TESIS IF185301

MODIFIKASI PEMILIHAN *CLUSTER HEAD* MENGGUNAKAN *FUZZY C-MEANS CLUSTERING* DAN *PARTICLE SWARN OPTIMATION* UNTUK EFISIENSI ENERGI PADA PROSES *DATA GATHERING* DI LINGKUNGAN *WIRELESS SENSOR NETWORK*

MUHAMMAD AWWIB AHSANA
NRP. 05111850010006

Dosen Pembimbing
Waskitho Wibisono, S.Kom., M.Eng., Ph.D
NIP: 19741022 200003 1 001

Departemen Teknik Informatika
Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
2020

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Komputer (M. Kom)
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Oleh:

MUHAMMAD AWWIB AHSANA
NRP: 05111850010006

Tanggal Ujian: 22 Juli 2020
Periode Wisuda: September 2020

Disetujui oleh:
Pembimbing:

1. Waskitho Wibisono, S.Kom., M.Eng., Ph.D
NIP: 19741022 200003 1 001 .....

Penguji:

1. Royyana Muslim I, S.Kom., M.Kom., Ph.D.
NIP: 19770824 200604 1 001 .....

2. Tohari Ahmad, S.Kom., MIT., Ph.D.
NIP. 19750525 200312 1 002 .....

3. Dr. Radityo Anggoro, S.Kom, M.Sc.
NIP: 19841016 200812 1 002 .....

Kepala Departemen Teknik Informatika
Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas

Dr. Eng. Chastine Fatichah, S.Kom., M.Kom
NIP: 19751220 200112 2 002

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

MODIFIKASI PEMILIHAN *CLUSTER* HEAD MENGGUNAKAN *FUZZY C-MEANS CLUSTER*ING DAN PARTICLE SWARN OPTIMATION UNTUK EFISIENSI ENERGI PADA PROSES DATA GATHERING DI LINGKUNGAN WIRELESS SENSOR NETWORK

Nama Mahasiswa : Muhammad Awwib Ahsana
NRP : 05111850010006
Pembimbing : Waskitho Wibisono, S.Kom., M. Eng., Ph.D

ABSTRAK

Proses pengumpulan data (*Data Gathering*) akan berpengaruh terhadap masa hidup jaringan dan konsumsi energi. Pengumpulan data dilakukan oleh setiap node secara berkala dalam jaringan sensor dan kemudian meneruskan informasi ke sink. Salah satu permasalah yang sering terjadi adalah konsumsi energi dan masa hidup jaringan, dimana energi yang dimiliki pada suatu protokol *Wireless Sensor Network* sangat terbatas, sedangkan proses pengambilan data dilakukan secara berulang-ulang. Sehingga diperlukan suatu metode penghematan energi agar energi yang dikonsumsi menjadi rendah dan masa hidup jaringan lebih lama. Penelitian ini diusulkan optimasi Pemilihan *Cluster Head* menggunakan *Fuzzy c-means* dan *Particle Swarn Optimation* untuk efisiensi nnergi pada *Wireless Sensor Network*. Perbandingan masa hidup jaringan menunjukan bahwa strategi usulan memiliki tingkat hidup yang lebih panjang yaitu 9549 *round* atau 2,06 kali lipat dari protokol *Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy (*LEACH) pada sink (50,50) dengan rata-rata energi per transmisi 0.00032676 *joule per transmission* dan 7644 *round* atau 1,6 kali lipat dari protokol LEACH pada sink (50,100) dengan rata-rata energi per transmisi 0.000486052 *joule per transmission*. Hal ini mempertegas bahwa dengan melakukan optimasi data gathering dengan konsep *multi hop* pada wireless sensor network mampu meningkatkan masa hidup jaringan dan konsumsi energi yang rendah

Kata Kunci*: Data Gathering, LEACH, PSO, WSN*

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

MODIFICATION OF SELECTING CLUSTER HEAD USING FUZZY C-MEANS CLUSTERING AND PARTICLE SWARN OPTIMATION FOR ENERGY EFFICIENCY IN DATA GATHERING PROCESS IN WIRELESS SENSOR NETWORK ENVIRONMENT

Nama Mahasiswa : Muhammad Awwib Ahsana
NRP : 05111850010006
Pembimbing : Waskitho Wibisono, S.Kom., M. Eng., Ph.D

ABSTACT

The process of collecting data (Data Gathering) will affect the life span of the network and energy consumption. Data collection is carried out by each node periodically in the sensor network and then forwards the information to the sink. One of the problems that often occurs is energy consumption and network life span, where the energy possessed in a WSN protocol is very limited, while the data collection process is carried out repeatedly. So, we need an energy saving method so that the energy consumed is low and the network life is longer. This study focused on optimizing data gathering with the concept of multi-hop on a wireless sensor network. Comparison of network life span shows that the proposed strategy has a longer life rate of 9549 rounds or 2.06 times than the Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy (LEACH) protocol on sinks (50.50) with an average energy per transmission is 0.00032676 joules per transmission and 7644 rounds or 1.6 times than the LEACH protocol on sinks (50,100) with an average energy per transmission is 0.000486052 joules per transmission. This confirms that by optimizing data gathering with the concept of multi-hop on a wireless sensor network can increase the life span of the network and low energy consumption

Keyword*: Data Gathering, LEACH, PSO, WSN*

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah Yang Maha Esa atas segala karunia dan rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan Thesis yang berjudul "Optimasi Pemilihan *Cluster Head* menggunakan *Fuzzy c-means Clustering* dan *Particle Swarn Optimation* untuk Efisiensi Energi pada Proses *Data Gathering* di Lingkungan *Wireless Sensor Network*".

Penyusunan tesis ini menjadi sebuah sarana untuk penulis memperdalam ilmu yang telah didapatkan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, khususnya dalam disiplin ilmu Informatika. Harapan penulis semoga apa yang tertulis di dalam buku tesis ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan saat ini. Terselesaikannya buku tesis ini tidak terlepas dari bantuan dan dukungan semua pihak. Pada kesempatan kali ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT atas semua rahmat yang diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Waskitho Wibisono, S.Kom., M. Eng., Ph.D, selaku dosen pembimbing, atas bimbingan, arahan dan bantuannya dalam pengerjaan thesis ini.
3. Aya, Ibu, Kakak, dan Adik serta seluruh keluarga besar yang selalu memberikan doa, kasih sayang, semangat, dukungan moril, serta motivasi sampai saat ini, terimakasih banyak.
4. Seluruh teman-teman S2 Informatika ITS angkatan 2018 yang selama ini sudah membantu penulis menyelesaikan thesis.
5. Teman-teman di kos perumahan dosen blok W no 5 khusunya Arif Mudi Priyatno dan Dino Budi Prakoso yang telah banyak membantu dan memberikan *support* untuk menyelesaikan tesis ini.
6. Juga tidak lupa kepada semua pihak yang belum sempat disebutkan satu per satu yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa masih terdapat kekurangan, kesalahan, maupun kelalaian yang telah penulis lakukan dalam penelitian ini. Oleh karena itu, saran dan kritik yang membangun sangat dibutuhkan untuk penyempurnaan tesis ini.

Surabaya, Juli 2020

Muhammad Awwib Ahsana

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN TESIS ..... **III**
ABSTRAK ..... **V**
ABSTACT ..... **VII**
DAFTAR ISI ..... **XI**
DAFTAR GAMBAR ..... **XIII**
DAFTAR TABEL ..... **XV**
BAB 1 PENDAHULUAN **1**
1.1 LATAR BELAKANG 1
1.2 PERUMUSAN MASALAH 4
1.3 TUJUAN PENELITIAN 4
1.4 MANFAAT PENELITIAN 4
1.5 KONTRIBUSI PENELITIAN 4
1.6 BATASAN MASALAH 5
BAB II KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI **7**
2.1 WIRELESS SENSOR NETWORK (WSN) 7
2.2 DATA GATHERING PADA WSN 8
2.2.1 Precision Data Gathering Mode *8*
2.2.1 Correlated Data Gathering Mode *10*
2.3 LEACH 10
2.3.1 Fase Setup *11*
2.3.2 Fase Steady State *12*
2.4 FCM *CLUSTER*ING PROTOCOLS 12
2.4.1 Clustering Calculation *13*
2.4 2 Cluster head Selection *14*
2.4.3 Data Transmission *15*
2.5 PARTICLE SWARM OPTIMATION 15
BAB III METODE PENELITIAN **17**

3.1 METODOLOGI PENELITIAN 17
3.2 DESAIN SISTEM 18
3.2.1 Fase Inisialisasi *19*
3.2.2 Fase Setup *20*
3.2.3 Fase Steady State *23*
3.3 MODEL JARINGAN 24
3.4 RADIO ENERGI MODEL 24
3.5 IMPLEMENTASI 25
3.6 PENGUJIAN 26
3.7 ANALISA HASIL 27
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN 29
4.1 IMPLEMENTASI METODE 29
4.2 MODIFIKASI PADA METODE USULAN 30
4.3 TAHAPAN UJI COBA MOTODE 31
4.3.2 Parameter Pengujian dan Eksekusi Program *34*
4.4 HASIL DAN ANALISA 35
4.4.1 Analisa Skenario 1 ..... *35*
4.4.3 Analisa Skenario 4 ..... *51*
4.4.4 Analisa Skenario 5 ..... *55*
4.4.6 Analisa Skenario 6 ..... *60*
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 67
5.1 KESIMPULAN 67
5.2 SARAN 68
DAFTAR PUSTAKA 69

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 *Cluster* Based Protocol 9
Gambar 2. 2 Chain Based Protocol 10
Gambar 2. 3 Arsitektur LEACH (Xu et al., 2012) 11
Gambar 2. 4 Fase Setup dan Fase Steady state (Singh et al., 2017) 12
Gambar 3. 1 Proses Alur Kerja 18
Gambar 3. 2 Alur Desain Sistem 18
Gambar 3. 3 Alur Proses Inisialisasi Pembentukan *Cluster* pada WSN . 19
Gambar 4. 1 Hasil contoh persebaran node 31
Gambar 4. 2 Hasil Fuzzy C-means 32
Gambar 4. 3 *Network Liftetime* pada skenario 1 36
Gambar 4. 4 Presentasse hidup *node* (*node* 100) pada skenario 1 37
Gambar 4. 5 Presentase hidup *node* (200 *node*) pada skenario 1 38
Gambar 4. 6 Total Consumption Energy 100 *node* pada skenario 1 39
Gambar 4. 7 Total Consumption Energy 200 *node* pada skenario 1 40
Gambar 4. 8 Rata-rata *consumption energy* pada skenario 1 41
Gambar 4. 9 *Network Liftetime* pada skenario 2 42
Gambar 4. 10 Presentasi hidup node (100 node) pada skenario 2 43
Gambar 4. 11 Presentasi hidup node (200 node) pada skenario 2 43
Gambar 4. 12 Total Consumption Energy 100 *node* pada skenario 2..... 44
Gambar 4. 13 Total Consumption Energy 200 *node* pada skenario 2..... 45
Gambar 4. 14 Rata-rata *consumption energy* pada skenario 2 46
Gambar 4. 15 *Network lifetime* pada skenario 3 47
Gambar 4. 16 Presentasi hidup node (100 node) pada skenario 3 47
Gambar 4. 17 Presentasi hidup node (200 node) pada skenario 3 48
Gambar 4. 19 Total Consumption Energy 200 *node* pada skenario 3..... 49
Gambar 4. 18 Total Consumption Energy 100 *node* pada skenario 3..... 49

Gambar 4. 20 Rata-rata *consumption energy* pada skenario 3 50
Gambar 4. 21 *Network Liftetime* pada skenario 4..... 51
Gambar 4. 22 Presentase Hidup *Node* (100 node) pada skenario 4..... 52
Gambar 4. 23 Presentase Hidup *Node* (200 node) pada skenario 4..... 53
Gambar 4. 25 Total Consumption Energy 200 *node* pada skenario 4.... 54
Gambar 4. 24 Rata-rata *consumption energy* pada skenario 4 54
Gambar 4. 26 Total Consumption Energy 100 *node* pada skenario 4.... 55
Gambar 4. 27 *Network Liftetime* pada skenario 5..... 56
Gambar 4. 28 Presentase hidup *node* (100 *node*) pada skenario 5 57
Gambar 4. 29 Presentase hidup *node* (200 *node*) pada skenario 5 58
Gambar 4. 30 Total Consumption Energy 100 *node* pada skenario 5..... 59
Gambar 4. 31 Total Consumption Energy 200 *node* pada skenario 5..... 59
Gambar 4. 32 Rata-rata *consumption energy* pada skenario 5 60
Gambar 4. 33 *Network Liftetime* pada skenario 6..... 61
Gambar 4. 34 Presentase hidup *node* (100 *node*) pada skenario 6 62
Gambar 4. 35 Presentase hidup *node* (200 *node*) pada skenario 6 63
Gambar 4. 36 Total Consumption Energy 100 *node* pada skenario 6..... 64
Gambar 4. 37 Total Consumption Energy 200 *node* pada skenario 6..... 64
Gambar 4. 38 Rata-rata *consumption energy* pada skenario 6 65

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Spesifikasi Komputer Pengujian 25
Tabel 3. 2 Parameter Uji Coba 26
Tabel 4. 1 Tabel Parameter Pengujian 35

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB 1
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jaringan Sensor Nirkabel atau dalam beberapa literature disebut *Wireless Sensor Network* (WSN) adalah paradigma yang muncul dari jaringan *ad-hoc*. Jaringan ini terdiri dari ratusan atau bahkan ribuan sensor *node*, di mana setiap *node* akan terhubung satu sama lain. Sensor biasanya saling berkomunikasi dengan *node* di sekitar atau berinteraksi dengan *base station* secara langsung untuk mengumpulkan data (Rajagopal, 2018). Istilah *ad-hoc* merupakan kemampuan perangkat untuk berkomunikasi satu sama lain secara langsung tanpa memerlukan infrastruktur jaringan seperti *router* atau *access point*. WSN sendiri mempertimbangkan *base station* (BS) yang saling berkomunikasi dengan banyak sensor melalui beberapa *radio channel*. Transmisi data dan proses penerimaan data adalah operasi utama pada WSN (Al-Baz & El-Sayed, 2018). Routing protokol dalam WSN dibagi dibagi menjadi 3 kategori, yatu *location based, data centric, dan hierarchical protocol* (Goswami & Kumar, 2017).

Pengumpulan data *(Data Gathering)* merupakan hal yang penting dalam lingkungan WSN, karena hal ini akan berpengaruh terhadap konsumsi energi. Pengumpulan data dilakukan oleh setiap *node* secara berkala dalam jaringan sensor dan kemudian meneruskan informasi ke *sink* dengan *single hop* atau *multi hop*. Teknik pemngumpulan data dapat dikategorikan menjadi 2 mode, yaitu *precision data gathering mode* dan *correlated data gathering mode* (Peng, 2017).

Protokol *clustering* digunakan untuk pengoptimalan penggunaan energi pada WSN. Sensor dibagi menjadi beberapa area yang dinamakan *node* dan setiap sensor pada masing-masing area mengirimkan informasi ke *Cluster head* (CH) dan mentransfer informasi ke *Base station* (BS) (Nithya, Abhinaya, & Lavanya, 2018). *Communication protocol* memiliki peran penting dalam hal efisiensi energi dan peningkatan masa hidup pada WSN. Jadi, sangat penting merancang sebuah protokol pada WSN agar penggunaan energi dapat efisien, karena tidak hanya

mengurangi penggunaan energi total jaringan, tetapi juga membuat penggunaan energi menjadi seimbang. Protokol *clustering* memainkan peran yang sangat penting dalam pengurangan penggunaan energi dalam jaringan. Dalam protokol seperti ini, pemilihan *node* sebagai CH sangat penting dalam masa hidup dan penskalaan jaringan.

Salah satu algoritma routing pada WSN yang berbasis *clutering* adalah *Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy* (LEACH) (W. R. Heinzelman, Chandrakasan, & Balakrishnan, 2000). LEACH merupakan algoritma yang dapat didistribusikan di mana CH tidak terikat hanya untuk satu *node* dan dalam masing-masing periode, setiap *node* dapat dipilih untuk menjadi CH secara acak. Mekanisme ini dirancang sedemikian rupa sehingga menjamin peran CH untuk setiap *node*. Dalam metode ini, *node* memposisikan dalam bentuk *cluster* dan setiap *node* dapat mengambil tanggung jawab sebagai CH untuk mengurangi penggunaan energi dan memperpanjang masa hidup jaringan. Versi lain dari LEACH adalah algoritma LEACH-C (W. B. Heinzelman, Chandrakasan, & Balakrishnan, 2002). Meskipun protokol LEACH dapat memperpanjang masa hidup jaringan, namun disini masih terdapat masalah, di karena pemilihan CH yang random ini akan berdampak pada distribusi CH yang kurang optimal. *Node* dengan energi yang rendah memiliki prioritas yang sama untuk menjadi CH, sama seperti *node* dengan energi yang tinggi. Oleh karena itu, *node-node* dengan energi yang lebih sedikit dapat terpilih sebagai CH yang akan dapat dipastikan *node* ini akan mati sebelum mencapai ke *base station* (BS). CH berkomunikasi dengan BS dalam mode *single-hop* yang membuat LEACH tidak dapat digunakan dalam WSN berskala besar (Xu et al., 2012).

Penelitian (Mehra, Doja, & Alam, 2018) menggunakan *fuzzy* untuk menentukan CH berdasarkan jarak *node* dengan energi sisa, jarak dari *sink*, dan kepadatan *node* di sekitarnya sebagai input ke *Fuzzy Inference System*. Hasil dari penelitian tersebut menyatakan bahwa dengan menggunakan *fuzzy* dapat memperpanjang masa pakai jaringan. Penelitian (Alia, 2014), mengusulkan *Desentralisation Clustering Fuzzy Protocol* atau disebut DCFP, yang

meminimalkan pembuangan energi total jaringan untuk meningkatkan masa pakai jaringan. Algoritma *fuzzy c-means* diadopsi untuk mengalokasikan *node* sensor ke dalam suatu *cluster*. Selanjutnya, protokol menjalankan *round*, di mana setiap *round* dibagi menjadi 2 fase, yaitu fase CH-*Election* dan fase *Data Transmission*. Dalam fase CH-*Election*, pemilihan CH baru dilakukan secara lokal di setiap *cluster* di mana tujuannya untuk meningkatkan kualitas CH yang terpilih. Pada fase *Data Transmission*, *sensing* dan transmisi data dari masing-masing sensor *node* ke masing-masing CH dilakukan, dan CH secara bergantian mengumpulkan dan mengirimkan data *sensing* ke BS. Hasil simulasi menunjukkan bahwa protokol yang diusulkan meningkatkan masa pakai jaringan, pengiriman data, dan konsumsi energi dibandingkan dengan protokol lainnya.

Penelitian yang dilakukan oleh (Bouyer, Hatamlou, & Masdari, 2015a) menerangkan bahwa *Algoritma Fuzzy c-means* (FCM) digunakan untuk menentukan jumlah CH yang optimal dan lokasinya. Menggunakan FCM di WSN membantu mengubah parameter protokol LEACH saat eksekusi. Hasilnya menunjukkan bahwa algoritma hybrid meningkatkan masa pakai jaringan dibandingkan dengan algoritma LEACH. Namun pada lingkungan WSN, proses inisialilasi *cluster head* memiliki permasalahan, yaitu proses inisialisasi *cluster head* dilakukan secara *random*. Permasalahan pada proses inisialsisasi secara *random* terjadi pada saat jumlah *node* yang sesuai dengan *threshold* terlalu sedikit dan terlalu banyak yang akan berdampak pada energi yang digunakan oleh *node* dan *sink*. Dengan demikian untuk optimasi pada inisialisasi *cluster head* akan menggunakan metode dari *Fuzzy c-means* (FCM) dan *Particle Swarm Optimation* (PSO).

Dalam penelitian ini, akan berfokus kepada optimasi pemilihan *Cluster head* menggunakan *Fuzzy c-means* dan *Particle Swarn Optimation* untuk efisiensi energi pada *wireless sensor n*etwork. Dengan mengimplementasikan metode FCM dan PSO dalam penentuan *cluster head* , diharapkan dapat mengoptimalkan proses inisialisasi *cluster head* . Metode PSO digunakan untuk menentukan *center point selection* pada metode FCM, sedangkan proses pada metode FCM digunakan untuk

inisialisasi *cluster head* pada proses *data gathering* untuk efisiensi energi di lingkungan *Wireless Sensor Network*

1.2 Perumusan Masalah

Rumusan masalah yang diangkat dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana menentukan jumlah *cluster* optimal sebagai inisialisasi pada *Fuzzy c-means* ?
2. Bagaimana mengimplementiskan *Fuzzy c-means cluster*ing pada *Wireless Sensor Network* ?
3. Bagaimana modifikasi pemilihan *cluster head* pada *Wireless Sensor Network* menggunakan *Fuzzy c-means* dan *Particle Swarn optimation* ?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menentukan jumlah *cluster* optimal pada pada *Wireless Sensor Network*.
2. Menggunakan *cluster*ing *Fuzzy c-means* untuk peng*cluster*an pada WSN
3. Melakukan modifikasi pemilihan *cluster head* pada *Wireless Sensor Network* menggunakan *Fuzzy c-means* dan *Particle Swarn optimation* untuk efisiensi energi.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari hasil penelitian ini adalah meningkatkan *lifetime* dan mengoptimalkan penggunaan energi pada *node-node* yang terhubung jaringan WSN.

1.5 Kontribusi Penelitian

Kontribusi dari penelitian ini adalah mengusulkan strategi baru optimasi pemilihan *Cluster head* menggunakan *Fuzzy c-means* dan *Particle Swarn Optimation* untuk efisiensi energi pada *wireless sensor n*etwork

1.6 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Simulasi menggunakan bahasa pemrograman MATLAB
2. Jumlah *node* yang digunakan adalah 100 node dan 200 node
3. Luas area 100 m x 100 m dan 200 m x 200 m

[halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB II
KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Wireless Sensor Network (WSN)

Wireless Sensor Network (WSN) adalah jaringan ini terdiri dari ratusan atau bahkan ribuan sensor *node*, dimana setiap *node* akan terhubung satu sama lain, yang dilengkapi dengan penginderaan, pemrosesan data, dan unit komunikasi, agar dapat saling berinterkasi dengan *node* disekitar atau dengan *base station*. WSN dapat diterapkan dalam berbagai aplikasi seperti pelacakan target, pemantauan habitat, pemantauan kesehatan, dll (Akyildiz, Su, Sankarasubramaniam, & Cayirci, 2002). Banyak protokol routing telah diusulkan untuk menghasilkan penggunaan energi yang efisien untuk WSN. Dalam penelitian (Goswami & Kumar, 2017), protocol routing dalam WSN diklasifikasikan menjadi tiga kategori, yaitu *Data Centric Protocol , Hierarchical Protocol, dan Location Based Protocol*.

