PoliGrid

ISSN : 2723-4428
eISSN : 2723-4436

Volume 6 No 1 , Juni 2025

Jurnal Teknik Elektro - Journal of Electrical Engineering

Implementasi API pada Sistem Monitoring Lingkungan di Politeknik Negeri Samarinda Berbasis NodeMcu Esp8266

Alan Yuandika, Abdul Hamid Kurniawan, Prihadi Murdiyat

Analisis Dan Mitigasi Harmonisa Pada Gedung Direktorat Politeknik Negeri Samarinda Dengan Menggunakan Software ETAP

Muhammad Ali Luthfi, Rusda, Khairuddin Karim

Rancang Bangun Simulator Overcurrent Relay Type Standard Inverse dan Constant Time Berbasis Arduino

Priyo Handoko Chusnama Ali, Leonardo Ferdy Widayanto, Marcelino Pakorong, Fazri Catur Bagaskara, Rizky Aprylianto Susilo, Prihadi Murdiyat

Multifunction Meter 3 Fasa Menggunakan Sensor PZEM-004T Berbasis NodeMCU ESP8266

Erry Yadie, Marson Ady Putra, Muhammad Zaini Aqmal

Rancang Bangun Sistem Monitoring Pertanian Cerdas Berbasis LoRa Untuk Pemantauan Kondisi Persawahan Secara Real-Time

Faizal Rahmansyah, Prihadi Murdiyat, Rusda

Diterbitkan oleh / Published by :
Jurusan Teknik Elektro / Department of Electrical Engineering
Politeknik Negeri Samarinda

KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Allah SWT karena jurnal PoliGrid volume 6 nomor 1 dapat terbit untuk melaporkan hasil riset yang baru diselesaikan. Seperti sebelumnya, ucapan terima kasih disampaikan kepada para *author* yang telah memberikan kepercayaan kepada redaksi PoliGrid, juga kepada mitra bestari (*reviewer*) yang bersedia meluangkan waktunya untuk melakukan proses *review* di tengah kesibukan rutin, dan kepada tim editor atas komitmennya untuk menyelesaikan terbitan kali ini.

Sambil tetap bekerja agar penerbitan Poligrid dapat berjalan lancar dan tepat waktu, usaha untuk meningkatkan mutu jurnal yang diukur melalui akreditasi juga tetap dilakukan dengan melibatkan mitra bestari/reviewer baru dari beberapa perguruan tinggi, serta proses reakreditasi. Kepada para mitra bestari baru, tim editor mengucapkan selamat datang dan menanti sumbangan pengalaman serta masukan-masukan yang bermanfaat. Sementara hasil proses reakreditasi yang menyatakan bahwa Poligrid tetap berada di Akreditasi Sinta 5 dengan perolehan nilai yang sama persis dengan saat baru terbit, mungkin kurang membuat lega, tetapi tetap perlu disyukuri. Apalagi jika mempertimbangkan bahwa tingkat sitasi Poligrid terus meningkat dibanding masa-masa awal penerbitan. Apapun yang terjadi, perbaikan akan terus dilakukan di tengah kesibukan rutin para editor dan reviewer. Semoga di lain waktu, kerja-kerja perbaikan mutu ini dapat memberikan hasil yang lebih memuaskan. Karena itu, mohon bantuan seluruh pihak untuk dapat menyumbangkan hasil –hasil penelitiannya

Kemudian, selaras dengan meningkatnya pemanfaatan mikrokontroler, terbitan semester ini masih didominasi oleh penggunaan mikrokontroler dan *Internet of Things* (IoT) di bidang kelistrikan, monitoring lingkungan, serta pertanian. Sementara, satu artikel juga membahas topik yang sedang tren dalam bdang tenaga, yaitu kualitas daya. Semoga artikel-artikel tersebut, juga artikel-artikel yang telah pernah terbit sebelumnya dapat memberikan masukan pada penelitian yang tengah dilakukan atau aplikasi yang sedang diterapkan, sehingga dapat menerima apresiasi dari kalangan peneliti dalam bentuk sitasi.

DEWAN REDAKSI

Pelindung : Direktur Politeknik Negeri Samarinda

Penasehat : Wakil Direktur I

Wakil Direktur II

Wakil Direktur III

Penanggung jawab : Kepala P3M

Pengarah : Ketua Jurusan Teknik Elektro

Ketua Penyunting : Ir. Prihadi Murdiyat, M.T., Ph. D.
Politeknik Negeri Samarinda

Anggota Penyunting : Rusda, S.T., M.T.
Politeknik Negeri Samarinda

Prof. Dr. Hakkun Elmunsyah, S.T., M.T.
Universitas Negeri Malang

Restu Mukti Utomo, S.T., M.T.
Universitas Mulawarman

Marson Ady Putra, S.ST., M.T.
Politekni Negeri Samarinda

Muhammad Agung Nursyeha, S.T., M.T.
Institut Teknologi Kalimantan

Bella Cahya Ningrum, S.Tr.T., M.Tr.T.
Politeknik Negeri Samarinda

Mitra Bestari : Prof. Dr. Ir. Era Purwanto, M. Eng.
Politeknik Elektronika Negeri Surabaya

Prof. Novie Ayub Windarko, S.T., M.T., Ph. D.
Politeknik Elektronika Negeri Surabaya

Herman Yuliandoko, S.T., M.T.
Politeknik Negeri Banyuwangi

Dr. Ir. Erni Yudaningtyas, M.T.
Universitas Brawijaya Malang

Ir. Nur Alif Mardiyah, M.T.
Universitas Muhammadiyah Malang

Prof. A.M. Shiddiq Yunus, S.T., M. Eng. Sc., Ph.D.
Politeknik Negeri Ujung Pandang

Dr. Ir. Ermanu Azizul Hakim, M.T.
Universitas Muhammadiyah Malang

Happy Aprillia, S.ST., M.T., M.Eng., Ph.D.
Institut Teknologi Kalimantan

Riza Hadi Saputra, S.T., M.T.
Institut Teknologi Kalimantan

Andhika Giyantara, S.T., M.T.
Institut Teknologi Kalimantan

Sujito, S.T., M.T., Ph.D.
Universitas Negeri Malang

Aji Akbar Firdaus, ST., MT.
Universitas Airlangga

Dr. Ir. Rahman Azis Prasojo, S.ST., MT.
Politeknik Negeri Malang

Ir. Mohammad Noor Hidayat, ST., M.Sc., Ph.D.
Politeknik Negeri Malang

Pangestuningtyas Diah Larasati, S.T., M.T.
Politeknik Negeri Semarang

Yanuar Mahfudz Safarudin, S.T., M.T.
Politeknik Negeri Semarang

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR

DEWAN REDAKSI

DAFTAR ISI

Halaman

Implementasi API pada Sistem Monitoring Lingkungan di Politeknik Negeri Samarinda Berbasis NodeMcu Esp8266 1 - 11
Alan Yuandika, Abdul Hamid Kurniawan, Prihadi Murdiyat

Analisis Dan Mitigasi Harmonisa Pada Gedung Direktorat Politeknik Negeri Samarinda Dengan Menggunakan Software ETAP 12 - 20
Muhammad Ali Luthfi, Rusda, Khairuddin Karim

Rancang Bangun Simulator Overcurrent Relay Type Standard Inverse dan Constant Time Berbasis Arduino 21 - 40
Priyo Handoko Chusnama Ali, Leonardo Ferdy Widayanto, Marcelino Pakorong, Fazri Catur Bagaskara, Rizky Aprylianto Susilo, Prihadi Murdiyat

Multifunction Meter 3 Fasa Menggunakan Sensor PZEM-004T Berbasis NodeMCU ESP8266 41 - 49
Erry Yadie, Marson Ady Putra, Muhammad Zaini Aqmal

Rancang Bangun Sistem Monitoring Pertanian Cerdas Berbasis LoRa Untuk Pemantauan Kondisi Persawahan Secara Real-Time 50 - 62
Faizal Rahmansyah, Prihadi Murdiyat, Rusda

Implementasi API pada Sistem Monitoring Lingkungan di Politeknik Negeri Samarinda Berbasis NodeMcu Esp8266

Alan Yuandika[1], Abdul Hamid Kurniawan[2], Prihadi Murdiyat[3]
[1,2,3]Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Samarinda
e-mail abdul.hamid.kurniawan@polnes.ac.id

***Abstrak*- Manusia hidup berdampingan dengan benda alami dan buatan serta makhluk hidup lainnya yang disebut lingkungan. Kondisi lingkungan yang nyaman dapat meningkatkan kenyamanan dalam proses belajar mengajar di lingkungan kampus Politeknik Negeri Samarinda. Sistem monitoring lingkungan kampus dibangun dengan menggunakan NodeMcu ESP8266 sebagai *sensor node* dan data pengukuran dikirimkan ke sebuah *website* agar dapat ditampilkan dan dapat diakses oleh pengguna. Data hasil pengukuran dikirimkan ke *website* dengan menggunakan API dengan beberapa variabel yang berbeda. format pengiriman data yang digunakan yaitu berbentuk JSON yang dibentuk dengan bahasa C++ untu di*upload* ke NodeMcu Esp8266. pengujian data yang dilakukan hanya dengan melakukan pencocokan data sebanyak sepuluh kali pengiriman. pengujian tersebut terdiri dari pengujian dengan Postman, *sensor node* dan menampilkan *website*. Pengiriman data berhasil dilakukan dengan sepuluh kali pengiriman untuk setiap pengujian yaitu data yang dikirim sama dengan data yang diterima. Pada pengujian Postman yang dikirim dari komputer yang sama dengan yang dikirim dari komputer yang berbeda memiliki perbedaan pada *time response*. pengujian pada *sensor node* sepuluh data dapat dikirim dan diterima di server. kemudian, pada pengujian *website* mampu menampilkan data yang diterima. data dapat dikirim melalui API dan diterima di server. Dengan mengimplementasikan API pada sistem monitoring lingkungan di Politeknik Negeri Samarinda diharapkan pemantauan lingkungan dapat dilakukan secara *real-time*.**

Kata kunci: API,* server*, website, monitoring, NodeMcu Esp8266, Postman, Laravel, Laragon..

I. PENDAHULUAN

Lingkungan sangat berpengaruh terhadap kelangsungan makhluk hidup yang berada di dalamnya termasuk manusia. Manusia memiliki peran besar terhadap kenyamanan dan kelestarian lingkungan. Lingkungan yang nyaman dapat menciptakan kehidupan yang sehat bagi makhluk hidup yang berada di lingkungan tersebut. Untuk Politeknik Negeri Samarinda (Polnes), kondisi lingkungan yang nyaman dapat meningkatkan kenyamanan dalam proses belajar mengajar di lingkungan kampus.

Perubahan cuaca dapat menyebabkan suhu dan kelembaban di lingkungan kampus berubah sehingga mengakibatkan lingkungan menjadi tidak nyaman. Sebagai contoh, musim panas dapat menyebabkan suasana belajar dan bekerja di Politeknik Negeri Samarinda menjadi kurang menyenangkan. Apalagi jika dilakukan penebangan pohon di area kampus. Penebangan pohon hendaknya memperhatikan akibat yang ditimbulkannya terhadap kesehatan lingkungan di dalam kampus. Untuk itu, usaha-usaha seperti penanaman pohon, membangun atau merenovasi bangunan agar menghasilkan lingkungan yang sehat dan nyaman perlu dilakukan.

Salah satu cara yang dapat dilakukan untuk mengetahui sehat atau nyamannya lingkungan kampus adalah dengan membangun sistem monitoring lingkungan yang antara lain dapat mengukur suhu dan kelembaban udara. Pada Penelitian ini, dirancang bangun sebuah sistem monitoring lingkungan agar dapat mendeteksi suhu dan kelembaban di sekitar lingkungan kampus Politeknik Negeri Samarinda secara *real-time*.

Sistem monitoring lingkungan kampus dibangun dengan menggunakan NodeMcu ESP8266 sebagai *sensor node*. NodeMcu ESP8266 dihubungkan dengan sebuah sensor suhu dan kelembaban untuk memperoleh suhu dan kelembaban di lingkungan kampus. Kemudian, data yang diterima oleh NodeMcu ESP8266 dari sensor suhu dan kelembaban diolah untuk kemudian dikirimkan ke sebuah server agar dapat ditampilkan di sistem monitoring dan dapat diakses oleh pengguna. Dalam sistem monitoring yang dibangun tidak hanya menggunakan satu sensor node, namun lebih dari satu *sensor node*. Agar data dari berbagai *sensor node* dapat dikirim ke server maka perlu sebuah format pengiriman data atau protokol pengiriman agar mudah dikirimkan dan dapat diterima oleh server. Integrasi sebuah teknologi bernama API (*Application Programming Interface*) dipilih sebagai protokol pengiriman data dari *sensor node* ke server. API digunakan sebagai protokol pengirim data dari berbagai sensor yang mengukur nilai suhu dan kelembaban untuk monitoring lingkungan tersebut. Dengan mengimplementasikan API pada sistem monitoring lingkungan di Politeknik Negeri Samarinda diharapkan pemantauan lingkungan dapat dilakukan secara *real-time*.

Penerapan sistem monitoring suhu dan kelembaban berbasis IoT dengan API dapat meningkatkan efektivitas pemantauan dan pengambilan keputusan terkait pengelolaan lingkungan kampus secara lebih cepat dan akurat. Penelitian oleh Nugroho et al. [22] menunjukkan bahwa sistem monitoring berbasis ESP8266 dan sensor DHT22 mampu memberikan informasi lingkungan secara *real-time* dengan akurasi yang cukup baik untuk mendukung pengelolaan ruang terbuka hijau di area kampus. Selain itu, Wicaksono dan Ramadhan [23] juga menyatakan bahwa penggunaan API dalam pengiriman data

Submitted: 06/07/2024; Revised: 09/07/2024;
Accepted: 07/05/2025; Online first: 17/06/2024
https://doi.org/10.46964/poligrid.v6i2.43

IoT dapat mempercepat proses integrasi sistem serta visualisasi data secara daring.

II. Tinjauan Pustaka

A. *Website*

Website adalah sebuah media yang saling terhubung (*hyperlink*) dan mempunyai banyak halaman. *Website* berisi informasi yang terdiri dari teks, gambar, video, suara dan animasi. *Website* terdiri dari *website* dinamis dan *website* statis, umumnya pada saat ini *website* dinamis lebih banyak diguunakan. *Website* memiliki karakteristik yaitu setiap halamannya dapat saling terhubung yang dilengkapi dengan alamat url atau www (*World Wide Web*) dan dapat diakses dengan jaringan internet melalui browser. Selain dapat diakses melalui internet, *website* juga dapat diakses menggunakan *localhost* tanpa internet yaitu menggunakan komputer sebagai server lokal [1]. Simbol *website* ditunjukan pada Gambar 1.

Gambar 1. Simbol website [2]

B. *Laragon*

Laragon merupakan sebuah *software* yang digunakan sebagai *localhost* atau server virtual yang berjalan di sebuah laptop atau komputer. Laragon memiliki sifat yang mudah dipasang dan dioperasikan. Untuk dapat menjalankan *software* ini laptop atau komputer memiliki memori RAM minimal sebesar 4 GB. Laragon juga mendukung fitur Pretty URLs yaitu domain url yang dibuat dapat sesuai dengan keinginan pengguna [3]. *Software* Laragon dapat diunduh di laman https://laragon.org/download/.

C. *Laravel*

Laravel adalah sebuah *framework* yang digunakan untuk pembuatan atau pengembangan *website*. Laravel pertama kali diperkenalkan pada tahun 2011 oleh Taylor Otwell dengan mengusung desain MVC (*Model-View-Controller*) dan routing. Pada *framework* Laravel, akses ke sebuah *website* dijembatani oleh sebuah *routing*, kemudian dari *routing* tersebut mengarah ke sebuah *controller*, sehingga untuk mengakses ke sebuah halaman website tidak langsung tertuju ke file halaman website tersebut. Laravel difasilitasi dengan fitur php artisan yang berfungsi untuk memudahkan pengguna melakukan pembuatan controller baru atau koneksi ke database baru [4]. Framework Laravel dapat diunduh di laman https://laravel.com/docs/11.x/installation.

D. *API*

Application programming interface (API) adalah fitur pemrograman yang dapat membuat pengguna lain memiliki akses ke sistem tanpa mengubah struktur kode utama atau basis data sistem dan membuat antar sistem dapat berkomunikasi meskipun sistem tersebut disusun dari komponen yang berbeda. API memungkinkan antar perangkat lunak dapat saling berkomunikasi sehingga memungkinkan pengembang untuk mengakses fungsi-fungsi sistem. Ada berbagai macam jenis API, seperti API web, API perangkat keras, API sosial dan lain sebagainya [4]. Namun, API terdapat dua jenis, yaitu RESTful API dan RESTless API.

RESTful API adalah sebuah istilah yang operasinya menggunakan semua metode dari REST API seperti GET (untuk membaca), POST (untuk membuat), PUT (untuk memperbarui) dan DELETE (untuk menghapus). REST API adalah model pengembangan API untuk web yang menggunakan HTTP (*Hypertext Transfer Protocol*) untuk komunikasi dan transfer data [5]. Tujuan REST dirancang agar layanan web menjadi mudah diakses, dipahami dan diimplementasikan. REST API banyak digunakan dalam berbagai aplikasi seluler, aplikasi web dan layanan web publik lainnya [6].

Sedangkan RESTless API merupakan sebuah istilah yang dalam operasinya tidak menggunakan prinsip dari REST. Sesuai dengan istilahnya yaitu less yang berarti kurang dari atau tidak menggunakan prinsip dari REST. Seperti tidak menggunakan GET, POST, PUT, DELETE atau prinsip REST lainnya. Selain tidak menggunakan prinsip dari REST, beberapa RESTless juga menggunakan SOAP dan menggunakan format pengiriman data berupa XML [7].

E. *Postman*

Postman adalah sebuah aplikasi yang digunakan untuk merancang dan mengelola API [8]. Di dalam aplikasi Postman, pengguna dapat menguji API yang telah dibuat dengan berbagai metode yang tersedia. Dengan melakukan ujicoba melalui Postman, pengguna dapat mengetahui kemampuan API yang telah dibuat. *Software* Postman dapat diunduh di laman https://www.postman.com/downloads/.

F. *Arduino IDE*

Arduino IDE adalah sebuah *software* yang digunakan untuk memprogram board Arduino. Dengan menggunakan aplikasi ini pengguna dapat melakukan pembuatan dan pengeditan program untuk Arduino, baik Arduino Nano, Arduino Uno, Arduino Mega bahkan Esp dapat diprogram menggunakan aplikasi ini. Arduino IDE menggunakan bahasa pemrograman C++ dengan dukungan I untuk mempermudah pengguna ketika melakukan pemrograman. *Software* ini dapat diinstal pada berbagai sistem operasi komputer seperti Linux, Windows dan MAC OS [9]. Software Arduino IDE dapat diunduh di laman https://www.arduino.cc/en/software.

G. *Bahasa C/C++*

Bahasa C merupakan sebuah bahasa pemrograman yang digunakan untuk mengembangkan sebagian besar proyek open-source. Bahasa C dikembangkan sekitar tahun 1969 – 1972 oleh Dennis Ritchie dari bahasa pemrograman sebelumnya yaitu bahasa B di Bell Labs. Awalnya, bahasa C digunakan untuk menulis ulang sistem operasi UNIX. Namun, bahasa C juga dibuat sebagai bahasa pemrograman umum dan digunakan untuk membuat sistem operasi UNIX[10].

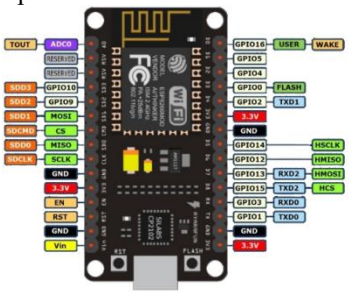
Bahasa C dan C++ memiliki perbedaan, salah satunya dalam proses penyelesaian masalah. Pada bahasa C, proses

Submitted: 06/07/2024; Revised: 09/07/2024;
Accepted: 07/05/2025; Online first: 17/06/2024
https://doi.org/10.46964/poligrid.v6i2.43

penyelesaian dilakukan dengan membagi setiap masalah ke sub-sub masalah yang lebih kecil. Sedangkan, untuk bahasa C++ menggunakan class untuk menyelesaikan masalah [11].

H. *NodeMcu Esp8266*

NodeMcu Esp8266 adalah sebuah mikrokontroller yang dapat terhubung ke jaringan WiFi. NodeMcu Esp8266 dapat digunakan sebagai alat untuk kontrol dan monitoring pada sebuah proyek. NodeMcu Esp8266 memiliki fungsi yang hampir sama dengan Arduino, namun kelebihan NodeMcu Esp8266 daripada Arduino yaitu dapat terhubung ke WiFi tanpa memerlukan modul tambahan. NodeMcu Esp8266 dapat diprogram menggunakan *compiler* dari Arduino, seperti Arduino IDE dengan menggunakan port micro USB untuk melakukan *upload* program ke NodeMcu Esp8266 [12]. Gambar 2 menampikan bentuk NodeMCU ESP8266.



Gambar 2. NodeMcu Esp8266 [13]

I. *Sensor Suhu DHT 22*

Sensor suhu DHT 22 merupakan sensor yang dapat mengukur suhu dan kelembaban udara. Sensor ini mirip seperti sensor suhu DHT 11, namun hasil pengukuran sensor suhu DHT 22 lebih akurat dibandingkan sensor suhu DHT 11. Output sinyal dari sensor suhu dan kelembaban DHT22 ini menggunakan sinyal output digital sehingga tidak perlu lagi mengkonversi dari sinyal analog ke sinyal digital, karena hal tersebut sudah dilakukan oleh MCU 8 bit yang ada pada modul DHT 22 tersebut. DHT 22 memiliki pengukuran jangkauan pengukuran yang lebar dan mampu mengirimkan sinyal output hingga jarak pengiriman 20 meter [14]. Gambar 3 menampilkan bentuk sensor DHT22, sedangkan Tabel 1 menunjukkan spesifikasi sensor DHT22.

Gambar 3. Sensor DHT22 [15]

TABEL 1
SPESIFIKASI DHT22 [15]

Model	DHT22
Supply voltage	3.3 – 5.5 VDC
Accuracy	±2 % RH, ±0.5 ºC
Measuring range	0 - 99.9 % RH, -40 – 80 ºC
Power consumption	15 µA (*sleep*), 1200 µA (*measuring*)
Sampling period	2 *Second*

J. *Baterai*

Baterai adalah suatu peralatan yang memiliki sel elektrokimia yang dapat menghasilkan tegangan untuk digunakan sebagai sumber listrik pada peralatan elektronik. Baterai diklasifikasikan ke dalam dua jenis batterai, yaitu baterai primer dan sekunder. Baterai primer adalah baterai yang hanya dapat digunakan sekali saja dan tidak dapat diisi ulang, sedangkan baterai sekunder merupakan baterai yang dapat diisi ulang. Baterai modern dikembangkan pertama kali oleh Alexandro Volta seorang fisikawan asal Italia pada abad ke 18 [16]. Gambar baterai ditunjukan pada Gambar 4 dan spesifikasi baterai ditunjukan pada Tabel 2.

Gambar 4. Baterai [17]

TABEL 2
SPESIFIKASI BATERAI [18]

Product Category	Lithium Ion Rechargeable Battery Cell
Nominal Capacity	2100 mAh
Rated Capacity	2000 mAh
Average Operating Voltage	3.6 V

K. *Sel surya*

Sel surya merupakan sebuah peralatan yang dapat mengubah energi matahari menjadi energi listrik [19]. Sel surya membangkitkan energi listrik yang berasal dari radiasi matahari. Proses pembangkitan energi listrik tersebut terjadi pada sistem fotovoltaik. Intensitas radiasi matahari sangat mempengaruhi daya listrik yang dihasilkan. Semakin besar intensitas matahari yang diterima maka semakin besar pula daya listrik yang dihasilkan [20]. Penggunaan sel surya pada skripsi ini adalah sebagai sumber energi untuk pengecasan baterai yang digunakan. Pada Gambar 5 ditunjukan sel surya yang digunakan.

Gambar 5. Sel surya

L. *Flowchart*

Langkah-langkah yang dilakukan dan urutan prosedur dari suatu program dapat digambarkan dapat digambarkan dalam bentuk *flowchart*. Dengan menggunakan *flowchart*, alur suatu penyelesaian masalah tampak lebih jelas, sehingga evaluasi terhadap kegiatan yang telah dilakukan atau yang akan dilakukan lebih mudah dilakukan. *Flowchart* dapat digunakan untuk menyajikan sebuah kegiatan manual, kegiatan

Submitted: 06/07/2024; Revised: 09/07/2024;
Accepted: 07/05/2025; Online first: 17/06/2024
https://doi.org/10.46964/poligrid.v6i2.43

pemrosesan ataupun keduanya dengan simbol-simbol *flowchart* [21] seperti tampak pada Tabel 3.

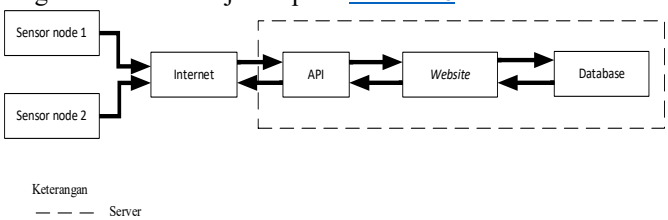
TABEL 3
SIMBOL *FLOWCHART* [21]

Simbol	Nama	Keterangan
	Arus/*flow*	Untuk menyatakan jalannya arus suatu proses
	Terminal	Untuk menyatakan permulaan atau akhir dari suatu proses
	Simbol Manual	Untuk menyatakan suatu tindakan (proses) yang tidak dilakukan oleh komputer
	Proses	Sebuah fungsi pemrosesan yang dilaksanakan oleh komputer, biasanya menghasilkan perubahan terhadap data atau informasi
	Logika	Untuk menunjukan suatu kondisi tertentu, dengan dua kemungkinan, Ya / Tidak
	Input/output	Untuk menyatakan proses *input* dan *output*, biasanya digunakan untuk mencari catatan referensi
	Disk storage	Untuk menyatakan proses *input* yang berasal dari disk atau *output* yang disimpan ke disk
	Dokumen	Untuk mencetak dokumen
	Offline storage	Untuk menunjukan bahwa data dalam simbol ini akan disimpan ke suatu benda tertentu

III. METODE PENELITIAN

A. *Diagram Sistem*

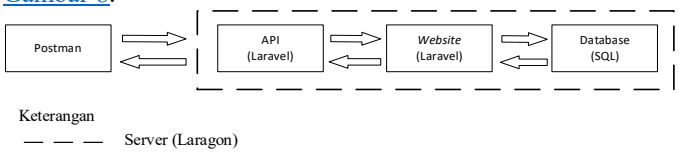
Sensor node dirancang dengan menggunakan NodeMcu Esp8266 dan DHT22 untuk dapat melakukan pengukuran suhu dan kelembaban. Data yang diukur oleh *sensor node* dikirimkan melalui API ke sebuah server untuk dapat ditampilkan di sebuah *website. Website* dibangun dengan menggunakan *framework* Laravel dan mysql sebagai databasenya. Untuk diagram sistem ditunjukan pada Gambar 6.



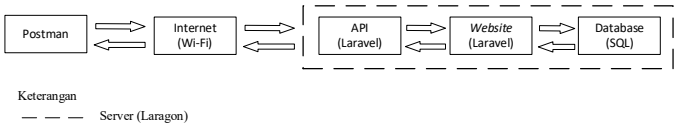
Gambar 6. Diagram sistem

B. *Hubungan Antar Software yang Digunakan*

Software yang digunakan memiliki hubungan yang saling berkaitan, hal ini Postman digunakan sebagai *software* pengujian API yang disimulasikan sebagai pengirim data (*sensor node*) ke server. Pengujian dengan postman dapat diakses dari dua komputer yang berbeda, yaitu dari komputer server dan dari komputer yang berbeda. Hubungan antar *software* yang diakses dari komputer server ditunjukan pada Gambar 7 dan dari komputer yang berbeda ditunjukan pada Gambar 8.



Gambar 7. Diagram sistem jika diakses dari komputer server



Gambar 8. Diagram sistem jika diakses dari komputer lain

C. *Variabel Pengiriman Data*

Data yang dikirim menggunakan variabel pengiriman data agar data yang dikirim dapat mudah untuk dikenali di server. Variabel pengiriman dirancang menggunakan 4 variabel pengiriman, yaitu id_node, id_message, suhu dan kelembaban. id_node digunakan sebagai pengenal *sensor node* yang melakukan pengiriman data ke server. id_message digunakan sebagai penanda bahwa sensor sudah mengirimkan berapa banyak pesan dan juga digunakan sebagai deteksi jika terjadi kegagalan pengiriman data ke server. Suhu merupakan sebuah nilai yang diukur dengan menggunakan sensor DHT 22 sebagai variabel pengukuran pada sistem monitoring lingkungan di Politeknik Negeri Samarinda. Kelembaban merupakan sebuah nilai yang diukur dengan menggunakan sensor DHT 22.

D. *Format Pengiriman Data*

Dalam penggunaan sebuah protokol komunikasi, format pengiriman data diperlukan agar bentuk pengiriman data dari setiap *node* sama. Data hasil pengukuran digabungkan ke dalam sebuah *variabel buff* dengan bentuk StaticJsonDocument dengan ukuran tidak lebih dari 200 Byte. Variabel buff dikirim ke server dalam bentuk *key* dan *value* mengikuti format tipe data JSON. Berikut cuplikan program format pengiriman data untuk setiap *sensor node*.

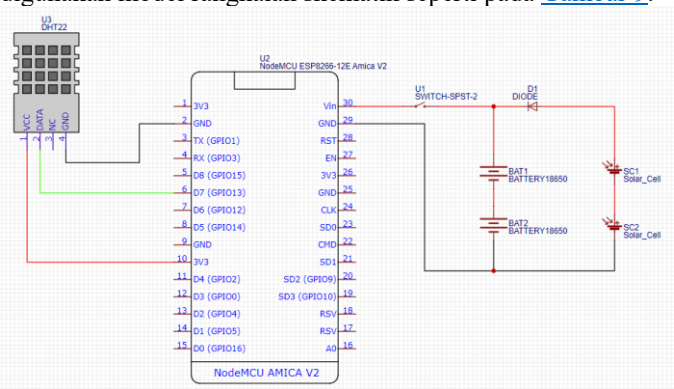
```
1  StaticJsonDocument<200> buff;
2  String Json;
3  buff["id_node"] = 2;
4  buff["id_message"] = counter;
5  buff["suhu"] = round(temp * 10) / 10.0;
6  buff["kelembaban"] = round(humidity * 10) / 10.0;
7
8  serializeJson(buff, Json);
9  Serial.println(Json);
10
```

Submitted: 06/07/2024; Revised: 09/07/2024;
Accepted: 07/05/2025; Online first: 17/06/2024
https://doi.org/10.46964/poligrid.v6i2.43

```
http.begin(client, url);
http.addHeader("Content-Type", "application/json");
http.POST(Json);
response = http.getString();
Serial.println(response);
```

E. *Rangkaian Sensor Node*

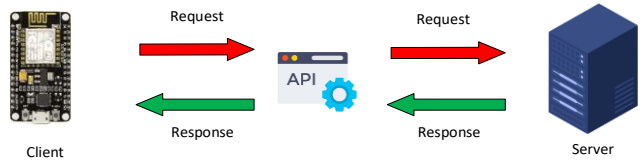
Untuk menghasilkan sebuah *sensor node* yang diharapkan, maka dilakukan pembuatan rangkaian skematik *sensor node*. Pembuatan rangkaian skematik bertujuan untuk menggambarkan koneksi antara sensor suhu DHT22 dengan NodeMcu Esp8266. Untuk setiap *sensor node* yang dibuat, digunakan model rangkaian skematik seperti pada Gambar 9.



Gambar 9. Rangkaian sensor node

F. *Desain API*

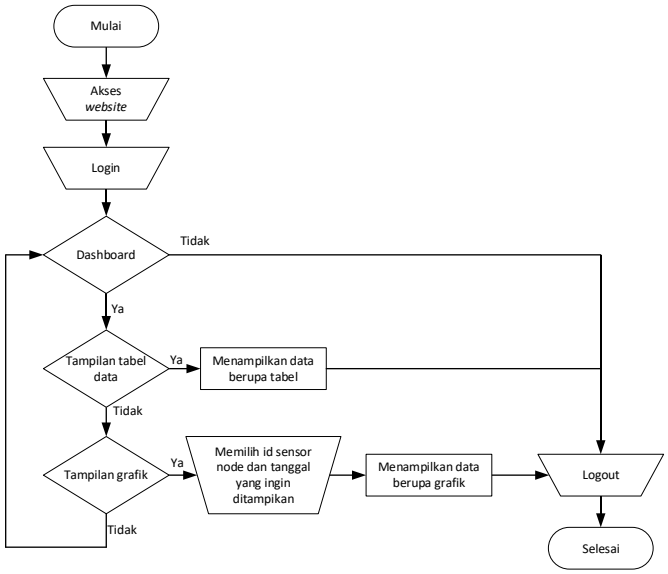
API didesain dengan menggunakan *framework* Laravel versi 6.0 dan *software* pemrograman Visual Studio Code. API yang didesain mengikuti prinsip dari REST, yaitu menggunakan metode GET dan metode POST. Desain API ditunjukan pada Gambar 10.



Gambar 10. Desain API

G. *Perancangan Website*

Website dirancang menggunakan *framework* Laravel dengan bantuan kode editor Visual Studio Code. *Website* yang digunakan dirancang dengan menggunakan Template AdminLTE. Template AdminLTE dapat didownload gratis di laman adminlte.io dan dapat diedit sesuai dengan kebutuhan. *Website* yang akan dirancang yaitu tampilan *dashboard*, tampilan tabel data dan tampilan grafik. Diagram alir *website* ditunjukan pada Gambar 11.



Gambar 11. Diagram alir *website*

H. *Metode Pengujian*

Pengujian API dilakukan untuk dua metode request yang telah dirancang, yaitu metode POST dan metode GET. Untuk metode pengujian yang akan dilakukan adalah melakukan pencocokan data untuk dua metode *request* yang akan dirancang. Pada metode POST, dilakukan pengiriman data ke sebuah server untuk kemudian dicocokan antara data yang dikirim dari client dan data yang diterima di server. Kemudian, untuk metode GET dilakukan pencocokan data antara data yang diterima di client dengan data yang tersimpan di server. Jika data pada client dan server pada dua metode yang diuji, sama maka pengujian dinyatakan berhasil.

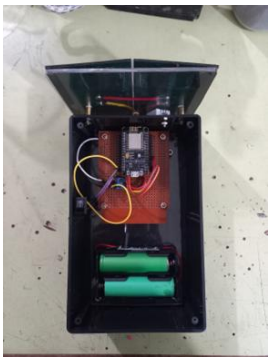
IV. Hasil dan Pembahasan

A. *Hasil Perancangan dan Pengujian Perangkat Keras Sensor node*

Sensor node dibuat di Laboratorium Mikroprosessor Jurusan Teknik Elektro dengan menggunakan NodeMcu Esp8266 dan sensor suhu DHT22. Jumlah *sensor node* yang dibuat sebanyak 2 buah dengan konfigurasi yang sama persis. Pada *sensor node*, disematkan program untuk melakukan pengiriman data ke server menggunakan API dengan metode POST. Pada Gambar 12 dan Gambar 13 ditunjukan hasil perancangan perangkat keras *sensor node.*

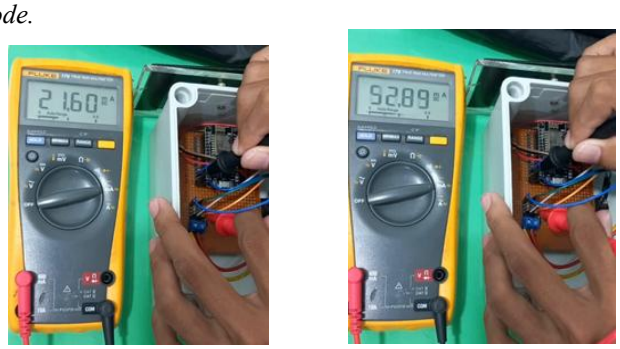
Gambar 12. Hasil perancangan Sensor Node 1

Submitted: 06/07/2024; Revised: 09/07/2024;
Accepted: 07/05/2025; Online first: 17/06/2024
https://doi.org/10.46964/poligrid.v6i2.43

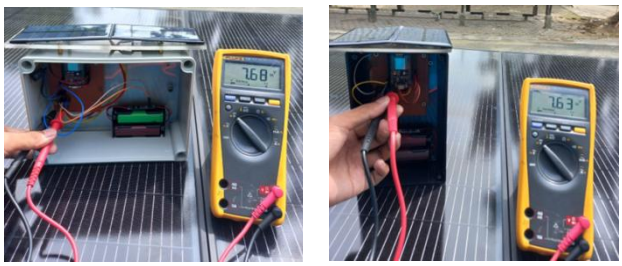


Gambar 13. Hasil perancangan Sensor Node 2

Hasil pengujian sel surya di bawah terik matahari, nilai tegangan yang dihasilkan oleh konfigurasi seri hanya mencapai 7,6 Volt dan dihasilkan sekitar 100 mA untuk Sensor Node 1 dan sekitar 50 mA untuk Sensor Node 2. Perbedaan arus yang dihasilkan dari *mini cell* surya Sensor Node 1 dan Sensor Node 2 dapat disebabkan oleh perbedaan kemampuan sel surya dalam menangkap cahaya matahari yang diterima. Pada Gambar 14, Gambar 15 dan Gambar 16 ditunjukan hasil pengujian *sensor node.*



Gambar 14. Hasil pengukuran konsumsi arus *sensor node* dalam kondisi standby(kiri) dan mengirim(kanan)



Gambar 15. Hasil pengukuran tegangan yang dihasilkan oleh sel surya

Gambar 16. Hasil pengukuran arus yang dihasilkan oleh sel surya

B. Hasil Perancangan Application Programming Interface (API)

API dirancang dan diimplementasikan pada sistem monitoring lingkungan Politeknik Negeri Samarinda dengan menggunakan *framework* Laravel dan software Visual Studio Code untuk memprogramnya. API yang dirancang menggunakan dua metode, yaitu metode POST dan metode GET. Berikut cuplikan program API yang digunakan di *framework* Laravel *folder route*/api.php.

```
Route::post('/environment', 'EnvironmentController@create');
Route::get('/environment', 'EnvironmentController@baca');
```

C. Hasil Perancangan Database

Perancangan database dibuat dengan menggunakan fitur di framework laravel melalui terminal cmd yaitu php artisan make:model Environment -m. Database baru dengan nama Environments ditambahkan untuk menyimpan data dari sensor node dengan file model yaitu Environment.php sebagai penghubung ke database antara *framework* Laravel dengan database Environment. Di dalam database tersebut terdapat kolom berupa id_node, id_message, suhu, kelembaban dan waktu. Berikut cuplikan program untuk membuat *database* menggunakan *framework* laravel.

```
public function up()
  {
    Schema::create('environments', function (Blueprint $table) {
      $table->bigIncrements('id');
      $table->unsignedTinyInteger('id_node');
      $table->unsignedTinyInteger('id_message');
      $table->float('suhu', 3, 1);
      $table->float('kelembaban', 3, 1);
      $table->timestamps();
    });
  }
```

Agar data yang diterima di server sesuai dengan yang diharapkan, maka perlu pengaturan pembatasan data yang dapat dikirim ke server. Berikut cuplikan program yang digunakan untuk membatasi data yang dapat dikirim ke server dan pada Gambar 17 merupakan bentuk database yang berhasil dibuat.

```
protected $fillable = [
        'id_node',
        'id_message',
        'suhu',
        'kelembaban'
];
```

#	Nama	Jenis	Penyortiran	Atribut	Tak Ternilai	Bawaan	Komentar	Ekstra
1	**id**	bigint(20)		UNSIGNED	Tidak	*Tidak ada*		AUTO_INCREMENT
2	**id_node**	tinyint(3)		UNSIGNED	Tidak	*Tidak ada*		
3	**id_message**	tinyint(3)		UNSIGNED	Tidak	*Tidak ada*		
4	**suhu**	double(3,1)			Tidak	*Tidak ada*		
5	**kelembaban**	double(3,1)			Tidak	*Tidak ada*		
6	**created_at**	timestamp			Ya	*NULL*		
7	**updated_at**	timestamp			Ya	*NULL*		

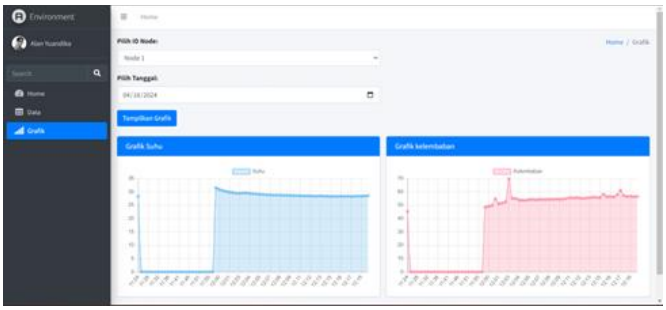
Gambar 17. *Database* yang dibuat

Submitted: 06/07/2024; Revised: 09/07/2024;
Accepted: 07/05/2025; Online first: 17/06/2024
https://doi.org/10.46964/poligrid.v6i2.43

D. *Hasil Perancangan Website*

Website digunakan untuk menampilkan data yang diterima dari *sensor node* sehingga dapat diakses dan mudah dibaca oleh pengguna. Data hasil pengukuran dapat ditampilkan dalam dua jenis tampilan, yaitu tampilan tabel dan grafik. Hasil perancangan *website* ditunjukan pada Gambar 18 dan Gambar 19.

Gambar 18. Tampilan tabel data di *website*



Gambar 19. Tampilan grafik di *website*

E. *Hasil Pengujian Metode POST dengan Postman dari Komputer Server*

Pengujian pengiriman data dilakukan dengan menggunakan *software* Postman melalui API ke server dengan metode POST menggunakan fitur *runner* pada Postman. Pengujian dilakukan dengan mengirimkan 10 data ke server sebagai sampel pengujian. Pada Tabel 4 ditunjukan hasil pengujian sepuluh data yang dikirim ke server.

TABEL 4
HASIL PENGUJIAN METODE POST DENGAN POSTMAN YANG DIAKSES DARI KOMPUTER SERVER

Pengujian ke	Time response (ms)	Kode status	Waktu pengiriman	Waktu diterima oleh server
1	177	200 OK	23.28	23.28
2	149	200 OK	23.38	23.38
3	148	200 OK	23.48	23.48
4	204	200 OK	23.58	23.58
5	195	200 OK	00.08	00.08
6	228	200 OK	00.18	00.18
7	180	200 OK	00.28	00.28
8	191	200 OK	00.38	00.38
9	176	200 OK	00.48	00.48
10	165	200 OK	00.58	00.58

Hasil pengujian pada Tabel 4 menunjukan bahwa *time response* memiliki perbedaan untuk setiap pengirimannya. *Time response* terbesar terjadi pada pengiriman ke 6 dan terendah di pengujian ke 3. Periode waktu pengiriman yang digunakan yaitu 10 menit. Sepuluh data yang dikirim dapat diterima dan disimpan di server.

F. *Hasil Pengujian Metode GET dengan Postman dari Komputer Server*

Pengujian menggunakan Postman dapat dilakukan dengan menggunakan metode GET. Postman melakukan request ke server melalui API berupa perintah untuk melakukan pengambilan data yang tersimpan di server. Tujuan pengujian ini adalah untuk memastikan bahwa data yang telah tersimpan di *database* server dapat diakses oleh perangkat lunak lain, agar dapat digunakan untuk keperluan pengembangan lainnya. Pada Tabel 5 ditunjukan hasil pengujian metode GET yang dilakukan menggunakan Postman.

TABEL 5
HASIL PENGUJIAN METODE GET DENGAN POSTMAN YANG DIAKSES DARI KOMPUTER SERVER

Pengambilan data ke	*Time response* (ms)	Kode status	Jumlah data diterima	Jumlah data tersimpan	Waktu diterima
1	229	200 OK	10	10	09.08
2	210	200 OK	10	10	09.18
3	173	200 OK	10	10	09.28
4	160	200 OK	10	10	09.38
5	155	200 OK	10	10	09.48
6	150	200 OK	10	10	09.58
7	148	200 OK	10	10	10.08
8	141	200 OK	10	10	10.18
9	140	200 OK	10	10	10.28
10	183	200 OK	10	10	10.38

Hasil pengujian pada Tabel 5 menunjukan bahwa ketika melakukan pengujian dengan metode GET menggunakan Postman dari komputer server diperoleh hasil yaitu *time response* memiliki nilai terbesar yaitu 229 ms dan terkecil yaitu 140 ms. Kemudian, untuk jumlah data yang tersimpan di server sebanyak 10 data dan data yang diterima juga memiliki jumlah 10 data. Untuk jumlah yang diterima di Postman sama dengan jumlah data yang disimpan di server. Sehingga, hasil pengujian dengan metode ini berhasil.

G. *Hasil Pengujian Metode POST dengan Postman dari Komputer yang Berbeda*

Pengiriman data menggunakan Postman dapat dilakukan dari komputer atau laptop yang berbeda dengan laptop server. Komputer yang berbeda dari komputer server dihubungkan ke jaringan Wi-Fi yang sama dengan komputer server sebagai media komunikasi yang digunakan untuk melakukan pengiriman data. Tujuan pengujian ini adalah untuk memastikan bahwa API yang dirancang mampu diakses dari perangkat lain. Pada Tabel 6 hasil pengujian menggunakan Postman dari komputer yang berbebda.

