

# J-ELTRIK

**Jurnal Elektronika, Listrik, Telekomunikasi, Komputer,  
Informatika, Sistem Kontrol**

---

Vol. 2 | No. 2 | Halaman: 56 - 106 | Surabaya, November 2020

**Merancang Pintu Pintar dengan Keamanan Multifungsi  
berbasis IC AT-Mega 328**

Aris Oktafian, Desriyanti, Rhesma Intan Vidyastari

**Pengaruh Ketinggian dan Panjang Saluran Air Laut terhadap Daya  
yang Dihasilkan pada Prototype *Tidal Barrage***

Bima Sakti, Nur Rani Alhad, Ahmad Nur Fajri, Ilham Rizal Ma'rif

**Rancang Bangun Prototype Sistem Pemantauan Potensi Kebakaran Gambut  
dengan Multi Sensor**

Aditya Pratama, Mulyadi

**Sistem Monitoring Instrument Air Compressor (IAC) berbasis SCADA  
dengan Komunikasi Modbus RTU RS-485**

Muchamad Chadiq Zakaria, Edy Kurniawan, Jawwad Sulthon H

**Alat Penyiram Tanaman Otomatis berbasis Arduino  
menggunakan *Internet Of Things* (IOT)**

Nabil Azzaky, Anang Widianoro

**Koordinasi Proteksi Arus Lebih Penyulang Tembuku terhadap Indeks  
Keandalan Sistem Distribusi 20 KV PT. PLN (Persero) ULP Bangli**

I Wayan Sukadana, Risma Fauziyah Ramadhani

**Prodi Teknik Elektro  
Fakultas Teknik dan Ilmu Kelautan  
*Universitas Hang Tuah***

# **J-ELTRIK**

**Jurnal Elektronika, Listrik, Telekomunikasi, Komputer,  
Informatika, Sistem Kontrol**

## **Editor in Chief**

Muh. Taufiqurrohman, S.T., M.T.

(Prodi Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Ilmu Kelautan, Univ. Hang Tuah)

## **Managing Editor**

Iradiratu Diah PK, S.T., M.T.

(Prodi Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Ilmu Kelautan, Univ. Hang Tuah)

## **Editorial in Board**

Belly Yan Dewantara, S.T., M.T.

(Prodi Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Ilmu Kelautan, Univ. Hang Tuah)

## **Reviewer**

Associate Professor Dr. Wahyu Mulyo Utomo

(Universiti Tun Onn Malaysia)

Dr. Hindarto, S. Kom., M.T.

(Prodi Teknik Elektro, Fak. Teknik, Univ. Muhammadiyah, Sidoarjo)

Anang Widianoro, S.T., M.T., IPM.

(Prodi Teknik Elektro, Fak. Teknik, Univ. Muhammadiyah, Surabaya)

Ir. Agus Putu Abiyasa, B. Eng., P.hD., IPM.

(Prodi Teknik Elektro, Fak. Teknik dan Informatika, Univ. Pendidikan Nasional, Bali)

I Wayan Sukadana, S.T., M.T.

(Prodi Teknik Elektro, Fak. Teknik dan Informatika, Univ. Pendidikan Nasional, Bali)

Suryadhi, S.T., M.T.

(Prodi Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Ilmu Kelautan, Univ. Hang Tuah)

Dr. Istiyo Winarno, S.T., M.T.

(Prodi Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Ilmu Kelautan, Univ. Hang Tuah)

Joko Subur, S.T., M.T.

(Prodi Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Ilmu Kelautan, Univ. Hang Tuah)

**J-ELTRIK**  
**Jurnal Elektronika, Listrik, Telekomunikasi, Komputer,**  
**Informatika, Sistem Kontrol**

**E-ISSN: 2656-9388; P-ISSN: 2656-9396**

**Vol. 2, No. 2, November 2020**  
**DOI: <http://dx.doi.org/10.30649/j-eltrik.v2i2.124>**

**Daftar Isi**

<b>Merancang Pintu Pintar dengan Keamanan Multifungsi berbasis IC AT-Mega 328</b> Aris Oktafian, Desriyanti, Rhesma Intan Vidyastari	56-63
<b>Pengaruh Ketinggian dan Panjang Saluran Air Laut terhadap Daya yang Dihasilkan pada Prototype <i>Tidal Barrage</i></b> Bima Sakti, Nur Rani Alhad, Ahmad Nur Fajri, Ilham Rizal Ma'rif	64-71
<b>Rancang Bangun Prototype Sistem Pemantauan Potensi Kebakaran Gambut dengan Multi Sensor</b> Aditya Pratama, Mulyadi	72-78
<b>Sistem Monitoring Instrument Air Compressor (IAC) berbasis SCADA dengan Komunikasi Modbus RTU RS-485</b> Muchamad Chadiq Zakaria, Edy Kurniawan, Jawwad Sulthon H	79-85
<b>Alat Penyiram Tanaman Otomatis berbasis Arduino menggunakan <i>Internet Of Things</i> (IOT)</b> Nabil Azzaky, Anang Widianoro	86-91
<b>Koordinasi Proteksi Arus Lebih Penyulang Tembuku terhadap Indeks Keandalan Sistem Distribusi 20 KV PT. PLN (Persero) ULP Bangli</b> I Wayan Sukadana, Risma Fauziyah Ramadhani	92-106

# Merancang Pintu Pintar dengan Keamanan Multifungsi Berbasis IC AT-Mega 328

<sup>1</sup>Aris Oktafian, <sup>2</sup>Desriyanti, <sup>3</sup>Rhesma Intan Vidyastari

Program Studi Teknik Elektro  
Universitas Muhammadiyah Ponorogo  
arisoktafian96@gmail.com

Received: September 2020; Accepted: October 2020; Published: November 2020  
DOI: <http://dx.doi.org/10.30649/j-eltrik.v2i2.105>

## Abstrak

Pintu adalah bidang yang memudahkan sirkulasi antar ruang yang dilingkupi oleh sebuah dinding sebagai akses keluar masuk, selain itu pintu juga berfungsi untuk mengalirkan udara ke dalam rumah untuk mendapatkan cahaya dari sinar matahari. Peranan pintu sangat penting, pintu merupakan sarana untuk keluar masuk suatu ruangan, pintu juga sebagai tonggak keamanan rumah, mobil, dan lain sebagainya. Oleh karena itu baiknya pintu dibuat dengan sistem keamanan yang bagus, misalnya dibuat dengan menggunakan bahan yang berkualitas. Berdasarkan latar belakang diatas maka sistem keamanan rumah melalui pintu sangat dibutuhkan, maka dari itu penulis mempunyai inisiatif membuat pintu pintar menggunakan IC AT-Mega 328 sebagai pengendali utama. Ide tersebut diberi judul "Merancang Pintu Pintar Dengan Keamanan Multifungsi Berbasis IC ATmega 328" diharapkan dengan adanya alat ini dapat mencegah kejadian yang tidak diinginkan khususnya terkait dengan pencurian. Perancangan ini dibuat dengan cara mencari referensi yang berasal dari jurnal, buku, dan artikel yang selanjutnya dibuat suatu perencanaan atau gambaran alat yang bertujuan untuk merencanakan seperti apa alat yang akan dibuat, perancangan dalam bentuk perangkat keras berupa koneksi antara perangkat input, proses dan juga output, sedangkan perangkat lunak berupa program sebagai penggerak sistem.

**Kata Kunci:** Pintu, IC Atmega 328, Keamanan

## Abstract

*The door is a field that facilitates circulation between spaces covered by walls as access in and out, but it also helps drain air into the house to get light from the sun. The role of the door is very important, the door is a means to get in and out of the room, the door is also a security pillar of the house, car, and so forth. Therefore removing the door is made with a good security system, for example made using quality materials. Based on the above background, a home security system through a door is needed, and therefore the owner is required to make a smart door using IC Atmega 328 as the main controller. The idea was titled "Designing Smart Doors with Multifunctional Security Based on AT-Mega 328 ICs". This design is made by finding references from journals, books, and articles which are then made about the planning or description of the tools intended to discuss what kind of tools will be made, design in the form of hardware that connects the input devices, processes and outputs. Meanwhile, software consists of program a system driver.*

**Keywords:** Door, IC Atmega 328, Security

## I. PENDAHULUAN

### Latar Belakang

Pintu adalah bidang untuk mempermudah sirkulasi antar ruangan yang dilindungi oleh sebuah dinding sebagai akses untuk keluar masuk, selain itu pintu juga berfungsi mengalirkan udara ke dalam rumah untuk mendapatkan cahaya dari sinar matahari. Pintu biasanya ditemukan pada bangunan rumah, kendaraan, lemari, dan lain-lain. Pintu pintar ini juga dilengkapi dengan system IOT yang memudahkan pemilik rumah untuk mengakses dari jarak jauh menggunakan internet. Kebutuhan internet sangatlah penting dan tidak bisa dipungkiri telah beralih menjadi kebutuhan primer manusia. Sebagai sarana komunikasi dan sumber data internet harus tersedia dimanapun kapanpun dengan kecepatan yang stabil [1].

Berdasarkan latar belakang diatas maka sistem keamanan rumah melalui pintu sangat dibutuhkan, sehingga peranan teknologi diperlukan untuk membuat alat tersebut, maka dari itu penulis mempunyai inisiatif membuat pintu pintar menggunakan IC Atmega 328 sebagai pengendali utama. Ide tersebut diberi judul “Merancang Pintu Pintar Dengan Keamanan Multifungsi Berbasis IC AT-Mega 328”.

### Rumusan masalah

Bagaimana merancang Pintu Pintar Dengan Keamanan Multifungsi Berbasis IC ATmega 328.

Bagaimana merancang sistem yang dapat menginformasikan ke pemilik apabila terjadi pencurian.

### Batasan Masalah

- Perancangan ini masih berbentuk *prototype*.
- Pintu menggunakan sensor RFID *tag* dan *reader*.
- Data yang diolah dan di kirim berupa foto dan video.
- Notifikasi yang digunakan berupa SMS (*Short Message Service*).

### Tujuan Penelitian

- Merancang sistem keamanan pintu pintar menggunakan RFID dan kamera dengan notifikasi buzzer.
- Merancang pintu pintar dengan menggunakan IC ATmega 328.
- Merancang pintu pintar dengan menggunakan perangkat Node MC

## II. METODE PENELITIAN

### Arduino Uno

Arduino yaitu sebuah board mikro-kontroller berbasis AT-Mega 328. Arduino mempunyai 14 pin output dan input dimana 6 pin ini digunakan sebagai 6 analog input, output PWM, *crystal osilator* 16MHz, koneksi USB, power, jack ICSP, serta tombol reset. Didalam rangkaian board arduino mempunyai sebuah *mikro-kontroler AVR AT-Mega 328* merupakan sebuah produk milik Atmel. Papan mikro-kontroler AT-Mega 328 terdiri dari 6 pin input analog. Input analog ini dari A0 ke A5. Dari 6 pin input analog ini, kita bisa lakukan proses dengan menggunakan input analog. Input analog bisa digunakan dalam rentang operasi 0 hingga 5V.

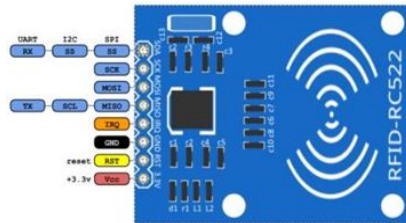


Gambar 1. Arduino UNO

### RFID

RFID yaitu metode identifikasi dengan mempergunakan sebuah sarana yaitu label RFID atau juga disebut transponder yang gunanya menyimpan dan mengambil data jarak jauh [2]. RFID menggunakan sebuah alat untuk berkomunikasi gelom-

bang radio dengan identifikasi sebuah objek. Hal tersebut merupakan cara teknologi untuk mengumpulkan data-data otomatis yang sangat cepat untuk perkembangannya. Teknologi ini akan menciptakan sebuah cara yang otomatis dengan mengumpulkan informasi suatu tempat, waktu, produk, atau transaksi dengan mudah, cepat dan tanpa *human error*.



**Gambar 2.** RFID Reader

### Solenoid Door Lock

Solenoid *Door Lock* adalah sebuah alat elektro mekanik dengan fungsi sebagai pengunci pintu secara otomatis. Di dalam kondisi yang normal solenoid akan pada posisi terkunci jika diberi tegangan maka solenoid *door lock* akan terbuka. Membutuhkan sebuah tegangan untuk menjalankan perangkat ini dengan daya sebesar 12V DC [3]. Solenoid *door lock* merupakan kumparan elektromagnet dengan rancangan secara tertentu. Solenoid ini cara kerjanya yaitu pada saat arus yang mengalir melewati kawat pada sistem solenoid.



**Gambar 3.** Solenoid *Door Lock*

### Kamera

Kamera merupakan perangkat yang sangat populer serta sering kita jumpai di dalam sebuah aktifitas manusia. Kamera ini bukan hanya dikenal pada fotografi untuk mengambil suatu gambar dan juga video, tetapi lebih dari ini kamera juga difungsikan untuk perangkat pengawasan

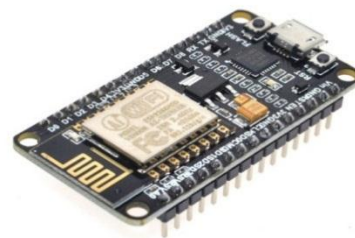
serta momonitor untuk membantu kerja manusia jadi mudah, efisien dan jauh lebih efektif [4]. Kamera juga disebut komponen elektronik yang dapat digunakan untuk menghasilkan gambar dari obyek yang akan dibiaskan oleh sebuah lensa kepada sensor CCD dan kemudian hasil akan rekam dan disimpan kedalam sebuah bentuk digital.



**Gambar 4.** Kamera

### Node MCU

Node MCU merupakan sebuah board elektronik yang basis chip ESP8266 dengan menjalankan fungsi mikrokontroler dan juga koneksi internet [5]. Istilah dari Node MCU secara *default* itu mengacu pada firmware yang akan digunakan dari pada perangkat keras *development kit* Node MCU juga dianalogikan dengan board arduino ESP8266.

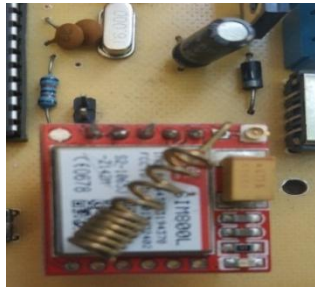


**Gambar 5.** Node MCU

### Modul GSM

Modem merupakan singkatan modulator dan demodulator merupakan perangkat keras yang berfungsi untuk komunikasi dua arah yang mengubah sinyal analog menjadi sinyal digital dan sebaliknya, selain itu juga untuk mengirim pesan serta data-data ke alamat akan dituju [6]. Perancangan menggunakan modem GSM yang berfungsi mengirim SMS dari perangkat ke nomer yang dituju. Modem ini menggu-

nakan *ATCommand* standart sebagai protokolnya. *ATCommand* yaitu singkatan *Attention Command*. *ATCommand* merupakan perintah yang dipergunakan dengan komunikasi dengan serial *port*.



**Gambar 6.** Modul GSM

### **Buzzer**

*Buzzer* merupakan komponen elektronika yang difungsikan untuk mengubah getaran listrik menjadikan getaran suara. Prinsip kerja pada dasarnya hampir sama dengan loudspeaker, *buzzer* ini terdiri pada kumparan yang terpasang dengan diafragma yang kemudian kumparanya akan dialiri arus sehingga jadi elektromagnet, kumparannya akan ditarik keuar atau keadaaan, tmengikuti sesuai arah arus dan polaritas magnetn, sebab pada kumparan di pasang diafragma jadi disetiap gerakan kumparan akan diggerakkan oleh diafragma secara bolak-balik sehingga akan menjadi udara bergetar yang menghasilkan sebuah suara [7].



**Gambar 7.** Buzzer Notifikasi

### **Keypad**

*Keypad* atau papan kunci adalah penghubung antara pemakai dengan pengendali yang di buat. Konstruksi pada matrix keypad 4x4 sangat sederhana, dengan terdiri 4 kolom dan 4 baris dengan keypad

berupa saklar pushbuton diletakan setiap persilangan baris dan kolomnya. Rangkaian keypad matrix terdiri 16 saklar *puhsbuton* dengan konfigurasi 4 koom dan 4 baris. 8 line terdiri dari 4 kolom dan 4 baris tersebut menghubungkan port mikrokontroler 8 bit.



**Gambar 8.** Keypad

### **Perancangan Alat**

Pada Perancangan Alat akan dijelaskan tentang diagram perangkat keras, desain alat, flowchart program dan perancangan keseluruhan sistem.

### **Tahap Perencanaan**

Perencanaan merupakan gambaran pembuatan alat yang bertujuan untuk merencanakan seperti apa alat yang akan dibuat. Perancangan alat ini menggunakan bahan dasar triplek dan kayu.

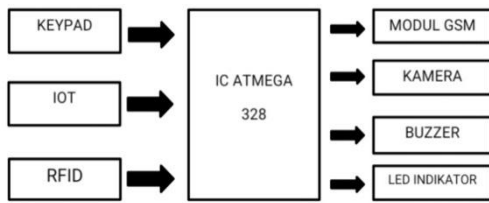


**Gambar 9.** Prototype Pintu Pintar

### **Perancangan Perangkat Keras**

Perancangan Pintu Pintar Dengan Keamanan Multifungsi ini terbagi dalam 3 blok, blok diagram tersebut terdiri dari input, proses, dan output.





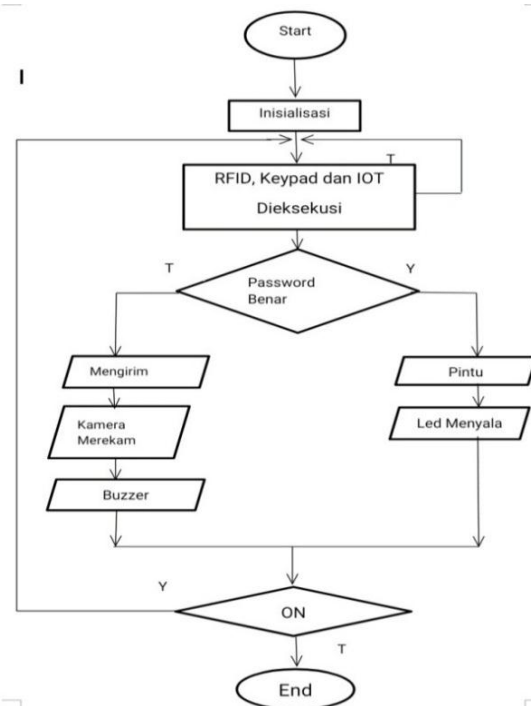
**Gambar 10.** Diagram Perangkat Keras

### Perancangan Perangkat Lunak

Selain perangkat keras perancangan juga membutuhkan perangkat lunak untuk mengoperasikan suatu sistem, perangkat lunak yang akan digunakan dalam pembuatan Pintu Pintar Dengan Keamanan Multifungsi yaitu ISP Downloader dan Arduino IDE.

Arduino IDE adalah *software* yang digunakan untuk memprogram board Arduino. Arduino IDE ini dilengkapi dengan *library* C/C++ untuk membuat operasi input dan output yang berguna sebagai *text editor* untuk membuat, mengedit, dan juga memvalidasi kode program.

### Flowchart Program



**Gambar 11.** Flowchart Program

Dari *Flowchart* di atas dapat dijelaskan alur program sebagai berikut :

1. Start : Menyalakan sistem dengan cara mengaktifkan catu daya.
2. Inisialisasi : Memastikan komunikasi semua sistem sudah siap.
3. RFID Keypad dan IOT dieksekusi : Sistem menunggu sampai kartu RFID Tag ditempelkan ke RFID reader atau keypad ditekan sesuai password yang benar. Jika tidak maka akan kembali menunggu sampai RFID dan keypad dieksekusi, jika sudah maka akan mengeksekusi program selanjutnya. Kemudian juga diakses melalui internet (IOT)
4. Password Benar : Setelah RFID dan keypad dieksekusi apakah kodenya benar atau salah, kalau kode yang dimasukkan benar maka pintu akan terbuka dan led indikator akan menyala, tetapi apabila kode yang dimasukkan salah maka otomatis sistem akan mengirimkan SMS ke pengguna, setelah itu kamera juga akan merekam selama 15 detik, dan selanjutnya alarm indikator buzzer akan berbunyi.
5. Tombol ON : Tombol ON berfungsi apabila kita mengeksekusi program dari awal lagi, apabila tidak kita eksekusi maka sistem akan dinonaktifkan.
6. END : Selesai.

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

### Rangkaian Keseluruhan Sistem

Dalam tahap ini rangkaian antara beberapa perangkat menghasilkan *hardware* yang berupa *prototype* pintu otomatis yang dilengkapi dengan RFID untuk membuka pintu menggunakan kartu, keypad untuk membuka pintu dengan memasukkan angka yang benar, *solenoid door lock* sebagai kunci pintu elektrik, kamera untuk merekam secara otomatis, buzzer untuk memberikan *notifikasi* berupa suara, led untuk memberikan *notifikasi* berupa



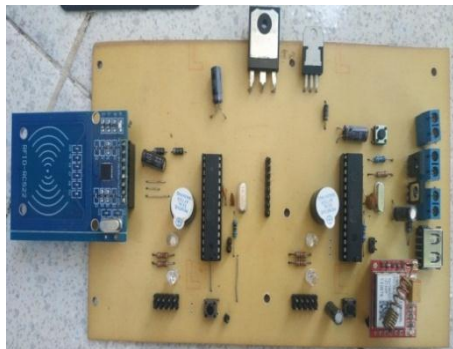
warna, dan modul gsm untuk mengirim *notifikasi SMS*.



**Gambar 12.** *Prototype Bagaian Dalam*



**Gambar 13.** *Prototype Bagaian Luar*



**Gambar 14.** *Prototype Rangkaian Sistem*

### Tahap Pengujian

Pada tahap ini membahas tentang pengujian perangkat yang telah di rangkai, dimulai dari langkah-langkah pengujian, hasil pengujian dan analisa data. Beberapa bagaian yang di lakukan pengujian dan analisa data diantaranya:

### Pengujian Kamera

Berikut ini adalah hasil kerja dari kamera, kamera akan nyala secara otomatis apabila salah memasukkan *password* lebih dari dua kali, kamera akan merekam kurang lebih selama 30 detik.