Data centric protocol umumnya digunakan untuk menghilangkan redundansi data dalam jaringan. Ada skenario dimana *node* sensor tidak memiliki pengenalan identifikasi global yang membantu mereka mengidentifikasi secara unik sehingga *node* sensor ini dapat mengirimkan informasi yang berlebihan. *Routing Data Centric* berfungsi dengan cara yang dituju oleh *node* tujuan atau sistem untuk data dengan mengirimkan pertanyaan ke *node* sensor terdekat dan mendapatkan jawaban yang berkaitan dengan queri. SPIN adalah Protokol Data Centric pertama yang mempertimbangkan *node* jaringan untuk menghilangkan data yang berlebihan dan menghemat energi dari keseluruhan sistem. *Hierarchical protocol* berfungsi seperti jaringan telepon seluler standar dan menggunakan proses *hub* dimana *node* sensor mengirim informasi terkait menuju CH dan kemudian CH meneruskan informasi ini ke penerima yang diinginkan. Tujuan utama *Hierarchical routing* adalah untuk menjaga konsumsi energi *node* secara efisien dengan membawanya dalam komunikasi jaringan multi-hop dalam *cluster* yang ditentukan, dan dengan melakukan pengumpulan dan kombinasi data untuk mengurangi jumlah

pesan yang berkomunikasi ke tujuan. Meskipun ada beberapa protokol routing *hierarchical* yang ada, tetapi protokol yang sering digunakan adalah LEACH dan PEGASIS. *Location based protocol* diidentifikasi dalam area yang diberikan akan dianggap sebagai *node* tujuan yang dapat memproses paket informasi atau data. *Location based protocol* menjadi penting untuk meminta data dari area mana pun dalam lingkungan jaringan sensor. Asalkan jaringan Sensor tidak memiliki metode pengalamatan seperti routing alamat IP, mereka didistribusikan di wilayah tertentu sehingga informasi lokasi dapat digunakan dalam merutekan data dengan cara yang hemat energi. Protokol perutean berbasis lokasi melaporkan mobilitas *node* sensor dan mengeksekusi dengan sangat baik dimana kepadatan jaringan adalah persyaratan. Sederhananya, eksekusi sangat hina ketika penyebaran jaringan jarang dan tidak ada agregasi data dan lebih lanjut membagikan *node* header. GEAR adalah salah satu protokol berbasis lokasi.

2.2 Data Gathering Pada WSN

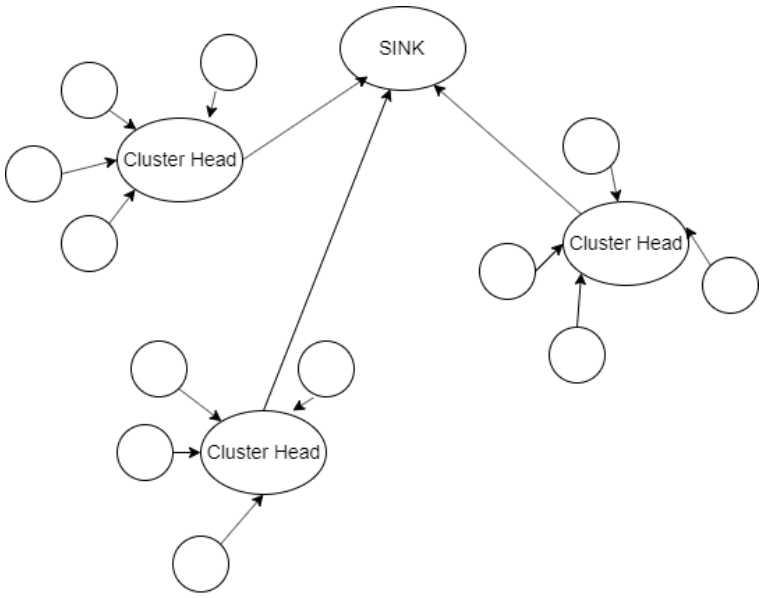
Pengumpulan data dilakukan oleh setiap *node* secara berkala dalam jaringan sensor dan kemudian meneruskan informasi ke *sink* dengan *single hop* atau *multi hop*. Teknik pemngumpulan data dapat dikategorikan menjadi 2 mode, yaitu *Precision Data Gathering Mode* dan *Correlated Data Gathering Mode*.

2.2.1 Precision Data Gathering Mode

Precision Data Gathering Mode digunakan karena setiap *node* pada WSN akan terus-menerus melakukan *sensing* pada data setiap saat. Semua data dikirim oleh *node* ke *sink/base station* secara langsung, namun mode ini akan mempercepat pembuangan energi dari setiap *node*. Dengan demikian, perlu untuk menetapkan rute yang efektif (jalur terpendek) atau strategi untuk mengumpulkan data yang optimal untuk memaksimalkan waktu hidup jaringan. *Precision Data Gathering Mode* dapat diklasifikasikan dengan jenis *cluster-based data gathering dan chain-based data gathering* (Peng, 2017).

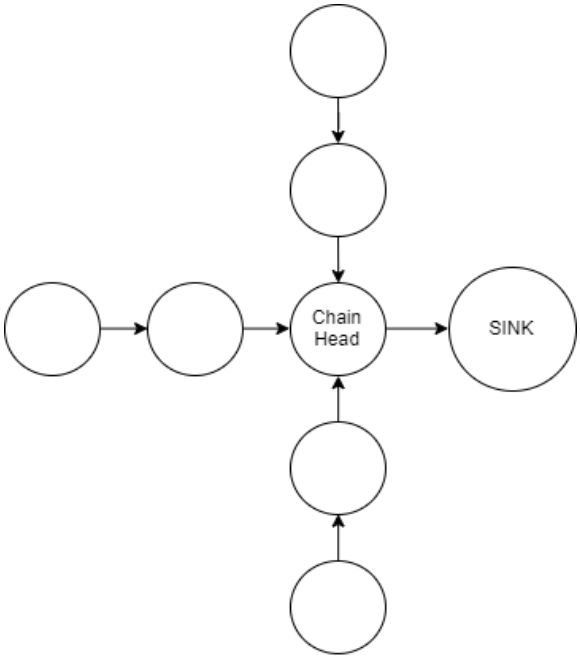
Protokol *cluster-based data gathering* bertujuan ntuk mengurangi biaya komunikasi yang disebabkan oleh semua *node* yang sering berinteraksi dengan *sink.*

Seperti pada Gambar. 3 , *node* dapat diklasifikasikan dengan tiga jenis, *node* umum, *cluster head*, dan *sink*. *Node* hanya berkomunikasi secara langsung dengan *cluster head*, sedangkan *cluster head* dapat berkomunikasi dengan sink secara langsung atau mengirimkan data ke sink. Salah satu protokol data gathering berbasis *cluster* adalah LEACH (W. R. Heinzelman et al., 2000).



Gambar 2. 1 *Cluster Based Protocol*

Protokol *chain-based data gathering* merupakan pengumpulan data berbasis rantai, gagasan utama protokol adalah sebagai berikut. Semua *node* terdiri dari sebuah rantai dan salah satu *node* dipilih dan diperlakukan sebagai *cluster head*. Seperti diilustrasikan pada Gambar. 2.2, chain head berada di tengah. *Node* pada kedua ujung rantai mentransmisikan data ke chain head dan hanya chain head yang mentransmisikan data secara langsung. Salah satu protokol data gathering berbasis chain adalah PEGASIS (Raghavendra & C., 2002)



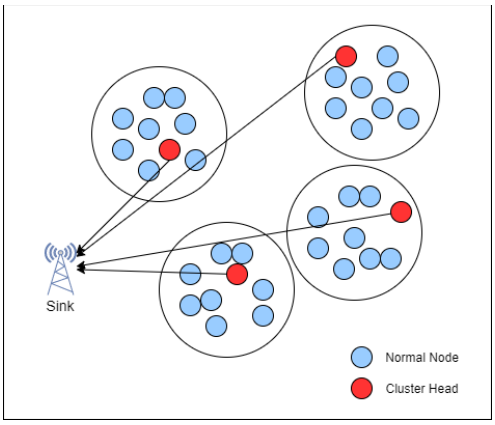
Gambar 2. 2 *Chain Based Protocol*

2.2.1 Correlated Data Gathering Mode

Correlated Data Gathering Mode merupakan mode pengumpulan data yang saling berhubungan, dikarenakan setiap *node* dalam WSN relatif dekat yang membuat data penginderaan mendapatkan sebuah hubungan yang kuat, namun metode ini hanya dapat digunakan untuk WSN yang bersifat homogen bukan untuk jaringan heterogen (Vuran, Akan, & Akyildiz, 2004).

2.3 LEACH

Low Energy Adaptive *Cluster*ing Hierarchy (LEACH) adalah protokol berbasis *cluster* yang menggunakan algoritma formasi *cluster*ing terdistribusi. Pertama kali diusulkan oleh Wendi B. Heinzelman dari MIT. Tujuan utamanya adalah untuk meningkatkan efisiensi energi dengan pemilihan CH berbasis rotasi secara acak. Operasi LEACH terdiri dari beberapa *round* dimana setiap *round* dibagi menjadi dua fase: fase *setup* dan fase *steady state* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1 (Singh, Kumar, & Singh, 2017).



Gambar 2. 3 Arsitektur LEACH (Xu et al., 2012)

2.3.1 Fase Setup

Pada fase setup, pemilihan CH, pembentukan *cluster*, dan penugasan TDMA (Time Division Mutiple Access) dilakukan oleh CH pada *node-node* yang sedang bekerja. Dalam pemilihan CH, setiap *node* berpartisipasi dalam proses pemilihan CH dengan menghasilkan nilai prioritas acak antara 0 dan 1. Jika jumlah yang dihasilkan dari *node* kurang dari nilai ambang batas *T(n)* maka *node* tersebut menjadi CH. Nilai *T(n)* dihitung menggunakan persamaan 2.1

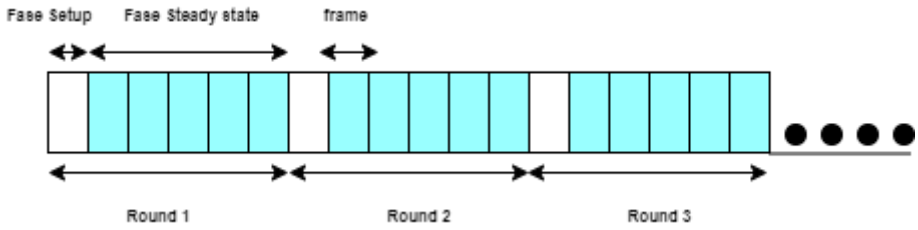
$$T(n) = \begin{cases} \frac{P}{1 - P * \left(r \ mod \frac{1}{P}\right)} & : if \ n \ \in G \\ 0 & : otherwhise \end{cases} \tag{2.1}$$

Di mana P menunjukkan persentase *node* sensor yang diinginkan untuk menjadi CH diantara semua *node* sensor, r menunjukkan putaran saat ini dan G adalah himpunan *node* sensor yang belum berpartisipasi dalam pemilihan CH dalam putaran $\frac{1}{P}$ sebelumnya. *Node* yang menjadi CH diputaran r tidak dapat berpartisipasi dalam putaran $\frac{1}{P}$ berikutnya. Dengan cara ini setiap *node* mendapat kesempatan yang sama untuk menjadi CH. Setelah sebuah *node* dipilih sebagai CH, ia mengirimkan pesan ke semua *node* lainnya. Dengan menghasilkan pesan baru berdasarkan Persamaan 2.1, CH berputar di setiap putaran untuk mendistribusikan energi secara merata di *node* sensor. Setelah pembentukan *cluster*, masing-masing CH membuat jadwal TDMA dan mentransmisikan jadwal ini kepada anggota *node*

di dalam *cluster*. Fase *setup* diselesaikan jika setiap *node* sensor mengetahui jadwal TDMA nya.

2.3.2 Fase Steady State

Pada fase steady state, transmisi data pengindraan dari *node* anggota ke CH dan CH ke BS dilakukan menggunakan jadwal TDMA. *Node* anggota mengirim data ke CH ketika slot waktu yang dialokasikan masih tersedia. Ketika salah satu *node* anggota mengirim data ke CH selama slot waktu yang dialokasikan, *node* anggota lain dari *cluster* itu tetap dalam kondisi *idle*. Proses ini mengurangi pembuangan energi yang dapat meningkatkan masa pakai energi semua *node* anggota. Selain itu, data agregat CHs diterima dari anggota *cluster* mereka dan mengirimkannya langsung ke BS. Transmisi data dari CH ke BS juga dilakukan dengan bantuan jadwal TDMA yang ditentukan. CH merasakan kondisi saluran untuk mengirim datanya. Jika saluran sedang sibuk yaitu sedang digunakan oleh CH lain maka ia akan menunggu.



Gambar 2. 4 Fase Setup dan Fase Steady state (Singh et al., 2017)

2.4 FCM *Cluster*ing Protocols

FCM Clustering Protocols merupakan algoritma pengelompokan secara terpusat, *base station* akan menghitung dan melakukan pengalokasian *node* sensor pada *cluster* sesuai dengan informasi pada lokasi *node* yang kemudian *cluster head* akan ditugaskan kepada *node* yang memiliki energi residual terbesar. Jaringan N sensor yang dipartisi ke dalam *cluster-cluster*: $C_1, C_2, \dots, C_e$. Tujuan dalam pembentukan *cluster* pada protokol ini adalah untuk meminimalkan fungsi dari tujuan pada persamaan 2.2 :

$$J_m = \sum_{i=1}^{c} \sum_{j=1}^{N} u_{ij}^{m} d_{ij}^{2} \tag{2.2}$$

Dimana u_{ij} adalah *node* j tingkat kepemilikan terhadap *cluster* i dan d_{ij} adalah jarak antara *node* j dan titik pusat pada *cluster* i. Tingkat u_{ij} pada *node* j diutamakan untuk penghitungan *cluster* dan q dengan *real parameter* $m > 1$ seperti pada persamaan 2.3:

$$u_{ij} = \frac{1}{\sum_{k=1}^{c} (\frac{d_{ij}}{d_{kj}})^{\frac{2}{m-1}}} \tag{2.3}$$

Jarak antara *sensor node* dan titik pusat merupakan jarak *Euclidean*. Dengan mencapai minimalisasi pada jarak spasial, keseimbangan energi pada *node* sensor dioptimalkan. *FCM Clustering Protocol* mempunyai 3 fase diantaranya: perhitungan pada *clustering*, pemilihan *cluster head* dan transmisi data. Kinerja pada protocol dipartisi menjadi perputaran. Di setiap perputaran, *cluster head* mengumpulkan data-data dari semua anggota *cluster* dan mengirimkan kepada *base station*.

2.4.1 *Cluster*ing Calculation

Dalam pertimbangan skenario pada aplikasi, bahwa *sensor node* N menyebar secara acak ke dalam bidang dengan luas $M\ x\ Mm^2$. Setelah proses penyebaran, *sensor node* ini akan mengirim paket data kepada *base station* beserta informasi lokasi secara geografis. Berdasarkan informasi tersebut *base station* akan menghitung *cluster head* dan mengalokasikan *sensor node* ke dalam *cluster* dengan menggunakan algoritma FCM. Algoritma FCM ini pertama kali diusulkan oleh Bezdek (Bezdek, 1981) digunakan pada *cluster analysis*, *pattern recognition*, *image processing*. Pada kasus tersebut, algoritma FCM diterapkan sebagai pengelompokkan pada *sensor node*. Setiap *node* akan diberikan nilai derajat kepemilikan ke *cluster head* sehingga sebagai pembeda agar sepenuhnya tidak hanya menjadi anggota pada satu *cluster*. Maka dengan begitu, *node* yang berdekatan dengan batas *cluster* dapat menjadi anggota *cluster* dengan derajat yang mendekati pada tingkat kepemilikan pada *cluster* tetangga. Konvergensi akan

dicapai ketika perbedaan antara koefisien dalam dua iterasi kurang dari batas atau sejumlah besar iterasi telah tercapai.

Setelah pembentukan *cluster*, *base station* akan memilih *node* terdekat ke pusat *cluster* untuk menjadi *cluster head*. Setelah pembuatan *cluster* selesai, *base station* akan mengirimkan informasi kepada *cluster head* dan informasi dimana *cluster* yang sesuai pada semua *node*. Untuk mengidentifikasi jumlah *cluster* seperti yang dilakukan pada penelitian D.C Hoang (Hoang, Kumar, & Panda, 2010) dapat menggunakan persamaan 2.4.

$$c_{opt} = \frac{\sqrt{N}}{\sqrt{2*\pi}} \sqrt{\frac{E_{fs}}{E_{mp}}} \frac{M}{d_{toBS}^2} \tag{2.4}$$

Dimana N merupakan jumlah *node* yang disebar pada suat area secara random, E_{fs} adalah energi yang dibutuhkan untuk mentransmisikan data setiap bit yang digunakan pada mode *free space* dan ε_{mp} yang digunakan pada model *multipath*, M merupakan luas area, sedangkan d_{toBS}^2 merupakan jarak rata-rata antara *Node* ke BS.

Algorithm 1. Algoritma FCM untuk menentukan formasi *cluster* (Hoang et al., 2010)

for $j = 1$ to N **do**

Node j diberikan koefisien u_{ij} untuk menjadi anggota *cluster* i

end for

repeat

for $i = 1\ to\ c$ **do**

hitung centroid pada setiap *cluster*

$$pos(center_i) = \frac{\sum_{j=1}^{n} u_j^m pos(nodej)}{\sum_{j=1}^{c} u_j^m} \tag{2.5}$$

end for

until algorithm berkumpul pada satu titik

2.4 2 *Cluster* head Selection

Setelah *cluster* dibuat, *node* yang bukan sebagai *head cluster* akan mengirim data ke *base station* melalui *head cluster*. Proses pemilihan *cluster* akan diulang setiap putaran pertukaran data antara *sensor node*. Hanya ada pada tahap pertama, *cluster head* dari masing-masing *cluster* akan dipilih oleh *base station*, kemudian

cluster head akan membuat keputusan untuk pemilihan terhadap *node* mana yang akan menjadi *head cluster* pada putaran berikutnya.

Selama proses transmisi dari *sensor node* menuju ke *cluster head*, energi residual dari masing-masing *node* melekat pada paket data, dari informasi ini akan membantu *cluster head* dalam memilih *node* dengan energi residual tertinggi dan terdekat dengan pusat *cluster* untuk menjadi *cluster head* pada putaran berikutnya. Berdasarkan jumlah *node* yang masih hidup pada *cluster* tersebut, *cluster head* baru akan memberikan tugas untuk TDMA (*Time Division Multi Access*) dalam mengalokasikan waktu ketika anggota pada *cluster* tersebut melakukan proses pengiriman.

2.4.3 Data Transmission

Setelah *cluster head* ditiap-tiap *cluster* terpilih dan transmisi telah diberikan waktu ketentuan, sensor *node* akan mulai mengirimkan data ke tiap-tiap *cluster head*. Kekuatan transmisi *node* yang bukan *cluster head* akan dioptimalkan karena jarak spasial minimum ke *cluster head* yang dicapai oleh algoritma FCM. Kemudian protokol TDMA untuk sistem penjadwalan akan digunakan dan *node* yang bukan *cluster head* hanya perlu mengaktifkan komponen radio tersebut selama proses transmisi dan dapat di non-aktifkan setelah selesai melakukan proses transmisi. Agregasi dan penggabungan data dilakukan pada tiap-tiap *cluster head*, sehingga jumlah informasinya akan berkurang dan kemudian tiap-tiap *cluster head* hanya akan mengirimkan data yang terkompresi kepada *base station*.

2.5 Particle Swarm Optimation

Particle Swarm Optimization (PSO) adalah salah satu algoritma hueristik yang merupakan metode optimisasi berbasis populasi, yang dapat diimplementasikan dan diterapkan dengan mudah untuk menyelesaikan berbagai masalah fungsi optimasi, atau masalah yang dapat ditransformasikan menjadi fungsi optimasi (Izakian & Abraham, 2011). Langkah-langkah Algoritma PSO seperti dijelaskan pada penelitian tersebut adalah sebagai berikut:

Langkah 1 : Melakukan inisialisasi pada kumpulan partikel, termasuk ukuran populasi, posisi awal dan kecepatan partikel.

Langkah 2 : Menghitung *fitness* untuk setiap partikel, simpan setiap posisi terbaik partikel P_{best} dan *fitness*, dan pilih partikel yang memiliki *fitness* terbaik sebagai G_{best}.

Langkah 3: Perbarui kecepatan dan posisi masing-masing partikel sesuai dengan persamaan (2.5) dan (2.6).

$$V_i^{n+1} = V_i^n + c_1 r_1 (P_i - X_i^n) + c_2 r_2 \left(P_g - X_i^n\right) \quad (2.6)$$

$$V_i^{n+1} = X_i^n + V_i^n \quad (2.7)$$

Langkah 4: Menghitung *fitness* pada setiap partikel setelah posisi diperbarui, lalu bandingkan *fitness* pada setiap partikel dengan *fitness* terbaik sebelumnya P_{best}, jika lebih baik, maka atur posisi saat ini sebagai P_{best}.

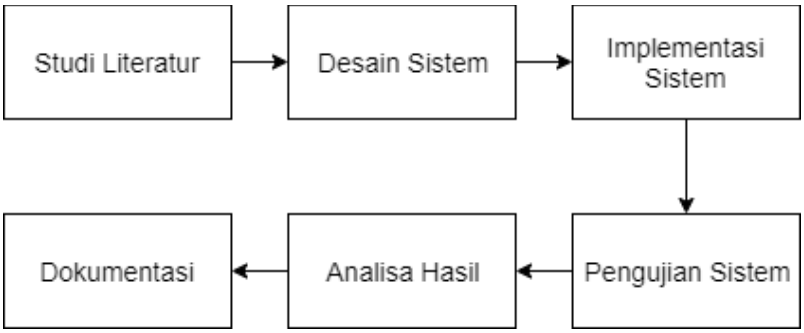
Langkah 5: Bandingkan *fitness* pada setiap partikel dengan kelompok *fitness* terbaik sebelumnya, jika lebih baik dari itu, maka atur posisi saat ini sebagai G_{best}.

