



# **PENGEMBANGAN REAKTOR BIOGAS BERBASIS INTERNET of THINGS (IoT) DENGAN PEMANFAATAN RUMPUT LAUT SEBAGAI BAHAN BAKU BIOGAS**

**NUR AINI UWAR**



**PROGRAM STUDI TEKNOLOGI KEAUTAN  
SEKOLAH PASCASARJANA  
INSTITUT PERTANIAN BOGOR  
2025**

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
    - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
    - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
  2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



## PERNYATAAN MENGENAI DISERTASI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa disertasi dengan judul “Pengembangan Reaktor Biogas Berbasis *Internet of Things (IoT)* Dengan Pemanfaatan Rumput Laut Sebagai Bahan Baku Biogas” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir disertasi ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Agustus 2025

Nur Aini Uwar  
C560211002

@iainipb

## RINGKASAN

NUR AINI UWAR. Pengembangan Reaktor Biogas Berbasis *Internet of Things (Iot)* Dengan Pemanfaatan Rumput Laut Sebagai Bahan Baku Biogas. Dibimbing oleh SRI PUJIYATI, TOTOK HESTIRIANOTO, AYI RAHMAT, JOKO SANTOSO.

Pengembangan reaktor biogas berbasis IoT dengan menggunakan rumput laut sebagai bahan baku merupakan salah satu inovasi di bidang energi terbarukan. Reaktor biogas pada dasarnya mengalami perkembangan dari waktu ke waktu. Hal ini terlihat ditemukan bermacam-macam reaktor yang telah ada sebelumnya. Empat tipe reaktor biogas yang sering digunakan yakni: (1) Tipe *fixed demed plant*/kubah tetap (2), Tipe *floating drum plat*, (3) Tipe *plug flow* (4) Tipe *balloon pan*.

Rumput laut digunakan sebagai bahan baku biogas karena memiliki kandungan kimia yang dapat terurai secara anaerobik sehingga rumput laut ini dapat dijadikan substrat biogas yang sangat baik dan ramah lingkungan. Rumput laut dapat tumbuh dan melimpah pada pesisir pantai Indonesia.

Penggunaan *internet of things* (IoT) dalam reaktor biogas untuk mengoptimalkan proses fermentasi anaerob dengan monitoring reaktor biogas secara *real-time*. Adapun data yang dimonitoring adalah suhu, nilai pH, tekanan dan aliran gas. Sistem ini meningkatkan efisiensi produksi biogas, mengurangi kebutuhan untuk pekerjaan manual, dan mendukung pengembangan energi bersih berkelanjutan. Proses fermentasi anaerobik rumput laut dilaksanakan pada reaktor biogas. Untuk mengoptimalkan proses ini, teknologi IoT digunakan dalam bentuk sensor yang terhubung ke sistem pengawasan digital. Parameter yang dipantau berupa data suhu, sensor pH, sensor kelembaban, sensor tekanan, dan jumlah gas yang dihasilkan secara *real time* dari platform *cloud* yang akan dikumpulkan dan ditransfer ke aplikasi seluler, sehingga memudahkan pengguna dalam memantau kinerja reaktor.

Tujuan penelitian ini adalah: (1) Membuat rancang bangun reaktor biogas sederhana berbasis IoT, (2) Menganalisis sistem kinerja dari parameter-parameter yang digunakan secara *real-time* dalam proses fermentasi, (3) menganalisis hasil produksi gas dari tiga jenis rumput laut (*K alvarezii*, *Ulva* sp. *Sargasium* sp)

Penelitian tahapan pertama bertujuan untuk merancang sebuah reaktor berbasis (IoT). Penelitian ini menggunakan pipa PVC sebagai alat reaktor yang dilengkapi dengan sensor suhu, sensor tekanan, sensor kelembaban, dan sensor pH. Hasil dari rancangan adalah sebuah sistem integrasi antara sistem produksi biogas yang berbasis teknologi digital yang berfungsi mengendalikan, memonitoring, dan menganalisis data secara *real-time*. Komponen yang digunakan dalam sistem perancangan ini terdiri dari reaktor biogas, sensor-sensor IoT yakni sensor BMP180, sensor DHT1, sensor DS18B20, sensor pH-4502C, sensor MQ4 dan mikrokontroler ESP32 yang dilengkapi dengan modul wi-fi, pada sistem rancangan ini juga menggunakan platform monitoring yang memungkinkan data yang diperoleh dikirim ke dashboard (*Bnyk*) yang kemudian akan menampilkan data secara *real-time*. Selanjutnya adalah tahapan perancangan digester (reaktor) biogas, ini merupakan sebuah sistem yang digunakan untuk mengubah bahan organik menjadi biogas melalui proses anaerobik. Perancangan reaktor terdiri dari dua tabung, tabung pertama sebagai tabung pengolahan bahan baku rumput laut dan