Submitted: 06/07/2024; Revised: 09/07/2024;
Accepted: 07/05/2025; Online first: 17/06/2024
https://doi.org/10.46964/poligrid.v6i2.43

TABEL 6
HASIL PENGUJIAN METODE POST DENGAN POSTMAN YANG DIAKSES DARI KOMPUTER LAIN

Pengujian ke	Time response (ms)	Kode status	Waktu pengiriman	Waktu diterima oleh server
1	5808	200 OK	21.58	21.58
2	187	200 OK	22.08	22.08
3	184	200 OK	22.18	22.18
4	221	200 OK	22.28	22.28
5	268	200 OK	22.38	22.38
6	201	200 OK	22.48	22.48
7	215	200 OK	22.58	22.58
8	202	200 OK	23.08	23.08
9	192	200 OK	23.18	23.18
10	270	200 OK	23.28	23.28

Dari hasil pengujian yang ditunjukan pada Tabel 6 diperoleh hasil bahwa *time response* memiliki nilai terbesar pada pengujian pertama dengan nilai 5808 ms dan terkecil berada pada pengujian ke 3 yaitu sebesar 184 ms. Nilai *time response* ini memiliki nilai rata-rata yang lebih besar dibandingkan pengujian pengiriman data menggunakan Postman dari komputer server. Waktu pengriman yang dilakukan oleh Postman memiliki waktu yang sama dengan waktu penerimaan yang tercatat di server. Dari pengujian ini, sepuluh data yang dikirim dapat diterima di server.

H. *Hasil Pengujian Metode GET dengan Postman dari Komputer yang Berbeda*

Pengujian mengambil data menggunakan Postman dari komputer yang berbeda juga dilakukan dengan menggunakan metode GET untuk API yang telah dibuat. Pada Tabel 7 ditunjukan hasil pengujian yang telah dilakukan.

TABEL 7
HASIL PENGUJIAN METODE GET DENGAN POSTMAN YANG DIAKSES DARI KOMPUTER LAIN

Pengambilan data ke	*Time response* (ms)	Kode status	Jumlah data diterima	Jumlah data tersimpan	Waktu diterima
1	491	200 OK	471	471	23.48
2	476	200 OK	471	471	23.58
3	515	200 OK	471	471	00.08
4	5906	200 OK	471	471	00.18
5	450	200 OK	471	471	00.28
6	274	200 OK	471	471	00.38
7	494	200 OK	471	471	00.48
8	458	200 OK	471	471	00.58
9	505	200 OK	471	471	01.08
10	401	200 OK	471	471	01.18

Dari hasil pengujian pada Tabel 7 diperoleh hasil bahwa nilai *time response* tercatat memilki nilai terbesar yaitu 5906 ms pada pengujian ke 4 dan nilai terkecil yaitu 274 pada pengujian ke 6. Nilai pada pengujian ini memiliki rata-rata lebih besar dari nilai *time response* yang tercatat pada pengujian dengan metode GET dari komputer server. Jumlah data yang diterima oleh Postman sama dengan jumlah data yang tersimpan di server. Sehingga, 10 pengujian dengan cara ini seluruhnya berhasil.

A. *Hasil Pengujian Pengiriman data menggunakan Sensor Node 1*

Pengujian yang dilakukan dengan sensor node 1 yaitu melakukan pengiriman data melalui API ke server menggunakan jaringan Wi-Fi yang sama dengan server. Pengujian pengiriman data yang dilakukan juga hanya 10 data pengiriman, hal ini dikarenakan 10 data tersebut digunakan sebagai sampel pengujian. Pada Tabel 8 ditunjukan hasil pengujian yang telah dilakukan.

TABEL 8
HASIL PENGUJIAN PENGIRIMAN DATA MENGGUNAKAN SENSOR NODE 1

Pengiriman Ke	Dikirim			Diterima		
	Suhu	Kelembaban	Waktu	Suhu	Kelembaban	Waktu
1	27,2	78,2	20.00	27,2	78,2	20.00
2	27,5	78,3	20.10	27,5	78,3	20.10
3	27,4	77,5	20.20	27,4	77,5	20.20
4	27,4	76,6	20.30	27,4	76,6	20.30
5	27,4	76,5	20.40	27,4	76,5	20.40
6	27,4	77,7	20.50	27,4	77,7	20.50
7	27,4	78,6	21.00	27,4	78,6	21.00
8	27,4	78,9	21.10	27,4	78,9	21.10
9	27,3	79,1	21.20	27,3	79,1	21.20
10	27,4	79,9	21.30	27,4	79,9	21.30

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan seperti pada Tabel 8 menunjukan bahwa Sensor Node 1 dapat melakukan pengiriman data melalui API ke server. Nilai suhu dan kelembaban yang dikirim oleh Sensor Node 1 memiliki nilai yang sama dengan nilai yang diterima di server. Periode pengiriman data yang digunakan yaitu sepuluh menit. Waktu pengiriman oleh Sensor Node 1 tercatat sama dengan waktu penerimaan yang diterima di server. Hasil pengujian pengiriman data menggunakan Sensor Node 1 dianggap berhasil.

I. *Hasil Pengujian Pengiriman Data menggunakan Sensor Node 2*

Pengujian pengiriman data dilakukan dengan menggunakan Sensor Node 2 dan mengirimkan data pengujian ke server melalui API. Sensor Node 2 harus terhubung ke jaringan Wi-Fi yang sama dengan server agar dapat melakukan komunikasi berupa pengiriman data ke server. Pada Tabel 9 ditunjukan hasil pengujian pengiriman data menggunakan Sensor Node 2 ke server.

TABEL 9
HASIL PENGUJIAN PENGIRIMAN DATA MENGGUNAKAN SENSOR NODE 2

Pengujian Ke	Dikirim			Diterima		
	Suhu	Kelembaban	Waktu	Suhu	Kelembaban	Waktu
1	31,3	80,2	11.08	31,3	80,2	11.08
2	31,8	79,5	11.18	31,8	79,5	11.18
3	32	79,5	11.28	32,0	79,2	11.28
4	32,3	78,2	11.38	32,3	78,2	11.38
5	32,7	77,4	11.48	32,7	77,4	11.48
6	32,9	77	11.58	32,9	77,0	11.58
7	33	78,3	12.08	33,0	78,3	12.08
8	33,1	77,2	12.18	33,1	77,2	12.18
9	33,4	75,7	22.39	33,4	75,7	12.28
10	33,6	75,4	22.49	33,6	75,4	12.38

Submitted: 06/07/2024; Revised: 09/07/2024;
Accepted: 07/05/2025; Online first: 17/06/2024
https://doi.org/10.46964/poligrid.v6i2.43

Hasil pengujian yang ditunjukan pada Tabel 9 memiliki hasil yaitu Sensor Node 2 dapat melakukan pengiriman data ke server dengan 10 data pengujian. Nilai suhu dan kelembaban yang diterima memiliki nilai yang sama dengan nilai yang dikirim oleh Sensor Node 2. Waktu pengiriman yang tercatat di Sensor Node 2 memiliki waktu yang sama dengan waktu yang di terima di server. Sehingga, pengujian sepuluh data yang dikirim menggunakan Sensor Node 2 dinyatakan berhasil.

J. *Hasil Pengujian Pengiriman Data menggunakan Sensor Node Secara Bersamaan*

Pengujian pengiriman data menggunakan *sensor node* juga dilakukan pengiriman secara bersama-sama antara Sensor Node 1 dan Sensor Node 2. Sensor Node 1 dan Sensor Node 2 dinyalakan secara bersamaan untuk melakukan pengiriman data ke server. Pada Tabel 10 ditunjukan hasil pengujian pengiriman data secara bersamaan menggunakan *sensor node.*

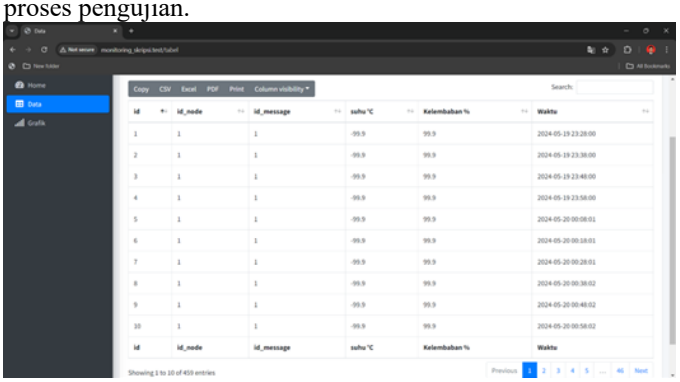
TABEL 10
HASIL PENGUJIAN PENGIRIMAN DATA SECARA BERSAMAAN

Pengiriman ke	Sensor Node 1			Sensor Node 2		
	suhu	kelembaban	waktu	suhu	kelembaban	waktu
1	27,3	65,4	17.02.28	27,5	66	17.02.25
2	27,5	66,6	17.12.28	27,6	66,8	17.12.25
3	27,4	66,5	17.22.28	27,5	66,8	17.22.25
4	27,4	66,1	17.32.29	27,4	66,6	17.32.26
5	27	67,1	17.42.29	27,3	66,7	17.42.26
6	26,6	66,9	17.52.29	27	66,3	17.52.26
7	26,4	67,5	18.02.30	26,8	66,8	18.02.27
8	26,2	68,9	18.12.30	26,7	67,7	18.12.27
9	26,1	69	18.22.30	26,6	67,8	18.22.27
10	26,1	68,8	18.32.31	26,6	67,8	18.32.28

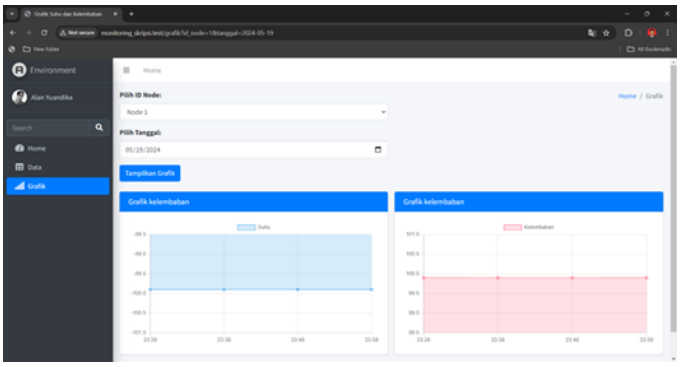
Hasil pengujian pada Tabel 10 dengan melakukan pengiriman data secara bersamaan menunjukan hasil bahwa Sensor Node 1 dan Sensor Node 2 dapat melakukan pengiriman data secara bersamaan ke server. Waktu penerimaan yang tercatat di server antara Sensor Node 1 dan Sensor Node 2 memiliki selisih 3 detik untuk setiap pengirimannya. Hal ini dapat disebabkan oleh perbedaan waktu koneksi antara Sensor Node 1 dan Sensor Node 2. Dari pengujian tersebut, pengujian dapat dinyatakan berhasil karena sepuluh data yang dikirim oleh Sensor Node 1 dan Sensor Node 2 dapat diterima seluruhnya oleh server.

K. *Hasil Pengujian menampilkan Data di Website*

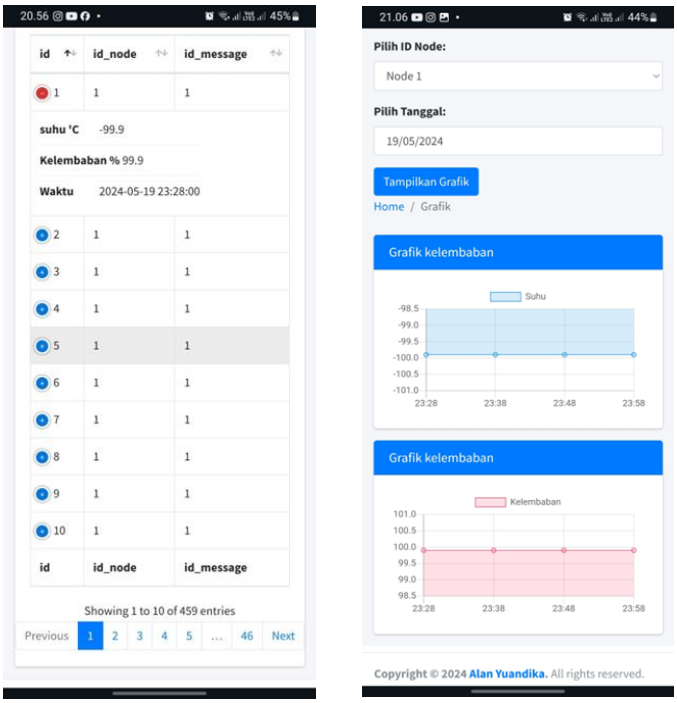
Pengujian menampilkan data di *website* dilakukan dengan cara mengakses *website* dan mencocokan data suhu dan kelembaban yang tersimpan di database dengan yang ditampilkan di *website*. *Website* diakses menggunakan laptop dan *smartphone*. Namun, agar *smartphone* dapat mengakses *website* yang telah dibuat harus terhubung ke jaringan Wi-Fi yang sama dengan server. Pada Gambar 20, Gambar 21, dan Gambar 22 ditunjukan hasil pengujian menampilkan data di *website* dalam bentuk tabel dan grafik. Sedangkan, pada Gambar 23 merupakan data yang tersimpan di *database* selama proses pengujian.



Gambar 20. Hasil pengujian menampilkan data dalam bentuk tabel di *website* menggunakan komputer



Gambar 21. Hasil pengujian menampilkan data menggunakan grafik di *website* menggunakan komputer



Gambar 22. Hasil pengujian menampilkan data menggunakan *smartphone* di *website* dalam bentuk tabel(kiri) dan grafik(kanan)

Submitted: 06/07/2024; Revised: 09/07/2024;
Accepted: 07/05/2025; Online first: 17/06/2024
https://doi.org/10.46964/poligrid.v6i2.43

id	id_node	id_message	suhu	kelembaban	created_at	updated_at
1	1	1	-99.9	99.9	2024-05-19 23:28:00	2024-05-19 23:28:00
2	1	1	-99.9	99.9	2024-05-19 23:38:00	2024-05-19 23:38:00
3	1	1	-99.9	99.9	2024-05-19 23:48:00	2024-05-19 23:48:00
4	1	1	-99.9	99.9	2024-05-19 23:58:00	2024-05-19 23:58:00
5	1	1	-99.9	99.9	2024-05-20 00:08:01	2024-05-20 00:08:01
6	1	1	-99.9	99.9	2024-05-20 00:18:01	2024-05-20 00:18:01
7	1	1	-99.9	99.9	2024-05-20 00:28:01	2024-05-20 00:28:01
8	1	1	-99.9	99.9	2024-05-20 00:38:02	2024-05-20 00:38:02
9	1	1	-99.9	99.9	2024-05-20 00:48:02	2024-05-20 00:48:02
10	1	1	-99.9	99.9	2024-05-20 00:58:02	2024-05-20 00:58:02

Gambar 23. Data yang tersimpan di database

Dari hasil pengujian yang dilakukan menunjukan bahwa *website* dapat dijalankan dari komputer server dan smartphone. Jumlah data yang digunakan untuk pengujian menampilkan data di *website* yaitu berjumlah sepuluh data. Jumlah tersebut digunakan sebagai sampel pengujian untuk pengujian menampilkan data di *website*. Kemudian, data yang ditampilkan di *website* sama dengan data yang tersimpan di database. Dari pengujian menampilkan data menggunakan *website* dinyatakan berhasil.

V. SIMPULAN DAN SARAN

A. *Simpulan*

Berdasarkan hasil perancangan dan pengujian pada penelitian "Implementasi API pada Sistem Monitoring Lingkungan di Politeknik Negeri Samarinda Berbasis NodeMcu Esp8266" dapat disimpulkan bahwa:

1. API diimplementasikan pada sistem monitoring lingkungan menggunakan *framework* Laravel dan untuk menjalankan rancangan tersebut digunakan virtual server di komputer berupa *software* Laragon.
2. Tampilan data sistem monitoring lingkungan di Politeknik Negeri Samarinda menggunakan sebuah *website* dengan bantuan *framework* Laravel dan template AdminLte sebagai desain dari tampilan *website* yang digunakan. *Website* dapat diakses melalui laptop dan perangkat yang berbeda seperti smartphone dengan koneksi jaringan yang sama.
3. Nilai *time response* tercatat memiliki hasil yang konsisten dalam 10 kali pengujian dengan menggunakan metode *request* melalui API yaitu metode POST untuk mengirim data dan metode GET untuk mengambil data dari server.
4. Pengiriman data dilakukan melalui API yang sudah dirancang dan diimplementasikan di sistem monitoring lingkungan di Politeknik Negeri Samarinda berbasis NodeMcu Esp8266 dengan sampel setiap pengujian adalah 10 kali dan semua data yang dikirim dapat diterima di server.
5. Pengiriman data melalui API ke server dapat dilakukan dengan menggunakan software Postman yang diakses dari komputer server dan komputer yang berbeda dari server.
6. Pengiriman data melalui API ke server dapat dilakukan dari Sensor Node 1 dan Sensor Node 2 yang terhubung ke jaringan Wi-Fi yang sama dengan server.
7. Pengiriman dari Sensor Node 1 dan Sensor Node 2 dan dari perangkat yang berbeda dengan server harus mengetahui alamat ip server yang digunakan.

B. *Saran*

API yang dirancang belum memiliki keamanan yang kuat untuk data yang diterima, sehingga siapapun yang mengetahui format pengiriman data melalui API yang telah dibuat maka dapat melakukan pengiriman data yang dapat mengganggu kinerja API dan server. Diharapkan untuk pengembangan berikutnya keamanan API lebih ditingkatkan.

REFRENSI

[1] Elgamar, *Buku Ajar Konsep Dasar Pemrograman Website dengan PHP*, 1st ed. CV. Multimedia Edukasi, 2020.

[2] Freepik, "Website symbol." Accessed: Apr. 21, 2024. [Online]. Available: https://www.freepik.com/vectors/ website-symbol

[3] "Laragon." [Online]. Available: laragon.org

[4] H. Kurniawan *et al.*, *Belajar Web Programming : Referensi Pengenalan Dasar Tahapan Belajar Pemrograman Web Untuk Pemula*, Jambi: PT Sonpedia Publishing Indonesia, Agustus. 2023.

[5] B. R. Suteja dan R. Agustaf, "Interoperabilitas aplikasi berbasis Web Service," *Jurnal Informasi Interaktif*, vol. 5, no. 3, pp. 92–147, 2020.

[6] I. Wiguna dan I. Desnajaya, *Konsep API dan Implementasinya Dalam Membangun Sistem Informasi Menggunakan Laravel*, 1st ed. Jambi: Sonpedia, 2024.

[7] D. Gosh, "Talent500." Accessed: Apr. 16, 2024. [Online]. Available: https://talent500.co/blog/restful-vs-restless-api-in-backend/

[8] "Postman." [Online]. Available: https://www.postman.com/ product/what-is-postman/

[9] J. Arifin, L. N. Zulita, dan H. Hermawansyah, "Perancangan murottal otomatis menggunakan mikrokontroller Arduino Mega 2560," *Jurnal Media Infotama*, vol. 12, no. 1, pp. 89–98, 2016, doi: 10.37676/jmi.v12i1.276.

[10 A. Huda, N. Ardi, dan A. Mubai, *Pengantar Coding Berbasis C/C++*, Padang: UNP Press, 2021.

[11] H. A. Fatta, *Dasar Pemrograman C++*, Yogyakarta: CV. Andi Offset, 2006.

[12] M. B. Ulum, Moch. Lutfi, dan A. Faizin, "Otomatisasi pompa air menggunakan Nodemcu ESP8266 berbasis internet of things (IoT)," *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, vol. 6, no. 1, pp. 86–93, 2022, doi: 10.36040/jati.v6i1.4583.

[13] A. P. Manullang, Y. Saragih, dan R. Hidayat, "Implementasi Nodemcu ESP8266 dalam rancang bangun sistem keamanan sepeda motor berbasis IoT," *JIRE (Jurnal Informatika & Rekayasa Elektronika)* , vol. 4, no. 2, pp. 163–170, 2021, [Online]. Available: http://e-journal.stmiklombok.ac.id/ index.php/jireISSN.2620-6900

[14] Siswanto, I. Rojikin, dan W. Gata, "Pemanfaatan sensor suhu DHT-22, ultrasonik HC-SR04 untuk mengendalikan kolam dengan notifikasi email," *Jurnal RESTI (Rekayasa Sistem dan Teknologi Informasi)*, vol. 3, no. 3, pp. 544–551, 2019, doi: 10.29207/resti.v3i3.1334.

[15] "AM2302 SIP Packaged Temperature and Humidity Sensor," Electronic, Aosong. Accessed: May 11, 2024. [Online]. Available: http://www.aosong.com/en/ products-22.html.

[16] Z. Noer dan I. Dayana, *Pengantar Batterai*. Guepedia, 2021.

[17] "The 18650 battery is the gasoline of the 21 st century," Battery Bro. Accessed: May 28, 2024. [Online]. Available: https://batterybro.com/

[18] "Cylindrical type Lithium Ion secondary battery," Japan. Accessed: May 28, 2024. [Online]. Available: https://www.murata.com/en-sg/products/batteries/cylindrical

[19] M. S. A. Amin, E. Emidiana, I. K. Pebrianti, dan Y. Irwansi, "Penggunaan panel surya sebagai pembangkit listrik pada alat pengering makanan," *Jurnal Ampere*, vol. 7, no. 1, pp. 15–21, 2022, [Online]. Available: https://jurnal.univpgri-palembang.ac.id/index.php/ampere/article/view/ 7703/ 5898

[20] A. Rachmi, B. Prakoso, H. Berchmans, I. D. Sara, and Winne, *Panduan Perencanaan dan Pemanfaatan PLTS atap di Indonesia*, AusAID, p. 94, Juni, 2020.

[21] I. Budiman, S. Saori, R. N. Anwar, Fitriani, dan M. Y. Pangestu, "Analisis pengendalian mutu di bidang industri makanan (Studi kasus:

Submitted: 06/07/2024; Revised: 09/07/2024;
Accepted: 07/05/2025; Online first: 17/06/2024
https://doi.org/10.46964/poligrid.v6i2.43

UMKM Mochi Kaswari Lampion Kota Sukabumi)," *Inovasi Penelitian*, vol. 1, no. 10, pp. 2185–2190, 2021.

[22] F. A. Nugroho, R. S. Utomo, dan I. P. Astari, "Rancang Bangun Sistem Monitoring Suhu dan Kelembaban Berbasis IoT dengan NodeMCU dan DHT22," *Jurnal Teknik ITS*, vol. 10, no. 2, pp. C134-C138, 2021.

[23] A. Wicaksono dan A. Ramadhan, "Implementasi API pada Sistem IoT untuk Pemantauan Lingkungan Berbasis Web," *Jurnal Teknologi dan Sistem Komputer*, vol. 8, no. 3, pp. 200-206, 2020.

Submitted: 06/07/2024; Revised: 09/07/2024;
Accepted: 07/05/2025; Online first: 17/06/2024
https://doi.org/10.46964/poligrid.v6i2.43

Analisis Dan Mitigasi Harmonisa Pada Gedung Direktorat Politeknik Negeri Samarinda Dengan Menggunakan *Software* ETAP

Muhammad Ali Luthfi[1], Rusda[2], Khairuddin Karim[3]
[1,2,3] Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Samarinda
rusda@polnes.ac.id

***Abstrak*- Gangguan harmonisa akibat beban non-linier menjadi tantangan signifikan dalam menjaga kualitas daya listrik, terutama pada sistem distribusi di lingkungan institusi pendidikan. Penelitian ini menyajikan analisis harmonisa serta evaluasi dua metode mitigasi — bank kapasitor dan filter harmonik pasif tipe single-tuned — pada sistem kelistrikan Gedung Direktorat Politeknik Negeri Samarinda menggunakan perangkat lunak ETAP. Hasil simulasi menunjukkan bahwa bank kapasitor mampu menurunkan nilai THDi dari 19,87% menjadi 4,3%, namun menyebabkan penurunan signifikan pada faktor daya hingga -17,96%. Sebaliknya, penerapan filter harmonik menurunkan THDi menjadi 13,64%, namun meningkatkan faktor daya dari 93,62% menjadi 99,2%, serta menurunkan THDv. Analisis ini mengindikasikan bahwa meskipun bank kapasitor lebih efektif dalam reduksi THDi, filter harmonik memberikan performa yang lebih seimbang dari segi stabilitas tegangan dan efisiensi daya. Dengan demikian, pemilihan metode mitigasi harmonisa sebaiknya mempertimbangkan *trade-off* antara efisiensi reduksi harmonik dan kualitas daya sistem secara keseluruhan.**

Kata kunci: Filter Single Tune, Harmonisa, THD, ETAP

I. PENDAHULUAN

Kualitas daya menjadi perhatian utama untuk konsumsi daya saat ini, karena pelanggan ingin perangkat mereka ditenagai oleh daya berkualitas agar tidak cepat mengalami kerusakan. Identifikasi kualitas daya sangat penting sebagai langkah awal dalam melakukan manajemen beban dan peningkatan kualitas daya.

Harmonisa mempunyai banyak dampak berbahaya pada komponen sistem tenaga yang bervariasi tergantung pada jenis beban atau sumber daya. Dampak dari harmonisa dapat diklasifikasikan menjadi dua kategori dasar: dampak jangka pendek dan dampak jangka panjang. Jangka pendek dampak biasanya yang paling terlihat dan terkait terhadap distorsi tegangan yang berlebihan, disamping itu, dampak jangka panjang seringkali tidak terdeteksi dan umumnya berhubungan dengan peningkatan rugi-rugi resistif atau tegangan tegangan. Dampak utama dari tegangan dan arus harmonisa pada sistem energi adalah penurunan faktor daya, terlalu panas dari fase dan konduktor netral, efisiensi generator berkurang dari hari ke hari karena harmonisa, arus eddy dan rugi-rugi histeresis pada transformer, *overheating* komponen sistem, generator, motor dan transformator dan lain-lain, aliran arus tambahan melalui daya kapasitor [1].

Pada gedung Direktorat Politeknik Negeri Samarinda identik dengan peralatan-perelatan yang modern dan sensitif terhadap *supply daya* yang diterimanya melalui sebuah sistem *supply daya*. Peralatan-peralatan ini dipakai setiap harinya yang umumnya berbasis elektronika, yang mempunyai potensi untuk menurunkan kualitas daya dengan menyumbang arus/tegangan yang cacat. Monitoring terhadap kualitas daya pada suatu sistem kelistrikan di institusi pendidikan khususnya yang memakai peralatan-peralatan berbasis elektronika atau elektronika daya merupakan hal yang sangat mendasar dan harus dilakukan mengingat peralatan-peralatan tersebut dapat menurunkan kualitas daya. Kita ketahui bahwa beban-beban yang terdapat pada peralatan listrik perkantoran sekarang ini tidak hanya terdiri dari beban linier saja tetapi juga terdiri dari beban-beban non linier [2].

Terdapat banyak metode yang dilakukan untuk mengurangi harmonisa sistem, di mana salah satunya dengan menggunakan filter. Filter bisa pasif, aktif atau *hybrid*. Filter pasif merupakan filter yang terdiri dari elemen pasif seperti kapasitor, induktor dll. dan karena itu tidak memerlukan sumber daya eksternal. Ini merupakan jenis filter termurah yang memberikan rendah jalur impedansi ke harmonisa yang tidak diinginkan. Jenis filter ini umumnya digunakan dalam jaringan distribusi daya, desain *cross over speaker*, *bypass* catu daya, berbagai sirkuit buatan sendiri dan diskrit, dll. Dalam studi ini, ETAP digunakan untuk memodelkan berbagai kekuatan jaringan dan melakukan analisis dan mitigasi harmonisa. ETAP adalah perangkat lunak yang sangat ramah pengguna dimana alat utama yang diperlukan untuk analisis dan mitigasi harmonisa yang efisien mudah dioperasikan untuk menjadi hasil yang lebih baik [3].

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. *Harmonisa*

Harmonisa adalah tegangan atau arus sinusoidal yang memiliki frekuensi dari kelipatan bilangan bulat dari frekuensi fundamentalnya. Apabila komponen frekuensinya dua kali lipat dari frekuensi fundamentalnya, maka disebut frekuensi orde ke 2 dan seterusnya. Seiring meningkatnya jumlah pembangkit listrik dari sumber energi terbarukan, semakin banyak perangkat elektronik daya yang ditambahkan ke dalam jaringan utama, sehingga meningkatkan jumlah keseluruhan harmonisa ke dalam pasokan utama itu sendiri [3].

Beban non-linier adalah salah satu sumber utama harmonisa pada suatu sistem tenaga konvensional. Pengaruh

Submitted: 19/07/2024; Revised: 21/08/2024;
Accepted: 16/06/2025; Online first: 17/06/2024
https://doi.org/10.46964/poligrid.v6i2.44

harmonisa yang ditimbulkan pada sistem satu phasa atau tiga phasa adalah terjadinya gelombang arus dan tegangan yang terdistorsi. Akibat langsung dari gelombang distorsi yang menganggu ini yaitu meningkatnya arus yang mengalir pada netral [4].

B. Parameter Harmonisa

Total Harmonic Distortion (THD) adalah nilai total distorsi harmonik dari perbandingan antara arus / tegangan pada semua orde harmonik dengan arus / tegangan pada frekuensi fundamental yang dinyatakan dalam persen (%). Nilai THD dijadikan sebagai mengukur besarnya penyimpangan dari bentuk gelombang periodik yang mengandung harmonisa dari gelombang sinusoidal [5].

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{n=\infty} x_{n^2}}}{x_1} x\ 100\% \quad \text{.....} \quad (1)$$

Keterangan :

THD = *Total Harmonic Distortion*,
X_n = Nilai RMS dari arus atau tegangan harmonisa ke-n,
X_1 = Nilai RMS dari arus atau tegangan pada frekuensi dasar

Individual Harmonic Distortion (IHD) merupakan rasio antara nilai efektif atau rms dari harmonisa individual dengan nilai rms harmonisa frekuensi fundamental yang dinyatakan dalam presentase. Pada pengukuran menggunakan *power quality analyzer* nilai harmonik individual arus dinyatakan sebagai I harm dan tegangan sebagai U harm. Nilai arus dan tegangan pada setiap orde berbeda-beda Berikut rumus IHD pada arus dan tegangan [6].

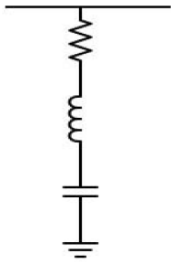
$$\sqrt{\left(\frac{Xsn}{Xs1}\right)^2} x\ 100\% = \frac{Xsn}{Xs1} x100\% \quad \text{.....} \quad (2)$$

Keterangan :

Xsn = tegangan dan arus pada orde ke-n,
Xs1 = tegangan dan arus fundamental,

C. Mitigasi Dengan Filter Pasif Single Tuned

Filter pasif menyediakan jalur impedansi rendah ke harmonik yang tidak diinginkan. Filter pasif dapat disusun dari rangkaian kombinasi induktor, kapasitor, dan resistor. Filter pasif dapat disetel tunggal seperti ditunjukkan dalam Gambar 1. *Single tuned filter* didesain untuk mengurangi harmonik tunggal. Filter ini pada dasarnya digunakan untuk mengurangi harmonik orde rendah sementara *double tuned filter* dirancang untuk mengurangi dua harmonik yang dirancang dan digunakan untuk mengurangi harmonik orde tinggi yang ada dalam sistem [7].



Gambar 1. *Single tuned filter*

Besarnya nilai kapasitor dan induktor beserta impedansinya masing – masing yang digunakan untuk merancang *single tuned filter* adalah sebagai berikut:

$$XC = \frac{kV^2}{MVar} \quad \text{.....} \quad (3)$$

Keterangan :

X_C = reaktansi C (Ω),
kV^2 = tegangan (kV),
MVar = komposisi daya reaktif (MVar),

Sehingga diperoleh nilai kapasitor:

$$C \frac{1}{2\pi f Xc} \quad \text{.....} \quad (4)$$

Keterangan :

C = kapasitor (μF),
X_C = impedansi C (Ω),
F = frekuensi (Hz),

Menetukan nilai reaktansi L dan nilai induktansi untuk komponen filter.

$$X_L = \frac{X_C}{h^2} \quad \text{.....} \quad (5)$$

Keterangan :

X_L = reaktansi induktor (Ω),
X_C = Reaktansi kapasitor (Ω),
h = orde harmonisa yang akan difilter,

$$L = \frac{X_L}{2\pi f} \quad \text{.....} \quad (6)$$

Keterangan :

L = induktor (mH),
X_L = reaktansi induktor (Ω),
F = frekuensi (Hz),

Menentukan nilai kapasitor untuk memperbaiki nilai faktor daya:

$$Q1 = S\ x\ Sin\ [arc\ cos\ \theta] \quad \text{.....} \quad (7)$$

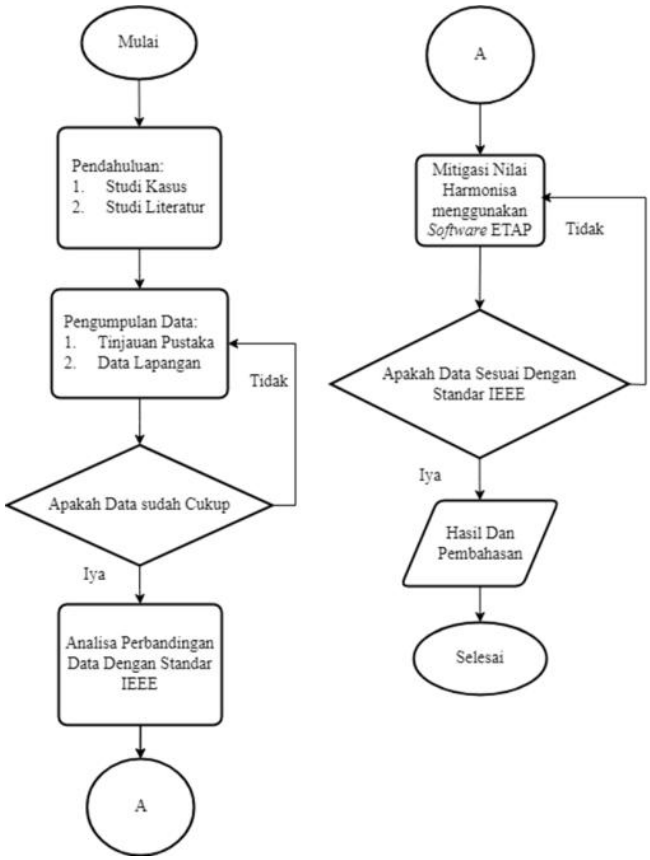
$$Q2 = S\ x\ Sin\ [arc\ cos\ \theta] \quad \text{.....} \quad (8)$$

Submitted: 19/07/2024; Revised: 21/08/2024;
Accepted: 16/06/2025; Online first: 17/06/2024
https://doi.org/10.46964/poligrid.v6i2.44

$$Qc = Q1 - Q2 \quad \text{.....} \quad (9)$$

III. METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan pada Gedung Direktorat Politeknik Negeri Samarinda dengan melakukan pengukuran pada sistem kelistrikannya menggunakan *Power Quality Analyzer*. Selanjutnya dilakukan perbandingan data hasil pengukuran dengan standar IEEE. Sistem kelistrikan sederhana ini dimodelkan sebagai diagram satu garis (*single line diagram*) untuk melakukan analisis harmonik. *Load flow analysis* dilakukan untuk mendapatkan nilai kVA dan faktor daya yang dapat digunakan pada saat mendesain filter. *Harmonic Load Flow Analysis* dan terakhir adalah melakukan mitigasi dengan mereduksi harmonik menggunakan filter. Dari pemodelan hingga mitigasi dilakukan menggunakan *Software* ETAP.



Gambar 2 Alur penelitian

A. *Data Pengukuran*

Busbar fase R dengan tegangan 0.22 kV dari transformator 555 kVA yang digunakan untuk pendistribusian daya listrik ke gedung Direktorat Politeknik Negeri Samarinda. Pada bus ini didapat nilai tertinggi THD tegangan dan arus yaitu 2.16 % dan 7.35 % yang terdapat pada Rabu 1 Maret 2023.

TABEL 1
NILAI IHD TEGANGAN DAN ARUS PADA BUSBAR FASE R

Orde	%IHD		Orde	%IHD	
	Tegangan	Arus		Tegangan	Arus
3	1.41	5.66	27	0.12	0.08
5	1.18	1.22	29	0.15	0.15
7	0.2	0.73	31	0.07	0.11
9	0.82	1.26	33	0.09	0.08
11	0.39	1.73	35	0.1	0.16
13	0.27	0.62	37	0.05	0.05
15	0.27	0.31	39	0.03	0.05
17	0.17	0.39	41	0.07	0.17
19	0.17	0.14	43	0.05	0.05
21	0.28	0.32	45	0.05	0.08
23	0.12	0.32	47	0.01	0.08
25	0.2	0.29	49	0.04	0.06

Busbar fasa S bertegangan 0.22 kV dari transformator 555 kVA. Dari pengukuran didapat nilai tertinggi untuk THD tegangan sebesar 1.88 % dan THD arus sebesar 6.66 % yang terdapat pada Rabu 1 Maret 2023.

TABEL 2
NILAI IHD TEGANGAN DAN ARUS PADA BUSBAR FASA S

Orde	**%IHD**		**Orde**	**%IHD**	
	Tegangan	Arus		Tegangan	Arus
3	1.02	4.49	27	0.14	0.21
5	1.09	1.3	29	0.11	0.25
7	0.51	0.85	31	0.07	0.13
9	0.73	2.05	33	0.08	0.13
11	0.37	1.57	35	0.08	0.21
13	0.17	0.27	37	0.13	0.16
15	0.34	0.79	39	0.07	0.08
17	0.09	0.65	41	0.03	0.12
19	0.13	0.2	43	0.1	0.09
21	0.29	0.5	45	0.04	0.08
23	0.1	0.43	47	0.01	0.04
25	0.1	0.2	49	0.05	0.02

Busbar fasa T memiliki tegangan 0.22 kV dari transformator 555 kVA. Setelah melakukan pengukuran didapatlah nilai tertinggi untuk THD tegangan sebesar 2.18 % dan THD arus sebesar 19.87 % yang terdapat pada Rabu 1 Maret 2023.

Submitted: 19/07/2024; Revised: 21/08/2024;
Accepted: 16/06/2025; Online first: 17/06/2024
https://doi.org/10.46964/poligrid.v6i2.44

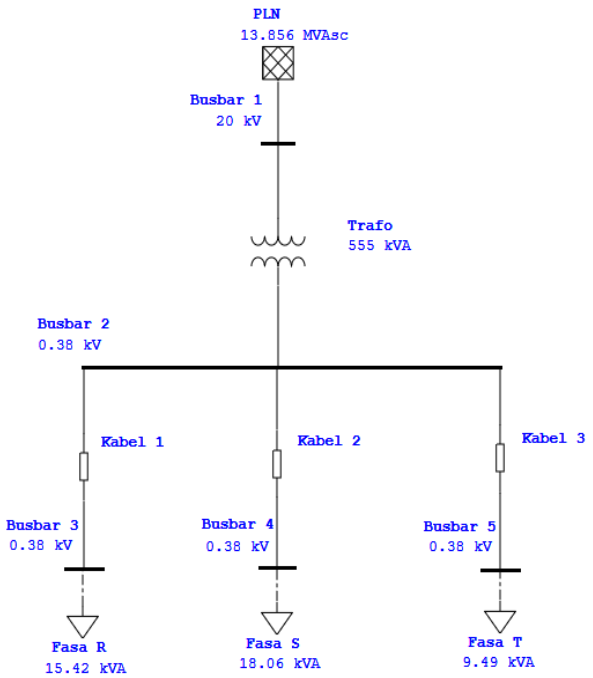
TABEL 3
NILAI IHD TEGANGAN DAN ARUS PADA BUSBAR FASA T

Orde	%IHD		Orde	%IHD	
	Tegangan	Arus		Tegangan	Arus
3	1.07	17.19	27	0.18	0.58
5	1.53	5.08	29	0.16	0.68
7	0.37	1.84	31	0.03	0.18
9	0.71	5.07	33	0.11	0.39
11	0.39	4.01	35	0.01	0.12
13	0.3	1.43	37	0.05	0.21
15	0.23	1.17	39	0.03	0.07
17	0.26	1.25	41	0.02	0.12
19	0.15	0.63	43	0.06	0.25
21	0.31	1.14	45	0.02	0.14
23	0.11	0.59	47	0.02	0.11
25	0.11	0.54	49	0.01	0.07

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. *Single Line Diagran Pada Gedung*

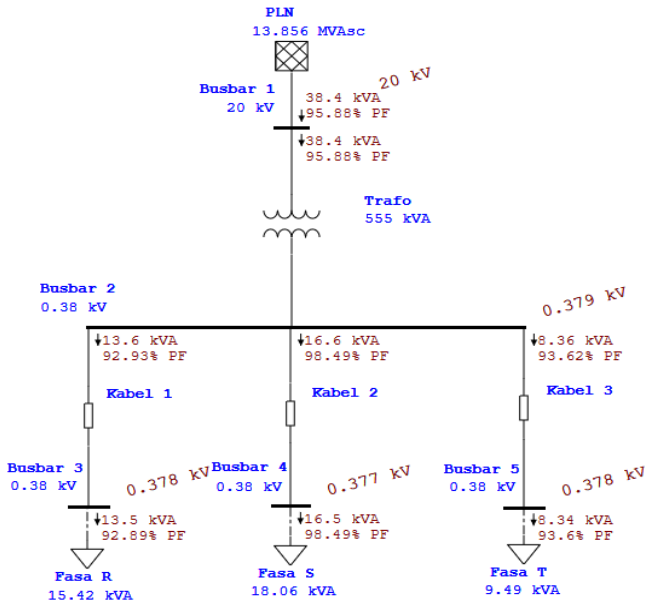
Sistem kelistrikan sederhana ini dimodelkan sebagai diagram satu garis untuk melakukan analisis harmonik. Beban yang terhubung dengan bus bar dimodelkan sebagai sumber harmonik untuk menciptakan distorsi harmonik pada jaringan listrik ini. Sumber harmonik ini pada jaringan listrik akan dianalisa menggunakan analisis harmonik dan teknik mitigasi akan dipakai untuk menghilangkan distorsi harmonik.



Gambar 3 *Single line diagram* sistem kelistrikan gedung simulasi pada ETAP

B. *Load Flow Analysis*

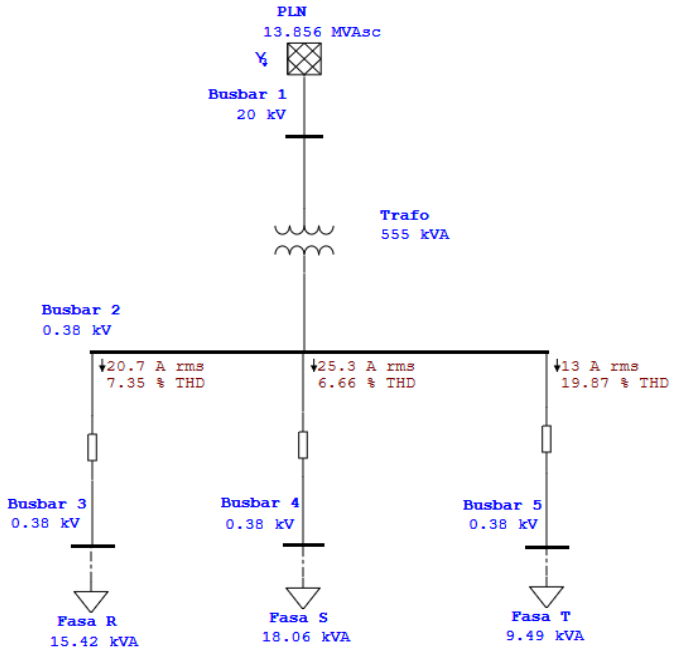
Load flow analysis perlu dilakukan untuk mendapatkan nilai kVA dan faktor daya yang dapat digunakan pada saat mendesain filter. Hasil analisis aliran beban yang sudah dilakukan nilai faktor daya pada ketiga beban yang didapat sangat baik. Namun pada realita pengukuran sangat sulit mendapatkan nilai faktor daya yang ideal karena beberapa faktor. Maka semakin mendekati nilai ukur yang ada dengan angka 1 maka kualitas dayanya akan semakin baik dan banyak daya yang termanfaatkan. Tetapi jika nilai faktor daya semakin menjauhi angka 1 maka kualitas dayanya juga akan kurang baik dan sudah pasti banyak daya yang kurang bisa dimanfaatkan.