**Gambar 15.** Pengujian Kamera

### Pengujian RFID

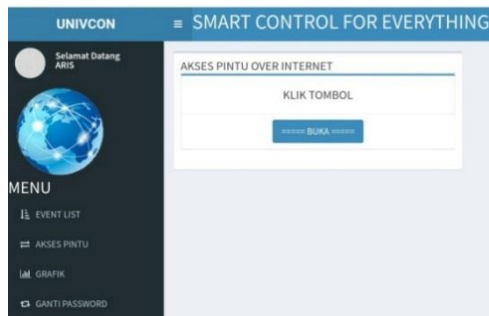
Berikut adalah hasil dari pengujian RFID yang digunakan untuk membuka pintu, pengujian ini bertujuan untuk mengetahui apakah RFID bekerja dengan baik atau tidak dengan cara menempelkan kartu yang benar dan yang salah ke RFID reader.



**Gambar 16.** Pengujian RFID

### Pengujian IOT

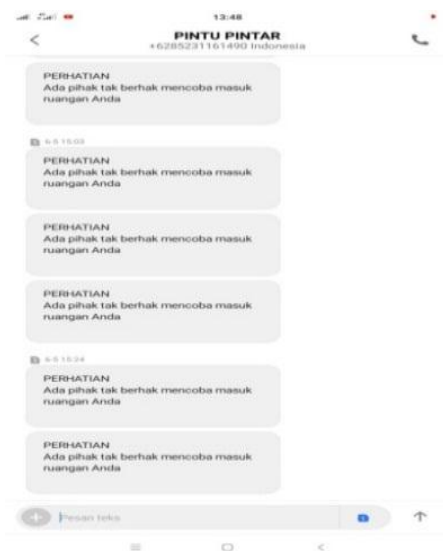
Tujuan dari pengujian IOT ini adalah agar bisa melihat apakah IOT berfungsi dengan baik, sehingga dapat digunakan untuk mengakses ke web.



**Gambar 17.** Pengujian IOT

### Pengujian Modul GSM

Tujuan dari pengujian modul gsm ini adalah agar bisa melihat apakah modul gsm fungsi dengan baik atau tidak, sehingga dapat digunakan dalam proses pengiriman notifikasi berupa sms kepada pemilik rumah.



**Gambar 18.** Notifikasi SMS

berfungsi untuk memberikan notifikasi berupa SMS, kamera berfungsi untuk merekam gambar, *buzzer* berfungsi sebagai indikator peringatan.

- b. Untuk membuka pintu ada dua cara yaitu dengan menggunakan kartu RFID dengan cara menempelkan kartu yang benar dan juga bisa menggunakan *key-pad* dengan cara memasukkan *password* yang sesuai.
- c. Memberikan informasi kepada pemilik dengan cara video yang sudah terekam akan tersimpan di *memory* dan bisa dilihat dilaptop maupun *handphone*, selain itu modul GSM juga akan memberikan notifikasi berupa SMS.

Dari berbagai pengujian yang telah dilakukan ,masih terdapat kekurangan, sehingga kedepan bisa untuk diteliti dan dikembangkan lagi yaitu:

- a. Perancangan Pintu Pintar ini masih berupa *prototyope* dengan menggunakan sumber arus AC yang dirubah menjadi DC. Jika nanti kedepannya bentuk prototype ini diterapkan secara langsung maka diperlukan komponen pendukung sebagai pengontrol untuk merubah output yang berupa arus DC menjadi arus AC pada sumber tegangan PLN.
- b. *Prototype* Pintu Pintar hanya menggunakan bahan triplek, disarankan untuk kedepannya menggunakan bahan akrilik supaya komponen yang ada di dalamnya bisa terlihat dari luar.

## IV. SIMPULAN

Dari beberapa pengujian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

- a. Pintu Pintar Dengan Keamanan Multifungsi memerlukan pengendali utama berupa IC Atmega 328 yang berfungsi sebagai pusat untuk mengontrol alat. Beberapa komponen pendukung lain juga ditanamkan pada alat ini diantaranya, keypad dan RFID yang berfungsi untuk membuka pintu, modul GSM

## V. RUJUKAN

- [1] Desriyanti. “Membangun Layanan Kampung Internet Sebagai Alternatif Usaha Bagi Lulusan Sekolah Menengah Kejuruan”. Jurnal Teknik Elektro SensasPro, 449-454. Ponorogo. 2016.
- [2] Maryono. “Dasar Radio Frequency Identificatio (RFID) Teknologi yang Berpengaruh di Perpustakaan”.

- Informasi media 2005 Vol. XIV No 20. 2005.
- [3] Widcaksono. “*Rancang Bangun Secured Door Automatic System Untuk Keamanan Rumah Menggunakan SMS Berbasis Arduino*”. Jurnal JKTE, Vol 3, No 1, Jakarta, E ISSN: 2502-8464. 2018.
- [4] P. Rozeff. “*Sistem Kamera Pengamatan Bawah Laut Berbasis Teknologi Cloud Computing*”. Jurnal Sustainable, Vol 7, No 2, Oktober, ISSN: 2087-5347. 2018.
- [5] H. Nurul. “*Prototype Smart Home dengan Modul Node MCU ESP8266 Berbasis Internet Of Things (IOT)* , Vol 3, Issue 4, April, ISSN-P 2321-5526. 2018.
- [6] H. Temponbuka. “*Rancang Bangun Sistem Keamanan Rumah Menggunakan Sensor PIR ( Passive Infrared) Dan SMS Sebagai Notifikasi*”. E-Journal Teknik, Vol 4, No 6. 2015.
- [7] R. Sulistyowati. “*Perancangan Prototype Sistem Kontrol dan Monitoring PembatasDaya Listrik Berbasis Mikrokontroller*”. Jurnal Iptek, Vol 16, No 1, Mei. 2012.

# Pengaruh Ketinggian dan Panjang Saluran Air Laut terhadap Daya yang Dihasilkan pada Prototype *Tidal Barrage*

Bima Sakti <sup>1)</sup> Nur Rani Alham <sup>2)</sup> Ahmad Nur Fajri <sup>3)</sup> Ilham Rizal Ma'rif <sup>4)</sup>

Universitas Mulawarman

Jl. Sambaliung no.9 Kampus Gunung Kelua Samarinda– Indonesia  
Telp. 0541 749315 Fax. 0541 736834, Email: sakti27bima@gmail.com

Received: May 2020; Accepted: September 2020; Published: November 2020

DOI: <http://dx.doi.org/10.30649/j-eltrik.v2i2.97>

## Abstrak

Kebutuhan energi listrik di Indonesia sangatlah penting mengingat keterbatasan sumber daya alam dan minimnya tenaga kerja membuat Indonesia sangat butuh peningkatan pembangkit listrik. Salah satu sumber energi yang dapat di konversi menjadi energi listrik adalah pasang surut air laut menggunakan metode *tidal barrage*. Penerapan Energi ini masih sangat sedikit di Indonesia tetapi ada beberapa wilayah yang berpotensi untuk diterapkannya pembangkit tersebut . Pembangkit listrik ini memanfaatkan energi tenaga pasang surut air laut untuk energi potensial yang terkandung dalam perbedaan tinggi dan rendahnya air laut karena fenomena alam yang terjadi dengan cara menjebak air pada bendungan dan kemudian menggerakkan turbin air yang dihubungkan dengan generator agar dapat menghasilkan energi listrik. Terkait dengan berapa output daya yang dihasilkan dapat diketahui dengan cara melihat pada ketinggian berapa level air yang menggerakkan turbin. Pembangkit ini termasuk jenis pembangkit ramah lingkungan karena dapat meminimalisir kerusakan ekosistem alam dan bendungan, dapat dimanfaatkan untuk berbagai aktivitas. Untuk lebih mudah memahami metode ini maka perlunya dibuat prototype untuk mengetahui berbagai factor yang mempengaruhi daya yang dihasilkan pada pembangkit ini. Dari hasil penelitian didapatkan bahwa prototype Pembangkit Listrik Tenaga Pasang Surut Air Laut menggunakan metode tidal barrage pada ketinggian air pasang maksimum 26 cm dapat membangkitkan arus sebesar 0,068 watt pada saat tidak diberi beban dan 0,061 watt pada saat diberi beban LED 1,7 V dan 30 mA. Didapatkan juga hasil pada panjang saluran air maksimal 20 cm dapat membangkitkan daya sebesar 0,059 watt.

**Kata Kunci:** terbarukan, tidal, *barrage*, energi, laut.

## Abstract

*The need for electricity in Indonesia is very important considering the limited resources and the lack of manpower, making Indonesia desperately need to increase electricity generation. One source of energy that can be converted into electrical energy is tidal barrage using the tidal barrage method. The application of this energy is still very small in Indonesia but there are a number of areas that have the potential to be implemented by the power plant. Tidal power plants that utilize the potential energy contained in the differences in tides and tides of sea water by trapping water in dams and then moving water turbines and when the water turbine is connected to a generator can produce electrical energy. Related to how the output*

*of the generated power can it is known by looking at what height the water level drives the turbine. This type of power plant is environmentally friendly because it does not damage the natural ecosystem and the dam can be used for various activities. To better understand this method, it is necessary to make a prototype to find out what effects need to be considered on this plant. From the results of the study it was found that the prototype of the Seawater Tidal Power Plant using the tidal barrage method at a maximum tidal height of 26 cm can generate currents of 0.068 watts when not under load and 0.061 watts when underloaded with 1.7 V and 30 mA LED . The result is that the maximum length of the water channel is 20 cm can generate 0.059 watts of power.*

**Keywords:** *renewable, tidal, barrage, energy, sea*

## I. PENDAHULUAN

Energi di Indonesia bisa dikatakan sebagai suatu hal yang sangat dibutuhkan dan penting. Ketersediaan energi merupakan salah satu hal yang menunjang tergantungnya keperluan hidup manusia. Mengubah energi ke dalam bentuk lain adalah prinsip darai pemanfaatan energi [1]. Salah satu yang bisa dikatakan berpotensi berpotensi di Indonesia ialah pasang surut air laut.

Penggunaan energi pada pembangkit pasang-surut air tidak sedikit dikembangkan di negara-negara benua eropa, amerika dan australia dengan kapasitas lebih dari 1 MW [4]. Karena Energi laut bisa memenuhi hingga 4 kali kebutuhan energi di dunia. Hal tersebut dihitung dari luasan laut mencapai 70% dari permukaan bumi [5]. Walaupun penelitian masih terus dilakukan untuk mendapatkan teknologi yang baik dalam mengubah energi pasang surut air laut menjadi listrik, saat ini ada alternatif teknologi yang dapat diterapkan. Salah satu alternatif teknologi itu adalah dengan metode *Tidal Barrige*.

Dalam sejarahnya, di Eropa dan pantai timur Amerika Utara pernah menggunakan energi pasang surut berbentuk turbin, kemudian diubah menjadi energi mekanik lalu digunakan untuk menggiling gandum. Pembangkit tersebut dibuat di Eropa. Kemudian pada abad ke 19, cara ini digunakan untuk menghasilkan listrik. Sekala besar pembangkit listrik tenaga

pasang surut pertamakali di dunia yaitu *Rance Tidal Power Station* berada di Prancis dan mulai produksi sejak tahun 1966 [3].

Berdasarkan beberapa penelitian, energi tidal mampu memberikan energi dengan jumlah yang tidak kecil. Bahkan ada sumber yang menyatakan potensi energi ini bisa mencapai 450 TWh. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa daerah atau tempat di Indonesia yang memiliki potensi energi pasang surut, yaitu: Bagan Siapi-api, Teluk Bima di Sumbawa Teluk Palu, , Kalimantan Barat, Irian Jaya, Pantai selatan di Pulau Jawa. Namun daerah yang dinilai cocok untuk penerapn pembangkit ini yaitu di daerah Bagan Siapi-api dan Irian Jaya karena memiliki beda tinggi pasang surut yang cukup tinggi [2].

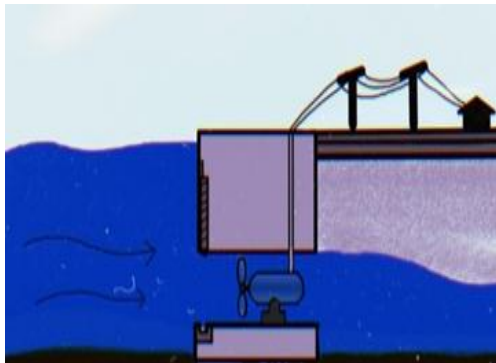
Beberapa penelitian yang relevan dengan penelitian ini antara lain:

Setelah menentukan lokasi perencanaan bendungan, maka pembangunan bendungan yang direncanakan adalah sepanjang 4.51 km di Pelabuhan Sema yang, Balikpapan dan Pantai Nipah-Nipah, Penajam Paser Utara. Bendungan ini memiliki lebar 27 m dan ketinggian antara pasang dan surut 2,9 m dan menghasilkan daya hingga sebesar 18 kilowatt [1].

Uji Coba dan rancangan Prototipe Pembangkit Listrik Pasang Surut yang bertempat di Sulawesi Utara. Setelah dianalisa jika dibuatkan waduk pembangkit listrik tenaga pasang surut dengan luas

1800 m<sup>2</sup> di muara sungai Mangatasik sebagai tempat lokasi penelitian, dapat menghasilkan energi sebesar 85,5 6 kiloJoule ketika pasang surut dan menghasilkan daya listrik sebesar 30,38 Kw [3].

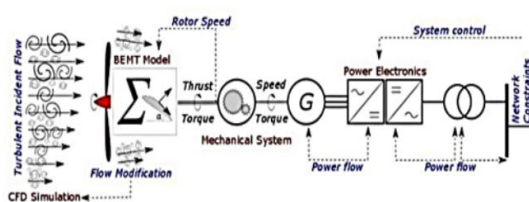
Pada Aliran Sungai Pengujian Sudu Rata Prototipe Turbin Air Terapung. Hasil dari penelitian ini yaitu merancang dan menguji coba prototipe pembangkit listrik menggunakan turbin terapung yang diuji di Kabupaten Langkat, Sumatra Utara. Dengan menghasilkan daya hingga 115Watt dan putaran sampai 1030 rpm [3].



**Gambar 1.** Ilustrasi tidal *barrage*

Dari berbagai studi literatur yang didapatkan, penelitian kami ini akan fokus pada pembuatan prototipe tidal *barrage* serta energi yang dihasilkannya sehingga kami dapat menganalisa hal hal yang berpengaruh dalam penerapan pembangkit ini

Pada intinya pembangkit ini memanfaatkan pasang surut dengan cara menjebak air pasang kemudian akan menghasilkan arus air yang kecepatannya akan menggerakkan turbin disertai perputaran rotor generator sehingga menghasilkan energy listrik.



**Gambar 2** Konfigurasi sistem *Tidal Barrige* [2]

Tabel 1 membenarkan bahwa ketinggian air pasang pada basin dapat mempengaruhi kecepatan air yang masuk pada *gate* atau saluran yang berhubungan dengan turbin. Dapat kita lihat salah satu data penelitian lain yaitu air yang melewati pada turbin dengan kecepatan 408m<sup>3</sup>/sec dapat menggerakkan turbin dengan kecepatan 50 rpm dan dapat menghasilkan daya mencapai 50 GWh.

**Tabel 1.** Daya listrik terbangkit di beberapa Negara

Tempat	Ketinggian Maksimal Pasang	Daya Terbangkit
Indonesia (NTT)	3,5 meter	23 MW
Korea Selatan	8,39 meter	3,2 MW
Prancis	13,5 meter	240 MW
Canada	5 meter	20 MW
China	8,3 meter	3,2 MW

## II. METODE PENELITIAN

Perancangan alat ini dibuat berdasarkan pengamatan pembangkit energi laut yang ada di indonesia menggunakan 3 teknologi yang sudah ada tetapi penelitian ini melakukan perancangan alat menggunakan *Tidal Barrage* yang prinsip kerjanya lebih sederhana pasang surutnya dapat menggerakkan turbin dan memicu pergerakan generator yang kemudian menghasilkan energi listrik.

$$\begin{aligned}
 E_{\max} &= b \times g \times H^2 \times S \dots\dots\dots(1) \\
 &= 1,03 \times 9,8 \times 0,27^2 \times 1254 \\
 &= 9,22 \text{ Joule}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P &= f \times Q \times H \dots\dots\dots(2) \\
 &= 0,8 \times 1,79 \times 0,27 \\
 &= 0,38 \text{ watt}
 \end{aligned}$$



**Keterangan**

$E_{max}$  : Jumlah energy yang maksimal dapat diperoleh per siklus

$b$  : Berat jenis air laut ( $1,3\text{kg/m}^3$ )

$g$  : Gravitasi ( $\text{m/s}^2$ )

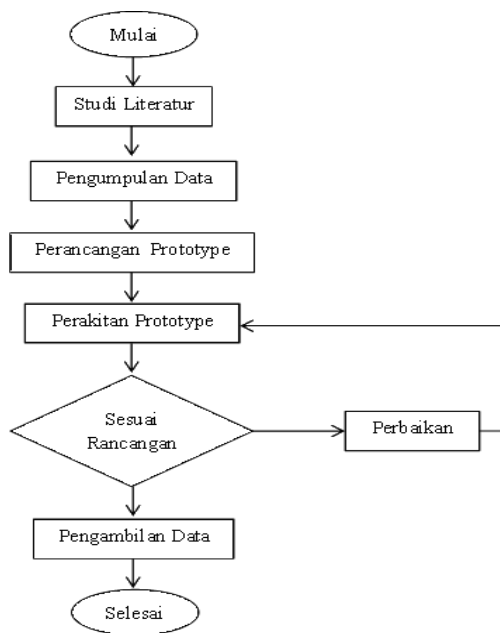
$H$  : Tinggi pasang terbesar (m)

$S$  : Luas waduk rata rata ( $\text{m}^2$ )

$Q$  : Debit air ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$F$  : Factor efisiensi (0,7-0,8)

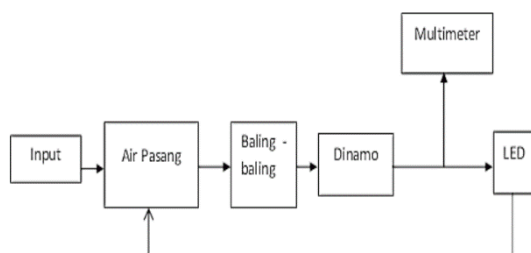
$P$  : Daya (Watt)



**Gambar 3.** Flowchart Penelitian

**Prototype Tidal Barrage**

Proses kerja pada *prototype* teknologi *tidal Barrage* mengonversi energi pasang surut air laut menjadi energi listrik melalui tahap tertentu. Prototype ini menggunakan perbandingan dengan skala 1: 15 yang skala sebenarnya di ambil dari *Annapolis Royal Generation Station* di Canada.



**Gambar 4.** Blok Diagram *Prototype*

**Komponen Prototype Tidal Barrage****1. Baling – Baling**

Komponen ini digunakan untuk menghasilkan perputaran ketika dilalui arus air . baling baling ini memiliki diameter 4 cm dan memiliki 6 jumlah sudu ,baling baling kami buat berbahan dasar besi atau logam yang dibentuk.

**2. Dinamo**

Dinamo yang digunakan adalah dynamo jenis EG-530 AD-2B 32 mm dengan tegangan maksimal 12 V, kecepatan putar 2400 rpm, arus keluaran 200 mA. Komponen ini berfungsi sebagai penghasil energi listrik yang akibat pergerakan rotor dinamo.

**3. LED**

LED yang digunakan adalah jenis standar berwarna merah , arus 30mA dan tegangan 1,7 V. Komponen ini berfungsi sebagai output atau beban untuk mengetahui berhasil atau tidaknya metode tersebut menghasilkan energi listrik.

**4. Kabel**

Kabel yang digunakan ialah kabel 0,8 mm. Kabel ini digunakan sebagai penghubung anoda dan katoda LED ke dinamo

**5. Kawat besi**

Kawat Besi ini digunakan sebagai penghubung antara baling – baling dengan rotor dinamo

**6. Multimeter**

Alat ini digunakan untuk mengukur tegangan yang dihasilkan dinamo.

**7. Gabus**

Gabus ini berukuran 108 x 71 cm. Gabus digunakan sebagai wadah bendungan tempat penampungan air

**8. Pipa atau selang air**

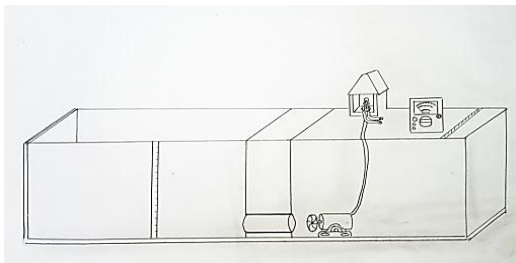
Pipa diameter 5 cm digunakan sebagai tempat saluran air yang melalui turbin dan tempat bodi dinamo.

**Prinsip kerja prototype Tidal Barrage:**

1. Volume air ditambah untuk mensimulasikan ketika air pasang, ketika volume



- air di luar penampungan lebih besar dibandingkan didalam penampungan sehingga air akan mengalir masuk.
2. Baling – baling akan berputar disebabkan oleh arus air dari luar masuk kedalam penampungan.
  3. Perputaran baling baling dibawah bendungan memicu pergerakan rotor pada dynamo.
  4. Perputaran rotor dinamo dapat menghasilkan tegangan dan arus listrik sehingga menyebabkan lampu LED menyala.
  5. Kemudian dihitung berapa tegangan dan arus listrik yang dihasilkan oleh output LED tersebut menggunakan multimeter sesuai dengan rangkaian.



**Gambar 5.** *Prototype Tidal Barrage*

#### A. Perancangan Prototype

Merancang pemodelan prototype meliputi merancang bentuk sitem yang sesuai dengan PLTPS dengan skala yang lebih kecil dari system bendungan atau penampungan air dengan volume kedua sisi. Kemudian system perputaran baling baling dan generator yang akan menghasilkan arus, tegangan dan daya.