Langkah 6: Cari algoritma untuk menentukan apakah hasilnya memenuhi persyaratan yang ditetapkan pada akhir, jika persyaratan tidak terpenuhi, maka kembali ke Langkah 3, jika perasyarat terpenuhi, maka iterasi dihentikan sehingga dihasilkan output solusi optimal.

BAB III
METODE PENELITIAN

3.1 Metodologi penelitian

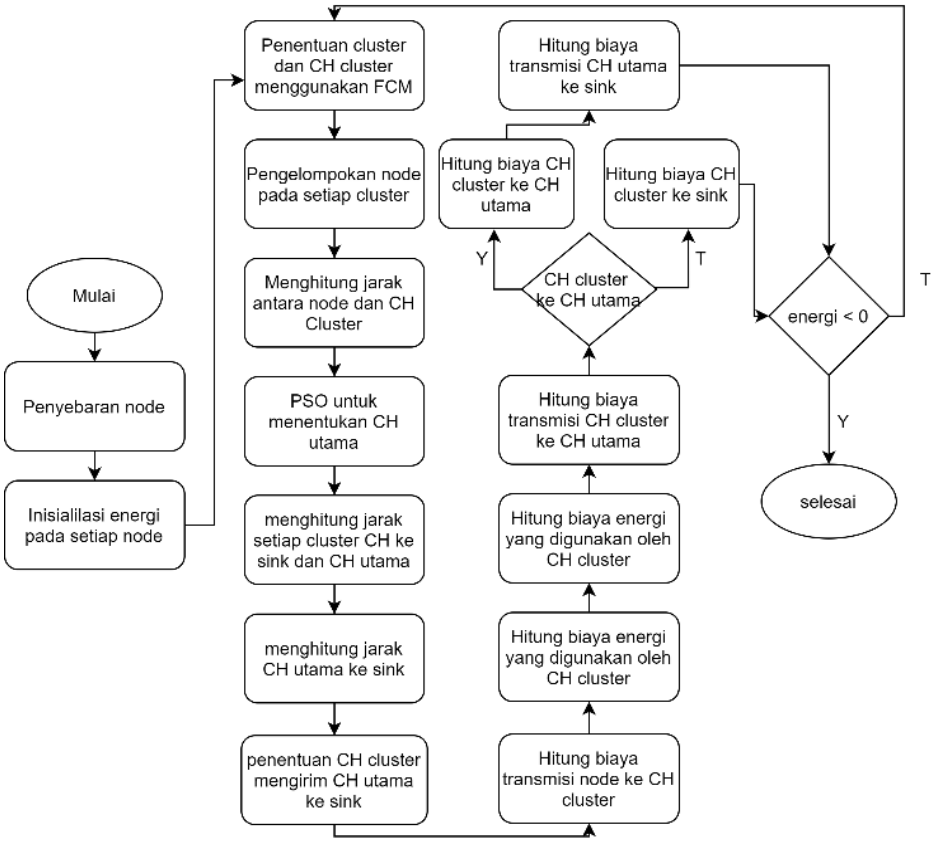
Metodologi penelitian ini disusun untuk mengetahui langkah-langkah yang dilakukan dalam proses penelitian agar dapat mencapai tujuan akhir yang diinginkan. Studi literatur dilakukan untuk mengetahui perkembangan penelitian terkini terkait WSN. Sumber literatur berupa buku, artikel ilmiah, jurnal, dan prosiding konferensi. Dari berbagai sumber literatur tersebut ditemui masalah yang belum terpecahkan sehingga memotivasi peneliti untuk melakukan sebuah penelitian pada masalah tersebut. Langkah selanjutnya yaitu perancangan strategi yang akan digunakan dalam penelitian ini. Perancangan yang dilakukan sesuai dengan masalah yang akan dipecahkan dari penelitian sebelumnya. Strategi yang akan dirancang memiliki kontribusi tersendiri yang belum pernah dilakukan oleh penelitian sebelumnya. Tahapan selanjutnya adalah implementasi strategi yang telah dirancang. Implementasi dilakukan dengan menuangkan strategi yang dirancang menjadi baris-baris kode sehingga menghasilkan program aplikasi WSN yang telah dimodifikasi dengan dengan *Fuzzy c-means*. Setelah implementasi dipastikan selesai, maka dilakukan evaluasi terhadap sistem yang telah dibangun. Evaluasi dilakukan untuk mengetahui seberapa baik sistem bekerja apakah sesuai dengan tujuan atau tidak. Setelah dilakukan evaluasi selanjutnya dilakukan analisis terhadap hasil yang didapat. Analisis dilakukan untuk mengetahui kelebihan dan kekurangan dari strategi yang telah dibangun dan menghasilkan kesimpulan. Semua rangkaian evaluasi, analisa, dan keluaran yang dihasilkan oleh strategi yang dirancang akan ditulis dalam dokumentasi berupa buku tesis. Keseluruhan alur tahapan penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Proses Alur Kerja

3.2 Desain Sistem

Alur tahapan desain sistem untuk melakukan inisialisasi *fuzzy c-means* untuk menentukan *cluster head* pada WSN dapat dilihat pada Gambar 3.2. Secara keseluruhan, tahapan perancangan desain sistem ini dibagi menjadi 3 proses utama.

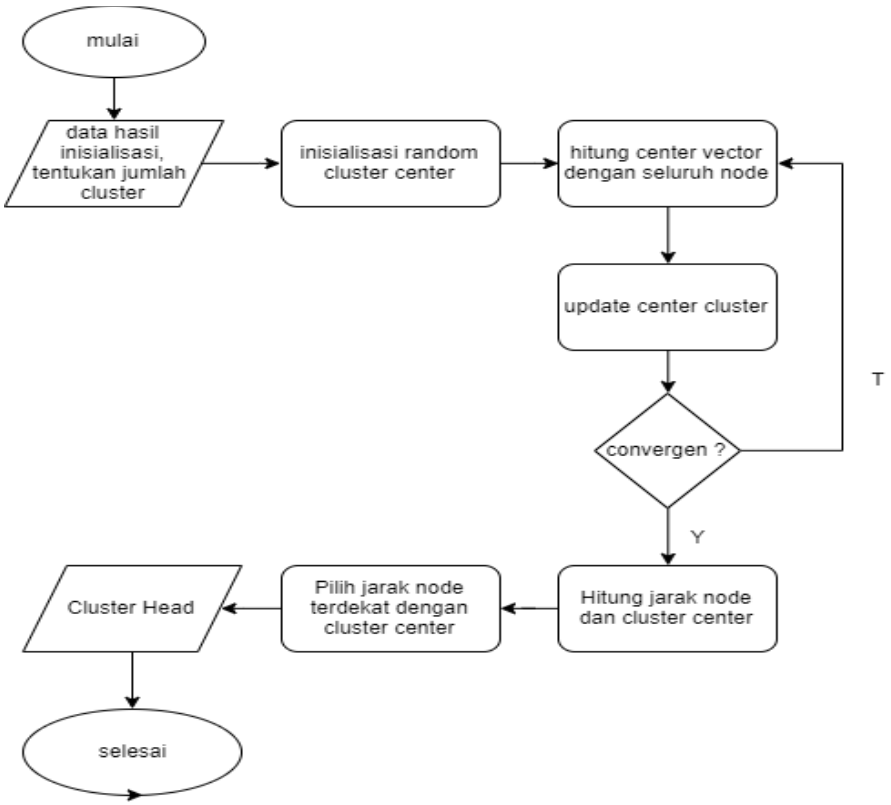


Gambar 3. 2 Alur Desain Sistem

Proses pertama yaitu fase inisialisasi, proses yang kedua yaitu fase *setup*, dan yang ketiga yaitu fase *steady state* . Setiap tahapan akan dibahas secara detail dalam setiap sub-bab sebagai berikut.

3.2.1 Fase Inisialisasi

Fase Inisialisasi merupakan tahapan pertama pada proses ini, dimana dalam fase ini proses inisialisasi awal dalam persebaran *node* dilakukan secara acak (*random*). Dalam lingkungan WSN *node* tersebar secara *random* dalam suatu area, dalam penelitian ini area yang digunakan 100 x 100 meter, dan setiap *node* memiliki jumlah energi yang sama. Proses penentuan posisi *sink* juga akan menjadi hal yang perlu dipertimbangakan, maka dari itu pada fase ini semua parameter seperti biaya transmisi, biaya penerimaan, panjang data, jumlah *cluster*, jarak *node* menuju CH, jarak *node* menuju sink, dan jumlah energi yang dihabiskan akan menjadi perbandingan.



Gambar 3. 3 Alur Proses Inisialisasi Pembentukan *Cluster* pada WSN

3.2.2 Fase Setup

Proses pembentukan *cluster* pada WSN dilakukan pada fase *setup*. Dalam fase *setup* dibagi menjadi 3 tahapan, seperti pada gambar 3.2 yaitu proses seleksi *cluster head*, pengelompokan *node* dengan *cluster head*, dan menghitung jarak *node* ke *cluster head*.

Proses pertama yaitu seleksi *cluster head.* Dalam penelitian ini, proses seleksi *cluster head* menggunakan teknik *clustering fuzzy c-means* dengan mempertimbangkan jarak antar *node* satu dengan yang lainnya, jumlah *cluster*, dan sisa energi masing-masing *node*. Proses penentuan jumlah *cluster* yang paling optimal berdasarkan pada penelitian D.C Hoang (Hoang, Kumar, & Panda, 2010) dengan persamaan 2.4. hasil jumlah *cluster* optimal menjadi inisialisasi jumlah *cluster* pada proses *fuzzy c-means*.

a. *Fuzzy c-means Cluster*ing

Proses *fuzzy c-means* dilakukan sesuai dengan tahapan berikut:

1. Penentuan jumlah *cluster*, proses penentuan jumlah *cluster* didapatkan berdasarkan proses sebelumnya yaitu dengan persamaan 2.4
2. Inisialisasi random *cluster*, proses inisialisasi random dilakukan secara acak oleh sistem. Dengan jumlah inisialisasi pada tahap 1.
3. Menghitung titik pusat inisial random (vector) dengan seluruh node, proses perhitungan vector dilakukan menggunakan persamaan 2.5.
4. Update center *cluster*. Melakukan update perubahan posisi center *cluster* hasil tahap 3.
5. Melakukan pengecekan perubahan titik pusat, jika tidak terjadi perubahan maka lanjut ke langkah 6, namun jika mengalami perubahan maka kembali pada langkah 3.
6. Penentuan keanggotaan *cluster* hasil *fuzzy C*-mean. Proses penentuan dilakukan dengan Menghitung jarak setiap node dan center center.
7. Penentuan *Cluster* Head pada setiap *cluster*. Penentuan *Cluster* head pada setiap *cluster* dilakukan dengan memilih jarak node terdekat dengan *cluster* center.

Gambar 3.3 merupakan alur proses pembentukan *cluster* dengan menggunakan *fuzzy c-means*. Jumlah *cluster* yang akan digunakan pada *fuzzy c-means* sebanyak 4 *cluster*. Seperti pada gambar 3.3, proses *fuzzy c-means* dimulai dengan melakukan inisialisasi *cluster center* sebanyak calon *cluster head* yang memenuhi persyaratan tersebut. Setelah proses inisialisasi selesai maka dilanjutkan dengan menghitung jarak *cluster center fuzzy c-means* dengan seluruh *node*, dengan menggunakan persamaan 3.3

$$Dicn = \sqrt{(ICx - Nx)^2 + (ICy - Ny)^2} \tag{3.3}$$

Keterangan:

Dicn = Jarak inisialisasi *cluster* dan *node*

ICx = Posisi inisialisasi *cluster* pada sumbu X

ICy = Posisi inisialisasi *cluster* pada sumbu Y

Nx = Posisi *node* A pada sumbu X

Ny = Posisi *node* A pada sumbu Y

Setelah mendapatkan jarak antara *cluster center* dengan seluruh *node*, maka akan dipilih *node* yang memiliki jarak terdekat dan dianggap sebagai *cluster* baru. Proses pembetukan *cluster* (*Cj*) menggunakan persamaaan 3.4. Proses selanjutnya, setelah mendapatkan *cluster* baru maka akan ditentukan *cluster* center terbaru dari *fuzzy c-means*. Proses pembentukan *cluster center (IC)* menggunkan persamaan 3.5. Proses pembentukan *cluster* baru dan *cluster center* dilakukan secara berulang-ulang sampai bernilai konvergen. Penentuan nilai konvergen sesuai dengan persamaan 3.6.

$$Cj = \frac{\sum_{i=1}^{n} IC_{(i,j)}^{m} * N}{\sum_{i=1}^{n} IC_{(i,j)}^{m}} \tag{3.4}$$

$$IC_{(i,j)} = \frac{1}{\sum_{k=1}^{c} \left[\frac{\left\| N_{(i)} - C_j \right\|}{\left\| N_{(i)} - C_k \right\|} \right]^{\frac{2}{m-1}}} \tag{3.5}$$

$$if \ \left\| IC^{(k+1} - IC^{(k)} \right\| < \in \ than \ stop \tag{3.6}$$

Setelah *fuzzy c-means* bernilai konvergen maka didapatkan *cluster center* yang optimal. Proses selanjutnya yaitu menentukan *cluster head*. Penentuan *cluster head* dipilih dengan menghitung jarak *node* dengan *cluster center* hasil *fuzzy c-means* untuk mendapatkan *node* yang terdekat dari titik *cluster center* tersebut, dimana titik *cluster center* terdekat merupakan *node* yang memiliki jarak paling kecil.

Proses kedua yang dilakukan setelah mendapatkan *cluster head* yaitu menentukan jumlah *cluster* pada lingkungan *cluster head* itu sendiri. Proses pengelompokan *node* tersebut dengan menghitung jarak terdekat dari setiap *cluster head*. Proses pembentukan *cluster* berdasarkan *cluster head* menggunakan persamaan 3.7. Proses ketiga setelah mendapatkan *cluster* dari *cluster head* yaitu menghitung jarak *node* menuju setiap *cluster head*nya masing-masing. Proses perhitungan jarak *node* menuju setiap *cluster head* menggunakan persamaan 3.8.

$$C_{new} = \frac{\sum_{i=1}^{n} CH_{(i,j)}^{m} * N}{\sum_{i=1}^{n} CH_{(i,j)}^{m}} \tag{3.7}$$

$$Dch = \sqrt{(CHx - NC_{new})^2 + (CHy - NC_{new})^2} \tag{3.8}$$

Keterangan

Cnew = *Cluster* baru berdasarkan custer head

Dch = Jarak *cluster head* terhadap *node* pada Cnew

NCnew = *Node* pada Cnew

CHx = *Cluster head* pada sumbu X

CHy = *Cluster head* pada sumbu Y

b. Particle Swarn Optimation untuk penentuan CH utama

Proses penentuan *cluster* head utama sesuai dengan Gambar 3.2 dilakukan dengan metode particle swarn optimation. Proses penentuan CH utama dilakukan sesuai dengan langkah-langkah pada sub bab 2.5. PSO memilih salah satu dari seluruh CH *cluster*. Hasil dari PSO merupakan CH utama yang akan mengirimkan paket data dari CH yang jauh dari sink.

3.2.3 Fase Steady State

Fase *steady state* merupakan fase untuk melakukan transmisi atau pengiriman paket data ke CH dan *sink*, selain itu pada fase ini juga untuk melakukan perhitungan biaya transmisi dan biaya penerimaan oleh *sink*. Pada fase ini jarak masing-masing *node* yang menuju *cluster head* dihitung menggunakan rumus Euclidian Distance antara *node* A(x,y) dan *node* CH (x,y). dapat dihitung dengan persamaan 3.9.

$$\mathrm{Dtch} = \sqrt{(\mathrm{A_x} - \mathrm{CH_x})^2 + (\mathrm{A_y} - \mathrm{CH_y})^2} \tag{3.9}$$

Keterangan:

Dtch = Jarak *node* menuju CH

Ax = Posisi *node* A pada sumbu X

Ay = Posisi *node* A pada sumbu Y

CHX = Posisi CH pada sumbu X

CHY = Posisi CH pada sumbu Y

Proses selanjutnya, setiap *node* dalam *cluster* melakukan pengiriman data dari anggota *node* menuju *cluster head*. *Cluster head* bertanggung jawab untuk mengirimkan data kepada sink. Proses pengiriman data oleh *cluster head* dihitung berdasarkan jarak dari *cluster head* menuju sink dengan menggunkan euqlidian distance antara *cluster head* (x,y) dan sink (x,y). Persamaan 3.10 merupakan euqlidian distance untuk *cluster head* terhadap sink.

$$\mathrm{Dts} = \sqrt{(\mathrm{A_x} - \mathrm{SinkX})^2 + (\mathrm{A_y} - \mathrm{SinkY})^2} \tag{3.10}$$

Keterangan:

Dts = Jarak *node* menuju Sink

$\mathrm{A_x}$ = Posisi *node* A pada sumbu X

$\mathrm{A_y}$ = Posisi *node* A pada sumbu Y

SinkX = Posisi sink pada sumbu X

SinkY = Posisi sink pada sumbu Y

3.3 Model Jaringan

Dalam penelitian ini digunakan beberapa asumsi dalam model jaringan WSN. Adapun asumsi model jaringan WSN yang digunakan adalah sebagai berikut:

- Sensor *node* dengan base statition berada dalam kondisi standby setelah disebar didalam area.
- Jaringan bersifat homogen dan semua sensor *node* memiliki jumlah energi yang sama.
- Setiap sensor *node* mengetahui posisi koordinatnya *node* tetangga.
- Semua *node* dapat menghitung paramater yang telah ditentukan pada area tersebut dan mengirim secara berkala kepada *node* penerima.
- Sinyal radio mempunyai energi yang sama seperti saat mengirimkan data transmisi dari *node* A ke *node* B, sama halnya proses pengiriman data dari *node* B menuju *node* A. setiap sensor dapat beroperasi dalam sensing mode untuk memantau parameter pada area tersebut dan mengirimkan *cluster* head untuk mengumpulkan data dan meneruskan pengiriman data kepada base station
- Sink bersifat statis

3.4 Radio Energi Model

Radio dan model energi yang digunakan pada penelitian ini pada setiap transmisinya akan dihitung menggunakan persamaan yang sama dengan Heinzelman dkk (W. R. Heinzelman et al., 2000). Menurut jarak antara *transmitter* dan *receiver*, konsumsi energi akan diukur dengan *dissipation model* radio. Dan sesuai dengan jarak dari target, *free space* dan *multi-path fading model* dapat digunakan. Konsumsi energi dari *node* pengirim termasuk konsumsi energi dari sirkuit pengirim dan penguatan daya.

Oleh karena itu, untuk mengirimkan pesan k bit pada jarak d, konsumsi energi dapat dirumuskan pada persamaan 3.11.

$$E_{tx}(k,d) = E_{Tx-elec}(k) + T_{Tx-amp}(k,d) = \begin{cases} E_{elec} * k + \varepsilon_{fs} * k * d^2, d \leq d_0 \\ E_{elec} * k + \varepsilon_{mp} * d^4, d > d_0 \end{cases} \quad (3.11)$$

Dimana $E_{Tx-elec}$, T_{Tx-amp} adalah konsumsi energi dengan menerima dan mengirimkan pesan dari setiap *node*. $\varepsilon_{fs}, \varepsilon_{mp}$ adalah konsumsi daya *free space propagation* dan konsumsi daya *multipath propagation*. E_{elec} adalah energi/bit yang dikonsumsi oleh pemancar atau penerima elektronik. d_0 adalah nilai *treshold*. Jika jarak transmisi kurang dari ambang batas d_0, maka *free space model* diterapkan, namun jika tidak kami menggunakan model *multipath.* Nilai *threshold* d_o dapat dihitung menggunakan persamaan 3.12.

$$d_o = \sqrt{E_{fs}/E_{mp}} \quad (3.12)$$

Sedangkan pada perangkat penerima, untuk menghitung k-bit *packet data unit* yang diterima pada saat digunakan dapat menggunakan rumus pada persamaan 3.13.

$$E_{Rx}(k) = E_{Rx-elec}(k) = E_{elec} * k \quad (3.13)$$

Dimana $E_{Rx}(k)$ merupakan energi yang dibutuhkan oleh penerima untuk menerima sejumlah bit *packet data unit* setiap data k-bit. Sedangkan E_{elec} merupakan energi yang dihabiskan untuk mengoperasikan sirkuit *transceiver*

3.5 Implementasi

Implementasi penelitian ini akan menggunakan bahasa pemrograman pada MATLAB. Adapun spesifikasi personal komputer yang digunakan adalah sebagai berikut.

Tabel 3. 1 Spesifikasi Komputer Pengujian

Processor	AMD Rayzen 5 2200G
RAM	16 GB
SSD	240 GB
System Operasi	Windows 10 Pro

3.6 Pengujian

Proses pengujian algoritma akan dilakukan menggunakan simulasi WSN dengan menggunakan bahasa pemrograman MATLAB. Pengujian ini akan membandingkan protokol *clustering* untuk *data gathering* dengan *fuzzy c-means* atau protokol lain dengan usulan *fuzzy c-means* yang telah dioptimasi. Parameter yang dibandingkan yaitu *network lifetime, operational node per transmition, total consumption energy,* dan *average consumption energy per transmition* Seperti yang telah dilakukan pada penelitian sebelumnya oleh Asgarali Bouyer dkk (Bouyer, Hatamlou, & Masdari, 2015b), sebagai acuan, parameter uji coba dapat dilihat pada table 3.2.

Tabel 3. 2 Parameter Uji Coba

Parameter	Kapasitas
Luas Area Simulasi	100 m X 100 m dan 200 m X 200 m
Jumlah *Node*	100 *node* dan 200 *node*
Eo	2 *Joule*
Eelec	50 * 10 ^ (-9) *joule/byte*
ETx	50 * 10 ^ (-9) *joule/byte*
Erx	50 * 10 ^ (-9) *joule/byte*
Eamp	100 * 10 ^ (-9) *joule*
EDA	5 * 10 ^ (-9) *joule*
Paket data	4000 *byte*
P	0.1
Posisi Sink	50-50, 50-100, 50-150, 100-100, 100-200, 100,250
Parameter	Nilai
Area Simulasi	100*100 dan 200*200
Jumlah *node*	100 dan 200
Initial Energy (E_{init})	0,5 J

Electronic circuit energy (E_{elec})	50 nJ/bit
Sink	50*100
Jumlah *Cluster*	Sesuai hasil *cluster* optimal

Uji coba yang akan digunakan pada penelitian ini untuk mengetahui kinerja dari protokol untuk semua skenario pengujian akan diterapkan dalam beberapa ujicoba, yaitu dengan ketentuan berdasarkan jumlah *node* yaitu sebanyak 100 node dan 200 node, luas area 100 m x 100 m dan 200 m x 200 m, dan posisi sink 50-50, 50-100, 50-150, 100-100, 100-200, dan 100,250. Pengujian dilakukan dengan membandingkan protokol *clustering* untuk *data gathering* dengan *fuzzy c-means* atau protokol lain dengan usulan *fuzzy c-means* yang telah dioptimasi. Sebagai pembanding dari hasil uji coba pada peneitian ini dan juga menggunakan penelitian dari Wendi B. Heinzelman dkk (W. B. Heinzelman et al., 2002) agar diketahui hasil dari masing-masing protokol.

