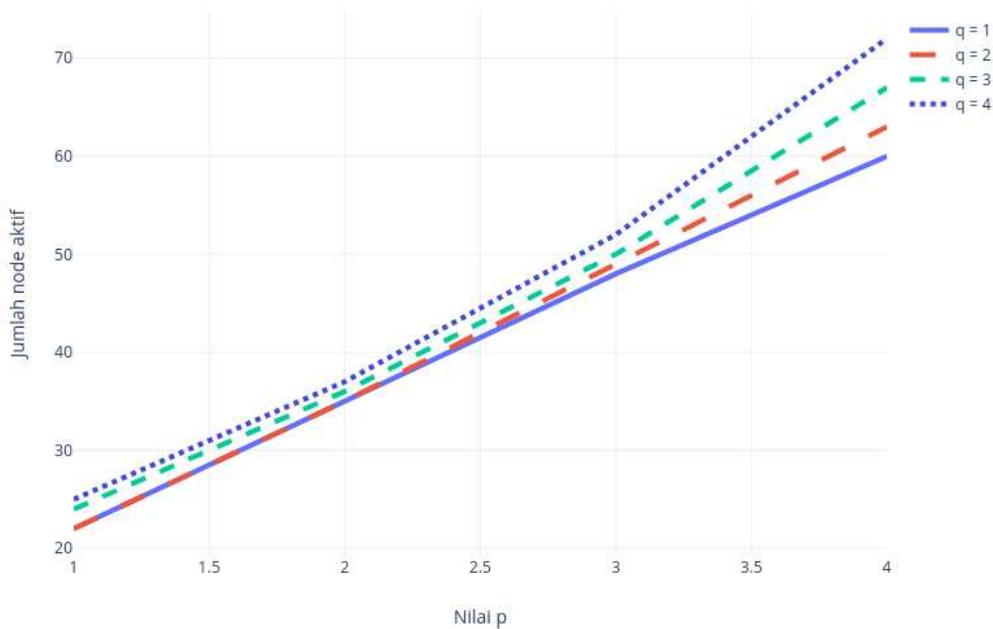
Weight				Objektif			
W_1	W_2	W_3	W_4	F_1	F_2	F_3	F_4
0.1	0.4	0.4	0.1	77	100	100	79
0.15	0.35	0.35	0.15	77	100	100	76
0.2	0.3	0.3	0.2	76	100	100	79
0.25	0.25	0.25	0.25	77	100	100	78
0.3	0.2	0.2	0.3	76	100	100	77
0.35	0.15	0.15	0.35	77	100	100	81
0.4	0.1	0.1	0.4	80	88	100	83
0.45	0.05	0.05	0.45	84	50	100	88

Untuk simulasi pengujian dilakukan dengan mendefinisikan populasi awal untuk *Genetic Algorithm* sebanyak 50 kromosom, dengan presentasi mutasi sebesar 20%, dengan iterasi maksimal sebanyak 100 iterasi. Sebanyak 225 *sensor node* yang diletakkan secara acak pada area seluas 300 x 300 meter persegi dengan 100 target yang juga diletakkan secara acak. Simulasi dilakukan dengan mempertimbangkan jangkauan sensor dan jangkauan konektivitas. Jangkauan konektivitas yang dimiliki sensor yaitu radius 100 meter, sedangkan jangkauan sensor dengan radius 50 meter. Algoritme *routing* yang digunakan dalam metode kali ini adalah dengan *Shortest Geo Path* (SGP), yaitu jarak terdekat untuk menuju *base station*. Sehingga untuk menuju *base station*, suatu *sensor node* akan mengirimkan data melalui *sensor node* lainnya yang berada dalam jangkauan konektivitasnya dan secara geografis paling dekat dengan *base station*.

Untuk menentukan nilai $W_1, W_2, W_3,$ dan W_4 dalam metode yang diusulkan, dilakukan percobaan dengan beberapa macam kombinasi nilai W dengan perbandingan nilai dari persentase F_1, F_2, F_3 dan F_4 . Untuk proses inisialisasi, $p = 3$ dan $q = 3$. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel II. Dari hasil percobaan tersebut didapatkan nilai *Weight* yang optimal didapatkan pada nilai $W_1=0.35, W_2 = 0.15, W_3 = 0.15,$ dan $W_4 = 0.45$. Namun nilai tersebut masih terbatas pada percobaan yang dilakukan karena sangat sulit untuk menentukan nilai *weight* secara presisi dan akurat. Hasil dari simulasi dapat dilihat pada Gambar 3. dari 225 *sensor node* yang tersedia, 52 diantaranya berada dalam kondisi aktif, sementara node lain berada dalam kondisi *sleep* untuk menghemat energi.



Gambar 3. Skenario dengan 225 sensor node dan 100 target dimana 53 node berada dalam kondisi aktif pada area 300 x 300 m².