#### B. Pengumpulan Alat dan Bahan

Pengumpulan alat dan bahan meliputi mencari disekitar yang diperlukan untuk membuat prototype dimulai dengan mengumpulkan gabus sebagai penampung air, pipa, dinamo, seng bekas, led, kabel, selang serta alat bahan penunjang lainnya seperti lem, isolasi dan sebagainya.

#### C. Merakit Desain Pemodelan

Merakit desain pemodelan meliputi menghubungkan kedua gabus dengan pipa

saluran air, merakit dinamo yang tidak kemasukan air, kabel terhubung dengan LED, bentuk kipas atau baling baling, posisi turbin depan saluran air dan pemodelan semua posisi dengan sempurna.

#### D. Mengamati dan Mencatat Hasil Pengamatan

Mengamati apakah system dapat berjalan dan sesuai yang diharapkan. Setelah sesuai yang diharapkan selanjutnya monitoring arus dan tegangan yang dihasilkan menggunakan multimeter digital. Jika telah berjalan catat yang dihasilkan oleh multimeter. Perhitungan daya Arus dan Tegangan yang dihasilkan ,persamaan rumusnya dapat dijabarkan seperti ini:

##### Perhitungan Daya :

$$P = V \times I \dots\dots\dots(3)$$

Diketahui :

$P$  = Daya ( Watt )

$V$  = Tegangan ( Volt )

$I$  = arus ( Ampere )

##### Perhitungan Debit Air

$$Q = \frac{V}{t} \dots\dots\dots(4)$$

Diketahui :

$Q$  = Debit Air ( $m^3/s$ )

$V$  = Volume ( $m^3$ )

$t$  = Waktu (s)

##### Perhitungan Kecepatan Air

$$v = \frac{Q}{A} \dots\dots\dots(5)$$

Diketahui :

$Q$  = Debit Air ( $m^3/s$ )

$v$  = Kecepatan Air ( $m/s$ )

$A$  = Luas Lingkaran Saluran Air ( $m^2$ )

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Percobaan pertama dilakukan dengan tanpa menggunakan beban dan dengan menggunakan beban memakai beberapa parameter ketinggian air atau dalam volume yang berbeda beda dengan menggunakan panjang saluran air yang sama yaitu 20 cm. Kemudian pengukuran juga

dilakukan berdasarkan panjang saluran air untuk mengetahui pengaruh panjang tersebut terhadap daya yang dihasilkan. Serta, multimeter sebagai alat pengukur dari *output* yang dihasilkan oleh pembangkit tersebut. Sebelum itu terdapat nilai kecepatan dan debit air yang dihasilkan oleh saluran air dan Penampung air tersebut. Nilai tersebut dapat di cari melalui perhitungan.

#### Debit Air dan Kecepatan Air Pada Saluran Air:

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{718,2}{400} = 1,79 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$A = \pi r^2$$

$$= 3,14 \times 0,02^2$$

$$= 0,062 \text{ m}^2$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{1,79}{0,062} = 28,5 \text{ m/s}$$

**Tabel 2.** Data Hasil Pengujian (Tanpa beban)

Air Pasang (cm)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
26	1,1	0,062	0,068
24	1	0,060	0,060
22	1	0,057	0,057
20	0,8	0,033	0,026
18	0,7	0,043	0,030

**Tabel 3.** Data Hasil Pengujian (Menggunakan Beban )

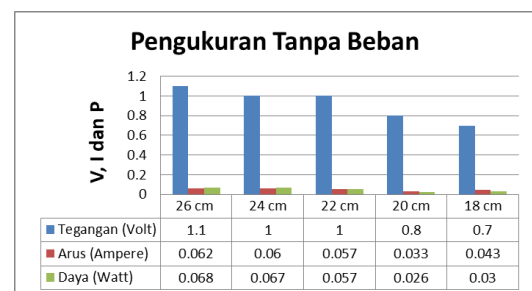
Air Pasang (cm)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
26	1	0,061	0,061
24	1	0,053	0,053
22	0,9	0,039	0,035
20	0,8	0,027	0,021
18	0,7	0,012	0,001

Selanjutnya dilakukan pengukuran berdasarkan panjang saluran air. Pengukuran ini dilakukan dari semua kelima percobaan dilakukan pada level ketinggian air yang sama yaitu mengambil ketinggian

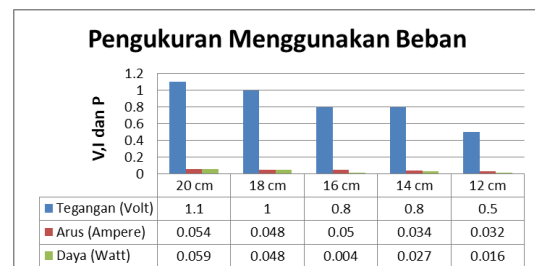
air maksimal 26 cm dengan panjang saluran berbeda beda.

**Tabel 4.** Data Hasil Pengujian Berdasarkan Panjang Saluran Air

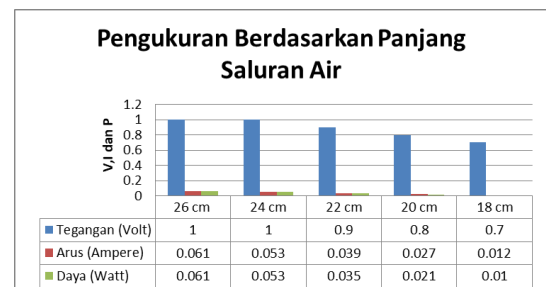
Panjang Saluran Air (cm)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
20	1,1	0,054	0,059
18	1	0,048	0,048
16	0,8	0,050	0,040
14	0,8	0,034	0,027
12	0,5	0,032	0,016



**Gambar 6.** Grafik pengukuran tanpa beban



**Gambar 7.** Grafik pengukuran menggunakan beban



**Gambar 8.** Grafik pengukuran berdasarkan panjang saluran air

Dari Tabel 2 tersebut dapat dilihat beberapa hasil yang berbeda beda seperti

pada pengambilan data dari ketinggian air maksimum hingga hingga berkurang sedikit demi sedikit maka tegangan dan juga arusnya juga ikut berkurang. Perbedaan ini tentu disebabkan oleh ketinggian air yang berbeda pula. Adanya hasil yang sama salah satu penyebabnya ialah perputaran rotor tidak selalu stabil. Dari table 3 dapat pula dilihat bahwa pada saat pengukuran tanpa beban akan menghasilkan tegangan dan arus yang lebih besar dibandingkan menggunakan beban. Selain itu pada table 4 bisa dilihat adanya penurunan hasil pembacaan ketika panjang saluran air dikurangi atau dipendekkan.

Setelah didapatkan beberapa hasil pengukuran dapat dilihat bahwa pada ketinggian maksimum belum bisa mencapai sesuai target dikarenakan beberapa factor yaitu diantaranya bentuk turbin atau baling baling yang kami gunakan belum maksimal dan penempatan jarak dari generator dengan turbin dan saluran air yang terlalu dekat akan menghambat sedikit dari lair air yang keluar karena akan memantul kembali ke segala arah sehingga dapat mengganggu perputaran turbin atau generator. Selain itu kecepatan air yang keluar dari saluran air juga berpengaruh terhadap kurang maksimalnya daya yang dihasilkan

Dari beberapa hasil pengukuran yang telah dilakukan, dapat ditentukan efisiensinya dengan rumus sebagai berikut:

$$P_{out} / P_{in} \times 100\%$$

Pengukuran tanpa beban

$$\begin{aligned} \text{Efisiensi} &= 1,173 / 0,38 \times 100\% \\ &= 3,08 \% \end{aligned}$$

Pengukuran menggunakan beban

$$\begin{aligned} \text{Efisiensi} &= 0,844 / 0,38 \times 100\% \\ &= 1,15 \% \end{aligned}$$

Pengukuran panjang saluran air

$$\begin{aligned} \text{Efisiensi} &= 2,9 / 0,38 \times 100\% \\ &= 7,63 \% \end{aligned}$$

#### IV. SIMPULAN

1. *Prototype* ini dibuat berdasarkan spesifikasi tersebut, pengukuran tanpa beban dapat menghasilkan maksimal tegangan 1,1 V dan arus 0,062 A. Sedangkan dengan menggunakan beban dapat menghasilkan hingga 1 V dan arus 0,061 A. Selanjutnya dengan memperhitungkan panjang saluran air yaitu menghasilkan tegangan 1,1 V dan arus 0,054 A yaitu menggunakan panjang maksimal.
2. Volume air mempengaruhi jumlah debit air. Jumlah debit air mempengaruhi seberapa cepatnya aliran pada saluran air dan laju atau kecepatan saluran air ini yang digunakan turbin untuk menggerakkan motor yang kemudian menghasilkan Tegangan, Arus dan daya jadi dapat disimpulkan bahwa tekanan yang dihasilkan akan mempengaruhi outputnya atau dengan kata lain semakin tinggi air (volume banyak) maka semakin banyak pula output yang dihasilkan.
3. Hal lain yang juga mempengaruhi output yang dihasilkan ialah panjang dari saluran air, semakin panjang saluran air yang digunakan tentu kecepatan air yang dihasilkan pun semakin laju atau cepat.
4. Adapun faktor - faktor yang mempengaruhi efisiensi atau perbandingan  $P_{in}$  dan  $P_{out}$  yaitu diantaranya bentuk turbin yang belum maksimal, posisi generator dan turbin kurang tepat dan kecepatan air yang kurang maksimal.
5. PLTPS ini bisa diterapkan di Indonesia yang memiliki pantai dengan ketinggian pasang surut yang baik dan harapannya ini juga bisa menjadi alternatif lain supaya tidak harus selalu berpatokan pada sumber energi lainnya.

#### V. RUJUKAN

- [1] I.M. "Susanto. *Studi Karakteristik Energi Listrik Yang Dihasilkan*

- Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL) Metode Pelampung Dengan Variasi Dimensi Pelampung Dan Panjang Lengan*". Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. 2015.
- [2] M.Z. Zainol, N. Ismail, I. Zainol, A. Abu, dan W. Dahalan. "A Review On The Status OF Tidal Energy Technology Worldwide". UTM Skudai, Johor. Malaysia. 2017.
- [3] A.R. Baihaqiy. "Prototype Pembangkit Listrik Tenaga Pasang Surut Air Laut Di Kelurahan Tugurejo Kecamatan Tugu Kota Semarang". Universitas Negri Semarang. 2017.
- [4] R. Danny. "Desain Lambung Pontoon pada Pembangkit Listrik Energi Arus Laut". Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. 2016.
- [5] W.N. Aris. "Studi Kelayakan Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Pasang Surut di Balikpapan". Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. 2015

# Rancang Bangun Prototype Sistem Pemantauan Potensi Kebakaran Gambut dengan Multi Sensor

Aditya Pratama<sup>1</sup>, Mulyadi<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>. Jurusan Teknik Elektro Universitas Borneo Tarakan

<sup>2</sup> Divisi Teknologi Science Techno Park Kaltara, Kalimantan Utara

Jl. Amal Lama No.1 Tarakan

E-mail: adityatav1@gmail.com

E-mail: mulyadi@borneo.ac.id

Received: May 2020; Accepted: September 2020; Published: November 2020

DOI: <http://dx.doi.org/10.30649/j-eltrik.v2i2.122>

## Abstrak

Kebakaran hutan dan lahan merupakan salah satu peristiwa yang sangat merugikan masyarakat. Kebakaran lahan dapat mengancam keselamatan jiwa serta potensi kerugian material dalam jumlah besar. Curah hujan yang rendah, tanah dan tanaman yang mengering serta suhu yang tinggi dapat mengakibatkan munculnya titik api yang berakibat kebakaran lahan. Dengan adanya prototype ini diharapkan dapat membantu pengguna dalam memantau potensi kebakaran maupun menangani kebakaran apabila telah terjadi. Berdasarkan hasil pengujian purwarupa terdapat dua kondisi yang terdeteksi sistem dan ditampilkan pada layar penampil kristal dan notifikasi aplikasi Blynk yaitu pada kondisi berpotensi kebakaran dengan nilai untuk setiap sensor yang meliputi temperatur sebesar 36°C, kelembaban tanah sebesar 19,0 %, kadar gas CO<sub>2</sub> sebesar 330 ppm dan kondisi yang dinamakan sebagai tidak terdeteksi adanya api. Untuk kondisi asap terdeteksi dengan nilai setiap sensor yaitu temperatur lingkungan sebesar 35,1°C, kelembaban tanah sebesar 17,8 %, kadar gas CO<sub>2</sub> sebesar 698 ppm, dan kondisi tertentu yang dinamakan tidak terdeteksi adanya api. Selama pengujian prototype, aplikasi Blynk berhasil menampilkan hasil pengukuran prototype dan notifikasi kondisi lahan di sekitar prototype. Dalam mendeteksi potensi kebakaran, sistem berhasil mendeteksi semua parameter yang ditargetkan.

**Kata Kunci:** Sistem pemantauan, gambut, kebakaran, sensor

## Abstract

*Forest and land fires are one of the events that are very detrimental to the community. Land fires can threaten life safety as well as the potential for large amounts of material loss. Low rainfall, dry soil and plants and high temperatures can cause hotspots to emerge resulting in land fires. With this prototype, it is hoped that it can help users in monitoring the potential for fires and dealing with fires if they have occurred. Based on the prototype test results, there are two conditions detected by the system and displayed on the crystal display screen and the Blynk application notification, namely in a potential fire condition with a value for each sensor which includes a temperature of 36 ° C, soil moisture of 19.0%, CO<sub>2</sub> gas levels of 330 ppm and in a condition known as no fire detection. For smoke conditions detected by the value of each sensor, namely the ambient temperature of 35.1 ° C, soil moisture of*

*17.8%, CO<sub>2</sub> gas content of 698 ppm, and certain conditions called no detectable fire. During prototype testing, the Blynk application succeeded in displaying the prototype measurement results and notification of land conditions around the prototype. In detecting a potential fire, the system successfully detects all the targeted parameters.*

**Keywords:** *monitoring system, peat, fire, sensor*

## I. PENDAHULUAN

Kebakaran hutan dan lahan merupakan salah satu peristiwa yang sangat merugikan masyarakat. Hampir setiap tahun, provinsi Kalimantan Utara mengalami bencana kebakaran lahan yang mengakibatkan masyarakat mengalami gangguan pernafasan. Tidak hanya di Indonesia, bahkan asap tersebut juga mencemari udara di negara tetangga. Kebakaran lahan juga mengancam keselamatan jiwa serta potensi kerugian material dalam jumlah besar. Curah hujan rendah, tanah dan tanaman yang mengering serta suhu yang tinggi mengakibatkan muncul titik api yang berakibat pada kebakaran lahan. Kebakaran hutan atau lahan di Indonesia umumnya (99,9%) disebabkan oleh manusia, baik disengaja maupun akibat kelalaiannya, sedangkan sisanya (0,1%) adalah karena alam [1].

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah mewujudkan sebuah *prototype* yang dapat digunakan untuk memantau kebakaran gambut melalui aplikasi *Blynk*, sedangkan manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah dengan adanya alat ini diharapkan dapat membantu masyarakat dalam mengantisipasi potensi kebakaran maupun menangani kebakaran apabila telah terjadi serta dapat memotivasi pembaca sehingga dapat mengembangkan alat yang akan dihasilkan.

## II. METODE PENELITIAN

### Gambut

Gambut merupakan tanah yang terbentuk dari bahan organik yang telah mati

dan bertumpuk dan saling menimbun. Dalam keadaan kering, gambut mudah sekali untuk hanyut dibawa air dan juga mudah sekali terbakar. Saat terbakar, gambut akan menghasilkan beberapa gas emisi berbahaya salah satunya adalah CO<sub>2</sub> [2]. 600 ppm merupakan nilai minimal emisi gas CO<sub>2</sub> yang dapat berdampak pada kesehatan manusia [3].

### Sensor Gas CO<sub>2</sub>

Sensor MG-811 merupakan sensor yang dapat mendeteksi CO<sub>2</sub> dengan sensitifitas yang tinggi. Sensor ini memiliki tegangan kerja sebesar 5 Volt dengan toleransi kurang lebih 1 Volt. Memerlukan arus sebesar 200 mA untuk memanaskan sensor. Beroperasi pada suhu -20 – 50 °C. Dan memiliki keluaran sebesar 30 – 50 mV yang mewakili pembacaan sebesar 350 – 10000 ppm CO<sub>2</sub> [4].

### Api dan Kebakaran

Api merupakan suatu reaksi kimia yang terbentuk dari tiga elemen dasar yaitu berupa senyawa oksigen, bahan bakar yang dapat terbakar, serta sumber panas. Ketiga elemen ini disebut dengan segitiga api yang diperlukan untuk membangkitkan api. Kebakaran merupakan keadaan di mana api menjadi liar dan tidak terkendali dan dapat mengakibatkan kerugian material dan korban jiwa.

### Sensor Api

Sensor api merupakan sebuah sensor berbasis inframerah. Memiliki foto dioda yang bekerja sebagai penerima sinar inframerah yang dipancarkan oleh api. Foto dioda merupakan salah satu komponen elektronik yang berfungsi untuk mengubah

besaran cahaya menjadi besaran listrik. Pada dasarnya foto dioda merupakan resistor yang peka terhadap cahaya tampak maupun tidak tampak. Semakin besar intensitas cahayanya, maka nilai resistansi dan tegangan semakin rendah. Begitu juga sebaliknya, semakin kecil intensitas cahayanya maka nilai resistansi dan tegangan semakin tinggi [5].

### Suhu

Suhu merupakan ukuran yang digunakan untuk mengetahui panas atau dinginnya suatu zat atau benda. Termometer merupakan alat yang digunakan untuk mengukur suhu.

Fahrenheit, kelvin, dan Celsius merupakan skala yang digunakan dalam pengukuran suhu. Celsius merupakan skala yang paling banyak dipakai. Dari data BMKG kota Tarakan suhu tertinggi maksimal rata-rata di kota Tarakan pada tahun 2017/2018 adalah 31,9 °C.

### Kelembaban Tanah

Kelembaban tanah merupakan banyaknya kandungan air (kadar air) di dalam tanah yang dinyatakan dalam satuan persen [6]. Semakin kering tanah maka semakin kecil nilai kelembaban tanah dan nilai persennya juga kecil [7]. Kelembaban tanah juga dapat dipengaruhi oleh faktor cuaca dan lingkungan.

### SNI 1965:2008

SNI 1965:2008 adalah panduan standar nasional Indonesia yang berisi prosedur alternatif untuk uji penentuan kadar air untuk tanah dan batuan di laboratorium.

Standar ini berisikan ruang lingkup, persaratan peralatan, benda uji, pemilihan benda uji, proses uji, perhitungan serta ketelitian dan penyimpangan [8].

### Blynk

*Blynk* merupakan platform IoT agnostik perangkat keras dengan aplikasi seluler, *cloud* pribadi, manajemen perangkat, analisis data, dan pembelajaran mesin.

Dengan *Blynk*, pengguna dapat mengontrol perangkat keras dari jauh, dapat menampilkan data sensor, dapat menyimpan data, memvisualisasikannya dan masih banyak hal lainnya [10].

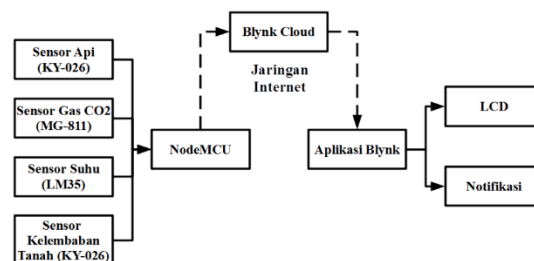
### Node MCU ESP8266

NodeMCU merupakan sebuah papan mikrokontroler bersifat open source yang telah terintegrasi dengan modul Wireless ESP8266. ESP8266 berfungsi sebagai mikrokontroler yang memiliki perangkat tambahan yang dapat menghubungkan mikrokontroler dengan jaringan WiFi [9].

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

### Rancangan Penelitian

Pada penelitian ini variabel – variabel yang akan diambil oleh sensor yaitu kadar gas CO<sub>2</sub> (MG-811), api (KY-026), kelembaban tanah (YL-69) dan suhu (LM35). Data tersebut akan ditampilkan pada gawai yang terhubung melalui aplikasi *Blynk*. Penelitian ini juga memungkinkan sistem ini dalam menampilkan *notifikasi* apabila sistem mendeteksi tiga kategori yang telah ditentukan. Kategori yang telah ditentukan adalah saat sistem mendeteksi potensi kebakaran, asap terdeteksi, dan kebakaran.



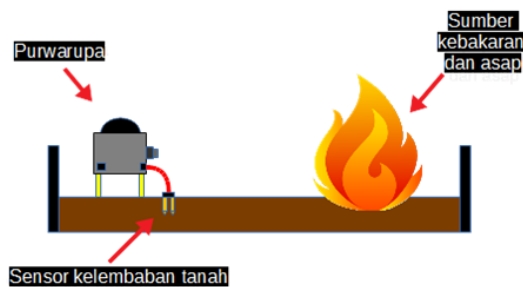
**Gambar 1.** Diagram prinsip kerja sistem

### Rancangan Prototype

Pengujian dilakukan pada area dengan luas 1 m<sup>2</sup> yang diisi dengan tanah gambut, kemudian membakar dedaunan sehingga diharapkan dapat menjadi sumber



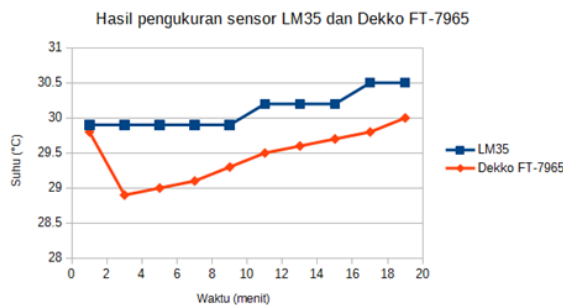
kebakaran dan asap. Dengan posisi purwarupa yang menghadap ke sumber kebakaran dan asap diharapkan dapat mendeteksi lebih akurat.