3.7 Analisa Hasil

Proses analisa hasil dilakukan dengan menganalisa secara mendalam pada *network lifetime, operational node per transmition, total consumption energy,* dan *average consumption energy per transmition.* Analisa dilakukan berdasarkan perbandingan hasil pengujian sesuai dengan semua skenario pengujian.

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB IV
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini berisi penjelasan mengenai uji coba dan evaluasi penelitian yang telah dilakukan. Bagian ini akan dibagi menjadi tiga bagian, yaitu implementasi metode penelitian, skenario uji coba, dan Analisa uji coba.

4.1 Implementasi Metode

Pada bagian ini akan dilakukan tahapan implementasi metode dengan menggunakan bahasa pemrograman Matlab. Langkah-langkah untuk implementasi metode akan dijelaskan sebagai berikut.

1. Tahap pertama adalah melakukan perancangan pada protokol wireless sensor network dengan mengembangkan proses inisialisasi *cluster* head dengan menggunakan *fuzzy c-means cluster*ing dan optimasi data gathering menggunakan teknik multi hop.
2. Tahap kedua adalah melakukan perancangan skenario pengujian yang akan dilakukan untuk menguji protokol dengan metode yang diusulkan sebagaimana pada tahap pertama dengan protokol LEACH. Skenario yang dilakukan meliputi variasi jumlah *node*, luas area, dan posisi *sink*. Pada tahapan ini akan dihasilkan parameter yang akan digunakan pada tahap ketiga untuk pengujian protokol yang telah dirancang.
3. Tahap ketiga adalah melakukan pengujian terhadap protokol dengan metode yang telah diusulkan dan akan dibandingan dengan protokol LEACH dengan beberapa parameter yang telah dirancang sebelumnya. Pada tahap ketiga ini akan dihasilkan data hasil pengujian berupa grafik
4. Tahap keempat adalah tahapan akhir yang mana akan dilakukan analisa dari hasil pengujian terkait protokol dengan metode usulan dengan protokol LEACH yang diperoleh dari tahapan ketiga. Data hasil pengujian tersebut akan disajikan dalam bentuk tabel dan grafik dan akan dianalisa sesuai dengan skenario yang dirancang sebelumnya. Tahapan ini dilakukan untuk mengetahui seberapa baik kinerja protokol dengan metode yang telah diusulkan dan memastikan bahwa

ujicoba yang dilakukan tidak terjadi kesalahan sehingga pada hasil ujicoba akan didapatkan data perbandingan yang akurat. Semua tahapan yangtelah dijelaskan diatasakan diimplementasikan dengan menggunakan bahasa pemrograman matlab.

4.2 Modifikasi pada Metode Usulan

Fase Setup

1 Setiap *node* hitung dihitung pe*round* berjalan
2 Hitung jumlah *Cluster* Optimal
3 Proses *Fuzzy c-means* untuk penentuan *cluster*
4 Proses penentuan calon CH pada *cluster* hasil *Fuzzy c-means*
5 Penentuan CH *cluster* berdasarkan kriteria
6 Proses Particle Swarm Optimization penentuan CH utama
7 Proses menghitung jarak setiap *cluster* CH ke sink dan CH utama
8 Proses menghitung jarak CH utama ke sink
9 Proses penentuan CH *cluster* mengirim ke CH utama atau sink

Fase Steady State

10 Untuk setiap *node* yang amsih hidup, hitung per *round*
11 //Hitung biaya transmisi *node* ke CH *cluster*

$$ET_x = Eelec * b * Dchc$$

12 // Hitung biaya transmisi CH *cluster* ke CH utama

$$ET_x = Eelec * b * Dchu$$

13 //Hitung biaya energi yang digunakan selama proses penerimaan oleh CH *cluster*

$$ER_x = (Eelec + EDA) * b$$

14 //Hitung biaya energi yang digunakan selama proses penerimaan oleh CH utama

$$ER_x = 2 * ((Eelec + EDA) * b)$$

15 //Jika CH *cluster* langsung ke sink, maka hitung biaya transmisi CH *cluster* ke sink

$$ET_x = (Eelec + EDA) * b + Eamp * b * Dchs^2$$

16 //Hitung biaya transmisi CH utama ke sink

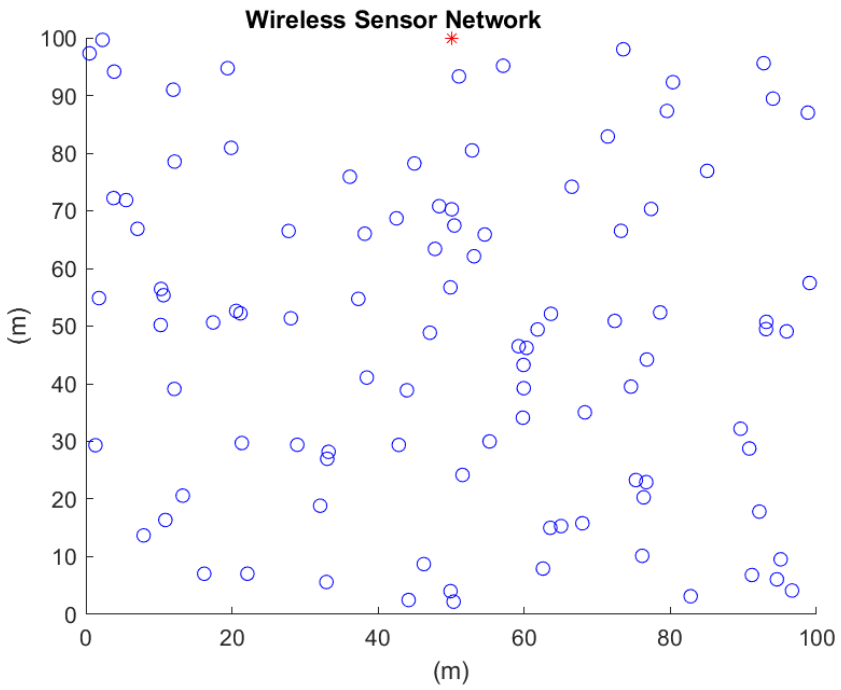
$$ET_x = (Eelec + EDA) * b + Eamp * b * Dcus^2$$

17 //menampilkan CH pada *round* berjalan
18 //menghitung semua *node* mati dari awal sampai akhir *round*

4.3 Tahapan Uji Coba Metode

Proses pengujian dilakukan untuk mengetahui kinerja dari protokol usulan yaitu inisialisasi *cluster* head dengan menggunakan *fuzzy c-means cluster*ing dan optimasi data gathering menggunakan teknik multi hop. Ujicoba ini dilakukan dengan beberapa parameter yang telah ditentukan, seperti jumlah *node*, luas area, dan posisi *sink*. Pengujian yang dilakukan bertujuan untuk mengetahui kinerja protokol usulan dengan protokol LEACH sehingga dapat diketahui perbandingan kinerja dari masing-masing protokol yang telah dilakukan ujicoba sesuai dengan skenario yang telah dijalaskan sebelumnya.

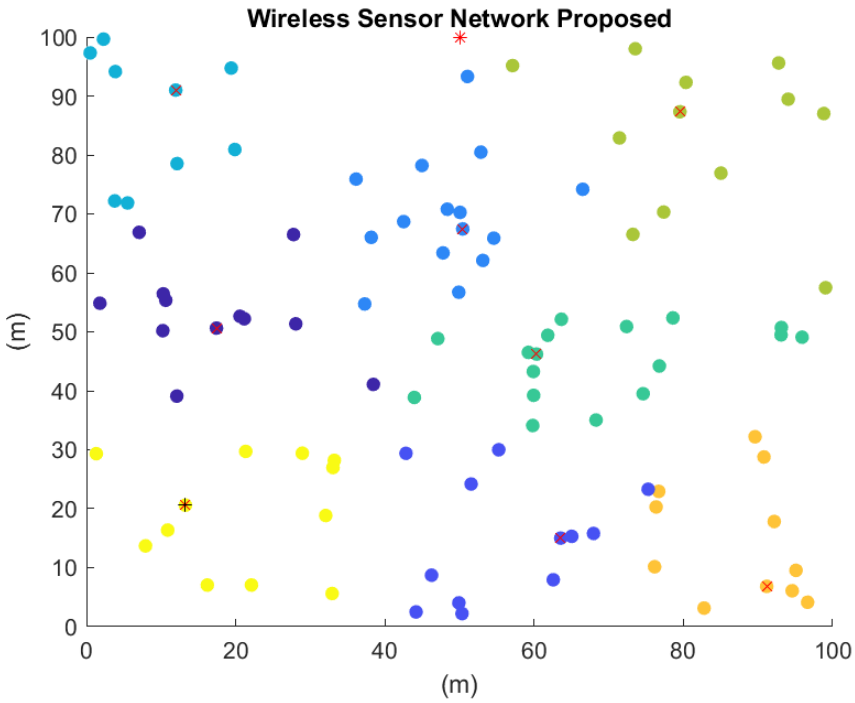
Tahapan pengujian dalam penelitian ini adalah dengan membuat beberapa skenario pengujian dengan menentukan parameter dari masing-masing skenario pengujian dan menganalisa dari hasil pengujian yang telah dilakukan.



Gambar 4. 1 Hasil contoh persebaran node

Pada gambar 4.1 merupakan contoh hasil persebaran node sebelum dilakukan proses FCM. Persebaran node yang dilakukan dalam pengujian ini diperlakukan sama antara protokol LEACH dengan protokol usulan. Persebaran

node secara random ini menyebabkan adanya node yang saling berdekatan bahkan bertumpukan satu dengan yang lain. Jika menggunakan *cluster* biasa kondisi seperti itu akan dianggap menajadi satu *cluster*. Berbeda dengan menggunakan *fuzzy c-means*, kondisi seperti itu akan diperhitungkan lagi sesuai dengan aturan fuzzy, sehingga akan menghasilkan seperti pada Gambar 4.2.



Gambar 4. 2 Hasil Fuzzy C-means

Gambar 4.2 merupakan hasil dari proses *fuzzy c-means*, jumlah *cluster* optimalnya sebanyak 8 *cluster*. Pembeda antara *cluster* divisualisasikan dengan perbedaan warna, terlihat ada node yang bertumpuk namun berbeda *cluster*.

4.3.1 Skenario Pengujian

Uji coba yang akan digunakan pada penelitian ini berfungsi untuk mengetahui kinerja dari protokol dengan metode yang telah diusulkan dan akan dibandingkan dengan protokol LEACH, sesuai dengan yang telah dibahas pada bab 3 sebelumnya. Adapun skenario yang dilakukan meliputi variasi parameter jumlah *node*, luas area, dan posisi sink. Pengujian dilakukan untuk mengetahui bahwa

protokol dengan metode yang diusulkan dapat meningkatkan kinerja protokol tersebut khususnya dalam hal efisiensi energi pada lingkungan wireless sensor network. Skenario pengujian dibuat menggunakan bahasa promrograman Matlab.

a. Skenario Uji Coba 1

Skenario 1 dilakukan pengujian dengan membandingkan protokol dengan metode usulan dengan protokol LEACH dengan kombinasi *node* 100 *node* dan 200 *node* dan luas area 100 m X 100 m, serta dengan posisi sink berada pada titik 50,100. Dengan beberapa parameter pengujian seperti *network lifetime, operational node per transmition, total consumption energy,* dan *average consumption energy per transmition.*

b. Skenario Uji Coba 2

Skenario 2 dilakukan pengujian dengan membandingkan protokol dengan metode usulan dengan protokol LEACH dengan kombinasi *node* 100 *node* dan 200 *node* dan luas area 100 m X 100 m, serta dengan posisi sink berada pada titik 50,50 Dengan beberapa parameter pengujian seperti *network lifetime, operational node per transmition, total consumption energy,* dan *average consumption energy per transmition.*

c. Skenario Uji Coba 3

Skenario 3 dilakukan pengujian dengan membandingkan protokol dengan metode usulan dengan protokol LEACH dengan kombinasi *node* 100 *node* dan 200 *node* dan luas area 100 m X 100 m, serta dengan posisi sink berada pada titik 50,150. Dengan beberapa parameter pengujian seperti *network lifetime, operational node per transmition, total consumption energy,* dan *average consumption energy per transmition.*

d. Skenario Uji Coba 4

Skenario 4 dilakukan pengujian dengan membandingkan protokol dengan metode usulan dengan protokol LEACH dengan kombinasi *node* 100 *node* dan 200 *node* dan luas area 200 m X 200 m, serta dengan posisi sink berada pada titik 100,200. Dengan beberapa parameter pengujian seperti *network lifetime,*

operational node per transmition, total consumption energy, dan *average consumption energy per transmition.*

e. Skenario Uji Coba 5

Skenario 5 dilakukan pengujian dengan membandingkan protokol dengan metode usulan dengan protokol LEACH dengan kombinasi *node* 100 *node* dan 200 *node* dan luas area 200 m X 200 m, serta dengan posisi sink berada pada titik 100,100. Dengan beberapa parameter pengujian seperti *network lifetime, operational node per transmition, total consumption energy,* dan *average consumption energy per transmition.*

f. Skenario Uji Coba 6

Skenario 6 dilakukan pengujian dengan membandingkan protokol dengan metode usulan dengan protokol LEACH dengan kombinasi *node* 100 *node* dan 200 *node* dan luas area 200 m X 200 m, serta dengan posisi sink berada pada titik 100,250. Dengan beberapa parameter pengujian seperti *network lifetime, operational node per transmition, total consumption energy,* dan *average consumption energy per transmition.*

4.3.2 Parameter Pengujian dan Eksekusi Program

Parameter pengujian digunakan untuk mengimplementasikan skenario yang sudah dirancang sebelumnya, parameter ini berfungsi sebagai acuan nilai untuk setiap variable agar pengujian dapat berjalan dengan baik. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada table 4.1

Tabel 4. 2 Tabel Parameter Pengujian

Parameter	Kapasitas
Luas Area Simulasi	100 m X 100 m dan 200 m X 200 m
Jumlah *Node*	100 *node* dan 200 *node*
Eo	2 *Joule*
Eelec	50 * 10 ^ (-9) *joule/byte*
ETx	50 * 10 ^ (-9) *joule/byte*
Erx	50 * 10 ^ (-9) *joule/byte*
Eamp	100 * 10 ^ (-9) *joule*
EDA	5 * 10 ^ (-9) *joule*
Paket data	4000 *byte*
P	0.1
Posisi Sink	50-50, 50-100, 50-150, 100-100, 100-200, 100,250

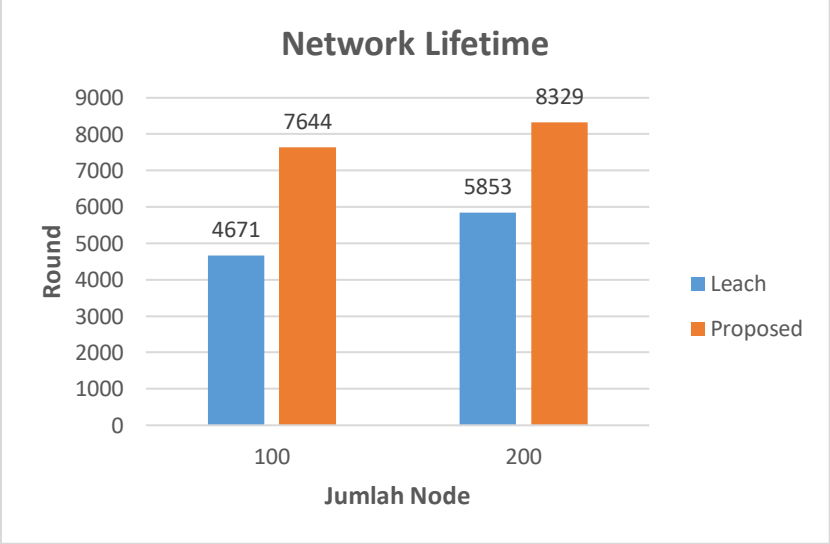
4.4 Hasil dan Analisa

Hasil pengujian ini didapatkan dengan cara melakukan analisa terhadap hasil uji coba antara protokol LEACH dan protokol dengan metode usulan yang telah dilakukan sesuai pada skenario yang telah ditentukan pada sub bab sebelumnya.

4.4.1 Analisa Skenario 1

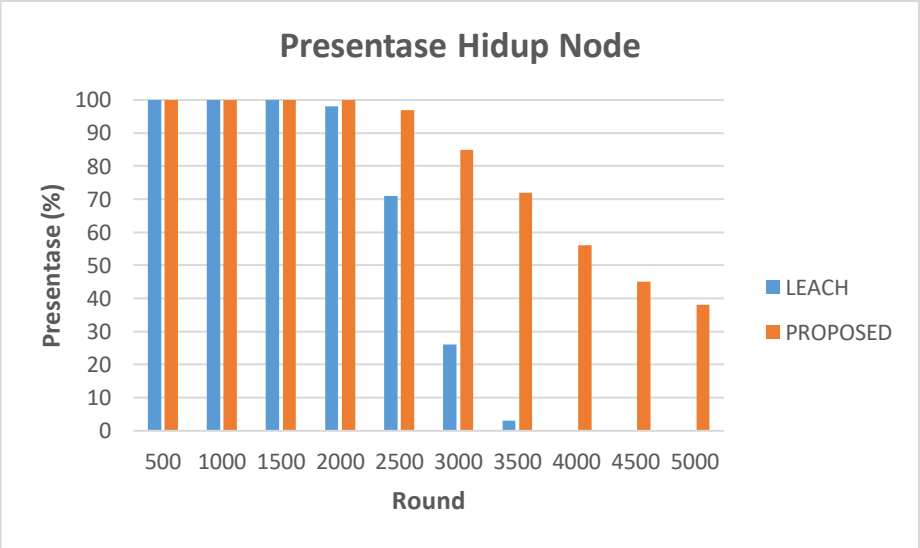
Pengujian pada skenario 1 dilakukan dengan membandingkan antara protokol dengan metode usulan dan protokol LEACH dengan kombinasi *node* 100 *node* dan 200 *node* dan luas area 100 m X 100 m, serta dengan posisi sink berada pada titik 50,100. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan beberapa parameter, seperti *network lifetime, operational node per transmition, total consumption energy,* dan *average consumption energy per transmition.* Beberapa pengujian yang telah dilakukan pada setiap skenario, maka didapatkan suatu analisa hasil pengujian sebegai berikut:

Network liftetime merupakan rentang waktu sejak dimulainya transmisi data yang pertama sampai *node* terakhir mati. Pada Gambar 4.3 merupakan hasil uji coba skenario 1 terkait *Network liftetime*, protokol dengan metode usulan memiliki rentang waktu yang tinggi pada 100 *node* dengan rentang waktu mencapai 7644, sedangkan pada protokol LEACH hanya mencapai 4671. Begitu juga pada jumlah *node* yang lebih banyak yaitu 200 *node*, protokol dengan metode usulan memiliki rentang waktu mencapai 8329 sedangkan protokol LEACH hanya mencapai 5853.



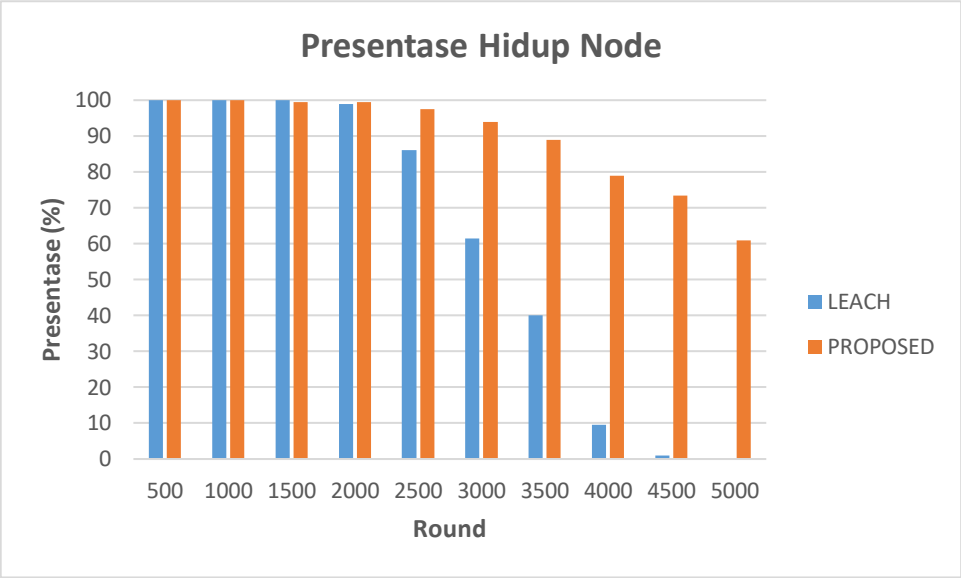
Gambar 4. 3 *Network Liftetime* pada skenario 1

Pengujian selanjutnya yaitu presentase *node* hidup antara protokol dengan metode usulan dan protokol LEACH, pada pengujian ini dilakukan dengan jumlah *node* sebanyak 100 *node* dan 200 *node*. Pada protokol dengan metode usulan tingkat presentasi hidup *node* mencapai 38% pada *round* 5000, sedangkan pada protokol LEACH pada *round* tersebut semua *node* sudah mati. Pada *round* 500 sampai dengan 1000 kedua protokol tersebut masih memiliki tingkat hidup yang sama yaitu 100%, kemudian pada *round* 2000 dan 2500, dengan metode usulan mengalami perubahan yaitu 100% dan 97%, sedangkan pada protokol LEACH 98% dan 71%, seperti pada hasil uji coba pada Gambar 4.4.



Gambar 4. 4 Presentasse hidup *node* (*node* 100) pada skenario 1

Pengujian pada *node* 200, protokol dengan metode usulan memeliki presentase hidup *node* 61% pada *round* 5000, sedangkan pada protokol LEACH hanya mampu bertahan pada 4500 *round* dengan presentase hidup hanya 1%, seperti hasil uji coba pada Gambar 4.5.

