

Analisis Kualitas Daya Listrik Gedung Direktorat Politeknik Negeri Samarinda

Brilliantie Davira, Rusda, Khairuddin Karim

Rancang Bangun Rele Diferensial Berbasis Arduino

Muhammad Ismail Ibrahim, Rahmad Adi Wijaya, Rizky Aprylianto Susilo, Prihadi Murdiyat

Koordinasi Rele Arus Lebih dan Rele Gangguan Tanah Pada Penyulang J4 dan J5 di Gardu Induk Karang Joang Balikpapan

Onglan Nainggolan, Masing, Ikhwan Tantowi Ardiwinata

Rancang Bangun Rele Arus Lebih Tipe Inverse Time Dengan Time Multiplier Setting 0,05 Detik Berbasis Arduino

Becky Arya Wijaya, Arief Ihsandi, Onglan Nainggolan, Prihadi Murdiyat

Unjuk Kerja LoRa Untuk Media Komunikasi Smart Farming di Area Persawahan Desa Manunggal Jaya Kabupaten Kutai Kartanegara

Faizal Rahmansyah, Prihadi Murdiyat

KATA PENGANTAR

Puji syukur kembali dipanjatkan kepada Allah SWT karena jurnal PoliGrid volume 5 nomor 1 telah dapat diterbitkan. Sukses penerbitan ini tercapai karena para author yang telah memberikan kepercayaan kepada redaksi PoliGrid, istiqomah dari para mitra bestari (*reviewer*) yang telah bersedia meluangkan kesibukannya untuk melakukan proses *review*, juga tim editor atas komitmennya untuk menyelesaikan terbitan ini.

Tahun ini adalah tahun kelima di mana Poligrid terakreditasi Sinta 5. Dengan modal akreditasi tersebut sedikit-demi sedikit sedang dilakukan upaya untuk menaikkan akreditasinya agar kualitas penerbitan ke depan dapat meningkat. Karenanya, dimohon saran dan pendapat yang membangun dari para mitra bestari dan editor untuk perbaikan tata laksana, tampilan, dan lainnya. Selain itu, akreditasi bukanlah satu-satunya tujuan dari penerbitan jurnal ini, sebagai media yang dikelola oleh institusi pendidikan, artikel-artikel yang dihasilkan oleh para author terutama dengan latar belakang pendidikan vokasi, dan diinginkan juga dari industri, dapat menjadi rujukan bagi masyarakat luas tentang perkembangan teknologi listrik dan elektronika yang telah diimplementasikan oleh masyarakat kita.

Seperti beberapa penerbitan terakhir, kali ini terdapat artikel yang dihasilkan dari kegiatan *Project Based Learning* (PBL). Salah satu bentuk kegiatan belajar-mengajar yang sedang didorong oleh Direktorat Jenderal Vokasi, Departemen Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi ini terbukti dapat menghasilkan laporan penelitian yang cukup signifikan. Dari sisi pengembangan kemampuan mahasiswa, rangkaian kegiatan tersebut dapat meningkatkan budaya meneliti hingga menyajikan laporan bagi mahasiswa, khususnya dari perguruan tinggi Vokasi.

Selanjutnya, untuk penerbitan kali ini, semua artikel masih berasal dari Politeknik Negeri Samarinda dan belum ada artikel eksternal seperti yang pernah diperoleh pada penerbitan-penerbitan awal. Oleh karena itu, mohon bantuan pada para editor dan mitra bestari untuk turut mengenalkan jurnal ini pada rekanan lain. Dari lima artikel yang diterbitkan, sebuah artikel membahas tentang kualitas daya di Gedung Direktorat Politeknik Negeri Samarinda, tiga artikel membahas tentang rele pengaman, serta sebuah artikel tentang analisis kemampuan LoRa di daerah pertanian. Semoga artikel-artikel tersebut dapat memberikan manfaat pada khalayak luas khususnya yang menekuni bidang kelistrikan dan elektronika. Aamiin.

Redaksi

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, ST., MT. 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. Politeknik Negeri Samarinda Muhammad Agung Nursyeha, S.T., M.T. Institut Teknologi Kalimantan
Mitra Bestari :	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 Yudaningsy, 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

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR

DEWAN REDAKSI

DAFTAR ISI

	Halaman
Analisis Kualitas Daya Listrik Gedung Direktorat Politeknik Negeri Samarinda Rusda, Brilliatie Davira , Khairuddin Karim	1 - 12
Rancang Bangun Rele Diferensial Berbasis Arduino Muhammad Ismail Ibrahim, Rahmad Adi Wijaya, Rizky Aprylianto Susilo, Prihadi Murdiyat	13 - 19
Koordinasi Rele Arus Lebih dan Rele Gangguan Tanah Pada Penyulang J4 dan J5 di Gardu Induk Karang Joang Balikpapan Onglan Nainggolan, Masing, Ikhwan Tantowi Ardiwinata	20 - 26
Rancang Bangun Rele Arus Lebih Tipe <i>Inverse Time</i> Dengan Time Multiplier Setting 0,005 Detik Berbasis Arduino Becky Arya Wijaya, Arief Ihsandi, Onglan Nainggolan, Prihadi Murdiyat	27 - 33
Unjuk Kerja LoRa Untuk Media Komunikasi Smart Farming Di Area Persawahan Desa Manunggal Jaya, Kab. Kutai Kartanegara Faizal Rahmansyah, Prihadi Murdiyat, Rusda	34 - 41

Analisis Kualitas Daya Listrik Gedung Direktorat Politeknik Negeri Samarinda

Brilliantie Davira¹, Rusda², Khairuddin Karim³

^{1,2,3} Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Samarinda

Jl. Dr. Ciptomangunkusumo, Kampus Gunung Panjang, Samarinda, 75121

rusda@polnes.ac.id

Abstrak- Masalah kualitas daya listrik menjadi perhatian yang serius, permasalahan kualitas daya listrik dapat menyebabkan penurunan kinerja pada peralatan elektronik yang terpasang. Berbagai permasalahan kualitas daya yang dapat terjadi adalah gangguan harmonisa, ketidak seimbangan tegangan maupun beban. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis berbagai parameter yang mempengaruhi kualitas daya pada gedung Direktorat Politeknik Negeri Samarinda. Dengan melakukan pengukuran tegangan, arus, harmonisa, frekuensi dan faktor daya menggunakan alat ukur *Power Quality Analyzer* (PQA) dan dibaca menggunakan software PQONE. Hasil pengukuran ini selanjutnya dibandingkan dengan standar IEEE, sebagai evaluasi terhadap kualitas daya listrik di gedung Direktorat Politeknik Negeri Samarinda. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Beban listrik berada pada kondisi yang tidak seimbang. Hal ini terlihat pada nilai arus yang mengalir pada masing masing fase terukur *over*. Kandungan harmonisa arus (%ITHD) mencapai 37,7% melebihi batas standar yang diizinkan yaitu (15%). Nilai tegangan yang terukur berada pada rentang 230,9 V hingga 241,6 V. Nilai tegangan ini tidak sesuai dengan rentang Standar Nasional Indonesia (SNI) yaitu tidak lebih rendah dari 198 V dan tidak lebih tinggi dari 231 V.

Kata kunci: kualitas daya, harmonisa, ketidakseimbangan tegangan dan beban, faktor daya.

I. PENDAHULUAN

Energi listrik menjadi kebutuhan pokok dalam semua lini kegiatan manusia saat ini. Ketergantungan manusia yang besar terhadap energi listrik ini menyebabkan kegiatan sehari hari dapat berhenti apabila terjadi pemutusan aliran daya listrik dari pusat pemasok daya listrik.

Pemakaian energi listrik terjadi pada beberapa sektor seperti pada instansi pendidikan dan penelitian, area perindustrian, pusat perbelanjaan hingga rumah tangga. Salah satu pemakaian energi listrik yang cukup besar pada era modern ini yaitu pada instansi pendidikan dan penelitian. Banyak gedung gedung yang berdiri pada suatu daerah akan sangat mempengaruhi pembebanan listrik yang menjadi besar. Akibatnya dibutuhkan pula pasok energi listrik yang lebih besar untuk menyeimbangkan beban yang digunakan.

Selain dibutuhkan pasokan energi yang besar, kualitas daya listrik juga harus selalu diperhatikan. Penggunaan beban listrik saat ini memang dirasakan jauh lebih banyak dan dengan permasalahan yang juga banyak jika dibandingkan dengan penggunaan beban listrik pada waktu dahulu. Kualitas

daya listrik yang kurang baik akan merugikan produsen sebagai penyedia jasa dan juga pelanggan sebagai konsumen. Beban listrik di setiap gedung suatu instansi dapat berpengaruh pada sebuah sistem. Penurunan kualitas daya yang terjadi dapat memberikan dampak yang besar bagi efisiensi sistem. Penurunan kualitas daya dapat disebabkan oleh berbagai macam permasalahan contohnya adalah gangguan harmonisa dan ketidakseimbangan tegangan maupun beban.

Masalah kualitas daya listrik menjadi perhatian yang meningkat, karena ketidakstabilan tegangan dapat merusak peralatan yang sensitif terhadap perubahan tegangan, terutama peralatan elektronik. Beban *non linier* juga merupakan salah satu faktor penting yang mempengaruhi kualitas daya, beban merupakan sumber harmonisa yang dapat menurunkan kualitas daya.

Monitoring atau pemantauan berkala kualitas daya listrik pada suatu gedung akan melalui suatu proses pengambilan data tentang variabel atau besaran listrik yaitu tegangan, arus, faktor daya, daya nyata, daya semu, daya reaktif dan harmonisa listrik. Dari data tersebut kemudian dilakukan proses analisa data dan mengambil kesimpulan hasil pengolahan data untuk memberikan informasi tentang semua *variable* tersebut. Setelah kesimpulan diperoleh maka dapat diambil tindakan untuk memperbaiki atau meningkatkan kualitas daya listrik.

Gedung Direktorat Politeknik Negeri Samarinda adalah gedung sarana pendidikan yang dilengkapi dengan peralatan kelistrikan yang mutakhir untuk menunjang pekerjaan para pegawainya. Peralatan-peralatan tersebut dapat rusak jika dialiri listrik dari sumber yang tidak stabil. Maka akan dilakukan analisis kualitas daya dengan judul "Analisis Kualitas Daya Listrik Pada Gedung Direktorat Politeknik Negeri Samarinda" dengan harapan agar *power supply* dan sistem di gedung Direktorat Politeknik Negeri Samarinda akan selalu terjaga dengan baik bersamaan juga dengan peralatan yang ada.

Dalam penelitian ini dibahas mengenai kualitas daya gedung. Hasil dari analisis kualitas daya akan digunakan untuk mengevaluasi sistem kelistrikan. Sistem kelistrikan Politeknik Negeri Samarinda memiliki 4 Trafo daya yaitu dengan kapasitas 197 KVA, 555 KVA, dan menghubungkan paralel 630 KVA dan 800 KVA. Untuk menambah keandalan sistem kelistrikannya, Politeknik Negeri Samarinda memiliki dua genset dengan daya 350 KVA dan 400 KVA serta telah terpasang kapasitor bank dengan daya 200 KVAR yang dipasang pada trafo 800 KVA. Gedung Direktorat Politeknik Negeri Samarinda disupply dengan trafo 555 KVA. Untuk menambah keandalan sistem kelistrikannya, *Main distribution*

panel (MDP) yang terpasang pada gedung Direktorat Politeknik Negeri Samarinda memiliki arus sebesar 400 A dan 4 sub panel yang ada di setiap lantai memiliki arus sebesar 100 A.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Kualitas Daya Listrik

Kualitas daya listrik ditentukan oleh kualitas dari arus, tegangan, frekuensi, harmonisa, rugi daya, factor daya, dan pentanahan (*grounding*), serta ketidak-seimbangan sistem. Kualitas daya akan dikatakan baik apabila arus, tegangan, dan frekuensi yang terdapat pada sistem selalu konstan atau tidak terjadi perubahan yang signifikan. Tetapi pada kenyataannya arus, tegangan, dan frekuensi tidak selalu bernilai konstan, tergantung pada peralatan listrik atau beban yang dipakai dan pengaturan sistem distribusi listriknya [1].

Terdapat beberapa definisi yang berbeda terhadap pengertian tentang kualitas daya listrik, tergantung dari kerangka acuan yang digunakan dalam mengartikan istilah tersebut. Sebagai contoh suatu pengguna sistem kelistrikan dapat mengartikan kualitas daya listrik sebagai keandalan, dimana dengan menggunakan angka 99,98%, sistem tenaga listriknya mempunyai kualitas yang dapat diandalkan dari sisi peralatan maupun kinerjanya.

Istilah kualitas daya listrik telah menjadi isu penting pada industri tenaga listrik sejak akhir tahun 1980-an. Menurut IEEE kualitas daya adalah suatu konsep memberi daya peralatan elektronik dengan cara yang sesuai dengan pengoperasian peralatan itu sendiri dengan tahapan yang kompatibel dengan pasokan dan peralatan yang terhubung lainnya [2]. Arti dari kualitas daya yang lebih spesifik lagi adalah gangguan kualitas daya, secara umum diterima sebagai setiap perubahan daya (tegangan, arus, atau frekuensi) yang dapat mengganggu kenormalan pengoperasian peralatan listrik. *International Electrotechnical Commission* (IEC) mendefinisikan kualitas daya sebagai sekumpulan parameter yang menentukan sifat catu daya yang dikirimkan ke pengguna dalam kondisi operasi normal dalam hal kontinuitas pasokan dan karakteristik tegangan (besaran, frekuensi, bentuk gelombang).

Parameter Kualitas Daya Listrik

Ada beberapa parameter yang akan penulis bahas yaitu beda frekuensi, beda potensial listrik atau biasa disebut tegangan listrik, arus listrik, dan factor daya. Berikut ini penjelasannya [3].

1. Frekuensi

Frekuensi adalah ukuran jumlah putaran ulang per peristiwa dalam selang waktu yang diberikan. Satuan frekuensi dinyatakan dalam hertz (Hz) yaitu nama pakar fisika Jerman Heinrich Rudolf Hertz yang menemukan fenomena ini pertama kali. Di setiap Negara mempunyai tegangan listrik yang berbeda beda. Frekuensi tegangan listrik yang berlaku di Indonesia adalah 50 hz, sedangkan di Amerika berlaku frekuensi 60 Hz.