**Gambar 2.** Rancangan area penelitian

### Sensor Suhu

Dari gambar 3 terlihat bahwa hasil pengukuran terlihat bahwa sensor suhu (LM35) yang digunakan mendekati hasil pengukuran dari termometer (Dekko FT-7965) dengan nilai tertinggi sebesar 3,3% yang artinya sensor tersebut bekerja dengan baik dan layak untuk digunakan.



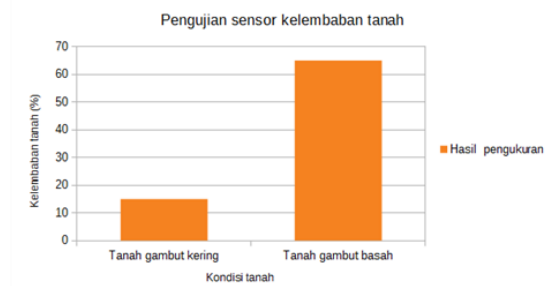
**Gambar 3.** Grafik perbandingan hasil pengukuran sensor suhu

### Sensor Kelembaban Tanah

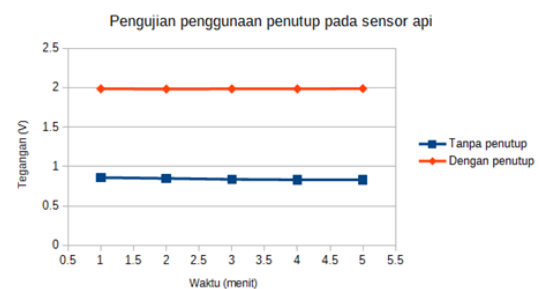
Metode kalibrasi yang digunakan berasal dari SNI 1965:2008 yang kemudian disesuaikan. Sehingga mendapatkan hasil seperti Gambar 4.

Dari gambar 4 terlihat bahwa hasil pengujian saat di tanah kering, sensor menampilkan hasil 15% dan saat pengujian pada tanah gambut basah, sensor menampilkan hasil 65%. Ini membuktikan bahwa sensor bekerja dengan baik di mana semakin rendah nilai persen maka semakin kering tanah. Begitu juga sebaliknya,

semakin tinggi nilai persen maka semakin basah tanah yang diukur.



**Gambar 4.** Grafik data hasil pengujian kelembaban tanah



**Gambar 5.** Grafik data hasil pengukuran tegangan dengan atau tanpa penutup

### Sensor Api

Dari gambar 5 terlihat bahwa dengan menggunakan penutup pada sensor api dapat meredam pengaruh dari sinar matahari sehingga tidak mengganggu hasil pengukuran sehingga sensor tersebut dapat digunakan di luar ruangan. Penulis juga melakukan pengujian sensitifitas sensor terhadap jarak sumber api yang dapat dilihat pada tabel berikut:

**Tabel 1.** Pengujian sensitifitas sensor api

Jarak (cm)	Api
20	Terdeteksi
40	Terdeteksi
60	Terdeteksi
80	Terdeteksi
100	Tidak terdeteksi

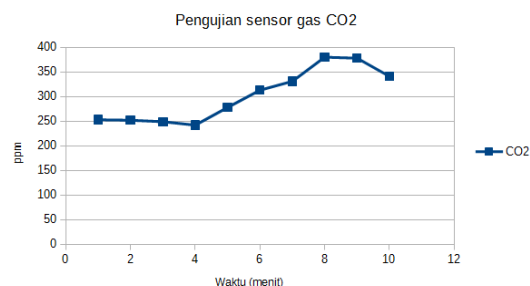
Dari data yang diambil dapat dilihat bahwa sensor dapat mendeteksi api hingga

jarak 80 cm dan pada jarak 100 cm kemampuan sensor dalam mendeteksi api telah berkurang.

### Sensor Gas CO<sub>2</sub>



**Gambar 6.** Grafik lama sensor mencapai titik kestabilan



**Gambar 7.** Grafik hasil pengujian sensor gas CO<sub>2</sub>

Dari pengujian yang telah dilakukan dapat dilihat bahwa sensor berhasil me-

ngukur kadar CO<sub>2</sub> dalam udara di lingkungan sekitar dengan kadar CO<sub>2</sub> yang terukur yaitu 242 ppm – 380 ppm dan masih dalam kategori aman bagi kesehatan manusia.

### Pengujian Sistem

Pengujian dilakukan sebanyak 100 kali pengambilan data. Data perulangan tersebut kemudian diambil nilai rata-ratanya. Pengujian yang dilakukan kondisi semirip mungkin dengan kondisi lahan gambut yang umum terdapat di sekitar pulau Tarakan dan wilayah Kalimantan Utara secara umum. Data-data tersebut disajikan pada Tabel 2.



**Gambar 8.** Lokasi pengujian purwarupa

**Tabel 2.** Hasil pengujian prototype

Suhu (°C)	K. Tanah (%)	Gas CO <sub>2</sub> (ppm)	Api	Pesan yang ditampilkan
35,7	17,3	331	Tidak ada api	Berpotensi kebakaran
35,9	18,9	378	Tidak ada api	Berpotensi kebakaran
36	19	330	Tidak ada api	Berpotensi kebakaran
35,8	18,7	346	Tidak ada api	Berpotensi kebakaran
35,7	18,5	440	Tidak ada api	Berpotensi kebakaran
35,4	18,2	512	Tidak ada api	Berpotensi kebakaran
35,4	17,9	544	Tidak ada api	Berpotensi kebakaran
35,2	17,8	632	Tidak ada api	Asap terdeteksi
35,1	17,8	698	Tidak ada api	Asap terdeteksi
35,1	15	561	Tidak ada api	Berpotensi kebakaran

Dari Tabel 2 terlihat bahwa sistem yang dibangun telah berhasil mendeteksi semua parameter yang ada dilingkungan

sekitar di mana terdeteksi dua kondisi yaitu “berpotensi kebakaran” dan “asap terdeteksi”, sistem juga berhasil menampilkan

hasil pengukuran secara *realtime* beserta pesan *notifikasi* pada aplikasi *Blynk*. Ini membuktikan bahwa sistem bekerja dengan baik dan sesuai dengan perancangan.

#### IV. SIMPULAN

Berdasarkan dari data hasil pengujian sistem, terdapat dua kondisi yang terdeteksi oleh sistem yang kemudian tampil pada *notifikasi* gawai pengguna aplikasi *Blynk* yaitu pada kondisi berpotensi kebakaran dengan setiap variabel parameter yang diukur bernilai 36,1°C untuk temperatur lingkungan, kelembaban tanah sebesar 19,0%, kadar gas CO<sub>2</sub> sebesar 330 ppm dan suatu kondisi khusus yang dinamakan tidak terdeteksi api.

Untuk kondisi asap terdeteksi masing-masing variabel yang diukur bernilai 35,1°C pada parameter temperatur lingkungan, kelembaban tanah sebesar 17,8%, kadar gas CO<sub>2</sub> sebesar 698 ppm dan suatu kondisi khusus yang dinamakan sebagai tidak terdeteksi api. Dalam mendeteksi potensi kebakaran, sistem berhasil mendeteksi semua parameter yang ditargetkan.

Pengujian dan pengambilan data yang telah dilakukan merupakan simulasi yang dapat dijadikan acuan apabila purwarupa akan digunakan pada kondisi sebenarnya di lapangan. Kelebihan dari sistem ini adalah memanfaatkan berbagai macam sensor sebagai pengindra kondisi di lapangan yang lazim dikategorikan sebagai pertanda kebakaran lahan sehingga sistem dapat memberikan data yang lebih spesifik terhadap keadaan lahan yang sedang dipantau.

Hal ini akan memberikan manfaat bagi pengguna yaitu mengetahui kondisi terkini lingkungan pada lokasi pemantauan tanpa harus selalu berada di lokasi pemantauan sehingga diharapkan dapat meminimalkan potensi kerugian yang berasal dari kebakaran lahan gambut.

#### V. RUJUKAN

- [1] W.C.Adinugroho, I.N.N. Suryadiputra, B. H. Saharjo, dan L. Siboro, "Panduan Pengendalian Kebakaran Hutan dan Lahan Gambut," No. July. 2004.
- [2] F. Agus dan I. G. M. Subiksa, "Lahan Gambut: Potensi untuk Pertanian dan Aspek Lingkungan", 2008.
- [3] S.A. Rice, "Health Effects of Acute and Prolonged Co 2 Exposure in Normal and Sensitive Populations," *Third Anu. Conf. Carbon Sequestration*, hal. 5–8, 2003, doi: 10.1.1.464.2827.
- [4] Olimex, "MG811: CO2 Sensor," *Protoc. Prod. Manuals*, hal. 2–3, 2016, [Daring]. Tersedia pada: <http://www.hwsensor.com>.
- [5] E. Setyaningsih, D. Prastiyanto, dan Suryono, "Penggunaan Sensor Photodiode sebagai Sistem Deteksi Api pada Wahana Terbang Vertical Take-Off Landing (VTOL)," *J. Tek. Elektro*, vol. 9, no. 2, hal. 53–59, 2017.
- [6] D. Rohmat dan I. Soekarno, "Formulasi efek sifat fisik tanah terhadap permeabilitas dan suction head tanah (kajian empirik untuk meningkatkan laju infiltrasi)," *J. Bionatural*, vol. 8, no. 1, hal. 1–9, 2006.
- [7] P. L. Sarwendah dan Mulyadi. "Sistem Irigasi Tetes Elektronik Pada Budidaya Cabai Di Lahan." *Elsains*, vol. 1, hal. 2–5, 2019.
- [8] Badan Standarisasi Nasional. "SNI 1965:2008 Cara uji penentuan kadar air untuk tanah dan batuan di laboratorium," hal. 16, 2008.

- [9] N. D. Putra, "Wireless Smart Tag Device Sebagai Sistem Keamanan Rumah Sistem Keamanan Rumah," 2018, [Daring]. Tersedia pada: [https://dspace.uui.ac.id/bitstream/handle/123456789/11195/Laporan Skripsi.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://dspace.uui.ac.id/bitstream/handle/123456789/11195/Laporan%20Skripsi.pdf?sequence=1&isAllowed=y).
- [10] docs.blynk.cc/, "Blynk Document," docs.blynk.cc, 2020. <https://docs.blynk.cc/> (diakses Jan 29, 2020).
- [11] S. S. Ramadania dan Mulyadi, "Sistem Pemantauan Biodigester Menggunakan Mikrokontroler Biodigester Monitoring System Using Microcontroller," *J. Borneo Saintek*, vol. 2, no. 2, hal. 31–37, 2019, doi: [https://doi.org/10.35334/borneo\\_saintek.v2i2.1104](https://doi.org/10.35334/borneo_saintek.v2i2.1104).

# Sistem Monitoring Instrument Air Compressor (IAC) berbasis SCADA dengan Komunikasi Modbus RTU RS-485

**Muchamad Chadiq Zakaria, Edy Kurniawan, Jawwad Sulthon H**

Program Studi Teknik Elektro  
Universitas Muhammadiyah Ponorogo  
mohzakaria10@gmail.com, edy@umpo.ac.id, sulthon.habiby@gmail.com

Received: September 2020; Accepted: Oktober 2020; Published: November 2020

DOI: <http://dx.doi.org/10.30649/j-eltrik.v2i2.117>

## Abstrak

PLTU Pacitan adalah salah satu pembangkit listrik di Jawa Timur yang memiliki kapasitas 2 x 315 MW yang dibangun pemerintah pada *Fast Track Program 1*. *Instrument Air Compressor (IAC)* adalah salah satu peralatan bantu di PLTU Pacitan yang berfungsi sebagai suplai udara ke sistem pneumatik seluruh *plant*. Namun, peralatan ini tidak bisa dimonitor oleh *operator Central Control Room (CCR)* dengan maksimal. Parameter yang dapat dikontrol sangat terbatas. Hal ini dikarenakan terbatasnya jumlah terminal *Field Bus Module (FBM)* yang tersedia. Rumusan masalah adalah bagaimana cara membuat modul komunikasi untuk menampilkan parameter *Instrument Air Compressor System* ke *display HMI operator CCR* secara *real time*. Tujuan dari perancangan alat ini adalah membuat modul komunikasi yang aman dan handal untuk menampilkan semua parameter *Instrument Air Compressor* yang ada dilokal tampil di *display* komputer CCR. Metode yang digunakan adalah pengontrolan dan pemantauan parameter ditransmisikan dari lapangan ke CCR menggunakan komunikasi serial protokol modbus RS485. Untuk meningkatkan pengelolaan peralatan tidak hanya dikontrol dan dimonitor tetapi juga menampilkan *fault alarm* untuk mengingatkan *operator* bahwa peralatan mengalami ketidaknormalan. Perancangan *prototype* menggunakan komputer sebagai HMI dan arduino nano sebagai mikrokontroler. Manfaat dari perancangan modul komunikasi ini adalah mengganti peran FBM yang jumlah terminal *input* dan *output* yang terbatas dan memiliki harga yang mahal serta meningkatkan kehandalan *Instrument Air Compressor System*.

**Kata kunci :** *Instrument Air Compressor (IAC)*, Protokol Modbus , Pneumatik

## Abstract

*The Pacitan Power Plant is one of the power plants in East Java that has a capacity of 2 x 315 MW which was built by the government in the Fast Track Program 1. The Instrument Air Compressor (IAC) is one of the auxiliary equipment at the Pacitan Power Plant that provides air supply to the factory's advanced pneumatic system. However, this equipment cannot be monitored by the Central Control Room (CCR) operator to the maximum. The parameters that can be controlled are very limited. This is due to the limited number of available Field Bus Module (FBM) terminals. The problem formulation is how to create a communication module to display the parameters of Instrument Air Compressor System to display the HMI CCR operator in real time. The purpose of designing tool is to create a safe and reliable*

*communication module to display all the parameters of the existing Air Compressors to be displayed in the CCR's computer display. The method used is the control and transmission parameters that are transmitted from the field to the Central Control Room using serial communication RS485 Modbus Protocol. To improve equipment management not only is controlled and monitored but also displays alarm errors to alert the operator, the equipment increases abnormalities. The design prototype uses a computer as HMI and Arduino Nano as a microcontroller. The benefits of designing this communication module are replacing the role of FBM which has a limited number of input and output terminals and has a high price and increases the reliability of Instrument Air Compressor System.*

**Key words:** *Instrument Air Compressor (IAC), Modbus Protocol, Pneumatic*

## I. PENDAHULUAN

PLTU Pacitan adalah salah satu pembangkit listrik di Jawa Timur yang memiliki kapasitas 2 x 315 MW yang dibangun pemerintah pada *Fast Track Program 1*. *Instrument Air Compressor (IAC)* adalah salah satu peralatan bantu di PLTU Pacitan yang memiliki peran penting yaitu menyuplai udara ke *pneumatic system* seluruh *plant*. Namun, peralatan ini tidak bisa dimonitor oleh *operator Central Control Room (CCR)* dengan maksimal. Parameter yang dapat dikontrol sangat terbatas. Hal ini dikarenakan terbatasnya jumlah terminal *Field Bus Module (FBM)* yang tersedia.

Rumusan masalah adalah bagaimana menampilkan parameter *Instrument Air Compressor System* ke *display HMI operator CCR* secara *real time*. Tujuan perancangan alat ini adalah membuat modul komunikasi yang aman dan handal untuk menampilkan semua parameter *Instrument Air Compressor* yang ada dilokal agar tampil di CCR. Modul Komunikasi Modbus dibuat menggunakan mikrokontroler arduino sebagai kontroler komunikasi dan *software InduSoft Web Studio* sebagai *Human Machine Interface (HMI)* dan protokol komunikasi yang digunakan adalah Modbus RS485.

Berdasarkan jurnal yang berjudul *Design of Compressor Monitoring System Based on Modbus Protocol* yang dibuat oleh Tu Xuyue pada tahun 2010 men-

jelaskan bahwa peran kompresor di *Nanchang Railway Bureau* sangat penting. Kompresor berfungsi sebagai suplai udara pneumatik. Karena begitu pentingnya peran kompresor maka diperlukan alat untuk memantau kondisi peralatan tersebut. Tidak hanya *controlling* dan *monitoring* tetapi juga menampilkan semua parameter dan *fault alarm* untuk mengingatkan *operator* dalam pengelolaan kompresor. Di PLTU Pacitan fasilitas untuk *monitoring* kompresor sangat terbatas. Oleh karena itu perlu modifikasi peralatan untuk menyelesaikan masalah tersebut. Berangkat dari ide inilah kompresor di PLTU Pacitan dilakukan *improvement* dengan cara menampilkan semua parameter dan *fault alarm* dapat terpantau oleh *operator CCR*.

Komunikasi Data Serial *Multipoint* Menggunakan Teknik RS485 *Half Duplex* adalah jurnal ilmiah Poli Rekayasa Volume 3, nomor 2 karya Rikki Vitria yang membahas tentang bagaimana cara berkomunikasi peralatan menggunakan teknik komunikasi modbus RS485. Teknik ini dapat diterapkan di PLTU Pacitan karena komunikasi ini sesuai dengan yang dibutuhkan.

Komunikasi modbus RS485 dapat berjalan dengan baik hingga jarak 1200 meter. Modbus RS485 adalah komunikasi *multipoint* yang dilakukan oleh *master* dan *slave*. *Master* mampu terhubung dengan 32 *slave* sekaligus di waktu yang sama hanya menggunakan dua buah kabel dan tanpa referensi *ground* yang sama. RS485 memiliki kelebihan jika terjadi gangguan

listrik di saluran transmisi maka induksi diterima oleh kedua kabel. Karena *receiver* membandingkan selisih tegangan diantara dua kabel transmisi maka induksi tegangan tidak berpengaruh pada *output*. Semua peralatan yang mendukung protokol komunikasi ini dapat saling terhubung seperti PLC, komputer, HMI, *I/O device*, *driver* dan lain – lain.

## II. METODE PENELITIAN

Di dalam bab ini penulis membahas tentang perencanaan alat terdiri dari perencanaan prinsip kerja dan pembuatan alat. Penjelasan flow chart:

*Analog output* dan *digital output* yang berasal dari *output* IAC dibaca oleh arduino. *Analog output* modul output IAC berupa arus 4 - 20 mA yang kemudian dikonversi menjadi tegangan dengan menambahkan *resistor* 250 ohm pada arduino. Sedangkan *digital output* berupa tegangan 0 atau 5 Volt. *Analog output* menghasilkan data 0 sampai 1023 data desimal. Sedangkan *digital output* menghasilkan data 1 dan 0 biner. *Analog input* terbaca dengan *register* 40000 – 40007 dan *digital input* terbaca dengan *register* 40008 – 40015. Kemudian data dikirim ke HMI.

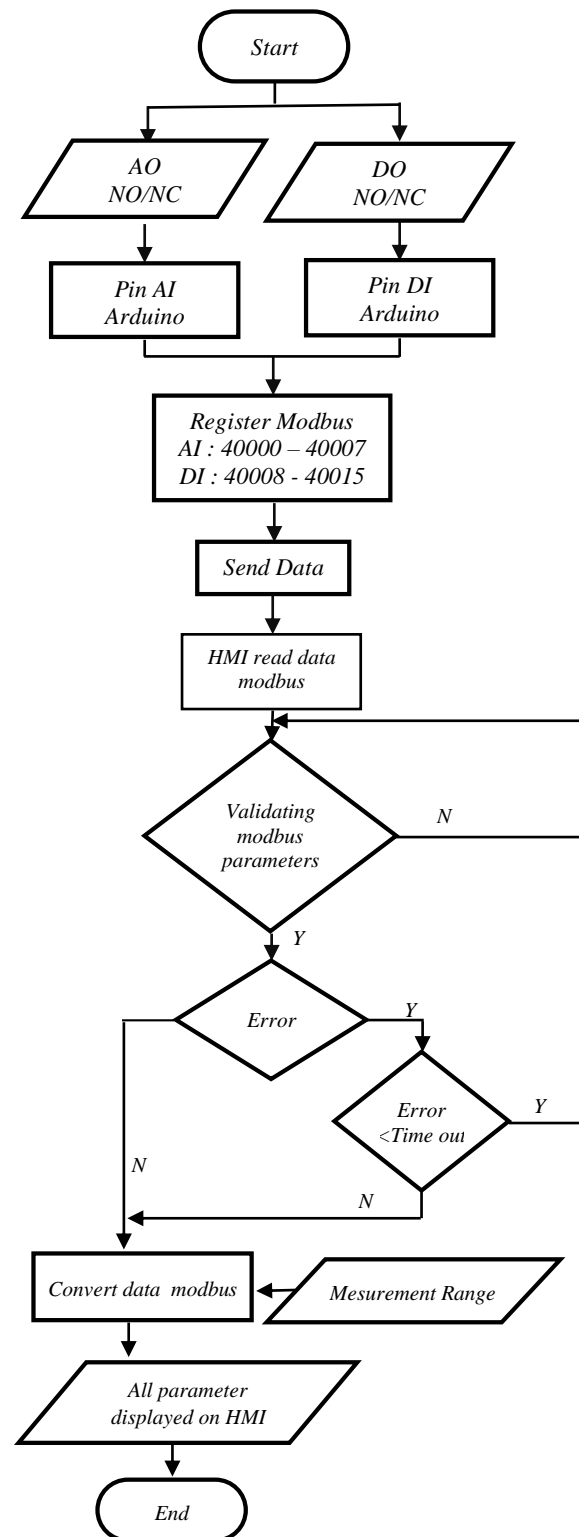
HMI membaca data modbus kemudian melakukan validasi parameter komunikasi modbus (*baudrate*, *stop bit*, *parity*, *data bit*). Parameter tersebut harus sama antara modul komunikasi dan HMI. Jika validasi gagal maka akan mengulangi proses validasi dari awal.

HMI melacak kesalahan, jika ditemukan kesalahan kurang dari waktu *time out* maka komunikasi akan lanjut ke konversi data modbus, jika pencarian kesalahan lebih dari *time out* maka kembali ke validasi parameter data modbus. Jika tidak ditemukan kesalahan sama sekali maka komunikasi lanjut ke konversi data modbus.