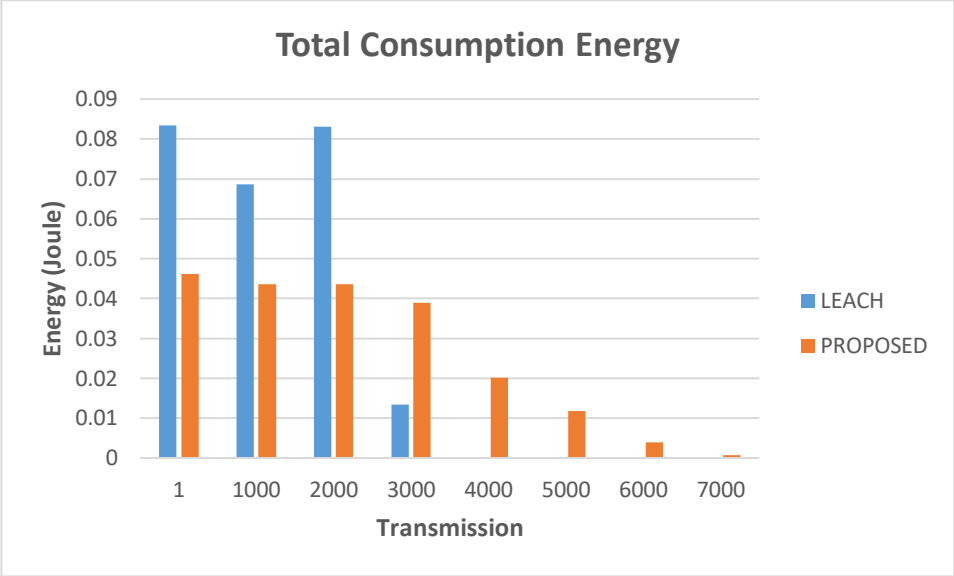


Gambar 4. 5 Presentase hidup *node* (200 *node*) pada skenario 1

Pada *round* 500 sampai 1000 kedua protokol masih pada tingkat hidup *node* yang sama yaitu 100%, protokol dengan metode usulan mengalamai penurunan presentasi hidup *node* terlihat ketika mencapai *round* 2500 sampai dengan 3500, yaitu masing 97,5%, 94%, 89% dan protokol LEACH juga mengalami penurunan masing-masing 86%, 61,5%, 40%.

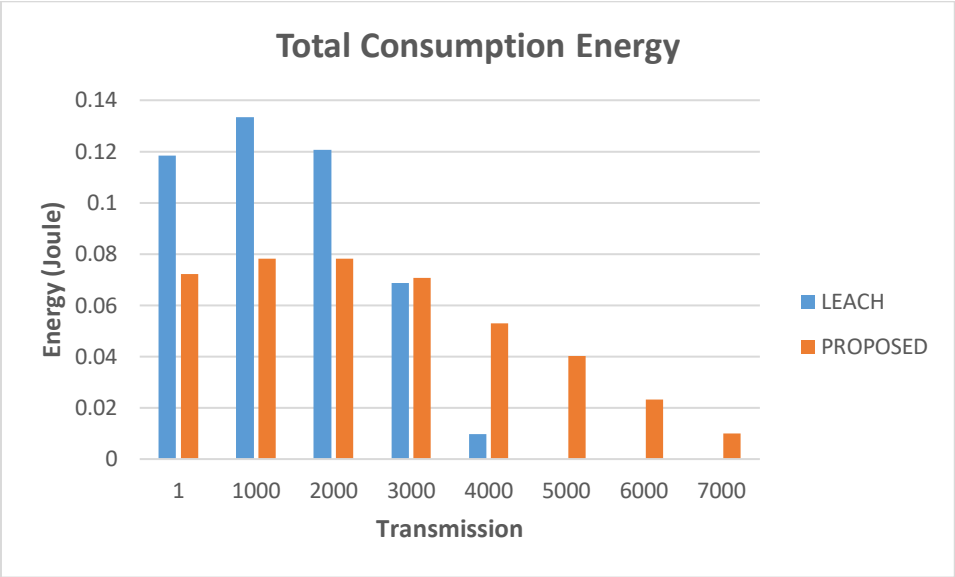
Pengujian selanjutnya pada skenario 1 adalah total *consumption energy* atau energi yang digunakan *node* ketika melakukan transmisi data. Pengujian pertama dengan total *node* sebanyak 100 *node*. Pada transmisi pertama, protokol dengan metode usulan menggunakan energi yang sebesar 0.04 *joule* sedangkan pada protokol LEACH menggunakan energi yang lebih besar yaitu 0.08 *joule*, begitu juga transmisi selanjutnya protokol dengan metode usulan memiliki konsumsi yang lebih rendah juga dibandingkan protokol LEACH. Namun pada transmisi ke 3000 protokol dengan metode usulan memiliki konsumsi energi yang lebih tinggi dikarenakan pada *round* ini masih mencapai sebagian dari total transmisi yang berlangsung, sedangkan pada protokol LEACH transmisinya sudah mulai berakhir

karena *node* sudah mulai kehabisan energi. Untuk lebih jelasnya hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 4.6.



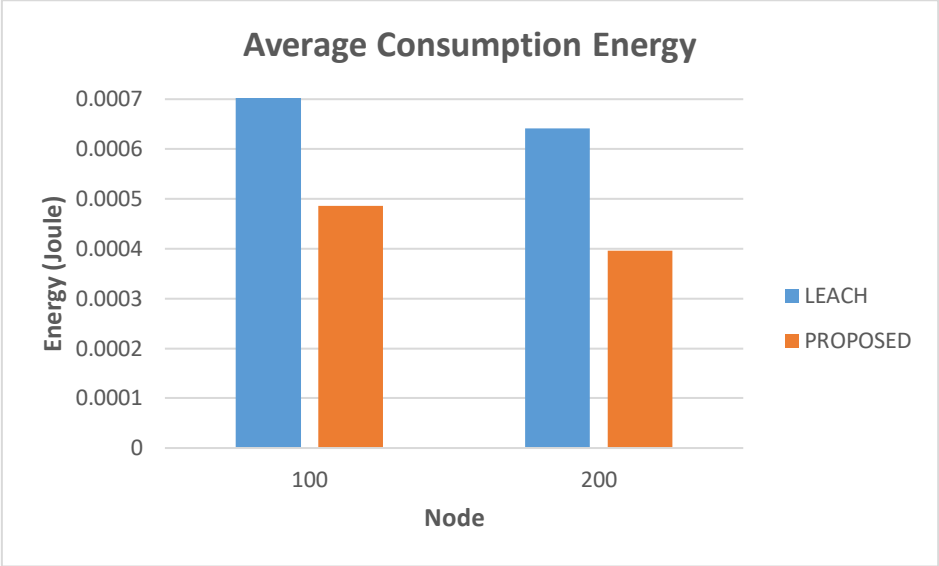
Gambar 4. 6 Total Consumption Energy 100 *node* pada skenario 1

Sedangkan pada jumlah *node* yang lebih besar yaitu 200 *node*, perbandingan *consumption energy* antara protokol dengan metode usulan dan protokol LEACH juga memiliki hasil dimana protokol dengan metode usulan memiliki konsumsi energi yang lebih kecil dari pada protokol LEACH. Hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 4.7.



Gambar 4. 7 Total Consumption Energy 200 *node* pada skenario 1

Average consumption energy per transmition adalah rata-rata energi yang digunakan setip *node* per *round* pada simulasi dari *node* tersebut digunakan sampai *node* mati. Berdasarkan pengujian diatas protokol dengan metode usulan mempunya rata-rata konsumsi yang lebih sedikit dari pada protokol LEACH. Pada pengujian 100 node, protokol dengan metode usulan memiliki rata-rata energi 0.000486 *joule* sedangkan protokol LEACH memiliki rata-rata energi 0.000747 *joule*. Pada jumlah node yang lebih besar yaitu 200 node, protokol dengan metode usulan juga mempunya rata-rata konsumsi yang lebih sedikit dari pada protokol LEACH, yaitu 0.000395 *joule* untuk protokol dengan metode usulan dan 0.000641 *joule* untuk protokol LEACH. Untuk lebih jelasnya hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 4.8.

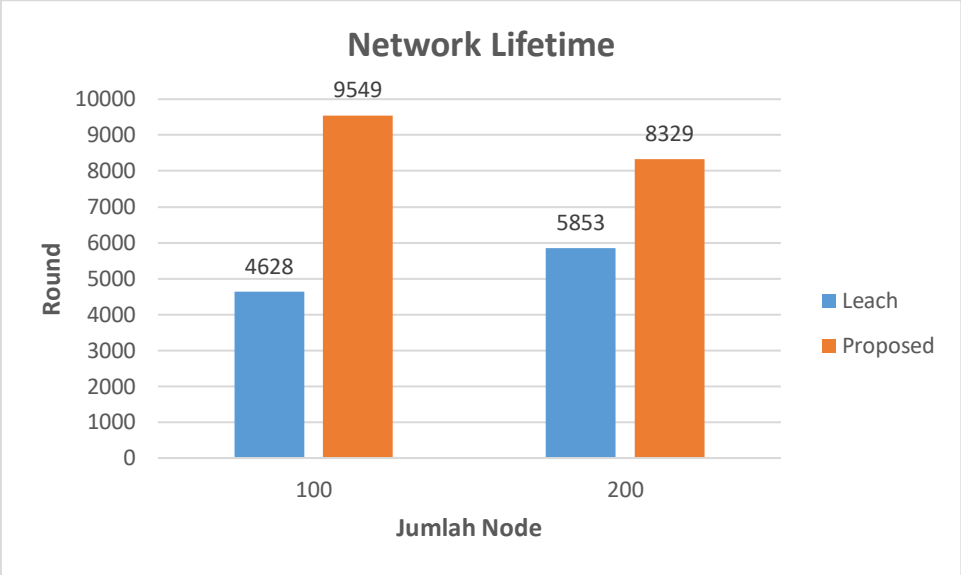


Gambar 4. 8 Rata-rata *consumption energy* pada skenario 1

4.4.2 Analisa Skenario 2

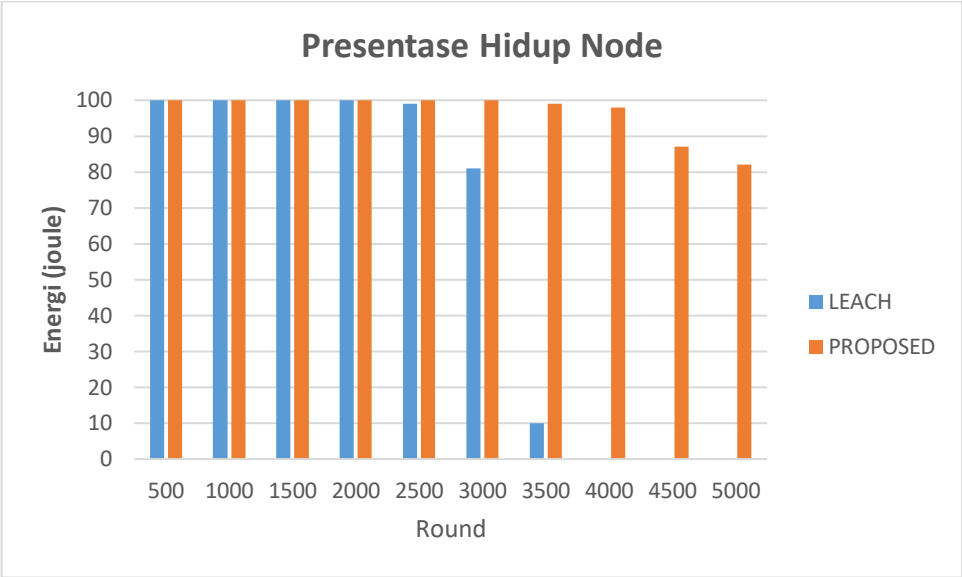
Pengujian pada skenario 2 dilakukan dengan membandingkan antara protokol dengan metode usulan dan protokol LEACH dengan kombinasi *node* 100 *node* dan 200 *node* dan luas area 100 m X 100 m, serta dengan posisi sink berada pada titik 50,50. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan beberapa parameter, seperti *network lifetime, operational node per transmition, total consumption energy*, dan *average consumption energy per transmition.* Beberapa pengujian yang telah dilakukan pada setiap skenario, maka didapatkan suatu analisa hasil pengujian sebegai berikut:

Network lifetime pada skenario 2, kombinasi jumlah node yaitu 100 node dan 200 node. Pada jumlah kepdadatan 100 node protokol dengan metode usulan memiliki rentang waktu tertinggi yaitu 9549 sedangkan pada protokol LEACH rentang waktu tertinggi hanya mencapai 4628. Begitu juga pada kepadatan node yang lebih tinggi yaitu 200 node, protokol dengan metode usulan memiliki rentang waktu tertinggi yaitu 8329 sedangkan pada protokol LEACH rentang waktu tertinggi hanya mencapai 5853. Hasil pengujian dapat dilihat pada gambar 4.9.



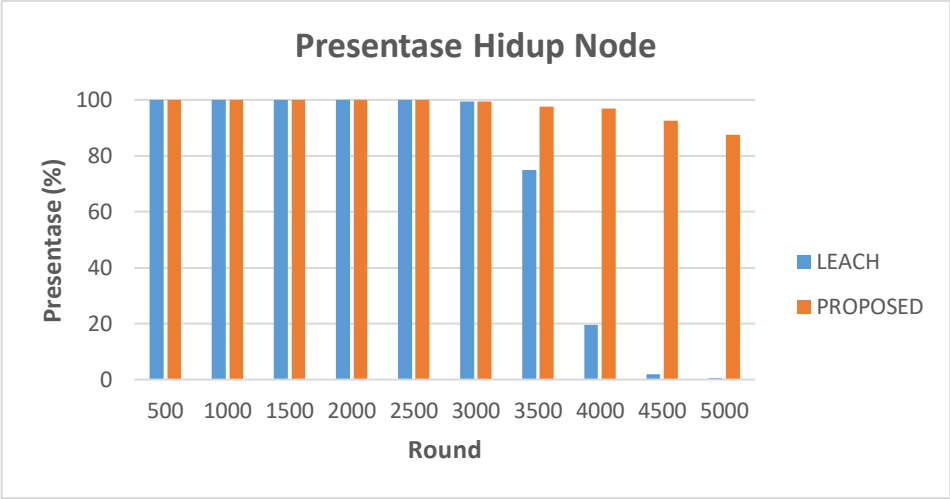
Gambar 4. 9 *Network Liftetime* pada skenario 2

Pengujian selanjutnya yaitu presentase *node* hidup antara protokol dengan metode usulan dan protokol LEACH, pada pengujian ini dilakukan dengan variasi jumlah *node* sebanyak 100 *node* dan 200 *node* sama. Pada protokol dengan metode usulan tingkat presentasi hidup *node* mencapai 82% pada *round* 5000, hal ini menunjukkan bahwa *round* ini masih panjang untuk presentasi setiap node, sedangkan pada protokol LEACH pada *round* tersebut semua *node* sudah mati. Pada *round* 500 sampai dengan 2000 kedua protokol tersebut masih memiliki tingkat hidup yang sama yaitu 100%, pada protokol dengan metode usulan perubahan yang relatif kecil baru dimulai pada *round* 3500, 4000, 4500, dan 5000 yaitu masing-masing 99%, 98%, 87%, dan 82% sedangkan pada protokol LEACH perubahan sudah dimulai dari *round* 2500, 3000, dan selesai di *round* 3000, yaitu masing-masing 99%, 81%, dan 10%, seperti pada hasil uji coba pada Gambar 4.10.



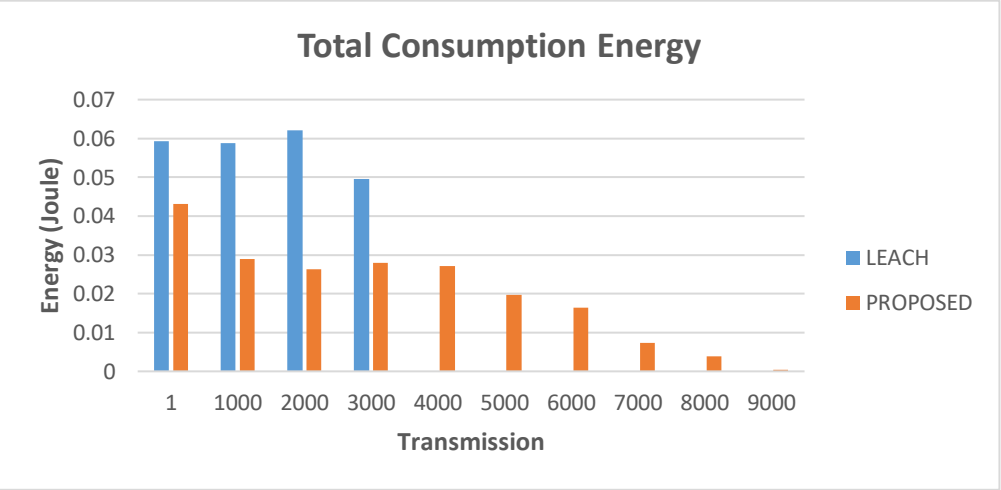
Gambar 4. 10 Presentasi hidup node (100 node) pada skenario 2

Pengujian pada *node* 200, protokol dengan metode usulan memeliki presentase hidup *node* 87.5% pada *round* 5000, sedangkan di *round* yang sama pada protokol LEACH presentase hidup hanya 0.5%. Hal ini disebabkan karena panjang *round* dari masing-masing protokol berbeda, yaitu pada protokol dengan metode usulan mampu mampu mencapai 9450 *round* protokol LEACH bertahan hanya sampai 5278 *round*. Hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 4.11.



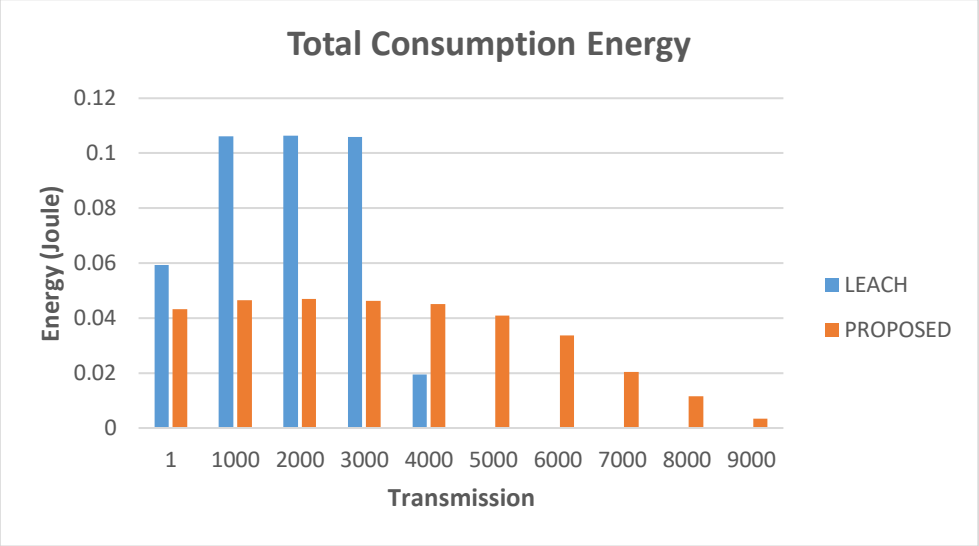
Gambar 4. 11 Presentasi hidup node (200 node) pada skenario 2

Pengujian selanjutnya pada skenario 2 adalah total *consumption energy* atau energi yang digunakan *node* ketika melakukan transmisi data. Pengujian pertama dengan total *node* sebanyak 100 *node*. Pada transmisi pertama, protokol dengan metode usulan menggunakan energi yang sebesar 0.0431 *joule* sedangkan pada protokol LEACH menggunakan energi yang lebih besar yaitu 0.0592 *joule*, begitu juga transmisi selanjutnya protokol dengan metode usulan memiliki konsumsi yang lebih rendah juga dibandingkan protokol LEACH. Untuk lebih jelasnya hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 4.12.



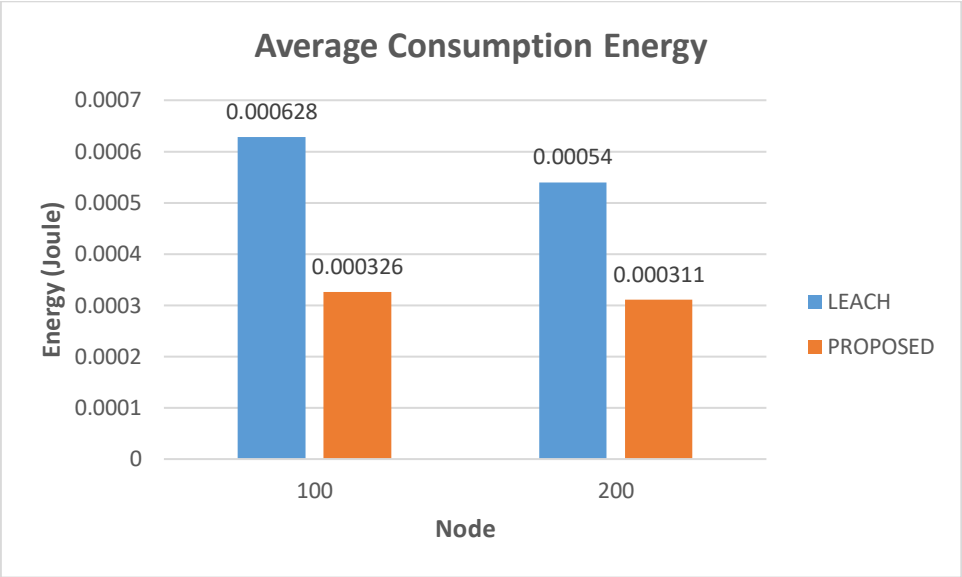
Gambar 4. 12 Total Consumption Energy 100 *node* pada skenario 2

Sedangkan pada jumlah *node* yang lebih besar yaitu 200 *node*, perbandingan *consumption energy* antara protokol dengan metode usulan dan protokol LEACH juga memiliki hasil dimana protokol dengan metode usulan memiliki konsumsi energi yang lebih kecil dari pada protokol LEACH. Hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 4.13.



Gambar 4. 13 Total Consumption Energy 200 *node* pada skenario 2

Average consumption energy per transmition adalah rata-rata energi yang digunakan setip *node* per *round* pada simulasi dari *node* tersebut digunakan sampai *node* mati. Berdasarkan pengujian diatas protokol dengan metode usulan mempunya rata-rata konsumsi yang lebih sedikit dari pada protokol LEACH. Pada pengujian 100 node, protokol dengan metode usulan memiliki rata-rata energi 0.000327 *joule* sedangkan protokol LEACH memiliki rata-rata energi 0.000628 *joule*. Pada jumlah node yang lebih besar yaitu 200 node, protokol dengan metode usulan juga mempunya rata-rata konsumsi yang lebih sedikit dari pada protokol LEACH, yaitu 0.000311 *joule* untuk protokol dengan metode usulan dan 0.00054 *joule* untuk protokol LEACH. Untuk lebih jelasnya hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 4.14.

