

## PERANCANGAN KOMUNIKASI *INTER CLUSTER* ANTARA *CLUSTER HEAD* DENGAN *GATEWAY (NODE SINK)* MENGGUNAKAN PERUTEAN LEACH

Muthia Nur Fajrina<sup>\*)</sup>, Imam Santoso dan Teguh Prakoso

Program Studi Sarjana Departemen Teknik Elektro, Universitas Diponegoro  
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

<sup>\*)</sup>E-mail: muthianf@gmail.com

### Abstrak

Hidroponik adalah cara bercocok tanam dengan memanfaatkan air dan tanpa menggunakan tanah. Faktor-faktor yang mempengaruhi pertumbuhan hidroponik salah satunya adalah kondisi lingkungan yaitu suhu dan kelembaban. Akan tetapi pemantauan suhu dan kelembaban masih dilakukan secara manual. Oleh karena itu diperlukan suatu teknologi untuk memudahkan pemantauan. JSN atau Jaringan Sensor Nirkabel merupakan teknologi yang cocok digunakan untuk melakukan pemantauan jarak jauh. Isu utama yang masih menjadi permasalahan yaitu efisiensi energi pada JSN. LEACH (*Low Energy Adaptive Cluster Hierarchy*) adalah salah satu metode perutean model hierarki dalam JSN yang paling baik dalam hal efisiensi energi. Selain menerapkan perutean, untuk mengurangi konsumsi energi dan kemungkinan *overheating*, diterapkan juga penjadwalan pengiriman menggunakan mode *deep sleep*. Penerapan mode *deep sleep* pada perangkat keras berhasil meningkatkan masa hidup *cluster head* hingga 83,17% dan *gateway* hingga 30,59%. Hasil pengujian keseluruhan sistem menunjukkan bahwa seluruh perangkat keras dapat berjalan dengan baik, sistem dapat mengeluarkan *output* berupa hasil pembacaan nilai suhu dan kelembaban dengan persentase rata-rata *error* secara keseluruhan untuk pembacaan suhu sebesar 3,54% dan kelembaban sebesar 7,7%.

*Kata kunci: Hidroponik, JSN, Jaringan Sensor Nirkabel, LEACH, Masa Hidup*

### Abstract

*Hydroponics is the process of growing plants using water and without soil. One of the factors that influence hydroponic growth is environmental conditions, such as temperature and humidity. However, monitoring of temperature and humidity is still done manually. Therefore we need technology that can facilitate the monitoring. Wireless Sensor Network or WSN is a suitable technology for remote monitoring. The main issue of WSN is energy efficiency. LEACH (Low Energy Adaptive Cluster Hierarchy) is one of the best hierarchical routing methods in JSN in terms of energy efficiency. In addition to implementing routing, to reduce energy consumption and possible overheating, sleep-wake up scheduling is also implemented. In addition to implementing routing, to reduce energy consumption and possible overheating, delivery scheduling is also implemented using deep sleep mode. The implementation of deep sleep mode on the hardware succeeded in increasing the lifespan of cluster heads up to 83.17% and gateway up to 30.59%. The test results of the whole system shows that all hardware can run well, the system can issue output in the form of reading the temperature and humidity values with an overall average error percentage for temperature readings of 3.54% and humidity of 7.7%.*

*Keywords: Hydroponics, WSN, Wireless Sensor Network, LEACH, Lifetime*

### 1. Pendahuluan

Hidroponik merupakan cara bercocok tanam dengan memanfaatkan air dan tanpa menggunakan tanah. Cara ini merupakan salah satu alternatif bercocok tanam bagi masyarakat yang tidak memiliki lahan yang begitu luas. Terdapat faktor-faktor yang mempengaruhi pertumbuhan tanaman hidroponik, salah satunya faktor kondisi lingkungan yang mencakup suhu dan kelembaban untuk tanaman hidroponik. Suhu dan kelembaban udara dalam bidang pertanian biasanya digunakan untuk meningkatkan

produktifitas dan perkembangan tumbuhan [1]. Keberhasilan dalam menerapkan metode bercocok tanam ini dipengaruhi oleh bagaimana pemilik melakukan perawatan untuk tanamnya. Akan tetapi pemeliharaan tanaman hidroponik masih dilakukan secara manual termasuk pemantauan suhu dan kelembabannya. Oleh sebab itu diperlukan suatu teknologi yang dapat memudahkan pemantauan terhadap suhu dan tanaman hidroponik sehingga pemantauan dapat dilakukan dengan praktis tanpa perlu datang ke lokasi.