rumen sapi, kemudian tabung kedua sebagai tabung penampungan biogas. Proses perancangan reaktor terdapat beberapa tahapan rangkaian sehingga dapat menghasilkan sebuah alat. Rancangan digester yang dirakit terdiri dari dua tabung yang terbuat dari pipa PVC 10 inch, saluran *inlet*, saluran *slurry*, dan saluran gas. Pada saluran *inlet* dirancang sebagai tempat masuknya bahan baku ke dalam reaktor, saluran *inlet* menggunakan pipa PVC ukuran 2 inch, saluran dibuat melengkung agar bahan baku yang dimasukkan dapat dibilas dan aroma dari bahan baku tidak keluar. Saluran *slurry* rancang pada reaktor dengan ketinggian 10 cm untuk tempat keluarnya sisa bahan baku dari hasil fermentasi, dengan tujuan agar sisa dari bahan baku fermentasi mudah dikeluarkan, pembuatan saluran *slurry* ini dengan menggunakan pipa PVC 1 inch

Penelitian tahapan kedua bertujuan menganalisis sistem kinerja dari parameter-parameter yang digunakan secara *real-time* dalam proses fermentasi. pada penelitian tahap ini mencakup aspek teknis dalam pengamatan hasil data lapangan, hasil pengamatan berupa parameter-parameter yang dipantau berupa sensor BMP180 yang berfungsi sebagai pembaca data tekanan gas yang dihasilkan, sensor DHT1 dan sensor DS18B20 berfungsi sebagai pengaturan aktivitas mikroorganisme dalam rentang suhu dan kelembaban yang optimal, sensor pH-4502C berfungsi sebagai keseimbangan senyawa kimia dalam fermentasi dengan rentang yang diperoleh berkisar antara 7-11, sensor MQ4 berfungsi sebagai hasil produksi yang efisiensi serta menjaga keseimbangan substrat input/output tidak melebihi kapasitas. Sistem kerja monitoring perlu dianalisis berupa akurasi data semua sensor.

Penelitian tahap ketiga bertujuan menganalisis hasil produksi gas dari tiga jenis rumput laut (*K. alvarezii*, *Ulva* sp. dan *Sargassum* sp.). Berdasarkan karakteristik biomassa dari tiga jenis rumput laut maka tujuan adalah untuk mengetahui efisiensi jenis rumput laut dari tiga jenis yang dapat menghasilkan biogas dalam proses fermentasi secara anaerob dilihat dari kandungan kadar lignin dan selulosa, kandungan bahan organik serta hasil biogas yang diperoleh (metana).

Dalam proses memonitoring terhadap suhu, tekanan, kelembaban dan hasil produksi menggunakan sensor-sensor yang telah diintegrasikan pada reaktor biogas. Hasil analisis dari tahapan ketiga untuk menghasilkan biogas menggunakan sensor suhu, sensor tekanan, sensor kelembaban dan sensor MQ4. Fungsi dan penggunaan sensor-sensor yakni sensor DS18B20, adalah sebagai pengukuran suhu air dalam digester, hasil yang diperoleh dengan menggunakan sensor ini adalah mendekati nilai sebenarnya karena memiliki error relatif kecil yakni 0.20°C dan akurasi 99%. Penggunaan sensor BMP180 untuk mengukur tekanan atmosfer dan suhu, sensor ini memiliki kemampuan untuk pengukuran tekanan dan suhu yang tepat. Sensor DHT11 dalam pembacaan data memiliki keunggulan dalam merespon lebih cepat dan cocok dalam berbagai aplikasi. Sensor pH 4502C adalah sensor merupakan sensor yang digunakan mengukur derajat keasaman (pH), sensor ini digunakan untuk memonitoring kadar pH dalam suatu larutan