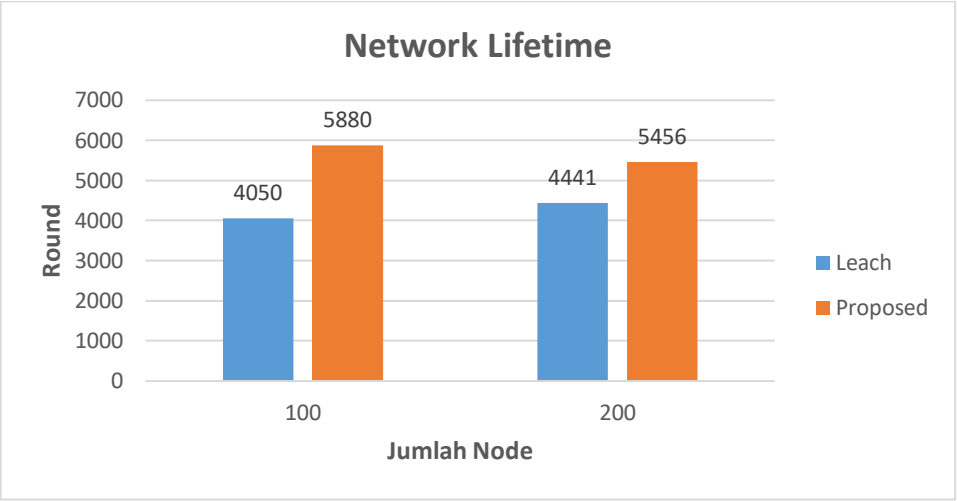


Gambar 4. 14 Rata-rata *consumption energy* pada skenario 2

4.4.3 Analisa Skenario 3

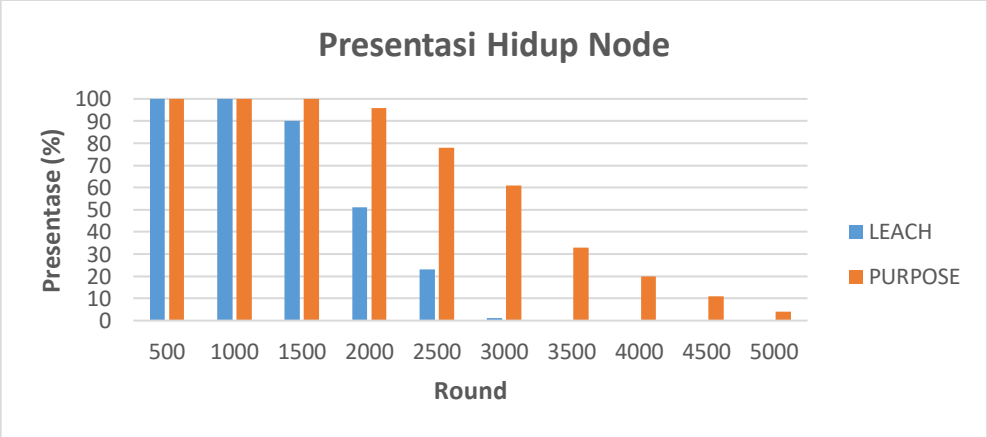
Pengujian pada skenario 3 dilakukan dengan membandingkan antara protokol dengan metode usulan dan protokol LEACH dengan kombinasi *node* 100 *node* dan 200 *node* dan luas area 100 m X 100 m, serta dengan posisi sink berada pada titik 50,150. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan beberapa parameter, seperti *network lifetime, operational node per transmition, total consumption energy,* dan *average consumption energy per transmition.* Beberapa pengujian yang telah dilakukan pada setiap skenario, maka didapatkan suatu analisa hasil pengujian sebegai berikut:

Network lifetime pada skenario 3, kombinasi jumlah node yaitu 100 node dan 200 node. Pada jumlah kepadatan 100 node protokol dengan metode usulan memiliki rentang waktu tertinggi yaitu 5880 sedangkan pada protokol LEACH rentang waktu tertinggi hanya mencapai 4050. Begitu juga pada kepadatan node yang lebih tinggi yaitu 200 node, protokol dengan metode usulan memiliki rentang waktu tertinggi yaitu 5456 sedangkan pada protokol LEACH rentang waktu tertinggi hanya mencapai 4441. Hasil pengujian dapat dilihat pada gambar 4.15.



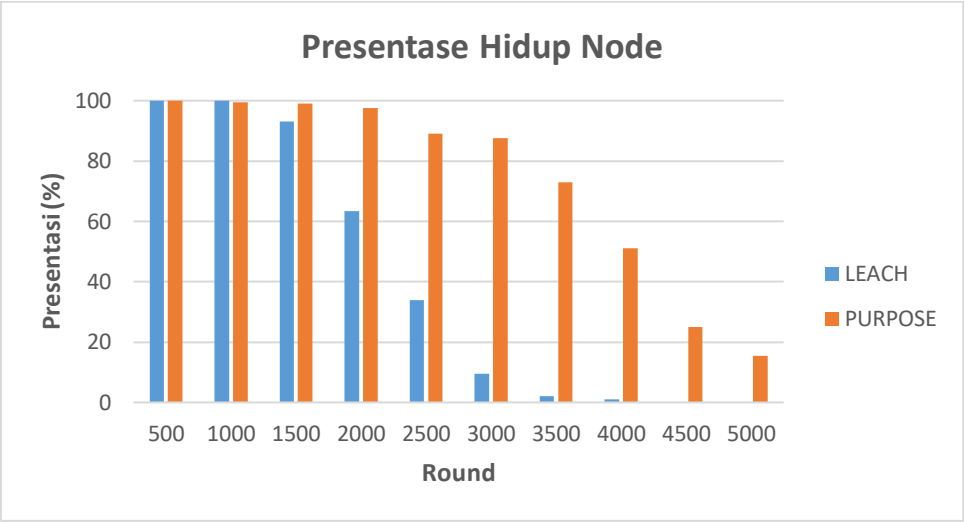
Gambar 4. 15 *Network lifetime* pada skenario 3

Pengujian selanjutnya yaitu presentase *node* hidup antara protokol dengan metode usulan dan protokol LEACH, pada pengujian ini dilakukan dengan jumlah *node* sebanyak 100 *node*. Pada protokol dengan metode usulan tingkat presentasi hidup *node* pada *round* 5000 yaitu 4%, sedangkan pada protokol LEACH hanya mencapai 3000 *round* saja dengan presentasi hidup node yaitu 1%. Pada *round* 500 dan 1000 kedua protokol tersebut masih memiliki tingkat hidup yang sama yaitu 100%, kemudian pada *round* 1500 sampai 2500 presentase hidup node kedua protokol mulai mengalami perubahan, seperti pada hasil pengujian pada Gambar 4.16.



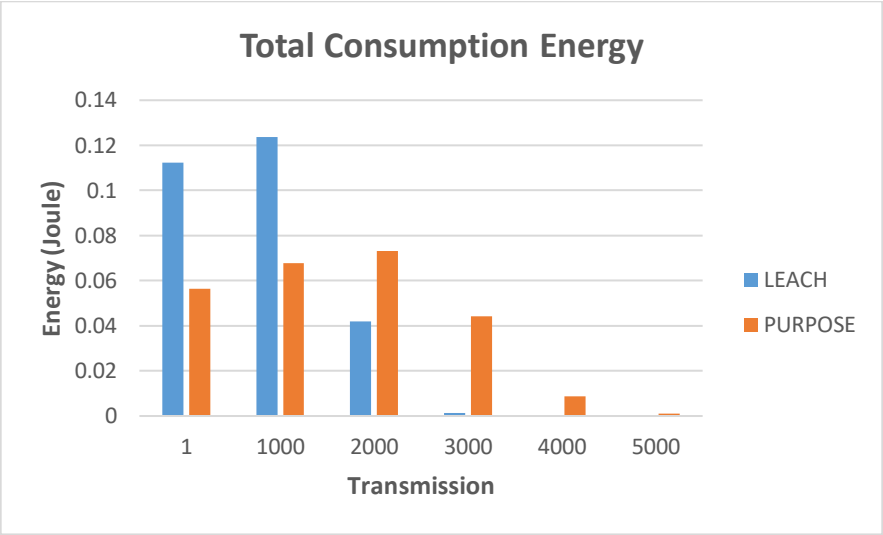
Gambar 4. 16 Presentasi hidup node (100 node) pada skenario 3

Sedangkan pada jumlah *node* yang lebih besar yaitu 200 *node*, perbandingan *consumption energy* antara protokol dengan metode usulan dan protokol LEACH juga memiliki hasil dimana protokol dengan metode usulan memiliki konsumsi energi yang lebih kecil dari pada protokol LEACH. Hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 4.17



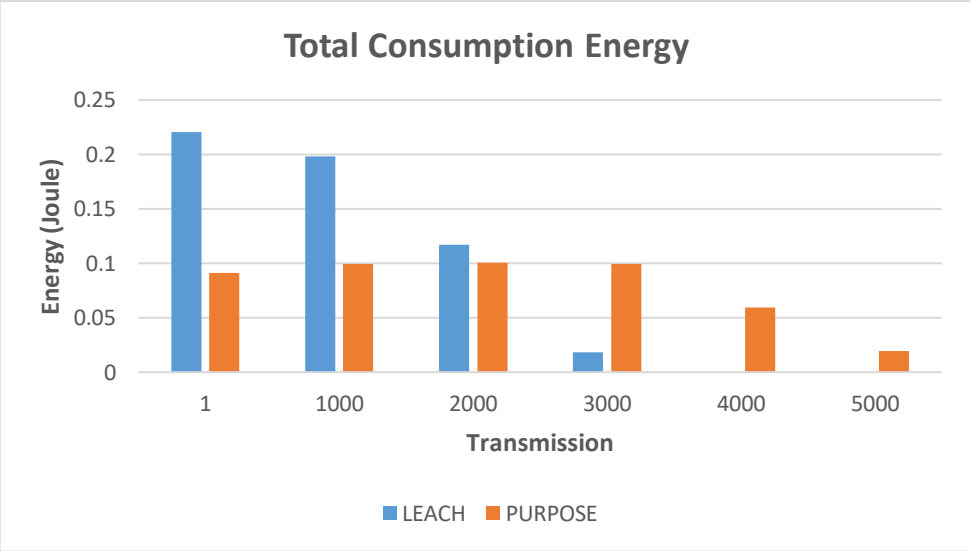
Gambar 4. 17 Presentasi hidup node (200 node) pada skenario 3

Pengujian selanjutnya pada skenario 3 adalah total *consumption energy* atau energi yang digunakan *node* ketika melakukan transmisi data. Pengujian pertama dengan total *node* sebanyak 100 *node*. Pada transmisi pertama, protokol dengan metode usulan menggunakan energi yang sebesar 0.0565 *joule* sedangkan pada protokol LEACH menggunakan energi yang lebih besar yaitu 0.1124 *joule*, begitu juga transmisi selanjutnya protokol dengan metode usulan memiliki konsumsi yang lebih rendah juga dibandingkan protokol LEACH. Untuk lebih jelasnya hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 4.18



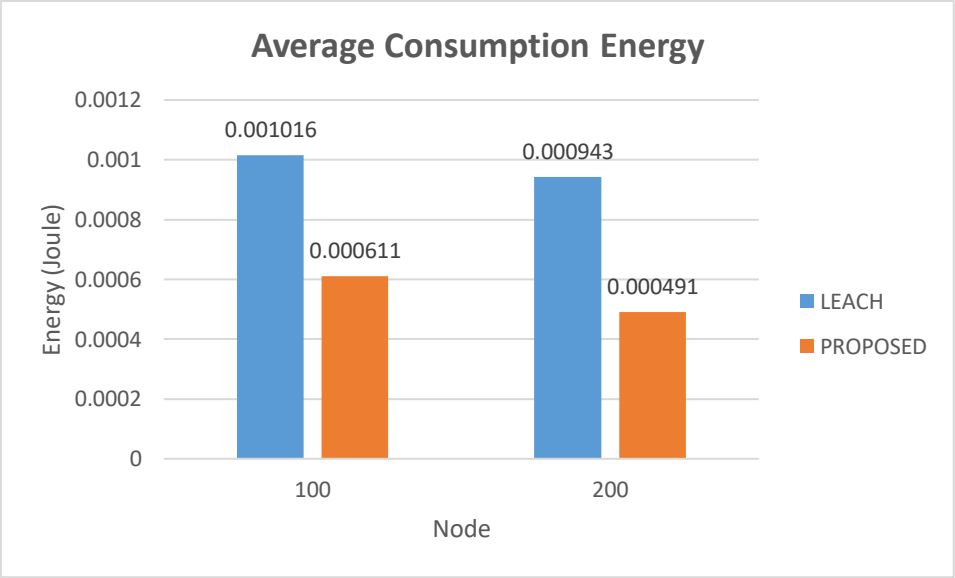
Gambar 4. 19 Total Consumption Energy 100 *node* pada skenario 3

Sedangkan pada jumlah *node* yang lebih besar yaitu 200 *node*, perbandingan *consumption energy* antara protokol dengan metode usulan dan protokol LEACH juga memiliki hasil dimana protokol dengan metode usulan memiliki konsumsi energi yang lebih kecil dari pada protokol LEACH. Hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 4.19.



Gambar 4. 18 Total Consumption Energy 200 *node* pada skenario 3

Average consumption energy per transmition adalah rata-rata energi yang digunakan setip *node* per *round* pada simulasi dari *node* tersebut digunakan sampai *node* mati. Berdasarkan pengujian diatas protokol dengan metode usulan mempunya rata-rata konsumsi yang lebih sedikit dari pada protokol LEACH. Pada pengujian 100 node, protokol dengan metode usulan memiliki rata-rata energi 0.001016 *joule* sedangkan protokol LEACH memiliki rata-rata energi 0.000611 *joule*. Pada jumlah node yang lebih besar yaitu 200 node, protokol dengan metode usulan juga mempunya rata-rata konsumsi yang lebih sedikit dari pada protokol LEACH, yaitu 0.000943 *joule* untuk protokol dengan metode usulan dan 0.000491 *joule* untuk protokol LEACH. Untuk lebih jelasnya hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 4.20.

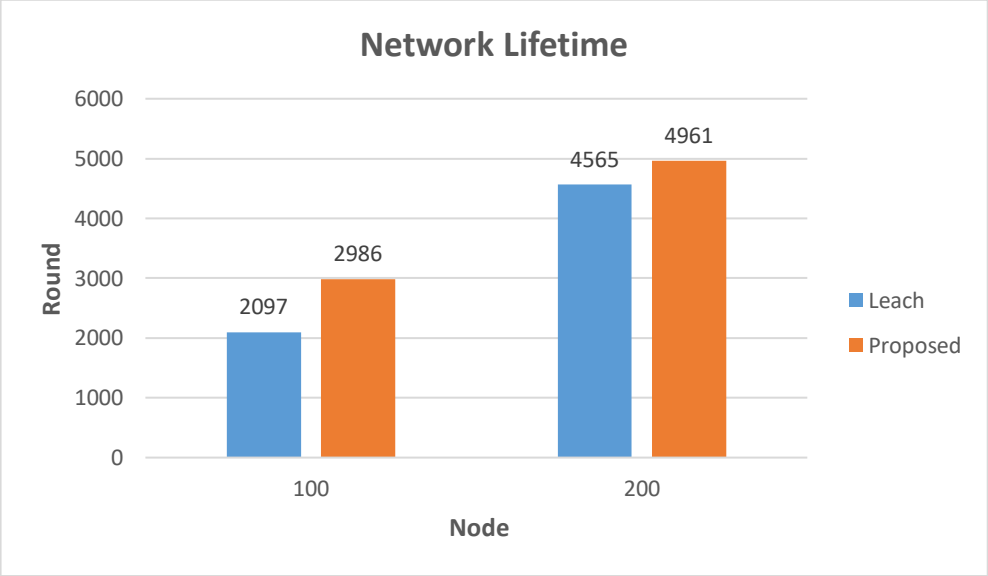


Gambar 4. 20 Rata-rata *consumption energy* pada skenario 3

4.4.3 Analisa Skenario 4

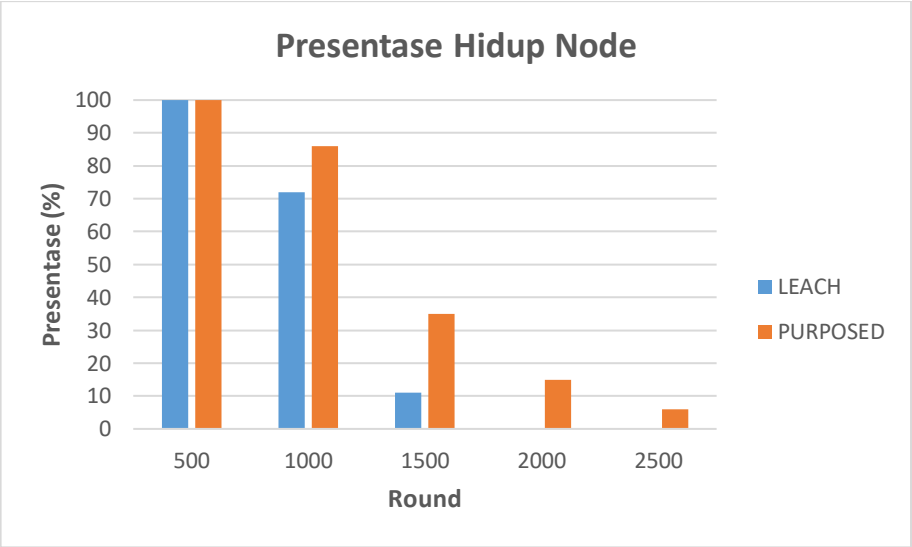
Pengujian pada skenario 4 dilakukan dengan membandingkan antara protokol dengan metode usulan dan protokol LEACH dengan kombinasi *node* 100 *node* dan 200 *node* dan luas area 200 m X 200 m, serta dengan posisi sink berada pada titik 100,200. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan beberapa parameter, seperti *network lifetime, operational node per transmition, total consumption energy,* dan *average consumption energy per transmition.* Beberapa pengujian yang telah dilakukan pada setiap skenario, maka didapatkan suatu analisa hasil pengujian sebegai berikut:

Network lifetime pada skenario 4, pengujian pertama yaitu dengan jumlah node yaitu 100 node. Pada jumlah kepdadatan 100 node protokol dengan metode usulan memiliki rentang waktu tertinggi yaitu 2986 sedangkan pada protokol LEACH rentang waktu tertinggi hanya mencapai 2097. Begitu juga pada kepadatan node yang lebih tinggi yaitu 200 node, protokol dengan metode usulan memiliki rentang waktu tertinggi yaitu 4961 sedangkan pada protokol LEACH rentang waktu tertinggi hanya mencapai 4565. Hasil pengujian dapat dilihat pada gambar 4.2.1



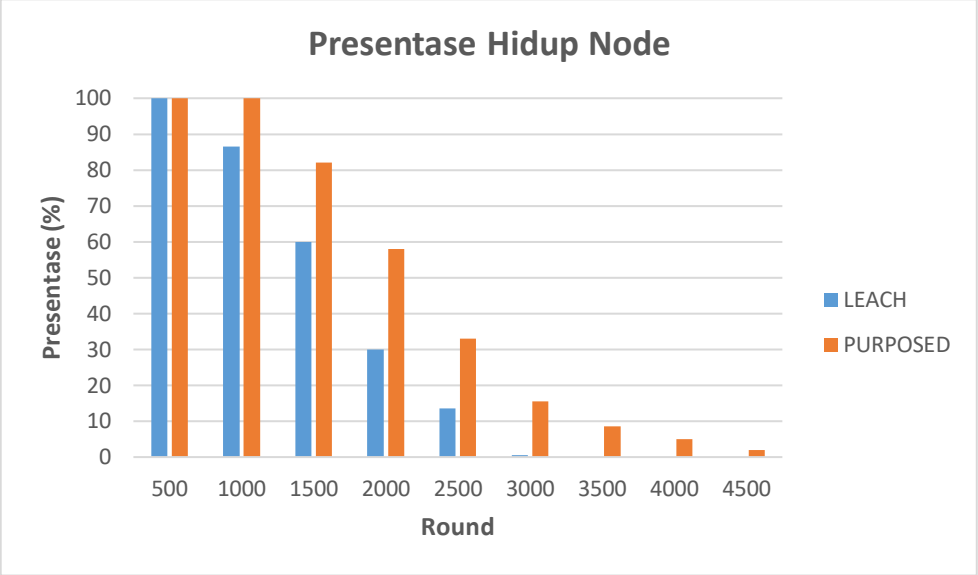
Gambar 4. 21 *Network Liftetime* pada skenario 4

Pengujian selanjutnya yaitu presentase *node* hidup antara protokol dengan metode usulan dan protokol LEACH, pada pengujian ini dilakukan dengan jumlah *node* sebanyak 100 *node*. Pada protokol dengan metode usulan tingkat presentasi hidup *node* pada *round* pertama kedua protokol memiliki presentase yang sama yaitu 100%, lalu pada *round* berikutnya mengalami perubahan Ketika pada *round* 1000 dan 1500 protokol dengan metode usulan memiliki presentasi hidup node masing-masing 86% dan 35%, sedangkan pada protokol LEACH meimliki presentase masa hidup hidup node masing-masing 72% dan 11 %. Kemudian pada *round* 2000 dan 2500 protokol dengan metode usulan memiliki presentase hidup masing-masing 15% dan 6%, sedangkan protokol LEACH pada *round* tersebut semua node sudah mati. Hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 4.22.