Jaringan Sensor Nirkabel atau JSN merupakan kumpulan node sensor yang digunakan untuk melakukan pengontrolan, pemantauan, dan lainnya. Pola komunikasi pada JSN umumnya yaitu ketika node sensor telah berhasil melakukan pemindaian (*sensing*), data yang didapatkan akan dikirim menuju sejumlah node yang sudah ditentukan sebagai penghimpun data [2]. JSN adalah kumpulan dari node sensor yang memiliki kemampuan untuk mengoperasikan perangkat seperti aktuator, motor, dan saklar untuk mengatur kondisi [3]. Setiap node dapat mengumpulkan data dan berkomunikasi dengan satu sama lain [4].

Node sensor merupakan perangkat yang mendeteksi objek dan mengirimkan data menuju *gateway* atau *sink* [5]. Node sensor dapat mengirim data secara langsung (*single-hop*) atau melewati beberapa node (*multi-hop*) terlebih dahulu [6]. *Gateway* adalah perangkat yang mengumpulkan informasi dari node sensor menuju ke penyimpanan. Komponen ini dapat diibaratkan sebagai gerbang keluar masuk (*gateway*) informasi baik dari sensor node maupun perangkat lain ke JSN [7].

Pada penerapannya JSN terdiri dari beberapa node sensor yang diletakkan di tempat yang berbeda untuk memantau kondisi lingkungan [8]. Pada penelitian ini node sensor akan melakukan pemantauan terhadap suhu dan kelembaban tanaman hidroponik.

Terlebih dari kelebihan JSN dalam memudahkan pemantauan jarak jauh, JSN masih memiliki masalah utama dalam implementasinya yaitu keterbatasan energi [9]. Salah satu kelemahan yang menjadi isu utama adalah daya dukung baterai yang terbatas, sehingga hanya mendukung transmisi dalam jumlah terbatas [10]. Ketika daya yang digunakan sudah habis maka JSN tidak dapat mengirimkan data dan pemantauan tidak dapat dilakukan. Hal ini dapat mengganggu keberjalanan budidaya tanaman hidroponik sebab jika pengguna terlambat untuk mengambil tindakan dapat menurunkan kualitas hasil panen.

Salah satu metode perutean hierarki dalam JSN yang paling baik untuk menangani permasalahan tersebut adalah LEACH. Terdapat banyak penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, penelitian [4] mengimplementasikan protokol perutean LEACH dengan studi kasus pemantauan berupa suhu dan kelembaban sehingga dapat diperoleh metode optimum waktu hidup jaringan. Terdapat pula penelitian [11] yang mengimplementasikan protokol perutean LEACH kedalam sistem absensi untuk mendapatkan sistem dengan pemakaian energi yang efektif dan sistem yang lebih stabil.

Pada perutean LEACH node sensor terbagi menjadi beberapa kelompok atau *cluster*. Tiap-tiap *cluster* memiliki satu node yang berfungsi sebagai *cluster head*. Node sensor akan melakukan penginderaan terhadap suhu dan

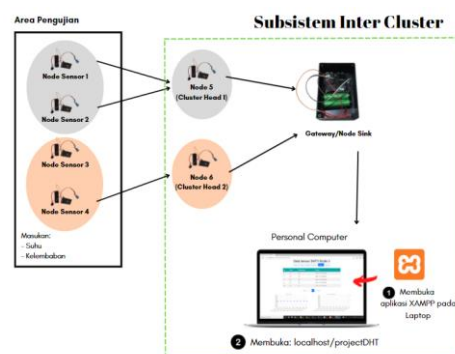
kelembaban lingkungan, setelah itu data yang didapat akan dikirimkan ke *cluster head*. *Cluster head* yang bertindak sebagai node koordinator antara node sensor dan *gateway* akan menerima data tersebut dan meneruskannya ke *gateway*. Pengurangan konsumsi energi dalam transmisi data dicapai karena *cluster head* terlibat dalam transmisi ke *gateway* [12]. Untuk memudahkan pengguna dalam memantau suhu dan kelembaban dari jarak jauh, *gateway* akan mengirimkan data yang diterima ke *web server*.