Tiga jenis rumput laut *K. alvarezii*, *Ulva* sp. dan *Sargassum* sp. memiliki karakteristik sebagai berikut: untuk *K. alvarezii* ini merupakan rumput laut berwarna merah (*Rhodophyta*) memiliki potensi untuk dijadikan sebagai bahan baku karena mengandung protein, kadar lemak dan serat yang tinggi, sehingga rumput laut ini dapat memberikan kontribusinya dalam menghasilkan biogas dengan proses fermentasi secara bakteri anaerobik. jenis rumput laut *Ulva* sp.

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

(*Chlorophyta*)) memiliki potensi besar dalam membuat biogas karena jenis ini memiliki pertumbuhan yang cepat serta komposisi kandungan selulosa, protein dan klorofil dan mudah difermentasi karena memiliki kandungan protein yang tinggi. Kemudian untuk rumput laut *Sargassum* sp. (*Phaeophyta*) memiliki kandungan karbohidrat, protein dan lipid. yang dapat diuraikan secara anaerobik dalam proses fermentasi sehingga dapat menghasilkan biogas. bakteri anaerobik selama proses pencernaan alginat, manitol dan memiliki potensi biogas yang tinggi. Hasil penelitian selama 30 hari menunjukkan bahwa dari tiga jenis rumput laut dapat menghasilkan biogas dengan suhu berbeda-beda yaitu untuk jenis *K. alvarezii* 26-30°C, suhu *Ulva* sp. berada pada kisaran 26-32°C sedangkan *Sargassum* sp. berada pada 24-31°C, penelitian ini dilakukan dengan perbandingan yang sama yaitu 1:1:2 dari perbandingan yang sama hasil yang didapatkan pada ketiga jenis ini berbeda-beda. Pada jenis *K. alvarezii*. kisaran konsentrasi biogas dilihat dari grafik produksi gas yang diperoleh berkisar 1000-3000 ppm. *Ulva* sp. kisaran konsentrasi biogas dilihat dari grafik produksi gas yang diperoleh selama 30 hari berkisar 2500-2900 ppm sedangkan *Sargassum* sp. konsentrasi biogas dilihat dari grafik produksi gas yang diperoleh selama 30 hari berkisar 3000-3400 ppm dari hasil dilihat bahwa untuk jenis *Sargassum* sp. memiliki produksi gas yang tinggi kemudian diikuti oleh *K. alvarezii* dan yang terakhir adalah *Ulva* sp.

Kata kunci: Biogas, IoT, Rancangan digester, Rumput laut

.



## SUMMARY

NUR AINI UWAR. Development of an Internet of Things (IoT)-Based Biogas Reactor Utilizing Seaweed as a Feedstock. Supervised by: SRI PUJIYATI, TOTOK HESTIRIANOTO, AYI RAHMAT, AND JOKO SANTOSO.

The development of an Internet of Things (IoT) based biogas reactor using seaweed as a feedstock represents an innovative advancement in the field of renewable energy. Biogas reactors have undergone continuous development over time, as evidenced by the variety of reactor types that have been introduced. Four commonly used biogas reactor types include: (1) fixed-dome type, (2) floating-drum type, (3) plug-flow type, and (4) balloon type.

Seaweed is used as a biogas feedstock due to its chemical composition, which allows for efficient anaerobic decomposition. This makes seaweed a highly suitable and environmentally friendly substrate for biogas production. Furthermore, seaweed grows abundantly along Indonesia's coastal areas, making it a readily available and sustainable resource.

The use of IoT in biogas reactors aims to optimize the anaerobic fermentation process through *real-time* monitoring of reactor conditions. The monitored parameters include temperature, pH level, gas pressure, and gas flow. This system enhances the efficiency of biogas production, reduces the need for manual labor, and supports the development of sustainable clean energy.