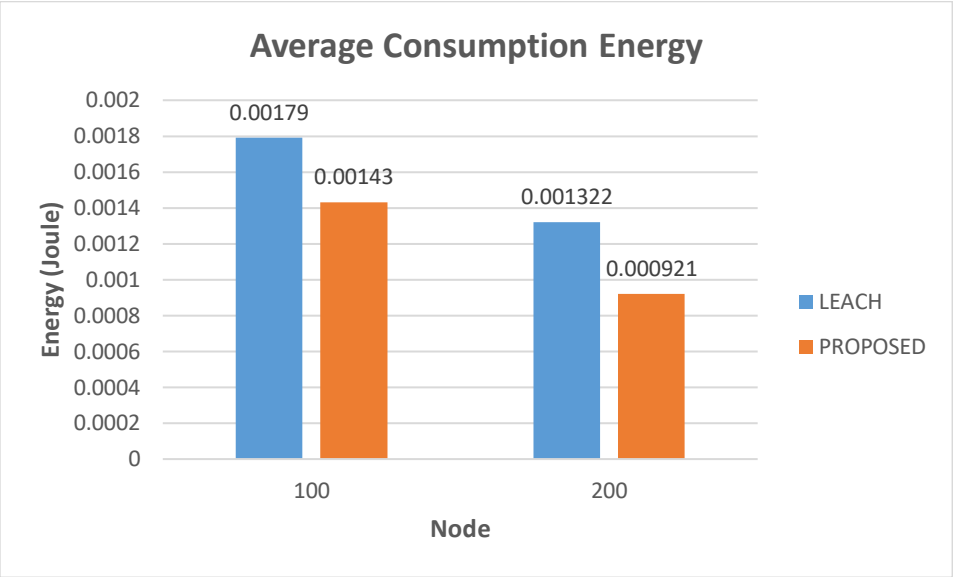
Gambar 4. 22 Presentase Hidup *Node* (100 node) pada skenario 4

Sedangkan pada jumlah *node* yang lebih besar yaitu 200 *node*, perbandingan *consumption energy* antara protokol dengan metode usulan dan protokol LEACH juga memiliki hasil dimana protokol dengan metode usulan memiliki konsumsi energi yang lebih kecil dari pada protokol LEACH. Hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 4.23.



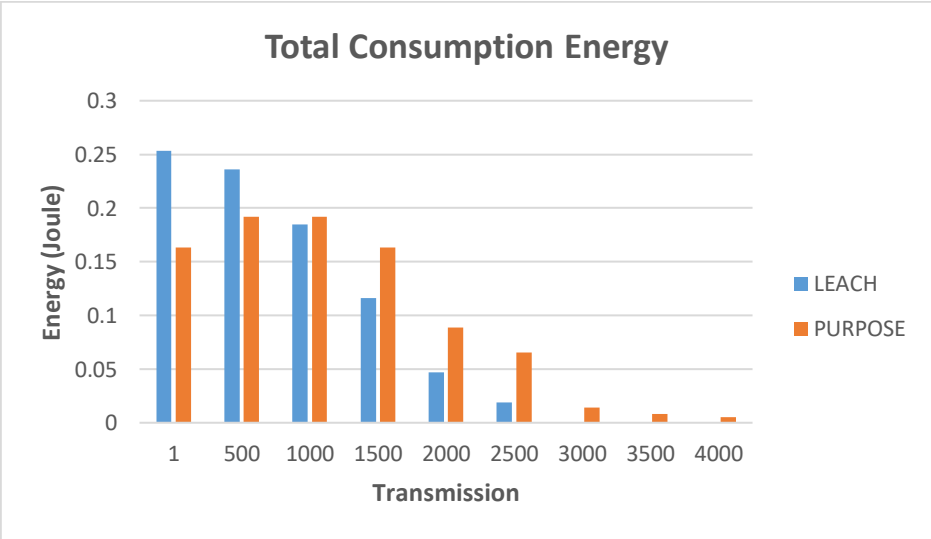
Gambar 4. 23 Presentase Hidup *Node* (200 node) pada skenario 4

Pengujian selanjutnya pada skenario 4 adalah total *consumption energy*. Pengujian pertama dengan total *node* sebanyak 100 *node*. Pada transmisi pertama, protokol dengan metode usulan menggunakan energi yang sebesar 0.1165 *joule* sedangkan pada protokol LEACH menggunakan energi yang lebih besar yaitu 0.1738 *joule*, begitu juga transmisi selanjutnya protokol dengan metode usulan memiliki konsumsi yang lebih rendah juga dibandingkan protokol LEACH. Namun pada transmisi ke 1500 protokol memiliki konsumsi energi lebih besar dari pada protokol LEACH, dekarenakan pada transmisi tersebut protokol LEACH sudah mengalami kehabisan energi pada nodenya, sedangkan pada protokol dengan metode usulan masih terus berlanjut sampai dengan transmisi ke 2500. Untuk lebih jelasnya hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 4.24.



Gambar 4. 25 Rata-rata *consumption energy* pada skenario 4

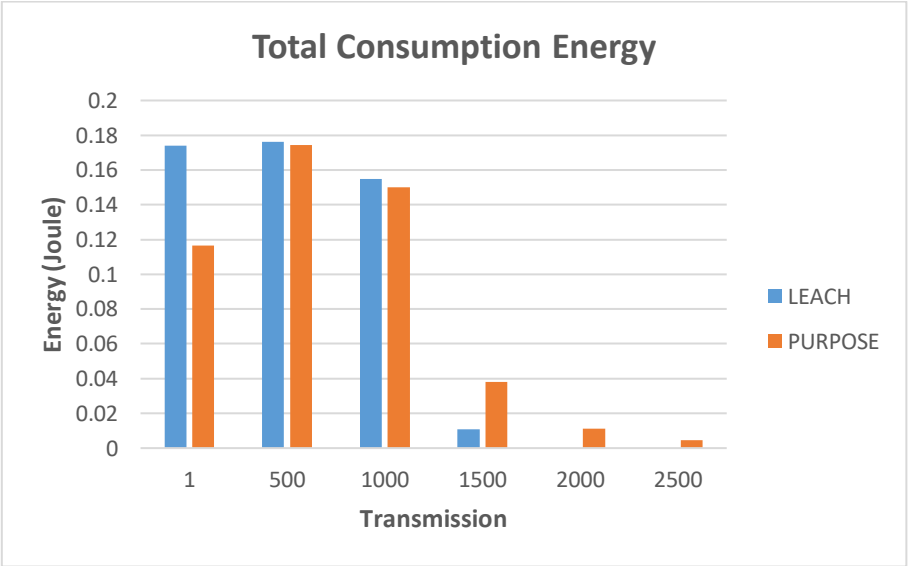
Sedangkan pada jumlah *node* yang lebih besar yaitu 200 *node*, perbandingan *consumption energy* antara protokol dengan metode usulan dan protokol LEACH juga memiliki hasil dimana protokol dengan metode usulan memiliki konsumsi



Gambar 4. 24 Total Consumption Energy 200 *node* pada skenario 4

energi yang lebih kecil dari pada protokol LEACH. Hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 4.25.

Pengujian selanjutnya pada scenario 4 yaitu *Average consumption energy per transmition*, merupakan rata-rata energi yang digunakan setip *node* per *round* pada simulasi dari *node* tersebut digunakan sampai *node* mati. Berdasarkan pengujian diatas protokol dengan metode usulan mempunya rata-rata konsumsi yang lebih sedikit dari pada protokol LEACH. Pada pengujian 100 node, protokol dengan metode usulan memiliki rata-rata energi 0.00143 *joule* sedangkan protokol LEACH memiliki rata-rata energi 0.00179 *joule*. Pada jumlah node yang lebih besar yaitu 200 node, protokol dengan metode usulan juga mempunya rata-rata konsumsi yang lebih sedikit dari pada protokol LEACH, yaitu 0.000921 *joule* untuk protokol dengan metode usulan dan 0.001322 *joule* untuk protokol LEACH. Untuk lebih jelasnya hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 4.26.



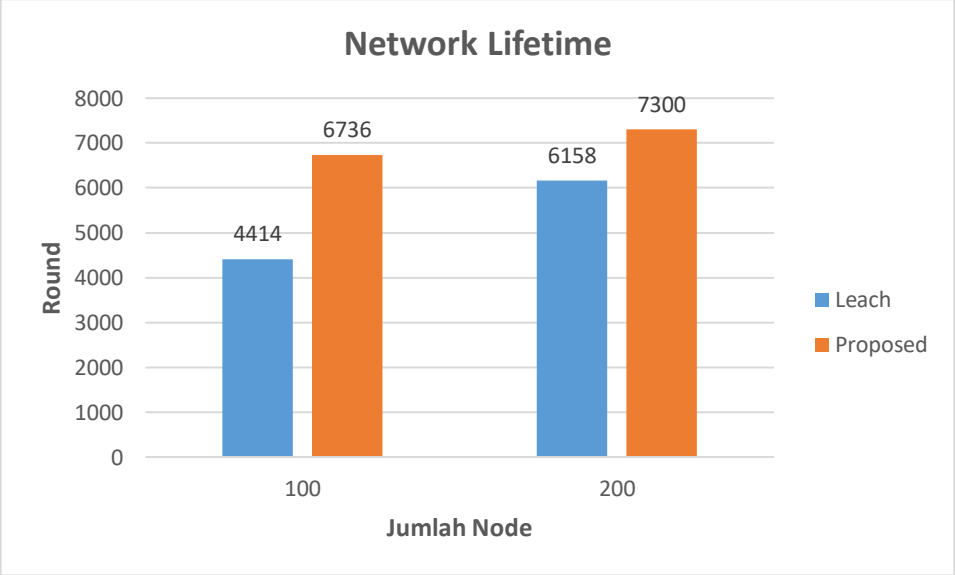
Gambar 4. 26 Total Consumption Energy 100 *node* pada skenario 4

4.4.4 Analisa Skenario 5

Pengujian pada skenario 5 dilakukan dengan membandingkan antara protokol dengan metode usulan dan protokol LEACH dengan kombinasi *node* 100 *node* dan 200 *node* dan luas area 200 m X 200 m, serta dengan posisi sink berada pada titik 100,100. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan beberapa parameter, seperti *network lifetime, operational node per transmition, total*

consumption energy, dan *average consumption energy per transmition.* Beberapa pengujian yang telah dilakukan pada setiap skenario, maka didapatkan suatu analisa hasil pengujian sebegai berikut:

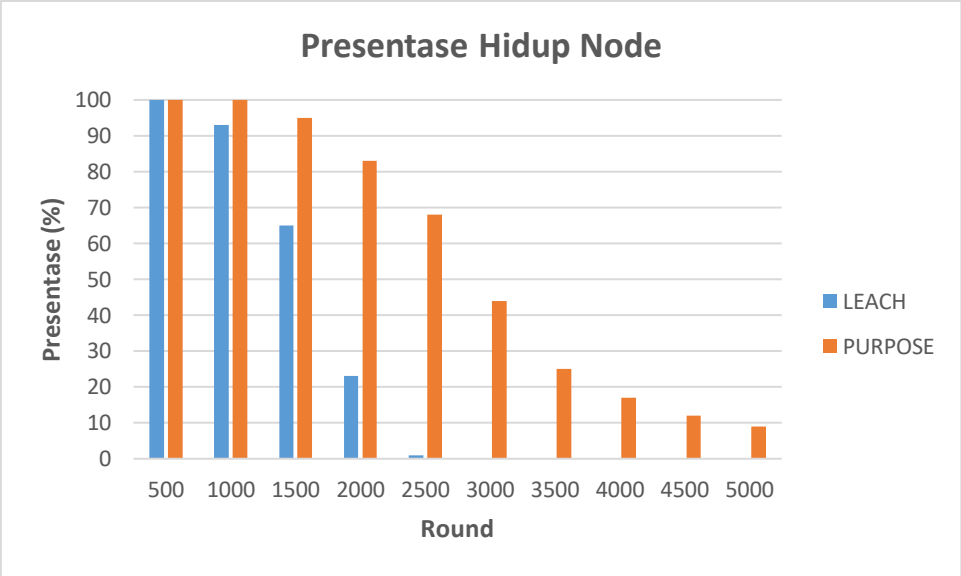
Network lifetime pada skenario 4, pengujian pertama yaitu dengan jumlah node yaitu 100 node. Pada jumlah kepdadatan 100 node protokol dengan metode usulan memiliki rentang waktu tertinggi yaitu 6738 sedangkan pada protokol LEACH rentang waktu tertinggi hanya mencapai 4414. Begitu juga pada kepadatan node yang lebih tinggi yaitu 200 node, protokol dengan metode usulan memiliki rentang waktu tertinggi yaitu 7300 sedangkan pada protokol LEACH rentang waktu tertinggi hanya mencapai 6158. Hasil pengujian dapat dilihat pada gambar 4.27.



Gambar 4. 27 *Network Liftetime* pada skenario 5

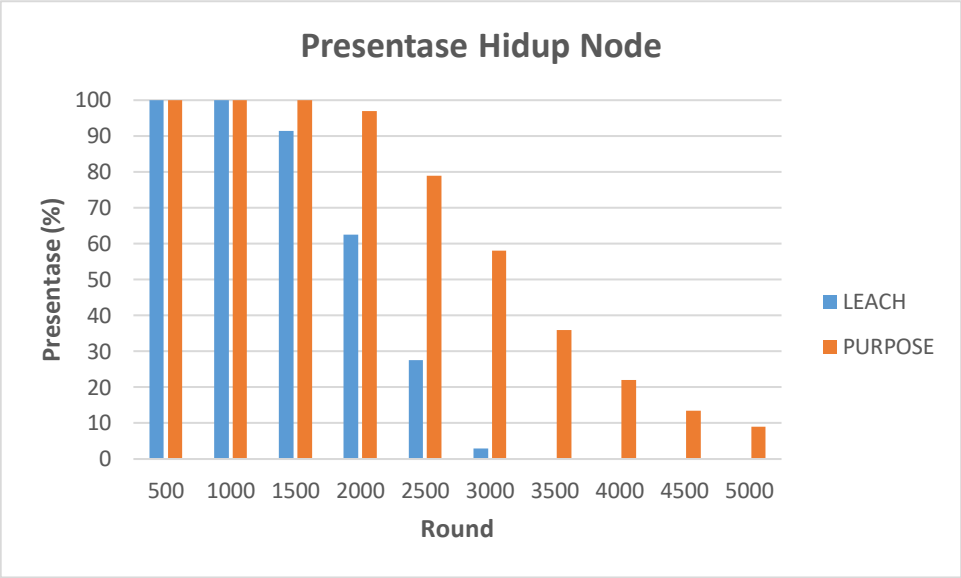
Pengujian selanjutnya yaitu presentase *node* hidup antara protokol dengan metode usulan dan protokol LEACH, pada pengujian ini dilakukan dengan jumlah *node* sebanyak 100 *node* dan 200 *node*. Pada protokol dengan metode usulan tingkat presentasi hidup *node* mencapai 9% pada *round* 5000, sedangkan pada protokol LEACH pada *round* tersebut semua *node* sudah mati dan hanya mampu beratahan sampai *round* 2500 dengan presentase 1%. Pada *round* 500 kedua protokol tersebut masih memiliki tingkat hidup yang sama yaitu 100%, kemudian pada *round* 1000,

1500, dan 2000 pada metode usulan mengalami perubahan yaitu 100%, 95%, dan 83%, sedangkan pada protokol LEACH 93%, 65%, dan 23%, selanjutnya pada *round* 2500 protokol LEACH sudah mengalami kematian pada nodenya dengan presentase 1% dan pada protokool dengan metode usulan masih berlanjut sampai dengan *round* 5000 dengan presentase hidup node 9%. Hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 4.28.



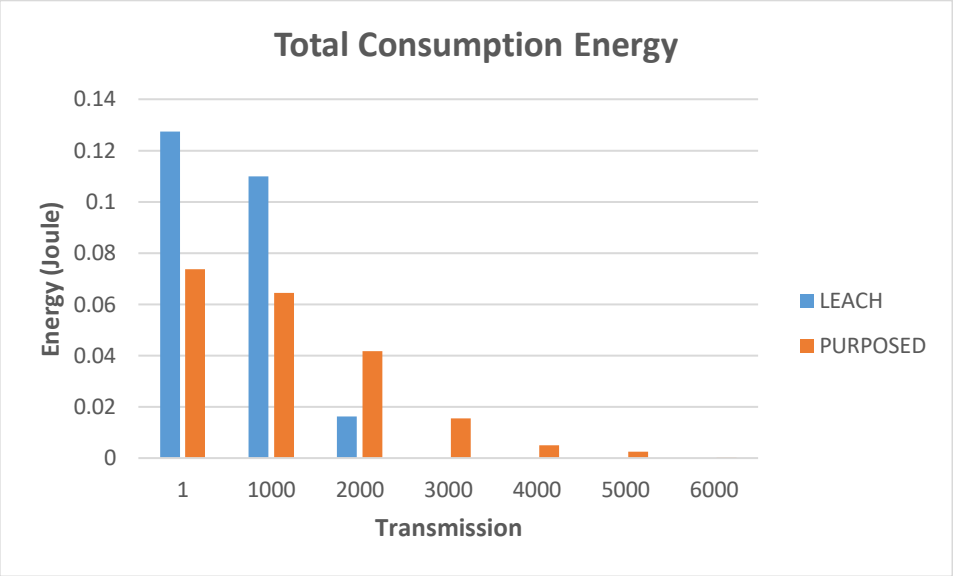
Gambar 4. 28 Presentase hidup *node* (100 *node*) pada skenario 5

Pengujian pada *node* 200, protokol dengan metode usulan memeliki presentase hidup *node* 9% pada *round* 5000, sedangkan pada protokol LEACH hanya mampu bertahan pada 3000 *round* dengan presentase hidup hanya 3%, seperti hasil pengujian pada Gambar 4.29.



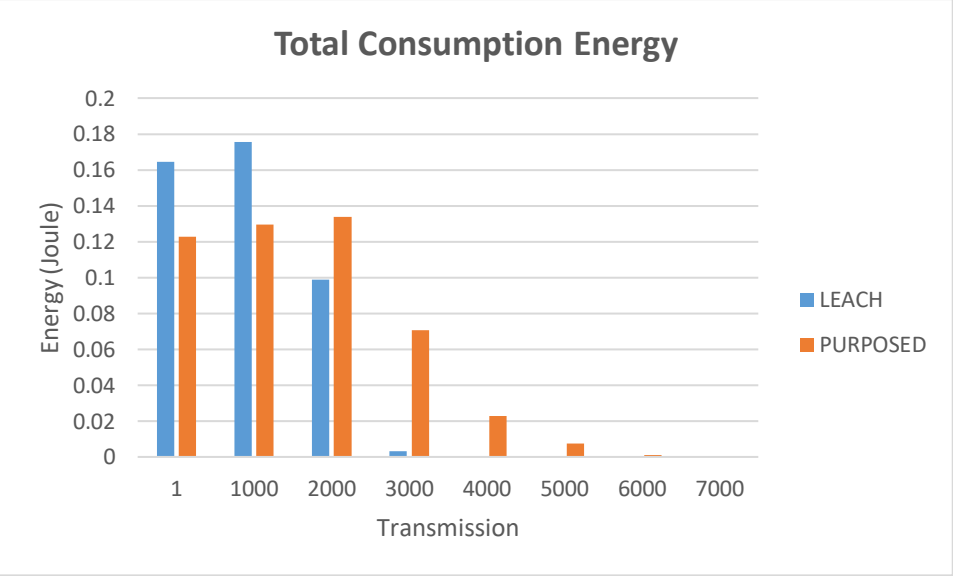
Gambar 4. 29 Presentase hidup *node* (200 *node*) pada skenario 5

Pengujian selanjutnya pada skenario 4 adalah total *consumption energy*. Pengujian pertama dengan total *node* sebanyak 100 *node*. Pada transmisi pertama, protokol dengan metode usulan menggunakan energi yang sebesar 0.07369 *joule* sedangkan pada protokol LEACH menggunakan energi yang lebih besar yaitu 0.12744 *joule*, begitu juga transmisi selanjutnya protokol dengan metode usulan memiliki konsumsi yang lebih rendah juga dibandingkan protokol LEACH. Pada protokol dengan metode usulan, transmisi data mampu mencapai 6000 transmission sedangkan pada protokol LEACH hanya mampu mencapai 2000 transmission. Untuk lebih jelasnya hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 4.30.



Gambar 4. 30 Total Consumption Energy 100 *node* pada skenario 5

Sedangkan pada jumlah *node* yang lebih besar yaitu 200 *node*, perbandingan *consumption energy* antara protokol dengan metode usulan dan protokol LEACH juga memiliki hasil dimana protokol dengan metode usulan memiliki konsumsi energi yang lebih kecil dari pada protokol LEACH. Hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 4.31.

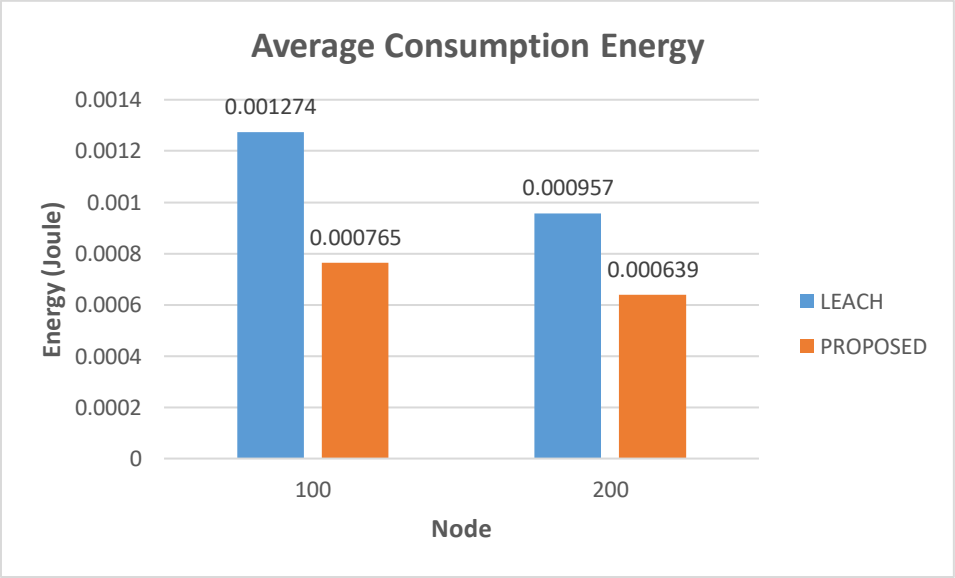


Gambar 4. 31 Total Consumption Energy 200 *node* pada skenario 5

Average consumption energy per transmition adalah rata-rata energi yang digunakan setip *node* per *round* pada simulasi dari *node* tersebut digunakan sampai *node* mati. Berdasarkan pengujian diatas protokol dengan metode usulan mempunya rata-rata konsumsi yang lebih sedikit dari pada protokol LEACH. Pada pengujian 100 node, protokol dengan metode usulan memiliki rata-rata energi 0.000765 *joule* sedangkan protokol LEACH memiliki rata-rata energi 0.001274 *joule*. Pada jumlah node yang lebih besar yaitu 200 node, protokol dengan metode usulan juga mempunya rata-rata konsumsi yang lebih sedikit dari pada protokol LEACH, yaitu 0.000639 *joule* untuk protokol dengan metode usulan dan 0.000957 *joule* untuk protokol LEACH. Untuk lebih jelasnya hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 4.32.