Dari permasalahan tersebut, penelitian ini berfokus pada masa hidup JSN untuk pemantauan suhu dan kelembaban tanaman hidroponik dengan menerapkan perutean LEACH untuk menekan konsumsi energi serta memudahkan pemantauan suhu dan kelembaban.

## 2. Metode

### 2.1. Desain Sistem

Secara keseluruhan, sistem JSN pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1. Komunikasi pada JSN terbagi menjadi 2 yaitu komunikasi *intra cluster* dan komunikasi *inter cluster*.



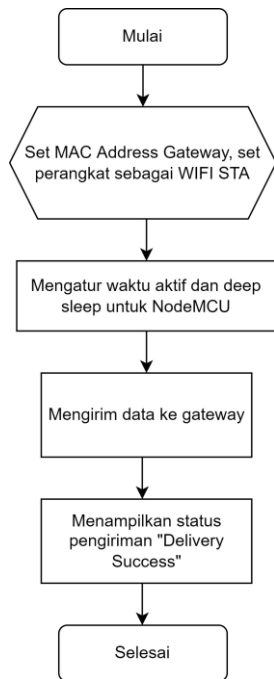
Gambar 1. Desain Sistem JSN Keseluruhan

Pada penerapannya, node sensor yang telah berhasil melakukan penginderaan di lingkungan sekitar akan mengirim nilai hasil penginderaan ke *cluster head*. *Cluster head* berperan sebagai penerima data dari node sensor. *Cluster head* yang telah menerima data akan mengirimkannya secara nirkabel ke node yang menjadi *gateway*. *Gateway* berfungsi sebagai penerima data dari *cluster head*. Untuk mempermudah pengguna dalam memonitor suhu dan kelembaban, diperlukan *web server* sebagai *user interface* yang akan menampilkan data berupa nilai suhu dan kelembaban. *Gateway* akan mengirimkan data yang diterimanya ke *web server* menggunakan koneksi *wifi*. *Web server* pada penelitian ini menggunakan perangkat lunak XAMPP untuk mengaksesnya.

### 2.2. Perancangan Cluster Head

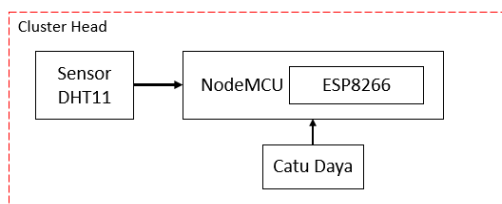
Perancangan pada *cluster head* diawali dengan inisialisasi untuk menentukan pengaturan awal dari perangkat keras

serta mengatur MAC address penerima (gateway) untuk dipasangkan. Pada penelitian ini cluster head menggunakan mode wifi station, sehingga cluster head menjadi server dan client. Cluster head menjadi server untuk node sensor yang memungkinkan cluster head untuk menampung data dari node sensor. Sebagai client, cluster head akan mengirimkan data yang sudah dikumpulkan ke gateway melalui MAC address gateway. Gambar 2 merupakan diagram alir perancangan cluster head.



Gambar 2. Diagram Alir Perancangan Cluster Head

Node 1 hingga node 6 pada Gambar 1 merupakan NodeMCU dan sensor DHT11 yang disambungkan dengan baterai 18650 sebagai catu daya cluster head. Gambar 3 merupakan diagram blok sistem cluster head.