Gambar 4 Hasil analisis aliran beban

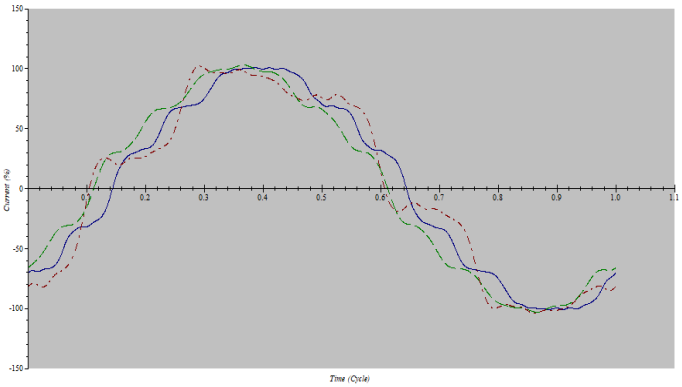
Submitted: 19/07/2024; Revised: 21/08/2024;
Accepted: 16/06/2025; Online first: 17/06/2024
https://doi.org/10.46964/poligrid.v6i2.44

C. *Harmonic Load Flow Analysis*



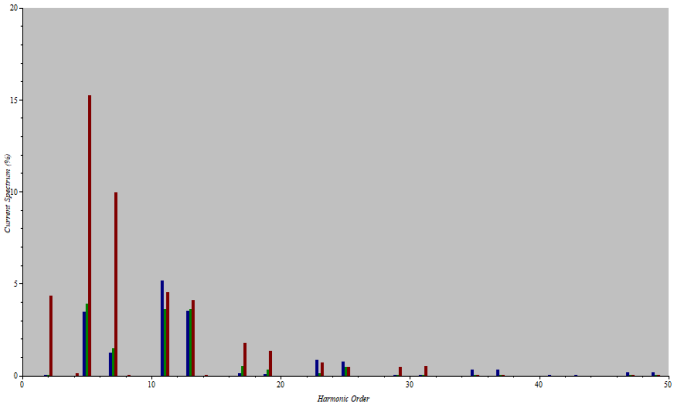
Gambar 5 Hasil aliran beban harmonik.

Pada saat menjalankan aliran beban harmonic terdapat beberapa frekuensi harmonik dengan magnitudo yang lebih besar melebihi batas THD dan IHD. Dari Gambar 6 dapat dilihat bahwa harmonik pada beban khususnya pada beban fase T dengan nilai 19,87 % yang dimana nilai ini telah melewati batas standar THD dan IHD yang telah ditentukan.



Gambar 6 Bentuk gelombang aliran beban harmonic di ketiga beban.

Gambar 7 memperlihatkan bahwa bentuk gelombang yang dihasilkan tidak lagi sinusoidal. Apabila dibiarkan maka akan mempengaruhi sistem dan beban yang terdapat pada sistem tersebut.

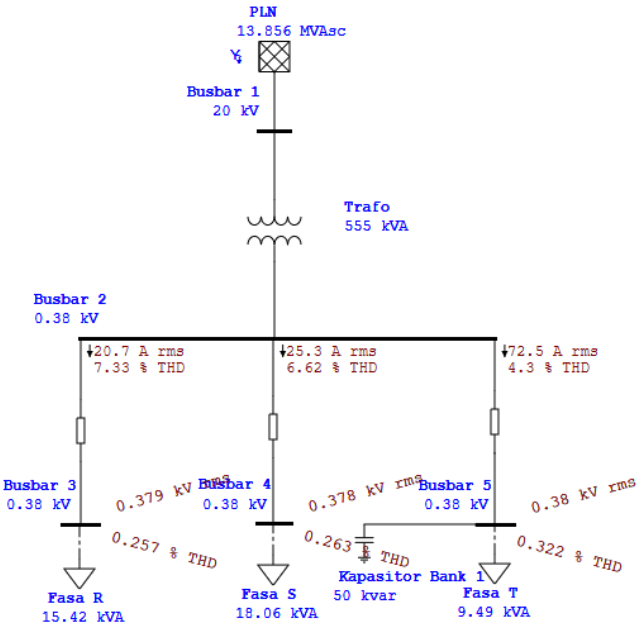


Gambar 7 Spektrum aliran beban harmonik di ketiga beban.

Pada Gambar 8 ditunjukkan bahwa nilai IHD (*Individual Harmonic Distortion)* terbesar terdapat pada orde ke- 5 sebesar 15,524 %. Nilai ini melebihi standar IEEE yang dibatasi sebesar 3 %.

D. *Mereduksi Harmonik Menggunakan Capasitor Bank*

Untuk mereduksi harmonik dari jaringan listrik pada gedung, bank kapasitor 50 kvar digunakan untuk mereduksi harmonik. Dengan menggunakan mekanisme coba-coba dari halaman peringatan, nilai Mvar ini dipilih untuk memberikan daya reaktif yang diperlukan untuk mengontrol tegangan dan membawanya ke atas dari tegangan nominal bus. Pada saat menjalankan analisis aliran beban harmonik setelah menghubungkan bank kapasitor, dapat dilihat bahwa distorsi THD dan IHD telah sangat berkurang dan berada dalam batas harmonik.

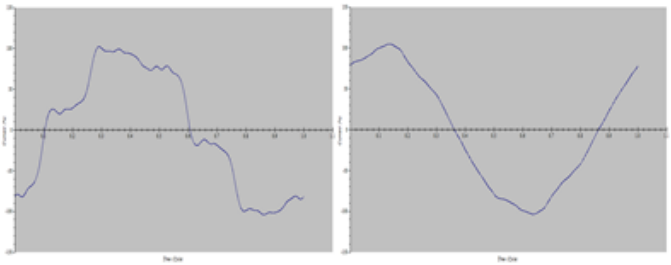


Gambar 8 Hasil mereduksi harmonisa menggunakan *capasitor bank*.

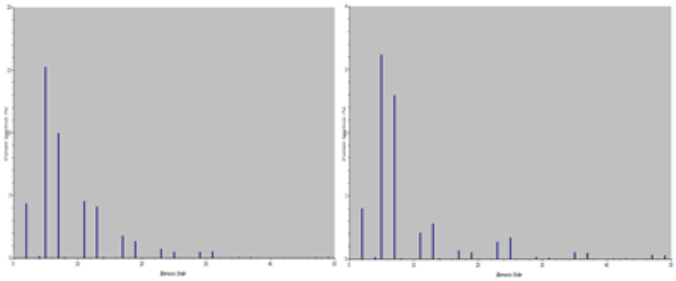
Setelah menghubungkan bank kapasitor, Gambar 9 dapat dilihat dalam satu diagram garis, bentuk gelombang atau spektrum tegangan bahwa *Total Harmonic Distortion* (THD) berkurang secara signifikan yang semula dari 19,87 % menjadi 4,3 %. Kapasitor yang digunakan untuk memperbaiki distorsi

Submitted: 19/07/2024; Revised: 21/08/2024;
Accepted: 16/06/2025; Online first: 17/06/2024
https://doi.org/10.46964/poligrid.v6i2.44

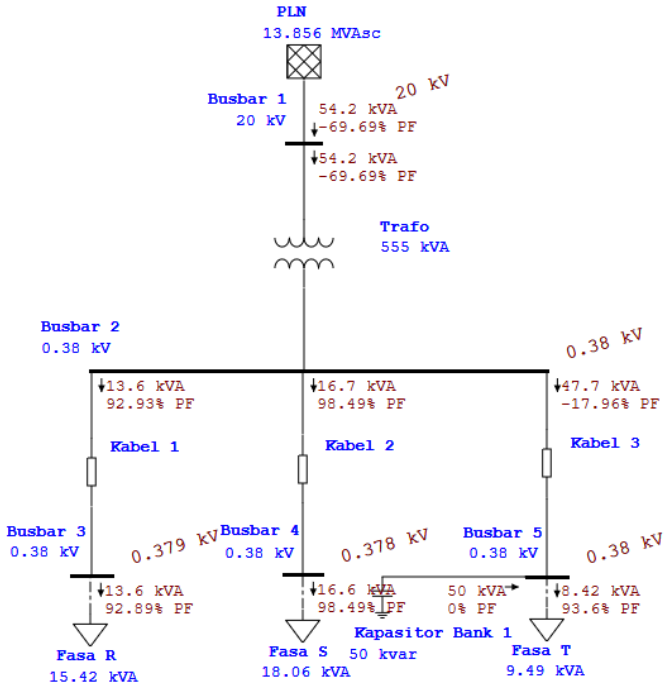
harmonik bisa dibilang sangat berpengaruh pada peredaman harmonik, tetapi nilai arus meningkat menjadi 72,5 A.



Gambar 2 Gambar gelombang sebelum (kiri) dan sesudah (kanan) direduksi menggunakan *capacitor bank*.



Gambar 10 Spektrum harmonisa sebelum (kiri) dan sesudah (kanan) direduksi menggunakan *capacitor bank*.



Gambar 11 Hasil analisis aliran beban setelah pemasangan *capacitor bank*.

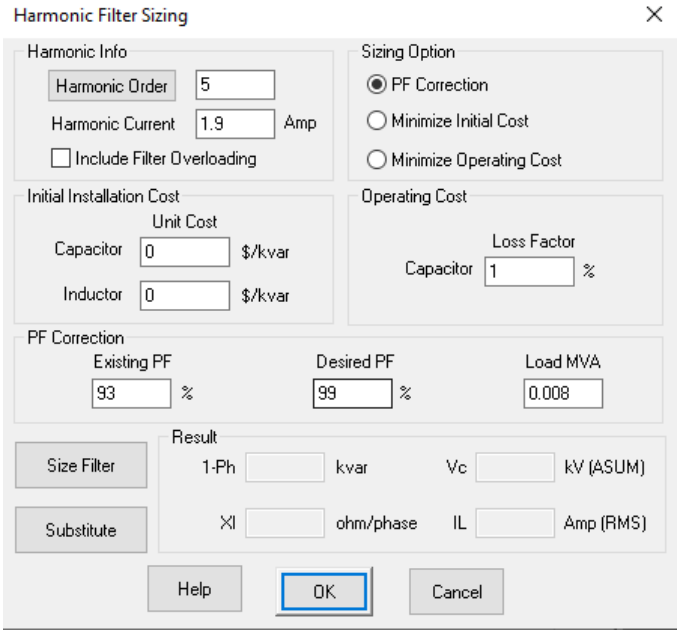
Gambar gelombang setelah pemasangan *capacitor bank* dalam kondisi *leading*, dan juga terdapat perubahan pada nilai faktor daya yang menjadi -17,96 %, hal ini disebabkan oleh sifat kapasitif yang ada pada komponen kapasitor.

TABEL 4
PERBANDINGAN NILAI PARAMETER SEBELUM DAN SESUDAH PEMASANGAN *CAPASITOR BANK*

Parameter	Sebelum	Sesudah
THDi	19,87 %	4,52 %
THDv	0,314 %	0,322 %
Faktor Daya	93,62 %	-17,96%

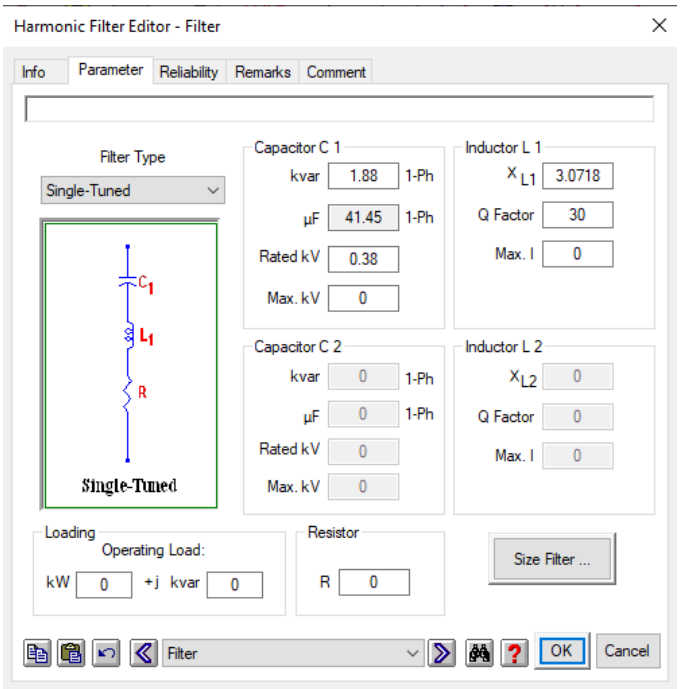
E. Mereduksi Harmonik Menggunakan Filter

Filter single-tuned dipilih untuk menghilangkan distorsi harmonik untuk jaringan listrik ini. Dalam ETAP, filter ini dirancang untuk memberikan daya reaktif yang cukup ke jaringan pembangkit dan meminimalkan kerugian pada frekuensi dasar. Untuk mendesain filter *single tuned* yang disetel untuk orde 5, bergantung pada kebutuhan, pengguna harus memasukkan data untuk menentukan ukuran filter yang optimal. Jika pengguna ingin mendesain filter berdasarkan koreksi faktor daya sistem yang sudah ada, maka pada saat melakukan analisis aliran beban, faktor daya yang ada dan nilai kVA dapat ditemukan. Dari analisis aliran beban ini, dapat diketahui bahwa faktor daya yang ada 93,62 % dan nilai kVA 8,35. Selain nilai faktor daya dan daya semu, nilai pada orde harmonik yang ingin direduksi terdapat pada orde ganjil yaitu orde ke- 5. Untuk orde harmonik ke-5, arus harmonik 1,9 A.



Gambar 12 Halaman *harmonic filter sizing*

Submitted: 19/07/2024; Revised: 21/08/2024;
Accepted: 16/06/2025; Online first: 17/06/2024
https://doi.org/10.46964/poligrid.v6i2.44



Gambar 13 Halaman *harmonic filter editor*

F. *Mendesain Filter*

Filter yang akan digunakan untuk meredam distorsi harmonisa adalah filter *single tune.* Perhitungan akan dilakukan pada fase T yang memiliki distorsi harmonisa arus yaitu sebesar 19,87 %. Terlebih dahulu harus menentukan orde harmonisa yang akan dieliminasi yaitu terletak pada orde ke-5 karena pada orde tersebut terdapat distorsi terbesar. Berikut adalah hasil perhitungan filter:

S = 8,35 kVA

θ_1 = Arc cos 0,93
= 21,565185°

θ_2 = Arc cos 0,99
= 8,1096145°

Q_1 = S x sin (Arc cos θ_1)
= 8350 x sin (21,565185)
= 3069,1219815 Var
= 3,0691219815 kVar

Q_2 = S x sin (Arc cos θ_2)
= 8350 x sin (8,1096145)
= 1177,91246065 Var
= 1,17791246065 kVar

QC = $Q_1 - Q_2$
= 3,0691219815 – 1,17791246065
= 1,89120952 kVar

Nilai kapasitor pada simulasi akan mengacu pada persamaan 3 dan 4 seperti di bawah ini:

$$Xc = \frac{kV^2}{kVar}$$

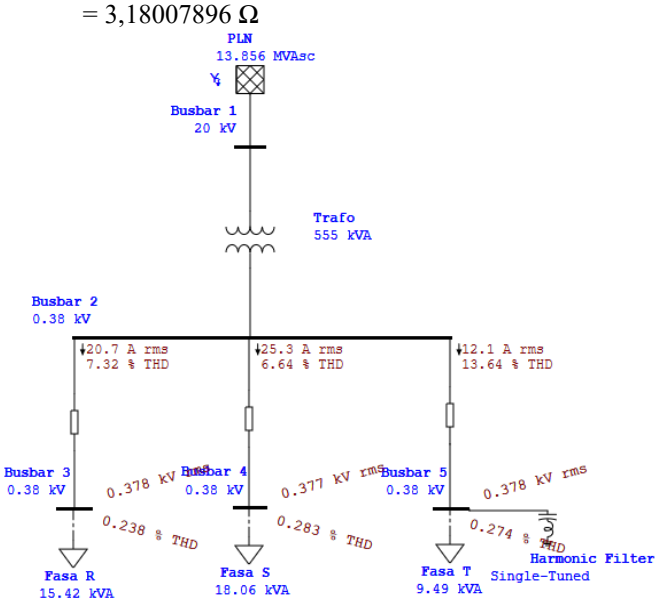
$$= \frac{0.38^2}{1,89120952}$$
= 0,07635325 kΩ
= 76,35325 Ω

$$C = \frac{1}{2\pi f Xc}$$
$$= \frac{1}{(2)(3,14)(50)(76,35325)}$$
= 0,00004171 F
= 41,71 μF
= 41,71 x 10^{-6} F

Nilai induktor dalam simulasi ini orde yang akan difilter adalah orde ke-5, sehingga penyetelan akan diturunkan sedikit dibawahnya yaitu 4,9. Hal ini dilakukan sebagai toleransi komponen filter untuk mencegah adanya resonansi yang bisa terjadi dalam sistem pada frekuensi yang mengganggu, serta guna mendapatkn performa filter yang maksimal, karena kekurangan dari penggunaan filter ini dapat menyebabkan resonansi seri dan paralel dengan impedansi jaringan yang malah mengakibatkan penguatan harmonisa pada frekuensi tertentu. Nilai induktor akan mengacu pada persamaan 5 dan 6 seperti berikut:

$$L = \frac{1}{(C)(2\pi f n)^2}$$
$$= \frac{1}{(41,47\ x\ 10^{-6})(2\ x\ 3,14\ x\ 50\ x\ 4,9)^2}$$
= 0,01012764 mH

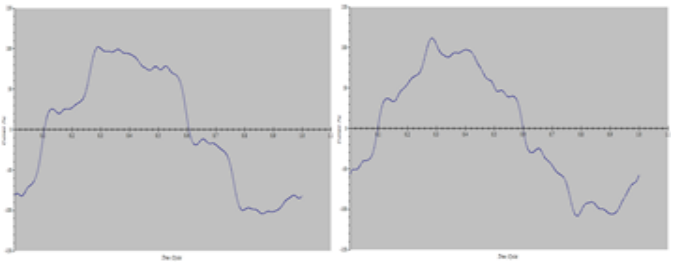
X_L = $2\pi f L$
= (2)(3,14)(50)(0,01012764)
= 3,18007896 Ω



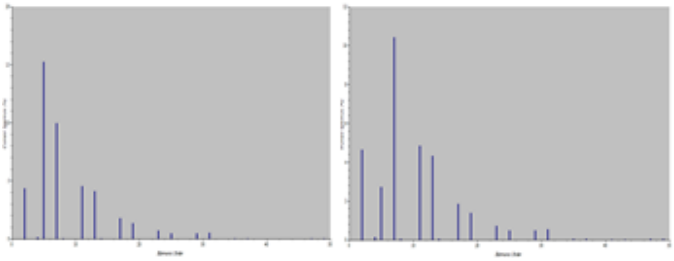
Gambar 14 Nilai THD setelah dipasang filter

Dengan membandingkan hasil analisis aliran beban harmonik tanpa filter pada Gambar 15, terlihat bahwa persentase THD arus berkurang yang semula 19,87 % menjadi 13,64 %, dimana filter ini sangat berpengaruh untuk mereduksi nilai THD. Bentuk gelombang dan spektrum tegangan untuk beban fase T diberikan di bawah ini.

Submitted: 19/07/2024; Revised: 21/08/2024;
Accepted: 16/06/2025; Online first: 17/06/2024
https://doi.org/10.46964/poligrid.v6i2.44

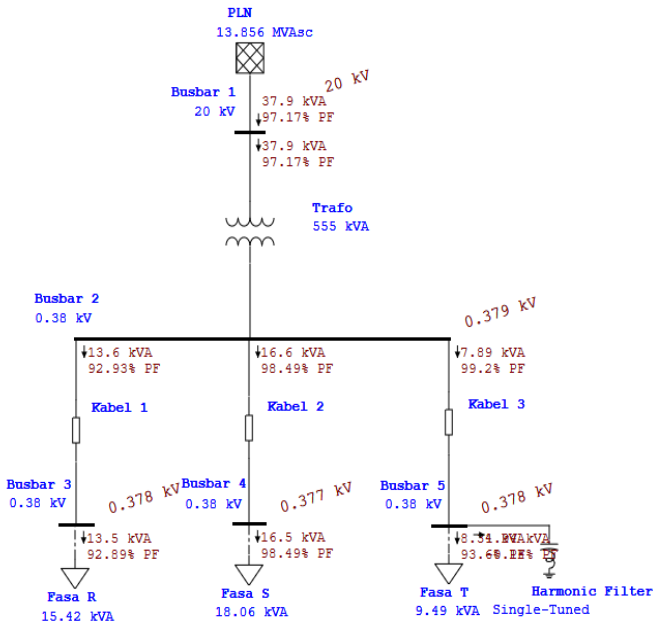


Gambar 15 Bentuk gelombang pada beban T sebelum (kiri) dan sesudah (kanan) dipasang filter.



Gambar 16 Spektrum pada fasa T sebelum (kiri) dan sesudah (kanan) dipasang filter.

Dapat dilihat dari bentuk gelombang dan spektrum tegangan Gambar 16 dan Gambar 17, bahwa distorsi harmonik berkurang dan bentuk gelombang menjadi hampir sinusoidal. Hal ini dapat dibuat lebih halus dengan merancang filter *single tuned* untuk orde harmonik lain yang memiliki IHD dan THD yang melebihi batas standar yang telah ditentukan.



Gambar 17 Hasil analisis *load flow* setelah pemasangan filter

Pada hasil analisis *load flow* Gambar 18 ternyata fungsi dari filter bisa memperbaiki nilai faktor daya, perbedaan sebelum dipasang filter nilai faktor daya sebesar 93,62 % dan setelah pemasangan filter nilai faktor daya menjadi lebih baik menjadi 99,2 %. Hal ini disebabkan oleh sifat beban kapasitif yang ada pada komponen kapasitor yang dapat mengurangi daya reaktif pada beban induktif. Maka penggunaan kapasitor sebagai koompensator daya reaktif dapat memperbaiki faktor daya yang buruk pada beban. Sehingga penggunaan daya listrik terhadap kebutuhan beban lebih sesuai.

TABEL 5
PERBANDINGAN PARAMETER SEBLUM DAN SESUDAH PEMASANGAN FILTER

Parameter	Sebelum	Sesudah
THDi	19,87 %	13,58 %
THDv	0,314 %	0,274 %
Faktor Daya	93,62 %	99,2 %

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan simulasi dari penelitian, dapat disimpulkan bahwa:

1. Kondisi awal sistem menunjukkan nilai *Total Harmonic Distortion* arus (THDi) yang melebihi batas toleransi IEEE 519-2014 (maksimal 5%), yaitu mencapai 19,87%, terutama pada fase T. Hal ini menandakan perlunya strategi mitigasi harmonisa yang tepat.
2. Mitigasi menggunakan bank kapasitor 50 kVar menunjukkan efektivitas tinggi dalam menurunkan THDi menjadi 4,3%, namun memunculkan dampak negatif berupa penurunan ekstrem faktor daya menjadi -17,96%, yang berpotensi membahayakan stabilitas sistem dalam jangka panjang.
3. Mitigasi menggunakan filter harmonik *single-tuned* orde ke-5 menurunkan THDi secara moderat menjadi 13,64%, tetapi menunjukkan performa lebih stabil dengan peningkatan faktor daya dari 93,62% menjadi 99,2%, dan penurunan THDv dari 0,314% menjadi 0,274%. Filter juga mengurangi arus pemakaian dari 13 A menjadi 12,1 A, yang menunjukkan potensi efisiensi energi..
4. Efektivitas filter harmonik terfokus pada fasa T, tempat pemasangannya, sehingga penurunan harmonisa paling dominan terjadi di fasa tersebut, sementara fasa lain tidak mengalami perubahan signifikan.
5. Berdasarkan evaluasi teknis dan kestabilan sistem, filter harmonik lebih direkomendasikan untuk digunakan di lingkungan pendidikan dengan beban elektronik sensitif, karena menawarkan keseimbangan antara reduksi harmonik, perbaikan faktor daya, dan kestabilan tegangan. Bank kapasitor tetap dapat digunakan, namun disarankan disertai sistem kontrol otomatis guna menghindari overkompensasi daya reaktif.

REFERENSI

[1] S. Younis dan O. M. Alyousif, "Electrical power system harmonics elimination using ETAP," *Al-Rafidain Eng. J.*, vol. 27, no. 1, pp. 99–109, 2022, doi: 10.33899/rengj.2022.132721.1155.

[2] K. Karim, R. Rusda, dan M. Masing, "Analisis kualitas daya pada instalasi listrik Politeknik Negeri Samarinda," *Prosiding Seminar Nasional Lembaga Penelitian Universitas Negeri Makassar*, Edisi 5, pp. 373–375, 2018.

[3] A. Aisha, "Power system harmonic analysis using ETAP," EEWeb.com, https://www.eeweb.com/power-system-harmonic-analysis-using-etap/

Submitted: 19/07/2024; Revised: 21/08/2024;
Accepted: 16/06/2025; Online first: 17/06/2024
https://doi.org/10.46964/poligrid.v6i2.44

[4] M. Al, A. Atmam, dan E. Zondra, "Analisis Harmonisa menggunakan filter pasif pada VSD dengan beban motor electrical submersible pump di PT. CPI," *Jurnal Teknik*, vol. 15, no. 1, pp. 9–17, 2021.

[5] Z. Aini dan A. Mar'i, *Desain Singel Tuned Filter Terhadap Harmonisa Pada Transformator Distribusi*, Pekan Baru: Al-Mujtahadah Press, 2021.

[6] Z. Mulia Sari, A. Hermawan, dan S. Wibowo, "Analisis Power quality sistem kelistrikan pada Apartemen Malang City Point," *Elposys J. Sist. Kelistrikan*, vol. 7, no. 3, pp. 39–44, 2020, doi: 10.33795/elposys.v7i3.18.

[7] J. Aswal dan Y. Pal, "Passive and active filter for harmonic mitigation in a 3-phase, 3-wire system," *Proc. 2nd Int. Conf. Inven. Syst. Control. ICISC 2018*, no. Icisc, pp. 668–672, 2018, doi: 10.1109/ICISC.2018.8398882.

Submitted: 19/07/2024; Revised: 21/08/2024;
Accepted: 16/06/2025; Online first: 17/06/2024
https://doi.org/10.46964/poligrid.v6i2.44

Rancang Bangun Simulator *Overcurrent Relay Type Standard Inverse* dan *Constant Time* Berbasis Arduino

Priyo Handoko Chusnama Ali[1], Leonardo Ferdy Widayanto[2], Marcelino Pakorong[3], Fazri Catur Bagaskara[4], Rizky Aprylianto Susilo[5], Prihadi Murdiyat[6]
[1,2,3,4,5,6]Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Samarinda
Priyoh2003@gmail.com

***Abstrak- Overcurrent relay* sebagai salah satu sistem proteksi dalam jaringan distribusi listrik telah ditingkatkan performanya melalui implementasi mikrokontroller. Untuk mensimulasikan kerja *overcurrent relay,* modul Arduino yang berbasis Atmega328P dapat digunakan untuk mempelajari algoritma kerja *overcurrent relay.* Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun simulator *overcurrent relay* berbasis Arduino dengan dua karakteristik waktu kerja, yaitu *standard inverse* dan *constant time*. Simulator ini dilengkapi dengan sensor arus berbasis CT dan modul PZEM-004T untuk membaca arus, serta menggunakan LCD I2C 20x4 dan *Keypad* 4x4 sebagai antarmuka pengguna. Setelah simulator dirancang, langkah berikutnya adalah pengujian untuk mengukur akurasi pembacaan sensor dan kinerja *relay* pada berbagai variasi arus dan pengaturan waktu. Pengujian dilakukan pada tegangan 220 Volt *Alternating Current* (AC) dan pada berbagai variasi arus yaitu, arus 0,5 A, 1 A dan 1,5 A. Tujuan pengujian ini adalah untuk memastikan *relay* beroperasi sesuai dengan karakteristik yang ditentukan pada berbagai variasi arus. Hasil pengujian tersebut menunjukkan bahwa sistem mampu bekerja sesuai dengan karakteristik *standard inverse* dan *constant time* dengan rata-rata error pengukuran waktu kerja *relay* di bawah 2% untuk *standard inverse* dan 0% untuk *constant time*. Hal ini membuktikan bahwa sistem proteksi arus lebih yang dirancang berbasis Arduino ini akurat dan responsif.**

Kata kunci: Overcurrent Relay, Arduino, Standard Inverse, Constant Time

I. PENDAHULUAN

Proteksi sistem tenaga listrik merupakan aspek penting untuk menjamin keamanan dan keandalan operasional jaringan distribusi. Salah satu bentuk gangguan yang umum terjadi adalah arus lebih, yang dapat menyebabkan kerusakan peralatan listrik serta menimbulkan risiko kebakaran jika tidak segera ditangani. Untuk itu, digunakan *overcurrent relay* yang berfungsi memutus aliran listrik secara otomatis saat arus melebihi batas aman.

Overcurrent relay memiliki beberapa karakteristik kerja, dua di antaranya yang paling umum digunakan adalah *standard inverse* dan *constant time*. Pada karakteristik *standard inverse*, semakin besar arus gangguan maka semakin cepat waktu pemutusannya. Sebaliknya, pada *constant time*, waktu pemutusan bersifat tetap selama arus melebihi batas yang telah ditentukan. Kombinasi kedua karakteristik ini memungkinkan sistem proteksi yang lebih fleksibel sesuai dengan kebutuhan instalasi listrik.

Seiring berkembangnya teknologi, penggunaan mikrokontroler dalam sistem proteksi telah menjadi solusi yang banyak digunakan. Mikrokontroler seperti Arduino menawarkan fleksibilitas pemrograman, kemudahan integrasi dengan berbagai sensor, serta kemampuan untuk merespons kondisi sistem secara *real-time*. Hal ini memberikan keuntungan dalam merancang sistem proteksi yang efisien, adaptif, dan mudah dikembangkan.

Berbagai penelitian sebelumnya telah mencoba mengimplementasikan sistem proteksi arus lebih berbasis mikrokontroler. Salah satu penelitian oleh Becky Arya Wijaya, dkk., mengembangkan sistem proteksi arus lebih karakteristik *standard inverse* menggunakan Arduino serta dilengkapi pengaturan *Time Multiplier Setting* (TMS) [1]. Penelitian lain oleh Arbain, Rizky Aprylianto Susilo, dkk., merancang *relay* dengan karakteristik *very inverse* menggunakan Arduino Uno dan sensor PZEM-004T, serta memverifikasinya melalui simulasi ETAP dan pengujian eksperimental [2]. Adapun Rusdiansyah, dkk., mengembangkan sistem proteksi arus lebih satu fasa dengan karakteristik *constant time* yang difokuskan pada aplikasi rumah tangga [3].

Namun demikian, seluruh penelitian tersebut hanya berfokus pada satu karakteristik waktu kerja saja. Belum ada penelitian yang secara eksplisit menggabungkan dua mode karakteristik, yaitu *standard inverse* dan *constant time*, ke dalam satu sistem terpadu berbasis mikrokontroler dengan antarmuka interaktif. Padahal, integrasi kedua karakteristik ini akan memberikan fleksibilitas yang lebih tinggi bagi pengguna untuk menyesuaikan pengaturan proteksi sesuai kebutuhan sistem.

Dengan latar belakang tersebut, penelitian ini memiliki nilai kebaruan karena menggabungkan dua *mode* kerja proteksi arus lebih dalam satu perangkat simulator berbasis Arduino. Simulator ini dirancang tidak hanya untuk aplikasi proteksi praktis, tetapi juga sebagai media pembelajaran dan pengujian teknis. Penelitian ini bertujuan merancang dan membangun simulator *overcurrent relay* berbasis Arduino yang dapat beroperasi dalam dua *mode* proteksi, yaitu *standard inverse* dan *constant time*. Sistem ini menggunakan sensor arus CT dan modul PZEM-004T untuk pembacaan arus, serta dilengkapi LCD I2C dan *keypad* sebagai antarmuka pengguna. Komponen pendukung lainnya yaitu LED sebagai indikator dan *Solid State Relay* (SSR) untuk pemutusan arus. Simulator ini menguji algoritma kerja *overcurrent relay* sesuai variasi arus dan waktu *setting* tertentu.

Submitted: 10/06/2025; Revised: 16/06/2025;
Accepted: 29/06/2025; Online first: 29/06/2025
https://doi.org/10.46964/poligrid.v6i1.66

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Sistem Proteksi Tenaga Listrik

Proteksi sistem tenaga listrik merupakan mekanisme otomatis yang dirancang untuk mendeteksi gangguan atau kondisi abnormal pada jaringan listrik, lalu dengan cepat mengisolasi bagian yang terkena dampak. Sistem ini bertujuan menjaga kontinuitas penyaluran listrik secara andal dan stabil, serta melindungi peralatan listrik dari potensi kerusakan akibat gangguan. Dengan demikian, risiko kerugian dapat diminimalkan, waktu pemadaman berkurang, keselamatan operasional meningkat, dan kualitas serta kontinuitas daya listrik kepada pengguna akhir tetap terjaga [4].

B. Persyaratan Sistem Proteksi Tenaga Listrik

Dalam sistem tenaga listrik, proteksi berfungsi untuk melindungi atau mengisolasi bagian yang mengalami gangguan. Tujuannya adalah mencegah, menghentikan, dan membatasi dampak gangguan dengan hanya memutus bagian yang terganggu tanpa mengganggu sistem lain. Deteksi dilakukan dengan mengukur besaran listrik untuk membedakan kondisi normal dan abnormal [5].

Dalam penerapannya, terdapat beberapa kriteria penting yang harus diperhatikan saat memasang sistem proteksi pada rangkaian sistem tenaga listrik, yaitu:

1) Kepekaan (sensitifitas)

Sensitivitas adalah kemampuan *relay* proteksi untuk merespons secara tepat terhadap gangguan dalam area perlindungannya. Tingkat kepekaan ditentukan oleh seberapa kecil besaran penggerak yang dapat memicu operasi proteksi. Semakin kecil nilai tersebut, semakin tinggi sensitivitas, dan ini berkaitan erat dengan arus gangguan minimum di wilayah yang dilindungi [5].

2) Kecepatan

Sistem proteksi harus memiliki kecepatan kerja yang sesuai untuk menjamin kualitas pelayanan, keselamatan, perlindungan peralatan, dan stabilitas operasi. Namun, karena sistem tenaga memiliki batas stabilitas dan gangguan sering bersifat sementara, *relay* meskipun dirancang cepat, kadang perlu diberi penundaan waktu (*time delay*) agar tidak merespons secara prematur [5].

3) Selektifitas dan diskriminatif

Selektivitas berarti sistem proteksi mampu mengisolasi hanya bagian yang terganggu tanpa memengaruhi bagian lain yang masih normal. Diskriminasi adalah kemampuan sistem membedakan antara kondisi normal dan tidak normal, serta menentukan apakah gangguan terjadi di dalam atau luar area perlindungan. Dengan keduanya, tindakan proteksi dapat dilakukan secara tepat dan efisien [5].

4) Keandalan (*reliability*)

Sistem proteksi dikatakan andal apabila mampu beroperasi sesuai dengan yang diharapkan dalam setiap kondisi yang memerlukannya. Sebaliknya, sistem tersebut dianggap tidak andal apabila gagal berfungsi ketika diperlukan atau justru aktif pada saat tidak dibutuhkan [5].

5) Ekonomis

Perencanaan teknis yang baik tentunya harus mempertimbangkan aspek ekonomi. Oleh karena itu, pemilihan *relay* proteksi sebaiknya dilakukan dengan mempertimbangkan efisiensi biaya, namun tetap menjaga fungsi dan tingkat keandalannya [5].

C. Overcurrent Relay

Overcurrent relay (OCR) adalah *relay* proteksi yang bekerja berdasarkan besarnya arus yang melewati sistem. OCR memiliki parameter penting seperti nilai *pickup current* dan waktu operasi. Jika arus lebih dari nilai *pickup*, maka *relay* akan mengaktifkan sinyal *trip* setelah selang waktu tertentu. Terdapat beberapa jenis OCR berdasarkan karakteristik waktunya, seperti *inverse time* dan *constant time relay*. Pada tipe *inverse time*, semakin besar arus gangguan maka semakin cepat *relay* bekerja, sedangkan *type constant time* memiliki waktu kerja yang tetap tanpa bergantung pada besar arus [6].

D. Karakteristik Inverse Time

Karakteristik *inverse time* atau waktu terbalik adalah karakteristik operasi di mana waktu kerja *relay* berbanding terbalik dengan besarnya arus gangguan yang terdeteksi. Dapat diartikan bahwa semakin besar arus gangguan yang terjadi, maka semakin cepat waktu *trip* yang dihasilkan oleh sistem proteksi untuk memutus aliran arus dan mencegah kerusakan lebih lanjut pada peralatan atau jaringan listrik [1]. Persamaan karakteristik *inverse time* dapat dilihat pada Persamaan (1).

$$t = \beta \frac{TMS}{\left(\frac{I}{Is}\right)^{\alpha} - 1} \tag{1}$$

Keterangan:
T = Waktu *Trip* (detik)
TMS = *Time Multiplier Setting*
I = Arus gangguan
Is = Arus *setting*

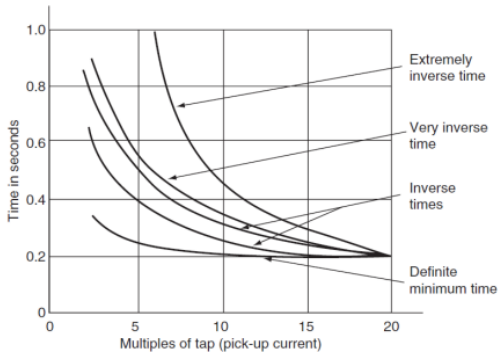
Karakteristik *inverse time* sesuai dengan IEC 60255 memuat nilai parameter α (alpha) dan β (beta) sebagai faktor penentu dalam persamaan waktu kerja *relay*. Nilai-nilai tersebut bisa dilihat pada Tabel 1.

TABEL 1 [1]
STANDARD KARAKTERISTIK *INVERSE* SESUAI IEC 60255

Deskripsi Kurva	α	β
Standard Inverse	0,02	0,14
Very Inverse	1	13,5
Extremely Inverse	2	80
Long Time Inverse	1	120

Tabel 1 menunjukkan *standard karakteristik inverse* sesuai IEC 60255. Terdapat 4 kurva yaitu *standard, very*, *extreme*, dan *long time inverse*. Setiap kurva memiliki nilai parameter α (alpha) dan β (beta) yang berbeda, yang menentukan kecepatan respon *relay* terhadap berbagai tingkat arus gangguan yang terukur. kurva karakteristik *inverse time* bisa dilihat pada Gambar 1.

Submitted: 10/06/2025; Revised: 16/06/2025;
Accepted: 29/06/2025; Online first: 29/06/2025
https://doi.org/10.46964/poligrid.v6i1.66

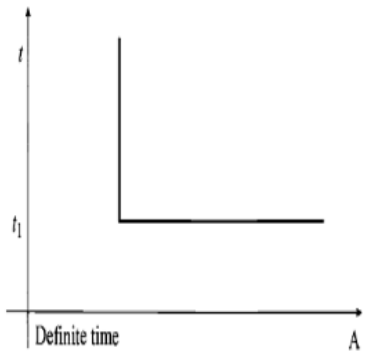


Gambar 1. Kurva karakteristik *inverse time* [7]

Gambar 1 menunjukkan kurva karakteristik *inverse time*. Kurva tersebut memiliki 2 Sumbu, yaitu sumbu x dan sumbu y. sumbu x menunjukkan arus dan sumbu y menunjukkan waktu *trip* dalam satuan waktu detik. Kurva karakteristik *inverse time* menunjukkan bahwa semakin besar arus gangguan yang terukur maka semakin cepat waktu *trip* yang terjadi.

E. Karakteristik Constant Time (Definitive Time)

Karakteristik *constant time* atau *definite time* adalah operasi *relay* proteksi dengan waktu *trip* yang tetap sesuai dengan *setting*, tanpa dipengaruhi besarnya arus lebih. Setelah arus melebihi ambang batas (*pickup*), *relay* menghitung waktu tunda sesuai pengaturan dan memutus rangkaian setelah waktu tersebut tercapai [8]. Kurva karakteristik *constant time* atau *definitive time* bisa dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Kurva karakteristik *constant time* atau *definitive time* [8]

Gambar 2 menunjukkan kurva karakteristik *constant time* atau *definitive time*. Kurva tersebut memiliki 2 sumbu, yaitu sumbu x dan sumbu y. Sumbu x menunjukkan arus dalam satuan Ampere dan sumbu y menunjukkan waktu *trip* yang terjadi.

F. Mikrokontroler

Mikrokontroler merupakan sebuah sistem komputer yang seluruh atau sebagian komponennya terintegrasi dalam satu chip IC, sehingga sering dikenal sebagai komputer mikro satu chip (*single chip microcomputer*). Mikrokontroler juga berfungsi sebagai sistem komputer yang dirancang untuk menjalankan satu atau beberapa tugas khusus, terutama dalam menangani fungsi *input*, pemrosesan, dan *output* [9].

G. Arduino Uno

Arduino Uno adalah papan mikrokontroler *open-source* berbasis ATmega328P yang diprogram menggunakan bahasa Arduino melalui komputer. Papan ini dapat membaca *input*, memproses data, dan menghasilkan *output* untuk mengendalikan perangkat elektronik. Arduino Uno memiliki 14 pin digital (6 mendukung PWM), 6 input analog, serta mendukung komunikasi serial, I2C, dan SPI untuk koneksi modul eksternal [10]. Arduino Uno bisa dilihat pada Gambar 3.

Gambar 3. Arduino Uno [10]

H. PZEM-004Tv30

PZEM-004Tv30 adalah modul sensor untuk mengukur arus, tegangan, daya, dan energi pada sistem AC satu fasa. Modul ini menggunakan komunikasi serial TTL dan dapat dihubungkan dengan mikrokontroler seperti Arduino secara langsung. Umumnya, modul ini dilengkapi dengan CT bawaan berdiameter 3 mm yang mampu mendeteksi arus hingga 100A secara *real-time* dan akurat [11]. PZEM-004Tv30 bisa dilihat pada Gambar 4.

Gambar 4. PZEM-004Tv30 [11]

I. Solid State Relay (SSR)

Solid State Relay (SSR) adalah *relay* elektronik yang berbeda dari *relay* elektromagnetik karena tidak memiliki bagian bergerak dan tidak menghasilkan suara saat beroperasi. Menggunakan komponen elektronik, SSR dapat dikendalikan dengan tegangan rendah dari mikrokontroler namun mampu mengendalikan beban dengan arus *output* yang besar. [12]. *Solid State Relay* dapat dilihat pada Gambar 5.

Submitted: 10/06/2025; Revised: 16/06/2025;
Accepted: 29/06/2025; Online first: 29/06/2025
https://doi.org/10.46964/poligrid.v6i1.66

Gambar 5. *Solid State Relay* (SSR) [12]

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Waktu dan Lokasi

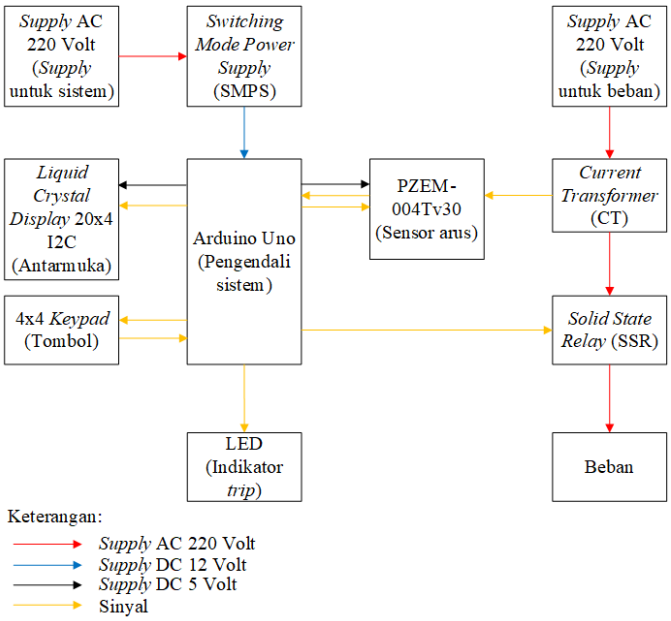
Penelitian ini dilaksanakan dalam kurun waktu 16 minggu. Kegiatan penelitian dimulai pada bulan Februari 2025 dan berakhir pada bulan Mei 2025. Rentang waktu tersebut digunakan untuk seluruh tahapan, mulai dari perencanaan hingga evaluasi hasil penelitian. Adapun tempat pelaksanaan penelitian adalah di Laboratorium Proteksi dan Mikroprosesor, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Samarinda.

B. Jenis dan Sumber Data

Penelitian ini menggunakan dua jenis data, yaitu data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh melalui pengamatan dan pengujian langsung terhadap sistem *overcurrent relay* yang dirancang, mencakup pembacaan arus oleh sensor PZEM-004T, waktu kerja *relay*, serta respons sistem terhadap variasi arus dan *mode* kerja, yang dikumpulkan melalui eksperimen di Laboratorium Proteksi dan Mikroprosesor, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Samarinda. Data sekunder berasal dari berbagai jurnal ilmiah yang membahas prinsip kerja *overcurrent relay*, karakteristik *inverse time* dan *constant time*, serta penerapan mikrokontroler Arduino, dan digunakan untuk memperkuat landasan teori serta analisis hasil pengujian.

C. Gambaran Umum Sistem

Gambaran umum sistem dari rancang bangun simulator *overcurrent relay type standard inverse* dan *constant time* berbasis Arduino adalah untuk melidungi beban listrik dari arus berlebih menggunakan dua jenis karakteristik, yaitu *standard inverse* dan *constant time*, dengan Arduino sebagai pengendali sistem. Diagram blok sistem rancang bangun *overcurrent relay type standard inverse* dan *constant time* berbasis Arduino dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Diagram blok sistem rancang bangun simulator *overcurrent relay type standard inverse* dan *constant time* berbasis Arduino

Gambar 6 menunjukkan diagram blok sistem simulator *overcurrent relay type standard inverse* dan *constant time* berbasis Arduino. Sensor arus dan tegangan PZEM-004T menerima sinyal dari *Current Transformer* (CT) pada jalur beban, kemudian mengirim data ke Arduino yang memproses dan menampilkan informasi pada LCD 20x4 I2C, serta mengatur *mode* kerja melalui *keypad* 4x4; LED indikator *trip* menyala saat mendeteksi arus lebih dan memutus beban lewat *Solid State Relay* (SSR).