The anaerobic fermentation of seaweed takes place within the biogas reactor. To optimize this process, IoT technology is implemented through sensors connected to a digital monitoring system. Parameters such as temperature, pH, humidity, pressure, and the volume of gas produced are monitored in real time via a cloud-based platform. These data are collected and transmitted to a mobile application, allowing users to conveniently monitor the reactor's performance. The objectives of this study are: (1) To design and construct a simple IoT-based biogas reactor; (2) To analyze the performance of the system based on *real-time* monitoring of relevant parameters during the fermentation process; (3) To analyze the biogas yield from three types of seaweed: *K. alvarezii* *Ulva* sp, and *Sargassum* sp.

The first phase of this study aimed to design a biogas reactor based on Internet of Things (IoT) technology. The reactor was constructed using PVC pipes and equipped with various sensors, including temperature, pressure, humidity, and pH sensors. The result of this design phase was an integrated system combining biogas production technology with digital monitoring and *real-time* data analysis capabilities.

The components used in this system include the biogas reactor itself and IoT sensors such as the BMP180 (pressure), DHT11 (humidity), DS18B20 (temperature), pH-4502C (pH), MQ4 (methane gas), and the ESP32 microcontroller equipped with a Wi-Fi module. The system also integrates a monitoring platform that sends the collected data to the Blynk dashboard, allowing users to view *real-time* performance metrics of the reactor. The next phase involved designing the biogas digester (reactor), a system that converts organic materials into biogas through an anaerobic process. The reactor consists of two chambers: the first chamber functions as a processing tank for seaweed and cow rumen as feedstock,

and the second chamber serves as the gas storage tank. The reactor design involves a series of construction steps to ensure functionality. The digester is built using two 10-inch PVC tubes, with three main components: an inlet pipe, a slurry outlet, and a gas outlet. The inlet pipe, made from 2-inch PVC, is curved to facilitate the smooth entry of feedstock and to prevent the release of odors. The slurry outlet, located 10 cm from the base of the reactor, is made from 1-inch PVC and functions as an outlet for the remaining fermented material. This design allows for easy disposal of fermentation residue.

The second phase of the study aimed to analyze the performance of the system based on *real-time* monitoring of key parameters during the fermentation process. This stage focused on the technical aspects of field data observation. The observed parameters were measured using various sensors, each serving a specific function: BMP180 sensor: measures the gas pressure produced during fermentation. DHT11 and DS18B20 sensors: regulate microbial activity by maintaining optimal temperature and humidity ranges. pH-4502C sensor: monitors the chemical balance of the fermentation process, with pH values ranging between 7 and 11. MQ4 sensor: detects methane gas levels as an indicator of production efficiency and helps ensure that the input/output substrate balance remains within reactor capacity. The accuracy and reliability of all sensor data within the monitoring system were analyzed to evaluate the overall system performance and ensure precise *real-time* control of the biogas reactor.

The third phase of the study aimed to analyze the biogas production output from three types of seaweed: *K. alvarezii*, *Ulva sp.* and *Sargassum sp.* Based on the biomass characteristics of these seaweed types, the analysis focused on determining which species yields the most efficient biogas production through anaerobic fermentation. This was assessed by examining their lignin and cellulose content, organic matter composition, and the resulting methane yield. Temperature, pressure, humidity, and gas production were monitored using integrated sensors installed on the biogas reactor. The analysis in this phase utilized temperature sensors, pressure sensors, humidity sensors, and the MQ4 gas sensor. Each sensor played a specific role in the system: DS18B20: used to measure the water temperature inside the digester. This sensor provided readings close to actual values, with a low margin of error 0,2°C and high accuracy (99%). BMP180: used to measure atmospheric pressure and temperature, offering reliable and precise measurements for both parameters. DHT11: known for its fast response time and suitability for various applications, was used to monitor humidity levels. pH-4502C: used to measure the pH level of the slurry, ensuring the acidity/alkalinity remains within the optimal range for anaerobic digestion. These sensors collectively ensured accurate monitoring and evaluation of the fermentation process and biogas production efficiency from the different seaweed types.