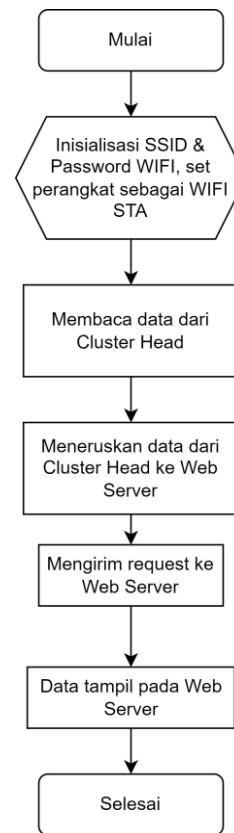


Gambar 3. Diagram Blok Sistem Cluster Head

### 2.3. Perancangan Gateway

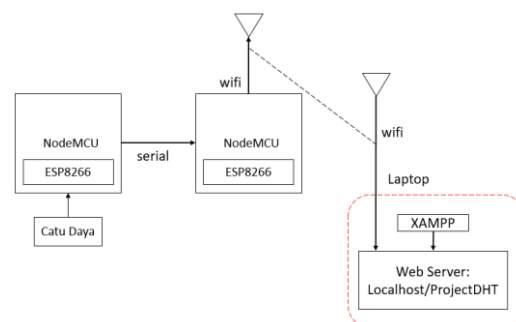
Pada bagian ini gateway menjadi server dan client. Gateway menjadi server untuk cluster head, sehingga gateway dapat mengumpulkan data dari cluster head berupa nilai suhu dan kelembaban dari node sensor dan cluster head itu sendiri. Sebagai client, gateway akan terhubung dengan wifi untuk mengirimkan data yang

sudah dikumpulkan ke web server. Diagram alir gateway dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram Alir Gateway

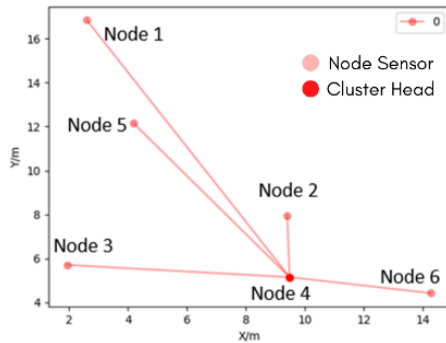
Gambar 5 merupakan diagram blok sistem pada gateway. Gateway terdiri dari 2 NodeMCU yang keduanya saling terhubung secara dengan kabel jumper dan berkomunikasi secara serial. Salah satu NodeMCU bertindak sebagai penerima data dari cluster head dan pengirim data sedangkan NodeMCU yang lain bertindak sebagai penerima data sekaligus pengirim data ke web server. Catu daya yang digunakan pada gateway adalah baterai lithium ion 18650 dengan kapasitas 2600 mAh sebanyak 2 buah dikarenakan pada gateway terdapat 2 NodeMCU. Untuk dapat mengakses web server diperlukan aplikasi XAMPP terlebih dahulu untuk membukanya.



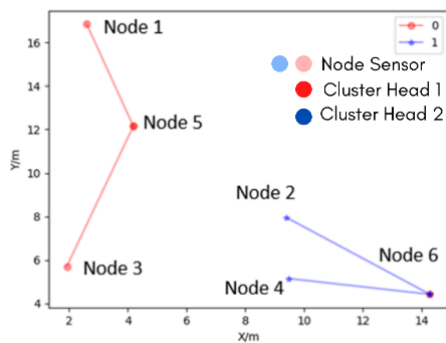
Gambar 5. Diagram Blok Sistem Gateway

## 2.4. Perancangan Perutean

Untuk mengatur proses komunikasi *inter cluster* diperlukan sebuah perutean. Komunikasi *inter cluster* pada penelitian ini melibatkan 1 *cluster head* dengan 1 *gateway* serta 2 *cluster head* dengan 1 *gateway*. Konfigurasi yang digunakan pada perutean LEACH didapat dari hasil simulasi yang telah dilakukan sebelumnya.