2. Beda Potensial Listrik (Volt)

Beda potensial listrik atau biasa disebut tegangan adalah beda potensial listrik antar titik – titik pada suatu rangkaian listrik. Dengan adanya perbedaan potensial listrik tersebut mampu membangkitkan medan listrik sehingga timbul arus listrik. Perbedaan potensial antara ujung – ujung rangkaian listrik pada suatu rangkaian tertutup akan menjadikan suatu aliran listrik

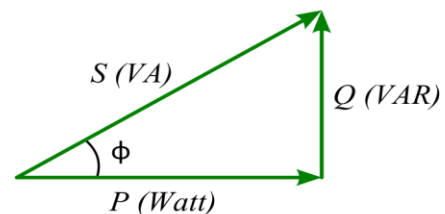
3. Arus Listrik

Arus listrik yaitu muatan yang mengalir melalui suatu material yang disebut penghantar dalam tiap satuan waktu. Arus listrik adalah pergerakan atau aliran *electron*. Elektron ini dapat mengalir karena beda potensial (tegangan) antara kutub positif dan negatif. Arus listrik tidak dapat mengalir bila rangkaian dalam keadaan terbuka.

4. Daya dan Faktor Daya

Daya memiliki arti sebagai energi persatuan waktu [4]. Daya merupakan jumlah energi listrik yang digunakan untuk melakukan usaha di dalam sistem tenaga listrik. Satuan untuk daya listrik umumnya adalah Watt. Daya pada suatu sistem tegangan bolak-balik (AC) dikenal dengan tiga macam yaitu daya aktif (nyata) dengan simbol (P) satuannya adalah *Watt* (W), daya reaktif dengan simbol (Q) satuannya adalah *volt ampere reactive* (VAR) dan daya semu dengan simbol (S) satuannya adalah *volt ampere* (VA) [5].

Faktor daya (pf) atau $\cos \phi$ yaitu hubungan antara ketiga buah daya listrik yang dapat digambarkan dengan suatu segitiga daya seperti pada [Gambar 1](#):



Gambar 1. Segitiga daya

Berikut hubungan arus, tegangan dan $\cos \phi$ yang dikonversi dan dinyatakan dalam satuan daya satu fase maupun tiga fase:

$$P = I \times V \times \cos \phi \text{ (Watt)} \quad (1)$$

$$Q = I \times V \times \sin \phi \text{ (VAR)} \quad (2)$$

$$S = I \times V \text{ (VA)} \quad (3)$$

$$P3 = \sqrt{3} \times V_{L-L} \times I \times \cos \phi \quad (4)$$

$$Q3 = \sqrt{3} \times V_{L-L} \times I \times \sin \phi \quad (5)$$

$$S3 = \sqrt{3} \times V_{L-L} \times I \quad (6)$$

Keterangan:

P = Daya aktif (Watt)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

Q = Daya Reaktif (VAR)

S = Daya Semu (VA)

$\cos \phi$ = Faktor daya

V_{L-L} = Tegangan jaringan (Volt)

Dimana faktor daya atau $\cos \phi$ dapat dirumuskan:

$$Pf = \frac{P}{S} \quad (7)$$

Keterangan:

Pf = Faktor daya

P = Daya aktif (Watt)

S = Daya semu (VA)

Namun dengan adanya suatu distorsi harmonisa pada gelombang tegangan dan arus listrik, maka persamaan diatas tidak berlaku. Hal ini disebabkan oleh adanya distorsi tegangan dan arus yang menyebabkan terjadinya distorsi daya listrik (VA), dimana:

$$D = \sqrt{S^2 - P^2 - Q^2} \quad (8)$$

Keterangan:

D = Distorsi

S = Daya semu (VA)

P = Daya aktif (Watt)

Q = Daya reaktif (VAR)

Sehingga $\cos \phi$ digunakan untuk mengukur faktor daya dengan frekuensi dasar yang tidak mengandung harmonisa. Sedangkan pf digunakan untuk mengukur faktor daya dengan frekuensi yang mengandung harmonisa.

5. Harmonisa

Harmonisa merupakan suatu gejala pembentukan gelombang-gelombang dengan frekuensi berbeda yang merupakan perkalian bilangan bulat dengan frekuensi dasarnya. Frekuensi dasar sistem tenaga listrik di Indonesia adalah 50 Hz, sehingga harmonisa mempunyai frekuensi dengan nilai kelipatan dari 50 Hz. Sebagai contoh, harmonisa kedua adalah gelombang dengan frekuensi sebesar 100 Hz, harmonisa ketiga adalah gelombang dengan frekuensi sebesar 150 Hz dan seterusnya. Gelombang-gelombang ini kemudian menumpang pada gelombang murni atau aslinya sehingga terbentuk gelombang cacat yang merupakan jumlah antara gelombang murni sesaat dengan gelombang harmonisanya [5].

Harmonisa dapat menyebabkan suatu distorsi harmonisa, yaitu suatu gangguan yang terjadi pada sistem distribusi tenaga listrik akibat terjadinya distorsi gelombang arus dan tegangan. Hal yang juga umum untuk kuantitas tunggal, *Total Harmonics Distortion* (THD), sebagai ukuran nilai efektif dari distorsi harmonisa Nilai *Total Harmonics Distortion* (THD) dapat dihitung dengan rumus [5]:

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{h>1}^{hMax} M_h^2}}{M_1} \quad (9)$$

Keterangan rumus:

THD = *Total Harmonic Distortion*

Mh = Nilai rms Tegangan atau Arus *harmonic* ke-n

M1 = Nilai rms Tegangan atau Arus pada frekuensi dasar

Kuantitas M dapat berupa besaran tegangan maupun besaran arus, sehingga THDv sebagai nilai distorsi harmonisa total tegangan dan THDi sebagai nilai distorsi harmonisa total arus listrik, dimana:

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{h>1}^{hMax} V_h^2}}{V_1} \quad (10)$$

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{h>1}^{hMax} I_h^2}}{I_1} \quad (11)$$

Keterangan:

THD = *Total Harmonic Distortion*

Vh = Nilai rms Tegangan *harmonic* ke-n

V1 = Nilai rms Tegangan pada frekuensi dasar

Ih = Nilai rms Arus *harmonic* ke-n

I1 = Nilai rms Arus pada frekuensi dasar

Tegangan harmonisa selalu dijadikan suatu pedoman untuk nilai dasar dari bentuk gelombang sesaat. Karena tegangan mempunyai persentase perbedaan yang kecil, di mana THD tegangan adalah pendekatan dari jumlah yang sebenarnya. Hal ini tidak berlaku untuk arus listrik, karena sebuah arus yang mempunyai nilai kecil dapat menghasilkan THD yang tinggi, sehingga tidak dapat digunakan untuk dapat menggambarkan keadaan suatu sistem.

Permasalahan Kualitas Daya

Fenomena elektromagnetik yang terjadi pada sistem tenaga listrik menjadi penyebab terjadinya permasalahan kualitas daya [6]. Jenis jenis permasalahan kualitas daya listrik adalah:

1. Voltage sag

Voltage Sag yaitu sebuah penurunan tegangan root mean square antara 10 – 90% dalam selang waktu antara 0,5 siklus hingga kurang dari satu menit.

2. Voltage Swell

Merupakan suatu peningkatan nilai tegangan root mean square antara 110 – 180% dalam selang waktu 0,5 siklus hingga kurang dari satu menit.

3. Harmonisa

Harmonisa merupakan gangguan yang ada pada sistem distribusi tenaga listrik yang disebabkan oleh distorsi gelombang dan tegangan. Jenis ini disebabkan oleh beban *non linier* yang tidak seimbang dengan tegangan gelombang listrik sehingga mengalami distorsi.

4. Flicker

Flicker atau kedip tegangan adalah fluktuasi tegangan yang terjadi berulang – ulang pada periode tertentu. Salah satu penyebab terjadinya *flicker* adalah peralatan elektronika daya yang sebagian besar merupakan beban non linier. Berikut ini adalah tabel standar flicker berdasarkan standar IEC 61000-3-3 berdasarkan interval dan batas nilai dari Pst (*short term perceptibility*) dan Plt (*long term perceptibility*). Standar nilai *Flicker* ditunjukkan pada Tabel 1

TABEL 1
STANDAR FLICKER IEC 61000-3-3

Nilai	Interval	Batas Nilai
Pst	10 menit	1,0
Plt	2 jam	0,65

5. Ketidakseimbangan Tegangan
Ketidakseimbangan bisa ditimbulkan oleh beban yang tidak sama dalam fase, yang menyebabkan penurunan tegangan yang berbeda melalui impedansi saluran fase
6. Deviasi Frekuensi
Deviasi frekuensi adalah proses menumpangkan sinyal informasi pada sinyal pembawa sehingga frekuensi gelombang pembawa berubah sesuai dengan perubahan simpangan gelombang sinyal informasi.
7. Transien
Didefinisikan sebagai penurunan tegangan suplai atas arus beban, ke tingkat yang kurang dari 10% dalam jangka waktu yang tidak lebih dari 1 menit. Kegagalan dapat disebabkan oleh kesalahan sistem, kegagalan peralatan sistem, atau kerusakan kontrol dan proteksi.
8. Outage
Outage adalah gangguan yang memiliki durasi lebih dari satu menit. Akibat dari gejala outage adalah peralatan shutdown atau tidak bekerja.
9. Undervoltage dan Overvoltage
Undervoltage merupakan gejala penurunan tegangan rms bolak balik dibawah 90 % dari tegangan nominal selama lebih dari 1 menit. Sebuah operasi pensaklaran beban dan pemutusan kapasitor bank dapat menyebabkan undervoltage. Keadaan overload juga dapat menyebabkan penurunan tegangan hingga mencapai overvoltage. Sedangkan overvoltage merupakan kebalikan dari undervoltage, dimana pada kondisi ini tegangan naik 110 % dari tegangan nominal selama lebih dari satu menit. Overvoltage dapat disebabkan karena pensaklaran beban misalnya switching dari sebuah beban besar ataupun kapasitor bank.

Standar Kualitas Daya Listrik

Merujuk kepada teknologi, standar adalah spesifikasi teknis atau sesuatu yang dibakukan termasuk tatacara dan metode yang disusun berdasarkan konsensus semua pihak yang terkait dengan memperhatikan syarat syarat keselamatan, keamanan, kesehatan, lingkungan hidup, perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, serta pengalaman perkembangan masa kini dan masa mendatang. Terdapat beberapa standar yang digunakan pada penelitian ini yaitu:

1. Standar Nasional Indonesia (SNI)

Sesuai dengan peraturan yang telah ditetapkan Badan Standarisasi Nasional (BSN) bahwa standar yang berlaku di Indonesia adalah Standar Nasional Indonesia (SNI), maka tahap demi tahap standar ketenagalistrikan yang lainnya akan diajukan ke Badan Standarisasi Nasional (BSN) untuk mendapat persetujuan menjadi Standar Nasional Indonesia (SNI). Tujuan utama dari pelaksanaan standarisasi adalah meningkatkan ketersediaan Standar Nasional Indonesia (SNI) yang mampu memenuhi kebutuhan industri dan pekerjaan instalasi untuk mendorong daya saing produk dan jasa dalam negeri. Semuat titik sambung mengikuti persyaratan teknik sistem distribusi sebagai berikut:

- Frekuensi nominal sistem adalah 50 hz dan frekuensi normal mempunyai rentang antara 49,5 hz sampai dengan 50,5 hz.
 - Tegangan sistem distribusi harus dijaga pada batas-batas kondisi normal yaitu maksimal +5% dan minimal -10% dari tegangan nominal.
2. Standar *Institute of Electrical and Electronics* (IEEE) 519

IEEE adalah suatu organisasi internasional yang mempunyai tujuan yaitu untuk mengembangkan teknologi demi meningkatkan harkat kemanusiaan. Sebelumnya IEEE memiliki kepanjangan yang dalam bahasa Indonesia berarti Institut Insinyur Listrik dan Elektronik (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*). Tabel 2 Menunjukkan batas distorsi tegangan rendah dan distorsi arus harmonisa berdasarkan standart IEEE [7]. Batas distorsi ditunjukkan pada Tabel 2 dan Tabel 3.

TABEL 2
BATAS DISTORSI TEGANGAN RENDAH

Keterangan	Khusus	Umum
Notch Depth	10%	20%
THD (Voltage)	3%	5%
Notch Area (AN)	16.400	22.800

TABEL 3
BATAS DISTORSI TEGANGAN RENDAH

I_{sc} / I_L	<11	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h$	TDD
<20	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20<50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50<100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100<1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0

>1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0
-------	------	-----	-----	-----	-----	------

Dimana:

I_{SC} = Maksimum *short circuit*

I_L = Kebutuhan maksimum arus beban

Standarisasi harmonisa merupakan panduan yang mengacu pada sebuah batasan harmonisa pada suatu sistem jaringan listrik tujuannya agar batasan tersebut dapat mencegah hal-hal yang merugikan sistem itu sendiri. Standar ini melibatkan atau berlaku untuk konsumen maupun penyuplai. Berdasarkan IEEE 519 tahun 1992 dalam menentukan standarisasi harmonisa terdapat dua kriteria untuk mengevaluasi harmonisa, yaitu batasan pada harmonisa tegangan (THDv) dan batasan pada harmonisa arus (THDi). [Tabel 4](#) dan [Tabel 5](#) menunjukkan standarisasi harmonisa.