Konversi data modbus disesuaikan dengan skala pengukuran alat ukur *trans-*

*mitter* sehingga nilai yang muncul di HMI adalah nilai besaran yang diukur.

### Prinsip Kerja



Gambar 2. Flow chart Prinsip Kerja Alat



### Pembuatan Alat

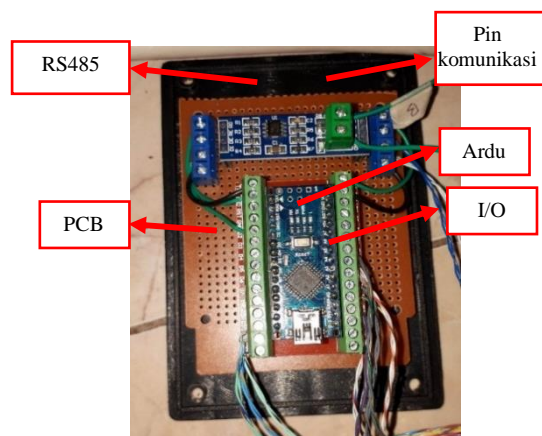
Pembuatan alat terdiri dari pembuatan Modul Komunikasi Modbus dan HMI (*Human Machine Interface*).

#### a. Modul Komunikasi



**Gambar 3.** Modul Komunikasi Modbus

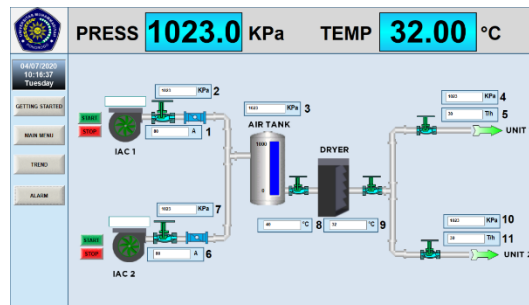
Modul Komunikasi Modbus dirangkai ke dalam papan sirkuit PCB agar komponen elektronika tertata rapi, efisien dan bekerja dengan baik. Untuk melindungi komponen elektronika dari debu maka komponen elektronika disimpan di dalam *box* PVC dengan ketebalan 3 mm berukuran 12 x 8 x 5 cm.



**Gambar 4.** Rangkaian Modul Komunikasi Modbus

#### b. Pembuatan HMI Prototype

HMI dirancang menggunakan *software Indusoft Web Studio*. Didalam HMI terdapat parameter *pressure*, *temperature*, *flow air* dan *current*. HMI juga menampilkan menu *flow diagram*, *alarm* dan *trend*.



**Gambar 5.** HMI Prototype

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam bab ini penulis membahas pengujian alat. Pengujian dilakukan untuk mengetahui hasil kinerja alat. Pengujian yang dilakukan diantaranya adalah:

#### a. Pengujian Pembacaan input

Pengujian pembacaan *input* adalah pengujian untuk mengetahui tingkat kesalahan Modul Komunikasi Modbus dalam membaca *input*. *Input* data yang terbaca oleh Modul Komunikasi Modbus adalah tegangan 0 hingga 5 Volt. Tabel 1 adalah hasil pengujian pembacaan input. Berdasarkan tabel tersebut didapatkan hasil rata – rata error pembacaan adalah 0.06%.

**Tabel 1.** Hasil Pengujian Pembacaan Input

Tegangan Terukur	Data Terukur (dec)	Data Seharusnya (dec)	Error (%)
0.01	0	0	0
0.56	116	115	0.87
1.028	209	210	-0.48
1.52	313	311	0.64
2.04	420	417	0.72
2.522	514	516	-0.39
3.06	625	626	-0.16
3.502	717	717	0
4.04	825	827	-0.24
4.55	928	931	-0.32
5.02	1023	1023	0
Rata – rata error			0.06

### b. Pengujian Fungsi Protokol Modbus

Pengujian fungsi protokol Modbus dilakukan untuk mengetahui bahwa fungsi Modbus yang telah diatur berfungsi dengan baik. *Holding register* adalah fungsi protokol Modbus yang dibutuhkan dalam penerapan alat ini di PLTU Pacitan. Jarak peralatan IAC dengan CCR kurang lebih 100 meter, maka pengujian ini dilakukan dengan jarak antara *Master* dan *Slave* 100 meter.

*Holding register* adalah fungsi protokol Modbus yang dibutuhkan dalam penerapan alat ini di PLTU Pacitan. Pengujian yang dilakukan antara *master* dengan *slave*

yang berjarak 100 meter ini membuktikan komunikasi modbus dapat bekerja dengan baik. Hal ini dikarenakan fungsi *holding register* adalah fungsi yang telah diprogram pada modul komunikasi. Tabel 2 adalah hasil pengujian fungsi protokol modbus. Berdasarkan tabel tersebut terlihat bahwa pengujian fungsi protokol Modbus *holding register input* dan *output* berjalan dengan baik. *Query Master* kepada *Slave* pada masing - masing *register* dapat diterima dan dikerjakan dengan baik oleh *Slave* 1 dan 2. Data yang dikirim juga dapat terbaca dengan baik oleh *Master*.

**Tabel 2.** Hasil Pengujian Fungsi Protokol Modbus

Fungsi	Slave	Register	Data (Hex)	I/O	Respon
3 (Holding Register)	1	40001	161	AI	OK
		40002	16E	AI	OK
		40003	1	DI	OK
		40004	1	DO	OK
	2	40001	1A3	AI	OK
		40002	1B0	AI	OK
		40003	1	DI	OK
		40004	1	DO	OK

### c. Pengujian Interferensi Alat

Pengujian interferensi alat adalah pengujian yang dilakukan untuk mengetahui kehandalan alat ketika terjadi gangguan. Pengujian ini dilakukan dengan 3 pengujian. Pengujian pertama yaitu melintaskan gelombang elektromagnetik di jalur komunikasi Modbus. Gelombang elektromagnetik didapatkan dari gelombang radio yang dipancarkan alat komunikasi HT (*Handy Talky*) yang biasa digunakan oleh *operator* dalam melakukan koordinasi pengoperasian peralatan.

Pengujian kedua adalah menguji kehandalan Modul Komunikasi Modbus terhadap medan magnet yang ditimbulkan oleh motor IAC. Pengujian ketiga adalah menguji kehandalan Modul Komunikasi Modbus terhadap jarak *master* dan *slave*. Penulis melakukan pengujian tersebut menggunakan osiloskop. Data hasil

pengujian diolah dan disajikan ke dalam Tabel 3.

**Tabel 3.** Hasil Pengujian Interferensi Alat

Penyebab Gangguan	Jarak (cm)	Hasil Komunikasi
HT	<15	Terganggu
	>15	Aman
Motor	0	Aman
Jarak	<10000	Aman

### d. Pengujian Fungsi Invalid

Pengujian fungsi *invalid* adalah pengujian yang bertujuan untuk mengetahui komunikasi Modbus berjalan dengan baik dan mendapatkan data yang valid atau tidak. Pengujian ini akan mendapatkan hasil kode *exception response* dan *time out error* bila komunikasi berjalan tidak normal.

Dari hasil pengujian pertama penulis mendapatkan hasil *invalid function*, ini ter-

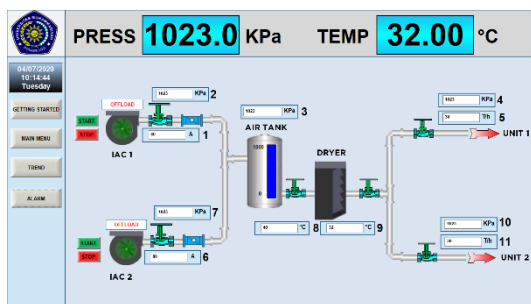
jadi karena *slave* tidak bisa mengganggu *query* dari *master*. Hal ini disebut *Exception Response*. *Register* pada *slave* adalah 40001 - 40018 namun *master* meminta data dari *register* 40019. Pengujian kedua terlihat bahwa fungsi 7 adalah fungsi *invalid*. Hal ini terjadi karena Modul Komunikasi Modbus tidak mendukung

fungsi tersebut. Pengujian ketiga dan keempat adalah *query* dari *master* tidak mendapat respon *slave*. Hal ini terjadi karena Modul Komunikasi Modbus hanya mempunyai 2 *slave* yang aktif yaitu *Slave* ID 01 dan 02.

**Tabel 4.** Hasil Pengujian Invalid

Slave ID	Fungsi	Register	Respon	Ket
2	3	40010 s/d 40019	02 <i>Illegal Data Address</i>	<i>Invalid Function</i>
2	7	40001 s/d 40017	01 <i>Illegal Function</i>	<i>Invalid Function</i>
3	3	40001 s/d 40017	<i>No Response</i>	<i>Time - out Error</i>
5	3	40001 s/d 40017	<i>No Response</i>	<i>Time - out Error</i>

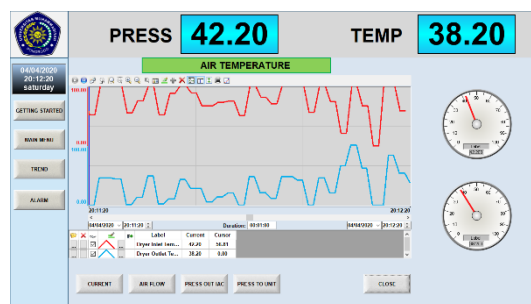
#### e. Pengujian Monitoring HMI



**Gambar 6.** Display HMI Menu Utama

Di dalam HMI terdapat menu utama yang isinya adalah gambar *flow diagram Instrument Air Compressor System*. Di dalam *display* menu ini juga menampilkan status kompresor, perintah *start* dan *stop* dan juga parameter peralatan yaitu *pressure*, *temperature*, *current* dan *flow air*.

Didalam *display* menu menampilkan *alarm list* yang muncul. Fungsi dari penampilan *alarm* adalah untuk memberi tahu *operator* tentang kondisi peralatan *Instrument Air Compressor*. Selain menampilkan *alarm* juga menampilkan *alarm history* yang pernah terjadi. *History* berfungsi untuk mempermudah *operator* dalam menganalisa masalah dan juga untuk mempermudah dalam mengevaluasi kinerja *Instrument Air Compressor*.



**Gambar 7.** Display Menu Trending

Didalam *display* utama terdapat menu *trending* yang jika di buka akan menampilkan *history* semua parameter seperti *pressure*, *temperature*, *flow* dan *current Instrument Air Compressor* bekerja. *Trending* disajikan dalam bentuk grafik agar lebih mudah dibaca dan dipahami *operator*.

## IV. SIMPULAN

Berdasarkan hasil dari analisa yang telah dilakukan penulis menyimpulkan bahwa sistem telekontrol modbus *holding register* bekerja dengan baik dengan jarak 50 hingga 100 meter. Modul komunikasi dapat menampilkan semua parameter secara *realtime* di HMI. Modul ini dapat

diterapkan di PLTU Pacitan untuk membantu pengelolaan pengoperasian *Instrument Air Compressor System*.

## V. RUJUKAN

- [1] Dongfang Electric Company. *"Indonesia Pacitan 2 x 315 MW Coal Fired Power Plant Boiler Operation Manual"*. Diperoleh dari Indonesia Pacitan 2 x 315 MW Coal Fired Power Plant Boiler Operation Manual. pdf. diakses tanggal 23 Oktober 2019. 2009.
- [2] Nurpadmi. *Studi Tentang Modbus Protokol Pada Sistem Kontrol*. Vol. 01 No. 2.
- [3] T. Agus, Sudjadi, I. Setiawan. *"Sistem Telekontrol SCADA dengan Fungsi Dasar Modbus Menggunakan Mikrokontroller AT89S51 dan Komunikasi Serial RS485"*. Universitas Diponegoro. 2007. Diakses pada tanggal 14 Februari 2020.
- [4] T. Anang. *"Rancang Bangun Supervisory Control And Data Acquisition (SCADA) Pada Proses Pembubuhan Tawas di PDAM Karangpilang I"*. 2010. [https://www.researchgate.net/publication/277074850\\_Rancang\\_Bangun\\_Supervisory\\_Control\\_And\\_Data\\_Acquisition\\_SCADA\\_pada\\_Proses\\_Pembubuhan\\_Tawas\\_di\\_PDAM\\_Karangpilang\\_I\\_Surabaya](https://www.researchgate.net/publication/277074850_Rancang_Bangun_Supervisory_Control_And_Data_Acquisition_SCADA_pada_Proses_Pembubuhan_Tawas_di_PDAM_Karangpilang_I_Surabaya) . Diakses pada tanggal 18 Oktober 2019.
- [5] V. Rikki. *"Komunikasi Data Serial Multipoint Menggunakan Teknik RS485 Half Duplex"*. Jurnal Ilmiah Poli Rekayasa Volume 3, Nomor 2. 2008. [https://www.Academia.edu/10348721/RS485\\_oleh\\_Rikki\\_Vitria](https://www.Academia.edu/10348721/RS485_oleh_Rikki_Vitria). Diakses pada tanggal 18 Oktober 2019.

# Alat Penyiram Tanaman Otomatis Berbasis Arduino menggunakan *Internet Of Things* (IOT)

Nabil Azzaky, Anang Widianoro

Fakultas Teknik, Progam Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Surabaya  
Jl. Sutorejo No.59 Surabaya, Jawa Timur, Indonesia  
Email: azzakyn09@gmail.com; anang\_widianoro@yahoo.com

Received: July 2020; Accepted: September 2020; Published: November 2020  
DOI: <http://dx.doi.org/10.30649/j-eltrik.v2i2.48>

## Abstrak

Tanaman merupakan makhluk hidup yang penting bagi kebutuhan hidup manusia. Manfaat tanaman bagi manusia adalah sebagai pembersih udara. Air dibutuhkan bagi tanaman untuk pertumbuhan. Selain digunakan pada proses fotosintesis, air juga dimanfaatkan oleh tanaman untuk melarutkan mineral yang diserap akar dari tanah sebagai proses perkembangan tanaman tersebut. Penyiraman dapat menjaga serta merawat tanaman agar tumbuh dan berkembang. Tujuan penelitian ini adalah membuat alat yang dapat menyiram tanaman menggunakan perangkat android dengan memanfaatkan koneksi internet untuk kontrol dan monitoring. Dengan menggunakan *smartphone android* yang sudah ter-*install* aplikasi *blynk* dapat berkomunikasi dengan arduino yang menggunakan perangkat tambahan berupa ESP8266 sehingga dapat terhubung melalui koneksi WIFI sehingga memungkinkan *user* untuk mengontrol dan memonitoring alat penyiram tanaman, dengan cara kerja mengirim perintah *on* dan *off* melalui *blynk* serta menerima data suhu dan kelembaban yang diperoleh dari sensor DHT22. Hasil dari penelitian ini, alat penyiram tanaman mampu bekerja dengan baik, mampu mengontrol penyiraman secara manual dan otomatis. Alat akan menyiram tanaman bila suhu lebih dari 31°C.

Kata kunci : *Android* , *Blynk*, suhu, dan kelembaban

## Abstract

*Plants are living things that are important for the needs of human life. The benefits of plants for humans are as an air purifier. Water is needed for plants to grow. Besides being used in the process of photosynthesis, water is also used by plants to dissolve minerals that are absorbed by the roots from the soil as a process of developing the plants. Watering can maintain and care for plants to grow and develop. The purpose of this study is to create a tool that can water plants using Android devices by utilizing an internet connection for control and monitoring. By using smartphone android that has been installed the blynk application can communicate with Arduino using an enhancement in the form of ESP8266 so that it can be connected via a WIFI connection so that it allows the user to control and monitor the plant sprinklers, by working sending commands on and off through blynk and receiving data the temperature and humidity obtained from the DHT22 sensor. The results of this study, the watering plant can work well, can control watering manually and automatically. The tool will water the plants when the temperature is more than 31 °C*

*Keywords: Android, Blynk, temperature, and humidity*

## I. PENDAHULUAN

Tanaman merupakan makhluk hidup yang penting bagi kebutuhan hidup manusia. Manfaat tanaman bagi manusia adalah sebagai pembersih udara yang memproduksi oksigen serta menyerap gas karbondioksida dan berbagai polusi di udara, sebagai obat-obatan, sebagai penyejuk udara dan pelindung bagi sinar matahari, sebagai sumber bahan pangan, serta dapat digunakan sebagai penambah nilai estetika.

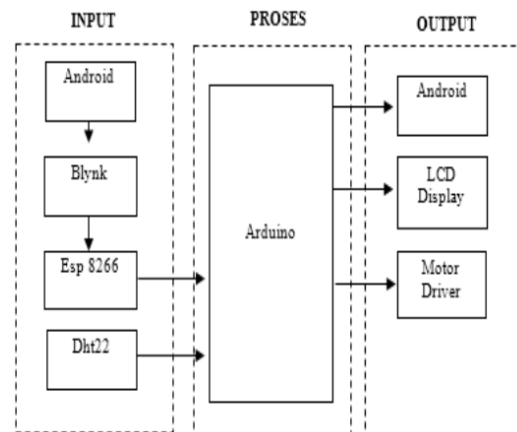
Salah satu faktor tumbuh dan berkembangnya tanaman yaitu dengan proses penyiraman. Penyiraman dapat menjaga serta merawat tanaman agar tumbuh dengan subur. Kebutuhan air yang cukup sangat penting pada tanaman. Sehingga perlu dilakukan monitoring dalam proses penyiraman untuk menjaga agar penyiraman berjalan optimal. Ada beberapa hal yang harus diperhatikan dalam melakukan monitoring penyiraman tanaman, diantaranya adalah kelembaban tanah dan suhu udara.

Memanfaatkan sistem kontrol penyiraman tanaman yang sudah ada, perancang mengembangkan sistem kontrol penyiraman tanaman menggunakan perangkat android dengan memanfaatkan koneksi internet untuk kontrol dan monitoring pada penyiraman tanaman, sehingga memudahkan pengguna untuk mengontrol dan memonitoring penyiraman tanaman dari jarak jauh [3].

## II. METODE PENELITIAN

### A. Rancangan penelitian

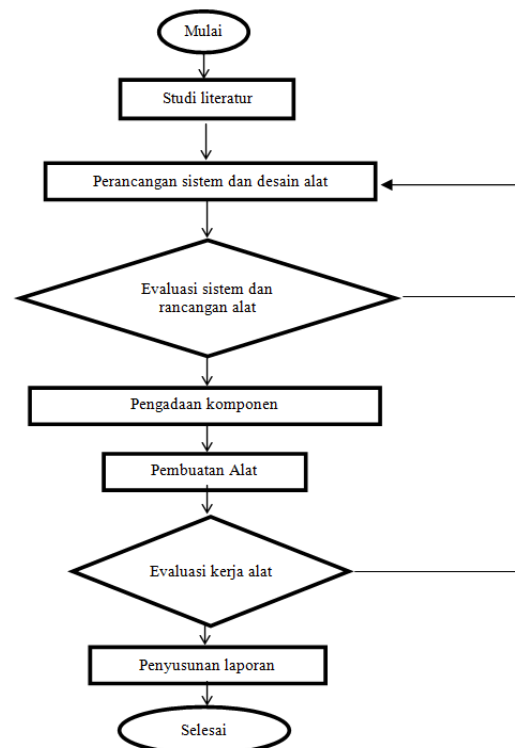
Skema proses penyiraman oto-matis berbasis arduino melalui kontrol perangkat android menggunakan konsep perancangan secara sederhana, konsep perancangan meliputi input, proses dan output.



**Gambar 1.** Diagram Sistem Perancangan Hardware Alat

### B. Tahapan Penelitian

Prosedur penelitian yang di gunakan, secara garis besar di gambarkan dalam diagram alir (*flow chart*) pada Gambar 2. Pada penelitian ini di lakukan beberapa tahapan pengerjaan mulai dari studi literatur, analisa kebutuhan sampai dengan penyusunan laporan.



**Gambar 2.** Flowchart Tahapan Penelitian

### C. Metode Analisa Data

Metode pengujian alat yang dipakai dalam penelitian ini yaitu metode kualitatif. Dalam hal ini akan diuraikan dan dipaparkan hasil analisa – analisa data berdasarkan rancangan alat, antara lain:

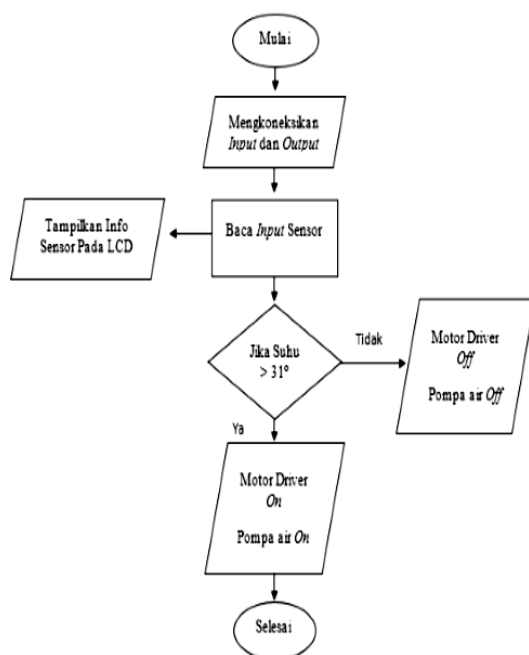
1. Perencanaan dan perancangan alat
2. Pengukuran kondisi setiap alat
3. Pengujian tiap – tiap alat
4. Pengujian seluruh sistem
5. Uji kelayakan alat

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut adalah hasil rancangan perangkat keras :



**Gambar 3.** Hasil rancangan perangkat keras



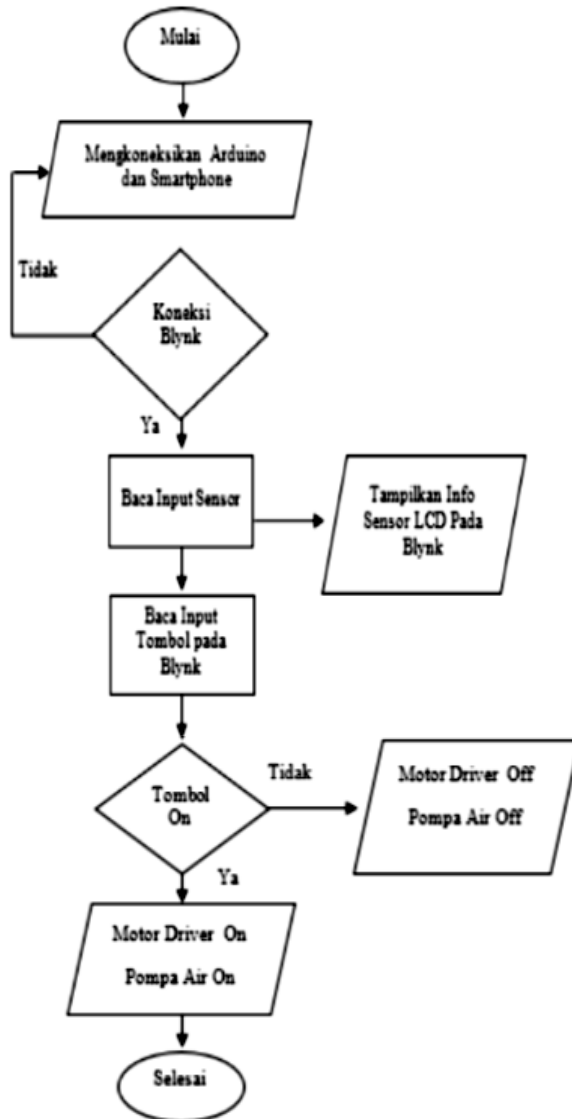
**Gambar 4.** Flowchart Program Sensor Suhu

### Program Arduino Pada Sensor Suhu

Algoritma Flowchart program sensor suhu pada Gambar 4.