Gambar 6. Konfigurasi dengan 1 cluster head

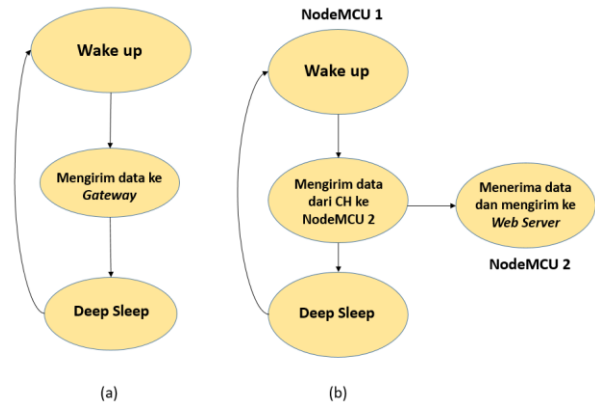


Gambar 7. Konfigurasi dengan 2 cluster head

Transmisi data yang dilakukan secara terus menerus setiap detik dapat mempengaruhi masa hidup baterai. TDMA dikaitkan dengan perutean LEACH untuk penerapan mode *sleep* ke node sensor sehingga dapat mengkonsumsi energi yang rendah [13]. Perangkat keras JSN harus hemat energi. Sehingga mikrokontroler, kontrol daya dan unit komunikasi di jaringan sensor harus dirancang untuk mengkonsumsi lebih sedikit energi [14]. Maka dari itu pada NodeMCU diterapkan mode *deep sleep*. Saat berada dalam mode *deep sleep*, ESP8266 mengkonsumsi sekitar 60uA dan kurang dari 1 mA untuk tetap terhubung dengan *access point* [15].

Dalam penerapannya, kegiatan yang dilakukan oleh *cluster head* dan *gateway* tidak berjalan terus menerus. Mode *deep sleep* diterapkan untuk mengurangi konsumsi energi pada *cluster head* dan *gateway*. Pada mode *deep sleep*, *cluster head* dan *gateway* akan mematikan fitur-fitur yang tidak digunakan pada masing-masing perangkat keras sehingga konsumsi arus yang digunakan sangat sedikit.

Padaperancangan ini pengujian akan dilakukan selama 2 dengan kondisi aktif selama 1 menit dan *deep sleep* 1 menit.



Gambar 8. (a) state diagram cluster head  
(b) state diagram gateway

Gambar 8 merupakan *state diagram* untuk *cluster head* dan *gateway*. Terdapat 2 kondisi untuk *cluster head* dan *gateway*, yaitu kondisi *wake up* atau aktif dan *deep sleep*. Saat *cluster head* berada pada kondisi *wake up*, *cluster head* sedang aktif dan akan melakukan pengukuran suhu dan kelembaban selama waktu yang ditentukan. *Cluster head* juga akan menerima data dari node sensor dengan *board ID* yang sesuai dengan *board ID* anggota *cluster head*. Sebelum berpindah ke mode *deep sleep*, *cluster head* akan mengirimkan data yang sudah diterimanya ke *gateway* kemudian berubah ke kondisi *deep sleep* selama beberapa saat. Pada *gateway*, saat kondisi *wake up gateway* akan menerima data dari *cluster head* selama waktu yang sudah ditentukan, setelah data-data tersebut diterima, *gateway* akan mengirimkan data yang diterima ke *web server*. Terdapat dua modul NodeMCU yang ada pada *gateway*. Kondisi *deep sleep* diterapkan pada NodeMCU 1, ketika berada pada kondisi *wake up*, NodeMCU 1 akan menerima data dari *cluster head* berupa suhu dan kelembaban dan mengirimkan data tersebut secara serial ke NodeMCU sebelum berpindah ke mode *deep sleep*.

## 3. Hasil dan Analisa

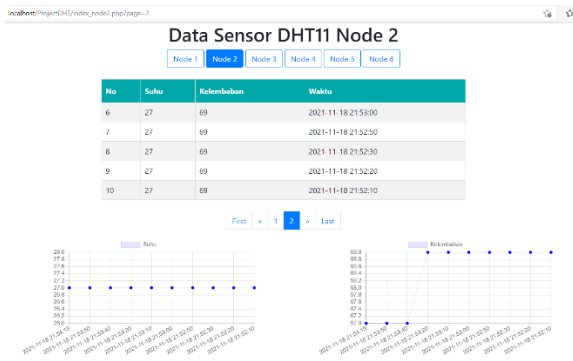
### 3.1. Pengujian Halaman Monitoring

```
COM3
22:23:31.011 -> ?.....
Terhubung ke Elza Lantai 2
IP address : 192.168.0.108
```