TABEL 4
BATAS HARMONISA TEGANGAN

System Voltage (Kv)	THDv (%)
$V_{rms} \leq 69 \text{ Kv}$	5,0
$69 \text{ Kv} \leq V_{rms} \leq 161 \text{ Kv}$	2,5
$V_{rms} \geq 161 \text{ Kv}$	1,5

TABEL 5
BATAS HARMONISA ARUS

System Voltage (Kv)	THDi (%)
$V_{rms} \leq 69 \text{ Kv}$	5,0
	8,0
	12,0
	15,0
$69 \text{ Kv} \leq V_{rms} \leq 161 \text{ Kv}$	2,5
	4,0
	6,0
	7,5
	10,0
$V_{rms} \geq 161 \text{ Kv}$	2,5
	4,0

III. METODE PENELITIAN

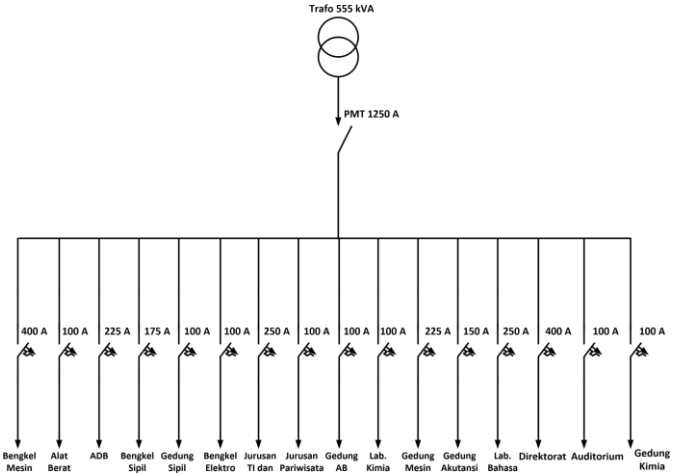
Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian adalah alur proses pengukuran dan pengambilan data yang dilakukan. Rancangan penelitian diawali dengan pembuatan jadwal untuk peminjaman alat kes laboratorium teknik elektro dan menentukan tanggal pengambilan serta pengukuran data pada gedung yang sudah ditentukan, lalu melakukan survei lokasi peletakan alat ke gedung lokasi penelitian, tak lupa juga membuat dan mengirimkan surat perizinan untuk melakukan penelitian yang di sertai dengan jadwal yang sudah disepakati untuk proses pengambilan data. peminjaman alat dilakukan sehari sebelum

proses pengambilan data dilakukan, untuk menghindari kehilangan alat alat yang telah dipinjamkan. Data harian yang sudah terekam akan tersimpan secara otomatis ke dalam *sd card*. Setelah mendapatkan data alat ukur akan dilepas dan melakukan pemindahan data ke perangkat laptop untuk pengolahan data, data akan terbaca dengan menggunakan aplikasi *PQONE* yaitu sebuah aplikasi khusus untuk menampilkan serta mengolah data dari alat ukur PQA menjadi data yang dapat dengan mudah dibaca di aplikasi *microsoft word*. Kemudian data hasil pengukuran tersebut dapat dianalisis dengan metode analisis statistik deskriptif. Pengukuran akan dilakukan pada *Main Distribution Panel* (MDP)

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

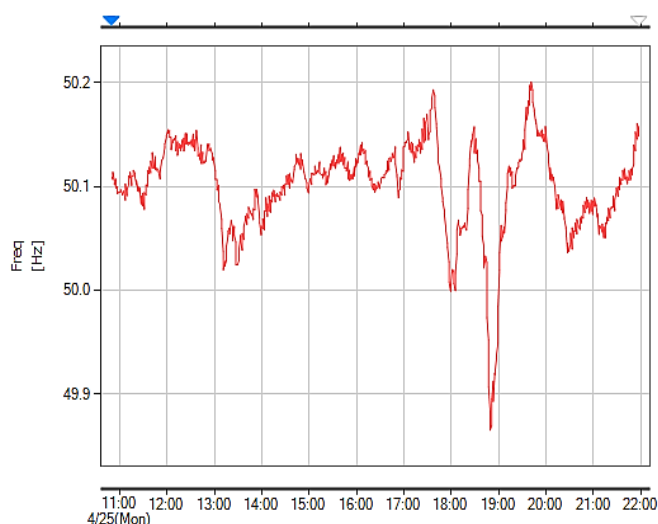
Single line penyaluran daya transformator 555kVA



Gambar 2. Single line penyaluran daya transformator

Frekuensi Pada MDP

[Gambar 3](#) di bawah ini adalah data yang telah didapatkan saat pengukuran selama 12 jam pada MDP di gedung Direktorat Politeknik Negeri Samarinda. Data yang didapatkan berupa Frekuensi (Hz). Data ini telah dikaji menjadi gambar grafik dengan warna agar lebih mudah di lihat dan dipahami.



Gambar 3. Grafik frekuensi

Dari hasil pengujian didapati 2 parameter nilai yaitu parameter nilai minimum dan parameter nilai maksimum. Kedua parameter tersebut dapat dilihat pada [Tabel 6](#).

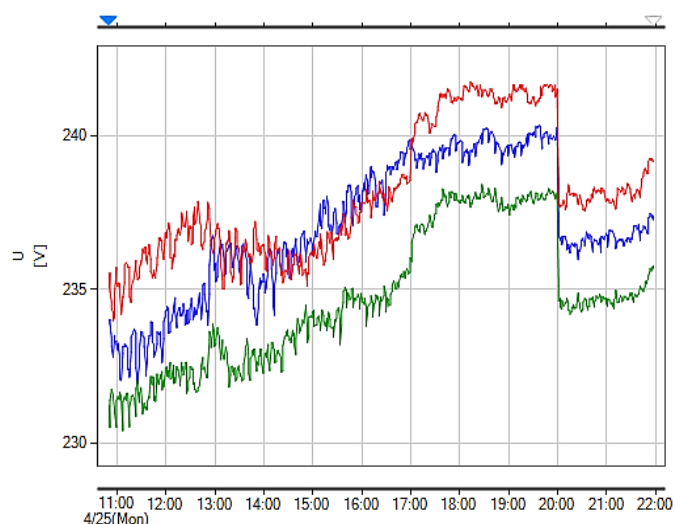
TABEL 6
FREKUENSI MINIMUM DAN MAKSIMUM

Frekuensi	Hz	Waktu
Minimum	49,86	18:50
Maksimum	50,20	19:42

Dari [Gambar 3](#) dapat dilihat bahwa hasil pengukuran nilai frekuensi yang terukur pada MDP di gedung Direktorat Politeknik Negeri Samarinda dalam kondisi yang baik. Nilai frekuensi minimum terukur pada pukul 18:50 dengan nilai sebesar 49,86 Hz. Sedangkan nilai frekuensi maksimum yang telah terukur pada pukul 19:42 adalah sebesar 50,20 Hz. Hal tersebut masih dalam batasan standar frekuensi yang baik. Karena untuk menghasilkan mutu listrik yang baik harus memiliki batas toleransi frekuensi sebesar 1% dari frekuensi standar yaitu 50 Hz. Maka batas toleransinya adalah 49,5% – 50,5%. Jadi untuk frekuensi minimum dan maksimum MDP di gedung Direktorat Politeknik Negeri Samarinda masih dalam batas toleransi.

Tegangan Setiap Fase Pada MDP

Data yang didapatkan berupa tegangan setiap fase dengan netral. Data yang didapatkan telah dikaji menjadi gambar grafik dengan warna agar lebih mudah dilihat dan dipahami. [Gambar 4](#) menunjukkan data hasil pengukuran.



Gambar 4. Grafik tegangan setiap fase

Dari hasil pengujian didapati 2 parameter nilai yaitu parameter nilai minimum dan parameter nilai maksimum. Kedua parameter tersebut dapat dilihat pada [Tabel 7](#).

TABEL 7
TEGANGAN SETIAP FASE MINIMUM DAN MAKSIMUM

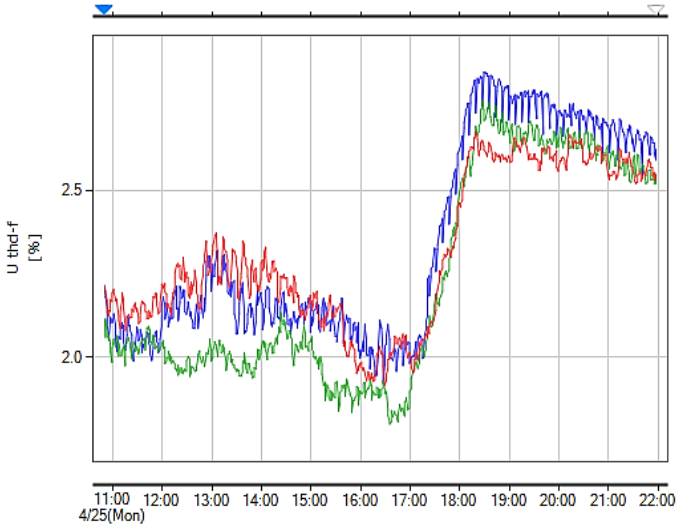
Tegangan	Fase R (V)	Fase S (V)	Fase T (V)	Waktu
Minimum	234,9	230,9	233,2	10:58
Maksimum	241,6	237,7	239,7	19:15

Hasil pengukuran pada [Gambar 4](#) terlihat bahwa nilai tegangan setiap fasa pada MDP di gedung Direktorat Politeknik Negeri Samarinda di setiap fase dengan netral yang terukur memiliki rentang mutu listrik yang kurang baik. Karena nilai yang terukur melebihi batas maksimum yang telah ditentukan. Nilai tegangan pada fase R minimum terukur sebesar 234,9 V pada pukul 10:58 dan maksimum terukur sebesar 241,6 V pada pukul 19:50. Nilai tegangan pada fase S minimum terukur sebesar 228,5 pada pukul sebesar 13:20 dan makisimum terukur sebesar 230,9 V pada pukul 10:58. Nilai pada fase T minimum terukur sebesar 233,2 V pada pukul 10:58 dan nilai maksimum terukur sebesar 239,7 V pada pukul 19:15. Batas toleransi untuk mutu listrik yang baik tegangan rendah adalah (TR) adalah maksimum +5% dan minimum sebesar -10% dari tegangan nominal 220/380 V. Maka artinya toleransi yang mutu listrik yang baik minimal sebesar 198 V dan maksimal 231 V. Karena jika nilai tegangan kurang dari rentang tersebut maka mutu listriknya kurang baik dan terdapat *loses* tegangan yang terjadi pada jaringan tersebut. Jika nilai tegangan lebih dari rentang tersebut maka mutu listrik juga akan menjadi kurang baik.

Harmonisa Tegangan Pada MDP

Data yang didapatkan berupa harmonisa tegangan. Data yang didapatkan telah dikaji menjadi gambar grafik dengan

warna agar lebih mudah dilihat dan dipahami. [Gambar 5](#) menunjukkan hasil pengukuran harmonisa tegangan.



Gambar 5. Grafik harmonisa tegangan

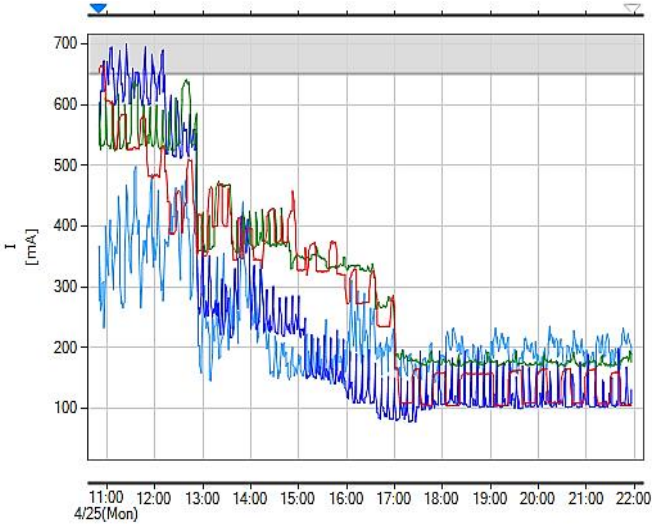
TABEL 8
HARMONISA TEGANGAN MINIMUM DAN MAKSIMUM

Harmonisa Tegangan	Fase R (%)	Fase S (%)	Fase T (%)	Waktu
Minimum	2	1,80	2	16:36
Maksimum	2,64	2,74	2,75	18:36

Dari [Gambar 5](#) dapat kita lihat bahwa data nilai harmonisa tegangan minimum setiap fase terukur pada pukul 16:36 dan data nilai harmonisa tegangan maksimum setiap fase terukur pada pukul 18:36. Berdasarkan IEEE 519-1992, standar harmonisa tegangan 69 KV memiliki nilai maksimum presentase 5%. Kemudian dapat dilihat pada [Tabel 8](#) bahwa nilai harmonisa minimum dan maksimum pada setiap fase yang telah diukur tidak melebihi nilai persentasi 5%. Jadi pada hari nilai harmonisa tegangan pada *main distribution panel* (MDP) gedung Direktorat Politeknik Negeri Samarinda memiliki kualitas yang baik dan juga sesuai dengan standar yang digunakan.

Arus Setiap Fase Pada MDP

Data yang didapatkan berupa arus setiap fase pada *main distribution panel* (MDP). Data yang didapatkan telah dikaji menjadi Gambardengan warna agar lebih mudah dilihat dan dipahami. [Gambar 6](#) menunjukkan hasil pengukuran arus disetiap fase.



Gambar 6. Grafik arus setiap fase

TABEL 9
ARUS MINIMUM DAN MAKSIMUM FASE R DAN S

Arus	Fase R (A)	Waktu	Fase S (A)	Waktu
Minimum	10,5	21:52	17,2	21:40
Maksimum	Over	10:54	63,6	12:41

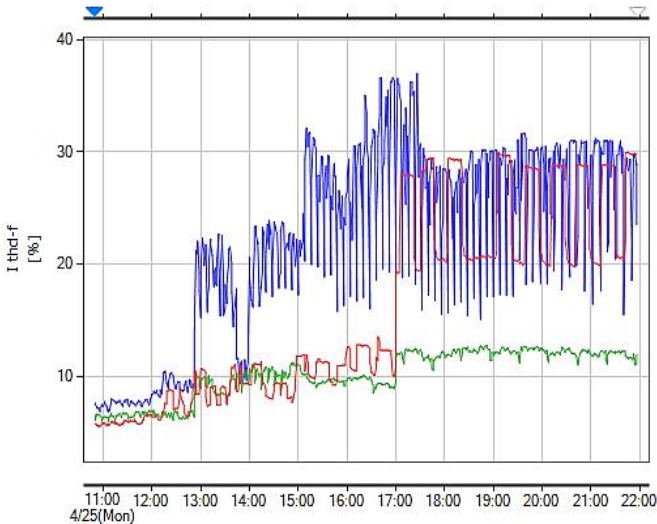
TABEL 10
ARUS MINIMUM DAN MAKSIMUM FASE T DAN N

Arus	Fase T (A)	Waktu	Fase N (A)	Waktu
Minimum	7,8	17:19	12,2	17:24
Maksimum	Over	11:06	50,2	12:52

Pada [Gambar 6](#) hasil data pengukuran, terlihat bahwa arus yang terukur pada alat ukur saat dilakukan pengambilan data di gedung Direktorat Politeknik Negeri Samarinda dalam kondisi yang kurang baik, Karena nilai arus pada fase R, fase S, dan fase T seharusnya memiliki nilai terukur yang sama dan tidak over. Tetapi sesuai dengan data yang sudah diperoleh langsung saat pengukuran bahwa nilai arus memiliki nilai minimum dan juga nilai maksimum dengan waktu yang berbeda beda. Selain 3 fase yang telah diukur dalam waktu yang berbeda ada juga arus netral yang diukur pada MDP di gedung Direktorat Politeknik Negeri Samarinda. Arus netral dapat muncul karena ketidakseimbangan beban atau karena adanya arus harmonisa sebagai akibat dari banyaknya penggunaan beban nonlinier. Semakin tidak seimbang beban maka arus netral akan semakin besar hal ini dapat sangat merugikan karena dapat menyebabkan rusaknya peralatan kerja dan juga pemborosan energi.

Harmonisa Arus Pada MDP

Data yang didapatkan berupa harmonisa arus setiap fase pada MDP. Data yang didapatkan telah dikaji menjadi gambar grafik dengan warna agar lebih mudah dilihat dan dipahami. [Gambar 7](#) menunjukkan grafik hasil pengukuran harmonisa arus.