Gambar 4. Korelasi nilai P dan Q terhadap jumlah node aktif.

```

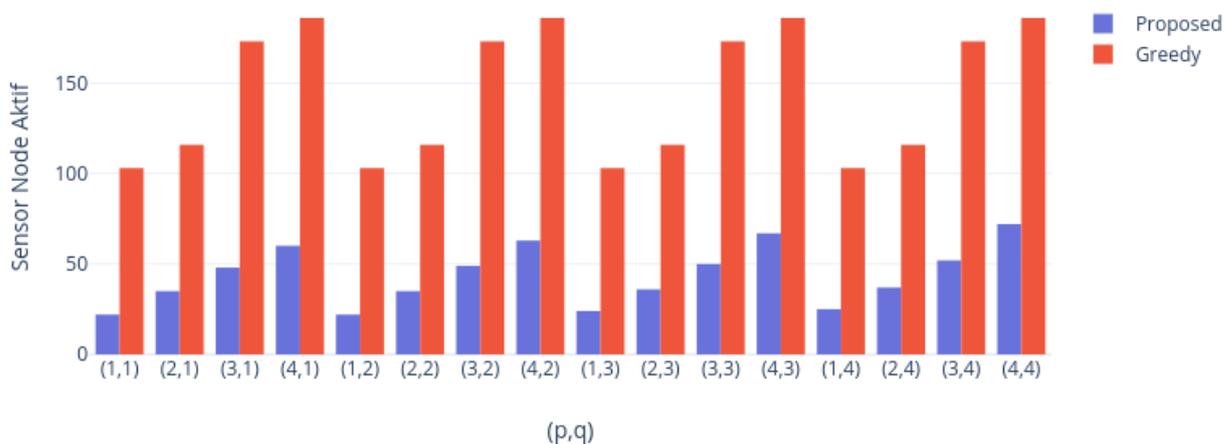
Input: (1) Set of SensorNodes N and targets K.
          (2)  $Cov(t_i)$  and  $Com(s_j)$ ,  $\forall i, 1 \leq i \leq N$ .
          (3) Value of p and q.
Output: Set of SensorNodes with p-coverage and q-connectivity.
1:  $W = \{ \}$ 
2: Sort  $s_i$ ,  $\forall i, 1 \leq i \leq N$  on  $|Cov(t_i)| \times |Com(s_i)|$ 
3: while ( $t_i$ ,  $\forall i, 1 \leq i \leq N$  is not p-covered and nodes are q-connected) do
4:   Select the  $s_i$  with highest  $|Cov(t_i)| \times |Com(s_i)|$ 
5:    $W = W \cup \{s_i\}$ 
6:   Delete  $s_i$  from the list
7: end while
    
```

Gambar 5. Algoritma Greedy Selection.

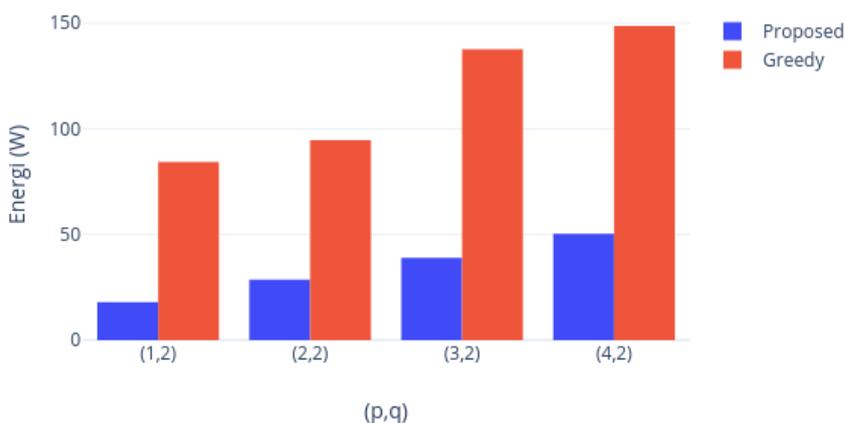
Jumlah node yang berada dalam posisi aktif sangat dipengaruhi oleh nilai p dan q. Semakin tinggi nilai p dan q maka akan semakin banyak *node* yang berada dalam kondisi aktif. Nilai p menentukan banyak nya *node* yang harus mencakup sebuah target sehingga semakin banyak *sensor node* yang harus aktif untuk melakukan *sensing* terhadap target tersebut. Sementara nilai q menentukan banyaknya *sensor node* yang harus terhubung satu sama lain untuk menjamin konektivitas dari WSN untuk dapat mencapai *base station*. Gambar 4 merepresentasikan korelasi antara jumlah node aktif dengan nilai p dan q. Pada Gambar 4 juga menunjukkan bahwa nilai p lebih dominan terhadap peningkatan jumlah node aktif. Hal ini disebabkan *sensor node* memiliki jangkauan sensor yang lebih kecil dibandingkan dengan jangkauan konektivitas, sehingga nilai p lebih signifikan jika dibandingkan dengan nilai q dalam hal peningkatan jumlah *sensor node* aktif.

TABEL III
KONSUMSI DAYA SENSOR NODE.