The three types of seaweed *K alvarezii*, *Ulva sp.*, and *Sargassum sp.* have distinct characteristics that influence their potential as biogas feedstock: *K. alvarezii* (a red seaweed from the Rhodophyta group) has high levels of protein, fat, and fiber, making it a promising substrate for biogas production through anaerobic bacterial fermentation. *Ulva sp.* (a green seaweed from the Chlorophyta group) is known for its rapid growth and rich content of cellulose, protein, and chlorophyll. Its high protein content and ease of fermentation make it highly suitable for biogas production. *Sargassum sp.* (a brown seaweed from the Phaeophyta group) contains

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



carbohydrates, proteins, and lipids that are degradable under anaerobic conditions. During fermentation, anaerobic bacteria break down compounds such as alginate and mannitol, which contributes to a high biogas yield potential.

The study was conducted over 30 days and showed that all three types of seaweed produced biogas at different temperature ranges: *K. alvarezii*: 26°C-30°C, *Ulva* sp.: 26°C-32°C, *Sargassum* sp.: 24°C-31°C. All seaweed types were used in a fixed ratio of 1:1:2. Despite the same proportions, the biogas output varied among the samples: *K. alvarezii* produced biogas with concentrations ranging from 1000 to 3000 ppm. *Ulva* sp. produced biogas concentrations ranging from 2500 to 2900 ppm over the 30 days. *Sargassum* sp. had the highest biogas yield, with concentrations ranging from 3000 to 3400 ppm. These results indicate that *Sargassum* sp. had the highest biogas production, followed by *Ulva* sp., and then *K. alvarezii*.

Keywords: Biogas, Digester design, IoT, Seaweed

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2025

Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

*Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.*

*Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB*



# **PENGEMBANGAN REAKTOR BIOGAS BERBASIS INTERNET OF THINGS (IoT) DENGAN PEMANFAATAN RUMPUT LAUT SEBAGAI BAHAN BAKU BIOGAS**

**NUR AINI UWAR**

Disertasi  
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar  
Doktor pada  
Program Studi Ilmu Teknologi Kelautan

**TEKNOLOGI KEAUTAN  
SEKOLAH PASCASARJANA  
INSTITUT PERTANIAN BOGOR  
BOGOR  
2025**

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
    - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
    - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
  2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Penguji Luar Komisi Pembimbing pada Ujian Tertutup Disertasi:

- 1 Dr. Muhamad Yulianto, ST, MT
- 2 Dr. Pi. Ir. Widianingsih M.Sc

Promotor Luar Komisi Pembimbing pada Sidang Promosi Terbuka Disertasi:

- 1 Dr. Muhamad Yulianto, ST, MT
- 2 Dr. Pi. Ir. Widianingsih M.Sc



Judul disertasi : Pengembangan Reaktor Biogas Berbasis *Internet of Things (Iot)* Dengan Pemanfaatan Rumput Laut Sebagai Bahan Baku Biogas

Nama : Nur Aini Uwar  
NIM : C5602211002

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang  
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :  
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah  
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.  
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Pembimbing 1:  
Prof. Dr.Ir. Sri Pujiyati M.Si.

Pembimbing 2:  
Dr.Ir. Totok Hestirianoto, M.Sc.

Pembimbing 3:  
Dr. Ayi Rahmat, S.Pi. M.Si.

Pembimbing 4:  
Prof. Dr.Ir. Joko Santoso M.Si

Disetujui oleh

Diketahui oleh

Ketua Program Studi:  
Prof. Dr.Ir. Sri Pujiyati M. Si,  
NIP 196710211992032002

Dekan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Pascasarjana:  
Prof. Dr. Ir. Fredinan Yulianda, M.Sc.  
NIP. 19630731 198803 1 002

Tanggal Ujian: 14 Agustus 2025

Tanggal Lulus: 29 Agustus 2025

## PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah subhanahu wa ta'ala atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan Desember 2023 sampai bulan Juni 2024 Judul yang dipilih ini adalah “Pengembangan Reaktor Biogas Berbasis *Internet of Things (Iot)* dengan Pemanfaatan Rumput Laut Sebagai Bahan Baku Biogas”. Disertasi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan studi program doktor di Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor.