Gambar 7. Grafik harmonisa arus setiap fase

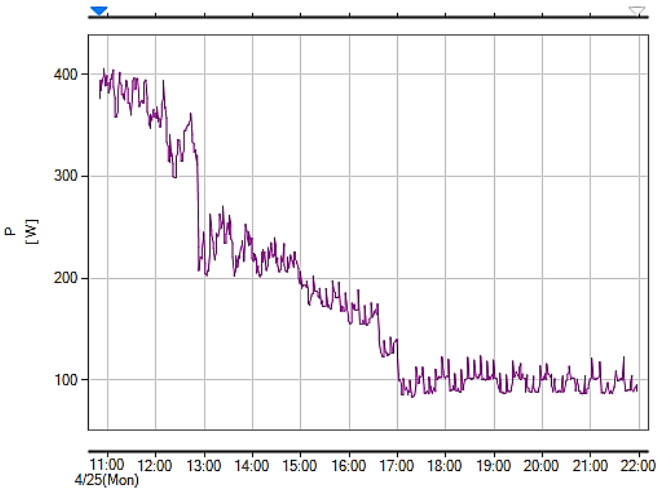
TABEL 11
HARMONISA ARUS MINIMUM DAN MAKSIMUM

Harmonisa Arus	Fase R (%)	Wak -tu	Fase S (%)	Waktu	Fase T (%)	Wak -tu
Minimum	5,7	11:03	5,8	11:15	6,8	11:06
Maksimum	29,9	19,07	29,9	19:07	36,6	16:57

Dari grafik yang terdapat pada [Gambar 7](#) terlihat harmonisa arus hasil pengukuran pada gedung Direktorat Politeknik Negeri Samarinda terlihat bahwa hasil pengukuran melebihi batas harmonisa maksimum seperti yang terlihat pada [Tabel 11](#). Berdasarkan standar yang digunakan yaitu standar IEEE 519 – 1992, standar harmonisa arus 69 KV memiliki nilai maksimum presentase 15%. Kemudian dapat dilihat pada [Tabel 10](#) bahwa nilai harmonisa minimum dan maksimum pada setiap fase yang telah diukur melebihi nilai persentasi 15% bahkan nilai harmonisa arus maksimum yang terukur telah mencapai 29,9%. Nilai yang terukur di MDP mempunyai nilai selisih yang sangat besar dari batasan yang diijinkan yaitu 15%, harmonisa arus yang melebihi batas maksimum akan membuat peralatan yang terpasang pada gedung Direktorat Politeknik Negeri Samarinda cepat rusak. Karena semakin besar nilai persentase terukur dapat menyebabkan semakin besarnya resiko kerusakan pada peralatan akibat adanya harmonisa yang terjadi pada arus maupun pada tegangan. Solusi dari permasalahan ini adalah dengan melakukan perbaikan untuk mereduksi harmonisa arus maupun harmonisa tegangan yang ada pada MDP agar angka persentasi yang terukur dapat sesuai dengan batas maksimum harmonisa yang diizinkan yaitu tidak lebih dari 15%.

Daya Aktif Pada MDP

Data yang didapatkan berupa daya aktif (P) pada MDP. Data yang didapatkan telah dikaji menjadi gambar grafik dengan warna agar lebih mudah dilihat dan dipahami. [Gambar 8](#) menunjukkan grafik hasil pengukuran daya aktif.



Gambar 8. Grafik daya aktif total

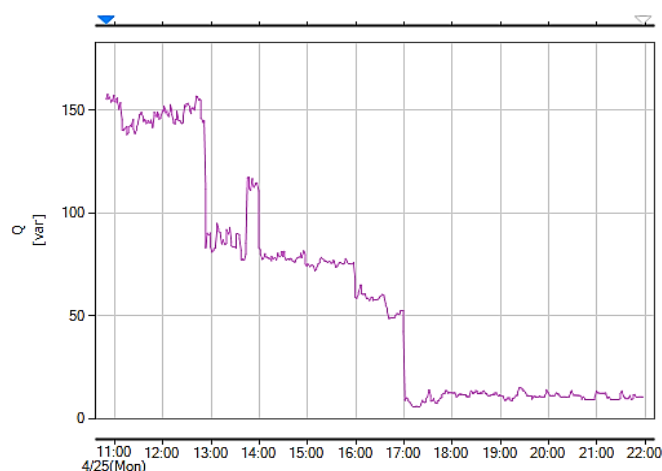
TABEL 12
DAYA AKTIF MINIMUM DAN MAKSIMUM

Daya Aktif	Watt (W)	Waktu
Minimum	87,15	21:18
Maksimum	406,11	10:56

Pada [Gambar 8](#) terlihat grafik daya aktif total yang terukur dari MDP. Dari data pengukuran didapat data seperti yang tertera pada [Tabel 12](#) dapat diketahui daya aktif total minimum terukur pada pukul 21:18 dengan nilai sebesar 87,15 Watt dan daya aktif total maksimum terukur pada pukul 10:56 dengan nilai sebesar 406,11 Watt. Hal yang dapat mempengaruhi besarnya nilai daya aktif adalah banyaknya beban listrik yang sedang digunakan saat jam bekerja berlangsung. Tak hanya itu, disaat sore menjelang malam pun daya aktif tetap terukur, penyebab daya aktif tetap terukur di malam hari adalah beban penerangan luar ruangan dan masih ada beberapa AC yang nyala di dalam ruangan tetapi tidak sebanyak saat jam bekerja berlangsung. Daya aktif adalah daya yang digunakan oleh beban listrik untuk diubah menjadi energi lain, contohnya menjadi cahaya untuk penerangan.

Daya Reaktif Pada MDP

Data yang didapatkan berupa daya reaktif (Q) pada MDP. Data yang didapatkan telah dikaji menjadi gambar grafik dengan warna agar lebih mudah dilihat dan dipahami. [Gambar 9](#) menunjukkan grafik hasil pengukuran daya reaktif.



Gambar 9. Grafik daya aktif total

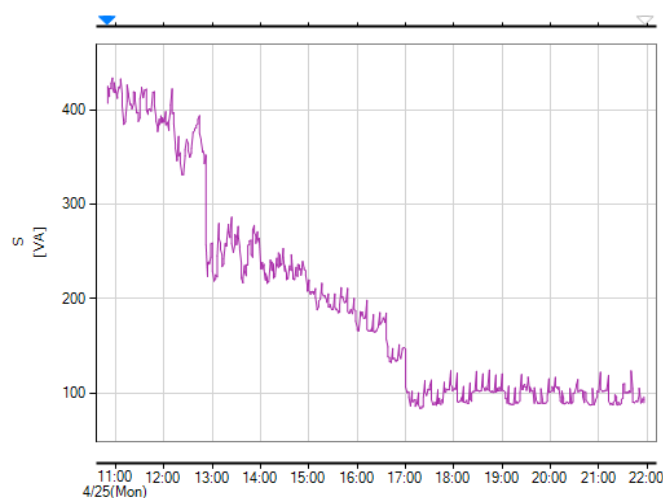
TABEL 13
DAYA REAKTIF MINIMUM DAN MAKSIMUM

Daya Reaktif	VAR	Waktu
Minimum	9,22	21:27
Maksimum	156,56	10:53

Pada [Gambar 9](#) terlihat grafik daya reaktif total yang terukur. Daya reaktif tidak berdampak apapun bagi kinerja suatu beban listrik. Dapat diketahui jika daya reaktif tidak akan dibutuhkan oleh konsumen daya listrik karena daya ini tidak bisa dimanfaatkan. Maka semakin besar daya reaktif maka semakin besar juga daya yang tidak termanfaatkan. Pada [Tabel 13](#) dapat terlihat bahwa daya reaktif paling besar yang terukur pada MDP pada gedung Direktorat Politeknik Negeri Samarinda adalah pada pukul 10:53 dengan nilai sebesar 156,56 VAR dan daya reaktif paling kecil terukur pada pukul 21:27 yaitu sebesar 9,22 VAR. Daya reaktif yang terukur dapat menyebabkan *loses* tegangan karena daya reaktif dapat menginduksi penghantar sehingga dapat menimbulkan medan magnet dan membuat tegangan yang sedang digunakan dapat berkurang.

Daya Semu Pada MDP

Data yang didapatkan berupa daya semu (S) MDP. Data yang didapatkan telah dikaji menjadi gambar grafik dengan warna agar lebih mudah dilihat dan dipahami. [Gambar 10](#) menunjukkan grafik hasil pengukuran daya semu.



Gambar 10. Grafik daya semu total

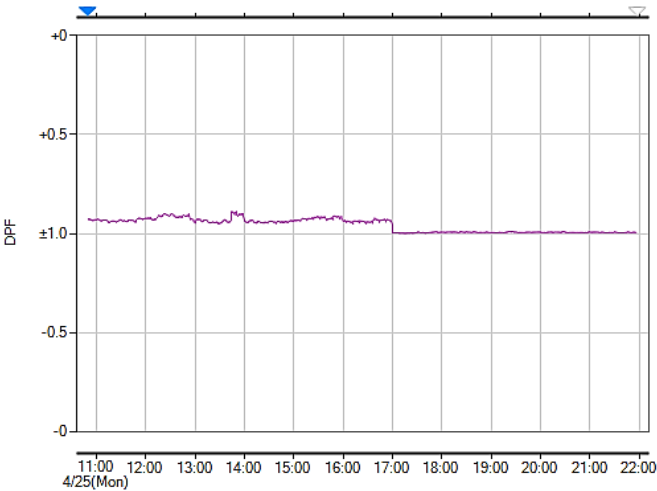
TABEL 14
DAYA SEMU MINIMUM DAN MAKSIMUM

Daya Semu	VA	Waktu
Minimum	85,5	17:22
Maksimum	418,6	10:58

Pada [Gambar 10](#) terdapat grafik daya semu total yang sudah terukur. Daya semu adalah gabungan antara daya aktif dan daya reaktif. Daya semu merupakan daya nyata perkalian antara tegangan dan arus yang ada pada trafo. Dari [Gambar 10](#) dapat dilihat bahwa daya semu total pada MDP di gedung Direktorat Politeknik Negeri Samarinda memiliki nilai minimum pada pukul 17:22 dengan nilai sebesar 85,5 VA sedangkan nilai maksimum pada pukul 10:58 dengan nilai sebesar 418,6 VA. Nilai maksimum terukur pada saat jam kerja dan nilai minimum terukur pada saat jam pulang bekerja yaitu sore menjelang malam, sama seperti daya aktif. Daya semu total akan tersalurkan ke beban listrik sebagai daya aktif pada kondisi beban resistif.

Displacement Power Factor (DPF) / Faktor Daya

Data yang didapatkan berupa faktor daya pada *main distribution panel* (MDP). Data yang didapatkan telah dikaji menjadi gambar grafik dengan warna agar lebih mudah dilihat dan dipahami. [Gambar 11](#) menunjukkan grafik hasil pengukuran *displacement power factor*.



Gambar 11. Grafik faktor daya

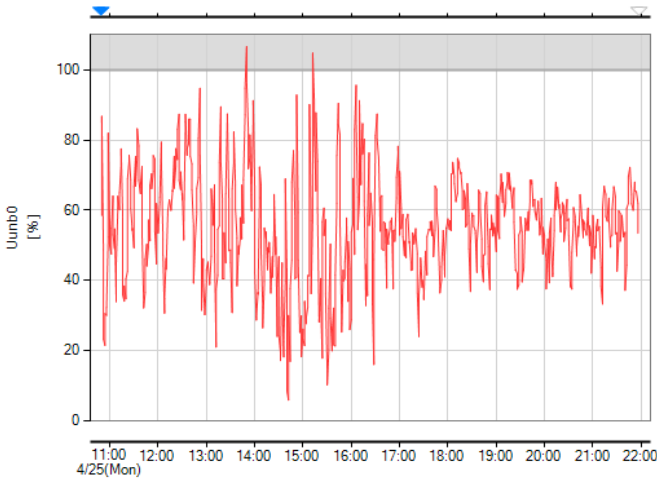
TABEL 15
FAKTOR DAYA MINIMUM DAN MAKSIMUM

Displacement Power Factor (DPF)	Ø	Waktu
Minimum	0,90	13:48
Maksimum	0.99	21:20

Pada [Gambar 11](#) terdapat grafik Displacement Power Factor atau faktor daya yang telah terukur pada gedung Direktorat Politeknik Negeri Samarinda. MDP memiliki nilai minimum yang terukur pada pukul 13:48 dengan nilai sebesar 0,90 dan terukur nilai maksimum pada pukul 21:20 dengan nilai sebesar 0,99. Nilai faktor daya yang baik adalah bernilai 1. Namun pada realita pengukuran sangat sulit mendapatkan nilai faktor daya yang ideal karean 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.

Ketidakseimbangan Tegangan Berdasarkan Standar IEEE

Data yang didapatkan berupa data ketidakseimbangan tegangan pada MDP. Data yang didapatkan telah dikaji menjadi gambar grafik dengan warna agar lebih mudah dilihat dan dipahami. [Gambar 12](#) menunjukkan grafik hasil pengukuran ketidakseimbangan tegangan.



Gambar 12. Grafik ketidakseimbangan tegangan

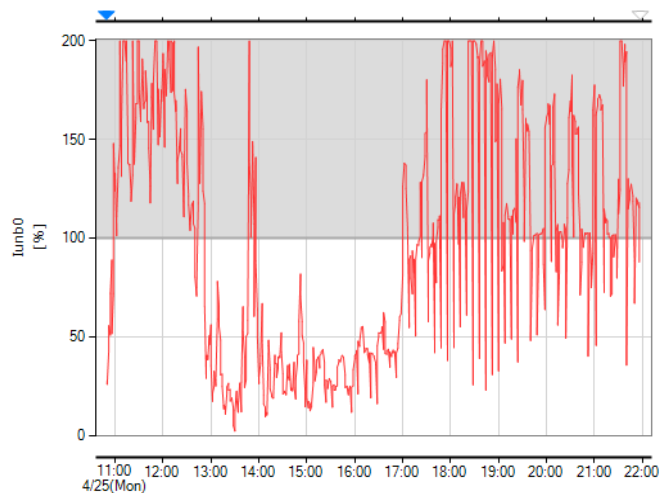
TABEL 16
KETIDAKSEIMBANGAN TEGANGAN MINIMUM DAN MAKSIMUM

Ketidakseimbangan Tegangan (IEEE)	%	Waktu
Minimum	30	14:43
Maksimum	Over	13:50

Pada [Gambar 12](#) dapat terlihat hasil pengukuran ketidakseimbangan tegangan. Dari Gambar tersebut dapat dilihat bahwa data ketidakseimbangan tegangan pada MDP di gedung Direktorat Politeknik Negeri Samarinda terlihat data minimum yang terukur pada pukul 14:43 dengan nilai sebesar 30% dan data maksimum yang terukur mulai pukul 13:50 terlihat over. Hal ini disebabkan karena nilai persentase yang cukup tinggi dan jauh melebihi batas maksimum yang di izinkan. Sesuai dengan standar yang berlaku yaitu standar IEEE bahwa batas maksimal untuk ketidakseimbangan tegangan adalah 5%. Sehingga pada MDP di gedung Direktorat Politeknik Samarinda memiliki ketidakseimbangan tegangan yang sangat buruk karena jauh dari batas maksimal yaitu 5%. Ketidakseimbangan tegangan yang over ini akan menyebabkan timbulnya peningkatan temperatur, bertambahnya konsumsi energi (KWH), dan menurunnya kemampuan untuk beroperasi. Jadi ketidakseimbangan tegangan pada MDP di gedung Direktorat Politeknik Negeri Samarinda dalam kondisi yang buruk.