Konstanta	Nilai
Sleeping Mode	12 μ A
Awake Mode	50mA
Transmitting Mode	52mA
Receiving Mode	54mA
Power Supply	3.3V



Gambar 6. Hasil ujicoba performa dengan kombinasi nilai p dan q .



Gambar 7. Hasil ujicoba konsumsi energi per *round* sistem WSN dengan kombinasi nilai p dan q .

Untuk pengujian dari segi performa, digunakan algoritme *Greedy* sebagai pembanding. adapun algoritme *Greedy* yang digunakan pada penelitian ini seperti pada Gambar 5. Performa yang dimaksud adalah dari jumlah *active node* yang terpilih serta konsumsi energi dari sistem WSN. Konstanta energi yang digunakan dalam penelitian ini merujuk pada penelitian [7]. Sensor dapat berada pada kondisi *sleep* atau aktif. Selain itu sensor juga dapat melakukan *scanning* target dan juga melakukan pengiriman data menuju *base station*. Konstanta energi yang digunakan dapat dilihat pada tabel III.

Hasil dari ujicoba yang dilakukan dengan membandingkan algoritme *Greedy* dengan metode yang diusulkan dapat dilihat pada Gambar 6. Dalam Grafik tersebut sumbu y menyatakan jumlah node yang sedangkan sumbu x menyatakan kombinasi nilai p dan q pada WSN dengan model *p-coverage* dan *q-connectivity*. Jumlah *active node* pada metode yang diusulkan lebih kecil dibandingkan dengan algoritme *Greedy* untuk semua kombinasi p dan q . Hal ini dikarenakan metode yang diusulkan menggunakan fungsi objektif yang dapat melakukan seleksi *active node* seminimal mungkin dengan tetap mempertimbangkan faktor *coverage cost* dan *connectivity cost*, sedangkan algoritme *Greedy* sangat bergantung pada posisi sensor dan target pada WSN. Dalam pengujian tersebut metode yang diusulkan mampu mengurangi jumlah node aktif dalam suatu siklus hingga 72% jika dibandingkan dengan algoritme *Greedy*.

Penurunan jumlah *active node* ini juga berdampak pada peningkatan efisiensi konsumsi energi pada WSN. Metode yang diusulkan ini mengonsumsi energi per siklusnya hingga 59% lebih efisien jika dibandingkan dengan algoritme *Greedy* dengan tetap memenuhi batasan pada model *p-coverage* dan *q-connectivity*. Hal ini juga membuktikan bahwa jumlah *node* yang aktif berbanding lurus dengan energi yang dikonsumsi dalam siklus WSN seperti pada Gambar 7.

KESIMPULAN

Penelitian ini mengusulkan sebuah metode baru pada optimasi heuristik *Genetic Algorithm* untuk proses *sleep wakeup scheduling* yang dapat meningkatkan efisiensi energi pada *target based WSN*. Selain itu metode ini juga dapat mengatasi batasan yang dimiliki WSN dengan *model p-coverage* dan *q-connectivity* dengan cara melibatkan faktor jangkauan sensor dan jangkauan konektivitas. Fungsi objektif juga melibatkan energi sisa *sensor node* untuk meningkatkan efisiensi energi. Dari hasil uji coba yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa metode yang diusulkan memiliki performa seleksi *node* aktif yang lebih baik jika dibandingkan dengan algoritme *Greedy*. Dengan seleksi *node* aktif yang optimal, konsumsi energi dari WSN juga dapat berkurang secara signifikan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. Kabakulak, "Sensor and sink placement, scheduling and routing algorithms for connected coverage of wireless sensor networks," *Ad Hoc Networks*, vol. 86, pp. 83-102, 2019.
- [2] P. Musilek, P. Kromer and T. Barton, "Review of nature-inspired methods for wake-up scheduling in wireless sensor networks," *Swarm Evol. Comput.*, vol. 25, pp. 100-118, 2015.
- [3] S. Harizan and P. Kuila, "Coverage and connectivity aware energy efficient scheduling in target based wireless sensor networks: an improved genetic algorithm based approach," *Wirel. Network*, vol. 25, no. 4, pp. 1995-2011, 2018.
- [4] S. K. Gupta, P. Kuila and P. K. Jana, "Genetic algorithm approach for k-coverage and m-connected node placement in target based wireless sensor networks," *Comput. Electr. Eng.*, vol. 56, pp. 544-556, 2016.
- [5] C. Luo, Y. Hong, D. Li, Y. Wang, W. Chen and Q. Hu, "Maximizing network lifetime using coverage sets scheduling in wireless sensor networks," *Ad Hoc Network*, vol. 98, p. 102037, 2020.
- [6] A. Konak, D. W. Coit and A. E. Smith, "Multi-objective optimization using genetic algorithms: A tutorial," *Reliab. Eng. Syst. Saf.*, vol. 91, no. 9, pp. 992-1007, 2006.
- [7] O. O. Kazeem, O. O. Akintade and L. O. Kehinde, "Comparative Study of Communication Interfaces for Sensors and Actuators in the Cloud of Internet of Things," *Int. J. Internet Things*, vol. 6, no. 1, pp. 9-13, 2017.