1. Mengkoneksikan *input* (Sensor Suhu dan kelembaban DHT22) dan *output* (LCD, Motor Driver L298N dan Pompa Air) pada arduino.
2. Baca *input* sensor DHT22 berupa data suhu.
3. Menampilkan data suhu ke LCD.
4. Jika suhu diatas 31° maka motor driver dan pompa air menyala.
5. Jika suhu dibawah 31° maka motor driver dan pompa air mati.

### Program Arduino Kontrol Android



**Gambar 5.** Flowchart Program Kontrol Android Pada Arduino



*Algoritma Flowchart* program kontrol android pada Gambar 5.

1. Mengkoneksikan *input* dan *output* pada arduino dengan *smartphone* android untuk mengkoneksikan aplikasi *blynk*.
2. Membaca input sensor DHT22 berupa data suhu dan kelembaban.
3. Menampilkan data suhu dan kelembaban pada Tampilan LCD *blynk*.
4. Membaca *input* tombol yang berupa perintah menyalakan pompa air.
5. Jika tombol *on* maka motor driver dan pompa air menyala.
6. Jika tombol tidak *on (off)* maka motor driver dan pompa air mati.

### Pengujian Sensor DHT22

Penyiraman otomatis yang dihasilkan dari sensor DHT22 berupa suhu dan kelembaban yang proses pada Arduino sehingga dapat memberi perintah kepada Motor Driver L298N untuk menyalakan dan mematikan pompa air (Motor DC).

Pengujian dilakukan setelah kabel sensor dan motor driver dihubungkan pada *board* Arduino, kemudian disambungkan ke tegangan power menggunakan power supply. Pengujian dilakukan seperti pada gambar berikut :



**Gambar 6.** Pembacaan Sensor Suhu

Dalam pengujian sensor DHT22, suhu yang didapatkan selama pengujian terdapat pada Tabel 1. sebagai berikut:

**Tabel 1.** Suhu Yang Diperoleh Dari Sensor DHT22

No	Tanggal	Uji Coba pada Tanaman	Waktu	Suhu Sensor DHT22 (nilai terukur)	Suhu Thermo Hygrometer (nilai standart)	Ket	Error (%)
1	19 Juli 2018	Kamboja Jepang (Adenium)	Pagi	27,9	28,1	Off	0,7117438
			Siang	32,2	32,2	On	0,3095975
			Sore	29,1	29,3	Off	0,6825939
2	20 Juli 2018	Kamboja Jepang (Adenium)	Pagi	25,1	25,2	Off	0,3968254
			Siang	32,3	32,5	On	0,6153846
			Sore	29,2	29,3	Off	0,3412969
3	21 Juli 2018	Kamboja Jepang (Adenium)	Pagi	22,9	23,1	Off	0,8658009
			Siang	32,2	32,4	On	0,617284
			Sore	28,9	29,1	Off	0,6849315
Rata-rata error							0,5806065

Dari Tabel 1, dapat dianalisa nilai suhu yang diperoleh dari sensor. Untuk besarnya % error data dari pengujian data suhu dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$\% \text{ Error} = \frac{\text{Nilai Standart} - \text{Nilai Terukur}}{\text{Nilai Standart}} \times 100\%$$

Tampak bahwa terdapat rata-rata error yang sangat kecil. Rata-rata error kurang dari 1%, ini berarti alat telah bekerja sesuai dengan standar.

### Hasil Pengujian Kontrol Android

*Smartphone* Android yang sudah terinstal *Blynk* berfungsi untuk mengirim

perintah kepada Arduino yang terhubung wifi melalui ESP8266.

**Tabel 2.** Ujicoba Kontrol Android

Widget Blynk	Kegunaan	Berhasil	Gagal
Tombol On / Off	Menyalakan dan mematikan Motor DC (pompa air)	√	
Tampilan LCD	Mendapatkan data suhu dan kelembaban	√	

Dari data Tabel 2. diatas ujicoba kontrol android tidak bermasalah, dan dapat berfungsi sebagaimana fungsinya.

### Perhitungan Torsi Motor

Untuk mengetahui kemampuan torsi motor, diperlukan analisa terhadap nilai tegangan, arus dan kecepatan motor dengan beban atau tanpa beban. Tipe motor DC yang digunakan adalah tipe 280L dengan spesifikasi sebagai berikut:

Tegangan : 12 V DC  
 Daya maksimal : 100 W  
 Tekanan maksimal : 1.1Mpa/160psi  
 (145psi=1Mpa)  
 Aliran maksimal : 8L/min

Diketahui :

Tekanan (psi) = 160  
 Aliran = 8 liter/menit  
 Konstanta = 6,2822

Untuk mencari torsi kita perlu mengetahui nilai power motor DC dengan beban atau tanpa beban. Diketahui power dengan beban didapat nilai 1.58 W dengan RPM 7790 rad/min maka dihitung menggunakan rumus berikut:

$$T = \frac{\text{psi} \times \text{aliran}}{6,2822}$$

Berikut perhitungannya torsi motor DC:

$$T = \frac{160 \times 8}{6,2822}$$

$$T = 203,750279 \text{ N.m}$$

## IV. SIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Perancangan sistem alat pengontrol penyiraman tanaman dengan menggunakan konversi nilai suhu. Nilai tersebut diperoleh dari sensor DHT22 kemudian diproses pada arduino yang digunakan untuk memberi perintah bahwa pada suhu diatas 31°C maka pompa air akan *on* dan sebaliknya jika suhu dibawah 31°C maka pompa air akan *off*.
2. Pembuatan alat pengontrol penyiraman tanaman dengan menggunakan perangkat android memerlukan beberapa komponen diantaranya: arduino mega yang digunakan sebagai pengendali utama, *smartphone android* yang sudah terinstal *blynk* digunakan sebagai kontrol dan monitoring penyiraman tanaman, ESP8266 yang digunakan sebagai penghubung arduino dengan blynk dengan menggunakan koneksi wifi, sensor DHT22 untuk memperoleh data suhu dan kelembaban, motor driver yang digunakan untuk mengatur *on* dan *off* pompa air, dan LCD yang berfungsi untuk menampilkan hasil nilai suhu dan kelembaban yang di baca oleh sensor. Berdasarkan uji coba alat pada hasil pengujian sensor didapatkan rata – rata *error* sebesar 0,5806065. Sedangkan pada pengujian kontrol android tidak bermasalah dan berfungsi dengan baik.

Setelah dilakukanya penelitian terhadap penyiraman tanaman otomatis melalui kontrol perangkat android, adapun saran untuk pengembangan alat ini kedepannya, yaitu:

1. Jika alat ini digunakan untuk penyiraman tanaman pada outdoor seperti pada

- kebun atau halaman luas dapat menggunakan *sprinkler* taman.
2. Untuk mengontrol dan memonitoring penyiraman tanaman membutuhkan WIFI pada area tersebut.
  3. Untuk penyiraman tanaman dalam jumlah yang banyak dibutuhkan tambahan sensor dan komponen untuk penyiraman tanaman.

## V. RUJUKAN

- [1] S. Ajjie, "*Buku Mudah Belajar Mikrokontroller Dengan Arduino*," Bandung: Wi-dya Media. 2015.
- [2] S. Kadir, "*Panduan Praktis Memperlajari Aplikasi Mikrokontroler & Pemogramannya Menggunakan Arduino*," Yogyakarta: CV. Andi Offset. 2013.
- [3] M. Schwartz, "*Internet of Things with ESP8266*," Birmingham: Packt Publishing. 2016.
- [4] M.Y. Dinaya. "*Arduino itu Mudah*," Surabaya: Elex Media Komputindo. 2015.
- [5] S. Monk. "*Programming Arduino Getting Stared with Sketches*," New York: McGraw Hill Professional. 2011.
- [6] W.S. Anisa, "*Kontrol Relay Melalui Wifi ESP8266 dengan Aplikasi Blynk Berbasis OS Android*," Skripsi. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada 2016.

# Koordinasi Proteksi Arus Lebih Penyulang Tembuku terhadap Indeks Keandalan Sistem Distribusi 20 KV PT. PLN (Persero) ULP Bangli

I Wayan Sukadana<sup>1</sup>, Risma Fauziyah Ramadhani<sup>2</sup>

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Informatika, Universitas Pendidikan Nasional Denpasar, Jl. Bedugul No.39, Sidakarya, Kec. Denpasar Sel  
Kota Denpasar, Bali 80224  
email: sukadana@undiknas.ac.id<sup>1</sup>, risma.framadhani@yahoo.com<sup>2</sup>

Received: June 2020; Accepted: August 2020; Published: November 2020  
DOI: <http://dx.doi.org/10.30649/j-eltrik.v2i2.104>

## Abstrak

Penyulang Tembuku dilengkapi peralatan proteksi over current relay (OCR) pada *Recloser* Tembuku dan rele PMT *Outgoing* Penyulang Tembuku di GI Gianyar. Berdasarkan data yang tercatat pada monitoring PLN UP3 Bali Timur, tiga dari empat kali gangguan yang terjadi pada Penyulang Tembuku disebabkan oleh kesalahan koordinasi pengamanan sehingga terjadi pemadaman meluas. Hipotesa awal penyebab dari kesalahan koordinasi merupakan akibat dari rekonfigurasi jaringan Penyulang Tembuku. Dampak dari kesalahan koordinasi mempengaruhi salah satu kinerja indeks keandalan PLN ULP Bangli, yaitu pencapaian nilai SAIFI. Perhitungan arus hubung singkat menunjukkan nilai arus hubung singkat semakin besar setelah rekonfigurasi jaringan dikarenakan jarak penyulang yang semakin pendek. Hasil analisa dari setting eksisting menunjukkan bahwa waktu kerja antara PMT dan *Recloser* terlalu rapat, sehingga direkomendasikan untuk penyetelan ulang. Hasil perhitungan sebagai dasar rekomendasi diperoleh TMS PMT 0,19 s dan TMS *Recloser* 0,05 s dengan karakteristik Standard Inverse. Analisa terhadap SAIFI menunjukkan jika kinerja proteksi sesuai dengan harapan, maka kontribusi pemadaman karena gangguan pada Penyulang Tembuku dapat ditekan sebesar 31% pada Triwulan I 2019.

**Kata kunci:** arus hubung singkat, rele arus lebih, kordinasi proteksi, SAIFI

## Abstract

*Feeder Tembuku is supported by Over Current Relay (OCR) at Recloser Tembuku and Outgoing Circuit Breaker of Feeder Tembuku in GI Gianyar. Based on the data recorded by PLN UP3 Bali Timur, three of four faults happened at Feeder Tembuku was caused by protection miscoordination resulting widespread blackout. Initial hypothesis as the cause of miscoordination is the result of Feeder Tembuku's network reconfiguration. The impact of miscoordination affecting one of reliability index of PLN ULP Bangli, which is the achievement of SAIFI value. The short circuit current calculations show the value of short circuit current is greater after the network reconfiguration due to shorter feeder distance. The analysis of the existing settings shows that the working time between CB and Recloser is too tight, so it is recommended for resetting. Calculation results as a basis for recommendations obtained TMS 0,19s for CB and TMS 0,05s for Recloser both with Standard Inverse*

*characteristics. Analysis of SAIFI shows that if protection performance is in line with expectations, the contribution of blackouts due to fault at Feeder Tembuku can be reduced by 31% in the first quarter of 2019.*

**Keywords:** *short circuit current, over current relay, protection coordination, SAIFI*

## I. PENDAHULUAN

Seiring dengan kewajiban PLN untuk menyalurkan energi listrik yang berkualitas kepada pelanggan, maka diperlukan pemenuhan standar pelayanan yang baik sesuai kriteria tingkat mutu pelayanan, dimana salah satu poin utamanya adalah tingkat pemadaman rendah. Pemadaman listrik akibat gangguan yang terjadi pada jaringan tegangan menengah merupakan kontributor terbesar terhadap SAIFI sebagai salah satu indikator penilaian indeks keandalan.

Data gangguan yang tercatat di PLN UP3 Bali Timur ULP Bangli selama triwulan pertama tahun 2019 menunjukkan bahwa gangguan pada jaringan SUTM yang menyebabkan trip pada sisi PMT *Outgoing* Penyulang pada Gardu Induk menjadi penyebab tingginya tingkat pemadaman.

Berdasarkan data trip penyulang di ULP Bangli, penyulang Tembuku adalah yang paling sering trip diantara lainnya. Hingga akhir bulan Maret 2019, pemadaman tidak terencana (gangguan) berkontribusi sebesar 54% dari nilai realisasi total SAIDI 66,61 menit/pelanggan sedangkan 83% dari total realisasi SAIFI 1,12 kali/pelanggan. Selama triwulan I, diperkirakan trip Penyulang Tembuku cukup berperan dalam meningkatnya nilai SAIFI yang dicapai ULP Bangli hingga akhir triwulan I tahun 2019.

Salah satu permasalahan yang terjadi pada Penyulang Tembuku adalah koordinasi proteksi pada jaringan tegangan menengah yang kurang baik sehingga menyebabkan pemadaman meluas. Hal yang terjadi setelah dilakukan rekonfigurasi jaringan adalah lolosnya proteksi *Recloser* sehingga menghantam proteksi

penyulang di sisi *outgoing* Gardu Induk.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penulis tertarik untuk menganalisa koordinasi proteksi arus lebih Penyulang Tembuku terhadap indeks keandalan sistem distribusi 20 kV PT PLN (Persero) ULP Bangli dengan mengevaluasi kembali arus hubung singkat penyulang agar dapat mengetahui selektivitas kerja antara PMT dengan *Recloser*. *Recloser* menjadi salah satu opsi peralatan yang digunakan karena memiliki keunggulan bahwa *recloser* dapat diatur untuk melokalisasi gangguan temporer. Hasil analisa akan digunakan sebagai dasar penyetelan ulang relay proteksi guna meningkatkan keandalan (*reliability*).

Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk meningkatkan indeks keandalan sistem dengan pola operasi yang baik dengan cara mengoptimalkan aset peralatan proteksi dengan memberikan rekomendasi setting koordinasi proteksi yang sesuai. Hal tersebut dapat dipenuhi dengan mengetahui nilai arus hubung singkat pada saluran utama Penyulang Tembuku. Penelitian ini sangat berbeda dengan penelitian-penelitian dilakukan sebelumnya yang hanya membahas tentang koordinasi antar pengaman baik OCR maupun GFR dan tidak sampai pada perhitungan indeks keandalan sistem yaitu SAIFI.

## Sistem Tenaga Listrik

Pembangkitan, penghantar (saluran transmisi/distribusi) dan beban merupakan tiga komponen utama penyaluran energi listrik. Energi listrik ditransfer dari unit-unit pembangkit melalui saluran transmisi ke berbagai lokasi kemudian disebarkan melalui sistem distribusi hingga akhirnya menyuplai beban atau konsumen [1].

## Sistem Proteksi

Secara umum pengertian sistem proteksi ialah cara untuk mencegah atau membatasi kerusakan peralatan terhadap gangguan, sehingga kelangsungan penyediaan tenaga listrik dapat dipertahankan.

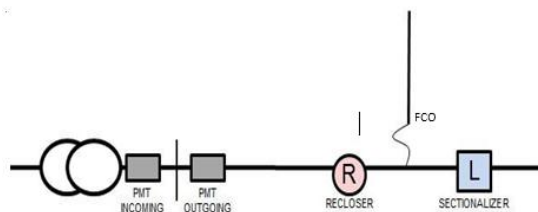
Proteksi sistem distribusi merupakan perlindungan yang bertujuan untuk mencegah atau membatasi kerusakan pada jaringan dan peralatan sistem distribusi, serta untuk keselamatan umum [2].

Tujuan dari sistem proteksi tersebut antara lain adalah untuk menghindari atau memperkecil kerusakan akibat gangguan yang terjadi, melokalisasi daerah gangguan, memberikan keandalan pelayanan pada pelayanan, serta memperkecil bahaya bagi manusia.

Persyaratan sistem proteksi guna memenuhi tujuan di atas, antara lain: kepekaan, keandalan, selektifitas, kecepatan, sederhana, dan ekonomis.

## Peralatan Proteksi Penyulang 20kV

Berikut gambaran umum terkait komponen peralatan proteksi utama pada penyulang:



**Gambar 1.** Sketsa Peralatan Proteksi Penyulang 20kV

- Pemutus Tenaga (PMT)

Pemutus Tenaga (PMT) merupakan peralatan *switching* mekanis yang mampu menutup, mengalirkan (dalam periode waktu tertentu) dan memutus arus beban dalam kondisi normal maupun abnormal (gangguan) seperti kondisi hubung singkat.

- Pemutus Balik Otomatis (*Recloser*)

*Recloser* adalah peralatan yang terdiri dari pemutus tenaga yang dilengkapi peralatan elektronik sebagai kelengkapan *Recloser*, dimana peralatan ini tidak

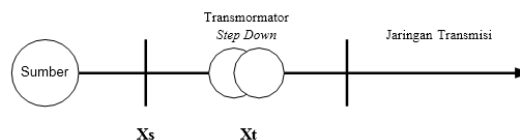
berhubungan dengan tegangan menengah dan pada dengan ini *Recloser* dapat dikendalikan cara pelepasannya.

*Recloser* berfungsi memisahkan daerah yang sistemnya terganggu secara cepat sehingga dapat melokalisasi gangguan secara sesaat. *Recloser* akan masuk kembali sesuai settingannya jika yang terjadi adalah gangguan temporer, sehingga daerah yang sebelumnya diamankan akan aktif kembali secara otomatis.

- Koordinasi PMT *Outgoing - Recloser*

Koordinasi proteksi OCR pada PMT *outgoing* dengan *Recloser* salah satunya adalah perbedaan waktu kerja ketika terjadi gangguan hubung singkat pada jaringan distribusi. *Recloser* sebagai pengaman utama pada jaringan memiliki waktu kerja yang lebih cepat daripada PMT *outgoing*.

## Distribusi Tegangan Menengah



**Gambar 2.** Sketsa jaringan distribusi tegangan menengah

Besarnya nilai impedansi ekivalen positif, negatif dan nol dari titik gangguan sampai ke sumber. Impedansi yang terbentuk dari sumber ke titik gangguan tersambung seri, maka perhitungan  $Z_{1eq}$  dan  $Z_{2eq}$  dapat langsung dengan cara menjumlahkan impedansi tersebut, sedangkan untuk perhitungan  $Z_{0eq}$  dimulai dari titik gangguan sampai ke trafo tenaga yang netralnya ditanahkan. Namun hubungan belitan trafo harus diketahui untuk menghitung impedansi  $Z_{0eq}$ , sehingga impedansi ekivalen jaringan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

- Urutan positif dan negatif ( $Z_{1eq}=Z_{2eq}$ )

$$Z_{1eq}=Z_{2eq}=Z_{s1}+Z_{t1}+Z_{l\text{penyulang}} \dots\dots(1)$$

Dimana:

$Z_{1eq}$  : Impedansi ekivalen jaringan urutan positif ( $\Omega$ )

$Z_{2eq}$  : Impedansi ekivalen jaringan urutan negatif ( $\Omega$ )

$Z_{s1}$  : Impedansi sumber sisi 20 kV ( $\Omega$ )

$Z_{t1}$  : Impedansi trafo tenaga urutan positif dan negatif ( $\Omega$ )

$Z_1$  : Impedansi urutan positif/ negatif ( $\Omega$ )

- Urutan nol

$$Z_{0eq} = Z_{t0} + 3R_N + Z_0 \text{ penyulang} \dots (2)$$

Dimana:

$Z_{0eq}$  : Impedansi ekivalen jaringan nol ( $\Omega$ )

$Z_{t0}$  : Impedansi trafo tenaga urutan nol ( $\Omega$ )

$R_N$  : Tahanan tanah trafo tenaga ( $\Omega$ )

$Z_0$  : Impedansi urutan nol ( $\Omega$ )

### Arus Gangguan Hubung Singkat

Arus hubung singkat adalah arus lebih yang diakibatkan oleh gangguan impedansi yang sangat kecil mendekati nol antara dua penghantar yang aktif, yang dalam kondisi normal berbeda potensial [2].