Sistem mendapat daya dari *Switching Mode Power Supply* (SMPS) yang mengubah tegangan AC 220 Volt menjadi DC 12 Volt stabil untuk komponen elektronik, dengan kode warna pada diagram untuk memudahkan identifikasi jalur listrik dan sinyal: merah untuk AC 220V, biru untuk DC 12V, dan kuning untuk sinyal/data.

Sistem ini dirancang untuk mendeteksi arus lebih dengan karakteristik waktu tertentu sesuai standar proteksi, menampilkan informasi *real-time* untuk memantau kondisi operasional, dan secara otomatis memutus beban saat arus berlebih guna mencegah kerusakan serta meningkatkan keselamatan dan keandalan instalasi listrik.

D. Peralatan dan Material

Peralatan dan material yang digunakan pada rancang bangun *overcurrent relay type standard inverse dan constant time* berbasis arduino dapat dilihat pada Tabel 2.

TABEL 2
PERALATAN DAN MATERIAL

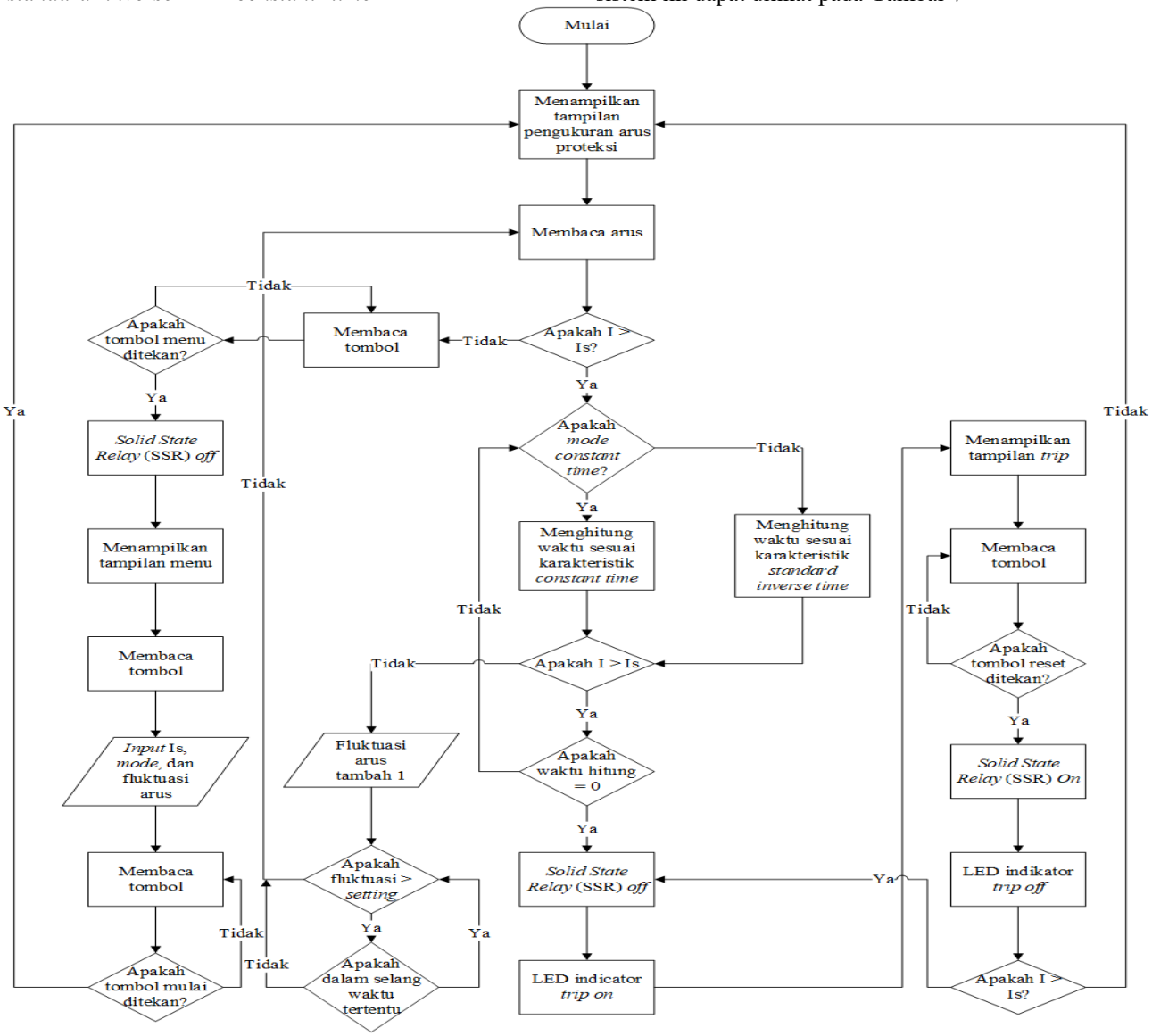
No.	Peralatan	Material
1	*Power Supply* AC	Arduino Uno
2	Ampere meter	PZEM-004Tv30
3	*Variable* resistor	*Solid State Relay* (SSR)
4	Laptop	*Liquid Crystal Display* 20x4 I2C
5	Tang pengupas kabel	*Ligth Emitting Diode* (LED)
6	Solder	Resistor 220 Ω
7	Obeng Plus	*Keypad* 4x4
8	Tang kombinasi	Switching *Mode Power Supply* (SMPS)
9	Bor	*Female* banana socket

Submitted: 10/06/2025; Revised: 16/06/2025;
Accepted: 29/06/2025; Online first: 29/06/2025
https://doi.org/10.46964/poligrid.v6i1.66

No.	Peralatan	Material
10	Gerinda	Kabel NYAF 1,5 mm
11		Kabel *jumper male to female*
12		Kabel *jumper male to male*
13		Kabel *jumper female to female*
14		Timah
15		*Double layer Printed Circuit Board* (PCB)
16		*Spacer*
17		Baut *spacer*
18		Mur *spacer*
19		Baut 7 cm
20		Mur baut 7 cm
21		Akrilik 5 mm

E. Flowchart

Flowchart rancang bangun simulator *overcurrent relay type standard inverse* dan *constant time* berbasis Arduino berfungsi untuk mempermudah pemahaman terhadap alur kerja sistem proteksi yang dirancang. *Flowchart* ini merepresentasikan secara visual tahapan logika sistem, mulai dari pembacaan arus oleh sensor, pemilihan *mode* kerja oleh pengguna melalui *keypad*, hingga proses *trip* saat terjadi arus lebih dan proses reset setelah gangguan diatasi. Penyusunan *flowchart* bertujuan untuk memastikan setiap proses dan pengambilan keputusan dalam sistem teridentifikasi secara jelas, sistematis, dan mudah dipahami, sehingga dapat mempermudah proses perancangan, analisis, serta pengembangan sistem lebih lanjut. *Flowchart* lengkap dari sistem ini dapat dilihat pada Gambar 7



Gambar 7. *Flowchart* rancang bangun simulator *overcurrent relay type standard inverse* dan *constant time* berbasis Arduino

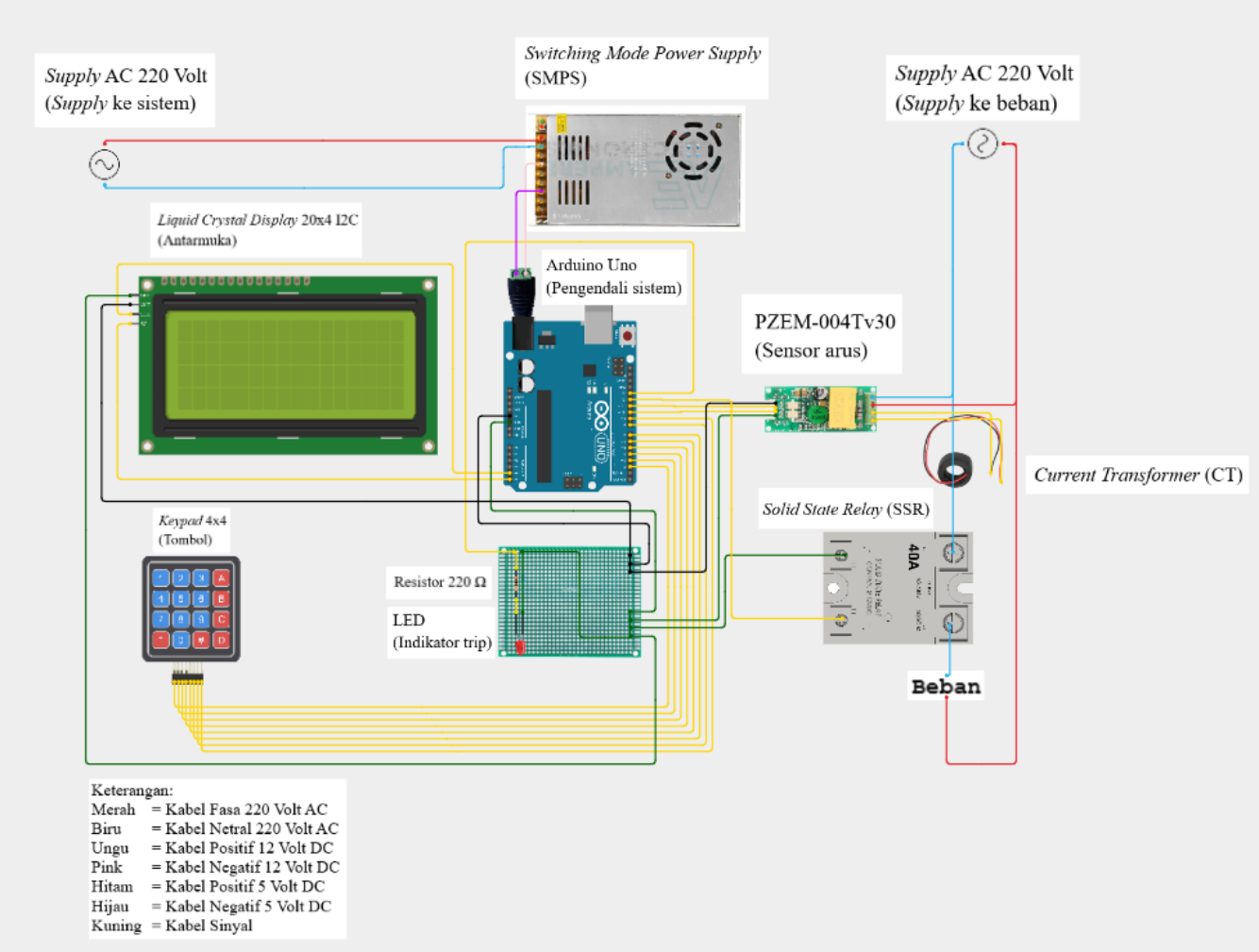
Gambar 7 menunjukkan *flowchart* dari rancang bangun simulator *overcurrent relay* berbasis Arduino. *Flowchart* ini berfungsi sebagai representasi visual dari alur kerja sistem, sehingga mempermudah pemahaman terhadap proses logika yang berlangsung di dalamnya. Tahapan dalam *flowchart* mencakup inisialisasi sistem, pembacaan arus oleh sensor, pemilihan *mode* kerja oleh pengguna (*inverse time* atau *constant time*), perhitungan waktu tunda berdasarkan *mode* yang dipilih, hingga proses *trip* saat terdeteksi arus lebih dan proses reset oleh pengguna. Setiap proses digambarkan secara runtut untuk memastikan bahwa alur kerja sistem dapat dipahami secara sistematis dan menyeluruh. *Flowchart* juga berguna dalam dokumentasi teknis sebagai acuan bagi pengembang atau teknisi lain yang terlibat dalam proyek.

Submitted: 10/06/2025; Revised: 16/06/2025;
Accepted: 29/06/2025; Online first: 29/06/2025
https://doi.org/10.46964/poligrid.v6i1.66

Dengan perancangan *flowchart* yang baik, efektivitas dan keandalan sistem proteksi lebih terjamin. Selain itu, *flowchart* membantu mempercepat proses *debugging* saat terjadi kesalahan logika dalam sistem.

F. Wiring Diagram

Wiring diagram rancang bangun simulator *overcurrent relay type standard inverse* dan *constant time* berbasis Arduino berfungsi mempermudah pemahaman hubungan antar komponen dalam sistem proteksi yang dirancang. Diagram ini merepresentasikan sambungan kelistrikan antara modul utama seperti Arduino Uno, PZEM-004T, *Solid State Relay* (SSR), LCD I2C 20x4, *keypad*, LED indikator, dan trafo arus (CT) secara menyeluruh dan sistematis. Penyusunan *wiring* diagram bertujuan memastikan koneksi antar komponen dilakukan dengan tepat dan aman, sehingga meminimalkan kesalahan perakitan serta memudahkan proses perawatan, modifikasi, dan pengembangan sistem ke depan. Diagram ini juga membantu mempercepat proses instalasi, menghindari kesalahan teknis, dan memastikan setiap sambungan sesuai dengan rancangan yang telah ditetapkan. *Wiring* diagram rancang bangun simulator *overcurrent relay type standard inverse* dan *constant time* dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. *Wiring* diagram rancang bangun simulator *overcurrent relay type standard inverse* dan *constant time* berbasis Arduino

Gambar 8 menunjukkan *wiring* diagram sistem proteksi arus lebih berbasis Arduino Uno yang terdiri dari PZEM-004T v3.0, SSR, LCD I2C 20x4, *keypad* 4x4, LED indikator, dan CT. Arduino Uno berperan sebagai pengendali utama yang membaca arus dari PZEM-004T, menerima input dari *keypad*, menampilkan data pada LCD, serta mengontrol SSR untuk memutus atau menyambung arus. LCD menampilkan informasi seperti arus beban, arus *setting*, *mode* kerja, dan status sistem. *Keypad* digunakan untuk memilih *mode*, mengatur *parameter*, dan mereset sistem jika terjadi kondisi *trip*. PZEM-004T membaca arus AC melalui CT dan mengirimkannya ke Arduino secara serial. Jika terjadi arus lebih, Arduino mengaktifkan LED sebagai indikator visual dan memutus arus ke beban melalui SSR sebagai tindakan proteksi. Sistem menggunakan catu daya 12V DC untuk menyuplai Arduino dan *supply* 5 VDC dari arduino ke komponen digital lainnya. Setiap kabel pada diagram diberi kode warna untuk mempermudah identifikasi dan meminimalkan kesalahan instalasi. Pengkabelan antar komponen disusun dengan mempertimbangkan efisiensi ruang dan kemudahan dalam proses perakitan. Semua komponen digital terhubung ke Arduino melalui pin *input*/*output* yang

Submitted: 10/06/2025; Revised: 16/06/2025;
Accepted: 29/06/2025; Online first: 29/06/2025
https://doi.org/10.46964/poligrid.v6i1.66

telah ditentukan secara sistematis. Pin *input* dan *output* yang digunakan bisa dilihat pada Tabel 3.

TABEL 3
PIN *INPUT* DAN *OUTPUT* YANG DIGUNAKAN

No.Pin	Pin *Mode*	Komponen	Keterangan
2 sampai 9	*Input*	*Keypad* 4x4	Digunakan untuk memasukkan *input mode* dan parameter oleh pengguna
10 dan 11	*Input* dan Ouput	PZEM-004Tv30	Komunikasi serial dengan modul pengukur arus dan tegangan
12	*Input*	*Solid State Relay* (SSR)	Menerima sinyal kontrol *trip* untuk memutus arus beban
13	*Output*	LED	Indikator status sistem, menyala saat kondisi *trip*
SDA dan SCL	*Output*	LCD 20x4 I2C	Menampilkan informasi arus, *mode* kerja, waktu *trip*, dan status sistem

Tabel 3 menunjukkan pin input dan output pada simulator *overcurrent relay type standard inverse* dan *constant time*. Pin 2–9 digunakan untuk *keypad* 4x4 sebagai input pengguna dalam pengaturan *mode* dan parameter. Pin 11 digunakan untuk komunikasi dengan modul PZEM-004Tv30. Pin 12 mengontrol *Solid State Relay* (SSR) untuk memutus arus beban secara otomatis, dan pin 13 untuk LED indikator *trip*. Pin SDA dan SCL digunakan oleh LCD I2C 20x4 sebagai antarmuka utama tampilan sistem.

IV. Hasil dan Pembahasan

A. Pengujian Akurasi Sensor Arus PZEM-004Tv30

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk menguji akurasi hasil pembacaan arus pada sensor arus PZEM-004Tv30 dengan alat ukur Ampere meter. Hasil pengujian sensor arus PZEM-004Tv30 bisa dilihat pada Gambar 9.

Gambar 9. Hasil pengujain sensor arus PZEM-004Tv30 dengan akat ukur

Gambar 9 menunjukkan hasil pengujian sensor arus PZEM-004Tv30 dengan alat ukur Ampere meter. Hasil pengujian tersebut menunjukkan adanya perbedaan antara sensor arus PZEM-004Tv30 dengan alat ukur Ampere meter. Maka dilakukan pengujian sebanyak delapan belas kali untuk mengetahui berapa rata-rata error sensor arus PZEM-004Tv30 dengan alat ukur. Hasil pengujian akurasi sensor arus PZEM-004Tv30 dengan alat ukur dapat dilihat pada Tabel 4.

TABEL 4
HASIL PENGUJIAN AKURASI SENSOR ARUS PZEM-004TV30 DENGAN ALAT UKUR

No.	Alat ukur Ampere meter	Sensor arus PZEM-004Tv30	Selisih	Error (%)
1	0,503	0,503	0	0
2	0,6	0,6	0	0
3	0,705	0,706	0,001	0,14
4	0,805	0,807	0,002	0,25
5	0,902	0,905	0,003	0,33
6	1,004	1,007	0,003	0,30
7	1,105	1,109	0,004	0,36
8	1,203	1,208	0,005	0,42
9	1,31	1,316	0,006	0,46
10	1,405	1,412	0,007	0,50
11	1,531	1,539	0,008	0,52
12	1,605	1,613	0,008	0,50
13	1,7	1,709	0,009	0,53
14	1,813	1,823	0,01	0,55
15	1,938	1,949	0,011	0,57
16	2,001	2,0 13	0,012	0,60
17	2,139	2,152	0,013	0,61
18	2,2	2,213	0,013	0,59
	Rata-rata		0,006	0,40

Tabel 4 menunjukkan hasil pengujian akurasi sensor arus PZEM-004TV30 dengan membandingkan nilai arus yang terbaca oleh sensor dan alat ukur (Ampere meter). Pengujian dilakukan pada 18 titik dengan rentang arus 0,503 A hingga 2,213 A. Selisih pembacaan berkisar antara 0 hingga 0,013 A, dengan persentase error tertinggi 0,75% dan terendah 0%. Rata-rata selisih sebesar 0,006 A dan rata-rata error 0,40% menunjukkan bahwa sensor ini cukup akurat dan konsisten untuk aplikasi pemantauan arus dengan kebutuhan akurasi menengah. Oleh karena itu, sensor ini dapat diandalkan untuk digunakan dalam sistem proteksi berbasis mikrokontroler.

B. Pengujian Solid State Relay (SSR)

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui *Solid State Relay* (SSR) ini masih dalam keadaan normal. Cara mengetahui *Solid State Relay* (SSR) ini masih dalam keadaan normal adalah dengan cara memberikan sinyal ke *Solid State Relay* (SSR). Apabila *Solid State Relay* (SSR) diberikan sinyal *HIGH* maka *Solid State Relay* (SSR) bekerja ditandai dengan lampu indikator *Solid State Relay* (SSR) yang menyala dan adanya arus yang mengalir ke beban. Sementara itu, apabila *Solid State Relay* (SSR) diberikan sinyal *LOW* maka *Solid State Relay* (SSR) tidak bekerja ditandai dengan lampu indikator yang tidak menyala dan terlihat arus yang mengalir sangat kecil atau bisa dibilang tidak adanya arus yang mengalir karena sangat kecil. Pengujian *Solid State Relay* (SSR) diberikan sinyal *HIGH* bisa dilihat pada Gambar 10.

Gambar 10. Pengujian *Solid State Relay* (SSR) diberikan sinyal *HIGH*

Gambar 10 menunjukkan pengujian *Solid State Relay* (SSR) diberikan sinyal *HIGH*. Pengujian ini menunjukkan bahwa ketika *Solid State Relay* (SSR) diberikan sinyal *HIGH*

Submitted: 10/06/2025; Revised: 16/06/2025;
Accepted: 29/06/2025; Online first: 29/06/2025
https://doi.org/10.46964/poligrid.v6i1.66

maka *Solid State Relay* (SSR) akan bekerja dapat dilihat dengan lampu indikator di *Solid State Relay* (SSR) yang menyala dan adanya arus yang mengalir ke beban. Selanjutnya, pengujian *Solid State Relay* (SSR) diberikan sinyal *LOW* dapat dilihat pada Gambar 11.

Gambar 11. Pengujian *Solid State Relay* (SSR) diberikan sinyal *LOW*

Gambar 11 menunjukkan pengujian *Solid State Relay* (SSR) diberikan sinyal *LOW*. Pengujian ini menunjukkan bahwa ketika *Solid State Relay* (SSR) diberikan sinyal *LOW* maka *Solid State Relay* (SSR) akan tidak bekerja dapat dilihat dengan lampu indikator di *Solid State Relay* (SSR) yang tidak menyala dan terlihat arus yang mengalir sangat kecil atau bisa dibilang tidak adanya arus yang mengalir karena arus yang mengalir sangat kecil yaitu 0,007 A. Hasil Pengujian *Solid State Relay* (SSR) dapat dilihat pada Tabel 5.

TABEL 5
PENGUJIAN *SOLID STATE RELAY* (SSR)

Sinyal	Lampu indikator	Arus
HIGH	Hidup	Ada
LOW	Mati	Tidak ada

Tabel 5 menunjukkan hasil pengujian *Solid State Relay* (SSR). Hasil pengujian menunjukkan bahwa *Solid State Relay* (SSR) ini masih dalam keadaan normal. Hal ini terlihat pada Tabel 5, ketika *Solid State Relay* (SSR) diberikan sinyal *HIGH*, maka SSR akan bekerja, yang ditandai dengan lampu indikator menyala dan adanya arus yang mengalir ke beban secara stabil dan sesuai ekspektasi rangkaian yang telah dirancang sebelumnya untuk mendukung fungsi proteksi yang diharapkan dan menjaga kontinuitas *supply* daya ke beban tanpa gangguan berarti selama pengujian berlangsung. Kondisi ini menunjukkan bahwa sinyal logika dari mikrokontroler berhasil memicu kerja SSR secara responsif. Selain itu, nilai arus yang terdeteksi pada kondisi ini konsisten dengan kebutuhan beban yang diujikan. Sementara itu, ketika *Solid State Relay* (SSR) diberikan sinyal *LOW*, maka SSR tidak bekerja, yang ditandai dengan lampu indikator mati dan arus yang tidak ada atau sangat kecil, yaitu hanya sekitar 0,007 A. Pengujian ini membuktikan bahwa *Solid State Relay* (SSR) masih berfungsi dengan baik dan layak digunakan dalam rancang bangun sistem proteksi arus lebih ini.

C. Pengujian Akurasi Overcurrent Relay Type Standard Inverse

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk menguji alat yang dirancang bangun sudah sesuai dengan karakteristik *standard inverse time* dan keakuratan alat tersebut. Pengujian dilakukan pada tegangan AC 220 V. Pengujian ini dilakukan dalam tiga tahapan, masing-masing menggunakan arus *setting* (Is) sebesar 0,5 A, 1 A, dan 1,5 A. Pada setiap tahap, pengujian dilakukan dengan variasi *Time Multiplier Setting* (TMS) yaitu 0,05, 0,1, dan 0,2.

Pengujian tahap pertama yang dilakukan sebanyak lima puluh kali pada arus *setting* (Is) 0,5 A dengan variasi *Time Multiplier Setting* (TMS) 0,05, 0,1, dan 0,2. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk menguji alat yang dirancang bangun sesuai dengan karakteristik *standard inverse time* dan keakuratan alat tersebut pada arus *setting* (Is) 0,5 A dengan variasi *Time Multiplier Setting* (TMS) 0,05, 0,1, dan 0,2. Perbandingan antara Hasil pengujian dan perhitungan *overcurrent relay type standard inverse time* pada arus *setting* (Is) 0,5 A dengan variasi *Time Multiplier Setting* (TMS) 0,05, 0,1, dan 0,2 dapat dilihat pada Tabel 6.

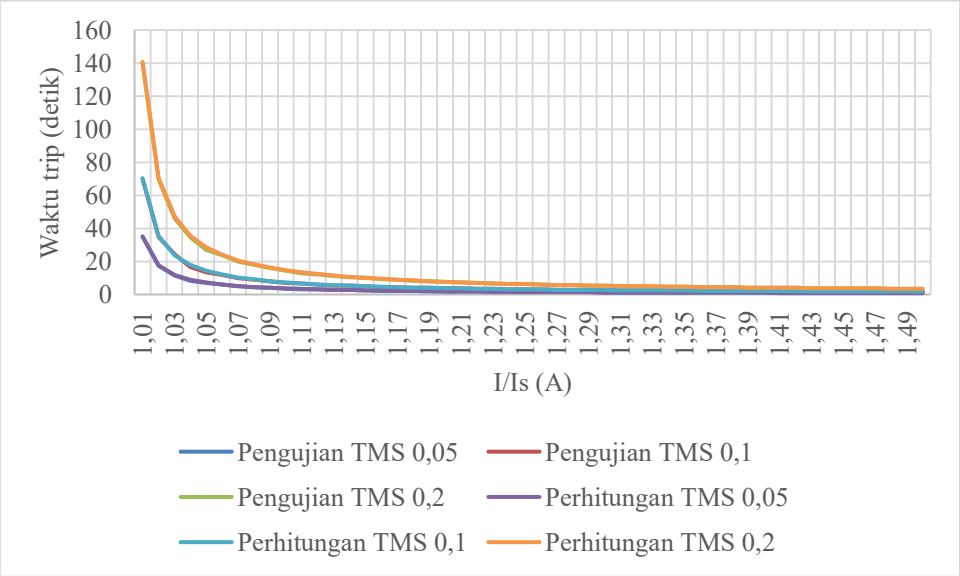
TABEL 6
PERBANDINGAN ANTARA HASIL PENGUJIAN DAN PERHITUNGAN *OVERCURRENT RELAY TYPE STANDARD INVERSE TIME* PADA ARUS *SETTING* (IS) 0,5 A DENGAN VARIASI *TIME MULTIPLIER SETTING* (TMS) 0,05, 0,1, DAN 0,2

No.	Is (A)	I (A)	I/Is (A)	TMS 0,05		Error (%)	TMS 0,1		Error (%)	TMS 0,2		Error (%)
				Waktu *trip* perhitungan (detik)	Waktu *trip* pengujian (detik)		Waktu *trip* perhitungan (detik)	Waktu *trip* pengujian (detik)		Waktu *trip* perhitungan (detik)	Waktu *trip* pengujian (detik)	
1	0,5	0,505	1,01	35,17	35,02	0,43	70,34	70,04	0,43	140,68	140,08	0,43
2	0,5	0,51	1,02	17,67	17,4	1,53	35,34	34,8	1,53	70,68	69,6	1,53
3	0,5	0,515	1,03	11,84	11,47	3,12	23,67	24,5	3,51	47,35	45,88	3,10
4	0,5	0,52	1,04	8,92	8,32	6,73	17,84	16,64	6,73	35,68	34,86	2,30
5	0,5	0,525	1,05	7,17	7,04	1,81	14,34	13,56	5,44	28,68	27,12	5,44
6	0,5	0,53	1,06	6,00	5,91	1,50	12,01	11,83	1,50	24,01	23,65	1,50
7	0,5	0,535	1,07	5,17	4,97	3,87	10,34	9,94	3,87	20,68	19,87	3,92
8	0,5	0,54	1,08	4,54	4,49	1,10	9,09	8,99	1,10	18,18	17,98	1,10
9	0,5	0,545	1,09	4,06	3,94	2,96	8,12	8,04	0,99	16,23	16,08	0,92
10	0,5	0,55	1,1	3,67	3,57	2,72	7,34	7,14	2,72	14,67	14,55	0,82
11	0,5	0,555	1,11	3,35	3,27	2,39	6,70	6,65	0,75	13,40	12,86	4,03
12	0,5	0,56	1,12	3,08	3,06	0,65	6,17	6,03	2,27	12,34	12,25	0,73
13	0,5	0,565	1,13	2,86	2,8	2,10	5,72	5,53	3,32	11,44	11,21	2,01
14	0,5	0,57	1,14	2,67	2,65	0,75	5,34	5,24	1,87	10,67	10,47	1,87
15	0,5	0,575	1,15	2,50	2,46	1,60	5,00	4,91	1,80	10,00	10,2	2,00
16	0,5	0,58	1,16	2,35	2,29	2,55	4,71	4,53	3,82	9,42	9,37	0,53
17	0,5	0,585	1,17	2,23	2,19	1,79	4,45	4,43	0,45	8,90	8,77	1,46
18	0,5	0,59	1,18	2,11	2,08	1,42	4,22	4,16	1,42	8,44	8,24	2,37
19	0,5	0,595	1,19	2,01	1,98	1,49	4,02	4	0,50	8,03	8	0,37
20	0,5	0,6	1,2	1,92	1,88	2,08	3,83	3,78	1,31	7,66	7,57	1,17

Submitted: 10/06/2025; Revised: 16/06/2025;
Accepted: 29/06/2025; Online first: 29/06/2025
https://doi.org/10.46964/poligrid.v6i1.66

No.	Is (A)	I (A)	I/Is (A)	TMS 0,05			TMS 0,1			TMS 0,2		
				Waktu *trip* perhitungan (detik)	Waktu *trip* pengujian (detik)	Error (%)	Waktu *trip* perhitungan (detik)	Waktu *trip* pengujian (detik)	Error (%)	Waktu *trip* perhitungan (detik)	Waktu *trip* pengujian (detik)	Error (%)
21	0,5	0,605	1,21	1,83	1,8	1,64	3,67	3,65	0,54	7,33	7,31	0,27
22	0,5	0,61	1,22	1,76	1,73	1,70	3,51	3,47	1,14	7,03	6,89	1,99
23	0,5	0,615	1,23	1,69	1,66	1,78	3,37	3,36	0,30	6,75	6,68	1,04
24	0,5	0,62	1,24	1,62	1,59	1,85	3,25	3,24	0,31	6,49	6,48	0,15
25	0,5	0,625	1,25	1,56	1,54	1,28	3,13	3,12	0,32	6,26	6,2	0,96
26	0,5	0,63	1,26	1,51	1,47	2,65	3,02	2,97	1,66	6,04	5,99	0,83
27	0,5	0,635	1,27	1,46	1,44	1,37	2,92	2,91	0,34	5,84	5,79	0,86
28	0,5	0,64	1,28	1,41	1,39	1,42	2,83	2,82	0,35	5,66	5,61	0,88
29	0,5	0,645	1,29	1,37	1,35	1,46	2,74	2,7	1,46	5,48	5,41	1,28
30	0,5	0,65	1,3	1,33	1,32	0,75	2,66	2,64	0,75	5,32	5,25	1,32
31	0,5	0,655	1,31	1,29	1,27	1,55	2,59	2,57	0,77	5,17	5,13	0,77
32	0,5	0,66	1,32	1,26	1,24	1,59	2,51	2,5	0,40	5,03	4,94	1,79
33	0,5	0,665	1,33	1,22	1,21	0,82	2,45	2,44	0,41	4,90	4,84	1,22
34	0,5	0,67	1,34	1,19	1,17	1,68	2,38	2,37	0,42	4,77	4,74	0,63
35	0,5	0,675	1,35	1,16	1,14	1,72	2,33	2,3	1,29	4,65	4,62	0,65
36	0,5	0,68	1,36	1,13	1,12	0,88	2,27	2,24	1,32	4,54	4,53	0,22
37	0,5	0,685	1,37	1,11	1,09	1,80	2,22	2,2	0,90	4,43	4,39	0,90
38	0,5	0,69	1,38	1,08	1,06	1,85	2,17	2,14	1,38	4,33	4,29	0,92
39	0,5	0,695	1,39	1,06	1,05	0,94	2,12	2,1	0,94	4,24	4,23	0,24
40	0,5	0,7	1,4	1,04	1,03	0,96	2,07	2,06	0,48	4,15	4,11	0,96
41	0,5	0,705	1,41	1,02	1,01	0,98	2,03	2,01	0,99	4,06	4,01	1,23
42	0,5	0,71	1,42	0,99	0,98	1,01	1,99	1,98	0,50	3,98	3,95	0,75
43	0,5	0,715	1,43	0,98	0,96	2,04	1,95	1,93	1,03	3,90	3,85	1,28
44	0,5	0,72	1,44	0,96	0,94	2,08	1,91	1,9	0,52	3,83	3,81	0,52
45	0,5	0,725	1,45	0,94	0,93	1,06	1,88	1,87	0,53	3,75	3,74	0,27
46	0,5	0,73	1,46	0,92	0,91	1,09	1,84	1,83	0,54	3,69	3,67	0,54
47	0,5	0,735	1,47	0,90	0,9	0,00	1,81	1,8	0,55	3,62	3,6	0,55
48	0,5	0,74	1,48	0,89	0,88	1,12	1,78	1,76	1,12	3,56	3,53	0,84
49	0,5	0,745	1,49	0,87	0,87	0	1,75	1,74	0,57	3,50	3,47	0,86
50	0,5	0,75	1,5	0,86	0,85	1,16	1,72	1,71	0,58	3,44	3,4	1,16
Rata-rata error						1,66			1,35			1,27

Tabel 6 menunjukkan perbandingan antara hasil pengujian *overcurrent relay type standard inverse time* pada arus *setting* (Is) 0,5 A dengan variasi *Time Multiplier Setting* (TMS) 0,05, 0,1, dan 0,2. Perbandingan tersebut menunjukkan bahwa rata-rata error dibawah 2 persen. Rata-rata error untuk *Time Multiplier Setting* (TMS) 0,05 adalah 1,66 persen, *Time Multiplier Setting* (TMS) 0,1 sebesar 1,35 persen, dan *Time Multiplier Setting* 0,02 sebesar 1,27 persen. Nilai ini menunjukkan bahwa alat yang dirancang bangun dengan arus *setting* (Is) 0,5 A dan variasi *Time Multiplier Setting* (TMS) 0,05. 0,1, dan 0,2 telah sesuai dengan karakteristik *standard inverse time* dengan rata-rata error dibawah 2 persen. Grafik perbandingan antara hasil pengujian dengan perhitungan *overcurrent relay type standard inverse time* pada arus *setting* (Is) 0,5 A dengan variasi *Time Multiplier Setting* (TMS) 0,05, 0,1 dan 0,2 dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12. Grafik perbandingan antara hasil pengujian dengan perhitungan *overcurrent relay type standard inverse* pada arus *setting* (Is) 0,5 A dengan variasi *Time Multiplier Setting* (TMS) 0,05, 0,1, dan 0,2

Submitted: 10/06/2025; Revised: 16/06/2025;
Accepted: 29/06/2025; Online first: 29/06/2025
https://doi.org/10.46964/poligrid.v6i1.66

Gambar 12 menunjukkan grafik perbandingan antara hasil pengujian dengan perhitungan *overcurrent relay type standard inverse* pada arus *setting* (Is) 0,5 A dengan variasi *Time Multiplier Setting* (TMS) 0,05, 0,1, dan 0,2. Grafik tersebut memiliki 2 sumbu yaitu, sumbu x I/Is dalam satuan Ampere dan sumbu y yang menunjukkan waktu *trip* dalam satuan detik. Terdapat 6 kurva pada grafik ini, yaitu kurva pengujian dan perhitungan pada TMS 0,05, 0,1 dan 0,2. Warna kurva pengujian pada TMS 0,05, 0,1 dan 0,2 berwarna biru, merah, dan hijau. Sementara itu kurva perhitungan pada TMS 0,05, 0,1, dan 0,2 berwarna ungu, biru muda, dan jingga. Kurva-kurva tersebut menunjukkan bahwa semakin besar arus yang mengalir maka semakin cepat waktu *trip* yang terjadi. Sebaliknya, semakin besar nilai *Time Multiplier Setting* (TMS) maka waktu *trip* yang dihasilkan semakin lama. Hal ini menunjukkan bahwa alat yang dirancang bangun dengan arus *setting* (Is) 0,5 A dan variasi *Time Multiplier Setting* (TMS) 0,05. 0,1, dan 0,2 telah sesuai dengan karakteristik *standard inverse time*.

Pengujian tahap kedua dilakukan sebanyak 50 kali pada arus *setting* (Is) 1 A dengan variasi *Time Multiplier Setting* (TMS) 0,05, 0,1, dan 0,2. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk menguji alat yang dirancang bangun sesuai dengan karakteristik *standard inverse time* dan keakuratan alat tersebut pada arus *setting* (Is) 1 A dengan variasi *Time Multiplier Setting* (TMS) 0,05, 0,1, dan 0,2. Perbandingan antara hasil pengujian dan perhitungan *overcurrent relay type standard inverse time* pada arus *setting* (Is) 1 A dengan variasi *Time Multiplier Setting* (TMS) 0,05, 0,1, dan 0,2 dapat dilihat pada Tabel 7

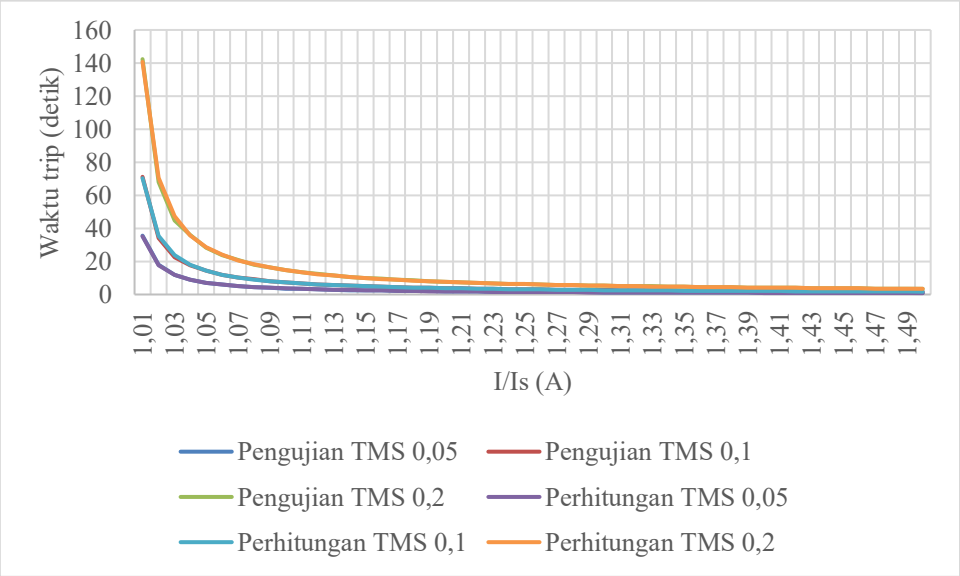
TABEL 7
PERBANDINGAN ANTARA HASIL PENGUJIAN DAN PERHITUNGAN *OVERCURRENT RELAY TYPE STANDARD INVERSE TIME* PADA ARUS *SETTING* (IS) 1 A DENGAN VARIASI *TIME MULTIPLIER SETTING* (TMS) 0,05, 0,1, DAN 0,2

No.	Is (A)	I (A)	I/Is (A)	TMS 0,05		Error (%)	TMS 0,1		Error (%)	TMS 0,2		Error (%)
				Waktu *trip* perhitungan (detik)	Waktu *trip* pengujian (detik)		Waktu *trip* perhitungan (detik)	Waktu *trip* pengujian (detik)		Waktu *trip* perhitungan (detik)	Waktu *trip* pengujian (detik)	
1	1	1,01	1,01	35,17	35,59	1,19	70,34	71,18	1,19	140,68	142,36	1,19
2	1	1,02	1,02	17,67	17,84	0,96	35,34	33,99	3,82	70,68	67,98	3,82
3	1	1,03	1,03	11,84	11,94	0,84	23,67	22,4	5,37	47,35	44,81	5,36
4	1	1,04	1,04	8,92	8,99	0,78	17,84	17,55	1,63	35,68	35,97	0,81
5	1	1,05	1,05	7,17	7,09	1,12	14,34	14,45	0,77	28,68	28,31	1,29
6	1	1,06	1,06	6,00	6,05	0,83	12,01	11,72	2,41	24,01	23,81	0,83
7	1	1,07	1,07	5,17	5,14	0,58	10,34	10,27	0,68	20,68	20,83	0,73
8	1	1,08	1,08	4,54	4,58	0,88	9,09	9,38	3,19	18,18	18,09	0,50
9	1	1,09	1,09	4,06	4,09	0,74	8,12	8	1,48	16,23	16,35	0,74
10	1	1,1	1,1	3,67	3,63	1,09	7,34	7,32	0,27	14,67	14,92	1,70
11	1	1,11	1,11	3,35	3,43	2,39	6,70	6,69	0,15	13,40	13,61	1,57
12	1	1,12	1,12	3,08	3,13	1,62	6,17	6,12	0,81	12,34	12,53	1,54
13	1	1,13	1,13	2,86	2,84	0,70	5,72	5,72	0,00	11,44	11,61	1,49
14	1	1,14	1,14	2,67	2,65	0,75	5,34	5,34	0,00	10,67	10,67	0,00
15	1	1,15	1,15	2,50	2,53	1,20	5,00	5	0,00	10,00	10,07	0,70
16	1	1,16	1,16	2,35	2,37	0,85	4,71	4,74	0,64	9,42	9,48	0,64
17	1	1,17	1,17	2,23	2,23	0,00	4,45	4,43	0,45	8,90	8,87	0,34
18	1	1,18	1,18	2,11	2,11	0,00	4,22	4,25	0,71	8,44	8,5	0,71
19	1	1,19	1,19	2,01	2,02	0,50	4,02	4,02	0,00	8,03	8,05	0,25
20	1	1,2	1,2	1,92	1,92	0,00	3,83	3,86	0,78	7,66	7,65	0,13
21	1	1,21	1,21	1,83	1,83	0,00	3,67	3,64	0,82	7,33	7,38	0,68
22	1	1,22	1,22	1,76	1,75	0,57	3,51	3,52	0,28	7,03	6,99	0,57
23	1	1,23	1,23	1,69	1,69	0,00	3,37	3,34	0,89	6,75	6,74	0,15
24	1	1,24	1,24	1,62	1,62	0,00	3,25	3,24	0,31	6,49	6,51	0,31
25	1	1,25	1,25	1,56	1,57	0,64	3,13	3,16	0,96	6,26	6,28	0,32
26	1	1,26	1,26	1,51	1,52	0,66	3,02	3,03	0,33	6,04	6,04	0,00
27	1	1,27	1,27	1,46	1,46	0,00	2,92	2,94	0,68	5,84	5,88	0,68
28	1	1,28	1,28	1,41	1,42	0,71	2,83	2,83	0,00	5,66	5,66	0,00
29	1	1,29	1,29	1,37	1,38	0,73	2,74	2,76	0,73	5,48	5,5	0,36
30	1	1,3	1,3	1,33	1,34	0,75	2,66	2,67	0,38	5,32	5,31	0,19
31	1	1,31	1,31	1,29	1,29	0,00	2,59	2,59	0,00	5,17	5,15	0,39
32	1	1,32	1,32	1,26	1,25	0,79	2,51	2,52	0,40	5,03	5,03	0,00
33	1	1,33	1,33	1,22	1,22	0,00	2,45	2,45	0,00	4,90	4,93	0,61
34	1	1,34	1,34	1,19	1,19	0,00	2,38	2,38	0,00	4,77	4,76	0,21
35	1	1,35	1,35	1,16	1,16	0,00	2,33	2,32	0,43	4,65	4,66	0,22
36	1	1,36	1,36	1,13	1,13	0,00	2,27	2,28	0,44	4,54	4,55	0,22
37	1	1,37	1,37	1,11	1,11	0,00	2,22	2,23	0,45	4,43	4,41	0,45
38	1	1,38	1,38	1,08	1,08	0,00	2,17	2,15	0,92	4,33	4,33	0,00
39	1	1,39	1,39	1,06	1,05	0,94	2,12	2,12	0,00	4,24	4,18	1,42
40	1	1,4	1,4	1,04	1,03	0,96	2,07	2,07	0,00	4,15	4,14	0,24
41	1	1,41	1,41	1,02	1,02	0,00	2,03	2,03	0,00	4,06	4,07	0,25
42	1	1,42	1,42	0,99	0,99	0,00	1,99	1,99	0,00	3,98	3,97	0,25
43	1	1,43	1,43	0,98	0,98	0,00	1,95	1,95	0,00	3,90	3,89	0,26
44	1	1,44	1,44	0,96	0,96	0,00	1,91	1,9	0,52	3,83	3,83	0,00
45	1	1,45	1,45	0,94	0,94	0,00	1,88	1,88	0,00	3,75	3,76	0,27
46	1	1,46	1,46	0,92	0,92	0,00	1,84	1,84	0,00	3,69	3,69	0,00

Submitted: 10/06/2025; Revised: 16/06/2025;
Accepted: 29/06/2025; Online first: 29/06/2025
https://doi.org/10.46964/poligrid.v6i1.66

No.	Is (A)	I (A)	I/Is (A)	TMS 0,05			TMS 0,1			TMS 0,2		
				Waktu *trip* perhitungan (detik)	Waktu *trip* pengujian (detik)	Error (%)	Waktu *trip* perhitungan (detik)	Waktu *trip* pengujian (detik)	Error (%)	Waktu *trip* perhitungan (detik)	Waktu *trip* pengujian (detik)	Error (%)
47	1	1,47	1,47	0,90	0,91	1,11	1,81	1,81	0,00	3,62	3,62	0,00
48	1	1,48	1,48	0,89	0,89	0,00	1,78	1,78	0,00	3,56	3,55	0,28
49	1	1,49	1,49	0,87	0,88	1,15	1,75	1,75	0,00	3,50	3,5	0,00
50	1	1,5	1,5	0,86	0,86	0,00	1,72	1,73	0,58	3,44	3,43	0,29
Rata-rata error						0,52			0,67			0,66

Tabel 7 menunjukkan perbandingan antara hasil pengujian dan perhitungan *overcurrent relay type standard inverse time* pada arus *setting* (Is) 1 A dengan variasi *Time Multiplier Setting* (TMS) 0,05, 0,1, dan 0,2. Perbandingan tersebut menunjukkan bahwa rata-rata error dibawah 1 persen. Rata-rata error *untuk Time Multiplier Setting* (TMS) 0,05 adalah 0,52 persen, *Time Multiplier Setting* (TMS) 0,1 sebesar 0,67 persen, dan *Time Multiplier Setting* 0,02 sebesar 0,66 persen. Nilai ini menunjukkan bahwa alat yang dirancang bangun dengan arus *setting* (Is) 1 A dan variasi *Time Multiplier Setting* (TMS) 0,05. 0,1, dan 0,2 telah sesuai dengan karakteristik *standard inverse time* dengan rata-rata error dibawah 1 persen. Grafik perbandingan antara hasil pengujian dan perhitungan *overcurrent relay type standard inverse time* pada arus *setting* (Is) 1 A dengan variasi *Time Multiplier Setting* (TMS) 0,05, 0,1 dan 0,2 dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13. Grafik perbandingan antara hasil pengujian dan perhitungan *overcurrent relay type standard inverse* pada arus *setting* (Is) 1 A dengan variasi *Time Multiplier Setting* (TMS) 0,05, 0,1, dan 0,2

Gambar 13 menunjukkan grafik perbandingan antara hasil pengujian dan perhitungan *overcurrent relay type standard inverse time* pada arus *setting* (Is) dengan variasi *Time Multiplier Setting* (TMS) 0,05, 0,1, dan 0,2. Grafik tersebut memiliki 2 sumbu yaitu, sumbu x I/Is dalam satuan Ampere dan sumbu y yang menunjukkan waktu *trip* dalam satuan detik. Terdapat 6 kurva pada grafik ini, yaitu kurva pengujian dan perhitungan pada TMS 0,05, 0,1 dan 0,2. Warna kurva pengujian pada TMS 0,05, 0,1 dan 0,2 berwarna biru, merah, dan hijau. Sementara itu kurva perhitungan pada TMS 0,05, 0,1, dan 0,2 berwarna ungu, biru muda, dan jingga. Kurva-kurva tersebut menunjukkan bahwa semakin besar arus yang mengalir maka semakin cepat waktu *trip* yang terjadi. Sebaliknya, semakin besar nilai *Time Multiplier Setting* (TMS) maka waktu *trip* yang dihasilkan semakin lama. Hal ini menunjukkan bahwa alat yang dirancang bangun dengan arus *setting* (Is) 1 A dan variasi *Time Multiplier Setting* (TMS) 0,05. 0,1, dan 0,2 telah sesuai dengan karakteristik *standard inverse time*.