4.4.6 Analisa Skenario 6

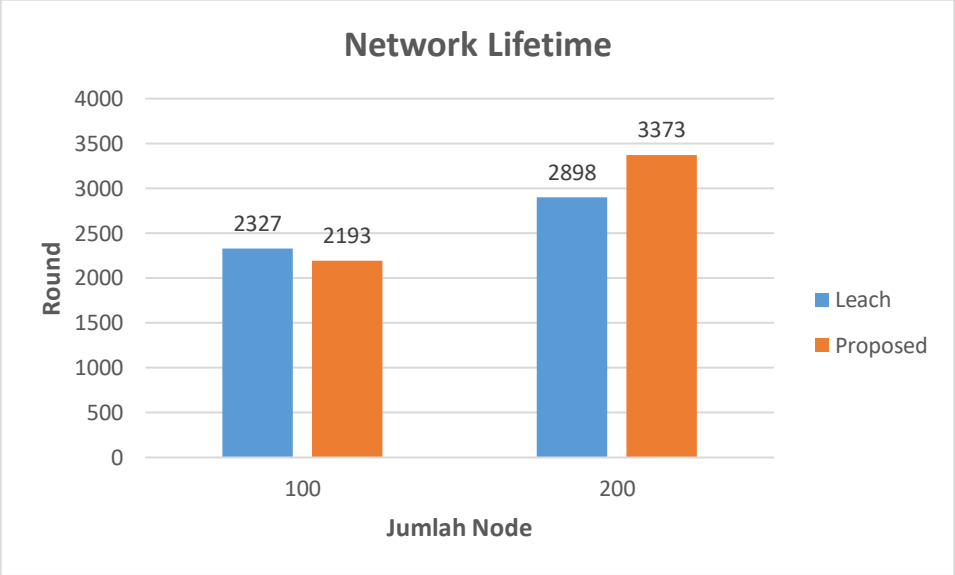
Pengujian pada skenario 6 dilakukan dengan membandingkan antara protokol dengan metode usulan dan protokol LEACH dengan kombinasi *node* 100 *node* dan 200 *node* dan luas area 200 m X 200 m, serta dengan posisi sink berada



Gambar 4. 32 Rata-rata *consumption energy* pada skenario 5

pada titik 100,250. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan beberapa parameter, seperti *network lifetime*, *operational node per transmition*, *total consumption energy*, dan *average consumption energy per transmition*. Beberapa pengujian yang telah dilakukan pada setiap skenario, maka didapatkan suatu analisa hasil pengujian sebegai berikut:

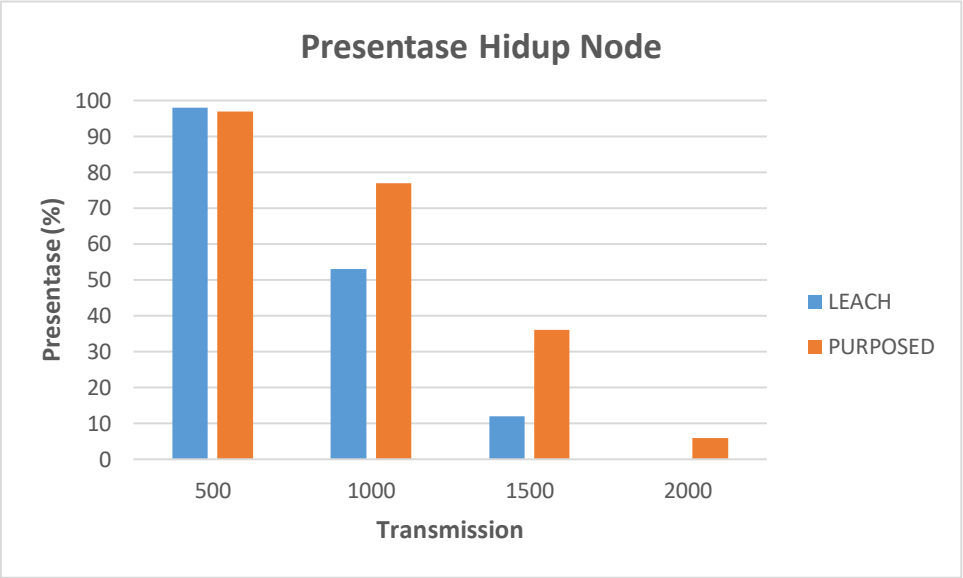
Network lifetime pada skenario 4, pengujian pertama yaitu dengan jumlah node yaitu 100 node. Pada jumlah kepdadatan 100 node protokol dengan metode usulan memiliki rentang waktu tertinggi yaitu 2193 sedangkan pada protokol LEACH rentang waktu tertinggi hanya mencapai 2327. Begitu juga pada kepadatan node yang lebih tinggi yaitu 200 node, protokol dengan metode usulan memiliki rentang waktu tertinggi yaitu 3373 sedangkan pada protokol LEACH rentang waktu tertinggi hanya mencapai 2898. Hasil pengujian dapat dilihat pada gambar 4.33.



Gambar 4. 33 *Network Liftetime* pada skenario 6

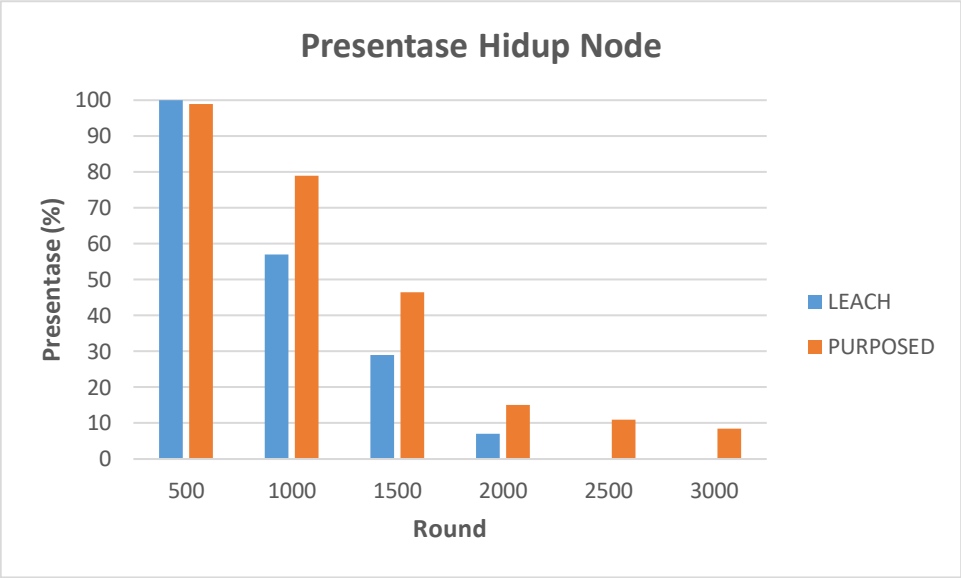
Pengujian selanjutnya yaitu presentase *node* hidup antara protokol dengan metode usulan dan protokol LEACH, pada pengujian ini dilakukan dengan jumlah *node* sebanyak 100 *node* dan 200 *node*. Pada protokol dengan metode usulan tingkat presentasi hidup *node* mencapai 6% pada *round* 2000, sedangkan pada protokol LEACH pada *round* tersebut semua *node* sudah mati dan hanya mampu beratahan

sampai *round* 1500 dengan presentase 12%. Pada *round* 500 kedua protokol memiliki presentase hidup node masing 97% untuk metode usulan dan 98% untuk protokol LEACH, selanjutnya pada *round* 1000 protokol dengan metode usulan memiliki presentasi hidup node sebesar 77%, sedangkan protokol LEACH memiliki presentasi hidup node 53%. Hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 4.34.



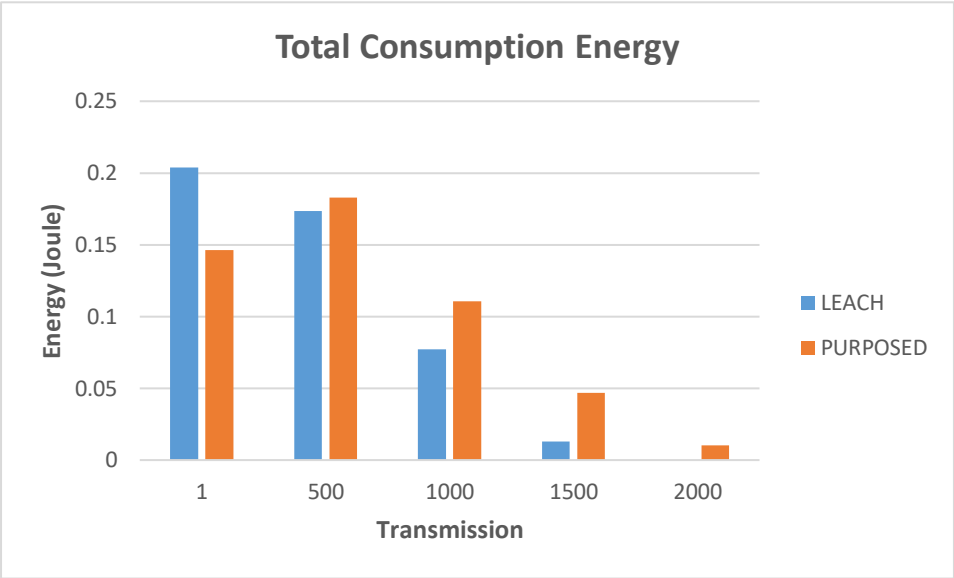
Gambar 4. 34 Presentase hidup *node* (100 *node*) pada skenario 6

Pengujian pada *node* 200, protokol dengan metode usulan memiliki presentase hidup *node* 8,5% pada *round* 3000, sedangkan pada protokol LEACH hanya mampu bertahan pada 2000 *round* dengan presentase hidup hanya 7%, seperti hasil pengujian pada Gambar 4.35.



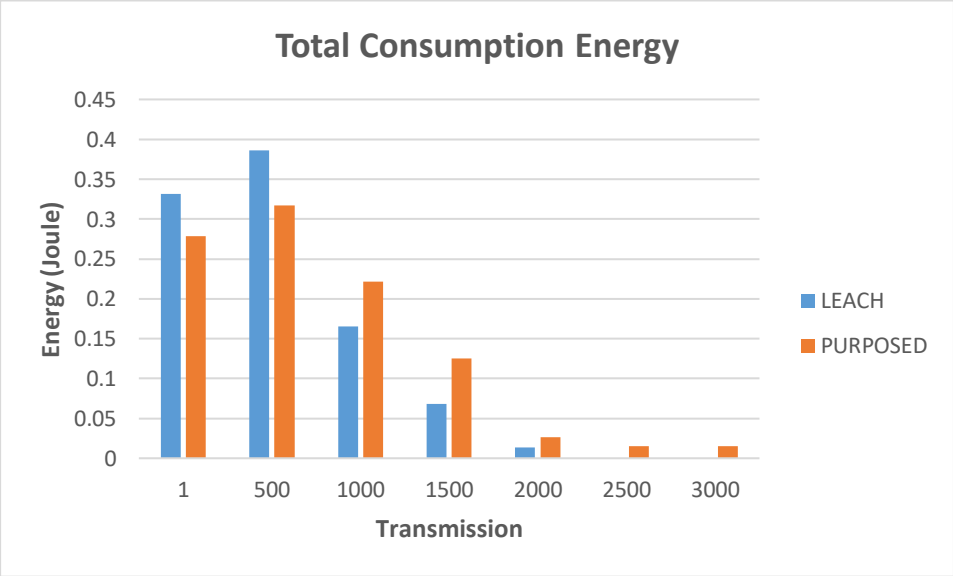
Gambar 4. 35 Presentase hidup *node* (200 *node*) pada skenario 6

Pengujian selanjutnya pada skenario 4 adalah total *consumption energy*. Pengujian pertama dengan total *node* sebanyak 100 *node*. Pada transmisi pertama, protokol dengan metode usulan menggunakan energi yang sebesar 0.14626 *joule* sedangkan pada protokol LEACH menggunakan energi yang lebih besar yaitu 0.20374 *joule*, begitu juga transmisi selanjutnya protokol dengan metode usulan memiliki konsumsi yang lebih rendah juga dibandingkan protokol LEACH. Pada protokol dengan metode usulan, transmisi data mampu mencapai 2000 transmission sedangkan pada protokol LEACH hanya mampu mencapai 1500 transmission. Hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 4.36.



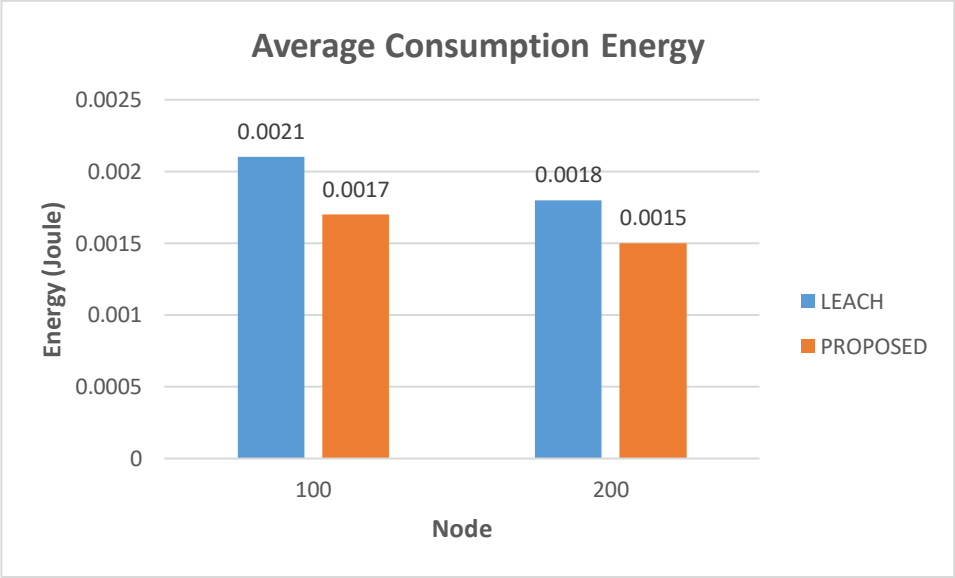
Gambar 4. 36 Total Consumption Energy 100 *node* pada skenario 6

Sedangkan pada jumlah *node* yang lebih besar yaitu 200 *node*, perbandingan *consumption energy* antara protokol dengan metode usulan dan protokol LEACH juga memiliki hasil dimana protokol dengan metode usulan memiliki konsumsi energi yang lebih kecil dan transmisi lebih panjang dari pada protokol LEACH. Hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 4.37.



Gambar 4. 37 Total Consumption Energy 200 *node* pada skenario 6

Average consumption energy per transmition adalah rata-rata energi yang digunakan setip *node* per *round* pada simulasi dari *node* tersebut digunakan sampai *node* mati. Berdasarkan pengujian diatas protokol dengan metode usulan mempunya rata-rata konsumsi yang lebih sedikit dari pada protokol LEACH. Pada pengujian 100 node, protokol dengan metode usulan memiliki rata-rata energi 0.0017 *joule* sedangkan protokol LEACH memiliki rata-rata energi 0.0021 *joule*. Pada jumlah node yang lebih besar yaitu 200 node, protokol dengan metode usulan juga mempunya rata-rata konsumsi yang lebih sedikit dari pada protokol LEACH, yaitu 0.0015 *joule* untuk protokol dengan metode usulan dan 0.0018 *joule* untuk protokol LEACH. Untuk lebih jelasnya hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 4.38.



Gambar 4. 38 Rata-rata *consumption energy* pada skenario 6

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini menjelaskan kesimpulan yang dapat diambil berdasarkan penelitian yang telah dilakukan. Dalam bab ini diuraikan terkait hal-hal yang perlu dipertimbangkan untuk pengembangan penelitian lebih lanjut. Adapun penjelasan yang lebih rinci akan dijelaskan pada sub bab berikut.

1.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1 Dengan optimasi pemilihan *cluster* head pada *wireless sensor network* menggunakan *Fuzzy c-means* dan *Particle Swan Optimation* mampu meminimalkan konsumsi energi dan masa hidup pada *wireless sensor network.*

2 Jumlah *cluster* optimal pada *Fuzzy c-means* dipengaruhi oleh kepadatan node, luas area, dan posisi sink. Apabila jumlah *cluster* terlalu sedikit atau terlalu banyak akan mengurangi kemampuan dari proses *data gathering*.

3 Protokol dengan metode usulan dibandingkan dengan protokol LEACH berhasil mengurangi konsumsi energi. Rata-rata konsumsi energi pada protokol metode usulan dengan 100 node yaitu 0.000886 *joule* dan untuk 200 node yaitu 0.000709 *joule*, sedangkan pada protokol LEACH rata-rata konsumsi energi pada 100 node yaitu 0.001034 *joule* dan untuk 200 node yaitu 0.001259 *joule.*

4 Protokol dengan metode usulan dibandingkan dengan protokol LEACH berhasil meningkatkan *network lifetime*. Rata-rata *network lifetime* pada protokol metode usulan dengan 100 node yaitu 5832 *round* dan untuk 200 node yaitu 6292 *round*, sedangkan pada protokol LEACH rata-rata *network lifetime* pada 100 node yaitu 3698 *round* dan untuk 200 node yaitu 4962 *round*.

5.2 Saran

Dari penelitian yang telah dilakukan masih terdapat hal yang dapat dikembangkan seperti tidak hanya mempertimbangkan kepadatan node suatu *cluster*, jarak antar node, jarak antar *cluster* head, jarak terhadap sink namun dapat menambahkan variable yang lain.

DAFTAR PUSTAKA

Akyildiz, I. F., Su, W., Sankarasubramaniam, Y., & Cayirci, E. (2002). Wireless sensor networks: A survey. *Computer Networks*, *38*(4), 393–422. https://doi.org/10.1016/S1389-1286(01)00302-4

Al-Baz, A., & El-Sayed, A. (2018). A new algorithm for *cluster* head selection in LEACH protocol for wireless sensor networks. *International Journal of Communication Systems*, *31*(1), 1–13. https://doi.org/10.1002/dac.3407

Alia, O. M. D. (2014). A decentralized *fuzzy c-means*-based energy-efficient routing protocol for wireless sensor networks. *Scientific World Journal*, *2014*. https://doi.org/10.1155/2014/647281

Bezdek, J. C. (1981). Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms. In *Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms*. https://doi.org/10.1007/978-1-4757-0450-1

Bouyer, A., Hatamlou, A., & Masdari, M. (2015a). A new approach for decreasing energy in wireless sensor networks with hybrid LEACH protocol and *fuzzy c-means* algorithm. *International Journal of Communication Networks and Distributed Systems*, *14*(4), 400–412. https://doi.org/10.1504/IJCNDS.2015.069675

Bouyer, A., Hatamlou, A., & Masdari, M. (2015b). A new approach for decreasing energy in wireless sensor networks with hybrid LEACH protocol and *fuzzy c-means* algorithm. *International Journal of Communication Networks and Distributed Systems*, *14*(4), 400–412. https://doi.org/10.1504/IJCNDS.2015.069675

Goswami, A., & Kumar, M. (2017). *A Review on Energy Harvesting in Wireless*. https://doi.org/10.15680/IJIRSET.2017.0604138

Heinzelman, W. B., Chandrakasan, A. P., & Balakrishnan, H. (2002). An application-specific protocol architecture for wireless microsensor networks. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, *1*(4), 660–670. https://doi.org/10.1109/TWC.2002.804190

Heinzelman, W. R., Chandrakasan, A., & Balakrishnan, H. (2000). Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks. *Proceedings of the Hawaii International Conference on System Sciences*. https://doi.org/10.1109/hicss.2000.926982

Hoang, D. C., Kumar, R., & Panda, S. K. (2010). *Fuzzy c-means cluster*ing protocol for Wireless Sensor Networks. *IEEE International Symposium on Industrial Electronics*, 3477–3482. https://doi.org/10.1109/ISIE.2010.5637779

Izakian, H., & Abraham, A. (2011). *Fuzzy c-means* and fuzzy swarm for fuzzy *cluster*ing problem. *Expert Systems with Applications*, *38*(3), 1835–1838. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.07.112

Lizhong, X., Zhiqing, S., & Gang, L. (2006). K-means algorithm based on particle swarm optimization algorithm for anomaly intrusion detection. *Proceedings of the World Congress on Intelligent Control and Automation (WCICA)*, *2*, 5854–5858. https://doi.org/10.1109/WCICA.2006.1714200

Mehra, P. S., Doja, M. N., & Alam, B. (2018). Fuzzy based enhanced *cluster* head selection (FBECS) for WSN. *Journal of King Saud University - Science*. https://doi.org/10.1016/j.jksus.2018.04.031

Nithya, B., Abhinaya, S. B., & Lavanya, V. (2018). A Party-based *Cluster* Head Selection Algorithm for Wireless Sensor Networks. *2018 International Conference on Computing, Power and Communication Technologies (GUCON)*, 327–332. https://doi.org/10.1109/GUCON.2018.8675041

Peng, K. (2017). A Survey of Energy-efficient Data Gathering of Wireless Sensor Networks. *Journal of Software Engineering*, *11*(1), 94–101. https://doi.org/10.3923/jse.2017.94.101

Raghavendra, S. L., & C. (2002). PEGASIS: Power-Efficient Gathering in Sensor Information Systems. *IEEE Aerospace Conference Proceedings*. https://doi.org/10.1.1.21.7806

Rajagopal, A. (2018). Performance Analysis for Efficient *Cluster* Head Selection in Wireless Sensor Network Using RBFO and Hybrid BFO-BSO. *International Journal of Wireless Communications and Mobile Computing*,

6(1), 1. https://doi.org/10.11648/j.wcmc.20180601.11

Singh, S. K., Kumar, P., & Singh, J. P. (2017). A Survey on Successors of LEACH Protocol. *IEEE Access*, *5*(c), 4298–4328. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2666082

Vuran, M. C., Akan, Ö. B., & Akyildiz, I. F. (2004). Spatio-temporal correlation: Theory and applications for wireless sensor networks. *Computer Networks*, *45*(3), 245–259. https://doi.org/10.1016/j.comnet.2004.03.007

Xu, J., Jin, N., Lou, X., Peng, T., Zhou, Q., & Chen, Y. (2012). Improvement of LEACH protocol for WSN. *2012 9th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery*, (Fskd), 2174–2177. https://doi.org/10.1109/FSKD.2012.6233907