Gambar 9. Serial monitor saat connecting to wifi

Pengujian ini diawali dengan menghubungkan NodeMCU ke wifi Elza Lantai 2. Setelah modul wifi terhubung maka sistem mulai berjalan. Setelah sistem berjalan selama 10 detik maka hasil pembacaan terakhir akan dikirimkan ke

server lokal yang ada di komputer, sehingga pada web server localhost akan ditampilkan pembacaan. Web server yang digunakan menggunakan perangkat lunak XAMPP Halaman monitoring memiliki fungsi untuk menampilkan hasil monitoring terhadap suhu dan kelembaban sekitar. Halaman monitoring berisi informasi mengenai nilai suhu dan kelembaban lingkungan serta waktu nilai tersebut tampil pada web server. Halaman monitoring terdiri 6 bagian yaitu halaman monitoring untuk node 1, node 2, node 3, node 4, node 5, dan node 6. Informasi tersebut ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik seperti pada Gambar 10.



Gambar 10. Halaman web monitoring node

Pada Gambar 4.7 dapat dilihat nilai suhu dan kelembaban yang ada pada Node 2. Terdapat 10 data yang ditampilkan dengan pengiriman setiap 10 detik. Dapat dilihat bahwa nilai suhu yang tampil 27°C serta kelembaban 67% dan 69%.

Terdapat beberapa delay selama pengiriman. Terdapat delay selama 20 detik antara data 3 dan 4 serta data 7 dan 8. Pada data 1 dan 2 juga terdapat delay selama 35 detik. Delay pada web server disebabkan karena gateway mengirim banyak data di waktu yang bersamaan

### 3.2. Pengujian Sensor DHT11

Pengujian sensor DHT11 dilakukan bertujuan untuk mengukur kemampuan sensor DHT11 dalam melakukan penginderaan suhu dan kelembaban. Pada pengujian ini akan dibandingkan hasil penginderaan sensor DHT11 dengan thermohygrometer digital merek HTC-1.

Pada pengujian ini terdapat 10 data dari tiap-tiap node yang berhasil diterima oleh web server. Dari nilai suhu dan kelembaban yang didapat kemudian dihitung persentase error menggunakan persamaan 1.

$$\%error = \frac{\text{nilai sensor} - \text{nilai acuan}}{\text{nilai acuan}} \times 100\% \quad (1)$$

Tabel 1. Hasil Perhitungan Persentase Error pada Node

Node	Error (%)	
	Suhu	Kelembaban
1	1.14	4.47
2	2.66	2.086
3	4.94	19.4
4	1.14	9.39
5	4.94	9.39
6	6.46	1.937
<b>Rata-rata</b>	<b>3.54</b>	<b>7.77</b>

Rata-rata error keseluruhan yang didapat untuk suhu dan kelembaban yaitu 3,54% dan 7,77%. Nilai rata-rata error tergolong kecil dan masih dapat di toleransi.

### 3.3. Pengujian Konsumsi Arus

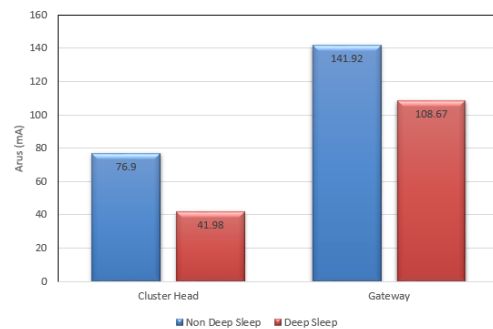
Pengujian konsumsi arus dilakukan untuk mengetahui konsumsi arus oleh cluster head dan gateway saat berada pada kondisi aktif dan deep sleep. Pengukuran dilakukan dengan multimeter digital. Pada pengujian ini cluster head menggunakan satu baterai lithium ion 18650 3,7 volt dengan kapasitas 2600 mAh sedangkan pada gateway digunakan dua baterai. Pengujian konsumsi arus dilakukan dengan mengukur arus yang mengalir selama 2 menit dengan kondisi aktif selama 1 menit dan deep sleep selama 1 menit. Dari pengujian yang telah dilakukan, didapatkan nilai konsumsi arus selama satu jam dengan persamaan 2.

$$I_{1 \text{ jam}} = \frac{(I_{\text{aktif}} \times t_{\text{aktif}}) + (I_{\text{DS}} \times t_{\text{DS}})}{3600} \times 30 \quad (2)$$

Tabel 2. Konsumsi Arus selama 1 Jam

Node	I <sub>aktif</sub> (mA)	I <sub>deep sleep</sub> (mA)
Cluster Head	76,9	41,98
Gateway	141,92	108,67

Pada tabel 2 dapat dilihat bahwa saat cluster head berada pada kondisi aktif arus yang mengalir yaitu 76,9 mA dan saat kondisi deep sleep yaitu 41,98 mA. Pada gateway arus yang mengalir saat kondisi aktif yaitu 141,92 mA dan saat kondisi deep sleep yaitu 108,6 mA.