Ketidakseimbangan Beban Berdasarkan Standar IEEE

Data yang didapatkan berupa data ketidakseimbangan beban pada MDP. Data yang didapatkan telah dikaji menjadi gambar grafik dengan warna agar lebih mudah dilihat dan dipahami. [Gambar 13](#) menunjukkan grafik hasil pengukuran ketidakseimbangan tegangan.



Gambar 13. Grafik ketidakseimbangan beban

TABEL 17
FAKTOR DAYA MINIMUM DAN MAKSIMUM

Ketidakseimbangan Beban (IEEE)	%	Waktu
Minimum	2,21%	13:30
Maksimum	Over	11:00 – 12:52

Pada [Gambar 13](#) terlihat bahwa hasil pengukuran ketidakseimbangan beban. Data ketidakseimbangan beban yang terukur pada Senin juga terlihat sama dengan ketidakseimbangan tegangan, sama sama terukur *over*. Hal ini juga di sebabkan oleh besarnya persentase nilai maksimum yang terukur pada hari Sabtu. Nilai minimum terukur dan terbaca alat ukur pada pukul 13:30 dengan nilai sebesar 2.21% batas ketidakseimbangan beban adalah sebesar 5% sampai dengan 20%. Data yang terukur di MDP pada hari Senin mempunyai ketidakseimbangan beban yang sangat melebihi (*over*) batas maksimal yang telah ditentukan. Semakin besar persentase ketidakseimbangan beban maka akan semakin besar pula arus yang mengalir pada penghantar netral. Arus netral yang mengalir dan terukur akan menyebabkan terjadinya beda tegangan antara netral dan *ground* kemudian akan menimbulkan *loses* daya. Jadi ketidakseimbangan beban pada MDP di gedung Direktorat Politeknik Negeri Samarinda perlu perbaikan agar tidak menimbulkan masalah masalah yang lebih serius kedepannya. Kesimpulan beberapa parameter kualitas daya gedung direktorat Politeknik Negeri Samarinda disajikan pada [Tabel 18](#).

TABEL 18
KESIMPULAN HASIL PENGUKURAN BEBERAPA PARAMETER KUALITAS DAYA

Parameter	Maksimum	Minimum	Standar	Keterangan
Frekuensi	50,20 Hz	49,86 Hz	1%(49,5% – 50,5%.)	Memenuhi
Tegangan Fase	241,6 V	230,9 V	maksimum +5% (231V) dan minimum sebesar -10% (198V) dari tegangan nominal 220/380 V.	Tidak Memenuhi
Harmonisa arus (%ITHD)	37,7%	5,7%	(IEEE) (15%)	Tidak Memenuhi
Harmonisa tegangan(% UTHD)	2,75%	1,78%	(IEEE) 5%	Memenuhi
Faktor Daya	0.99	0,90	$0,85 \leq \cos \phi \leq 1$	Memenuhi

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari hasil pengukuran dan analisis data pengukuran pada MDP di gedung Direktorat Politeknik Negeri Samarinda diketahui diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Beban listrik berada pada kondisi yang tidak seimbang. Hal ini terlihat pada nilai arus yang mengalir pada masing masing fase terukur *over*.
2. Faktor daya dalam kondisi baik sangat mendekati ideal karena terukur mendekati angka 1 dan tidak lebih rendah dari 0,85.
3. Terdapat Frekuensi yang terukur dalam kondisi baik, karna nilai yang terukur telah sesuai dengan batas standar SNI yaitu tidak lebih rendah dari 40,9 Hz dan tidak lebih tinggi dari 50,5 Hz.
4. Kandungan harmonisa arus (%ITHD) dalam kondisi yang kurang baik karena melebihi batas standar yang diizinkan (15%), bahkan saat penggunaan beban berlangsung besar nilainya mencapai 37,7
5. Kandungan harmonisa tegangan (%UTHD) dalam kondisi baik karena angka hasil pengukuran tidak melebihi batas standar yang telah ditentukan oleh Institute of Electrical and Electronics Electronics (IEEE) yaitu sebesar 5%.
6. Ketidakseimbangan tegangan dan arus yang terukur dalam kondisi buruk karena terukur *over* yaitu lebih tinggi dari 100%, sedangkan batas standar yang telah ditentukan oleh Institute of Electrical and Electronics Electronics (IEEE) hanya 5%.
7. Nilai tegangan yang terukur dalam kondisi kurang baik karena berada pada rentang 230,9 V hingga 241,6 V. Nilai tegangan ini tidak sesuai dengan rentang Standar Nasional Indonesia (SNI) yaitu tidak lebih rendah dari 198 V dan tidak lebih tinggi dari 231 V.

B. Saran

Setelah memperhatikan kondisi dari data hasil pengukuran yang dilakukan pada *main distribution panel* (MDP) di gedung Direktorat Politeknik Negeri Samarinda ada pula saran yang perlu diperhatikan yaitu sebagai berikut:

1. Pihak pengelola perlu melakukan revitalisasi instalasi listrik karena ada beberapa jalur baru yang mungkin tidak mengikuti Gambaran dan petunjuk panel yang sudah ada.
2. Untuk penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan pengukuran serta pengambilan data dalam jangka waktu yang lebih lama agar data yang terukur yang didapatkan lebih akurat karena pemantauan pada panel di gedung telah dilakukan secara berkala.

REFERENSI

- [1] L. Assafat, "Pengukuran dan analisa kualitas daya listrik di Paviliun Garuda Rumah Sakit Dr. Karyadi Semarang," *Media Elekrika* vol 2 no 1, 2009, doi: <https://doi.org/https://doi.org/10.26714/me.v2i1.482>.
- [2] J. Stones dan A. Collinson, "Power quality," in *Power Engineering Journal*, vol. 15, no. 2, pp. 58-64, April 2001, doi: 10.1049/pe:20010201.
- [3] K. M. Hikam, "Analisa kualitas daya di CV. Wana Indo Raya Trafo 197 KVA," Skripsi, Universitas 17 Agustus Surabaya, 2019.
- [4] A. V Meier, *Electric Power Systems: A Conceptual Introduction*, Hoboken, New Jersey : A Wiley-Interscience Publication, 2006.
- [5] Harmika, Tomi, et al. "Pengukuran dan analisis ketidakseimbangan beban serta kualitas daya listrik pada transformator 865 KVA di Universitas Muhammadiyah Semarang." *Prosiding Seminar Nasional Unimus*, vol. 3, 2020, pp. 995–1001.
- [6] M. H. Riza, "Kualitas daya listrik industri." Penelitian, Teknik Elektro, Universitas Indonesia. Depok, Jawa Barat, 2015.
- [7] "IEEE Recommended practices and requirements for harmonic control in electrical power systems," in *IEEE Std 519-1992* , vol., no., pp.1-112, 9 April 1993, doi: 10.1109/IEEESTD.1993.114370.

Rancang Bangun Rele Diferensial Berbasis Arduino

Muhammad Ismail Ibrahim¹, Rahmad Adi Wijaya², Rizky Apriyanto Susilo³, Prihadi Murdiyat⁴

^{1,2,3,4}Jurusan Teknik Elektro Program Studi Teknik Listrik, Politeknik Negeri Samarinda

Jl. Dr. Cipto Mangunkusumo, Kampus Gunung Panjang 75121

muhammadismail216421021s1a@gmail.com

Abstrak- Rele diferensial adalah sebuah alat proteksi yang bekerja berdasarkan hukum Kirchoff arus. Hal ini dilakukan dengan cara membandingkan jumlah vektor arus yang masuk dan keluar dari rele. Jika jumlah antara vektor-vektor arus tersebut tidak sama dengan nol, maka rele akan bekerja. Penelitian ini bertujuan untuk merancang purwarupa proteksi kelistrikan menggunakan rele diferensial arus dengan metode arus bias yang berbasis mikrokontroler Arduino Uno. Rele ini dirancang untuk bekerja pada sistem satu fase. Nilai arus yang terdeteksi oleh sensor PZEM-004T diproses oleh mikrokontroler Arduino Uno untuk menentukan apakah terjadi gangguan atau masih dalam keadaan normal. Dengan demikian, dapat dikatakan bahwa Arduino Uno akan mengontrol kerja rele. Karakteristik tripping ANSI 87T digunakan sebagai acuan dalam kerja rele ini, dengan slope yang mengacu pada SIPROTEC 7UT6. Slope ini diatur guna mengantisipasi tripping pada diferensial arus yang masih dapat dimaklumi. Hasil dari penelitian ini adalah rele dapat memutuskan saluran rangkaian, bila arus diferensial dan arus *restrain* yang terdeteksi oleh Arduino Uno diluar dari persentase slope yang telah diatur. Selain itu, terdapat perbedaan waktu kerja rele yang didapatkan dari simulasi software ETAP dengan waktu kerja rele sebesar 19%.

Kata kunci: Rele diferensial, Arduino Uno, SIPROTEC 7UT6.

I. PENDAHULUAN

Pembangkit tenaga listrik berperan untuk menyalurkan energi listrik yang dihasilkan kepada konsumen yang artinya dapat menyediakan tenaga listrik secara kontinu dengan kualitas yang baik, sehingga untuk meningkatkan keandalan dan kekontinuitas tersebut pelayanan pengoperasian sistem pembangkit memerlukan suatu peralatan pengaman atau sistem proteksi untuk mencegah terjadinya gangguan yang mengganggu sistem [1].

Keandalan sistem tenaga listrik untuk dapat menyalurkan listrik kepada konsumen mempunyai peranan yang sangat penting, keandalan tenaga listrik dapat terlihat ketika terjadi gangguan yang dapat menyebabkan terganggunya penyaluran energi listrik ke konsumen, oleh karena itu sistem proteksi harus memenuhi persyaratan diantaranya: sensitif, dapat diandalkan cepat dan selektif [2].

Untuk memberikan keandalan dan kualitas yang baik dalam pendistribusian tenaga listrik, suatu sistem tenaga listrik yang baik harus mempunyai sistem pengamanan yang memadai untuk melindungi dari gangguan-gangguan internal dan eksternal. Terutama untuk peralatan vital seperti transformator daya, agar tidak sampai menyebabkan kerusakan dan kerugian [3].

Transformator daya adalah suatu peralatan tenaga listrik yang berfungsi untuk menyalurkan tenaga listrik dari tegangan tinggi ketegangan rendah atau sebaliknya (mentransformasikan tegangan) [4]. Transformator daya harus dilengkapi dengan peralatan pengaman untuk mencegah setiap gangguan yang terjadi. Rele proteksi adalah susunan perangkat yang dimaksudkan untuk memungkinkan deteksi atau pengukuran gangguan pada perangkat atau komponen sistem tenaga, serta deteksi ketidakseimbangan dan anomaly [5]. Rele proteksi yang digunakan untuk mengamankan transformator terhadap gangguan adalah rele diferensial.

Rele diferensial adalah rele yang beroperasi ketika terdapat selisih antara dua atau lebih besaran listrik yang sejenis melebihi nilai yang telah ditentukan [6]. Rele diferensial memerlukan setting agar dapat melakukan kerja dengan kriteria sensitif, handal, selektif, dan cepat.

Rele proteksi diferensial yang tersedia di pasaran cenderung mahal jika digunakan dalam proyek berskala kecil. Oleh karena itu, untuk mengembangkan sebuah sistem rele diferensial yang lebih terjangkau dan fleksibel dalam penggunaan skala kecil. Penggunaan *platform* mikrokontroler yang populer dan terbuka seperti Arduino Uno dapat menjadi solusi yang menarik, karena memungkinkan pengembangan sistem proteksi yang lebih murah. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sebuah sistem proteksi rele diferensial berbasis arduino dengan karakteristik *tripping* SIPROTEC 7UT6 yang digunakan untuk mengamankan transformator satu fase.

II. LANDASAN TEORI

A. Penelitian atau Proyek yang Sudah Ada Sebelumnya

Terdapat beberapa referensi yang digunakan dalam perancangan rele diferensial berbasis arduino uno ini.

Dari penelitian yang dilakukan oleh Nur Sayyid Umar, Syukriyadin, dan Rakhmad Syafutra Lubis dengan judul “Rancang bangun purwarupa relai diferensial arus dengan metode arus bias menggunakan arduino uno” pada penelitian tersebut rele diferensial dirancang menggunakan sensor arus ACS712 30 A. Hasilnya alat dapat bekerja dengan baik dalam membedakan antara jenis gangguan internal dan jenis gangguan eksternal. Namun, sensor arus ACS712 30 A kurang baik untuk pembacaan arus dibawah 1 ampere [7].

Dari penelitian yang dilakukan oleh T. Pardha Saradhi, Ch. Bala Sai Vara Prasad, N. Raja, P. Nazeer, J. Sai Mounika, dan T. Bhagyasri. dengan judul “*Differential protection of transformer using arduino with gsm and voice circuit*” pada

penelitian ini rele diferensial dirancang untuk memberikan pengumuman suara ketika terjadi gangguan dan mengirimkan pesan kepada operator melalui modul GSM bahwa sedang terjadi gangguan [8].

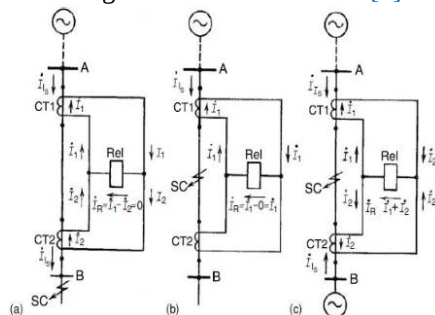
Dari penelitian yang dilakukan oleh Heri Budi Utomo, dan Muhammad Ilham R dengan judul “Analisa sistem proteksi rele deferensial pada trafo 60MVA di Gardu Induk Bandung Utara menggunakan software ETAP 12.6.0” pada penelitian tersebut sistem rele diferensial mengamankan transformator ketika terjadi gangguan di internal pada trafo. Dimana nilai arus setting yang digunakan adalah 0,397A, sehingga saat arus diferensial lebih besar dari arus setting maka rele diferensial akan bekerja [9].