Proses penyelesaian Disertasi ini tidak terlepas bantuan dari berbagai kalangan. Pada kesempatan ini penulis ucapkan penghargaan yang setinggi-tingginya dan ucapan terima kasih yang setulus-tulusnya atas segala motivasi, bimbingan, arahan dan bantuan pemikiran diberikan dari berbagai pihak, antara lain:

1. Prof. Dr.Ir. Sri Pujiyati M.Si selaku ketua komisi pembimbing, Dr.Ir. Totok Hestirianoto, M.Sc. Dr. Ayi Rahmat S.Pi dan Prof. Dr.Ir. Joko Santoso M. Si selaku anggota komisi pembimbing atas segala kearifan dan ketulusan hati telah meluangkan waktu memberikan arahan, bimbingan, motivasi dan perhatian dalam perencanaan serta penyelesaian disertasi ini.
2. Rektor IPB dan Dekan Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor, Ketua Program Studi Doktoral Teknologi Kelautan beserta seluruh jajarannya atas kesempatan yang diberikan kepada penulis untuk mengikuti pendidikan pada Program Doktor (S3) di Program Pascasarjana Institut Pertanian Bogor.
3. Seluruh staf administrasi Program Pascasarjana Institut Pertanian Bogor atas pelayanan administrasi selama penulis mengikuti pendidikan.
4. Direktur Politeknik Perikanan Negeri Tual, yang telah memberikan izin studi Program Doktor
5. Ketua Prodi Teknologi Kelautan Politeknik Perikanan Negeri Tual yang juga memberikan kesempatan untuk melanjutkan studi Program Doktor
6. Keluarga besar Uwar, keluarga besar Borut Selamat, keluarga besar Rumra. Alm Ayahanda tercinta H. Daeng Matira dan Ibunda Hj. Oky War Borut Uwar, kakak-kakakku, Alm. H. Bambang Permata dan Keluarga, Ka Icha dan keluarga, Ka Wasi dan keluarga, Muhammad kasim dan keluarga, serta adik-adikku Nana, Dr Neng dan Onco Tija, Suami tercinta Ahmadi Rumra pemberi Biasiswa Mandiri dan Anak-anakku serta, Ponakan-ponakan tercinta serta cucu-cucu ku yang telah memberikan dukungan, doa, dan kasih sayangnya
7. Teman-teman Teknologi Kelautan 2021, atas segala kebersamaan dan support terbaik dari awal studi sampai akhir dalam menyelesaikan studi, Mba Maya yang selalu siap membantu dalam proses administrasi serta Ade-ade S1 dan S2 Nadia, Rafli, Ramji, Ilham yang selalu siap membantu proses ini hingga akhir penelitian
8. Teman-teman mak-mak pemburu ilmu Bunda Ade DS, Bunda Azra, Bunda Idha, Dr Muzna T , Mom Nurbety T, Bunda Valen, dan Dr Inem Ode, Bang Firat, Dr Aldi

9. Teman-teman Persatuan Mahasiswa Maluku dan Maluku Utara (PERMAMA) Bogor, atas segala kebersamaan, motivasi dan bantuan selama studi.

Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, Agustus 2025  
Nur Aini Uwar  
C5602211002

@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah  
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