Gambar 11. Grafik Perbandingan Konsumsi Arus

Gambar 11 menampilkan grafik perbandingan konsumsi arus dengan dan tanpa mode *deep sleep*. Penerapan mode *deep sleep* dapat mengurangi konsumsi arus pada node.

Berdasarkan hasil perhitungan konsumsi arus yang didapat pada Tabel 2, perkiraan masa hidup node dapat dihitung menggunakan persamaan 3.  $I_{aktif}$  dan  $I_{deep\ sleep}$  didapat dengan menghitung rata-rata konsumsi arus dari hasil pengukuran yang telah dilakukan pada setiap konfigurasi

$$Masa\ Hidup = \frac{Kapasitas\ Baterai}{Konsumsi\ Arus} \quad (3)$$

Tabel 3. Perbandingan Masa Hidup

Node	Masa Hidup (Jam)		$\Delta H$ (%)
	Non DS	DS	
Cluster Head	33 jam 48 menit	61 jam 55 menit	83,17
Gateway	36 jam 38 menit	47 jam 51 menit	30,59

Tabel 3 merupakan perbandingan masa hidup *cluster head* dan *gateway* dengan dua kondisi yang berbeda. Non DS berarti non *deep sleep* atau tanpa *deep sleep*. Saat *cluster head* melakukan pengiriman secara terus menerus tanpa henti, perkiraan masa hidup *cluster head* adalah 33 jam 48 menit. Saat diterapkan mode *deep sleep*, *cluster head* akan melakukan pengiriman secara periodik. *Cluster head* dapat bertahan hingga 61 jam 55 menit. Mode *deep sleep* dapat mengurangi konsumsi arus pada perangkat keras *cluster head* dan menaikkan masa hidup *cluster head* hingga 83,17%.

Saat *gateway* berada pada kondisi aktif dan melakukan pengiriman tanpa henti, perkiraan masa hidup *gateway* adalah 36 jam 38 menit. Ketika diterapkan mode *deep sleep* masa hidupnya dapat mencapai 47 jam 51 menit. Mode *deep sleep* dapat menaikkan masa hidup *gateway* hingga 30,59%.

#### 4. Kesimpulan

Implementasi LEACH pada perangkat keras telah berhasil dibuat dan sistem berhasil berjalan sesuai apa yang telah dirancang. Penerapan mode *deep sleep* pada node berhasil menurunkan arus yang dikonsumsi dan memperpanjang masa hidup baterai hingga 83,17% pada *cluster head* dan 30,59% pada *gateway*. Secara keseluruhan sistem menunjukkan bahwa perangkat keras berjalan dengan baik dan sistem dapat mengeluarkan *output* berupa hasil pembacaan nilai suhu dan kelembaban yang ditampilkan pada *web server* dengan persentase rata-rata *error* pembacaan pada sensor DHT11 masih dapat ditoleransi yaitu 3,54% untuk suhu dan 7,77% untuk kelembaban. Saran untuk pengembangan penelitian kedepannya yaitu menerapkan mode *deep sleep* pada kedua komponen *gateway* agar masa hidup *gateway* bisa bertahan lebih lama dan membandingkan konsumsi arus NodeMCU ESP8266 dengan mikrokontroler atau modul komunikasi yang

lainnya sehingga bisa didapatkan JSN dengan masa hidup yang lebih lama.