Dari penelitian yang dilakukan oleh Alfi Syahri dan Andik Bintoro Kolom dengan judul “Monitoring dan controlling daya berbasis arduino uno menggunakan sensor PZEM-004T” pada penelitian ini menunjukkan penerapan Sensor PZEM-004T sebagai sensor arus yang memiliki error yang kecil [10].

B. Prinsip Kerja Rele Diferensial

Proteksi rele diferensial bekerja dengan metode keseimbangan arus yakni sesuai dengan hukum arus kirchoff yaitu, arus yang menuju/masuk sama dengan arus yang meninggalkan/keluar pada titik sambungan/cabang [11].

Kerja rele diferensial ini dibantu oleh dua buah transformator arus (CT) dimana dalam keadaan normal, transformator arus yang pertama dan transformator yang kedua dibuat suatu ratio sedemikian rupa, sehingga arus pada kedua transformator arus tersebut sama besar [12]. Bagian sekunder dari kedua CT saling terhubung seperti yang terlihat pada gambar 1. Rele diferensial ditempatkan secara paralel terhadap interkoneksi dari bagian sekunder kedua CT [7].



Gambar 1. (a) Sirkulasi arus ketika gangguan eksternal; (b) Ketika gangguan internal dengan satu suplai; (c) Ketika gangguan internal dengan dua suplai [7].

Jika arus sekunder dari CT, CT1 dan CT2 dimisalkan berturut-turut dengan I_1 dan I_2 , dan arus yang mengalir dari CT1 pada rele yaitu I_1 berada pada polaritas positif, sehingga rangkaian AB dalam keadaan normal dapat dirumuskan sebagai berikut [7] :

$$I_d = I_1 - I_2 \dots \dots \dots (2.1)$$

Hubungan ini berdasarkan fakta bahwa impedansi belitan dari rele adalah jauh lebih kecil dari impedansi belitan sekunder

CT, dan karena itu maka arus sekunder dari kedua CT akan bertemu dalam arah yang berlawanan pada belitan rele. Dalam kasus yang ideal, selama kondisi kerja normal dan ketika terjadi gangguan eksternal (diluar area proteksi), arus sekunder CT, CT1 dan CT2 akan memiliki besar nilai yang sama dan berlawanan arah, karena itu tidak arus yang mengalir menuju belitan rele, atau [7] :

$$I_d = I_1 - I_2 = 0 \dots \dots \dots (2.2)$$

Ketika hubung singkat internal (terjadi didalam area yang diproteksi) dan suplai diberikan dari salah satu ujung rangkaian [7] :

$$I_d = I_1 - 0 = I_1 \dots \dots \dots (2.3)$$

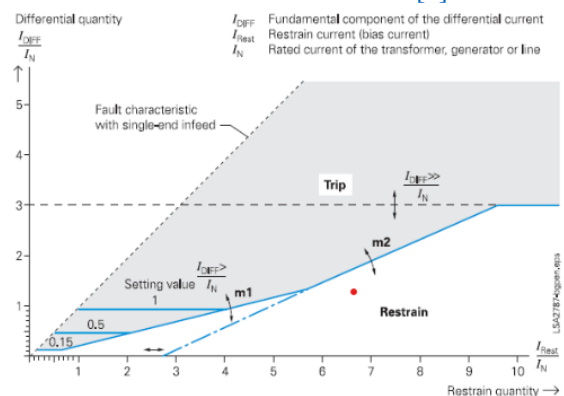
Rele akan beroperasi dan mengirimkan sinyal untuk trip pada *circuit breaker* [7] .

Ketika hubung singkat internal (terjadi didalam area yang diproteksi) dan suplai diberikan pada kedua ujung rangkaian seperti pada gambar 2.1c, penjumlahan arus yang mengalir pada belitan rele adalah [7] :

$$I_d = I_1 + I_2 \dots \dots \dots (2.4)$$

(secara umum arus akan berbeda dalam besar nilainya), rele akan beroperasi dan kemudian mengirimkan sinyal trip untuk mengaktifkan *circuit breaker*) [2] .

Pada gambar 2 terdapat grafik hubungan antara arus diferensial dan arus *restrain*, kurva ini menggambarkan karakteristik tripping yang digunakan oleh rele diferensial SIPROTEC 7UT6 berdasarkan ANSI 87T [2] .



Gambar 2. Karakteristik tripping dengan parameter transformator yang telah ditetapkan untuk gangguan tiga fase [7].

Daerah di atas kurva adalah zona operasi rele diferensial, sedangkan pada daerah di bawah kurva, rele diferensial tidak akan bekerja. Untuk proteksi rele diferensial arus dengan metode arus bias persamaan yang digunakan adalah [7] :

$$I_d = I_1 - I_2 \dots \dots \dots (2.5)$$

$$I_r = \frac{(I_1 + I_2)}{2} \dots \dots \dots (2.6)$$

Dimana:

I_d = Arus diferensial

I_r = Arus restrain

C. Arduino Uno

Papan mikrokontroler yang disebut Arduino didasarkan pada ATmega328. Arduino Uno hadir dengan semua yang diperlukan untuk mendukung mikrokontroler, dan Anda dapat menggunakan kabel USB untuk menghubungkannya dengan cepat ke komputer, memasoknya dengan adaptor AC ke DC, atau menyalakannya dengan baterai [13].

Arduino uno dilengkapi *Static Random-Access Memory* (SRAM) berukuran 2KB untuk memegang data, *Flash memory* berukuran 32KB, dan *Erasable Programmable Read-Only Memory* (EPROM) untuk menyimpan program [14]. Tampilan board Arduino uno ini dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Board Arduino Uno [15].

D. PZEM-004T

Sensor PZEM-004T adalah sensor yang digunakan untuk mengukur Arus, Tegangan, Power, dan Energy dari listrik AC. Sensor ini memiliki kemampuan untuk mengeluarkan output dengan komunikasi serial, sehingga dapat dihubungkan dengan perangkat seperti Arduino. Modul pzem-004t dibundel dengan kumparan trafo arus diameter 3mm yang dapat digunakan untuk mengukur arus maksimal sebesar 100A [16]. Bentuk dan konfigurasi PZEM-004T dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. PZEM-004T [16].

Modul ini terutama digunakan untuk mengukur tegangan AC, arus, daya aktif, frekuensi, faktor daya dan energi aktif, modul tanpa fungsi tampilan, data dibaca melalui interface TTL. Interface TTL dari modul ini adalah interface pasif, membutuhkan catu daya eksternal 5V, yang berarti ketika berkomunikasi, keempat port harus terhubung (5V, RX, TX, GND) jika tidak ia tidak dapat berkomunikasi (innovators guru, n.d.). PZEM-004T-10A: Rentang Pengukuran 10A (Built-in

Shunt). PZEM-004T-100A: Rentang Pengukuran 100A (External Transformer) [16].

E. Push Button

Push button switch (saklar tombol tekan) adalah perangkat / saklar sederhana yang berfungsi untuk menghubungkan atau memutuskan aliran arus listrik dengan sistem kerja tekan unlock (tidak mengunci). Sistem kerja unlock disini berarti saklar akan bekerja sebagai *device* penghubung atau pemutus aliran arus listrik saat tombol ditekan, dan saat tombol tidak ditekan (dilepas), maka saklar akan kembali pada kondisi normal., bentuk fisik dari komponen ini dapat dilihat pada Gambar 5. berikut ini [17].



Gambar 5. Push Button [17].

F. Liquid Crystall Display (LCD) I2C 16x2

LCD merupakan salah satu komponen elektronika yang berfungsi sebagai tampilan suatu data, baik karakter, huruf, atau grafik. LCD membutuhkan tegangan dan daya yang kecil sehingga sering digunakan untuk aplikasi pada kalkulator, arloji digital, dan instrumen elektronik seperti multimeter digital. LCD memanfaatkan silikon dan galium dalam bentuk kristal cair sebagai pemancar cahaya. Pada layar LCD, setiap matrik adalah susunan dua dimensi piksel yang dibagi dalam baris dan kolom [18].

Untuk mengakses LCD 16x2 menggunakan Arduino, Anda dapat menggunakan library *LiquidCrystal_I2C* untuk mengontrol LCD melalui jalur I2C. Anda dapat menulis kode untuk mengatur posisi kursor, menulis teks, dan mengatur backlight pada LCD 16x2 [19].

Spesifikasi dari LCD 16x2. Adapun fitur – fitur yang tersedia antara lain:

1. Terdiri dari 16 kolom dan 2 baris
2. Dilengkapi dengan *backlight*
3. Mempunyai 192 karakter tersimpan
4. Dapat dialamati dengan mode 4-bit dan 8-bit
5. Terdapat karakter generator terprogram



Gambar 6. LCD 16X2 [18].

G. Relay

Relay adalah suatu alat elektromagnetik yang dioperasikan oleh perubahan kondisi suatu rangkaian listrik. Berguna untuk mengaktifkan peralatan lainnya dengan cara membuka atau menutup kontak dengan memberikan rangkaian relay tersebut logika 1 atau 0. Relay sendiri terdiri dari 2 bagian utama yakni Elektromagnet (*Coil*) dan Mekanikal (seperangkat Kontak Saklar/*Switch*). Relay menggunakan Prinsip Elektromagnetik untuk menggerakkan Kontak Saklar sehingga dengan aruslistrik yang kecil (*low power*) dapat menghantarkan listrik yang bertegangan lebih tinggi [20]. Adapun fungsi *relay* pada rangkaian listrik diantaranya adalah menyambung dan memutuskan aliran listrik secara tidak langsung menyambung dan memutuskan aliran listrik secara bersamaan [21], Bentuk fisik dari *relay* dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 7. Relay [20].

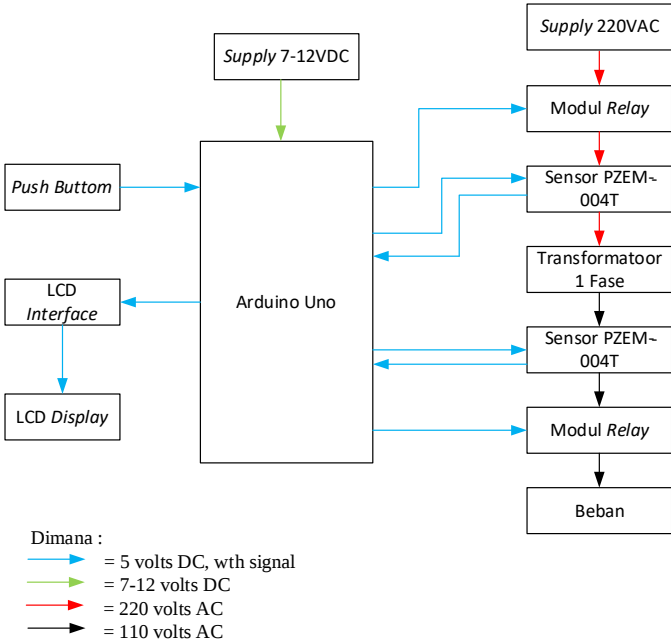
III. METODE PENELITIAN

A. Jenis Data dan Sumber Data

Pada penelitian ini dibagi menjadi tiga tahap yaitu perencanaan, pengerjaan dan pengujian. sumber data yang digunakan pada saat perencanaan dan pengerjaan didapatkan dari jurnal ilmiah, buku, situs web resmi arduino, laporan penelitian terkait, dan juga *datasheet* dari rele diferensial SIPROTEC 7UT6 serta menggunakan juga *software* seperti ETAP dan Proteus untuk melakukan simulasi dari alat yang akan dikerjakan. Pada saat pengujian data diambil langsung dari hasil pengujian di Laboratorium Politeknik Negeri Samarinda.

B. Gambaran Umum Sistem

Gambar 9. menunjukan gambaran umum sistem dari rele diferensial berbasis arduino. Arduino uno mendapatkan sumber tegangan dari adaptor 7 – 12V sedangkan transformator pada sisi primer di suplai 220V dan beban terhubung dengan sisi sekunder transformator dengan tegangan 110V, pada sisi primer dan sekunder masing-masing terhubung dengan relay dan sensor PZEM-004T yang akan dikendalikan oleh sistem Arduino uno. Pada arduino terdapat 2 input yaitu PZEM-004T yang merupakan sensor dan Keypad 4x4 untuk memasukkan nilai faktor pengali rasio trafo serta memiliki 2 output yaitu *relay* dan LCD, untuk penjelasan pin input dan output yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 1.



Gambar 8. Gambaran umum sistem rele diferensial berbasis Arduino.

TABEL 1
PIN INPUT DAN OUTPUT YANG DIGUNAKAN

Pin Mode	Nama Pin	Keterangan
Input	Sensor PZEM-004T	berfungsi mengukur arus pada jaringan yang diamankan kemudian dikirimkan ke Arduino
Input	Push button	berfungsi sebagai tombol untuk mereset Arduino
Output	Relay	berfungsi untuk memutuskan aliran listrik ketika terjadi gangguan arus yang melebihi batas setting arus yang telah ditentukan
Output	LCD	berfungsi sebagai penampil ketika menginput nilai faktor pengali rasio CT

C. Peralatan dan Material

Tabel 2. menunjukan peralatan dan material yang digunakan untuk membuat dan sarana dalam membuat rele diferensial:

TABEL 2
DAFTAR ALAT DAN MATERIAL YANG DIGUNAKAN

Alat	Material
Bor	Arduino Uno
Gerinda	Sensor PZEM-004T
Solder	Rele

Laptop	Akrilik
Variable Resistor	LCD 16x2
Lampu Pijar 15W	Papan PCB
Ampere Meter	Timah
Jepit Buaya	Kabel
	Sekun
	Push button

D. Perancangan Proteksi Diferensial pada Relay

Perancangan karakteristik diferensial dilakukan untuk mengatur sistem kerja antara sensor arus, relay, dan Arduino. Mikrokontroler Arduino dapat memilih kapan waktu yang tepat dalam memberikan sinyal trip kepada relay untuk memutuskan beban.