Arus gangguan hubung singkat dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$I = \frac{V}{Z} \dots (3)$$

Dimana

$I$  : Arus yang mengalir pada hambatan  $Z$  (A)

$V$  : Tegangan sumber (V)

$Z$  : Impedansi jaringan, nilai ekivalen impedansi dalam jaringan dari sumber tegangan sampai titik gangguan ( $\Omega$ )

#### a. Hubung singkat tiga fasa



**Gambar 3.** Gangguan hubung singkat 3 fasa

Arus gangguan hubung singkat tiga fasa dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$I_{sc3} = \frac{V_{ph}}{Z_{1eq}} \dots (4)$$

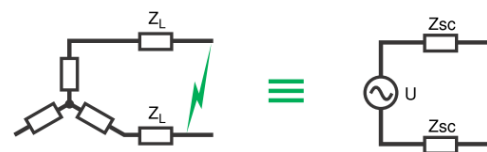
Dimana:

$I_{sc3}$  : Arus gangguan hubung singkat tiga fasa (A)

$V_{ph}$  : Tegangan fasa - netral sistem (V)

$Z_{1eq}$  : Impedansi ekivalen urutan positif ( $\Omega$ )

#### b. Hubung singkat dua fasa



**Gambar 4.** Gangguan hubung singkat 2 fasa

Arus gangguan hubung singkat dua fasa dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$I_{sc2} = \frac{V_{ph-ph}}{Z_{1eq} + Z_{2eq}} \dots (5)$$

karena  $Z_{1eq} = Z_{2eq}$ , maka:

$$I_{sc2} = \frac{V_{ph-ph}}{2 \times Z_{2eq}} \dots (6)$$

dimana:

$I_{sc2}$  : Arus gangguan hubung singkat dua fasa (A)

$V_{ph-ph}$  : Tegangan fasa-fasa sistem (V)

$Z_{1eq}$  : Impedansi urutan positif ( $\Omega$ )

$Z_{2eq}$  : Impedansi urutan negatif ( $\Omega$ )

### Rele Arus Lebih

Rele arus lebih atau *Over Current Relay* (OCR) adalah suatu rele yang bekerjanya berdasarkan adanya kenaikan arus yang melebihi suatu nilai pengaman tertentu dalam jangka waktu tertentu. Karakteristik waktu pemutusannya dapat diatur, baik itu karakteristik *instaneous* (seketika), *definite* (tertentu), maupun *inverse* (terbalik).

**Tabel 1.** Standar TMS berdasarkan karakteristik rele OCR

Karakteristik Rele	Standar IEC 60255
Standard Inverse (SI)	$T = TMS \times \frac{0.14}{I_r^{0.02} - 1}$
Very Inverse (VI)	$T = TMS \times \frac{13.5}{I_r - 1}$
Extremely Inverse (EI)	$T = TMS \times \frac{80}{I_r^2 - 1}$
Long time standart earth fault	$T = TMS \times \frac{120}{I_r - 1}$

Sumber: IEC 60255 Electrical Relays

Menghitung setelan waktu kerja rele arus lebih dengan karakteristik *inverse* dapat menggunakan persamaan pada Tabel 1.

### Keandalan Sistem Distribusi

Keandalan sistem distribusi ialah ukuran tingkat pelayanan penyediaan tenaga listrik dari sistem ke konsumen [3].

Keandalan sistem distribusi listrik diukur dengan indeks keandalan yang dinyatakan dalam suatu besaran probabilitas rata-rata. Indeks keandalan diantaranya SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*), yaitu indikator frekuensi rata-rata konsumen merasakan interupsi penyaluran tenaga listrik dalam suatu periode tertentu.

$$SAIFI = \frac{\sum_n^i (\lambda_i \times N_i)}{N_t} \dots \dots \dots (7)$$

Sedangkan SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*) merupakan indikator durasi rata-rata konsumen merasakan interupsi penyaluran tenaga listrik dalam suatu periode tertentu.

$$SAIDI = \frac{\sum_n^i (\delta_i \times N_i)}{N_t} \dots \dots \dots (8)$$

dimana:

i : Padam ke-i

n : Jumlah padam

$\lambda_i$  : Kali (frekuensi) padam ke-i

$\delta_i$  : Lama (durasi) padam ke-i

$N_i$  : Jumlah pelanggan padam ke-i

$N_t$  : Total pelanggan pada satu unit layanan

## II. METODE PENELITIAN

### Pengambilan Data

Metode pengambilan data dilakukan dengan observasi secara langsung di PT PLN (Persero) ULP Bangli. Pengolahan data dilakukan dengan cara perhitungan untuk mendapatkan nilai impedansi saluran dan arus hubung singkat antar fasa untuk keperluan koordinasi rele proteksi. Hasil perhitungan akan dijadikan rekomendasi untuk penyetelan proteksi arus lebih pada Penyulang Tembuku. Disamping itu hasil perhitungan dijadikan referensi untuk menganalisa penyebab permasalahan proteksi yang tidak koordinatif. Data-data yang didapat berdasarkan peralatan yang berada pada wilayah kerja Gardu Induk Gianyar untuk penyaluran energi listrik melalui Penyulang Tembuku.

**Tabel 2.** Data Transformator II pada Gardu Induk Gianyar

Kapasitas Daya	60 MVA
Tegangan Kerja	150/20 kV
Impedansi	12,512 %
$I_{hs3?}$	11.124A

Sumber: PT PLN (Persero) UP2D Bali

### Analisa Data

Teknis analisis data adalah dengan menggunakan data pada saluran Penyulang Tembuku, dengan materi kajian perhitungan koordinasi rele proteksi (rele arus lebih).

**Tabel 3.** Data Aset Penyulang Tembuku

Panjang STUM Main Line	61,92 km
Jumlah Keypoint	11 titik
Jumlah Gardu Distribusi	54 unit
Jumlah Pelanggan	7664 pelanggan

Sumber: PT PLN (Persero) ULP Bangli

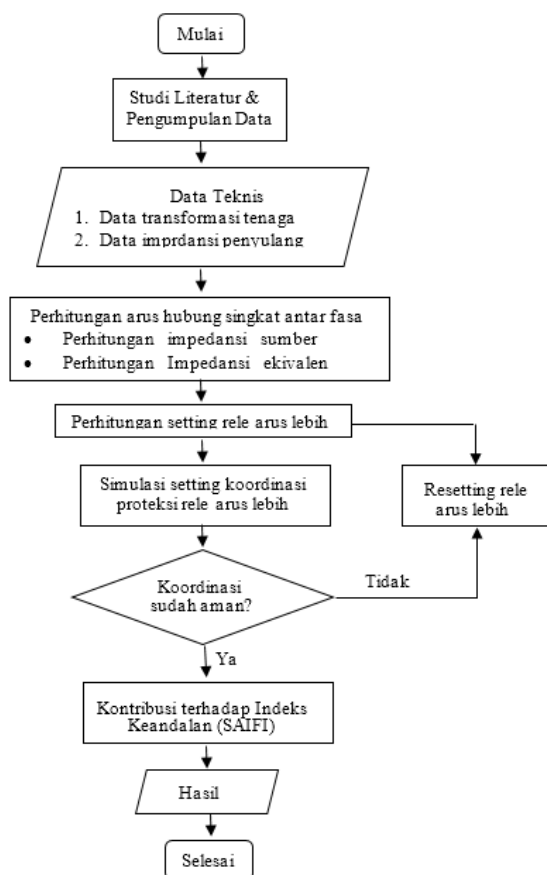
Tabel 4 menampilkan setting proteksi eksisting pada Penyulang Tembuku. Data-data didapat dari PLN UP2D Bali.



**Tabel 4.** Data Setting Proteksi Penyulang Tembuku

Setting	PMT Outgoing	Recloser
$I_{low\ set}$	304	120
$t_{low\ set}$	0,20	0,18
TMS	0,11 (Standard Inverse)	0,05 (Standard Inverse)
$I_{high\ set\ 1}$	3440	830
$t_{high\ set\ 1}$	0,3 (Definite)	0 (Instantaneous)
$I_{high\ set\ 1}$	6000	
$t_{high\ set\ 1}$	0 (Instantaneous)	

Sumber: PT PLN (Persero) UP2D Bali

**Gambar 5.** Diagram Alir Penelitian

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Impedansi Sumber

Berdasarkan data pada Tabel 2, diketahui arus hubung singkat pada Transformator II GI Gianyar di sisi 150kV sebesar 11.124 A. Maka impedansi hubung

singkat di sisi sumber adalah:

$$\begin{aligned}
 MVA_{sc} &= 150 \times I_{hs3\phi} \times \sqrt{3} \\
 &= 150 \times 11.124 \times \sqrt{3} \\
 &= 2890,1 \text{ MVA}
 \end{aligned}$$

Maka nilai impedansi sumber sisi primer primer diketahui melalui persamaan:

$$X_{sc} = \frac{kV}{MVA_{sc}} = \frac{20^2}{2890,1} = 0,14 \Omega$$

#### Impedansi Sumber

Berdasarkan data pada Tabel 2, diketahui persentase impedansi transformator yang terdapat pada *nameplate* Transformator II GI Gianyar adalah 12.512%. Maka impedansi transformator adalah:

$$\begin{aligned}
 X_{T1} &= \text{Impedansi (\%)} \times \frac{kV^2}{MVA} \\
 &= 12.512 \times \frac{20^2}{60} \\
 &= 0,83 \Omega
 \end{aligned}$$

#### Impedansi Saluran Distribusi

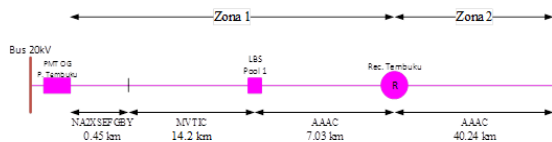
Kombinasi penghantar Penyulang Tembuku antara lain kabel tanah (NA2XSEFGBY) sebagai output dari kubikel PMT *Outgoing* Penyulang Tembuku hingga ke tiang pertama saluran udara, kemudian disambungkan dengan kabel udara pilin berisolasi (MVTIC) hingga LBS Pool 1. Selanjutnya dari LBS Pool 1 hingga ujung jaringan didominasi oleh penghantar AAAC 150 mm<sup>2</sup>. Data impedansi penghantar pada Penyulang Tembuku dirangkum dalam Tabel 5.

**Tabel 5.** Data Penghantar Penyulang Tembuku

Peng-hantar	Luas Penampang	Impedansi urutan positif $R_L + jX_L$ (ohm/km)
NA2XSEFGBY	240 mm <sup>2</sup>	0,1610 + j 0,0980
MVTIC	150 mm <sup>2</sup>	0,2375 + j 0,3002
AAAC	150 mm <sup>2</sup>	0,2162 + j 0,3305

Sumber: PT PLN (Persero) UP3 Bali Timur

Total panjang Penyulang Tembuku diketahui sepanjang 61,92 km. Dalam memudahkan perhitungan, maka saluran dibagi menjadi Zona 1 (GI Gianyar – *Recloser* Tembuku) dan Zona 2 (*Recloser* Tembuku – ujung jaringan).



**Gambar 5.** Konfigurasi Penyulang Tembuku

Data yang dibutuhkan untuk analisa gangguan hubung singkat antar fasa adalah impedansi urutan positif ( $Z_1$ ) dan impedansi urutan negatif ( $Z_2$ ), dimana nilai  $Z_1 = Z_2$ . Data perhitungan impedansi saluran pada Zona 1 tersaji pada Tabel 6.

**Tabel 6.** Impedansi Saluran Zona 1 Penyulang Tembuku

Peng-hantar	Luas Penampang	Panjang (km)	Impedansi urutan positif $R_L + jX_L$ (ohm/km)
NA2X SEFGBY	240 mm <sup>2</sup>	0,45	0,0725 + j 0,0441
MVTIC	150 mm <sup>2</sup>	14,20	3,3725 + j 4,2628
AAAC	150 mm <sup>2</sup>	7,03	1,5199 + j 2,3234
Total Zona1 Zona2		21,68	4,9648 + j 6,6304

Data perhitungan impedansi saluran pada Zona 2 tersaji pada Tabel 7.

**Tabel 7.** Impedansi Saluran Zona 1 Penyulang Tembuku

Peng-hantar	Luas Penampang	Panjang (km)	Impedansi urutan positif $R_L + jX_L$ (ohm/km)
NA2XS EFGBY	240 mm <sup>2</sup>	0,45	0,0725 + j 0,0441

Peng-hantar	Luas Penampang	Panjang (km)	Impedansi urutan positif $R_L + jX_L$ (ohm/km)
MVTIC	150 mm <sup>2</sup>	14,2	3,3725 + j 4,2628
AAAC	150 mm <sup>2</sup>	47,27	10,2193 + j 15,6221
Total Z1 Zona 2		61,92	13,6643 + j 19,9290

### Impedansi Ekivalen

Impedansi ekivalen yang akan digunakan dalam analisis ini adalah impedansi ekivalen urutan positif ( $Z_{1eq}$ ). Impedansi ekivalen dihitung pada masing-masing zona proteksi untuk mendapatkan referensi setting pengaman masing-masing zona seperti ditunjukkan pada Gambar 5.

**Tabel 8.** Impedansi Ekivalen Zona 1 Penyulang Tembuku

Impedansi	Impedansi ekivalen ( $Z_{1eq} = Z_{2eq}$ ) $R_L + jX_L$ (ohm/km)
$X_{SC}$	j 0,14
$X_{T1}$	j 0,84
$Z_1$	4,9648 + j 6,6304
Total $Z_{1eq}$ Zona 2	4,9648 + j 7,6044

$$\begin{aligned}
 \text{Zona 1 } Z_{1eq} &= Z_{2eq} \\
 &= \sqrt{4,9648^2 + 7,6044^2} \\
 &= 9,08 \, \Omega/\text{km}
 \end{aligned}$$

Data perhitungan impedansi ekivalen pada Zona 2 tersaji pada Tabel 9.

**Tabel 9.** Impedansi Ekivalen Zona 2 Penyulang Tembuku

Impedansi	Impedansi ekivalen ( $Z_{1eq} = Z_{2eq}$ ) $R_L + jX_L$ (ohm/km)
$X_{SC}$	j 0,14
$X_{T1}$	j 0,84
$Z_1$	13,6643 + j 19,9290
Total $Z_{1eq}$ Zona 2	13,6643 + j 20,9030

$$\begin{aligned}
 \text{Zona 1 } Z_{1eq} &= Z_{2eq} \\
 &= \sqrt{13,6643^2 + 20,9030^2} \\
 &= 24,97 \, \Omega/\text{km}
 \end{aligned}$$

### Perhitungan Arus Hubung Singkat

Arus gangguan yang akan dihitung dalam penelitian ini adalah arus hubung singkat 3 fasa dan 2 fasa. Nilai arus hubung singkat yang dihitung dalam penelitian ini ada pada setiap keypoint. Disamping sebagai referensi setting pengamanan pada saluran distribusi Penyulang Tembuku, perhitungan arus hubung singkat pada tiap *keypoint* bertujuan untuk mengevaluasi histori gangguan yang pernah terjadi pada Penyulang Tembuku, khususnya pada gangguan yang berdampak pemadaman meluas akibat perlatan proteksi yang tidak koordinatif. Berikut sample perhitungan untuk arus gangguan hubung singkat 3 fasa dan 2 fasa pada ujung jaringan Zona 1 dan Zona 2.

**Tabel 10.** Perhitungan Arus Hubung Singkat antar Fasa

Arus Hubung Singkat	Zona 1	Zona 2
3 fasa ( $I_{sc3}$ )	$I_{sc3} = \frac{V_{ph}}{Z_{1eq}}$ $= \frac{20000}{\sqrt{3} \times 9,08}$ $= 1271 \text{ A}$	$I_{sc3} = \frac{V_{ph}}{Z_{1eq}}$ $= \frac{20000}{\sqrt{3} \times 24,97}$ $= 1101 \text{ A}$
3 fasa ( $I_{sc2}$ )	$I_{sc2} = \frac{V_{ph-ph}}{Z_{1eq} + Z_{2eq}}$ $= \frac{V_{ph-ph}}{2 \times Z_{1eq}}$ $= \frac{20000}{2 \times 9,08}$ $= 462 \text{ A}$	$I_{sc2} = \frac{V_{ph-ph}}{Z_{1eq} + Z_{2eq}}$ $= \frac{V_{ph-ph}}{2 \times Z_{1eq}}$ $= \frac{20000}{2 \times 24,97}$ $= 400 \text{ A}$

Sesuai cara perhitungan pada Tabel 10, dengan menyesuaikan impedansi saluran antar keypoint seperti pada Gambar 5, maka diperoleh nilai arus hubung singkat pada Tabel 11.

**Tabel 11.** Arus Hubung Singkat Tiap Keypoint Penyulang Tembuku

Keypoint	Jarak (km)	Lokasi Gangguan	Arus Gangguan (A)	
			3 Fasa	2 Fasa
PMT Outgoing P. Tem-buku	0.00	0% Panjang Saluran	11855	10267
Trifurcating (Pole 1)	0.45	0.7% Panjang Saluran	11313	9797
LBS Pool 1	14.65	23.7% Panjang Saluran	1831	1586
LBS Umbalan	17.77	28.7% Panjang Saluran	1532	1327
Recloser Tembuku	21.68	35.0% Panjang Saluran	1271	1101
LBS Undisan	26.38	42.6% Panjang Saluran	1056	914
LBS Bangbang	27.60	44.6% Panjang Saluran	1011	876
LBS Pulasari	31.26	50.5% Panjang Saluran	898	777
CO Bypass Kubusuih	41.07	66.3% Panjang Saluran	690	597
LBS Meto-Penaga	47.54	76.8% Panjang Saluran	599	518
LBS Suter	55.33	89.4% Panjang Saluran	516	447
GH Kintamani	61.92	100% Panjang Saluran	462	400

### Perhitungan Setting OCR

Pada perhitungan setting relay OCR dan *Recloser* menggunakan karakteristik *standard inverse*, perhitungan setting peralatan proteksi dimulai dari *Recloser* Tembuku, kemudian rele *outgoing* Penyulang. Berdasarkan standar IEEE Std 242-1986, batas waktu kerja antara dua buah rele: 0,2s – 0,4s. Berikut dijabarkan perhitungan setting relay OCR, dan *recloser* pada Penyulang Tembuku.

#### Recloser Tembuku

Kurva : Standard Inverse

$I_{hs} 3\phi$  : 1250 A

IFLA : 100 A

$$\begin{aligned}
 t_{set} &: 0,15s \\
 I_{set} &: 1,2 \times IFLA \\
 &: 1,2 \times 100 \text{ A} \\
 &: 120 \text{ A}
 \end{aligned}$$

$$TMS = \frac{\left(\frac{I_{hs3\phi}}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1}{0,14} \times t_{set}$$

$$TMS = \frac{\left(\frac{1250}{120}\right)^{0,02} - 1}{0,14} \times 0,15$$

$$TMS = 0,05s$$

### PMT Outgoing Penyulang Tembuku

Kurva : Standard Inverse

$I_{hs 3\phi}$  : 11595 A

IFLA : 300 A

$t_{set}$  :  $0,15s + 0,2s = 0,35s$

$I_{set}$  :  $1,01 \times IFLA$

:  $1,01 \times 300 \text{ A}$

: 304 A

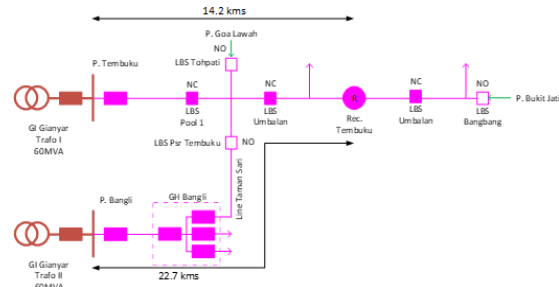
$$TMS = \frac{\left(\frac{I_{hs3\phi}}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1}{0,14} \times t_{set}$$

$$TMS = \frac{\left(\frac{11595}{304}\right)^{0,02} - 1}{0,14} \times 0,35$$

$$TMS = 0,19s$$

### Histori Rekonfigurasi Jaringan

Permasalahan selektifitas kerja antara PMT *outgoing* pada GI Gianyar dengan *Recloser* Tembuku diduga karena jarak zona proteksi yang semakin pendek setelah penyulang baru dioperasikan. Ilustrasi ditunjukkan pada Gambar 6.



**Gambar 6.** Konfigurasi Jaringan Penyulang Bangli dengan Penyulang Tembuku

Dari ilustrasi sederhana pada Gambar 6, dapat disimpulkan bahwa panjang section utama, yaitu antara PMT *Outgoing* pada GI Gianyar sampai dengan *Recloser* Tembuku berkurang sepanjang 8.5 kms. Semakin pendek jaringan, maka arus hubung singkat akan semakin besar karena impedansi saluran yang semakin kecil, sehingga jika dibandingkan besar arus gangguan arus lebih antar fasa sebelum dan sesudah rekonfigurasi jaringan ditunjukkan pada Tabel 12 (terlampir).

Berdasarkan Tabel 12, terlihat bahwa rekonfigurasi jaringan menyebabkan arus hubung singkat antar fasa pada antar keypoint semakin besar. Diduga terjadinya miskordinasi antara PMT *Outgoing* Penyulang dan *Recloser* Tembuku karena arus hubung singkat yang semakin besar mengalir pada saluran distribusi, sehingga setting eksisting sudah tidak selektif terhadap sumber gangguan pada zona proteksi *recloser*.