Pengujian tahap ketiga dilakukan sebanyak 50 kali pada arus *setting* (Is) 1,5 A dengan variasi *Time Multiplier Setting* (TMS) 0,05, 0,1, dan 0,2. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk menguji alat yang dirancang bangun sesuai dengan karakteristik *standard inverse time* dan keakuratan alat tersebut pada arus *setting* (Is) 1,5 A dengan variasi *Time Multiplier Setting* (TMS) 0,05, 0,1, dan 0,2. Perbandingan antara hasil pengujian dan perhitungan *overcurrent relay type standard inverse time* pada arus *setting* (Is) 1,5 A dengan variasi *Time Multiplier Setting* (TMS) 0,05, 0,1, dan 0,2 dapat dilihat pada Tabel 8.

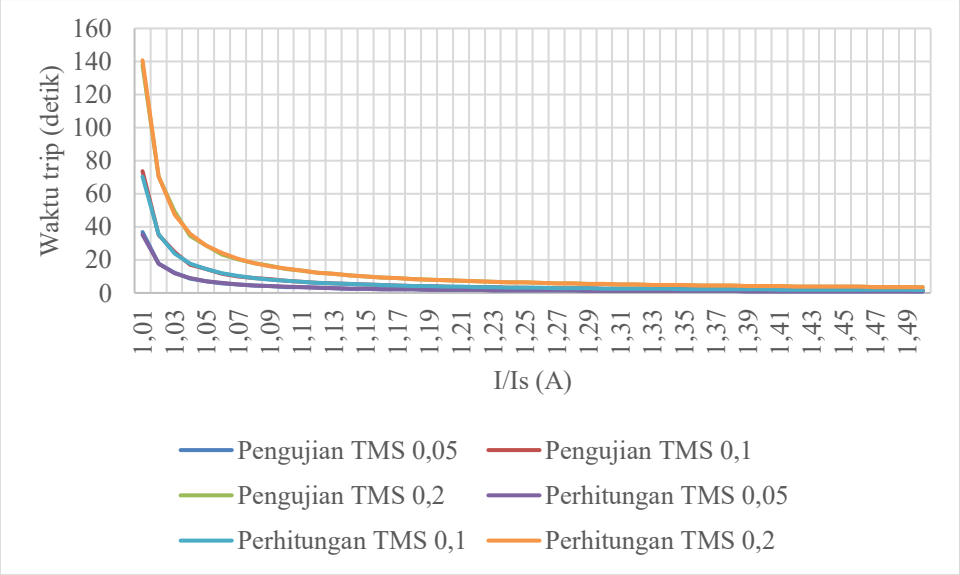
TABEL 8
PERBANDINGAN ANTARA HASIL PENGUJIAN DAN PERHITUNGAN *OVERCURRENT RELAY TYPE STANDARD INVERSE TIME* PADA ARUS *SETTING* (IS) 1,5 A DENGAN VARIASI TIME MULTIPLIER *SETTING* (TMS) 0,05, 0,1, DAN 0,2

Submitted: 10/06/2025; Revised: 16/06/2025;
Accepted: 29/06/2025; Online first: 29/06/2025
https://doi.org/10.46964/poligrid.v6i1.66

No.	Is (A)	I (A)	I/Is (A)	TMS 0,05		Error (%)	TMS 0,1		Error (%)	TMS 0,2		Error (%)
				Waktu *trip* perhitungan (detik)	Waktu *trip* pengujian (detik)		Waktu *trip* perhitungan (detik)	Waktu *trip* pengujian (detik)		Waktu *trip* perhitungan (detik)	Waktu *trip* pengujian (detik)	
1	1,5	1,515	1,01	35,17	36,82	4,69	70,34	73,63	4,68	140,68	137,76	2,08
2	1,5	1,53	1,02	17,67	17,54	0,74	35,34	35,09	0,71	70,68	70,18	0,71
3	1,5	1,545	1,03	11,84	12,34	4,22	23,67	24,68	4,27	47,35	49,36	4,24
4	1,5	1,56	1,04	8,92	8,58	3,81	17,84	17,16	3,81	35,68	34,32	3,81
5	1,5	1,575	1,05	7,17	7,18	0,14	14,34	14,36	0,14	28,68	28,72	0,14
6	1,5	1,59	1,06	6,00	5,89	1,83	12,01	11,54	3,91	24,01	23,08	3,87
7	1,5	1,605	1,07	5,17	5,05	2,32	10,34	10,1	2,32	20,68	20,2	2,32
8	1,5	1,62	1,08	4,54	4,42	2,64	9,09	8,84	2,75	18,18	17,95	1,27
9	1,5	1,635	1,09	4,06	4,1	0,99	8,12	8,2	0,99	16,23	16,4	1,05
10	1,5	1,65	1,1	3,67	3,59	2,18	7,34	7,23	1,50	14,67	14,37	2,04
11	1,5	1,665	1,11	3,35	3,36	0,30	6,70	6,73	0,45	13,40	13,46	0,45
12	1,5	1,68	1,12	3,08	3,08	0,00	6,17	6,23	0,97	12,34	12,27	0,57
13	1,5	1,695	1,13	2,86	2,83	1,05	5,72	5,66	1,05	11,44	11,49	0,44
14	1,5	1,71	1,14	2,67	2,66	0,37	5,34	5,34	0,00	10,67	10,53	1,31
15	1,5	1,725	1,15	2,50	2,49	0,40	5,00	4,96	0,80	10,00	9,97	0,30
16	1,5	1,74	1,16	2,35	2,35	0,00	4,71	4,68	0,64	9,42	9,43	0,11
17	1,5	1,755	1,17	2,23	2,24	0,45	4,45	4,41	0,90	8,90	8,85	0,56
18	1,5	1,77	1,18	2,11	2,09	0,95	4,22	4,19	0,71	8,44	8,34	1,18
19	1,5	1,785	1,19	2,01	2,01	0,00	4,02	4,01	0,25	8,03	8,05	0,25
20	1,5	1,8	1,2	1,92	1,92	0,00	3,83	3,84	0,26	7,66	7,63	0,39
21	1,5	1,815	1,21	1,83	1,82	0,55	3,67	3,64	0,82	7,33	7,28	0,68
22	1,5	1,83	1,22	1,76	1,75	0,57	3,51	3,5	0,28	7,03	7,01	0,28
23	1,5	1,845	1,23	1,69	1,68	0,59	3,37	3,37	0,00	6,75	6,73	0,30
24	1,5	1,86	1,24	1,62	1,63	0,62	3,25	3,24	0,31	6,49	6,45	0,62
25	1,5	1,875	1,25	1,56	1,56	0,00	3,13	3,12	0,32	6,26	6,25	0,16
26	1,5	1,89	1,26	1,51	1,51	0,00	3,02	3	0,66	6,04	6,02	0,33
27	1,5	1,905	1,27	1,46	1,45	0,68	2,92	2,92	0,00	5,84	5,85	0,17
28	1,5	1,92	1,28	1,41	1,42	0,71	2,83	2,83	0,00	5,66	5,64	0,35
29	1,5	1,935	1,29	1,37	1,37	0,00	2,74	2,73	0,36	5,48	5,47	0,18
30	1,5	1,95	1,3	1,33	1,32	0,75	2,66	2,66	0,00	5,32	5,32	0,00
31	1,5	1,965	1,31	1,29	1,29	0,00	2,59	2,57	0,77	5,17	5,15	0,39
32	1,5	1,98	1,32	1,26	1,25	0,79	2,51	2,5	0,40	5,03	5,02	0,20
33	1,5	1,995	1,33	1,22	1,22	0,00	2,45	2,44	0,41	4,90	4,88	0,41
34	1,5	2,01	1,34	1,19	1,19	0,00	2,38	2,38	0,00	4,77	4,75	0,42
35	1,5	2,025	1,35	1,16	1,16	0,00	2,33	2,32	0,43	4,65	4,64	0,22
36	1,5	2,04	1,36	1,13	1,13	0,00	2,27	2,27	0,00	4,54	4,52	0,44
37	1,5	2,055	1,37	1,11	1,11	0,00	2,22	2,21	0,45	4,43	4,43	0,00
38	1,5	2,07	1,38	1,08	1,08	0,00	2,17	2,15	0,92	4,33	4,33	0,00
39	1,5	2,085	1,39	1,06	1,05	0,94	2,12	2,09	1,42	4,24	4,22	0,47
40	1,5	2,1	1,4	1,04	1,03	0,96	2,07	2,06	0,48	4,15	4,12	0,72
41	1,5	2,115	1,41	1,02	1,01	0,98	2,03	2,02	0,49	4,06	4,05	0,25
42	1,5	2,13	1,42	0,99	0,99	0,00	1,99	1,99	0,00	3,98	3,97	0,25
43	1,5	2,145	1,43	0,98	0,97	1,02	1,95	1,94	0,51	3,90	3,88	0,51
44	1,5	2,16	1,44	0,96	0,95	1,04	1,91	1,89	1,05	3,83	3,8	0,78
45	1,5	2,175	1,45	0,94	0,94	0,00	1,88	1,87	0,53	3,75	3,75	0,00
46	1,5	2,19	1,46	0,92	0,92	0,00	1,84	1,84	0,00	3,69	3,68	0,27
47	1,5	2,205	1,47	0,90	0,91	1,11	1,81	1,82	0,55	3,62	3,63	0,28
48	1,5	2,22	1,48	0,89	0,89	0,00	1,78	1,77	0,56	3,56	3,54	0,56
49	1,5	2,235	1,49	0,87	0,87	0,00	1,75	1,74	0,57	3,50	3,49	0,29
50	1,5	2,25	1,5	0,86	0,86	0,00	1,72	1,7	1,16	3,44	3,42	0,58
Rata-rata error						0,77			0,89			0,74

Tabel 8 menunjukkan perbandingan antara hasil pengujian dan perhitungan *overcurrent relay type standard inverse time* pada arus *setting* (Is) 1,5 A dengan variasi *Time Multiplier Setting* (TMS) 0,05, 0,1, dan 0,2. Perbandingan tersebut menunjukkan bahwa rata-rata *error* dibawah 1 persen. Rata-rata *error* untuk *Time Multiplier Setting* (TMS) 0,05 adalah 0,77 persen, *Time Multiplier Setting* (TMS) 0,1 sebesar 0,89 persen, dan *Time Multiplier Setting* 0,02 sebesar 0,74 persen. Nilai ini menunjukkan bahwa alat yang dirancang bangun dengan arus *setting* (Is) 1,5 A dan variasi *Time Multiplier Setting* (TMS) 0,05. 0,1, dan 0,2 telah sesuai dengan karakteristik *standard inverse time* dengan rata-rata *error* dibawah 1 persen. Grafik perbandingan antara hasil pengujian dengan perhitungan *overcurrent relay type standard inverse time* pada arus *setting* (Is) 1,5 A dengan variasi *Time Multiplier Setting* (TMS) 0,05, 0,1 dan 0,2 dapat dilihat pada Gambar 14.

Submitted: 10/06/2025; Revised: 16/06/2025;
Accepted: 29/06/2025; Online first: 29/06/2025
https://doi.org/10.46964/poligrid.v6i1.66



Gambar 14. Grafik hasil perbandingan antara hasil pengujian dengan perhitungan *overcurrent relay type standard inverse* pada arus *setting* (Is) 1,5 A dengan variasi *Time Multiplier Setting* (TMS) 0,05, 0,1, dan 0,2

Gambar 14 menunjukkan grafik perbandingan antara hasil pengujian dengan perhitungan *overcurrent relay type standard inverse* pada arus *setting* (Is) 1,5 A dengan variasi *Time Multiplier Setting* (TMS) 0,05, 0,1, dan 0,2. Grafik tersebut memiliki 2 sumbu yaitu, sumbu x I/Is dalam satuan Ampere dan sumbu y yang menunjukkan waktu *trip* dalam satuan detik. Terdapat 6 kurva pada grafik ini, yaitu kurva pengujian dan perhitungan pada TMS 0,05, 0,1 dan 0,2. Warna kurva pengujian pada TMS 0,05, 0,1 dan 0,2 berwarna biru, merah, dan hijau. Sementara itu kurva perhitungan pada TMS 0,05, 0,1, dan 0,2 berwarna ungu, biru muda, dan jingga. Kurva-kurva tersebut menunjukkan bahwa semakin besar arus yang mengalir maka semakin cepat waktu *trip* yang terjadi. Sebaliknya, semakin besar nilai *Time Multiplier Setting* (TMS) maka waktu *trip* yang dihasilkan semakin lama. Hal ini menunjukkan bahwa alat yang dirancang bangun dengan arus *setting* (Is) 1,5 A dan variasi *Time Multiplier Setting* (TMS) 0,05 0,1, dan 0,2 telah sesuai dengan karakteristik *standard inverse time*.

Berdasarkan hasil pengujian *overcurrent relay type standard inverse time* dari tahap pertama hingga ketiga, dapat disimpulkan bahwa alat yang dirancang bekerja sesuai karakteristik kurva *standard inverse* secara konsisten dan akurat. Hal ini dibuktikan melalui pengujian pada variasi arus *setting* (Is) dan *Time Multiplier Setting* (TMS) yang menunjukkan error sangat rendah. Pada arus *setting* 0,5 A dengan variasi TMS 0,05, 0,1, dan 0,2, rata-rata error seluruhnya di bawah 2 persen. Sedangkan pada arus *Setting* 1 A dan 1,5 A dengan variasi TMS sama, rata-rata error kurang dari 1 persen. Dengan demikian, alat yang dirancang berhasil memenuhi kriteria performa sesuai karakteristik *standard inverse time* serta menunjukkan stabilitas dan keandalan pada berbagai kondisi pengujian.

D. Pengujian Akurasi Overcurrent Relay Type Constant Time

Pengujian akurasi *overcurrent relay type constant time* dilakukan untuk mengetahui bahwa alat yang dirancang sudah sesuai dengan karakteristik *constant time* dan keakuratan alat tersebut. Pengujian ini dilakukan pada tegangan AC 220 V. Pengujian dilakukan dalam empat tahap yaitu, tahap pertama pengujian dengan variasi arus *setting* (Is) 0,5 A, 1 A, dan 1,5 A dengan waktu *setting* tetap 10 detik. Selanjutnya, tahap kedua hingga keempat dilakukan pengujian dengan masing masing pada arus *setting* (Is) 0,5 A, 1 A, dan 1,5 A dengan variasi waktu *setting* 5, 10, dan 15 detik.

Pengujian tahap pertama dilakukan sebanyak lima puluh kali pada variasi arus *setting* (Is) 0,5 A, 1 A, dan 1,5 A dengan waktu *setting* 10 detik. Tujuan dari Pengujian ini adalah untuk menguji alat yang dirancang bangun sesuai dengan karakteristik *constant time* dan keakuratan alat tersebut pada variasi arus *setting* (Is) 0,5 A, 1 A, dan 1,5 A dengan waktu *setting* tetap 10 detik. Hasil pengujian *overcurrent relay overcurrent relay type constant time* pada arus *setting* (Is) 0,5 A, 1 A, dan 1,5 A dengan waktu *setting* tetap 10 detik dapat dilihat pada Tabel 9.

TABEL 9
HASIL PENGUJIAN *OVERCURRENT RELAY TYPE CONSTANT TIME* PADA VARIASI ARUS *SETTING* (IS) 0,5 A, 1 A, DAN 1,5 A DENGAN WAKTU *SETTING* TETAP 10 DETIK

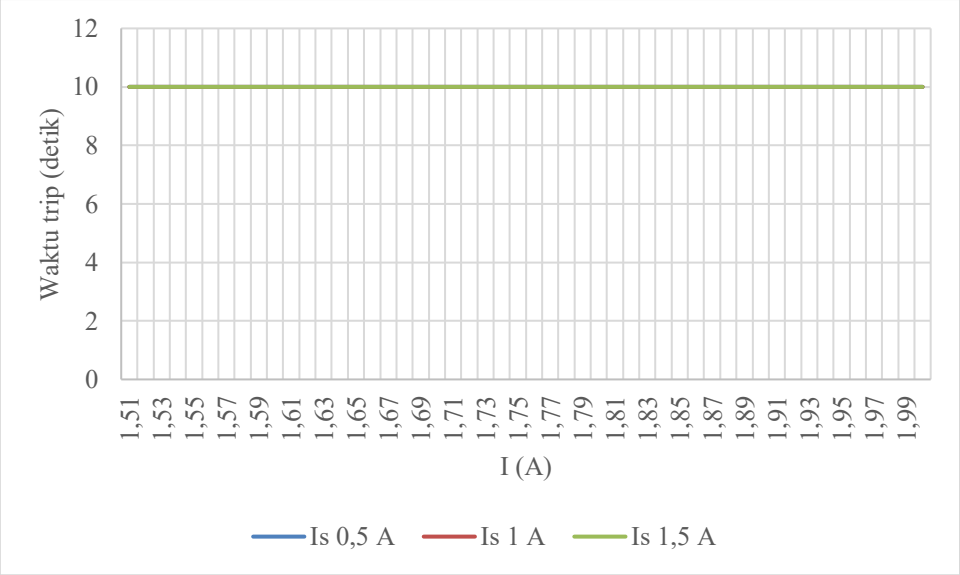
No.	I (A)	Is 0,5 A		Error (%)	Is 1 A		Error (%)	Is 1,5		Error (%)
		Waktu setting (detik)	Waktu *trip* (detik)		Waktu setting (detik)	Waktu *trip* (detik)		Waktu setting (detik)	Waktu *trip* (detik)	
1	1,51	10	10	0	10	10	0	10	10	0
2	1,52	10	10	0	10	10	0	10	10	0
3	1,53	10	10	0	10	10	0	10	10	0

Submitted: 10/06/2025; Revised: 16/06/2025;
Accepted: 29/06/2025; Online first: 29/06/2025
https://doi.org/10.46964/poligrid.v6i1.66

No.	I (A)	Is 0,5 A		Error (%)	Is 1 A		Error (%)	Is 1,5		Error (%)
		Waktu setting (detik)	Waktu *trip* (detik)		Waktu setting (detik)	Waktu *trip* (detik)		Waktu setting (detik)	Waktu *trip* (detik)	
4	1,54	10	10	0	10	10	0	10	10	0
5	1,55	10	10	0	10	10	0	10	10	0
6	1,56	10	10	0	10	10	0	10	10	0
7	1,57	10	10	0	10	10	0	10	10	0
8	1,58	10	10	0	10	10	0	10	10	0
9	1,59	10	10	0	10	10	0	10	10	0
10	1,6	10	10	0	10	10	0	10	10	0
11	1,61	10	10	0	10	10	0	10	10	0
12	1,62	10	10	0	10	10	0	10	10	0
13	1,63	10	10	0	10	10	0	10	10	0
14	1,64	10	10	0	10	10	0	10	10	0
15	1,65	10	10	0	10	10	0	10	10	0
16	1,66	10	10	0	10	10	0	10	10	0
17	1,67	10	10	0	10	10	0	10	10	0
18	1,68	10	10	0	10	10	0	10	10	0
19	1,69	10	10	0	10	10	0	10	10	0
20	1,7	10	10	0	10	10	0	10	10	0
21	1,71	10	10	0	10	10	0	10	10	0
22	1,72	10	10	0	10	10	0	10	10	0
23	1,73	10	10	0	10	10	0	10	10	0
24	1,74	10	10	0	10	10	0	10	10	0
25	1,75	10	10	0	10	10	0	10	10	0
26	1,76	10	10	0	10	10	0	10	10	0
27	1,77	10	10	0	10	10	0	10	10	0
28	1,78	10	10	0	10	10	0	10	10	0
29	1,79	10	10	0	10	10	0	10	10	0
30	1,8	10	10	0	10	10	0	10	10	0
31	1,81	10	10	0	10	10	0	10	10	0
32	1,82	10	10	0	10	10	0	10	10	0
33	1,83	10	10	0	10	10	0	10	10	0
34	1,84	10	10	0	10	10	0	10	10	0
35	1,85	10	10	0	10	10	0	10	10	0
36	1,86	10	10	0	10	10	0	10	10	0
37	1,87	10	10	0	10	10	0	10	10	0
38	1,88	10	10	0	10	10	0	10	10	0
39	1,89	10	10	0	10	10	0	10	10	0
40	1,9	10	10	0	10	10	0	10	10	0
41	1,91	10	10	0	10	10	0	10	10	0
42	1,92	10	10	0	10	10	0	10	10	0
43	1,93	10	10	0	10	10	0	10	10	0
44	1,94	10	10	0	10	10	0	10	10	0
45	1,95	10	10	0	10	10	0	10	10	0
46	1,96	10	10	0	10	10	0	10	10	0
47	1,97	10	10	0	10	10	0	10	10	0
48	1,98	10	10	0	10	10	0	10	10	0
49	1,99	10	10	0	10	10	0	10	10	0
50	2	10	10	0	10	10	0	10	10	0
Rata-rata error (%)				0			0			0

Tabel 9 menunjukkan hasil pengujian *overcurrent relay type constant time* pada variasi arus *setting* (Is) 0,5 A, 1 A, dan 1,5 A dengan waktu *setting* tetap 10 detik. Hasil pengujian tersebut menunjukkan bahwa rata-rata error semua variasi arus *setting* (Is) sebesar 0 persen. Hal ini menunjukkan bahwa alat yang dirancang bangun dengan variasi arus *setting* (Is) 0,5 A, 1 A, dan 1,5 A dengan waktu *setting* tetap 10 detik telah sesuai dengan karakteristik *constant time* dengan rata-rata error semua variasi sebesar 0 persen. Grafik hasil pengujian *overcurrent relay type constant time* pada variasi arus *setting* (Is) 0,5 A, 1 A, dan 1,5 dengan waktu *setting* tetap 10 detik dapat dilihat pada Gambar 15.

Submitted: 10/06/2025; Revised: 16/06/2025;
Accepted: 29/06/2025; Online first: 29/06/2025
https://doi.org/10.46964/poligrid.v6i1.66



Gambar 15. Grafik hasil pengujian *overcurrent relay type constant time* pada variasi arus *setting* (Is) 0,5 A, 1 A, dan 1,5 A dengan waktu *setting* tetap 10 detik

Gambar 15 menunjukkan grafik hasil pengujian *overcurrent relay type constant time* pada variasi arus *setting* (Is) 0,5 A, 1 A, dan 1,5 A. Grafik tersebut memiliki 2 sumbu yaitu, sumbu x I dengan satuan Ampere dan sumbu y yang menunjukkan waktu *trip* dalam satuan detik. Terdapat 3 kurva yaitu, kurva Is 0,5 A, 1 A, dan 1,5 A dengan warna kurva Is 0,5 A biru, Is 1 A merah dan Is 1,5 A hijau. Kurva-kurva tersebut menunjukkan bahwa berapa pun arus yang mengalir maka waktu *trip* yang terjadi sesuai dengan waktu *setting*nya. Hal ini menunjukkan bahwa alat yang dirancang bangun dengan variasi arus *setting* (Is) 0,5 A, 1 A, dan 1,5 A dan waktu *setting* tetap 10 detik telah sesuai dengan karakteristik *constant time*.

Pengujian tahap kedua dilakukan sebanyak lima puluh kali pada arus *setting* (Is) 0,5 A dengan variasi waktu *setting* 5, 10, dan 15 detik. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk menguji alat yang diracang bangun sesuai dengan karakteristik *constant time* dan keakuratan alat tersebut pada arus *setting* (Is) 0,5 A dengan variasi waktu *setting* 5, 10, dan 15 detik. Hasil *pengujian overcurrent relay type constant time* pada arus *setting* (Is) 0,5 A dengan variasi waktu *setting* 5, 10, dan 15 detik bisa dilihat pada Tabel 10.

TABEL 10
HASIL PENGUJIAN *OVERCURRENT RELAY TYPE CONSTANT TIME* PADA ARUS *SETTING* (IS) 0,5 A DENGAN VARIASI WAKTU *SETTING* 5, 10, DAN 15 DETIK

No.	Is (A)	I (A)	Waktu setting (detik)	Waktu *trip* (detik)	Error (%)	Waktu setting (detik)	Waktu *trip* (detik)	Error (%)	Waktu setting (detik)	Waktu *trip* (detik)	Error (%)
1	0,5	1,51	5	5	0	10	10	0	15	15	0
2	0,5	1,52	5	5	0	10	10	0	15	15	0
3	0,5	1,53	5	5	0	10	10	0	15	15	0
4	0,5	1,54	5	5	0	10	10	0	15	15	0
5	0,5	1,55	5	5	0	10	10	0	15	15	0
6	0,5	1,56	5	5	0	10	10	0	15	15	0
7	0,5	1,57	5	5	0	10	10	0	15	15	0
8	0,5	1,58	5	5	0	10	10	0	15	15	0
9	0,5	1,59	5	5	0	10	10	0	15	15	0
10	0,5	1,6	5	5	0	10	10	0	15	15	0
11	0,5	1,61	5	5	0	10	10	0	15	15	0
12	0,5	1,62	5	5	0	10	10	0	15	15	0
13	0,5	1,63	5	5	0	10	10	0	15	15	0
14	0,5	1,64	5	5	0	10	10	0	15	15	0
15	0,5	1,65	5	5	0	10	10	0	15	15	0
16	0,5	1,66	5	5	0	10	10	0	15	15	0
17	0,5	1,67	5	5	0	10	10	0	15	15	0
18	0,5	1,68	5	5	0	10	10	0	15	15	0
19	0,5	1,69	5	5	0	10	10	0	15	15	0
20	0,5	1,7	5	5	0	10	10	0	15	15	0
21	0,5	1,71	5	5	0	10	10	0	15	15	0
22	0,5	1,72	5	5	0	10	10	0	15	15	0
23	0,5	1,73	5	5	0	10	10	0	15	15	0
24	0,5	1,74	5	5	0	10	10	0	15	15	0
25	0,5	1,75	5	5	0	10	10	0	15	15	0
26	0,5	1,76	5	5	0	10	10	0	15	15	0
27	0,5	1,77	5	5	0	10	10	0	15	15	0

Submitted: 10/06/2025; Revised: 16/06/2025;
Accepted: 29/06/2025; Online first: 29/06/2025
https://doi.org/10.46964/poligrid.v6i1.66

No.	Is (A)	I (A)	Waktu setting (detik)	Waktu *trip* (detik)	Error (%)	Waktu setting (detik)	Waktu *trip* (detik)	Error (%)	Waktu setting (detik)	Waktu *trip* (detik)	Error (%)
28	0,5	1,78	5	5	0	10	10	0	15	15	0
29	0,5	1,79	5	5	0	10	10	0	15	15	0
30	0,5	1,8	5	5	0	10	10	0	15	15	0
31	0,5	1,81	5	5	0	10	10	0	15	15	0
32	0,5	1,82	5	5	0	10	10	0	15	15	0
33	0,5	1,83	5	5	0	10	10	0	15	15	0
34	0,5	1,84	5	5	0	10	10	0	15	15	0
35	0,5	1,85	5	5	0	10	10	0	15	15	0
36	0,5	1,86	5	5	0	10	10	0	15	15	0
37	0,5	1,87	5	5	0	10	10	0	15	15	0
38	0,5	1,88	5	5	0	10	10	0	15	15	0
39	0,5	1,89	5	5	0	10	10	0	15	15	0
40	0,5	1,9	5	5	0	10	10	0	15	15	0
41	0,5	1,91	5	5	0	10	10	0	15	15	0
42	0,5	1,92	5	5	0	10	10	0	15	15	0
43	0,5	1,93	5	5	0	10	10	0	15	15	0
44	0,5	1,94	5	5	0	10	10	0	15	15	0
45	0,5	1,95	5	5	0	10	10	0	15	15	0
46	0,5	1,96	5	5	0	10	10	0	15	15	0
47	0,5	1,97	5	5	0	10	10	0	15	15	0
48	0,5	1,98	5	5	0	10	10	0	15	15	0
49	0,5	1,99	5	5	0	10	10	0	15	15	0
50	0,5	2	5	5	0	10	10	0	15	15	0
Rata-rata error (%)					0			0			0

Tabel 10 menunjukkan hasil pengujian *overcurrent relay type constant time* pada arus *setting* (Is) 0,5 A dengan variasi waktu *setting* 5, 10, dan 15 detik. Hasil pengujian tersebut menunjukkan bahwa rata-rata error pada semua variasi waktu *setting* sebesar 0 persen. Hal ini menunjukkan bahwa alat yang dirancang bangun pada arus *setting* (Is) 0,5 A dan variasi waktu *setting* 5, 10, dan 15 detik telah sesuai dengan karakteristik *constant time* dengan rata-rata error semua variasi waktu *setting* sebesar 0 persen. Gambar Grafik hasil pengujian *overcurrent relay type constant time* pada arus *setting* (Is) 0,5 A dengan variasi waktu *setting* 5, 10, dan 15 detik bisa dilihat pada Gambar 16.

Gambar 16. Grafik hasil pengujian *overcurrent relay type constant time* pada arus *setting* (Is) 0,5 A dengan variasi waktu *setting* 5, 10, dan 15 detik

Gambar 16 menunjukkan grafik hasil pengujian *overcurrent relay type constant time* pada arus *setting* (Is) 0,5 A dengan variasi waktu *setting* 5, 10, dan 15 detik. Grafik tersebut memiliki 2 sumbu yaitu, sumbu x I dengan satuan A dan sumbu y yang menunjukkan waktu *trip* dalam satuan detik. Terdapat 3 kurva yaitu, kurva waktu *setting* 5, 10, dan 15 detik dengan warna kurva waktu *setting* 5 detik biru, 10 detik merah, dan 15 detik hijau. Kurva-kurva tersebut menunjukkan bahwa berapapun arus yang mengalir waktu *trip* yang terjadi sesuai dengan waktu *setting*nya. Hal ini menunjukkan bahwa alat yang dirancang bangun dengan arus *setting* (Is) 0,5 A dan variasi waktu *setting* 5, 10, dan 15 detik telah sesuai dengan karakteristik *constant time*.

Pengujian tahap ketiga adalah pengujian *overcurrent relay type constant time* pada arus *setting* (Is) 1 A dengan variasi waktu *setting* 5, 10, dan 15 detik. Pengujian ini dilakukan untuk

Submitted: 10/06/2025; Revised: 16/06/2025;
Accepted: 29/06/2025; Online first: 29/06/2025
https://doi.org/10.46964/poligrid.v6i1.66

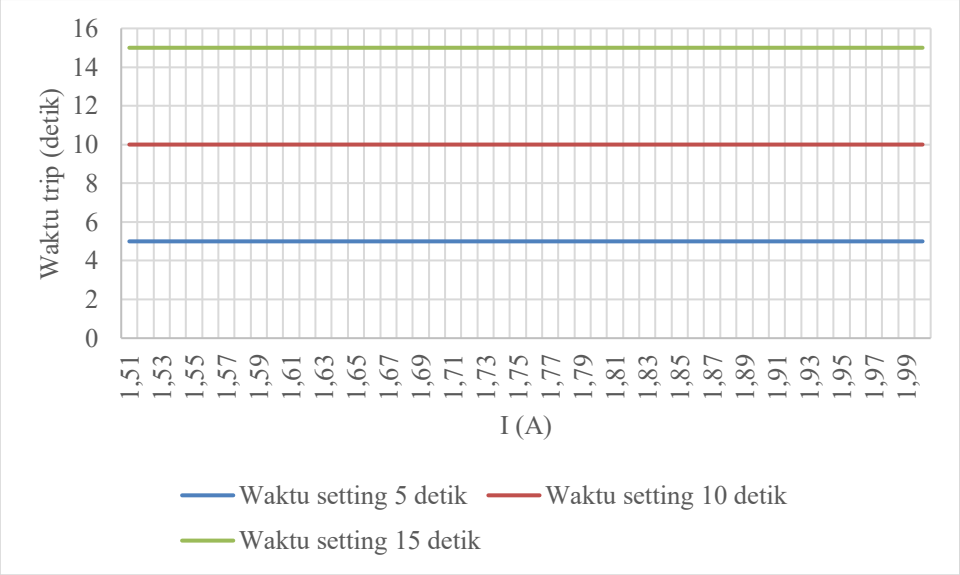
menguji alat yang dirancang bangun sesuai dengan karakteristik *constant time* dan keakuratan alat tersebut pada arus *setting* (Is) 1 A dengan variasi waktu *setting* 5, 10, dan 15 detik. Hasil pengujian *overcurrent relay type constant time* pada arus *setting* (Is) 1 A dengan variasi waktu *setting* 5, 10, dan 15 detik dapat dilihat pada Tabel 11.

TABEL11
HASIL PENGUJIAN AKURASI *OVERCURRENT RELAY TYPE CONSTANT TIME* PADA ARUS *SETTING* (IS) 1 A DENGAN WAKTU *SETTING* 5, 10, DAN 15 DETIK

No.	Is (A)	I (A)	Waktu setting (detik)	Waktu *trip* (detik)	Error (%)	Waktu setting (detik)	Waktu *trip* (detik)	Error (%)	Waktu setting (detik)	Waktu *trip* (detik)	Error (%)
1	1	1,51	5	5	0	10	10	0	15	15	0
2	1	1,52	5	5	0	10	10	0	15	15	0
3	1	1,53	5	5	0	10	10	0	15	15	0
4	1	1,54	5	5	0	10	10	0	15	15	0
5	1	1,55	5	5	0	10	10	0	15	15	0
6	1	1,56	5	5	0	10	10	0	15	15	0
7	1	1,57	5	5	0	10	10	0	15	15	0
8	1	1,58	5	5	0	10	10	0	15	15	0
9	1	1,59	5	5	0	10	10	0	15	15	0
10	1	1,6	5	5	0	10	10	0	15	15	0
11	1	1,61	5	5	0	10	10	0	15	15	0
12	1	1,62	5	5	0	10	10	0	15	15	0
13	1	1,63	5	5	0	10	10	0	15	15	0
14	1	1,64	5	5	0	10	10	0	15	15	0
15	1	1,65	5	5	0	10	10	0	15	15	0
16	1	1,66	5	5	0	10	10	0	15	15	0
17	1	1,67	5	5	0	10	10	0	15	15	0
18	1	1,68	5	5	0	10	10	0	15	15	0
19	1	1,69	5	5	0	10	10	0	15	15	0
20	1	1,7	5	5	0	10	10	0	15	15	0
21	1	1,71	5	5	0	10	10	0	15	15	0
22	1	1,72	5	5	0	10	10	0	15	15	0
23	1	1,73	5	5	0	10	10	0	15	15	0
24	1	1,74	5	5	0	10	10	0	15	15	0
25	1	1,75	5	5	0	10	10	0	15	15	0
26	1	1,76	5	5	0	10	10	0	15	15	0
27	1	1,77	5	5	0	10	10	0	15	15	0
28	1	1,78	5	5	0	10	10	0	15	15	0
29	1	1,79	5	5	0	10	10	0	15	15	0
30	1	1,8	5	5	0	10	10	0	15	15	0
31	1	1,81	5	5	0	10	10	0	15	15	0
32	1	1,82	5	5	0	10	10	0	15	15	0
33	1	1,83	5	5	0	10	10	0	15	15	0
34	1	1,84	5	5	0	10	10	0	15	15	0
35	1	1,85	5	5	0	10	10	0	15	15	0
36	1	1,86	5	5	0	10	10	0	15	15	0
37	1	1,87	5	5	0	10	10	0	15	15	0
38	1	1,88	5	5	0	10	10	0	15	15	0
39	1	1,89	5	5	0	10	10	0	15	15	0
40	1	1,9	5	5	0	10	10	0	15	15	0
41	1	1,91	5	5	0	10	10	0	15	15	0
42	1	1,92	5	5	0	10	10	0	15	15	0
43	1	1,93	5	5	0	10	10	0	15	15	0
44	1	1,94	5	5	0	10	10	0	15	15	0
45	1	1,95	5	5	0	10	10	0	15	15	0
46	1	1,96	5	5	0	10	10	0	15	15	0
47	1	1,97	5	5	0	10	10	0	15	15	0
48	1	1,98	5	5	0	10	10	0	15	15	0
49	1	1,99	5	5	0	10	10	0	15	15	0
50	1	2	5	5	0	10	10	0	15	15	0
Rata-rata error (%)					0			0			0

Tabel 11 menunjukkan hasil pengujian *overcurrent relay type constant time* pada arus *setting* (Is) 1 A dengan variasi waktu *setting* 5, 10, dan 15 detik. Hasil pengujian tersebut menunjukkan bahwa rata-rata error pada semua variasi waktu *setting*nya adalah 0 persen. Nilai ini menunjukkan bahwa alat yang dirancang bangun pada arus *setting* (Is) 1 A dengan variasi waktu *setting* 5, 10, dan 15 detik telah sesuai dengan karakteristik *constant time* dengan rata-rata error pada semua variasi waktu *setting*nya 0 persen. Gambar Grafik hasil pengujian *overcurrent relay type constant time* pada arus *setting* (Is) 0,5 A dengan variasi waktu *setting* 5, 10, dan 15 detik bisa dilihat pada Gambar 17.

Submitted: 10/06/2025; Revised: 16/06/2025;
Accepted: 29/06/2025; Online first: 29/06/2025
https://doi.org/10.46964/poligrid.v6i1.66



Gambar 17. Grafik hasil pengujian *overcurrent relay type constant time* pada arus *setting* (Is) 1 A dengan variasi waktu *setting* 5, 10, dan 15 detik

Gambar 17 menunjukkan grafik hasil pengujian *overcurrent relay type constant time* pada arus *Setting* (Is) 0,5 A dengan variasi waktu *setting* 5, 10, dan 15 detik. Grafik tersebut memiliki 2 sumbu yaitu, sumbu x I dengan satuan A dan sumbu y yang menunjukkan waktu *trip* dalam satuan detik. Terdapat 3 kurva yaitu, kurva waktu *setting* 5, 10, dan 15 detik dengan warna kurva waktu *setting* 5 detik biru, 10 detik merah, dan 15 detik hijau. Kurva-kurva tersebut menunjukkan bahwa berapapun arus yang mengalir waktu *trip* yang terjadi sesuai dengan waktu *setting*nya. Hal ini menunjukkan bahwa alat yang dirancang bangun dengan arus *setting* (Is) 1 A dan variasi waktu *setting* 5, 10, dan 15 detik telah sesuai dengan karakteristik *constant time*.

Pengujian tahap keempat adalah pengujian *overcurrent relay type constant time* pada arus *setting* (Is) 1 A dengan variasi waktu *setting* 5, 10, dan 15 detik. Pengujian ini dilakukan untuk menguji apakah alat yang dirancang bangun sesuai dengan karakteristik *constant time* dan keakuratan alat tersebut pada arus *setting* (Is) 1,5 A dengan variasi waktu *setting* 5, 10, dan 15 detik. Hasil pengujian *overcurrent relay type constant time* pada arus *setting* (Is) 1 A dengan variasi waktu *setting* 5, 10, dan 15 detik dapat dilihat pada Tabel 12.