Grafik pada gambar 2 merupakan karakteristik tripping yang digunakan oleh rele diferensial SIPROTEC 7UT6. Grafik yang terdapat pada gambar 2 dibagi menjadi tiga bagian dengan mengasumsikan arus diferensial (Id) sebagai (y) dan arus restrain (Ir) sebagai (x). Bagian yang pertama adalah grafik yang dinamakan dengan setting value, kemudian bagian yang kedua adalah grafik yang dinamakan slope (m1), dan bagian yang ketiga adalah grafik yang dinamakan slope (m2). Grafik bagian dua dan tiga merupakan garis yang memiliki kemiringan (slope) tertentu, sehingga fungsi (x) dan (y) untuk bagian dua atau bagian tiga dari grafik dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan:

$$\frac{y-y_1}{y_2-y_1} = \frac{x-x_1}{x_2-x_1} \dots\dots\dots(3.1)$$

Dengan mengasumsikan bahwa slope(m1) adalah garis penghubung antara dua titik (2.1,0.5), dan (4.1,1), maka didapatkan persamaan untuk grafik bagian kedua adalah:

$$x = 4 * y + (0,1) \dots\dots\dots (3.2)$$

Kemudian mengasumsikan bahwa slope(m2) adalah garis penghubung antara dua titik (4.1,1), dan (9.6,3), maka didapatkan persamaan untuk grafik bagian ketiga adalah:

$$x = \left(\frac{39}{16}\right) * y - \left(\frac{183}{80}\right) \dots\dots\dots (3.3)$$

Dari persamaan (3.2) dan (3.3) didapatkan empat koordinat titik yaitu (0,0.5), (2.1,0.5), (5.7,1.4) dan (9.6,3). Kemudian berdasarkan empat titik tersebut akan dilakukan plotting sehingga membentuk sebuah diagram karakteristik diferensial yang diterapkan pada kerja purwarupa seperti pada Gambar 10.



Gambar 9. Karakteristik tripping rele diferensial.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Akurasi Sensor PZEM-004T

Pada tahap ini, hasil pengukuran yang dilakukan dengan menggunakan amperemeter akan dibandingkan dengan hasil pengukuran yang dilakukan dengan menggunakan sensor arus PZEM-004T. Hasil pembacaan arus menggunakan sensor arus PZEM-004T dapat dilihat pada tabel 3 berikut.

TABEL 3
HASIL PENGUJIAN PEMBACAAN SENSOR ARUS PZEM-004T

Sensor Arus (A)	Ampere Meter (A)	Error (%)
0,253	0,250	0,988
0,304	0,300	0,986
0,355	0,350	0,985
0,406	0,400	0,985
0,455	0,450	0,989
0,506	0,500	0,988
0,556	0,550	0,989
0,607	0,600	0,988
0,658	0,650	0,987
0,708	0,700	0,988

B. Pengujian Rele diferensial

Pada pengujian rele diferensial dilakukan dengan cara memasang resistor variabel pada daerah proteksi dan diluar daerah proteksi sebagai arus gangguan.

TABEL 4
HASIL PENGUJIAN RELE DIFERENSIAL ARUS GANGGUAN DI LUAR DAERAH PROTEKSI

No.	Id	Ir	Kondisi rele
1	0	0,27	Tidak Bekerja
2	0	0,32	Tidak Bekerja
3	0	0,38	Tidak Bekerja
4	0,01	0,43	Tidak Bekerja
5	0,01	0,50	Tidak Bekerja
6	0,02	0,56	Tidak Bekerja
7	0,02	0,62	Tidak Bekerja
8	0,01	0,66	Tidak Bekerja
9	0,02	0,73	Tidak Bekerja
10	0,03	0,80	Tidak Bekerja
11	0,07	0,9	Tidak Bekerja
12	0,10	0,34	Tidak Bekerja
13	0,12	1,2	Tidak Bekerja
14	0,14	1,4	Tidak Bekerja
15	0,15	1,7	Tidak Bekerja
16	0,3	1,8	Tidak Bekerja
17	0,5	4	Tidak Bekerja
18	1	6	Tidak Bekerja
19	2	8	Tidak Bekerja
20	2,5	9	Tidak Bekerja

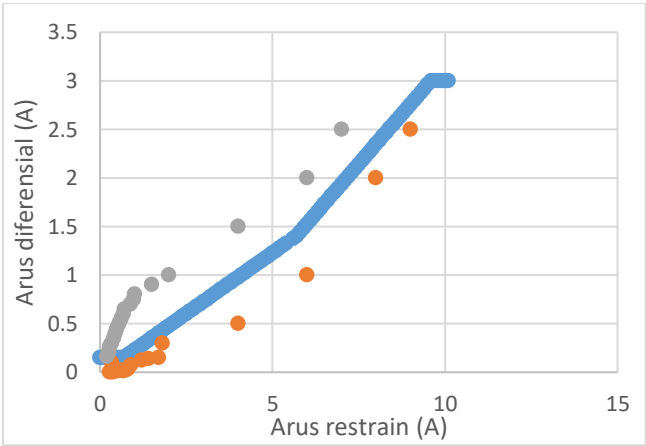
Pada [tabel 4](#) dapat dilihat bahwa rele diferensial tidak akan bekerja ketika arus diferensial dibawah arus setting dan apabila arus diferensial melebihi arus setting namun, arus *restrain* cukup besar maka rele tidak akan bekerja.

TABEL 5
HASIL PENGUJIAN RELE DIFERENSIAL ARUS GANGGUAN DI DAERAH PROTEKSI

No.	Id	Ir	Kondisi rele	Waktu trip
1	0,16	0,2	Bekerja	2 detik
2	0,2	0,25	Bekerja	2 detik
3	0,25	0,28	Bekerja	2 detik
4	0,27	0,3	Bekerja	2 detik
5	0,3	0,34	Bekerja	2 detik
6	0,35	0,4	Bekerja	2 detik
7	0,4	0,44	Bekerja	2 detik
8	0,45	0,5	Bekerja	2 detik
9	0,5	0,56	Bekerja	2 detik
10	0,55	0,61	Bekerja	2 detik
11	0,6	0,68	Bekerja	2 detik
12	0,65	0,71	Bekerja	2 detik
13	0,7	0,88	Bekerja	2 detik

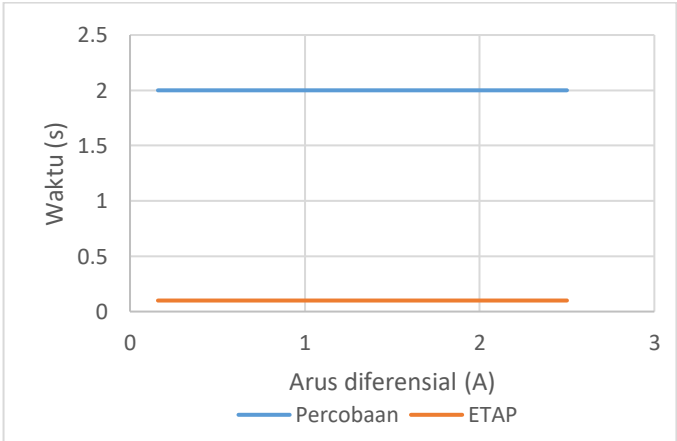
14	0,75	0,97	Bekerja	2 detik
15	0,8	1	Bekerja	2 detik
16	0,9	1,5	Bekerja	2 detik
17	1	2	Bekerja	2 detik
18	1,5	4	Bekerja	2 detik
19	2	6	Bekerja	2 detik
20	2,5	7	Bekerja	2 detik

Pada [tabel 5](#) dapat dilihat bahwa rele diferensial akan bekerja ketika arus diferensial melebihi arus setting diferensial dan waktu trip rele ketika terjadi gangguan adalah 2 detik.



Gambar 10. Karakteristik tripping pada pengujian rele diferensial.

Dari [gambar 10](#) dapat dilihat bahwa rele diferensial akan bekerja ketika arus diferensial dan arus *restrain* berada diatas grafik karaktristik tripping dan rele tidak akan bekerja ketika arus diferensial dan arus *restrain* berada dibawah grafik karaktristik tripping.



Gambar 11. Grafik perbandingan waktu trip rele diferensial hasil percobaan dengan hasil simulasi ETAP.

Dapat dilihat pada [Gambar 11](#). Berapun besar arus diferensial, jika melebihi arus setting maka waktu trip rele sama atau konstan. Serta perbedaan waktu kerja rele yang didapatkan

dari simulasi *software* ETAP dengan waktu kerja rele dari hasil percobaan sebesar 19%.

V. PENUTUP

A. Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa sensor PZEM-004T yang digunakan sebagai sensor arus telah memberikan hasil pembacaan arus dengan baik pada pembacaan arus dengan nilai dibawah 1 ampere. Dalam pengujian yang telah dilakukan rele diferensial dapat bekerja saat terjadi gangguan internal dan tidak bekerja saat terjadi gangguan eksternal. Rele diferensial berbasis Arduino Uno telah bekerja mengikuti standar ANSI 87T. Berdasarkan hasil pengujian alat ini terdapat perbedaan waktu kerja rele antara simulasi *software* ETAP dengan hasil percobaan sebesar 19%. Hal ini dapat terjadi karena kecepatan pembacaan sensor PZEM-004T cukup rendah yaitu sekitar dua kali per detik.

B. Saran

Menambahkan fitur minimum pick up yang dapat diatur dari 0.15 – 1 ampere. Pada rele diferensial ini arus yang dapat mengalir pada saluran adalah 10A disebabkan rating rele. Oleh karena itu, Perlu ditingkatkan rating rele pengaman pada rele diferensial ini agar dapat digunakan pada transformator daya. Menggunakan sensor arus yang memiliki kecepatan yang tinggi untuk meningkatkan kecepatan waktu trip rele.

REFERENSI

- [1] M. F. Jafar dan A. Budiman, "Studi setting rele diferensial pada trafo daya PT. PLN TARAKAN," *Elektrika Borneo (JEB)*, vol. 9, no. 2, Oct. pp. 104-108, 2023. DOI: <https://doi.org/10.35334/eb.v9i2.3466>.
- [2] M. M. Lasiyono, "Setting relai diferensial pada transformator daya 150kV Gardu Induk Pondok Indah menggunakan protocol communications modbus," *Jurnal Ekonomi - Teknik*, vol. 1, no. 3, p. 204, 2021. DOI: <https://doi.org/10.54543/etnik.v1i3.25>.
- [3] M. A. Firnanda, I. Effendi dan Dyah. Utari. Y.W., "Perencanaan setting relay differential sebagai proteksi utama transformator 500 MVA GITET 500/275 kV Muara Enim PT. PLN (Persero) UIP sumbagsel," *Jurnal Desiminasi Teknologi*, vol. 9, no 2, pp. 121-129, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.52333%2Fdestek.v9i2.782>.
- [4] R. Syahputra, Y. R. Nasution dan Yusniati., "Pengoperasian transformator dengan menggunakan tap changer aplikasi Gardu Induk Denai," *Journal of Electrical Technology*, vol. 5, no. 2, pp. 53-60, 2020.
- [5] S. Y. Nugraha dan A. T. Triyanto, "Prototipe proteksi motor 3 fasa menggunakan rele PFR NJYB315". *Jurnal Ilmu Komputer dan Science* , vol. 2, no 5, pp. 1281-1287, Juni 2023.
- [6] C. A. Ramadhan, M. Pujiantara dan A. Priyadi, "Evaluasi proteksi sistem kelistrikan pembangkit jenis gas turbine generator 3X18 pada PT Pupuk Sriwidjaja Palembang (Pusri)," *JURNAL TEKNIK ITS*, vol. 11, no 2, pp. 76-83, 2022. DOI: [10.12962/j23373539.v11i2.87919](https://doi.org/10.12962/j23373539.v11i2.87919).
- [7] N. S. Umar, S. dan R. S. Lubis, "Rancang bangun purwarupa relai diferensial arus dengan metode arus bias menggunakan Arduino Uno," *Jurnal Online Teknik Elektro*, vol. 3, no. 2, pp. 84-89, 2018.
- [8] T. P. Saradhi, C. B. S. V. Prasad, N. Raja, P. Nazeer, J. S. Mounika dan T. Bhagyasri, "Differential protection of transformer using arduino with gsm and voice circuit," *Journal of Engineering Sciences*, vol. 11, no. 5, pp. 83-91, 2020. DOI: [10.15433/JES.2020.V11I05.43P.16](https://doi.org/10.15433/JES.2020.V11I05.43P.16).
- [9] H. B. Utomo dan M. I. R., "Analisa sistem proteksi rele deferensial pada trafo 60MVA Di Gardu Induk Bandung Utara menggunakan *software* ETAP 12.6.0," *Prosiding The 12th Industrial Research Workshop and National Seminar*, 2021.
- [10] A. Syahri dan A. Bintoro, "Monitoring dan controlling daya berbasis arduino uno menggunakan sensor PZEM-004T," *Jurnal Energi Elektrik*, vol.12,no.1,pp.43-51,2023. DOI: <https://doi.org/10.29103/jee.v12i1.9836>.
- [11] E. S. Nasution., F. I. Pasaribu., Yusniati. dan M. Arfianda, "Rele diferensial sebagai proteksi pada transformator daya pada gardu induk," *Ready Start*, vol. 2, no. 1, pp. 179-186, 2019.
- [12] F. Ferdiansyah, S. Subhan, dan N. Nazaruddin, "Studi penggunaan rele diferensial type P642 sebagai proteksi pada transformator daya 30 MVA Gardu Induk Pantan Labu PT. PLN (Persero) Aceh Utara," *Jurnal Tektro*, vol. 7, no. 1, pp. 78-83, 2023. DOI: <http://dx.doi.org/10.30811/tektro.v7i1.3865>.
- [13] M. I. Hafidhin, A. Saputra, Y. Ramanto dan S. Samsugi, "Alat penjemuran ikan asin berbasis mikrokontroler," *JTIKOM*, vol. 1, no. 2, pp. 59-66, 2020. DOI: <https://doi.org/10.33365/jtikom.v1i2.210>.
- [14] A. Lestari dan O. Candra, "Sistem otomasi pensortiran barang berbasis arduino uno," *Jurnal Teknik Elektro dan Vokasional*, vol. 7, no. 1, pp. 27-36, 2021.
- [15] A. Sari, N. Utami, S. Samsugi dan S. D. Ramdan, "Pengembangan koper pintar berbasis arduino," *Jurnal ICTEE*, vol. 1, no. 1, pp. 20-25, 2020. DOI: <https://doi.org/10.33365/jictee.v1i1.699>.
- [16] S. Anwar, T. Artono, N. D. dan A. Fadli, "Pengukuran energi listrik berbasis PZEM-004T," *Proceeding Seminar Nasional Politeknik Negeri Lhokseumawe*, vol. 3, no. 1, pp. 272-276, 2019.
- [17] Y. N. I. Fathulrohman dan A. Saepuloh, "Alat monitoring suhu dan kelembaban menggunakan arduino uno," *JUMANTAKA* , vol. 2, no. 1, pp. 161-171, 2019.
- [18] A. Furqon, A. B. Prasetyo dan E. D. Widiyanto, "Rancang bangun sistem monitoring dan kendali daya listrik pada rumah kos menggunakan nodemcu dan firebase berbasis android," *Techné Jurnal Ilmiah Elektroteknika* , vol. 18, no. 2, pp. 93-104, 2019. DOI: <https://doi.org/10.31358/techn.v18i02.202>.
- [19] M. F. Bahmadeni dan E. Fitriani, "Prototipe monitoring pengendalian rumah jamur tiram," *Jurnal Teliska*, vol. 16, no. 1, 2023. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.7820793>.
- [20] R. Sudrajat dan F. Rofifah, "Rancang bangun sistem kendali kipas angin dengan sensor suhu dan sensor ultrasonik berbasis arduino uno," *Remik: Riset dan E-Jurnal Manajemen Informatika Komputer*, vol. 7, no. 1, pp. 555-564, 2023. DOI: [10.33395/remik.v7i1.12082](https://doi.org/10.33395/remik.v7i1.12082).
- [21] I. S. Hudan dan T. Rijianto, "Rancang bangun sistem monitoring daya listrik pada kamar kos berbasis internet of things (iot)," *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 8, no. 1, pp. 91-99, 2019. DOI: <https://doi.org/10.26740/jte.v8n1.p%25p>.