**Tabel 12.** Perbandingan Arus Hubung Singkat

Keypoint	Jarak		Lokasi Gangguan		3 Fasa		2 Fasa	
	Baru	Lama	Baru	Lama	Baru	Lama	Baru	Lama
PMT Outgoing	0.00	0.00	0.0%	0.0%	11855		10267	
Pool 1	14.65	24.25	23.79%	39.2%	1831		1586	
Umbalan	17.77	27.37	28.79%	38.3%	1532		1327	
Rec Tembuku	21.68	31.28	35.0%	43.7%	1271	883	1101	765
Undisan	26.38	35.98	42.6%	50.3%	1056	773	914	670
Bangbang	27.60	37.20	44.6%	52.0%	1011	749	876	649
	29.43	39.03	47.5%	54.6%	951	716	824	620
Pulasari	31.26	40.86	50.5%	57.1%	898	685	777	593

Keypoint	Jarak		Lokasi Gangguan		3 Fasa		2 Fasa	
	Baru	Lama	Baru	Lama		Baru	Lama	Baru
CO Kubusuih	41.07	50.67	66.3%	70.8%	690	557	597	482
Meto-Penaga	47.54	57.14	76.8%	79.9%	599	496	518	429
LBS Suter	55.33	64.93	89.4%	90.8%	516	438	447	379
GH Kintamani	61.92	71.52	100%	100%	462	399	400	345

## Analisa Kurva Koordinasi OCR Eksisting

Dalam hal mengevaluasi hasil perhitungan dengan setting eksisting digunakan data histori gangguan sebagai referensi. Sample gangguan mengambil histori data gangguan tanggal 5 Maret 2019, dimana *Recloser* Tembuku tidak bekerja sesuai zona proteksinya. Sample yang diambil mempertimbangkan adanya data arus gangguan yang terrekam oleh Unit Pelaksana Pengatur Distribusi (UP2D) Bali.

ambil sesuai dengan pendekatan arus gangguan sebesar 824 A yang terjadi di antara keypoint LBS Bangbbang dan LBS Pulasari. Contoh perhitungan waktu kerja sebagaimana terlihat pada Tabel 14:

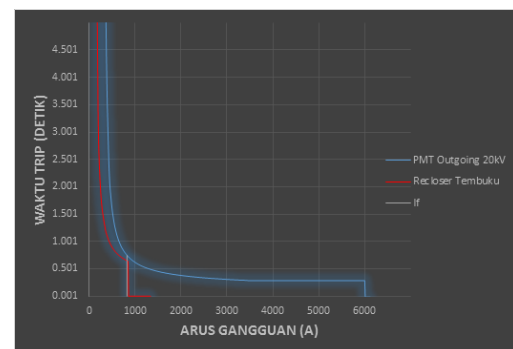
**Tabel 13.** Histori Gangguan Penyulang Tembuku

Tgl / Jam / Th	Penerbitan	Nomor	Lama	Jenis Gangguan	Identifikasi Gangguan	Anus Gangguan (A)						Sedimen	Kelas Gangguan	Detail Gangguan	Keperawatan
						a	b	c	d	e	f				
4 Jan 2019	Tembuku	SUTM	0:40	Outgoing	-	-	-	-	-	-	II	41 A	PD	FUSARIUM PULVERIS Lotos, Jaringan karies bambu tumbang di atas LIS Perisai	
16 Jan 2019	Tembuku	SUTM	0:14	Outgoing	-	-	-	-	-	-	II	49	L	Proteksi Rectosigmoid, Trip padang memasuki CO sekakubawah	
12 Feb 2019	Tembuku	SUTM	0:12	Outgoing	OC	1267	1424	1348	1	I	I	41C	HP	Petr di SBS Meronasi main line	
5 Mar 2019	Tembuku	SUTM	1:06	Outgoing	OC	855	799	27	51	II	II	41C	HP	Proteksi Rectosigmoid, Petr di perbatasan Pulvisari	

Sumber: Form Monitoring Kerja Relay (FMKR)  
PT PLN (Persero) UP3 Bali Timur  
Januari-Maret 2019

Berdasarkan data yang diperoleh dari PT PLN (Persero) Unit Pelaksana Pengatur Distribusi (UP2D) Bali, data setting kondisi eksisting OCR penyulang dan *Recloser* Tembuku ditunjukkan pada Tabel 4 digambarkan dengan kurva proteksi pada Gambar 7.

Kurva proteksi terbentuk sesuai dengan arus setting (Iset) dan TMS eksisting dengan karakteristik *Standard Inverse*. Dalam hal menganalisa selektifitas kerja pengaman, maka dilakukan pengecekan waktu kerja antara PMT *outgoing* dengan *Recloser*. Simulasi arus gangguan yang di-



**Gambar 7. Kurva Setting OCR Eksisting**

**Tabel 14.** Perhitungan Waktu Kerja PMT dan Recloser

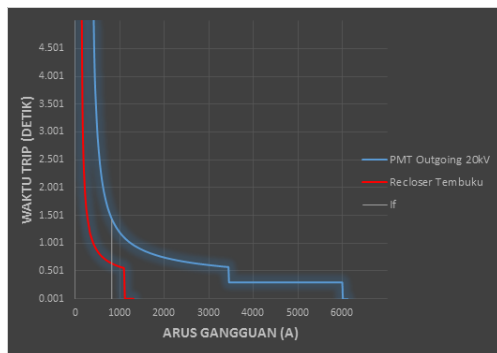
<b>Waktu Kerja (t<sub>PMT Outgoing</sub>)</b>	<b>Waktu Kerja Recloser (t<sub>Recloser</sub>)</b>
$t = \frac{0,14}{(\frac{I_{hs}}{I_{set}})^{0,02} - 1} \times TMS$	$t = \frac{0,14}{(\frac{I_{hs}}{I_{set}})^{0,02} - 1} \times TMS$
$t = \frac{0,14}{(\frac{824}{304})^{0,02} - 1} \times 0,11$	$t = \frac{0,14}{(\frac{824}{120})^{0,02} - 1} \times 0,05$
<b>t = 0.75 s</b>	<b>t = 0.64 s</b>

Berdasarkan cara perhitungan pada Tabel 14, maka selisih waktu kerja antara PMT *Outgoing* Penyulang dengan *Recloser* Tembuku terangkum pada Tabel 15.

**Tabel 15.** Waktu Kerja Eksisting PMT dan Recloser Tembuku

X Iset	Ifault	$t_{PMT\ outgoing}$	$t_{Recloser}$	$\Delta t$
3.5	420	2.33	0.99	1.34
4.0	480	1.65	0.90	0.75
4.5	540	1.31	0.83	0.48
5.0	600	1.10	0.77	0.33
5.5	660	0.97	0.73	0.24
6.0	720	0.87	0.69	0.18
6.4	768	0.81	0.67	0.14
6.9	824	0.75	0.64	0.11
7.0	840	0.74	0.00	0.74
7.5	900	0.69	0.00	0.69
7.8	936	0.66	0.00	0.66
8.5	1020	0.62	0.00	0.62
9.4	1128	0.57	0.00	0.57
9.8	1176	0.55	0.00	0.55
10.0	1200	0.54	0.00	0.54
10.6	1272	0.52	0.00	0.52

Berdasarkan kurva koordinasi OCR setting eksisting pada Gambar 7 dan pemeriksaan waktu kerja pada Tabel 15, terlihat bahwa selektifitas sistem pengamanan hubungan singkat pada penyulang Tembuku masih kurang baik. Waktu kerja proteksi pada beberapa nilai arus hubungan singkat yang masih berada dibawah 0,2 detik menunjukkan tingkat selektifitas sistem yang terlalu rapat.

**Gambar 8.** Selisih Waktu Kerja PMT Outgoing dengan Recloser Tembuku pada Arus Gangguan 824 A

#### Kurva Proteksi Hasil Perhitungan

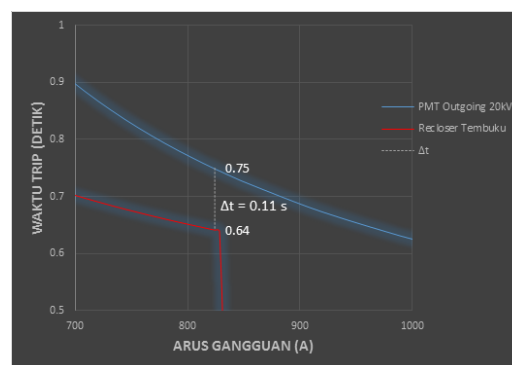
Berdasarkan hasil perhitungan setting rele OCR PMT *Outgoing* dengan *Recloser* Tembuku, didapat nilai-nilai sebagai

rekomendasi setting proteksi pada Tabel 16. Setting I high set 1 pada *Recloser* disesuaikan dengan arus hubung singkat pada zona pangkal *Recloser* Tembuku. Sedangkan seting I low set, I high set 1, dan I high set 2 pada PMT *Outgoing* Penyulang Tembuku tetap sesuai nilai setting eksisting. Hal ini dimaksudkan agar mencegah arus gangguan yang besar mengalir pada penghantar saluran distribusi, dimana arus gangguan yang besar berpotensi merusak penghantar.

**Tabel 16.** Rekomendasi Setting Proteksi berdasarkan Perhitungan

Setting	PMT <i>Outgoing</i>	<i>Recloser</i>
I low set	304	120
t low set	0,35	0,15
TMS	0,19 ( <i>Standard Inverse</i> )	0,05 ( <i>Standard Inverse</i> )
I high set 1	3440	1250
t high set 1	0,3 ( <i>Definite</i> )	0 ( <i>Instantenous</i> )
I high set 2	6000	
t high set 2	0 ( <i>Instantenous</i> )	

Berdasarkan setting rekomendasi, kurva setting proteksi digambarkan sebagai berikut:

**Gambar 9.** Kurva Setting OCR Rekomendasi Hasil Perhitungan

Dalam hal menganalisa selektifitas kerja pengamanan, dilakukan pengecekan waktu kerja antara PMT *outgoing* dengan *recloser* seperti sebelumnya. Contoh perhi-



tungan waktu kerja sebagaimana terlihat pada Tabel 17.

**Tabel 17.** Perhitungan Waktu Kerja PMT dan Recloser

Waktu Kerja ( $t_{PMT\ Outgoing}$ )	Waktu Kerja Recloser ( $t_{Recloser}$ )
$t = \frac{0,14}{\left(\frac{I_{hs}}{I_{set}}\right)^{0,02}-1} \times TMS$	$t = \frac{0,14}{\left(\frac{I_{hs}}{I_{set}}\right)^{0,02}-1} \times TMS$
$t = \frac{0,14}{\left(\frac{824}{304}\right)^{0,02}-1} \times 0,19$	$t = \frac{0,14}{\left(\frac{824}{120}\right)^{0,02}-1} \times 0,05$
$t = 1,43\ s$	$t = 0,64\ s$

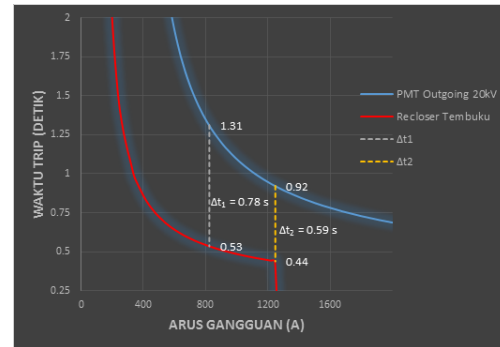
Berdasarkan cara perhitungan di atas, maka selisih waktu kerja antara PMT *Outgoing* Penyulang dengan Recloser Tembuku dirangkum sebagai berikut:

**Tabel 18.** Waktu Kerja PMT dan Recloser Tembuku sesuai Rekomendasi

X Iset	Ifault	$t_{PMT\ outgoing}$	$t_{Recloser}$	$\Delta t$
3.5	420	4.43	0.99	3.43
4.0	480	3.13	0.90	2.23
4.5	540	2.48	0.83	1.66
5.0	600	2.10	0.77	1.33
5.5	660	1.84	0.73	1.11
6.0	720	1.65	0.69	0.96
6.4	768	1.53	0.67	0.87
6.9	824	1.43	0.64	0.78
7.0	840	1.40	0.63	0.76
7.5	900	1.31	0.61	0.70
7.8	936	1.26	0.60	0.66
8.5	1032	1.16	0.57	0.59
9.4	1128	1.08	0.00	1.08
10.0	1200	1.03	0.00	1.03
10.6	1272	0.99	0.00	0.99

Berdasarkan kurva koordinasi OCR setting rekomendasi pada Gambar 9 dan pemeriksaan waktu kerja pada Tabel 18, terlihat bahwa selektifitas sistem pengamanan hubung singkat pada penyulang Tembuku menjadi lebih baik. Selisih waktu

kerja pada nilai I high set 1 *Recloser* Tembuku sebesar 1250 A sebagai titik yang paling dekat dengan kurva PMT *Outgoing* menunjukkan tingkat selektifitas sistem yang cukup dengan selisih waktu 0,59 detik.



**Gambar 10.** Selisih Waktu Kerja PMT Outgoing dengan Recloser Tembuku pada Arus Gangguan 824 A dan 1250 A

### Analisa Kinerja Proteksi Penyulang Tembuku terhadap SAIFI

Berdasarkan data kinerja PT PLN (Persero) UP3 Bali Timur, nilai SAIFI ULP Bangli hingga Maret 2019 adalah 1,12 kali/pelanggan. Dalam perhitungan kinerja unit, indeks keandalan dibagi menjadi dua kategori, yaitu pemadaman terencana (pemadaman karena kegiatan pemeliharaan) dan tidak terencana (pemadaman karena gangguan). Berdasarkan data yang diperoleh, detail SAIFI yang dicapai oleh PLN ULP Bangli diuraikan pada Tabel 19.

**Tabel 19.** Data Pencapaian SAIFI PLN ULP Bangli

Kategori	SAIFI	
	Kali/Pelanggan Presentase	
Terencana	0,19	17%
Tidak Terencana	0,93	83%
Total	1,12	100%

Sumber: Data Kinerja PT PLN (Persero) UP3 Bali Timur

Tabel 19 menunjukkan bahwa kontribusi pemadaman tidak terencana atau pemadaman yang disebabkan oleh gang-

guan berkontribusi sebesar 83% dari total nilai SAIFI yang dicapai oleh ULP Bangli. Data gangguan yang tercatat di UP3 Bali Timur ULP Bangli selama triwulan pertama di tahun 2019 menunjukkan bahwa gangguan pada jaringan SUTM yang menyebabkan trip PMT *outgoing* di Gardu Induk menjadi penyebab utama tingginya tingkat pemadaman.

Berdasarkan data trip penyulang di atas, Penyulang Tembuku adalah yang paling banyak mengalami trip selama Triwulan I 2019. Jika dianalisa dari histori gangguan penyebab trip Penyulang Tembuku pada Tabel 13, kontribusi paling besar disebabkan oleh kegagalan koordinasi antara Recloser dan PMT *outgoing* Penyulang Tembuku

**Tabel 20.** Data Histori Gangguan Penyulang PLN ULP Bangli

Penyulang	Kali Trip			Trip Komulatif	%
	Januari	Februari	Maret		
Sulahan	-	-	-	-	-
Bangli	1	1	-	2	33%
Tembuku	2	1	1	4	66%
Kintamani	-	-	-	-	-
Buahan	-	-	-	-	-

Sumber: Rekapitulasi Gangguan Jaringan PLN ULP Bangli Januari-Maret 2019

Berdasarkan uraian sebelumnya, maka dianalisa kontribusi pemadaman yang terjadi di wilayah pelayanan Penyulang Tembuku terhadap nilai SAIFI kategori tidak terencana pada ULP Bangli. Berikut data pelanggan yang dilayani oleh Penyulang Tembuku dari total 59044 pelanggan yang dilayani pada wilayah kerja ULP Bangli.

Dari total pelanggan yang dilayani dari Penyulang Tembuku, nilai SAIFI yang dihasilkan akibat pemadaman karena gangguan pada penyulang tersebut sebagai berikut:

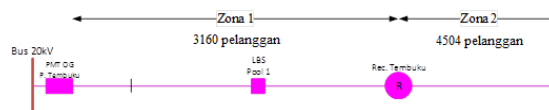
$$\text{SAIFI} = \frac{\text{kali padam} \times \text{jumlah pelanggan padam}}{\text{jumlah pelanggan total}}$$

$$= \frac{4 \times 7664}{59044}$$

$$= 0,52 \text{ kali/pelanggan}$$

Dari perhitungan di atas, disimpulkan bahwa trip PMT *Outgoing* Penyulang Tembuku berkontribusi sebesar 67,5% dari total SAIFI kategori tidak terencana sebesar 0,93 kali/pelanggan pada nilai pencapaian SAIFI selama triwulan I

2019. Analisa lebih lanjut menguraikan kembali sebaran pelanggan pada zona layanan Penyulang Tembuku dengan ilustrasi pada gambar berikut:



**Gambar 11.** Ilustrasi Jumlah Pelanggan yang dilayani Penyulang Tembuku

Berdasarkan ilustrasi pada Gambar 11, terlihat bahwa 41,2% pelanggan berada pada zona proteksi pertama, sedangkan 58,8% pelanggan berada pada zona proteksi kedua. Hal ini menunjukkan sebaran pelanggan pada Penyulang Tembuku cukup berimbang, ditambah dengan adanya pelanggan premium pada zona pertama menjadi alasan mengapa keandalan sistem proteksi sangat penting.

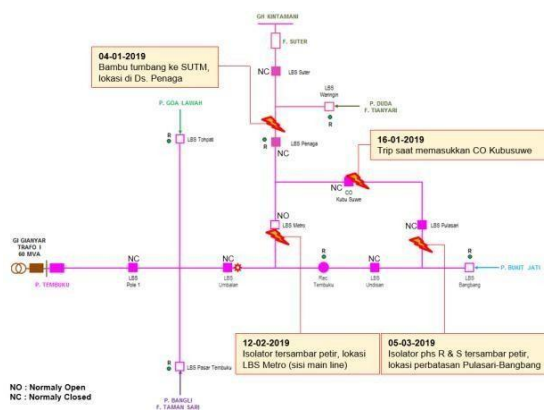
Berdasarkan histori gangguan, tiga dari empat kali trip Penyulang Tembuku disebabkan oleh proteksi *Recloser* yang tidak bekerja terhadap gangguan yang ada pada zona proteksinya. Dalam kondisi normal, jika *Recloser* bekerja sesuai de-



ngan skenario proteksi yang diharapkan, maka kontribusinya terhadap pencapaian SAIFI sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{SAIFI} &= \frac{(1 \times 7664) + (3 \times 4504)}{599044} \\ &= (0,13) + (3 \times 0,07) \\ &= 0,36 \text{ kali/pelanggan} \end{aligned}$$

Dari analisa di atas, sebesar 31% dari kontribusi pencapaian SAIFI Pe-nyulang Tembuku pada Triwulan I 2019 dapat ditekan lebih kecil jika skenario proteksi bekerja dengan baik.



**Gambar 11.** Histori Lokasi ditemukan Penyebab Gangguan Penyulang Tembuku

## IV. SIMPULAN

1. Arus hubung singkat pada titik akhir zona 1 adalah 1271 A untuk gangguan hubung singkat 3 fasa dan 1101 A untuk gangguan hubung singkat 2 fasa. Arus hubung singkat pada titik akhir zona 2 adalah 462 A untuk gangguan hubung singkat 3 fasa dan 400 A untuk gangguan hubung singkat 2 fasa.
2. Waktu kerja setting eksisting antara PMT *Outgoing* Penyulang dengan *Recloser* Tembuku terlalu sempit. Selisih waktu kerja atau grading time antara kedua peralatan proteksi masih di bawah 0,2 s pada beberapa nilai arus gangguan sehingga menyebabkan kemungkinan kedua peralatan proteksi trip bersamaan

karena faktor sensitivitas peralatan.

3. Perhitungan menghasilkan rekomendasi setting ulang dengan TMS *Recloser* Tembuku sebesar 0,05 s dan TMS PMT *Outgoing* Penyulang sebesar 0,19 s. Pemeriksaan waktu kerja rele sesuai rekomendasi menunjukkan grading time yang cukup baik pada nilai arus gangguan khususnya di daerah transisi zona 1 dan 2 sebesar 0,59 s.
4. Kesalahan koordinasi pengaman arus lebih pada Penyulang Tembuku berkontribusi sebesar 67,5% dari total SAIFI kategori tidak terencana sebesar 0,93 kali/pelanggan selama triwulan I 2019.
5. Nilai SAIFI yang diperoleh akibat pemadaman pada Penyulang Tembuku adalah sebesar 0,36 kali/pelanggan jika *recloser* bekerja dengan baik, berbeda halnya jika *recloser* tidak bekerja dengan baik maka SAIFI yang diperoleh sebesar 0,52 kali/pelanggan, sehingga dapat ditekan sebesar 31% pada Triwulan I 2019 dengan pola koordinasi proteksi dan operasi yang baik.

## V. RUJUKAN

- [1] M. Djiteng. "*Operasi Sistem Tenaga Listrik*". Yogyakarta: Graha Ilmu. 2006.
- [2] S. Wahyudi. "*Proteksi Sistem Distribusi Tenaga Listrik*". Depok: Graha-mond. 2012.
- [3] H.R Sari. "*Penentuan Angka Keluar Peralatan Untuk Evaluasi Keadalan Sistem Distribusi Tenaga Listrik*". Bali: Universitas Udayana. 2017.
- [4] B. Indra. "*Studi Koordinasi Peralatan Proteksi OCR dan GFR pada Penyulang Tibubeneng*". Bali: Universitas Udayana. 2015.

- [5] IEEE Std 242. "*IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems*". New York: The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. 2001.
- [6] I.W Sukadana, and I.N Suartika. "*Optimalisasi LBS Motorized Key Point Pada Jaringan Distribusi 20 KV untuk Meningkatkan Keandalan Sistem.*" *JTEV (Jurnal Teknik Elektro dan Vokasional)* 5.1.1 (2019): 141-149.
- [7] M. Nobalt, Benoit. "*Calculation of Short Circuit Currents*". France: Schneider Electric. 2015.
- [8] SNI 04-0225. "*Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000 (PUIL 2000)*". Jakarta: Badan Standarisasi Nasional. 2000.
- [9] Suhadi. 2008. "*Teknik Distribusi Tenaga Listrik*". Jakarta: Departemen Pendidikan Nasional.
- [10] S.DWilliam "*Analisis Sistem Tenaga Listrik*". Jakarta: Er-langga. 1993.
- [11] S. Daman. "*Sistem Distribusi Tenaga Listrik*". Padang: Universitas Negeri Padang. 2009.
- [12] S. Ramadoni. "*Transmisi dan Distribusi Tenaga Listrik*". Yogyakarta: LP3M UMY Yogyakarta. 2016.
- [13] M. Syamsudin, "*Kinerja Distribusi*". Jakarta: PT PLN (Persero) Pusat Pendidikan dan Pelatihan. 2010.