## DAFTAR ISI

|                                                          |      |
|----------------------------------------------------------|------|
| DAFTAR ISI                                               | xiii |
| DAFTAR TABEL                                             | xiv  |
| DAFTAR GAMBAR                                            | xiv  |
| DAFTAR LAMPIRAN                                          | xv   |
| II PENDAHULUAN                                           | 1    |
| 2.1 Latar Belakang                                       | 1    |
| 2.2 Rumusan Masalah                                      | 6    |
| 2.3 Tujuan Penelitian                                    | 7    |
| 2.4 Kerangka Pikir                                       | 8    |
| 2.5 Manfaat Penelitian                                   | 8    |
| 2.6 Ruang Lingkup                                        | 8    |
| 2.7 State of The Art                                     | 9    |
| 2.8 Kebaruan ( <i>novelty</i> )                          | 21   |
| III TINJAUAN PUSTAKA                                     | 22   |
| 3.1 Tipe Reaktor Biogas                                  | 22   |
| 3.2 Reaktor Yang Sudah Diuji Cobakan                     | 24   |
| 3.3 <i>Internet of Things</i> (IoT)                      | 26   |
| 3.4 Gambaran Umum Rumput Laut                            | 32   |
| 3.5 Karakteristik dan Klasifikasi Rumput Laut            | 34   |
| 3.6 Biogas                                               | 36   |
| 3.7 Sistem Fermentasi                                    | 37   |
| 3.8 Bahan Baku Pembuatan Biogas                          | 38   |
| 3.9 Tahap Pembentukan Biogas                             | 39   |
| III METODE PENELITIAN                                    | 42   |
| 3.1 Waktu dan Tempat Penelitian                          | 42   |
| 3.2 Alat dan Bahan                                       | 42   |
| 3.3 Prosedur Kerja                                       | 42   |
| 3.4 Rancangan Integrasi Sistem                           | 53   |
| 3.5 Analisis Data                                        | 54   |
| IV HASIL DAN PEMBAHASAN                                  | 56   |
| 4.1 Bangun Reaktor Nerbasisi Internet of Things (IoT)    | 56   |
| 4.2 Analisis Rancangan Platform (Digester)               | 57   |
| 4.3 Analisis Kinerja Rancangan IoT                       | 60   |
| 4.4 Integrasi sistem                                     | 63   |
| 4.5 Perbedaan Jenis Rumput Laut sebagai Biogas           | 79   |
| 4.6 Analisis Produksi Biogas Dari Tiga Jenis Rumput Laut | 88   |
| V SIMPULAN DAN SARAN                                     | 121  |
| 5.1 Simpulan                                             | 121  |
| 5.2 Saran                                                | 121  |
| DAFTAR PUSTAKA                                           | 122  |
| LAMPIRAN                                                 | 134  |
| RIWAYAT HIDUP                                            | 141  |



# DAFTAR TABEL

|    |                                                                           |     |
|----|---------------------------------------------------------------------------|-----|
| 1  | State of The Art                                                          | 9   |
| 2  | Tipe-tipe Atmega                                                          | 28  |
| 3  | Hasil analisis proksimat dari tiga jenis rumput laut                      | 33  |
| 4  | Jenis-jenis rumput laut di Indonesia                                      | 33  |
| 5  | Nama alat dan bahan, tipe serta kegunaan alat                             | 45  |
| 6  | Karakteristik tiga jenis rumput laut                                      | 82  |
| 7  | Komposisi proksimat rumput laut                                           | 83  |
| 8  | Komposisi substrat tiga jenis rumput laut                                 | 85  |
| 9  | Perbandingan suhu fermentasi pada tiga jenis rumput laut                  | 87  |
| 10 | Perbedaan suhu dari tiga jenis rumput laut serta hasil gas yang diperoleh | 92  |
| 11 | Hasil uji regresi linier berganda pada jenis <i>K. Alvarezii</i>          | 114 |
| 12 | Hasil uji lenier berganda pada jenis <i>Ulva</i> sp.                      | 116 |
| 13 | Hasil uji regresilinier berganda <i>Sargassum</i> sp.                     | 116 |
| 14 | Uji determinasi pada jenis <i>K. alvarezii</i>                            | 118 |
| 15 | Hasil uji determinasi pada jenis <i>Ulva</i> sp                           | 119 |
| 16 | Hasil uji determinasi pada jenis <i>Sargassum</i> sp                      | 119 |

# DAFTAR GAMBAR

|    |                                                                                        |    |
|----|----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1  | Kerangka pikir                                                                         | 8  |
| 2  | Tipe <i>fixed domed plant</i> (kubah tetap)                                            | 22 |
| 3  | Tipe floating drum plant                                                               | 23 |
| 4  | Tipe <i>baloon plant</i> (Sumber: Petiwiningrum 2016))                                 | 23 |
| 5  | Tipe <i>plug flow</i> (Sumber: Petiwiningrum 2016)                                     | 23 |
| 6  | Koneksi berbasis IoT                                                                   | 26 |
| 7  | Sistem kerja mikrokontroler                                                            | 27 |
| 8  | Arduino Uno (sumber: <a href="http://www.arduino.org">http://www.arduino.org</a> )     | 28 |
| 9  | ESP32                                                                                  | 29 |
| 10 | Sensor tekanan BMT180                                                                  | 29 |
| 11 | Sensor MQ4 (gas)                                                                       | 30 |
| 12 | Sensor suhu DHT11                                                                      | 30 |
| 13 | Sistem <i>Blynk</i>                                                                    | 31 |
| 14 | Rumput laut jenis <i>K alvarezii</i>                                                   | 34 |
| 15 | Rumput laut jenis <i>Ulva</i> sp.                                                      | 35 |
| 16 | Rumput laut jenis <i>Sargassum</i> sp                                                  | 36 |
| 17 | Mekanisme pembentukan biogas secara umum                                               | 39 |
| 18 | Diagram alir penelitian                                                                | 43 |
| 19 | Rancangan desain reaktor                                                               | 44 |
| 20 | Pembersihan rumput laut (a), pencecahan awal (b), penggunaan blender (c)               | 46 |
| 21 | Proses penimbangan (a), proses pengadukan secara manual rumen sapi dan rumput laut (b) | 47 |
| 22 | Diagram sistem instrumentasi                                                           | 48 |