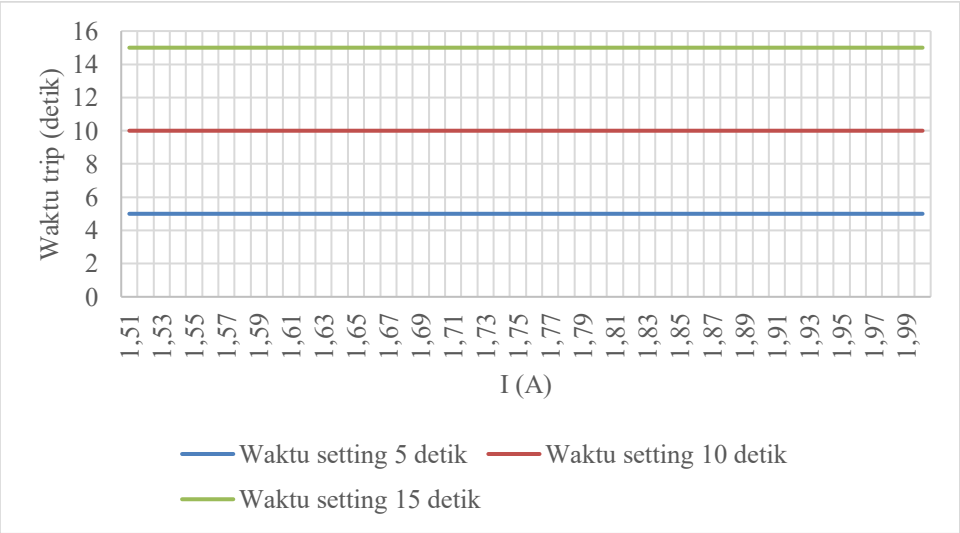
TABEL12
HASIL PENGUJIAN AKURASI *OVERCURRENT RELAY TYPE CONSTANT TIME* PADA ARUS *SETTING* (IS) 1,5 A DENGAN WAKTU *SETTING* 5, 10, DAN 15 DETIK

No.	Is (A)	I (A)	Waktu setting (detik)	Waktu *trip* (detik)	Error (%)	Waktu setting (detik)	Waktu *trip* (detik)	Error (%)	Waktu setting (detik)	Waktu *trip* (detik)	Error (%)
1	1,5	1,51	5	5	0	10	10	0	15	15	0
2	1,5	1,52	5	5	0	10	10	0	15	15	0
3	1,5	1,53	5	5	0	10	10	0	15	15	0
4	1,5	1,54	5	5	0	10	10	0	15	15	0
5	1,5	1,55	5	5	0	10	10	0	15	15	0
6	1,5	1,56	5	5	0	10	10	0	15	15	0
7	1,5	1,57	5	5	0	10	10	0	15	15	0
8	1,5	1,58	5	5	0	10	10	0	15	15	0
9	1,5	1,59	5	5	0	10	10	0	15	15	0
10	1,5	1,6	5	5	0	10	10	0	15	15	0
11	1,5	1,61	5	5	0	10	10	0	15	15	0
12	1,5	1,62	5	5	0	10	10	0	15	15	0
13	1,5	1,63	5	5	0	10	10	0	15	15	0
14	1,5	1,64	5	5	0	10	10	0	15	15	0
15	1,5	1,65	5	5	0	10	10	0	15	15	0
16	1,5	1,66	5	5	0	10	10	0	15	15	0
17	1,5	1,67	5	5	0	10	10	0	15	15	0
18	1,5	1,68	5	5	0	10	10	0	15	15	0
19	1,5	1,69	5	5	0	10	10	0	15	15	0
20	1,5	1,7	5	5	0	10	10	0	15	15	0
21	1,5	1,71	5	5	0	10	10	0	15	15	0
22	1,5	1,72	5	5	0	10	10	0	15	15	0
23	1,5	1,73	5	5	0	10	10	0	15	15	0
24	1,5	1,74	5	5	0	10	10	0	15	15	0
25	1,5	1,75	5	5	0	10	10	0	15	15	0

Submitted: 10/06/2025; Revised: 16/06/2025;
Accepted: 29/06/2025; Online first: 29/06/2025
https://doi.org/10.46964/poligrid.v6i1.66

No.	Is (A)	I (A)	Waktu setting (detik)	Waktu *trip* (detik)	Error (%)	Waktu setting (detik)	Waktu *trip* (detik)	Error (%)	Waktu setting (detik)	Waktu *trip* (detik)	Error (%)
26	1,5	1,76	5	5	0	10	10	0	15	15	0
27	1,5	1,77	5	5	0	10	10	0	15	15	0
28	1,5	1,78	5	5	0	10	10	0	15	15	0
29	1,5	1,79	5	5	0	10	10	0	15	15	0
30	1,5	1,8	5	5	0	10	10	0	15	15	0
31	1,5	1,81	5	5	0	10	10	0	15	15	0
32	1,5	1,82	5	5	0	10	10	0	15	15	0
33	1,5	1,83	5	5	0	10	10	0	15	15	0
34	1,5	1,84	5	5	0	10	10	0	15	15	0
35	1,5	1,85	5	5	0	10	10	0	15	15	0
36	1,5	1,86	5	5	0	10	10	0	15	15	0
37	1,5	1,87	5	5	0	10	10	0	15	15	0
38	1,5	1,88	5	5	0	10	10	0	15	15	0
39	1,5	1,89	5	5	0	10	10	0	15	15	0
40	1,5	1,9	5	5	0	10	10	0	15	15	0
41	1,5	1,91	5	5	0	10	10	0	15	15	0
42	1,5	1,92	5	5	0	10	10	0	15	15	0
43	1,5	1,93	5	5	0	10	10	0	15	15	0
44	1,5	1,94	5	5	0	10	10	0	15	15	0
45	1,5	1,95	5	5	0	10	10	0	15	15	0
46	1,5	1,96	5	5	0	10	10	0	15	15	0
47	1,5	1,97	5	5	0	10	10	0	15	15	0
48	1,5	1,98	5	5	0	10	10	0	15	15	0
49	1,5	1,99	5	5	0	10	10	0	15	15	0
50	1,5	2	5	5	0	10	10	0	15	15	0
Rata-rata error (%)					0			0			0

Tabel 12 menunjukkan hasil pengujian *overcurrent relay type constant time* pada arus *setting* (Is) 0,5 dengan waktu *setting* 5, 10, dan 15 detik. Hasil pengujian tersebut menunjukkan bahwa rata-rata error pada semua variasi waktu *setting*nya adalah 0 persen. Nilai ini menunjukkan bahwa alat yang dirancang bangun pada arus *setting* (Is) 1 A dengan variasi waktu *setting* 5, 10, dan 15 detik telah sesuai dengan karakteristik *constant time* dengan rata-rata error pada semua variasi waktu *setting*nya 0 persen. Gambar Grafik hasil pengujian *overcurrent relay type constant time* pada arus *setting* (Is) 0,5 A dengan variasi waktu *setting* 5, 10, dan 15 detik bisa dilihat pada Gambar 18.



Gambar 18. Grafik hasil pengujian *overcurrent relay type constant time* pada arus *setting* (Is) 1,5 A dengan variasi waktu *setting* 5, 10, dan 15 detik

Gambar 18 menunjukkan grafik hasil pengujian *overcurrent relay type constant time* pada arus *setting* (Is) 0,5 A dengan variasi waktu *setting* 5, 10, dan 15 detik. Grafik tersebut memiliki 2 sumbu yaitu, sumbu x I dengan satuan A dan sumbu y yang menunjukkan waktu *trip* dalam satuan detik. Terdapat 3 kurva yaitu, kurva waktu *setting* 5, 10, dan 15 detik dengan warna kurva waktu *setting* 5 detik biru, 10 detik merah, dan 15 detik hijau. Kurva-kurva tersebut menunjukkan bahwa berapapun arus yang mengalir waktu *trip* yang terjadi sesuai dengan waktu *setting*nya. Hal ini menunjukkan bahwa alat yang dirancang bangun dengan arus *setting* (Is) 0,5 A dan variasi waktu *setting* 5, 10, dan 15 detik telah sesuai dengan karakteristik *constant time*.

Berdasarkan pengujian *overcurrent relay type constant time* pada tahap pertama hingga tahap keempat, dapat disimpulkan bahwa alat yang dirancang dan dibangun telah

Submitted: 10/06/2025; Revised: 16/06/2025;
Accepted: 29/06/2025; Online first: 29/06/2025
https://doi.org/10.46964/poligrid.v6i1.66

berfungsi sesuai dengan karakteristik *constant time* yang diharapkan dengan baik. Hasil pengujian secara menyeluruh menunjukkan bahwa *relay* memberikan respon waktu tetap meskipun nilai arus *overcurrent* berbeda, yang merupakan ciri utama dari tipe *constant time* tersebut. Selain itu, pengukuran dan analisis data menunjukkan rata-rata error sebesar 0 persen, yang menandakan akurasi tinggi dan konsistensi dalam performa alat selama pengujian berlangsung.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa rancang bangun *overcurrent relay* berbasis Arduino yang dirancang mampu bekerja dengan dua *mode* proteksi, yaitu *Standard Inverse* dan *Constant Time*. Pengujian akurasi menunjukkan bahwa sistem memiliki rata-rata *error* waktu *trip* di bawah 2% pada pengujian *standard inverse* dan 0% pada pengujian *constant time*, yang berarti sangat akurat dan sesuai dengan perhitungan *teoretis*. Selain itu, penggunaan modul PZEM-004T terbukti memberikan pembacaan arus yang akurat dengan rata-rata *error* hanya 0,40% dibanding alat ukur Ampere meter.

REFERENSI

[1] B. A. Wijaya, A. Ihsandi, O. Nainggolan, dan P. Murdiyat, "Rancang bangun rele arus lebih tipe inverse time dengan time multiplier setting 0,05 detik berbasis Arduino," *PoliGrid*, vol. 5, no. 1, hlm. 27–33, Jun 2024, doi: 10.46964/poligrid.v5i1.38.

[2] Arbain, R. A. Susilo, A. S. Akbar, M. Wahyu, dan M. Risky, "Arduino-based overcurrent relay design with very inverse type," *International Journal of Current Science Research and Review*, vol. 07, no. 11, hlm. 8547–8558, Nov 2024, doi: 10.47191/ijcsrr/V7-i11-41.

[3] Rusdiansyah, R. A. Susilo, A. S. Kadang, S. M. Setiaji, dan A. Ihsandi, "Design of constant time overcurrent relay single phase based on arduino uno," *International Journal of Current Science Research and Review*, vol. 07, no. 11, hlm. 8559–8565, Nov 2024, doi: 10.47191/ijcsrr/V7-i11-42.

[4] E. Fauziyah dan I. Irwanto, "Analisis sistem proteksi generator menggunakan over current relay di PT. Indonesia Power," *Jurnal Ilmiah Information Technology d'Computare*, vol. 12 no. 2, hlm. 1–9, Jul 2022.

[5] T. Aryanto dan S. Sunardiyo, "Frekuensi gangguan terhadap kinerja sistem proteksi di gardu induk 150 kv jepara," *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 5, no. 2, hlm. 107–115, Jul 2013.

[6] A. Azis, D. Irine, dan K. Febrianti, "Analisis sistem proteksi arus lebih pada Penyulang Cendana Gardu Induk Bungaran Palembang," *Jurnal Ampere*, vol. 4, no. 2, hlm. 332–344, Des 2019.

[7] M. Pujiantara *dkk.*, "Perhitungan TDS overcurrent relay menggunakan adaptive modified firefly algorithm," *Intake*, vol. 10, no. 2, hlm. 67–72, Okt 2019.

[8] F. Sirait, A. Fernanda, I. S. D. Sebayang, dan A. W. Dani, "Desain yang efektif pada sistem koordinasi rele arus lebih menggunakan logika fuzzy," *Prosiding Seminar Teknoka*, vol. 7, pp. 1–7, Des 2022.

[9] Susanna dan M. Murdianto, "Pengujian alat bantu ajar praktikum sensor dan aktuator berbasis internet of things (IoT) ESP8266 menggunakan aplikasi Blynk dan Thingspeak," *PoliGrid*, vol. 5, no. 2, hlm. 42–49, Nov 2024, doi: 10.46964/poligrid.v5i2.51.

[10] A. Yuandika dan B. N. Jati, "Sistem monitoring level air, kelembaban, dan suhu di danau Politeknik Negeri Samarinda," *PoliGrid*, vol. 4, no. 1, hlm. 1–10, Okt 2023, doi: 10.46964/poligrid.v4i1.12.

[11] M. I. Ibrahim, R. A. Wijaya, R. A. Susilo, dan P. Murdiyat, "Rancang bangun rele diferensial berbasis Arduino," *PoliGrid*, vol. 5, no. 1, hlm. 13–19, Jun 2024, doi: 10.46964/poligrid.v5i1.41.

[12] A. H. Hardiansyah, R. S. Hartati, dan Y. Divayana, "Proteksi konsleting listrik dengan memutus jarak jauh arus 3 phasa beban besar dengan kombinasi solid state relay (ssr) dan IoT Nodemcu 8266 menggunakan aplikasi blynk di sub panel Gedung Telkomsel Smart Office Renon Denpasar," *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, vol. 22, no. 1, hlm. 71, Jun 2023, doi: 10.24843/mite.2023.v22i01.p09.

Submitted: 10/06/2025; Revised: 16/06/2025;
Accepted: 29/06/2025; Online first: 29/06/2025
https://doi.org/10.46964/poligrid.v6i1.66

Multifunction Meter 3 Fasa Menggunakan Sensor PZEM-004T Berbasis NodeMCU ESP8266

Erry Yadie[1], Marson Ady Putra[2], Muhammad Zaini Aqmal[3]
[1,2,3] Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Samarinda
erryyadie@polnes.ac.id

Abstrak- Perkembangan industri modern membutuhkan sistem pemantauan daya listrik yang akurat dan *real-time*. Namun, alat ukur yang terjangkau dan mudah digunakan masih terbatas, menyulitkan pengawasan konsumsi energi. Penelitian ini bertujuan merancang *Multifunction Meter* 3 Fasa menggunakan sensor PZEM-004T berbasis NodeMCU ESP8266 untuk mengukur parameter listrik seperti tegangan, arus, daya aktif, faktor daya, dan energi. Metode penelitian meliputi perancangan hardware dengan mengintegrasikan tiga sensor PZEM-004T dan NodeMCU ESP8266, pengembangan *software* untuk pengolahan data, dan implementasi sistem monitoring jarak jauh menggunakan Blynk. Tiga sensor PZEM-004T dikonfigurasi dengan ID berbeda untuk membedakan tiap fasa. Pengujian dilakukan menggunakan beban lampu pijar 25W, 40W, dan 60W, dibandingkan dengan alat ukur standar. Hasil pengujian menunjukkan alat ini mampu mengukur dengan akurasi tinggi, eror kurang dari 5% untuk semua parameter. Sistem berhasil mengirimkan data ke Blynk, memungkinkan monitoring via *smartphone*. Kesimpulannya, *Multifunction Meter* 3 Fasa yang dikembangkan berfungsi sebagai alat ukur listrik yang handal untuk sistem 3 fasa. Alat ini memberikan pembacaan akurat untuk parameter listrik dan menyediakan fitur monitoring jarak jauh. Dengan kemampuan ini, alat menjadi solusi efektif untuk pemantauan konsumsi listrik. Pengembangan selanjutnya meliputi peningkatan mikrokontroler, penambahan sistem penyimpanan data, dan perbaikan antarmuka pengguna.

Kata kunci: Multifunction Meter 3 Fasa, PZEM-004T, ESP8266, Blynk, 3 fasa, monitoring.

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi digital telah membawa perubahan signifikan dalam bidang pengukuran listrik. Alat ukur modern kini mampu mengukur berbagai besaran listrik seperti tegangan, arus, daya, energi, dan cos phi dalam satu perangkat. Kemampuan ini sangat bermanfaat di berbagai sektor [1].

Namun, meskipun alat ukur multifungsi tersebut telah tersedia di pasaran, masih terdapat beberapa keterbatasan, khususnya dalam hal integrasi dengan teknologi Internet of Things (IoT). Beberapa penelitian sebelumnya telah mengembangkan sistem monitoring daya listrik berbasis IoT, tetapi umumnya masih terbatas pada sistem satu fasa. Di sisi lain, ada juga penelitian yang merancang alat ukur multifungsi untuk sistem tiga fasa, namun belum dilengkapi dengan fitur IoT. Hal ini menunjukkan masih adanya celah yang dapat dikembangkan lebih lanjut, khususnya dalam menciptakan alat ukur tiga fasa yang terintegrasi dengan IoT.

Berdasarkan keterbatasan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan *Multifunction Meter* 3 Fasa menggunakan sensor PZEM-004T berbasis NodeMCU. Besaran-besaran listrik tersebut akan dapat dimonitor dan dilengkapi dengan fitur *record* data dengan basis IoT *(Internet of Things).*

Keberadaan alat ini diharapkan mampu memberikan solusi bagi permasalahan pada lingkungan saat melakukan pengukuran dan dapat membuat sistem pengukuran yang terintegrasi sehingga akan memudahkan pekerja dalam melakukan pengecekan berkala ataupun pada saat pemeliharaan dan perawatan.

Submitted: 30/04/2025; Revised: 29/06/2025;
Accepted: 29/06/2025; Online first: 29/06/2025
https://doi.org/10.46964/poligrid.v6i1.57

II. LANDASAN TEORI

A. Daya Listrik

Daya listrik dapat didefinisikan sebagai laju hantaran energi listrik dalam bentuk rangkaian listrik. Pada jaringan listrik AC (*Alternating Current*) dengan bentuk gelombang sinusoidal dikenal beberapa jenis bentuk daya, diantaranya adalah, daya aktif (P), daya reaktif (Q) dan daya semu (S) [2]. Untuk rangkaian AC satu fasa, daya nyata dapat dihitung dengan rumus:

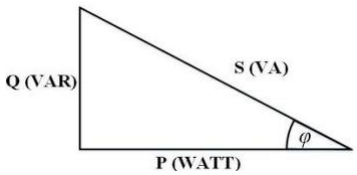
$$P = V \times I \times Cos\,\varphi \tag{1}$$

Keterangan:
P = Daya Aktif (W)
V = Tegangan (V)
I = Arus (A)
Cos φ = Faktor Daya

Faktor daya atau yang biasanya disebut cos φ adalah perbandingan antara daya aktif (Watt) dengan daya semu (VA). Berikut dengan rumus:

$$Cos\ phi = \frac{P}{V \times I} \tag{2}$$

Keterangan:
P = Daya Aktif (W)
V = Tegangan (V)
I = Arus (A)



Gambar 1. Segitiga Daya

Daya semu didefinisikan sebagai hasil perkalian dari tegangan dan arus dalam rangkaian AC tanpa memperhatikan selisih sudut fasa arus dan tegangan. Berikut persamaan daya semu:

$$S = V \times I \tag{3}$$

Keterangan:
S = Daya Semu (VA)
V = Tegangan (V)
I = Arus (A)

Daya reaktif dapat didefinisikan sebagai hasil perkalian antara tegangan dan arus serta nilai sin φ [2]. Persamaan yang digunakan untuk mendapatkan daya reaktif:

$$Q = V \times I \times Sin\ \varphi \tag{4}$$

Keterangan:
Q = Daya Reaktif (VAR)
V = Tegangan (V)
I = Arus (A)

B. Kilo Watt Hour (kWh) Meter

kWh meter sangat penting dalam proses jual beli listrik. Ada dua jenis kWh meter: untuk rumah biasa dan untuk bangunan besar. kWh meter ini menghitung berapa banyak listrik yang dipakai. Cara kerjanya menggunakan magnet yang membuat piringan aluminium berputar. kWh meter dibuat supaya bagian dalamnya bisa bergerak bebas, sehingga bisa mengukur listrik yang dipakai dalam satuan watt jam atau kilowatt jam

$$W = \frac{V \times I \times Cos\ \varphi \times t}{1000} \tag{5}$$

Keterangan:
W = Energi listrik (kWh)
V = Tegangan (volt)
I = Arus (ampere)
cosφ = Faktor daya
t = Waktu (jam)
1000 = Faktor konversi dari watt-jam ke kilowatt-jam

Di pabrik-pabrik dan rumah-rumah, pemakaian listrik dihitung pakai satuan kilowatt jam. Satu kilowatt jam itu sama dengan 3,6 MJ. Karena itu, kWh meter dipasang di pabrik dan rumah untuk mengukur listrik yang dipakai [3].

C. Modul PZEM-004T

Modul PZEM-004T merupakan modul yang dapat mengukur (*measurement*) beberapa variabel kelistrikan sekaligus seperti tegangan, arus, daya dan energi. Modul ini dapat dihubungkan dengan mikrokontroler atau perangkat serial seperti computer [4]. Untuk bentuk fisiknya dapat dilihat pada Gambar 2.

Gambar 2. Modul PZEM-004T

Modul ini dapat diprogram menggunakan berbagai jenis mikrokontroler, seperti Arduino, ESP8266, STM32, Wemos, NodeMCU, Raspberry Pi, dll, karena menggunakan komunikasi serial TTL. Untuk melakukan pengukuran, koneksi dibuat dengan menghubungkan 5V, Rx, Tx, dan Gnd antara Modul dan perangkat pengontrol [4].

D. NodeMCU ESP8266

NodeMCU ESP8266 adalah sebuah perangkat mikrokontroler yang sudah dilengkapi dengan modul WiFi ESP8266 di dalamnya. Perangkat ini sering digunakan dalam platform berbasis *Internet of Things* (IoT) yang bersifat *open source* dan juga *firmware* dengan menggunakan bahasa pemrograman *scripting* Lua Selain dengan bahasa Lua NodeMCU juga support dengan *software* Arduino IDE dengan melakukan sedikit perubahan pada *board* manager di dalam software Arduino IDE yaitu dengan menambahkah URL untuk mengunduh *board* khusus NodeMCU pada *board manager.* NodeMCU pada dasarnya dilengkapi dengan tombol *push flash*, tombol reset, serta *port micro* dan terdiri dari perangkat keras berupa *System on Chip* ESP8266 [5]. Untuk bentuk fisiknya dapat dilihat pada Gambar 3.

Gambar 3. Nodemcu Esp8266

E. Hi-Link (HLK-20M05)

Hi – Link merupakan sebuah *Converter Isolated Power Regulator Modul* di mana alat ini dapat mengubah tegangan input AC 100 ~ 240VAC menjadi tegangan 5VDC/20W dengan arus *output* maksimum 4000mA. Untuk bentuk fisiknya dapat dilihat pada Gambar 4.

Submitted: 30/04/2025; Revised: 29/06/2025;
Accepted: 29/06/2025; Online first: 29/06/2025
https://doi.org/10.46964/poligrid.v6i1.57

Gambar 4. Hi-Link (HLK-20M05)

Modul ini tergolong modul yang sangat sederhana dan relatif kecil untuk sebuah konverter tegangan dibandingkan dengan konverter tegangan yang lainnya seperti menggunakan trafo *step-down* Modul ini mempunyai 4 pin diantara 2 pin input untuk tegangan AC dan 2 pin output dalam tegangan DC. Modul ini memiliki ukuran dengan dimensi 57 mm x 33 mm x 22,5 mm.

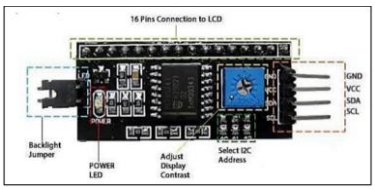
F. Liquid Crystal Display (LCD)

Liquid crystal display (LCD) adalah salah satu jenis display elektronik yang dibuat dengan teknologi CMOS *logic* yang bekerja dengan tidak menghasilkan cahaya tetapi memantulkan cahaya yang ada di sekelilingnya terhadap *front-lit* atau mentransmisikan cahaya dari *back-lit*. LCD berfungsi sebagai penampil data baik dalam bentuk karakter, huruf, angka ataupun grafik [6]. Untuk bentuk fisik LCD 20x4 dapat dilihat pada Gambar 5.

Gambar 5. *Liqud crystal display* (LCD) 20x4 [6].

G. Modul I2C LCD

I2C LCD adalah modul LCD yang dikendalikan secara serial sinkron dengan protokol I2C/IIC (*Inter Integrated Circuit*) atau TWI (*Two Wire Interface*). I2C/TWI LCD, dipakai untuk mengurangi penggunaan kaki di LCD. Modul ini memiliki 4 pin yang akan dihubungkan ke Arduino. Arduino uno sudah mendukung komunikasi I2C dengan Modul I2C lcd, maka dapat mengkontrol LCD Karakter 16x2 dan 20x4 hanya menggunakan 2 Pin yaitu Analog Input Pin 4 (SDA) dan Analog *Input* Pin 5 (SCL) [6]. Untuk bentuk fisik modul I2C LCD dapat dilihat pada Gambar 6.

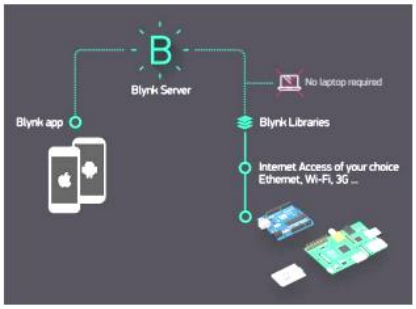


Gambar 6. Modul I2C LCD *[7]*.

Modul LCD pada normalnya dikendalikan secara paralel baik untuk jalur data maupun kontrolnya. Namun jalur paralel akan memakan banyak pin di sisi kontroller (misal Arduino, komputer, dll). Setidaknya akan membutuhkan 6 atau 7 pin untuk mengendalikan sebuah modul LCD. Dengan demikian untuk sebuah kontroller yang harus mengendalikan banyak I/O, menggunakan jalur paralel adalah solusi yang kurang tepat. Modul I2C *converter* diperlihatkan pada Gambar 2.7 ini menggunakan chip ICPCF8574 produk dari NXP sebagai kontrolernya. IC ini adalah sebuah 8 bit I/O *expander for* I2C bus yang pada dasarnya adalah sebuah *shift register* [7].

H. Aplikasi Blynk

Blynk adalah aplikasi untuk iOS dan OS Android untuk mengontrol Arduino, NodeMCU, Raspberry Pi dan sejenisnya melalui Internet. Aplikasi ini dapat digunakan untuk mengendalikan perangkat *hardware*, menampilkan data sensor, menyimpan data, visualisasi, dan lain-lain. Berikut konektivitas Blynk dapat dilihat pada Gambar 7.



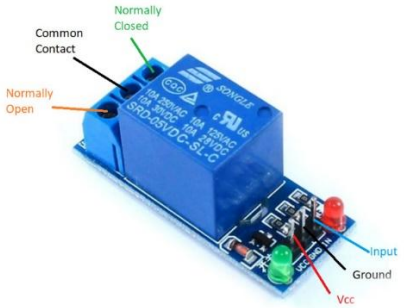
Gambar 7. Konektivitas Blynk

Aplikasi Blynk memiliki 3 komponen utama, yaitu Aplikasi, Server, dan *Libraries*. Blynk server berfungsi untuk menangani semua komunikasi diantara *smartphone* dan *hardware*. *Widget* yang tersedia pada Blynk diantaranya adalah *Button*, *Value Display*, *History Graph*, Twitter, dan Email. Blynk tidak terikat dengan beberapa jenis mikrokontroler namun harus didukung *hardware* yang dipilih. NodeMCU dikontrol dengan Internet melalui WiFi, chip ESP8266, Blynk akan dibuat *online* dan siap untuk *Internet of Things* (IoT) [8].

I. Modul Relay

Istilah *relay* mengacu pada sakelar yang diaktifkan oleh sinyal. Elektromagnet (*Coil*) dan Mekanik (satu set kontak saklar/*switch*) adalah dua bagian utama dari komponen elektro mekanis ini. Prinsip Elektromagnetik digunakan oleh *relay* untuk menggerakkan kontak saklar, memungkinkan mereka untuk menghantarkan listrik tegangan lebih besar dengan arus listrik rendah (daya rendah) [9]. Untuk bentuk fisik dapat dilihat pada Gambar 8.

Submitted: 30/04/2025; Revised: 29/06/2025;
Accepted: 29/06/2025; Online first: 29/06/2025
https://doi.org/10.46964/poligrid.v6i1.57



Gambar 8. Modul *relay* 1 *channel*

J. Internet of Things (IoT)

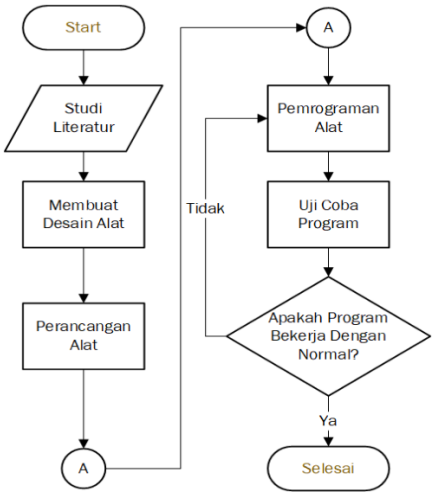
Internet of Things atau IoT adalah sebuah istilah yang dimaksudkan dalam penggunaan internet yang lebih besar, mengadopsi komputasi yang bersifat *mobile* dan konektivitas kemudian menggabungkannya kedalam kehidupan sehari-hari. IoT berkaitan dengan DoT (*Disruption of Things*) dan sebagai pengantar perubahan atau transformasi penggunaan internet dari sebelumnya *Internet of People* menjadi *Internet of* M2M (*Maching-to-Machine*) [10].

Gambar 9. Illustrasi IoT [11].

III. Metode Penelitian

A. Diagram Alir (Flowchart) Proses Perancangan

Langkah-langkah perancangan yang dilakukan yaitu meliputi beberapa tahap, dimulai dengan perencanaan dan persiapan alat serta bahan yang diperlukan. Untuk *flowchart* Diagram alir dapat dilihat pada Gambar 10.

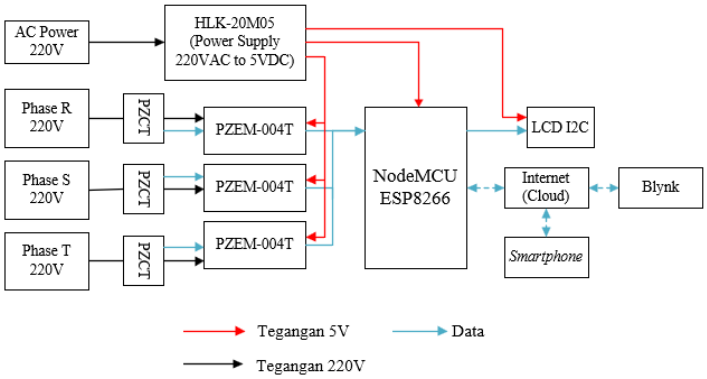


Gambar 10 Diagram alir (*flowchart*) penyelesaian penelitian

Langkah-langkah perancangan yang dilakukan yaitu meliputi beberapa tahap, dimulai dengan perencanaan dan persiapan alat serta bahan yang diperlukan. Untuk mempermudah dalam pembuatan alat tersebut, penulis menggunakan laptop untuk pembuatan desain produk serta widget tampilan monitoring pada Blynk yang akan dibuat. Setelah itu dilanjutkan ke tahap pembuatan alat tersebut, dilengkapi dengan pemrograman pada Arduino IDE dan pengalamatan virtual pin pada Blynk. Program yang dibuat meliputi NodeMCU ESP8266.

B. Diagram Blok Sistem

Diagram blok dibuat untuk mempermudah mengetahui sistem alat ini bekerja. Diagram blok untuk alat yang dibuat dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Diagram blok sistem

Alat ini merupakan sistem pengukuran besaran listrik 3 fasa yang terintegrasi dengan Internet of Things (IoT). Menggunakan NodeMCU ESP8266 sebagai otak utamanya, alat ini membaca data dari tiga sensor PZEM yang terhubung ke masing-masing fasa listrik. Secara bergantian, alat mengukur parameter listrik seperti tegangan, arus, daya, energi, frekuensi, dan faktor daya untuk setiap fasa. Informasi ini kemudian ditampilkan pada layar LCD I2C 20x4 yang dapat diubah tampilan per fasanya melalui tombol.

Untuk konektivitas, alat ini terhubung ke jaringan WiFi dan menggunakan platform Blynk untuk fungsionalitas IoT-nya. Data pengukuran dikirimkan secara berkala ke Blynk, berfungsi untuk memonitor pengukuran sensor PZEM dari jarak jauh.

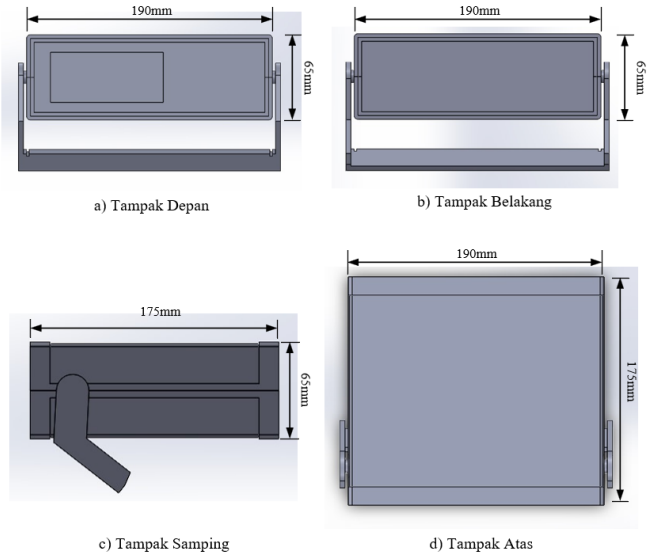
Dalam operasinya, sensor PZEM terus-menerus memperbarui data pengukuran, data diproses oleh NodeMCU ESP8266 untuk dikirim ke tampilan LCD, dan berkomunikasi dengan Blynk. Pengguna dapat berinteraksi dengan alat melalui tombol fisik untuk mengubah tampilan LCD atau melalui aplikasi Blynk untuk melihat data pengukuran, *datastream* grafik Blynk dapat dimanfaatkan untuk melihat hasil data lampau.

C. Desain Alat Rancangan

Untuk memberikan pandangan mengenai alat yang dihasilkan, direncanakan pembuatan desain menggunakan aplikasi SolidWorks. Aplikasi ini memungkinkan pembuatan

Submitted: 30/04/2025; Revised: 29/06/2025;
Accepted: 29/06/2025; Online first: 29/06/2025
https://doi.org/10.46964/poligrid.v6i1.57

model tiga dimensi yang lebih mendalam. Dengan menggunakan desain 3D, diharapkan pemahaman mengenai bentuk dan fungsi alat ini menjadi lebih jelas, serta memfasilitasi proses implementasi yang lebih lancar. Untuk ukuran desain alat rancangan dapat dilihat pada Gambar 12.

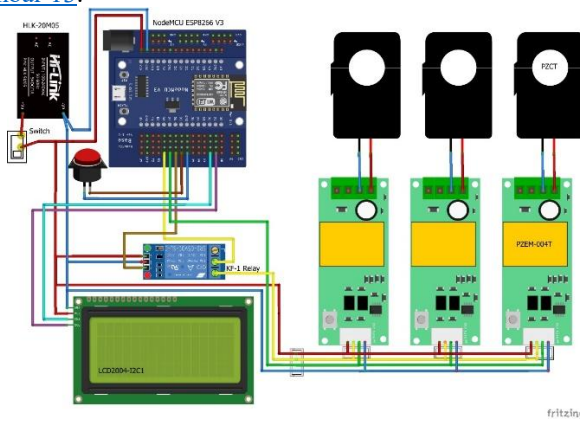


Gambar 12. Desain tiga dimensi alat rancangan

Pada Gambar 12. merupakan design box tiga dimensi dari berbagai sudut pandang, tampak depan, tampak belakang, tampak samping, dan tampak atas, dengan ukuran panjang 190mm, tinggi kotak 65mm, dan lebar 175mm. Gambar tersebut akan menjadi representasi visual yang konkret dari rencana desain yang telah disusun.

D. Perancangan Sistem

Pada proses perancangan rangkaian sistem ini dibuat dengan tujuan agar mempermudah pada saat ingin merangkai secara langsung pada komponen yang akan digunakan. Berikut wiring diagram *Multifunction Meter* 3 fasa dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13. *Wiring* diagram *Multifunction Meter* 3 Fasa

Melalui modul ESP8266 yang terintegrasi dengan Wi-Fi, NodeMCU memungkinkan untuk terhubung ke jaringan dan berkomunikasi dengan perangkat lain, termasuk mengirim data ke aplikasi Blynk untuk monitoring jarak jauh.

PZEM-004T berfungsi sebagai sensor pembaca tegangan, arus, daya, dan energi yang terhubung ke beban listrik. Sensor ini mendapat supply tegangan dari jala-jala PLN 220V. PZCT dari PZEM-004T yang dimasukkan pada salah satu kabel beban listrik berfungsi sebagai pembaca arus dari beban. Nilai pembacaan besaran listrik PZEM-004T akan dikirimkan ke ESP8266 sebagai pengontrol utama. Dalam rangkaian ini, terdapat tiga unit PZEM-004T untuk mengukur tiga fasa listrik secara terpisah dan akan diproses oleh NodeMCU yang telah diprogram agar dapat membaca ketiga PZEM-004T sekaligus.

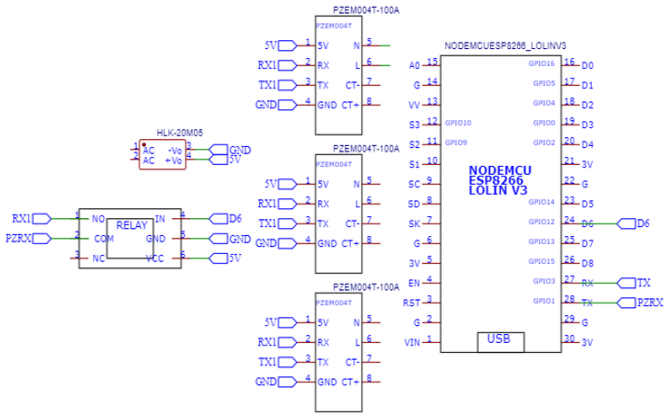
LCD I2C yang terhubung NodeMCU ESP8266 berfungsi sebagai tampilan output yang menampilkan informasi atau data yang dihasilkan. Melalui modul I2C, NodeMCU mengirimkan data yang akan ditampilkan pada LCD, seperti hasil perhitungan besaran listrik dari ketiga PZEM-004T. LCD 20x4 karakter ini memungkinkan tampilan yang cukup detail untuk setiap fasa dan total pengukuran.

Modul *Relay* yang terhubung oleh NodeMCU berfungsi sebagai saklar yang dapat memutuskan dan menghubungkan aliran pin Rx dari PZEM-004T ke NodeMCU. Tujuannya adalah untuk menghindari konflik pada pin Rx dan memastikan komunikasi yang lancar antara PZEM-004T dan NodeMCU, terutama saat sistem melakukan boot atau reset.

Hi-Link (HLK-20M05) berfungsi sebagai sumber tegangan catu daya untuk NodeMCU ESP8266, PZEM-004T, LCD I2C, dan Modul *Relay*. Hi-Link adalah modul catu daya dengan arus bolak-balik atau arus searah berukuran kecil dan efisien, yang mengkonversi tegangan AC dari jala-jala listrik menjadi DC 5V yang dibutuhkan oleh komponen-komponen elektronik dalam sistem.

E. Perancangan PZEM-004T

Modul sensor PZEM-004T merupakan salah satu komponen penting dalam sistem ini. Modul ini mampu mengukur berbagai parameter listrik seperti tegangan, arus, daya, energi, frekuensi, dan faktor daya. Sebelum diintegrasikan ke dalam sistem, modul PZEM-004T perlu diuji untuk memastikan fungsinya berjalan dengan baik. Berikut adalah rangkaian skematik koneksi PZEM-004T yang dapat dilihat pada Gambar 14.

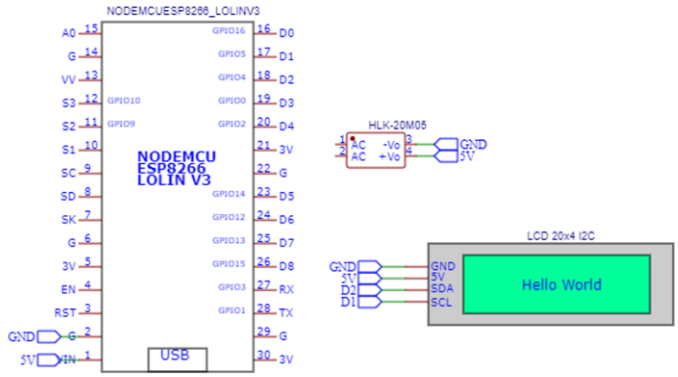


Gambar 14. Skematik sensor PZEM-004T

Submitted: 30/04/2025; Revised: 29/06/2025;
Accepted: 29/06/2025; Online first: 29/06/2025
https://doi.org/10.46964/poligrid.v6i1.57

F. Perancangan LCD dan Modul I2C

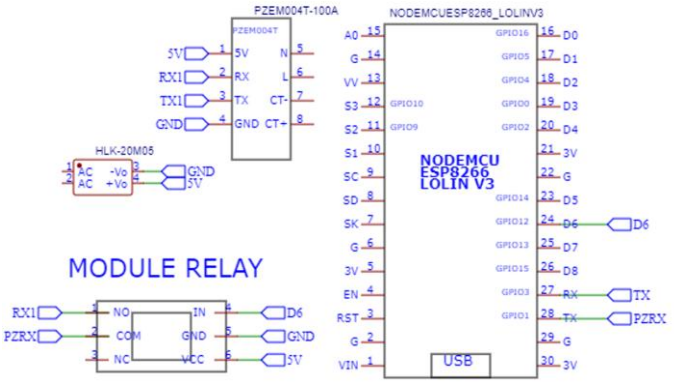
Tampilan atau display adalah salah satu hal yang penting untuk menampilkan data pengukuran yang digunakan dalam sistem perancangan ini. Dalam perancangan ini, LCD 20x4 dengan modul I2C digunakan untuk menampilkan informasi pengukuran dari sensor PZEM-004T. Sebelum diintegrasikan ke dalam sistem utama, LCD dan modul I2C harus dipastikan dapat berfungsi dengan baik. Berikut rangkaian skematik LCD 20x4 dengan modul I2C dapat dilihat pada Gambar 15.



Gambar 15. Skematik LCD I2C

G. Perancangan Modul Relay

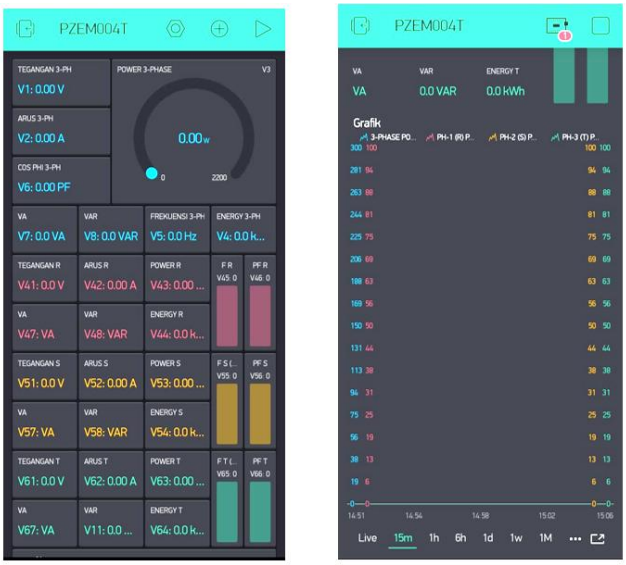
Komunikasi antara sensor PZEM-004T dan NodeMCU ESP8266 merupakan aspek kritis. Untuk menghindari konflik komunikasi saat sistem melakukan reset, sebuah modul *relay* digunakan untuk memutus dan menghubungkan kembali jalur komunikasi Rx dari PZEM ke NodeMCU. Perancangan ini bertujuan untuk memastikan inisialisasi yang bersih dan mencegah potensi konflik data saat sistem mulai beroperasi. Berikut rangkaian skematik penggunaan modul *relay* untuk mengontrol koneksi pin Rx dapat dilihat pada Gambar 16.



Gambar 16. Skematik modul *relay*

H. Perancangan Aplikasi Blynk

Perancangan sistem pada *smartphone* menggunakan Aplikasi Blynk Legacy digunakan sebagai antarmuka pengguna untuk memvisualisasikan data pengukuran secara real-time melalui perangkat mobile. Berikut adalah tampilan dashboard Blynk untuk sistem perancangan PZEM-004T, dapat dilihat pada Gambar 17.



Gambar 17. Tampilan *dashboard* dan *widget* Blynk di *smartphone*

Dalam implementasinya, koneksi ke server Blynk dilakukan menggunakan kode program. Serta koneksi antara NodeMCU ESP8266 agar data dapat dikirim ke Blynk.

IV. Hasil dan Pembahasan

A. Pengujian Hi-Link (HLK-20M05)

HLK-20M05 yaitu mengubah tegangan AC menjadi DC dengan output tegangan stabil 5VDC dan output arus maksimum 4000mA pengujian ini diperlukan untuk sumber tegangan yang diperlukan pada alat rancangan *Multifunction Meter* 3 fasa. HLK20M05 tersebut menggunakan sumber tegangan dari PLN yang berdasarkan pengukuran bernilai 231,2 VAC. Berdasarkan hasil pengujian, tegangan AC yang dikonversi menjadi tegangan DC mendapatkan hasil 5,0 VDC. Hasil tegangan DC ini akan meyuplai input pada NodeMCU ESP8266, LCD I2C, PZEM-004T, dan *Relay*. Untuk hasil pengujian HLK20M05 dapat dilihat di Gambar 18.

Gambar 18. Hasil pengujian tegangan keluar HLK-20M05

Hasil pengujian HLK-20M05 ini menunjukkan bahwa tegangan AC dari sumber PLN dengan nilai 231,2 VAC

Submitted: 30/04/2025; Revised: 29/06/2025;
Accepted: 29/06/2025; Online first: 29/06/2025
https://doi.org/10.46964/poligrid.v6i1.57

berhasil dikonversi menjadi tegangan DC dengan hasil 5 VDC dan stabil pada nilai tersebut walau pun tegangan input AC nya berubah-ubah.

B. Pengujian Sensor PZEM-004T

Pengujian pada sensor 3 buah PZEM-004T dilakukan bertujuan untuk mengetahui tingkat accuracy dari modul, Dengan membandingkan sensor PZEM-004T pengukuran tegangan dan arus dengan multimeter true rms yang kemudian akan dilihat nilai eror pada sensor PZEM-004T tersebut. Untuk pengujian pengukuran dapat dilihat pada Gambar 19.

Gambar 19. Pengujian sensor PZEM ID 1 beban lampu pijar 60W

Pengujian dilakukan dengan menggunakan lampu pijar 60W. Hasil pengukuran besaran listrik sensor PZEM-004T ditampilkan melalui LCD I2C.

C. Pengujian Tampilan LCD dengan I2C

Pengujian terhadap tampilan LCD dilakukan untuk memastikan bahwa tampilan karakter sesuai dengan program yang sudah dibuat. Hasil pengujian tampilan LCD 20x4 dilengkapi dengan modul I2C untuk dapat dilihat pada Gambar 20.

Gambar 20. Hasil Pengujian LCD I2C

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, tampilan pada layar LCD berhasil menampilkan tulisan karakter sesuai dengan instruksi yang telah ditulis di dalam kode program.

D. Pengujian Modul Relai

Pengujian *relay* dilakukan untuk mengetahui kemampuannya dalam menyambung dan memutus aliran listrik sesuai dengan sinyal kontrol yang diberikan sehingga dapat dipastikan *relay* tersebut berfungsi dengan baik sebelum diimplementasikan ke dalam rancangan. Pengujian ini juga dimaksudkan untuk menilai kecepatan reaksi *relay* sesuai dengan instruksi yang telah diprogram. Hasil pengujian *relay* dapat dilihat pada Gambar 21.