#### Referensi

- [1]. B. Haryanto, N. Ismail, E. J. Pristianto. Sistem Monitoring Suhu dan Kelembapan Secara Nirkabel pada Budidaya Tanaman Hidroponik. *J. Teknol. Rekayasa*, vol. 3, no. 1, p. 47, 2018, doi: 10.31544/jtera.v3.i1.2018.47-54.
- [2]. L. D. Astuti, W. Wibisono. Peningkatan Network Lifetime Pada Wireless Sensor Network Menggunakan Clustered Shortest Geopath Routing (C-SGP) Protocol. *J. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput.*, vol. 4, no. 3, p. 148, 2017, doi: 10.25126/jtiik.201743336.
- [3]. M. Kaur, A. Singh. Detection and mitigation of sinkhole attack in wireless sensor network. *Proc. - 2016 Int. Conf. Micro-Electronics Telecommun. Eng. ICMETE 2016*, pp. 217–221, 2016, doi: 10.1109/ICMETE.2016.117.
- [4]. R. Sumiharto, R. Ilma, R. Rif' Atunnisa. Metode Routing Protokol LEACH pada Jaringan Sensor Nirkabel Studi Kasus Sistem Pemantauan Suhu dan Kelembaban Udara. *IJEIS (Indonesian J. Electron. Instrum. Syst.)*, vol. 9, no. 1, p. 87, 2019, doi: 10.22146/ijeis.44449.
- [5]. A. Suhada. Sistem Keamanan Gedung Berbasis Wireless Sensor Network Dengan Modul Nrf24. *e-Proceeding Eng.*, vol. 3, no. 2, pp. 1360–1367, 2016.
- [6]. F. Dwi Nugraheni. IMPLEMENTASI WSN UNTUK KONTROL PERANGKAT ELEKTRONIK (SUBSYSTEM SENSOR NODE). *e-Proceeding of Applied Science*, vol. 2, no. 3, pp. 1286–1295, 2016.
- [7]. M. B. Aufar. Analisis Simulasi Routing Protocol Hierarkial Leach Dan Pegasis Pada Wireless Sensor Network Simulation Analysis of Leach and Pegasis Hierarchical Routing. *e-Proceeding of Applied Science*, vol. 4, no. 1, pp. 516–526, 2017.
- [8]. T. A. Pamudji, M. T. Kurniawan, A. Widjarto. Mitigasi Serangan Wormhole Pada Teknologi Wireless Sensor Network Menggunakan Protokol Routing AODV Dengan Sistem Shutdown. *J. Rekayasa Sist. Ind.*, vol. 5, no. 02, p. 94, 2018, doi: 10.25124/jrsi.v5i01.317.
- [9]. F. F. Kusumastuti, I. Wahidah, R. Mayasari. Analisis Perbandingan Konsumsi Daya dan Masa Hidup Jaringan pada Protokol Routing LEACH dan HEED di Wireless Sensor Network. *Conf. Inf. Technol. Inf. Syst. Electr. Eng.*, pp. 57–64, 2016.
- [10]. R. K. Lenka, A. Aggarwal, A. Rath, S. Sharma. Cluster-based rendezvous routing protocol for wireless sensor network. *Proceeding - IEEE Int. Conf. Comput. Commun. Autom. ICCA 2017*, vol. 2017-Janua, no. 5, pp. 748–752, 2017, doi: 10.1109/ICCA.2017.8229921.
- [11]. R. Kurniawan, F. Candra. Perancangan Protokol LEACH Untuk Aplikasi Sistem Absensi Sidik Jari di Fakultas Teknik Universitas Riau. 2019.
- [12]. S. S. Adekunle. An Energy Efficient Protocol Based on Hierarchical Routing Technique for WSN. Thesis. Sweden. Blekinge Institute of Technology.
- [13]. L. Wang, J. Yan, T. Han, D. Deng. On connectivity and energy efficiency for sleeping-schedule-based wireless sensor networks. *Sensors (Switzerland)*, vol. 19, no. 9, 2019, doi: 10.3390/s19092126.

- [14]. K. Varshney, M. Kumar, V. Kumar, S. Akhter. Energy Efficient Data Transmission Scheme for Wireless Sensor Network using DSC-MIMO. *Int. J. Comput. Appl.*, vol. 167, no. 6, pp. 37-43, 2017, doi: 10.5120/ijca2017914329.
- [15]. T. Thaker. ESP8266 based implementation of wireless sensor network with Linux based web-server. *2016 Symp. Colossal Data Anal. Networking, CDAN 2016*, 2016, doi: 10.1109/CDAN.2016.7570919.