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang  
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :  
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah  
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.  
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

|    |                                                                                        |     |
|----|----------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 23 | Rancangan sistem reaktor                                                               | 49  |
| 24 | Sistematik diagram                                                                     | 50  |
| 25 | Platform aplikasi <i>Blynk</i>                                                         | 51  |
| 26 | Diagram alir penggunaan <i>Blynk</i>                                                   | 51  |
| 27 | Diagram alir hubungan perangkat keras dan perangkat lunak                              | 52  |
| 28 | Rancangan integrasi sistem                                                             | 53  |
| 29 | Pemasangan sensor pada tabung reaktor (a) tabung 1 (b) tabung                          | 64  |
| 30 | Hasil rancangan sistem perangkat keras                                                 | 65  |
| 31 | Tampilan hasil aplikasi Arduino IDE pada perangkat lunak                               | 68  |
| 32 | Tampilan pemrograman pengaturan manager <i>library</i>                                 | 69  |
| 33 | Tampilan pemrograman pengaturan <i>board</i>                                           | 70  |
| 34 | Tampilan <i>port</i> pada menu <i>tools</i>                                            | 70  |
| 35 | Data keluaran dari <i>Mobile Blynk</i>                                                 | 73  |
| 36 | Data keluaran suhu dari tabung (T1) reaktor                                            | 73  |
| 37 | Data keluaran suhu dari tabung pemurnian (T2) reaktor Suhu                             | 74  |
| 38 | Data keluaran kelembaban (%)                                                           | 75  |
| 39 | Data keluaran tekanan dari reaktor                                                     | 76  |
| 40 | Data keluaran pH dari reaktor pengujian                                                | 76  |
| 41 | Data keluaran biogas pada tabung reaktor (MQ4)                                         | 77  |
| 42 | Langkah-langkah pembuatan biogas                                                       | 86  |
| 43 | Proses Fermentasi biogas                                                               | 88  |
| 44 | Perubahan suhu terhadap waktu fermentasi bahan baku <i>K. alvarezii</i> dan rumen sapi | 90  |
| 45 | Perubahan suhu terhadap waktu fermentasi <i>Ulva</i> sp. dan rumen sapi                | 90  |
| 46 | Perubahan suhu terhadap waktu fermentasi <i>Sargassum</i> sp. dan rumen sapi           | 91  |
| 47 | Grafik pengaruh suhu terhadap produksi biogas ( <i>K. alvarezii</i> )                  | 100 |
| 48 | Grafik pengaruh suhu terhadap produksi biogas ( <i>Ulva</i> sp.)                       | 101 |
| 49 | Grafik pengaruh suhu terhadap produksi biogas ( <i>Sargassum</i> sp.)                  | 102 |

## DAFTAR LAMPIRAN

|   |                                                          |     |
|---|----------------------------------------------------------|-----|
| 1 | Kegiatan dan pengerjaan alat                             | 135 |
| 2 | Pemrograman <i>Syntax</i>                                | 136 |
| 3 | <i>Syntax inisialisasi variabel</i> , dan <i>library</i> | 137 |
| 4 | Keluaran data pada serial monitoring                     | 138 |
| 5 | Jenis-jenis rumput laut                                  | 139 |
| 6 | Proses pengerjaan rumput laut dan rumen jadi biogas      | 140 |

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang  
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :  
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah  
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.  
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.