Gambar 21. Pengujian *relay* on

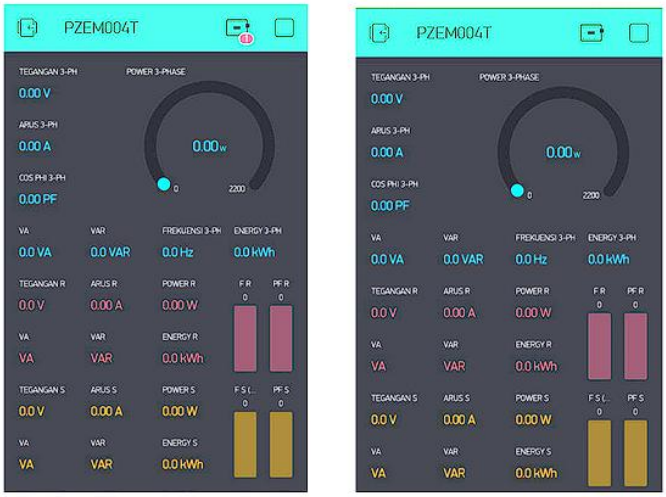
Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan *relay* dapat berfungsi sesuai dengan sinyal kontrol yang telah diberikan, dimana jika dalam keadaan terhubung maka lampu indikator berwarna merah pada *relay* akan menyala dan menyambung jalur Rx PZEM-004T ke NodeMCU ESP8266.

Respon modul *relay* juga telah sesuai dengan kode program yang diberikan yaitu dengan waktu delay 5 detik setelah sistem diaktifkan, pada *Normally Open* (NO) modul *relay* digunakan untuk memutus dan menghubungkan kembali jalur komunikasi Rx dari PZEM ke Tx NodeMCU. Untuk menghindari konflik pada pin Rx dan memastikan komunikasi yang lancar antara PZEM-004T dan NodeMCU, terutama saat sistem melakukan boot atau reset.

E. Pengujian Konektivitas Jaringan Internet

Proses pengujian konektivitas internet untuk perangkat ini menggunakan WiFi *Access Point*. Pengujian dilakukan dengan menghubungkan ESP8266 ke WiFi melalui *Access Point* dan menulis program di Arduino IDE. Dalam pengujian ini, Pengujian ini akan menunjukkan status koneksi antara aplikasi Blynk dan mikrokontroler NodeMCU ESP8266 dapat dilihat pada Gambar 22.

Submitted: 30/04/2025; Revised: 29/06/2025;
Accepted: 29/06/2025; Online first: 29/06/2025
https://doi.org/10.46964/poligrid.v6i1.57



a) Blynk *Offline* b) Blynk *Online*

Gambar 22. Status koneksi antara Blynk dan ESP8266

Pada Gambar 22. a) Blynk *Offline* menunjukkan bahwa tidak ada komunikasi antara server Blynk dan mikrokontroler, yang ditandai dengan munculnya tanda peringatan merah pada simbol papan di pojok kanan atas aplikasi Blynk. Aplikasi Blynk yang offline biasanya terjadi karena mikrokontroler NodeMCU ESP8266 tidak terhubung ke server internet, sehingga mikrokontroler tidak dapat mengirimkan data sensor ke aplikasi Blynk. Kondisi offline ini juga bisa terjadi tiba-tiba ketika WiFi yang terhubung dengan mikrokontroler NodeMCU ESP8266 kehilangan akses data akibat gangguan sinyal atau koneksi internet yang buruk.

Pada Gambar 22. b) Blynk *Online* menunjukkan tampilan Blynk ketika komunikasi antara server Blynk dan mikrokontroler ESP8266 terhubung. Komunikasi ini akan diperbarui setiap sekitar 5 detik. Dalam keadaan online, aplikasi Blynk dapat memantau hasil pengukuran pada sensor PZEM-004T. Ketika dalam kondisi online, indikator merah pada simbol board di aplikasi Blynk akan hilang, menandakan bahwa mikrokontroler dan aplikasi Blynk di *smartphone* telah terhubung dengan jaringan internet.

F. Pengujian Sistem

Perancangan sistem adalah deskripsi menyeluruh dari rancangan keseluruhan sistem, termasuk penggunaan perangkat lunak dan perangkat keras, dengan tujuan membantu penulis dalam mengenali masalah-masalah yang mungkin timbul saat sistem dioperasikan

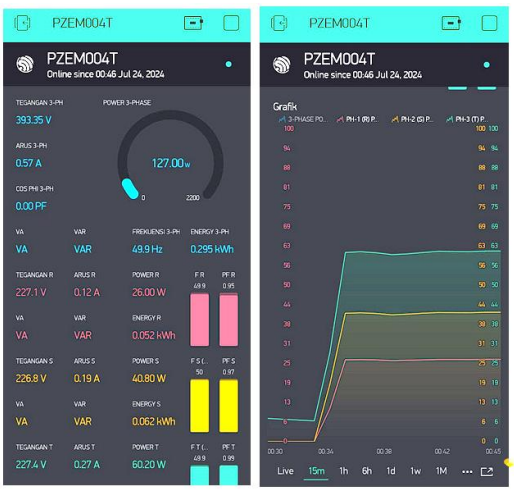
Setelah alat rancangan yang dibuat mampu menampilkan berbagai parameter listrik dan terhubung jaringan internet, alat akan diuji dengan beban Lampu Pijar 25Watt, Lampu Pijar 40Watt dan Lampu Pijar 60Watt. Selain itu, hasil pengukuran dari alat rancangan ini juga akan dibandingkan dengan hasil dari alat ukur listrik yang sudah terstandarisasi. Berikut adalah hasil pengukuran alat rancangan dan alat ukur standar dapat dilihat pada Tabel 1.

TABEL 1
PENGUKURAN ALAT RANCANGAN DAN ALAT UKUR STANDAR

Jenis Beban	Besaran Listrik	Alat Ukur Standar			Alat Rancangan (Sensor PZEM-004T)		
		Fasa R	Fasa S	Fasa T	Fasa R	Fasa S	Fasa T
Lampu Pijar 25 W	Tegangan (V)	231,2	233,7	238,5	231,1	233,2	237,9
Lampu Pijar 40 W		238,8	238,2	233,9	237,8	237,6	234,1
Lampu Pijar 60 W		238,8	238,2	238,4	238,1	237,7	237,8
Lampu Pijar 25 W	Arus (A)	0,120	0,119	0,123	0,118	0,120	0,122
Lampu Pijar 40 W		0,186	0,188	0,185	0,186	0,188	0,187
Lampu Pijar 60 W		0,271	0,271	0,271	0,270	0,271	0,273
Lampu Pijar 25 W	Daya (W)	26,36	26,14	27,87	26,1	26,7	27,7
Lampu Pijar 40 W		43,53	43,89	42,41	43,2	43,7	42,8
Lampu Pijar 60 W		64,07	63,91	63,31	63,4	63,8	64,1

G. Pengujian AplikasI Blynk

Pengujian aplikasi Blynk dengan menampilkan hasil pengukuran sensor PZEM-004T akan dilakukan selama 15 menit. Untuk pengujian tampilan Blynk dapat dilihat pada Gambar 23.



Gambar 23. Tampilan monitoring Blynk

Submitted: 30/04/2025; Revised: 29/06/2025;
Accepted: 29/06/2025; Online first: 29/06/2025
https://doi.org/10.46964/poligrid.v6i1.57

H. Perhitungan % Eror Alat Rancangan dengan Alat Ukur

Berdasarkan Tabel 1 dapat dihitung persentase eror/kesalahan dengan membandingkan nilai pada sensor PZEM-004T dan alat ukur standar. Berikut hasil menentukan % eror dapat dilihat pada Tabel 2.

TABEL 2
EROR ALAT RANCANGAN TERHADAP ALAT UKUR STANDAR

JENIS BEBAN	% Eror								
	Tegangan (%) Alat Rancangan			Arus (%) Alat Rancangan			Daya (%) Alat Rancangan		
	R	S	T	R	S	T	R	S	T
Lampu Pijar 25W	0,04	0,21	0,25	1,67	0,84	0,81	1,0	2,1	0,6
Lampu Pijar 40W	0,42	0,25	0,09	0,00	0,00	1,08	0,8	0,4	0,9
Lampu Pijar 60W	0,29	0,21	0,25	0,37	0,00	0,74	1,0	0,2	1,2
Rata-rata	**0,22**			**0,61**			**0,92**		

Berdasarkan Tabel 2 tingkat % eror dari *Multifunction Meter* 3 fasa ini menunjukkan nilai yang cukup kecil dan masih berada dalam batas wajar. Batas kewajaran atau toleransi kesalahan untuk sebuah alat ukur biasanya berkisar antara 0.1% hingga 5%, tergantung pada penggunaan alat tersebut, hasil penelitian rata-rata tingkat kesalahan tegangan sebesar 0,22%, Arus 0,61%, daya 0,92%. Persentase kesalahan terendah ditemukan saat membandingkan nilai frekuensi antara alat ukur yang terstandarisasi dan alat rancangan. Hal ini juga bisa terjadi karena beban yang digunakan tidak terlalu besar. Sementara itu, tingkat kesalahan tertinggi terjadi saat membandingkan nilai daya sebesar 0,92% total rata-rata kesalahan.

V. KESIMPULAN

Setelah melakukan perancangan, pembuatan, dan pengujian alat serta dari data yang didapat hasil pengukuran serta hasil pengujian keseluruhan sistem, dapat disimpulkan bahwa *Multifunction Meter* 3 fasa menggunakan tiga sensor PZEM-004T yang diintegrasikan dengan NodeMCU ESP8266 telah berhasil dirancang dan diimplementasikan, dapat mengukur berbagai besaran listrik serta hasilnya dapat dimonitoring jarak jauh melalui aplikasi Blynk Legacy dengan fitur *record* data melalui grafik. Alat bekerja dengan mengumpulkan data dari tiga sensor PZEM-004T, memproses data melalui NodeMCU ESP8266, menampilkan data pada LCD I2C, dan mengirimkan data ke Blynk. Hasil pengujian menunjukkan tingkat kesalahan pengukuran rata-rata untuk tegangan 0,22%, arus 0,61%, daya 0,92% dengan kesalahan tertinggi terjadi pada pengukuran daya sebesar 0,92%, menunjukkan sensor PZEM-004T memiliki akurasi yang tinggi.

REFERENSI

[1] D. S. Naga, Thomas, dan R. Arto, "Perancangan dan implementsi alat ukur daya listrik arus bolak-balik satu fasa berbasis personal computer," *TESLA, Jurnal Teknik Elektro,* vol. 8, no. 1, p. 29.

[2] I. S. Hudan dan T. Rijianto, "Rancang bangun sistem monitoring dayalistrik pada kamar kos berbasis internet of things (IoT)," *Jurnal Teknik Elektro Unesa,* vol. 08, no. 01, pp. 92-93, 2019.

[3] M. C. Pujianto, I. Winarno, dan D. Rahmatullah, "Smart meter dan pengontrol penggunaan energi listrik berdasarkan smart relay dengan komunikasi ethernet dan wireless," *Media Elektrika,* vol. 14, no. 2, p. 89, 2021.

[4] E. Kurniawan, D. S. Pangaudi, dan E. NugrohoWidjatmoko, "Perancangan sistem monitoring konsumsi daya listrik berbasis Android," *Cyclotron : Jurnal TeknikElektro,* vol. 5, no. 01, p. 65, 2022.

[5] Darso, M. H. A. Hudry, F. Fathoni, Y. Ulkhaq, P. T. R. Wijaya, dan M. A. H, "Perancangan sistem pendeteksi dan monitoring ketinggian air berbasis IoT menggunakan NodeMCU ESP8266," *Storage –Jurnal Ilmiah Teknik dan Ilmu Komputer,* vol. 2, no. 3, pp. 87-93, 2023.

[6] M. Natsir, D. B. Rendra, dan A. D. Y. Anggara, "Implementasi IoT untuk sistem kendali AC otomatis pada ruang kelas di Universitas Serang Raya," *Jurnal Prosisko,* vol. 6, no. 1, p. 72, 2019.

[7] H. Suryantoro dan A. Budiyanto, "Prototype sistem monitoring levelair berbasis Labview& Arduino sebagai sarana pendukung praktikum instrumentasi sistem kendali," *Indonesian Journal of LaboratorY,* vol. 1, no. 3, pp. 22-23, 2019.

[8] M. Artiyasa, A. N. Rostini, Edwinanto, dan A. P. Junfithrana, "Aplikasi smart home NodeMCU IoT untuk Blynk," *Jurnal Rekayasa Teknologi Nusa Putra,* vol. 7, no. 1, p. 3, 2020.

[9] M. Anugrah dan M. Jamaaluddin, "Alat ukur listrik pintar dan saklar jarak jauh pada rumah kost," *SinarFe7 : Forum Pendidikan Tinggi Teknik Elektro Indonesia Regional VII,* p. 93.

[10] M. Natsir, D. B. Rendra, dan A. D. Y. Anggara, "Implementasi IoT untuk sistem kendali AC otomatis pada ruang kelas di Universitas Serang Raya," *Jurnal Prosisko,* vol. 6, no. 1, pp. 70-71, 2019.

[11] A. F. Nurzaman, "Mari mengenal apa itu internet of thing (IoT)," BINUS University School Of Information Systems, 29 Juli 2019. [Online]. Available: https://sis.binus.ac.id/2019/07/29/mari-mengenal-apa-itu-internet-of-thing-iot/. [Accessed 19 Juli 2024].

[12] T. Sulistyorini, N. Sofi, dan E. Sova, "Pemanfaatan NodeMCU ESP8266 berbasis Android (Blynk) Sebagai alat alat mematikan dan menghidupkan lampu," *JUIT : Jurnal Ilimiah Teknik ,* vol. 1, no. 3, p. 45, 2022.

[13] D. A. Rantetasak dan I. R. Nasir, "Sistem monitoring pemakaian daya listrik berbasis internet of things (IoT)," Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar, 2020.

[14] Peacefair Electronic, "PZEM-004T Voltage Current Watt Meter Single Phase Small AC Voltmeter TTL Modbus Electric Energy Meters No outcase," Peacefair Electronic, 07 Maret 2023. [Online]. Available: http://en.peacefair.cn/products/3487.html. [Accessed 18 Juli 2024.

[15] Ktechnics, "AC 100A PZCT 02 Split Coil Current Transformer," Ktechnics, 2024. [Online]. Available: https://ktechnics.com/product/ac-0-100a-pzct-02-split-coil-current-transformer/. [Accessed 18 Juli 2024].

[16] D. Suprianto, "Pengantar microcontroller dengan NodeMCU ESP8266–12E," Medium, 16 Agustus 2021. [Online]. Available: https://medium.com/@doditsuprianto/pengantar-microcontroller-dengan-nodemcu-esp8266-12e-93c7c3ca80ae. [Accessed 18 Juli 2024].

Submitted: 30/04/2025; Revised: 29/06/2025;
Accepted: 29/06/2025; Online first: 29/06/2025
https://doi.org/10.46964/poligrid.v6i1.57

Rancang Bangun Sistem Monitoring Pertanian Cerdas Berbasis LoRa Untuk Pemantauan Kondisi Persawahan Secara *Real-Time*

Faizal Rahmansyah[1], Prihadi Murdiyat[2], Rusda[3]
Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Samarinda
pmurdiyat@polnes.ac.id

Abstrak- **Dalam bidang pertanian, teknologi pertanian cerdas atau *smart agriculture system* telah menjadi perhatian utama dalam upaya meningkatkan produktivitas pertanian. Pertanian cerdas mempunyai peran besar dalam mencapai pertanian presisi, yang dikenal sebagai masa depan pertanian. Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem monitoring pertanian cerdas berbasis teknologi Long Range (LoRa) yang mampu memantau kondisi persawahan dalam area yang luas di Kalimantan Timur secara *real-time*. Penelitian kemampuan LoRa di kondisi pertanian daerah Kalimantan Timur yang spesifik dapat memberikan kontribusi tentang kemudahan dan tantangan yang dihadapi ketka menerapkan teknologi sistem monitoring pertanian cerdas. Sistem ini terdiri dari node sensor yang mengukur parameter lingkungan seperti kelembaban tanah, pH tanah, suhu, kecepatan angin, kelembaban udara, dan tekanan udara. Data yang dikumpulkan oleh node sensor dikirim ke Node Master melalui komunikasi LoRa. Node Master kemudian mengintegrasikan data tersebut dengan Node-RED Dashboard untuk pemantauan visual dan menyimpan data di Google Spreadsheet untuk analisis lebih lanjut. Pengujian dilakukan di Desa Manunggal Jaya, Kabupaten Kutai Kartanegara, Kalimatan Timur untuk mengevaluasi RSSI, akurasi sensor, dan kestabilan *database*. Pengujian juga menunjukkan bahwa peningkatan jarak antara pengirim (Node Sensor) dan penerima (Node Master) menyebabkan nilai RSSI menurun. Penurunan RSSI tidak terjadi secara linear dengan nilai terendah tercatat sebesar -91,70 dBm, yang masih berada jauh di atas batas sensitivitas minimum modul LoRa (-139 dBm). Pengiriman data dari Node Sensor ke *database* melalui Node Master berjalan dengan baik, meskipun ada beberapa nilai yang tidak wajar pada awal pengoperasian. Sistem *database* menggunakan Google Spreadsheet mampu mengumpulkan, menyimpan, dan menampilkan data secara akurat selama periode satu tahun, menunjukkan bahwa sistem dapat menangani volume data yang besar dalam jangka waktu panjang.**

Kata Kunci: Pertanian cerdas, LoRa, pemantauan real-time, sensor lingkungan, Node-RED, database

I. PENDAHULUAN

Desa Manunggal Jaya, yang terletak di Kabupaten Kutai Kertanegara, memiliki potensi besar dalam sektor pertanian, khususnya lahan persawahan atau perkebunan, karena mempunyai lahan pertanian seluas 280 hektar. Saat ini, sebagian besar petani di desa tersebut masih mengandalkan metode pertanian tradisional yang bergantung pada pengalaman dan intuisi. Tidak adanya data pengukuran secara langsung dan pemantauan kondisi pertanian mengakibatkan penggunaan sumber daya seperti air dan pupuk, menjadi tidak efisien, sehingga dapat menyebabkan penurunan hasil panen.

Sementara itu, teknologi pertanian cerdas atau *smart agriculture system* telah menjadi perhatian utama dalam upaya meningkatkan produktivitas pertanian, karena mampu melakukan pengukuran parameter seperti kelembaban tanah, pH tanah, suhu, kecepatan angin yang sangat mempengaruhi baik tidaknya hasil panen yang akan diperoleh. Dengan mengetahui parameter-parameter tersebut proses penanaman, pemeliharaan, pemupukan, dan panen dapat diatur lebih baik untuk mendapatkan hasil panen dengan kuantitas dan kualitas maksimal. Parameter-parameter yang diukur biasanya dikirim secara otomatis melalui jaringan komunikasi data seperti *internet of things* (IoT) menuju komputer atau pusat data untuk dianalisa.

Untuk membentuk jaringan IoT yang dapat diterapkan pada sektor pertanian dengan lahan yang luas seperti di Desa Manunggal Jaya, teknologi radio *Long-Range* (LoRa) dapat dipilih karena menawarkan konektivitas jarak jauh dengan konsumsi daya yang rendah. Teknologi LoRa digunakan dalam sistem pertanian untuk mengirim data kelembapan dan pH tanah, terdapat Node Sensor yang mengumpulkan data dan mengirimkannya ke Node Master melalui LoRa. Data kemudian diproses oleh Node-RED, yaitu antarmuka pengguna yang memungkinkan pengguna untuk melakukan pemantauan kondisi pertanian. Selanjutnya, data akhirnya disimpan dalam Google Spreadsheet untuk pelacakan dan analisis lebih lanjut. Dengan ini, petani dapat memantau kondisi tanah secara *real-time* dan mengoptimalkan pengelolaan pertanian mereka.

Dalam konteks sistem *monitoring* pertanian cerdas berbasis LoRa, beberapa permasalahan yang muncul antara lain adalah keterbatasan akses petani terhadap teknologi canggih dan pemahaman yang cukup tentang cara mengoperasikan sistem tersebut. Selain itu, infrastruktur yang kurang mendukung di beberapa daerah juga menjadi hambatan dalam implementasi teknologi ini secara luas.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, penting untuk memberikan pencerdasan dan pendampingan kepada petani dalam penggunaan teknologi pertanian cerdas berbasis LoRa. Selain itu, perlu dilakukan peningkatan infrastruktur di daerah pedesaan untuk mendukung implementasi teknologi ini, seperti penyediaan akses internet yang stabil dan infrastruktur komunikasi yang memadai. Dengan langkah-langkah ini, diharapkan petani dapat memanfaatkan teknologi pertanian cerdas berbasis LoRa secara optimal untuk meningkatkan produktivitas dan kesejahteraan petani.

Submitted: 10/06/2025; Revised: 29/06/2025;
Accepted: 29/06/2025; Online first 29/06/2025
https://doi.org/10.46964/poligrid.v6i1.62

LoRa [1] merupakan teknologi komunikasi nirkabel yang mampu mentransmisikan data jarak jauh dengan konsumsi daya yang sangat rendah., sehingga cukup tepat untuk diterapkan di area persawahan yang luas dan terpencil, di mana infrastruktur komunikasinya tidak memadai. Dengan jangkauan komunikasi yang luas dan ketahanan terhadap gangguan, LoRa sangat cocok untuk diimplementasikan dalam sistem *smart farming* di area persawahan yang luas dan terpencil seperti di Desa Manunggal Jaya.

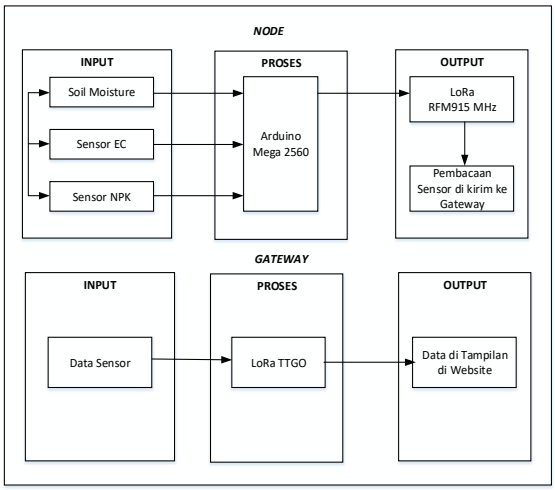
Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem *monitoring* kondisi pertanian di area luas, yang belum pernah dilakukan di Kalimantan Timur. Kontribusi hasil penelitian dapat memberikan wawasan tentang potensi dan keterbatasan teknologi LoRa dalam mendukung implementasi *smart farming* yang lebih luas di wilayah lain dengan kondisi serupa. Selain itu juga menunjukkan bagaimana teknologi LoRa, NodeRED, dan Google Spreadsheet diuji langsung di lingkungan pertanian yang nyata dengan cakupan multisensor.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Penelitian Terdahulu

Penelitian tentang penggunaan teknologi LoRa dalam sistem pertanian cerdas telah banyak dilakukan, menunjukkan berbagai keunggulan dan potensi aplikasi dalam meningkatkan produktivitas dan efisiensi pertanian.

Salah satu penelitian terdahulu yang relevan dengan implementasi teknologi pertanian cerdas, dilakukan oleh Alfarani Sari Dewi *et.all* tahun 2023. Penelitian tersebut berupa rancang bangun *agriculture node* untuk *monitoring* kualitas tanah berbasis Lora AS923-2 guna mendukung penelitian *integrated smart farming* di Laboratorium Inacos Universitas Telkom. *Agriculture* Node Sensor pada penelitian tersebut bertanggung jawab untuk pengukuran, pemrosesan dan pengiriman data menuju *gateway.* Pengiriman data, menggunakan *transceiver wireless* Lora AS923-2. Dari hasil pengujian, perangkat *Agriculture* ini mampu membaca nilai pada setiap sensornya dan dapat mengambil data dari tiap – tiap sensor [2]. Dari penelitian tersebut dapat diadaptasi konsep Node Sensor dan Node Master berbasis LoRa untuk sistem pertanian cerdas, seperti diagram sistem dari konsep *Agriculture Node System* pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram konsep dari *Agriculture Node System* [2]

Penelitian oleh Hye Won Yoon *et all*. tahun 2020 berjudul "L&M *Farm*" mengembangkan sistem pertanian cerdas berbasis LoRa dan MQTT [3]. Sistem ini menggabungkan teknologi LoRa dan *Message Queue Telemetry Transport* (MQTT) untuk pertanian cerdas, menggunakan dua board Arduino dengan Dragino LoRa Hat. Salah satu *board* terhubung ke sensor kelembapan tanah dan sensor DHT11, sementara yang lain terhubung ke *aktuator* irigasi. Raspberry Pi digunakan untuk memperoleh data cuaca melalui *Open WeatherAPI*, dan sistem ini dilengkapi dengan aplikasi berbasis web untuk memudahkan pengelolaan oleh petani. kombinasi teknologi LoRa dan MQTT memungkinkan pemantauan dan pengelolaan pertanian secara *real-time* dengan jangkauan luas dan konsumsi daya rendah. Sistem ini meningkatkan efisiensi irigasi dan pemantauan lingkungan, serta mempermudah petani dalam pengelolaan lahan melalui integrasi data cuaca dan aplikasi web.

B. Long Range

LoRa, yang merupakan kependekan dari *long range*, adalah teknologi nirkabel yang dirancang untuk menciptakan jaringan komunikasi jarak jauh. Ketika kebanyakan teknologi nirkabel umumnya menggunakan modulasi *frequency shift keying* (FSK) sebagai lapisan fisik karena efisiensinya yang tinggi untuk mendapatkan daya yang rendah, LoRa menggunakan modulasi *chirp spread spectrum* (CSS), yang mempertahankan efisiensi daya rendah seperti FSK, tetapi secara signifikan dapat memperpanjang jangkauan komunikasi. Komunikasi LoRa dapat mencapai jarak yang sangat jauh, bahkan hingga beberapa puluh kilometer, memungkinkan stasiun untuk berkomunikasi dengan *gateway* dalam satu jangkauan. Namun, jangkauan LoRa sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan termasuk *noise* dan penghalang (*obstacle*) di lokasi [4].

Modulasi CSS merupakan teknologi komunikasi yang memanfaatkan *chirp* atau kicauan sebagai pembawa informasi atau data. Penggunaan CSS dipengaruhi oleh *bandwidth* dan *spreading factor,* yang menentukan kinerja dan jangkauan komunikasi. Semakin besar *bandwith* yang digunakan, maka ukuran data yang dapat dikirimkan akan semakin besar, hal ini berpengaruh terhadap *delay* yang dihasilkan, sehingga data

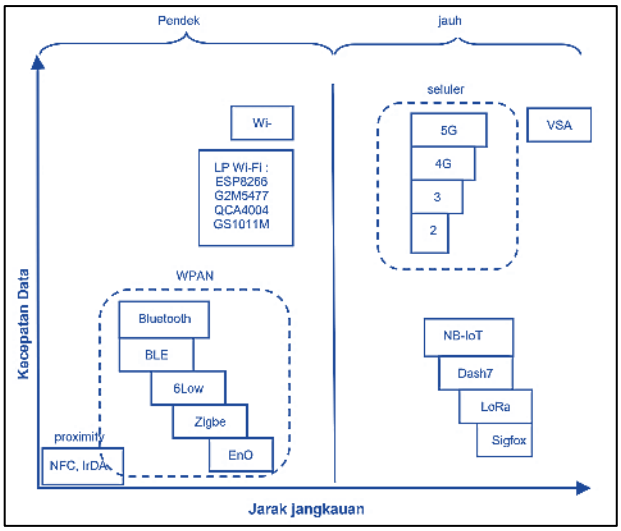
Submitted: 10/06/2025; Revised: 29/06/2025;
Accepted: 29/06/2025; Online first 29/06/2025
https://doi.org/10.46964/poligrid.v6i1.62

akan lebih cepat sampai apabila nilai *bandwith* yang digunakan besar [5].

S*preading factor* (SF) mengacu pada jumlah bits yang di-enkode pada setiap simbol, nilai SF dapat berkisaran antara 7 hingga 12. *Spreading factor* mempengaruhi kecepatan dan waktu pengiriman data. Penggunaan SF yang tinggi dapat mengurangi *presentase packet loss,* namun dapat memperpanjang waktu pengiriman data. Teknologi ini dapat beroperasi pada frekuensi khusus yang dialokasikan untuk keperluan industri, sains, dan medis atau disingkat (ISM) yaitu frekuensi 433 MHz, 868 MHz, atau 915 MHz, tergantung pada alokasi frekuensi yang ditentukan oleh negara bersangkutan [5].

Pengaplikasian LoRa sangat beragam di berbagai bidang, tertama dalam konteks *Machine to Machine* (M2M). Salah satu contohnya adalah pengembangan *smart city.* Dalam bidang kelistrikan, LoRa memungkinkan pemantauan penggunaan energi dan daya listrik pada suatu gedung secara *real – time,* memberikan manfaat besar dalam efisiensi energi dan pengelolaan konsumsi listrik [6].

LoRa memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan teknologi komunikasi lainnya seperti seluler (GSM), Bluetooth maupun WiFi. Pada Gambar 2, terlihat LoRa memiliki keunggulan utama yaitu dapat berkomunikasi jarak jauh seperti seluler, namun dengan konsumsi daya rendah seperti Bluetooth. Hal ini membuat LoRa sangat cocok untuk perangkat sensor yang dioperasikan dengan baterai selama bertahun – tahun dan digunakan di area yang luas. Meskipun LoRa memiliki keterbatasan dan kecepatan transmisi data, yaitu hanya 0.3 kbps hingga 50 kbps, hal ini tidak menjadi permasalahan selama data yang dikirimkan berukuran kecil. Penggunaan aplikasi LoRa sangat cocok untuk berbagai macam sensor yang digunakan dalam pemantauan dan pengumpulan data [6].



Gambar 2. Profil LoRa [7]

C. Pengujian Sinyal Radio LoRa

Aspek menjanjikan dari teknologi LoRa menginspirasi penelitian ini untuk menguji peforma LoRa di Indonesia. Terdapat penelitian oleh Asma Yanziah *et all.* tahun 2020 yang berfokus pada pengujian jarak jangkauan Chip LoRa Rfm 95/96 pada frekuensi 920 MHz dan SF7 untuk area urban. Penelitian ini menganalisis pengaruh jarak transmisi terhadap persentase paket yang hilang (packet loss) dan nilai RSSI, yang merupakan indikator kekuatan sinyal yang diterima. Secara khusus, perbandingan dilakukan antara perhitungan RSSI menggunakan model *log-normal shadowing* dengan hasil pengukuran langsung [8]. Stabilitas dan jangkauan RSSI yang diperoleh dari penelitian tersebut menunjukkan RSSI yang relatif stabel pada setiap titik pengujian, ada tren penurunan RSSI rata – rata dan peningkatan *packet loss* seiring dengan bertambahnya jarak.

Untuk menguji kemampuan kerja LoRa sebagai media komunikasi pada *smart farming,* terdapat beberapa parameter kunci yang diukur dan dianalisis untuk menentukan efektivitasnya. Parameter yang dapat digunakan adalah sebagai berikut:

1) RSSI

Dalam mekanisme pengiriman data, terdapat istilah *received signal strength indikator* (RSSI) yang merupakan salah satu parameter penting dalam transmisi radio. RSSI dapat mempresentasikan kekuatan sinyal yang diterima oleh *transceiver* dan dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti daya transmisi (*TX Power*), hambatan jarak, dan jenis antena yang digunakan. Pada proses pengiriman data dapat dijelaskan melalui besaran daya sebagai berikut: ketika data dikirim, sinyal dihasilkan oleh *transceiver* akan melewati hambatan berupa kabel, dan kemudian sinyal akan diperbesar dayanya oleh antena pengirim.

Sinyal akan merambat melalui udara, di mana akan berpotensi terdapat hambatan seperti *noise* dan *obstacle.* Ketika sinyal mencapai antena penerima, kekuatannya akan diperbesar oleh antena penerima sebelum diteruskan melalui kabel menuju *transceiver* penerima. Pada akhirnya, besaran nilai *receive power* atau RSSI akan didapatkan, yang mempresentasikan seberapa kuat sinyal yang diterima setelah melewati semua hambatan tersebut [5].

2) SNR

Signal-to-Noise Ratio atau SNR adalah parameter yang digunakan untuk menentukan kualitas sinyal yang diterima terhadap gangguan oleh derau (*noise*). SNR merupakan perbandingan antara sinyal informasi dengan *noise* yang terdapat pada media transmisi data dan penerima/*receiver*. SNR yang tinggi merepresentasikan kualitas sinyal yang baik dibanding *noise* yang ada [9]. Semakin besar nilai SNR, maka semakin baik kualitas sinyal tersebut. Sebaliknya *noise* yang tinggi akan menyebabkan nilai SNR menurun. Selain itu jarak transmisi juga mempengaruhi SNR [4]. Dengan deskripsi tersebut, nilai sinyal (RSSI) yang tinggi bukan merupakan jaminan kualitas komunikasi data yang baik jika nilai noisenya cukup tinggi. SNR yang rendah dapat menyebabkan kesalahan pembacaan data.

D. Spesifikasi LoRa

LoRa adalah modul komunikasi nirkabel yang hemat dalam penggunaan daya dan dapat berkomunikasi pada area yang luas. LoRa dapat melakukan komunikasi dengan jarak maksimal 15 kilometer pada area yang tidak terdapat hambatan [10]. Spesifikasi dari LoRa SX1276 dapat dilihat pada Tabel 1.

Submitted: 10/06/2025; Revised: 29/06/2025;
Accepted: 29/06/2025; Online first 29/06/2025
https://doi.org/10.46964/poligrid.v6i1.62

TABEL 1
SPESIFIKASI LORA [10]

Spesifikasi	Deskripsi
Model Tipe	LoRa SX1276-MODULE
Rentang Frekuensi	868/915 MHz
Catu Daya	3.3 V
Sensitivitas	Hingga – 139 dBm
Output Power Maksimum	20 dBm
Konsumsi Arus	13 mA (*receiver mode*) 120 mA (*transmitter mode*), 200 nA (*sleep*)
Kecepatan Transfer Data	1.2 - 300 Kbps
Modulasi	Lora, FSK, GFSK & OOK
Proteksi	Dilengkapi Built-in ESD *Protection*
Range RSSI	127 dB *Dynamic Range* RSSI

E. Protokol Komunikasi LoRa

LoRa termasuk jenis sistem komunikasi *Low Power Wide Area Network* (LPWAN) tanpa kabel yang memiliki kemampuan untuk mentransmisikan data pada jarak jauh dan kebutuhan daya yang rendah. Sistem ini dikembangkan oleh sejumlah perusahaan, termasuk IBM, Semtech, dan Actility, yang tergabung dalam LoRa Alliance. LoRa Alliance telah mengembangkan protokol komunikasi khusus untuk LoRa yang disebut LoRaWAN [11].

Sebagaimana pengguna spektrum frekuensi radio lainnya, penggunaan LoRa juga diatur oleh regulasi yang menentukan alokasi penggunaan spektrum frekuensi radio. Di Indonesia, regulasi tersebut berupa Peraturan Menteri Komunikasi dan Informatika (Permenkominfo) Nomor 2 Tahun 2023 tentang penggunaan spektrum frekuensi radio berdasarkan izin kelas [12]. Menurut Permenkominfo tersebut, alokasi frekuensi untuk perangkat LPWAN termasuk LoRa ditunjukkan pada Tabel 2.

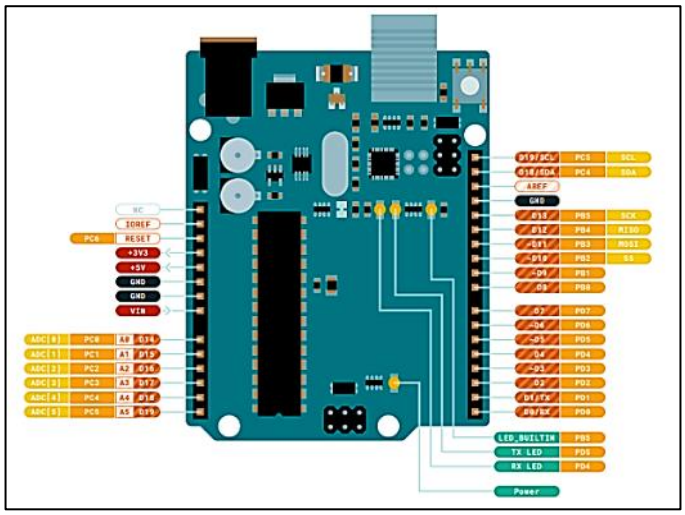
TABEL 2
LOW POWER WIDE AREA NETWORK (LPWAN)

Spektrum Frekuensi Radio	Penggunaan daya Pancar maksimum (EIRP)	Bandwidth Maksimum per Kanal Frekuensi Radio	Duty Cycle Maksimum
433,05-434,79 MHz	16,4mW (12,15 dBm)	125 kHz	Tidak diatur
920 - 923 MHz	**Gateway/Base Station:** 400 mW (26 dBm) **EndNode/ Sucscriber Station**: 100 mW (20 dBm)	250 kHz	*Downlink* 1% *Uplink* 1 %
2400 – 2483,5 MHz	1 Watt (30 dBm)	1 MHz	Tidak diatur

Berdasarkan Tabel 2, karena pada penelitian ini digunakan struktur LoRa yang terdiri dari *gateway* dan beberapa *end node/sensor node*, maka digunakan frekuensi 920 – 923 MHz. Untuk bekerja pada frekuensi tersebut, modul LoRa dengan frekuensi 915 MHz yang terdapat di pasaran dapat digunakan karena frekuensi kerjanya bisa diatur pada 920 – 923 MHz.

F. Arduino Uno

Arduino Uno adalah papan mikrokontroler berbasis ATmega328P, yang memiliki 14 pin *input/output* digital (6 diantaranya dapat digunakan sebagai output PWM), 6 input analog, resonator keramik 16 MHz, koneksi USB, colokan listrik, header ISCP, dan tombol *reset* [13]. Berikut pada Gambar 3 ialah konfigurasi pin pada Arduino Uno, sedangkan Tabel 3 menampilkan spesifikasinya.



Gambar 3. Konfigurasi pin Arduino Uno [13]

TABEL 3
SPESIFIKASI ARDUINO UNO [13]

Spesifikasi	Deskripsi
Microcontroller	ATmega328p
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7 – 12 V
Input Voltage (limit)	6 – 20 V
Digital I/O Pins	14 (*of which 6 provide PWM output*)
PWM Digital I/O Pins	6
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	20 mA
Flash Memory	32 KB (ATmega328P) *of which 0.5 KB used by bootloader*
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Clock Speed	16 MHz
LED_BUILTIN	13
Lenght	68.6 mm
Width	53.4 mm
Weight	25 gr

G. ESP32

ESP32 merupakan modul yang sudah dilengkapi dengan transceiver WiFi, mikrokontroler, dan port GPIO, sehingga dapat secara langsung dihubungkan dengan masukan seperti sensor atau keluaran seperti LCD *display*. Modul WiFinya merupakan jenis *system on chip* (SoC) yang sudah megandung *protocol* TCP/IP terintegrasi. Gambar ESP32 ditunjukkan pada Gambar 4, sedangkan spesifikasinya ditunjukkan oleh Tabel 4.

Submitted: 10/06/2025; Revised: 29/06/2025;
Accepted: 29/06/2025; Online first 29/06/2025
https://doi.org/10.46964/poligrid.v6i1.62

Gambar 4. Bentuk modul ESP32 [14]

TABEL 4
SPESIFIKASI MODUL ESP32 [14]

Spesifikasi	Keterangan
CPU	Tensilica Xtensa LX6 32Bit dual-core di 160/240 MHz
SRAM	520 Kb
FLASH	2 Mb (max. 64Mb)
Tegangan	2.2V s/d 3.6V
Arus Kerja	*Average* 80Ma
Konektifitas	
Wi-Fi	802.11 b/g/n
Bluetooth	4.2BR/EDR + BLE
UART	3
I/O	
GPIO	32
SPI	4
I2C	2
PWM	8
ADC	18(12 bit)
DAC	2 (8 bit)

H. Sensor Kelembapan Tanah

Sensor kelembapan ini dapat membaca tingkat kelembapan tanah di sekitarnya [15]. Meskipun teknologi dari sensor ini sederhana, sensor ini sangat berguna untuk memantau berbagai kondisi tanah seperti di kebun kota atau kebutuhan air tanaman di pertanian. Sensor *soil moisture* ini menggunakan dua buah probe untuk mengalirkan arus melalui tanah, kemudian sensor ini akan mengukur nilai resistansi atau tahanan yang ada di dalam tanah untuk dapat menentukan tingkat kelembapan yang ada di tanah.

Gambar 5. Sensor kelembapan tanah [15]

Kontruksi dari sensor kelembapan tanah ini seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5 dan Tabel 5 menunjukkan spesifikasi sensor *soil moisture.* Modul sensor kelembapan tanah terdiri dari empat pin yaitu VCC, GND, D0, dan A0. Pin output digital terhubung ke pin output IC komparator LM393 sedangkan pin analog terhubung ke sensor kelembapan.

TABEL 5
SPESIFIKASI SENSOR KELEMBAPAN TANAH [15]

Spesifikasi	Keterangan
Operating Voltage	3.3V to 5V DC
Operating Current	15mA
Output Digital	0V to 5V, *Adjustable trigger level from preset*
Output Analog	0V to 5V *based on infrared radiation from fire flame falling on the sensor*
Indicator	*indicating output and power*
Dimensions	PCB *Size*: 3.2cm x 1.4cm
Operating Voltage	3.3V to 5V DC
Operating Current	15mA

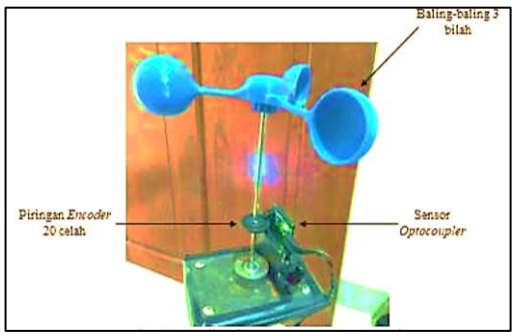
I. Sensor BME280

Sensor BME280 merupakan sebuah sensor yang terdiri dari kombinasi untuk kelemban (*humidity*), tekanan (*pressure*), dan suhu udara (*temperature*) yang berdasarkan dengan prinsip – prinsip pembacaan dari sensor tersebut [16]. Modul dari sensor ini dirancang dalam paket LGA yang solid dengan memiliki ukuran hanya 2.5 *x* 2.5 mm^2 dan tinggi 0.93 mm. Dimensi dari sensor ini memiliki ukuran yang kecil dan konsumsi daya yang rendah, sehingga memungkinkan untuk dapat diimplementasikan dalam perangkat yang ditenagai dengan baterai seperti baterai *rechargeable* Lithium Ion 3.7V. Sensor BME280 memiliki tiga mode daya yang berbeda, seperti mode tidur (*sleep mode*), mode normal (*normal mode*), dan mode paksa (*forced mode*). BME280 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.

Gambar 6. Sensor BME280 [16]

J. Sensor Kecepatan Angin

Sensor kecepatan angin atau *anemometer* merupakan suatu alat elektronika yang berfungsi sebagai mengukur kecepatan angin, dimana kata *anemometer* berasal dari bahasa Yunani, *anemos* yang berartikan sebagai angin [17]. Dalam perancangannya, sensor kecepatan angin menggunakan beberapa komponen utama, seperti baling-baling mangkok dengan 3 bilah, *encoder* dengan 20 celah, dan sensor *optocoupler* tipe FC-03. Konstruksi sensor kecepatan angin dapat dilihat pada Gambar 7.

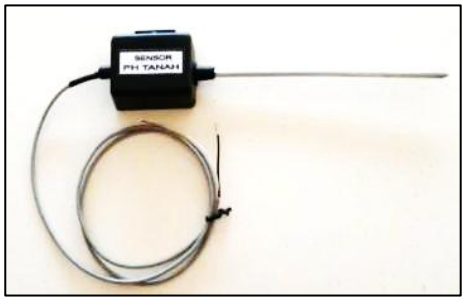


Gambar 7. Sensor kecepatan angin [17]

Submitted: 10/06/2025; Revised: 29/06/2025;
Accepted: 29/06/2025; Online first 29/06/2025
https://doi.org/10.46964/poligrid.v6i1.62

K. Sensor pH Tanah

Pengukuran pH berbasis pada penggunaan dari suatu elektroda yang sensitive terhadap pH, yang mana reaksi tanah menunjukkan sifat kemasaman atau alkalinitas tanah yang dinyatakan dengan nilai pH. Nilai dari pH tanah menunjukkan banyaknya konsentrasi dari ion *hydrogen* (H^+) di dalam tanah. Tanah yang lebih masam memiliki jumlah ion H^+ yang lebih tinggi, sedangkan tanah alkalis memiliki jumlah ion OH^- yang lebih tinggi. Bila kandungan H^+ sama dengan OH^- maka tanah bereaksi netral yaitu mempunyai pH = 7 [18]. Gambar 8 merupakan model kontruksi dari sensor pH meter analog.



Gambar 8. Sensor pH tanah [18]

L. Baterai

Baterai berperan sebagai penrimpan energi yang dihasilkan oleh panel surya, kemudian energi ini dapat digunakan untuk memasok daya pada beban. Terdapat beberapa jenis baterai yang banyak digunakan untuk keperluan kendaraan listrik maupun perangkat elektronik, yaitu seperti baterai *lithium – ion* dan baterai Aki (*Lead-Acid Battery*).

Baterai *Lithium – ion* atau Li-ion merupakan salah satu jenis baterai yang memiliki elektroda aktif (*lithium metal oxide*) untuk *electrode* positif, sedangkat *carbon* pada elektrode negatif [19]. Tabel 6 menunjukkan karakteristik dari baterai li-ion.

TABEL 6
KARAKTERISTIK BATERAI LI-ION [19]

Spesifikasi	Keterangan
Capacity (25±5℃)	*Nominal Capacity* : 2600mAh (0.52A *Discharge*, 2.75V) Typical *Capacity* : 2550mAh (0.52A *Discharge*, 2.75V) Minimum *Capacity* : 2500mAh (0.52A *Discharge*, 2.75V)
Nominal Voltage	3.7 V
Internal Impedance	≤ 70mΩ
Discharge Cut-off Voltage	3.0V
Max Charge Voltage	4.20±0.05V
Standard Charge Current	0.52A
Standard Discharge Current	0.52A
Max. Dimension	*Diameter*(Ø): 18.4mm *Height* (H): 65.2mm
Operating Temperature	*Charge*: 0 ~ 45℃ *Discharge*: -20 ~ 60℃

Baterai aki (*lead – acid*) merupakan jenis baterai yang menggunakan elektrolit jenis asam sulfat dan memiliki sel yang terdiri dari lempengan timbal (Pb) dan timbal dioksida (PbO_2) yang terendam dalam larutan asam sulfat [20]. Spesifikasi dari baterai aki seperti yang ditunjukkan pada Tabel 7.

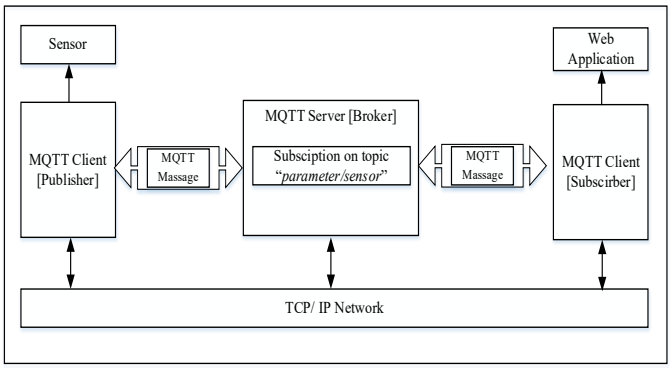
TABEL 7
KARAKTERISTIK BATERAI AKI [20]

Spesifikasi	Keterangan
Merek	SMT POWER – Battery
Model	SMT127
Tegangan	12V
Kapasitas	7.5V
Tahanan (resistance - mΩ)	≤ 22 mΩ
Ukuran	Panjang : 151 mm Lebar : 64 mm Tinggi : 94 mm
Berat	2.05 kg
Model Terminal	Ukuran T2 , tipe L

M. Komunikasi Protokol MQTT

Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) adalah standar ISO (ISO/IEC PRF 20922) yang ringan untuk komunikasi data dengan protokol pesan pub/sub (*publish/subscribe*). Protokol ini sangat cocok untuk perangkat dengan sumber daya terbatas. Prinsip dasar MQTT adalah mempublikasikan pesan oleh *publisher* dan berlangganan topik oleh *subscriber* sesuai minat mereka. Dengan MQTT, banyak klien dapat berlangganan ke topik yang sama dan berbagi informasi yang diinginkan [21].

MQTT broker berfungsi sebagai jembatan yang menghubungkan semua perangkat. Pesan dalam MQTT dipublikasikan berdasarkan topik tanpa konfigurasi khusus, dan topik dianggap sebagai hierarki dengan garis miring (/) sebagai pemisah. Klien dapat menerima pesan dengan berlangganan ke topik tertentu atau menggunakan karakter pengganti seperti + atau # untuk menerima pesan dari topik yang sesuai dengan pola tertentu [21]. Gambar 9 merupakan diagram protokol MQTT.

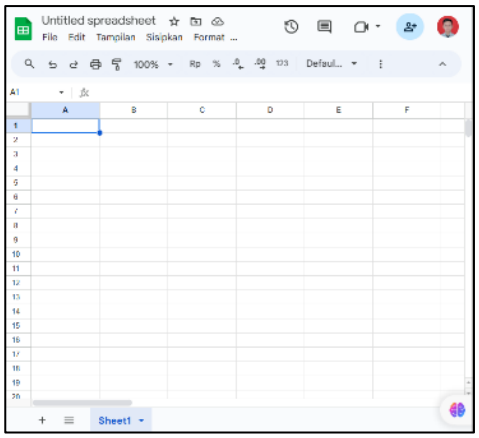


Gambar 9. Diagram protokol MQTT [21]

N. Google Spreadsheet

Tampilan Google Spreadsheet seperti yang ditunjukkan pada Gambar 10. Pada tampilan tersebut, dimana Google Sheets memiliki antarmuka pengguna yang bersih dan intuitif. Terdapat menu dan toolbar di bagian atas lembar kerja untuk mengelola dokumen. Lembar kerja terdiri dari baris dan kolom di mana Anda dapat memasukkan data dan rumus. Formula bar di bagian atas memungkinkan Anda untuk menulis rumus. Fitur kolaborasi real-time memungkinkan pengguna untuk bekerja bersama-sama secara online. Google Sheets juga menyediakan berbagai jenis grafik untuk visualisasi data [22].

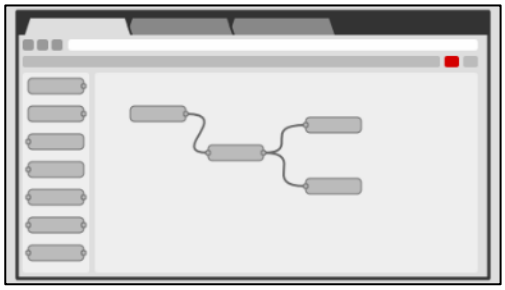
Submitted: 10/06/2025; Revised: 29/06/2025;
Accepted: 29/06/2025; Online first 29/06/2025
https://doi.org/10.46964/poligrid.v6i1.62



Gambar 10. Tampilan google sheet [22]

O. NodeRED

Node-RED adalah suatu alat pemprograman untuk menghubungkan perangkat keras, API, dan layanan online berbasis browser yang memudahkan pengguna untuk menghubungkan aliran data menggunakan berbagai node dalam palet yang dapat diimplementasikan ke dalam *runtime*-nya dengan sekali klik [23]. Tampilan antarmuka dari Node-RED seperti yang ditunjukkan pada Gambar 11.


Gambar 11. Tampilan Node-RED [23]

Node-RED dapat dijalankan dengan berbagai *platform* seperti yang ditunjukkan pada Tabel 8.

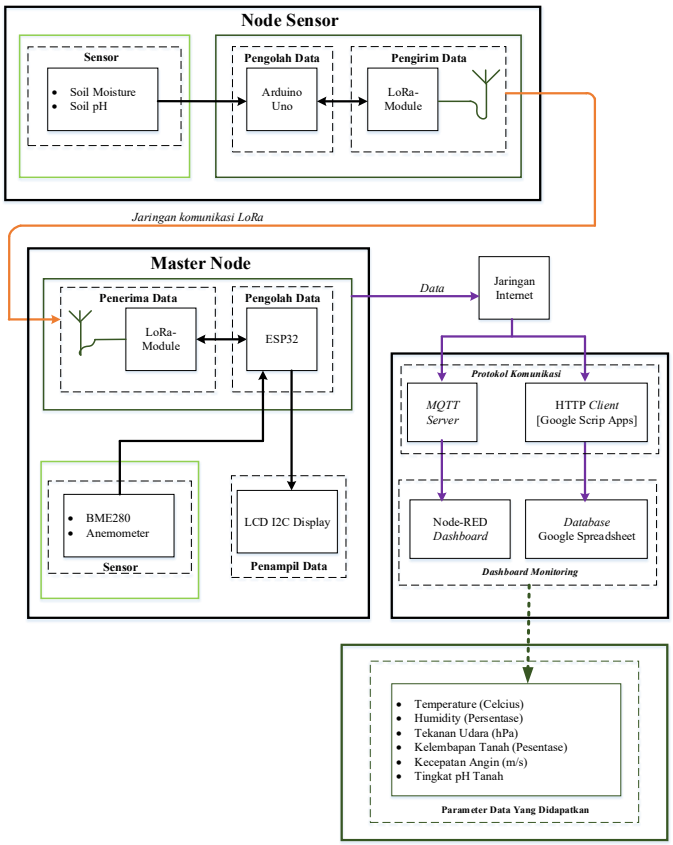
TABEL 8
GETTING STARTED NODE-RED [23]

Platform	Keterangan
Running locally	Menginstal Node-RED di komputer lokal pada komputer.
Raspberry Pi	Node-RED dapat dijalankan pada Raspberry Pi, sebuah komputer kecil yang populer untuk proyek IoT.
Docker	Dapat menjalankan Node-RED dalam kontainer Docker untuk isolasi dan portabilitas.
Install form Git	Proses mengunduh dan menginstal aplikasi Node-RED langsung dari repositori Git.
Android	Node-RED dapat dijalankan pada perangkat Android dengan menggunakan aplikasi khusus.
FlowFuse	*platform* berbasis cloud untuk mengelola dan memantau aliran Node-RED. Ini menyediakan berbagai fitur tambahan untuk pengembangan dan manajemen aliran.
AWS	*Amazon Web Services* (AWS) menyediakan layanan cloud yang dapat digunakan untuk menjalankan Node-RED.
Microsoft Azure	Microsoft Azure juga menyediakan layanan *cloud* untuk menjalankan Node-RED.

III. METODE PENELITIAN

A. Gambaran Umum Sistem

Gambar 12 merupakan gambaran umum sistem *monitoring* pertanian cerdas berbasis LoRa melibatkan beberapa komponen utama untuk pemantauan kondisi pertanian secara *real-time*. Pertama, Node Sensor terdiri dari sensor kelembapan tanah dan sensor pH tanah yang mendeteksi kondisi tanah. Data dari sensor ini diolah oleh Arduino Uno dan dikirim melalui modul LoRa. Kedua, Node Master menerima data dari Node Sensor menggunakan modul LoRa. Pada Node Master, mikrokontroler ESP32 mengolah data dan menampilkan informasi sementara pada display LCD I2C. Node Master juga dilengkapi dengan sensor BME280 dan anemometer untuk memantau kondisi lingkungan di area pertanian. Data dari semua sensor ini dikirimkan melalui jaringan internet ke *database* dan dashboard monitoring. ESP32 bertugas mengirim data melalui permintaan HTTP ke Google Apps Script, yang kemudian menulis data tersebut ke Google Spreadsheet sebagai *database*. Untuk komunikasi antara ESP32 sebagai pengirim data (*publisher*) dan NodeRED – *dashboard* sebagai penerima data (*subscriber*), digunakan protokol MQTT.



Gambar 12. Diagram blok rangkaian pengujian

B. Waktu dan Lokasi

Pengujian dilakukan pada bulan Mei 2024, dengan tempat di Desa Manunggal Jaya, Kecamatan Tenggarong Seberang, Kabupaten Kutai Kertanegara. Lokasi area persawahan yang digunakan untuk melakukan penelitian dan pengambilan data

Submitted: 10/06/2025; Revised: 29/06/2025;
Accepted: 29/06/2025; Online first 29/06/2025
https://doi.org/10.46964/poligrid.v6i1.62

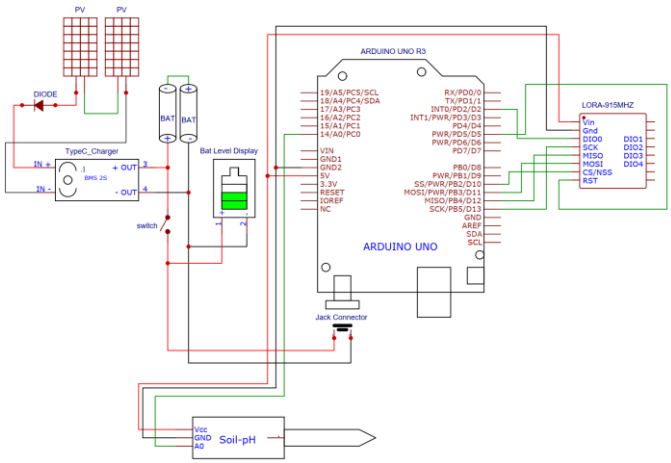
seperti pada Gambar 13, di mana daerah tersebut memiliki luas lahan yaitu 389,477.77 m^2 dan area lahan yang digunakan untuk dilakukannya pengambilan data memiliki luas lahan sebesar 10,978.53 m^2.

Gambar 13. Lokasi pertanian Desa Manunggal Jaya, Tenggarong Seberang

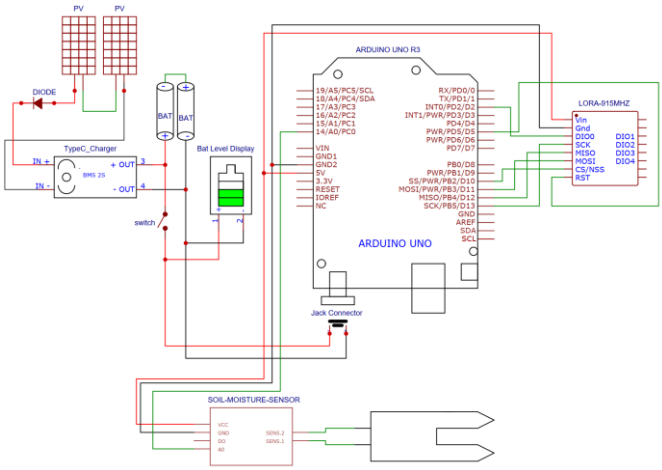
C. Rangkaian LoRa Sender dan Receiver

Untuk keperluan pengujian, dibuatlah rangkaian LoRa sender dan *receiver*, yang masing-masing ditunjukkan oleh Gambar 14, Gambar 15, dan Gambar 16. Dalam implementasi sistem komunikasi *smart farming*, rangkaian LoRa *sender* berfungsi sebagai *sensor node* atau *end node*, sementara rangkaian LoRa *receiver* berfungsi sebagai *gateway* atau *base station*. Kedua rangkaian tersebut dilengkapi dengan perangkat tambahan seperti panel surya, pengontrol pengisian surya, dan baterai.

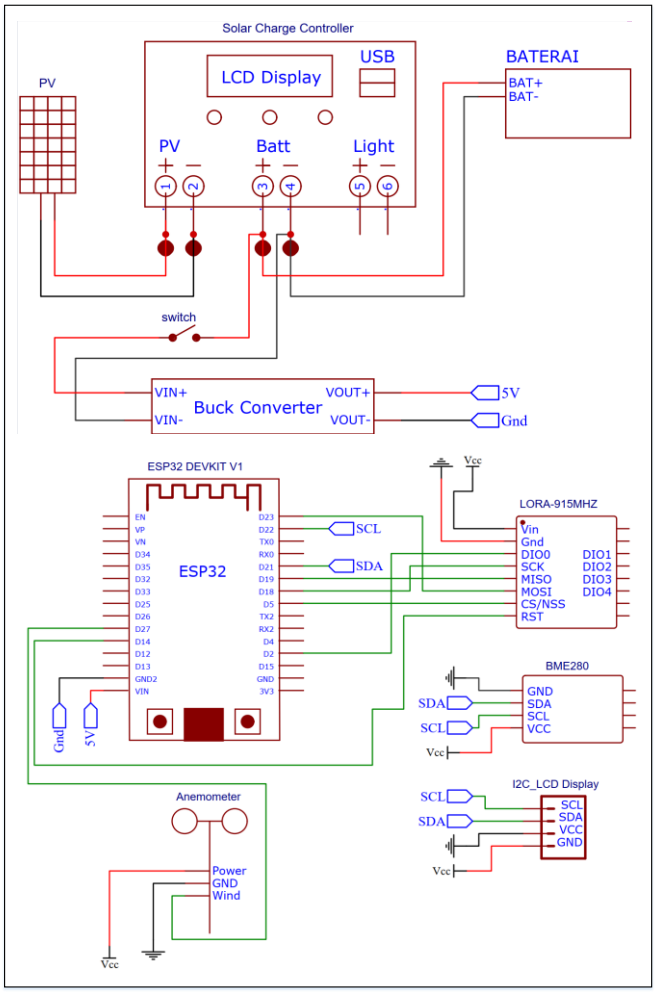
Pada sistem ini, terdapat dua Node Sensor. Node Sensor 1 bertugas mengirim data dari sensor pH tanah, sedangkan Node Sensor 2 mengirim data dari sensor kelembapan tanah. Data yang dikumpulkan oleh masing-masing sensor diolah oleh Arduino Uno sebelum dikirim melalui modul LoRa ke Node Master.



Gambar 14. Rangkaian LoRa *sender* – Node Sensor 1



Gambar 15. Rangkaian LoRa *sender* – Node Sensor 2



Gambar 16. Rangkaian LoRa *receiver*

IV. Hasil Dan Pembahasan

Pengujian dilakukan pada penelitian mencangkup beberapa aspek penting yaitu: pengujian sensor, pengujian kemampuan LoRa, pengujian pengiriman data, pengujian kemampuan *gateway,* pengujian sistem *monitoring* dan pengolahan *database,* serta pengujian konsumsi daya dan masa pemakaian baterai.

Submitted: 10/06/2025; Revised: 29/06/2025;
Accepted: 29/06/2025; Online first 29/06/2025
https://doi.org/10.46964/poligrid.v6i1.62

A. Pengujian Sensor BME280

Pengujian sensor BME280 dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan pengukuran suhu, kelembapan udara, dan tekanan udara dengan membandingkan hasilnya dengan alat ukur digital *Thermo-higrometer* HTC-2. Pengujian dilakukan di Laboratorium Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Samarinda, dengan sensor BME280 dan HTC-2 ditempatkan berdekatan dalam lingkungan yang dikondisikan menggunakan solder yang dipanaskan. Data dari sensor BME280 dikirimkan melalui ESP32 ke Google Spreadsheet untuk analisis. Pelaksanaan pengujian pada Gambar 17, sedangkan Tabel 9 merupakan hasil pengujian dari sensor BME280.

Gambar 17 Pelaksanaan pengujian sensor BME280

TABEL 9
HASIL PENGUJIAN SENSOR BME280

Waktu Pengujian	Sensor BME280			Sensor Digital Thermo Higrometro HTC-2		Error (%)	
	Temperatur °C	Humidity (%)	Pressure (hPa)	Temperatur °C	Humidity (%)	Temperature	Humidity
16:38:39	27,28	48	1001.23	27,3	49	1,52%	2,04%
16:56:14	27,48	46	1001.23	27,7	48	0,66%	4,17%
16:58:58	32,56	45	1001.32	31,2	47	4,36%	4,26%
17:00:26	34,41	45	1001.29	32,5	46	5,88%	2,17%
17:01:36	35,58	44	1001.32	35,3	46	0,79%	4,35%
17:02:52	36,2	44	1001.32	36,1	46	0,28%	4,35%
17:07:26	39,08	43	1001.37	37,5	46	4,21%	6,52%
17:08:44	40,9	43	1001.40	39,6	45	3,28%	4,44%
17:10:12	43,01	43	1001.49	42,7	45	0,73%	4,44%
17:14:22	51,55	42	1001.65	47,5	44	8,53%	4,55%

Hasil pengujian menunjukkan bahwa suhu yang diukur oleh kedua alat berada dalam rentang 27,28°C hingga 51,55°C, sementara kelembapan berkisar antara 42% hingga 48%. Sensor BME280 juga mengukur tekanan udara dalam rentang 1001,23 hPa hingga 1001,65 hPa, yang tidak dapat dilakukan oleh HTC-2. Meskipun terdapat perbedaan pembacaan, terutama pada kelembapan, persentase error yang lebih kecil dari 10 % menunjukkan bahwa hasil pengukuran sensor BME280 masih dalam ambang toleransi alat ukur komersial (5 s/d 10 %)

B. Pengujian Sensor Kecepatan Angin

Pengujian sensor kecepatan angin dilakukan dengan menggunakan sensor kecepatan angin yang dirancang khusus, mikrokontroler ESP32 sebagai pengolah data, laptop, dan kipas angin untuk menghasilkan variasi kecepatan angin. Alat ukur digital *Anemometer* GM816 digunakan sebagai pembanding. Lokasi pengujian di Laboratorium Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Samarinda. Sensor kecepatan angin dan Anemometer GM816 ditempatkan berdekatan untuk membaca kecepatan angin secara bersamaan dalam berbagai kondisi kecepatan kipas. Pelaksanaan pengujian sensor kecepatan angin seperti Gambar 18.

Gambar 18 Pengujian sensor kecepatan angin

Sensor kecepatan angin terdiri dari baling-baling mangkok dengan tiga bilah dan sensor *optocoupler* tipe FC-03 untuk mendeteksi putaran baling-baling. Sinyal dari sensor dihitung menggunakan interrupt untuk menentukan Rotasi Per Menit (RPM), yang kemudian dikalibrasi dan dikonversi menjadi kecepatan angin menggunakan rumus tertentu. Hasil pengujian pada Tabel 10 menunjukkan bahwa kecepatan angin yang diukur oleh kedua alat memiliki error yang dapat diterima (di bawah 5 s/d 10 %), menunjukkan bahwa sensor kecepatan angin yang dirancang cukup akurat untuk aplikasi pemantauan kecepatan angin.

TABEL 10
HASIL PENGUJIAN SENSOR KECEPATAN ANGIN

Pengaturan Kipas Angin	Waktu Pengujian	Sensor kepecatan angin	Digital Wind Anemometer GM816	Error (%)
Kecepatan 1	14:25:44	4,24	4,1	3,41%
	14:27:23	4,41	4,4	0,23%
	14:28:05	4,57	4,49	1,78%
Kecepatan 2	14:35:11	3,44	1,3	2,31%
	14:36:17	3,67	3,6	1,94%
	14:37:23	3,5	3,4	2,94%

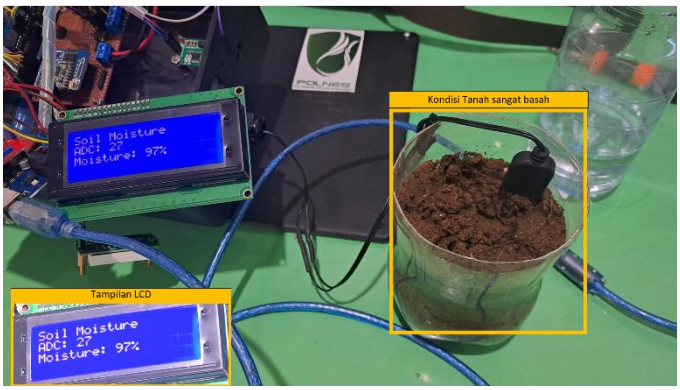
Submitted: 10/06/2025; Revised: 29/06/2025;
Accepted: 29/06/2025; Online first 29/06/2025
https://doi.org/10.46964/poligrid.v6i1.62

	14:38:29	1,33	1,3	2,31%
Kecepatan 3	14:39:35	1,22	1,2	1,67%
	14:40:41	1,23	1,2	2,50%

C. *Pengujian Sensor Kelembapan Tanah*

Pengujian sensor kelembapan tanah ini dilakukan di Laboratorium Jurusan Elektro Politeknik Negeri Samarinda untuk mengevaluasi kinerja sensor dalam mendeteksi tingkat kelembapan tanah dan menampilkan data tersebut secara real-time pada layar LCD I2C. Sensor kelembapan tanah bekerja berdasarkan pengukuran nilai tahanan atau resistansi tanah yang bervariasi sesuai dengan kadar air di dalamnya, dengan tiga pin konfigurasi yaitu vcc, gnd, dan pin analog. Sensor ini menghasilkan nilai ADC (*analog to digital converter*) yang kemudian dikonversi ke dalam persentase menggunakan fungsi 'map()' untuk memberikan gambaran yang lebih mudah dipahami mengenai tingkat kelembapan tanah.

Pengujian dilakukan dengan menghubungkan sensor kelembapan tanah ke Arduino Uno melalui pin analog dan LCD ke I2C pada Arduino, lalu menanamkan sensor ke dalam wadah yang berisi tanah. Nilai ADC yang diperoleh dikonversi menjadi persentase kelembapan dan ditampilkan pada layar LCD I2C. Gambar 19 ditunjukkan pelaksanaan pengujian sensor kelembapan tanah dan hasil pengujian dimasukkan ke dalam Tabel 11.



Gambar 19 Pengujian sensor kelembapan tanah

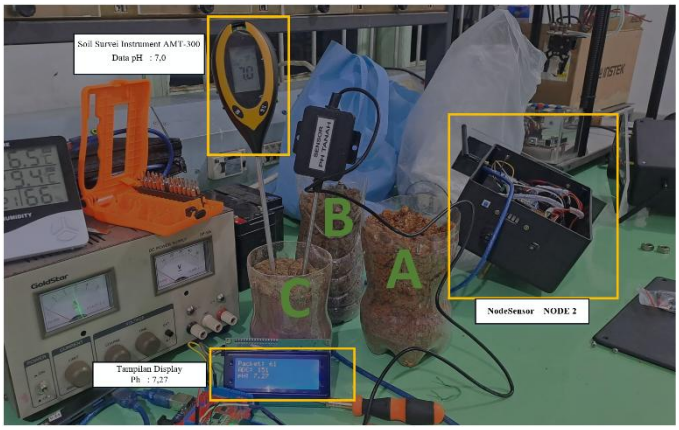
TABEL 11
HASIL PENGUJIAN SENSOR KELEMBAPAN TANAH

No	Waktu Pengujian	Pengukuran		Kondisi
		Nilai - ADC (Bit)	Persentase (%)	
1	16:36:44	989	3	Kering
2	16:38:23	895	12	Kering
3	16:40:02	658	35	Kering
4	16:41:41	509	50	Lembab
5	16:43:20	353	65	Lembab
6	16:44:59	305	70	Lembab
7	16:46:38	130	87	Basah
8	16:48:17	96	90	Basah
9	16:49:56	56	94	Basah
10	16:51:35	27	97	Basah

Hasil pengujian pada Tabel 11 menunjukkan bahwa tanah sangat kering memiliki nilai ADC tinggi mendekati 1023 bit, tanah lembab menunjukkan nilai ADC menengah dengan persentase kelembapan sekitar 50-70%, dan tanah basah memiliki nilai ADC rendah mendekati 0 bit. Data yang diperoleh selama pengujian menunjukkan bahwa sensor mampu memberikan pembacaan yang akurat dan responsif terhadap perubahan kondisi kelembapan tanah, dengan nilai kelembapan tanah berkisar dari 3% (nilai ADC 989 bit) hingga 97% (nilai ADC 27 bit). Hal ini membuktikan bahwa sistem kelembapan tanah ini efektif untuk digunakan dalam aplikasi pemantauan kelembapan tanah, seperti di bidang pertanian cerdas.

D. *Pengujian Sensor pH Tanah*

Pengujian sensor pH tanah dilakukan untuk mengevaluasi kemampuannya dalam mengukur tingkat keasaman atau kebasaan tanah di Laboratorium Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Samarinda. Pengujian ini menggunakan alat ukur digital Soil Survey Instrument AMT-300 sebagai pembanding. Sensor pH tanah bekerja berdasarkan prinsip elektrode yang bereaksi dengan ion hidrogen dalam tanah, menghasilkan tegangan listrik yang sebanding dengan tingkat keasaman tanah. Sensor ini dihubungkan ke Arduino Uno, dengan data pengukuran yang ditampilkan melalui LCD I2C. Tiga jenis tanah berbeda diuji, dan hasilnya dibandingkan dengan alat ukur AMT-300. Pelaksanaan pengujian seperti yang ditunjukkan Gambar 20.



Gambar 20 Pengujian sensor pH tanah

Hasil pengujian pada Tabel 12 menunjukkan bahwa sensor pH tanah memberikan pembacaan yang cukup akurat dengan kesalahan kecil. Pada tanah A, sensor menunjukkan nilai pH 6,51 dengan kesalahan 1,36%, tanah B dengan pH 6,45 dan kesalahan 0,78%, dan tanah C dengan pH 7,27 serta kesalahan 3,86%. Meskipun terdapat sedikit perbedaan pada tanah C, kesalahan ini masih dalam batas toleransi yang dapat diterima. Secara keseluruhan, sensor ini efektif dan dapat diandalkan untuk pengukuran pH tanah dalam berbagai kondisi, mendukung aplikasinya di bidang pertanian dan lingkungan.

TABEL 12
Tabel 12. HASIL PENGUJIAN SENSOR PH TANAH

No	Tanah	Sensor PH Tanah	Soil Survei Instrument AMT-300	Error (%)
1	A	6,51	6,60	1,36%

Submitted: 10/06/2025; Revised: 29/06/2025;
Accepted: 29/06/2025; Online first 29/06/2025
https://doi.org/10.46964/poligrid.v6i1.62

2	B	6,45	6,40	0,78%
3	C	7,27	7,00	3,86%

E. Pengujian Kemampuan LoRa dan Pengiriman data

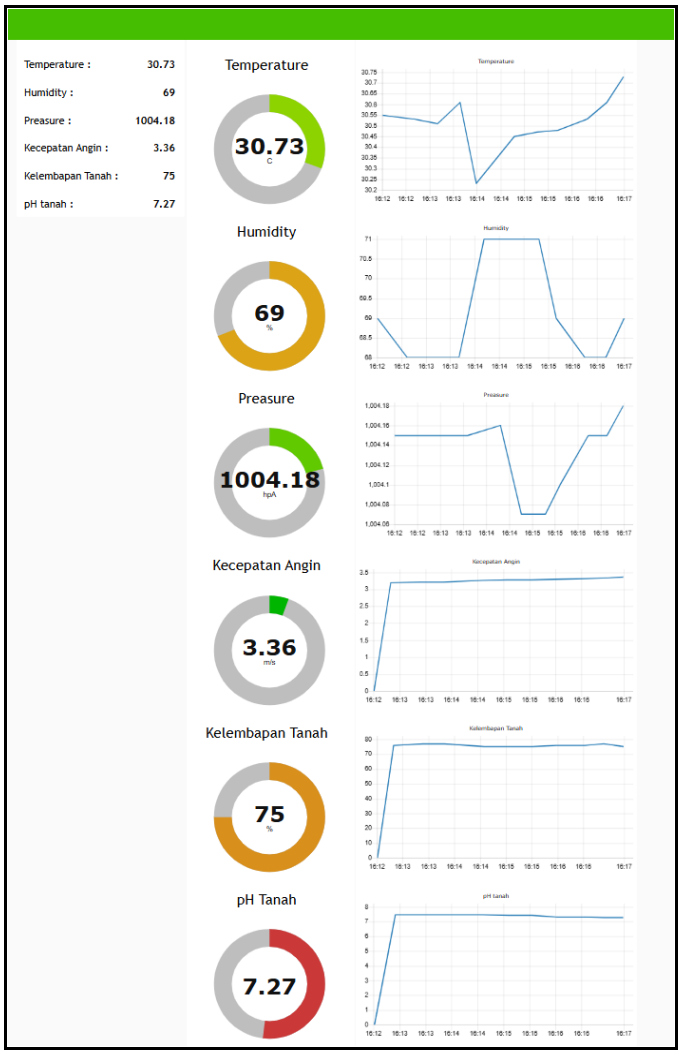
Pengujian kemampuan LoRa dilakukan di lokasi persawahan Desa Manunggal Jaya, Kecamatan Tenggarong Seberang, Kabupaten Kutai Kertanegara. Pengujian pada perancangan sistem *monitoring* pertanian cerdas ini dilakukan dengan menggunakan dua komponen utama yaitu Node Sensor sebagai pemancar (TX) dan Node Master sebagai penerima (RX). Dalam pengujian ini, Node Sensor mengirimkan data secara periodik ke Node Master. Hasil pengujian bagian ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Faizal *et.all,* yang juga mengkonfirmasi keandalan unjuk kerja LoRa dalam aplikasi pertanian [24]. Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 13, yang memperlihatkan pengukuran RSSI ((*Received Signal Strength Indikator*) dan SNR (*Signal-to-Noise Ratio*). Pengukuran RSSI akan memberikan informasi tentang kekuatan dari sinyal yang diterima, sedangkan SNR akan memberikan informasi tentang tingkat kebisingan (*noise*) dari komunikasi tersebut.

Hasil dari pengujian unjuk kerja LoRa, menunjukkan bahwa semakin jauh jarak antara pengirim dan penerima, nilai RSSI mengalami penurunan. Namun, meskipun jaraknya berubah secara signifikan, penurunan RSSI tidak terjadi secara linear. Bahkan, karena nilai rata – rata RSSI terendah (-91,70 dBm) masih lebih tinggi dari batas sensitivitas minimum modul LoRa (-139 dBm), dapat diindikasikan bahwa jangkauan LoRa di area pertanian ini bisa mencapai beberapa belas kilometer. Tingkat SNR (*Signal-to-Noise Ratio*) di lahan pertanian Desa Manunggal Jaya terbilang cukup stabil dan tinggi, dengan nilai tertinggi mencapai 9,68 dB pada jarak 15 meter dan nilai terendah sebesar 9,45 dB pada jarak 128 meter. Konsistensi ini dapat dimaklumi karena lahan pertanian tersebut hampir tidak memiliki sumber gangguan (*noise*) yang signifikan.

Pengujian pengiriman data dilakukan terhadap keseluruhan sistem yang bertujuan untuk memastikan bahwa sistem dapat berfungsi dengan baik sesuai dengan tujuan perencanaan. Gambar 21 merupakan pengujian sistem *monitoring dashboard* pertanian cerdas yang ditampilkan pada laptop.

Gambar 21 Pengujian pemantauan terhadap sistem *monitoring*

Selama keseluruhan proses pengujian, hasilnya menunjukkan bahwa sistem *monitoring* ini telah berhasil diimplementasikan dengan efektif. Sistem ini mampu menyajikan informasi kondisi persawahan secara *real-time* melalui data yang dikumpulkan oleh node-node sensor yang terpasang dan ditampilkan pada *dashboard*, seperti yang terlihat pada Gambar 22. Hasil data dari sistem *monitoring* pertanian cerdas ini disajikan dalam Tabel 13. Data dari sensor ini kemudian diolah dan divisualisasikan menggunakan Node-RED, sebuah *tool* yang memungkinkan integrasi dan pengelolaan aliran data secara interaktif dan dinamis. Dengan Node-RED, pengguna dapat memantau dan mengendalikan berbagai aspek dari pertanian cerdas ini secara real-time melalui antarmuka yang *user-friendly.*



Gambar 22 Tampilan *dashboard* sistem *monitoring*

TABEL 13
HASIL DATA PENGUJIAN SISTEM *MONITORING*

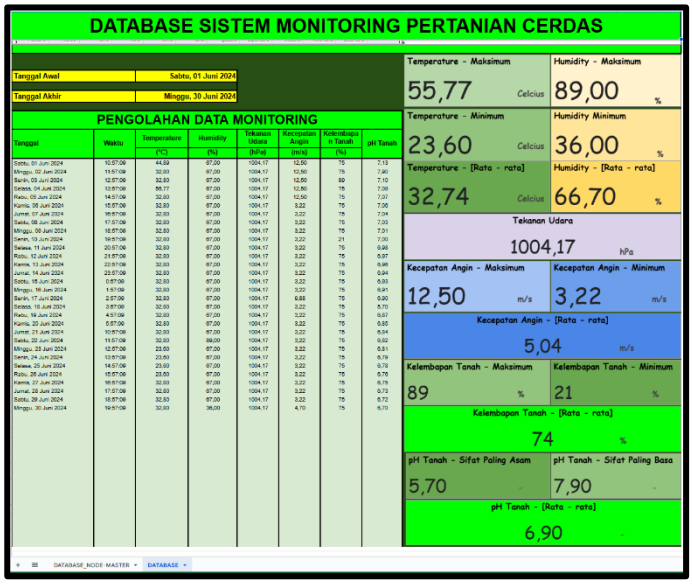
Database Monitoring Sistem Pertanian Cerdas								
Tanggal	Waktu	Sensor Reading Status	Temperature	Humidity	Tekanan Udara	Kecepatan Angin	Kelembapan Tanah	pH Tanah
			(°C)	(%)	(hPa)	(m/s)	(%)	

Submitted: 10/06/2025; Revised: 29/06/2025;
Accepted: 29/06/2025; Online first 29/06/2025
https://doi.org/10.46964/poligrid.v6i1.62

19/05/2024	16:30:59	Succsess	30.73	69	1004.18	3.36	75	7.27
19/05/2024	16:20:12	Succsess	30.61	68	1004.15	3.34	77	7.27
19/05/2024	16:19:25	Succsess	30.53	68	1004.15	3.32	76	7.31
19/05/2024	16:18:45	Succsess	30.48	69	1004.10	3.30	76	7.33
19/05/2024	16:17:06	Succsess	30.47	71	1004.07	3.28	75	7.44
19/05/2024	16:16:19	Succsess	30.45	71	1004.16	3.26	75	7.45
19/05/2024	16:15:32	Succsess	30.23	71	1004.14	3.24	78	7.46
19/05/2024	16:14:40	Succsess	30.61	68	1004.15	3.22	77	7.47
19/05/2024	16:13:51	Succsess	30.53	68	1004.15	3.20	76	7.48
19/05/2024	16:12:13	Succsess	30.55	69	1004.15	0.00	0	0.00

F. Pengujian Pengolahan Database

Pengujian *database monitoring* untuk sistem pertanian cerdas dilakukan dengan mensimulasikan data pengukuran selama satu tahun menggunakan Google Spreadsheet. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk memastikan bahwa sistem *database* mampu mengumpulkan, menyimpan, dan menampilkan data secara akurat dan konsisten dalam jangka waktu yang panjang. Data yang diuji mencakup suhu, kelembapan udara, tekanan udara, kecepatan angin, kelembapan tanah, dan pH tanah, yang ditambahkan secara acak untuk mencerminkan kondisi nyata di lapangan.



Gambar 23 Tampilan *database* sistem *monitoring*

Gambar 23 ditunjukkan tampilan *database* sistem *monitoring, s*istem ini dilengkapi dengan fitur yang memungkinkan pengguna untuk memilih rentang tanggal tertentu dan secara otomatis menampilkan data terkait. Data tersebut dapat dianalisis melalui *dashboard* yang menyajikan informasi penting seperti nilai rata-rata, maksimum, dan minimum dari parameter yang dipantau. Hasil pengujian menunjukkan bahwa *database* mampu menampilkan data pengukuran harian dan memberikan wawasan yang mendalam tentang variasi kondisi lingkungan dalam satu bulan, membantu pengguna dalam pengambilan keputusan untuk pengelolaan pertanian. Fitur ini memudahkan pemantauan dan analisis kondisi lingkungan secara *real-time*, yang sangat berguna dalam pengelolaan pertanian cerdas.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan data yang diperoleh dari hasil penelitian mengenai sistem *monitoring* pertanian cerdas berbasis LoRa di area pertanian Desa Manunggal Jaya menunjukkan bahwa sistem ini berhasil mengintegrasikan berbagai sensor lingkungan yang memberikan pengukuran akurat dan konsisten. Pengujian performa LoRa memperlihatkan bahwa penurunan RSSI tidak signifikan meskipun jarak antara LoRa *sender* dan *receiver* meningkat, dengan nilai RSSI terendah (-91 dBm) pada jarak 128-meter yang masih jauh di atas sensitivitas modul LoRa, sehingga jangkauan LoRa di lahan pertanian tersebut diperkirakan masih dapat lebih jauh. Selain itu, nilai SNR yang stabil, baik pada jarak terdekat 9 meter maupun terjauh 128 meter, menunjukkan bahwa lahan pertanian ini hampir tidak memiliki sumber *noise* yang mengganggu. Pengiriman data dari Node Sensor ke *database* melalui Node Master juga berjalan dengan baik, dan sistem *database* menggunakan Google Spreadsheet mampu mengelola volume data besar dengan akurat selama satu tahun. Secara keseluruhan, sistem *monitoring* ini berfungsi efektif dalam mengukur dan mengirimkan data *real-time*, menjadikannya layak untuk diimplementasikan dalam pemantauan kondisi persawahan secara *real-time.*

REFERENSI

[1] LoraWAN, What Is It? A Technical Overview of LoRa® and LoRaWAN™", Whitepaper, LoRa Alliance, San Ramon California, 2015.

[2] A. S. Dewi, D. Darlis, dan R. A. Primadhi, "Rancang bangun agriculture node untuk monitoring kualitas tanah berbasis Lora AS923-2 guna mendukung penelitian integrated smart farming Di Laboratorium Inacos Universitas Telkom," *e-Proceeding of Applied Science*, vol. 9, no. 1, pp. 220-231, 2023.

[3] H. W. Yoon, D. J. Kim, M. Lee, C. Weon, dan A. Smith, "L&M Farm: A smart farm based on LoRa & MQTT," in *International Conference on Omni-layer Intelligent Systems* (COINS), Barcelona, Spain, Aug. 31 2020.

[4] R. Batong, P. Murdiyat, dan A. H. Kurniawan, "Analisis kelayakan LoRa untuk jaringan komunikasi sistem monitoring listrik di Politeknik Negeri Samarinda," *PoliGrid,* vol. 01, no. 02, 2020.

[5] M. M. Kurniawan, K. Amron, dan R. A. Siregar "Analisis karakteristik transmisi LoRa pada Wilayah perkotaan," *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer,* vol. 6, no. 8, pp. 3977 - 3986, 2022.

[6] P. D. D. Istianti, S. Y. Prawiro, N. B. A. Karna, dan I. A. NurSafa "Analisis performansi teknologi akses LPWAN LoRa Antares untuk komunikasi data end node," *Prosiding The 11 Conference on Information Tecnology and Electrical Engineering 2019 (CITEE 2019),* Yogyakarta,24-25 Juli 2019, pp. 22 - 26 , 2019.

[7] E. Murdyantoro, I. Rosyadi, dan H. Septian "Studi performansi jarak jangkauan LoRa OLG01 sebagai infrastruktur konektivitas nirkabel IoT," *Jurnal Dinamika Rekayasa,* vol. 15, no. 1, pp. 47 - 56, 2019.

[8] A. Yanziah, S. Soim, dan M.M. Rose, "Analisis jarak jangkauan LoRa dengan parameter RSSI dan packet loss area urban," *Jurnal Teknologi Technoscientia,* vol.13, no. 1, Aug. 2020.

Submitted: 10/06/2025; Revised: 29/06/2025;
Accepted: 29/06/2025; Online first 29/06/2025
https://doi.org/10.46964/poligrid.v6i1.62

[9] D. S. Simangunsong, A. A. Zahra, dan A. Hidayatno, "Estimasi perbaikan nilai SNR (signal to noise ratio) pada proses denoising menggunakan metode wavelet terhadap suatu sinyal berderau," *Transient,* vol. 2, no. 4, 2013.

[10] *Semtech Datasheet - LoRa SX1276/77/78/79*, Semtech Corporation, 2015.

[11] E. D. Widianto, A. A. Faizal, D. Eridani, R. D. O. Augustinus, dan M. S. M. Pakpahan, "C," *TELKA - Telekomunikasi Elektronika Komputasi dan Kontrol ,* vol. 5, no. 2, pp. 83 - 92, 2019.

[12] *Peraturan Menteri Komunikasi dan Informatika Nomor 2 Tahun 2023 tentang Penggunaan Spektrum Frekuensi Radio Berdasarkan Izin Kelas*, Kementerian Komunikasi dan Informatika, Jakarta, 2023.

[13] *Arduino, Arduino IDE*, [Online]. Available: https://www.arduino.cc/. [Accessed 21 02 2023].

[14] *ESP32 Series Datasheet*, Espressif Systems, 2023.

[15] *Moisture Sensor (SKU:SEN0114)*, DFRobot, 2017.

[16] "*BME280 - Datasheet*," Reutlingen, Germany, BOSCH SENSORTEC, 2024.

[17] M. Fernando, L. Jasa, dan R. S. Hartati, "Monitoring system kecepatan dan arah angin berbasis internet of things (IoT) menggunakan Raspberry Pi 3," *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, vol. 21, no. 1, pp. 135-142, 2022.

[18] A. Rukmana, H. Susilawati, dan G. Galang, "Pencatat pH tanah otomatis," *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Teknik Elektro telekomunikasi Indonesia*, vol. 10 no. 1, Universitas Garut, 2019.

[19] D. F. Arfianto, D. A. Asfani, dan D. Fahmi, "Pemantauan, proteksi, dan ekualisasi baterai Lithium-ion tersusun seri menggunakan konverter buck-boost dan LC seri dengan kontrol synchronous phase shift," *Jurnal Teknik ITS*, vol. 5, no. 2, pp. 122-128, 2016.

[20] PT. Samoto Mega Teknologi, SMT-POWER Battery, Jakarta Utara: PT. Samoto Mega Teknologi.

[21] S. Chanthakit dan C. Rattanapoka, "MQTT based air quality monitoring system using NodeMCU and Node-RED," in *Seventh ICT International Student Project Conference (ICT-ISPC)*, Nakhonpathom, Thailand, Jul. 11-13 2018.

[22] Google, "Google Sheets: Create and edit spreadsheets online for free," Google Workspace. [Online]. Available: https://workspace.google.com/ [Accessed: 05-Apr-2024].

[23] Open JS Foundation, "Node-RED," Open JS Foundation. [Online]. Available: https://nodered.org/. [Accessed: 05-Apr-2024].

[24] F. Rahmansyah, P. Murdiyat, Rusda, "Unjuk kerja LoRa Untuk media komunikasi smart farming di area persawahan Desa Manunggal Jaya Kabupaten Kutai Kertanegara," *PoliGrid,* vol. 05, no. 01, pp. 34-41, 2024.

Submitted: 10/06/2025; Revised: 29/06/2025;
Accepted: 29/06/2025; Online first 29/06/2025
https://doi.org/10.46964/poligrid.v6i1.62