Koordinasi Rele Arus Lebih dan Rele Gangguan Tanah Pada Penyulang J4 dan J5 di Gardu Induk Karang Joang Balikpapan

Onglan Nainggolan¹, Masing², Ikhwan Tantowi Ardiwinata³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Samarinda

¹onainggolan029@gmail.com

Abstrak- Sistem distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang berfungsi untuk menyalurkan tenaga listrik dari sistem yang lebih besar sampai ke konsumen. Pada sistem ini digunakan tegangan menengah yang merupakan sistem yang paling banyak mengalami gangguan dibandingkan dengan sistem transmisi. Penggunaan peralatan proteksi dapat meminimalisir gangguan yang terjadi pada jaringan distribusi. Banyak peralatan proteksi yang digunakan pada jaringan distribusi di antaranya adalah *over current relay* (rele arus lebih) dan *ground fault relay* (rele gangguan tanah). Pengkoordinasian antara rele arus lebih dan rele gangguan tanah dilakukan agar alat proteksi dapat bekerja dengan tingkat selektifitas dan sensitifitas yang baik sehingga menjaga kontinuitas penyaluran energi listrik. Pada paper ini dibahas koordinasi *setting* rele arus lebih (OCR) dan *setting* rele gangguan tanah (GFR). Simulasi menggunakan software ETAP 12.6 dilakukan terhadap data yang diperoleh dari lapangan. Hasil perhitungan pada penyulang J4 diperoleh selisih waktu (*grading time*) OCR sebesar 0.4007 detik. Sedangkan untuk selisih waktu OCR pada penyulang J5 adalah 0.3983 detik. Untuk hasil perhitungan pada penyulang J4 diperoleh selisih waktu (*grading time*) GFR sebesar 0.3998 detik. Sedangkan untuk selisih waktu GFR pada penyulang J5 adalah 0.4 detik. Hal ini menunjukkan koordinasi dikatakan ideal.

Kata kunci: koordinasi proteksi, *over current relay*, *ground fault relay*, selisih waktu, ETAP 12.6.

I. PENDAHULUAN

Gangguan pada suatu sistem tenaga listrik tidak dapat dihindari. Jika tidak terdapat sistem yang mengatasi dan mengisolasi masalah ini, maka hal tersebut dapat mengganggu dan merusak komponen-komponen yang berada pada sistem tersebut. Gangguan dapat menyebabkan kegagalan kerja pada sistem tenaga sehingga pelayanan listrik akan terputus dan diperlukan biaya yang lebih besar untuk memperbaikannya.

Sistem distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik. Sistem distribusi berfungsi untuk menyalurkan tenaga listrik dari sistem yang lebih besar sampai ke konsumen. Pada sistem ini digunakan tegangan menengah yang merupakan sistem yang paling banyak mengalami gangguan dibandingkan dengan sistem transmisi. Meningkatnya beban disinyalir menjadi salah satu parameter yang dapat mengakibatkan gangguan. Pada dasarnya gangguan adalah suatu keadaan tidak normal yang terjadi pada sistem. Gangguan sendiri dibedakan menjadi dua yakni gangguan sementara serta gangguan

permanen. Gangguan-gangguan tersebut akan mengakibatkan terganggunya penyaluran tenaga listrik.

Penggunaan peralatan proteksi dapat meminimalisir gangguan yang terjadi pada jaringan distribusi. Banyak peralatan proteksi yang digunakan pada jaringan distribusi diantaranya adalah *over current relay* (rele arus lebih) dan *ground fault relay* (rele gangguan tanah).

Pengkoordinasian antara rele arus lebih dan rele gangguan tanah dilakukan agar alat proteksi dapat bekerja dengan tingkat selektifitas dan sensitifitas yang baik sehingga menjaga kontinuitas penyaluran energi listrik.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Gangguan Hubung Singkat

Gangguan hubung singkat adalah gangguan yang terjadi karena adanya kesalahan antara bagian-bagian yang bertegangan. Gangguan hubung singkat dapat menimbulkan arus yang lebih besar daripada arus normal dan berpotensi untuk menyebabkan kerusakan pada peralatan sistem dan mengganggu kestabilan sistem [1]. Gangguan hubung singkat memiliki beberapa kemungkinan yang dapat terjadi dalam suatu sistem distribusi:

1. Gangguan hubung singkat tiga *phase*
2. Gangguan hubung singkat dua *phase*
3. Gangguan hubung singkat satu *phase* ketanah

Tujuan dari analisis gangguan hubung singkat adalah untuk mengetahui. Perhitungan arus hubung singkat dapat dihitung dengan menggunakan persamaan persamaan berikut [2] :

$$S_{SC} = \sqrt{3} \times I_{hs} \times V_{primer} \dots \dots \dots (1)$$

$$X_s = \frac{(V)^2 (sisi primer trafo)}{S_{sc}} \dots \dots \dots (2)$$

$$X_{t2} = \%X_{t1} \times \frac{V_{sekunder}^2}{S_{trafo}} \dots \dots \dots (3)$$

$$X_{t0} = 3 \times X_{t2} \dots \dots \dots (4)$$

$$Z_{eq} = Z_{s1} + Z_{t1} + Z_{1penyulang} \dots \dots \dots (5)$$

$$Z_{0eq} = Z_{t0} + 3RN + Z_{0penyulang} \dots \dots \dots (6)$$

$$I_{f3\phi} = \frac{V_{L-N}}{Z_1} \dots \dots \dots (7)$$

$$I_{2\phi} = \frac{V_{L-L}}{Z_{1eq} + Z_{2eq}} \dots \dots \dots (8)$$

$$I_{fL-G} = \frac{3 \times V_{L-N}}{Z_{1eq} + Z_{2eq} + Z_{0eq}} \dots \dots \dots (9)$$

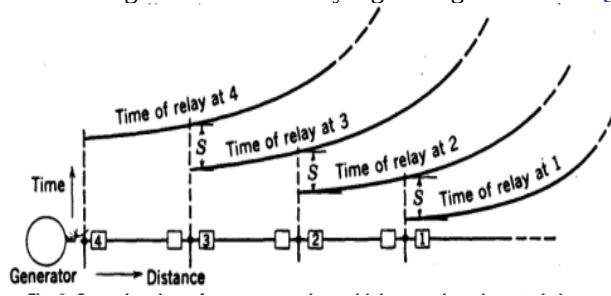
Keterangan:

- S_{SC} = Daya hubung singkat (MVA)
- I_{hs} = Arus hubung singkat maksimum penyulang (kA)
- X_s = Impedansi sumber
- X_{t0} = Reaktansi trafo urutan nol
- X_{t1} = Reaktansi trafo urutan positif
- X_{t2} = Reaktansi trafo urutan negatif
- Z_{0eq} = Impedansi equivalen penyulang urutan nol
- Z_{1eq} = Impedansi equivalen penyulang urutan positif
- Z_{2eq} = Impedansi equivalen penyulang urutan negatif
- $I_{f3\phi}$ = Arus hubung singkat 3 phase
- $I_{f2\phi}$ = Arus hubung singkat 2 phase
- I_{fL-G} = Arus hubung singkat 1 phase

B. Koordinasi OCR dan GFR

Koordinasi rele seringkali dilakukan secara grafis untuk menunjukkan perbedaan waktu operasi dan rentang arus pada setiap peralatan. Dalam melakukan pengkoordinasian antar rele biasanya dimulai dari ujung beban (biasanya disebut dengan hilir) pada saluran kemudian kearah sumber (hulu [1]).

Untuk OCR, gangguan *phase-ke-phase* akan diasumsikan karena menyebabkan lebih sedikit arus yang mengalir daripada gangguan-gangguan lain yang tidak melibatkan ground. Namun, relai fase tidak boleh terlalu sensitif sehingga bekerja pada saluran dengan keadaan beban puncak. Untuk GFR, gangguan *satu-Phase-ke-tanah* akan diasumsikan; arus beban bukan merupakan faktor dalam pemilihan pickup *ground-relay* kecuali dalam sistem distribusi di mana ada arus ground secara normal karena pembebanan yang tidak seimbang. Jika ada dua atau lebih bagian garis yang berdampingan, gangguan harus diasumsikan pada akhir bagian yang menyebabkan arus paling sedikit mengalir di lokasi relai yang sedang disesuaikan [3].



Gambar 1. Koordinasi rele dengan karakteristik *normal invers* [3]

C. Setting Arus OCR dan GFR

Penyetelan nilai *pick up* OCR dilakukan dengan pertimbangan bahwa rele seharusnya mengabaikan arus pada keadaan beban normal serta tingkatan beban lebih tertentu. Dengan demikian maka nilai *pick up* rele harus melebihi nilai arus beban lebih yang diperbolehkan. Pada waktu bersamaan rele juga harus cukup sensitive untuk bekerja pada gangguan sekecil apapun. Dengan demikian nilai *pick up* rele haruslah lebih kecil dari arus gangguan terkecil, sehingga dapat dituliskan:

$$I_{L,Max} < I_{pu} < I_{f,Min}$$

Nilai *pick up* rele biasanya disetel antara 105 – 130% dari nilai *plug setting* (arus masukan rele) tersebut [4]. dengan demikian Iset OCR dapat didapatkan menggunakan persamaan

$$I_{set} = 1.05 \times I_n \dots \dots \dots (10)$$

Keterangan:

- I_{set} = Arus *setting* rele
- I_n = Arus nominal penyulang

Penyetelan *pick up* GFR dilakukan dengan pertimbangan bahwa nilai *pick up* haruslah lebih besar dari nilai arus urutan nol dari ketidakseimbangan yang telah diperkirakan pada penyulang. Karena pada umumnya beban pada sistem distribusi menggunakan tegangan 1 (satu) Phase, maka dimungkinkan untuk arus urutan nol mengalir pada penyulang. Bahkan ketika Phase beban seimbang pada kondisi normal, *transfer* beban dari penyulang lain sangatlah mempengaruhi keseimbangan penyulang. Karena itu, umumnya GFR disetel dengan nilai *pick up* antara 10-30% dari nilai *plug setting* rele tersebut [5].

Dengan mengacu pada pernyataan tersebut maka umumnya untuk melakukan penyetelan nilai *pick up* GFR dapat digunakan persamaan:

$$I_{set} = 0.2 \times I_n \dots \dots \dots (11)$$

Keterangan:

- I_{set} = Arus *setting* rele
- I_n = Arus nominal penyulang

D. Setting waktu OCR dan GFR

Untuk melakukan penyetelan waktu OCR dan GFR diperlukan nilai arus hubung singkat pada penyulang yang bersangkutan. Persamaan yang digunakan untuk melakukan penyetelan waktu rele pun berdasarkan pada karakteristik rele yang digunakan. Penyetelan waktu tersebut dapat dilakukan sebagai berikut

1. Standard inverse

$$Time\ to\ trip = \frac{0.14(TMS)}{\left[\frac{I_{hs}}{I_{set}}\right]^{0.02} - 1} \dots \dots \dots (12)$$

2. Very inverse

$$Time\ to\ trip = \frac{13.5(TMS)}{\left[\frac{I_{hs}}{I_{set}}\right] - 1} \dots \dots \dots (13)$$

3. Extremely inverse

$$Time\ to\ trip = \frac{80(TMS)}{\left[\frac{I_{hs}}{I_{set}}\right]^2 - 1} \dots \dots \dots (14)$$

III. METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Lokasi

Pengambilan serta pengumpulan data yang diperlukan dalam penelitian ini dilaksanakan pada bulan Februari 2020 sampai dengan bulan Juni 2020 berlokasi di PT PLN (Persero) Unit Pelaksana Transmisi (UPT) Karang Joang dan Unit Pelaksana Pengatur Distribusi (UP2D) KALTIMRA.

B. Jenis dan Sumber Data

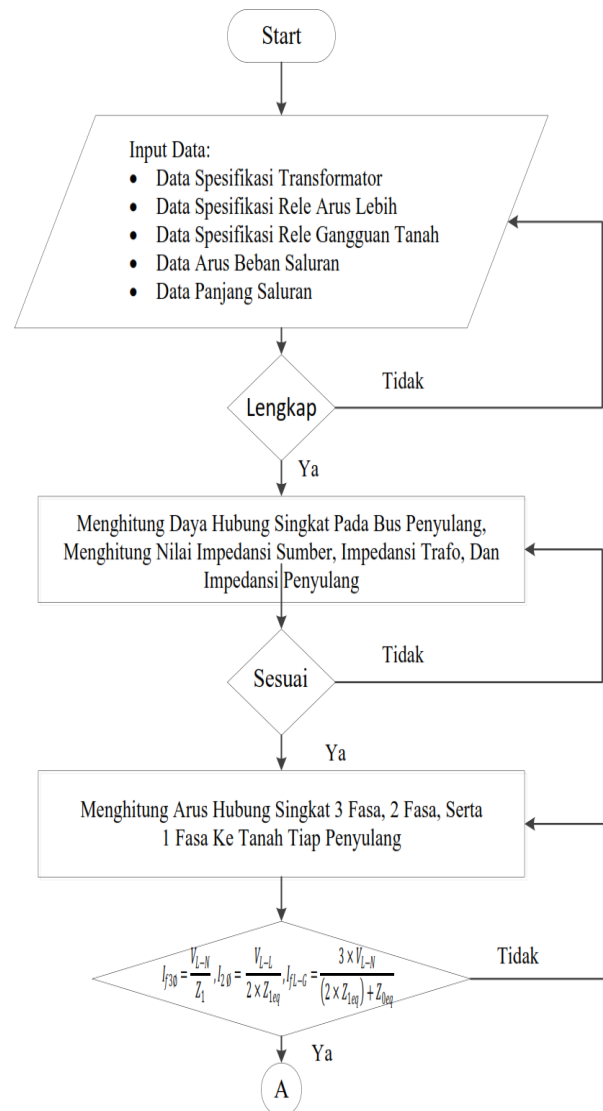
Data data yang dibutuhkan dalam penelitian ini meliputi, data spesifikasi transformator pada *name plate*, data spesifikasi rele arus lebih, data spesifikasi rele gangguan tanah, data Arus Beban Penyulang, data panjang saluran, data penunjang lainnya.

C. Teknik Pengumpulan Data

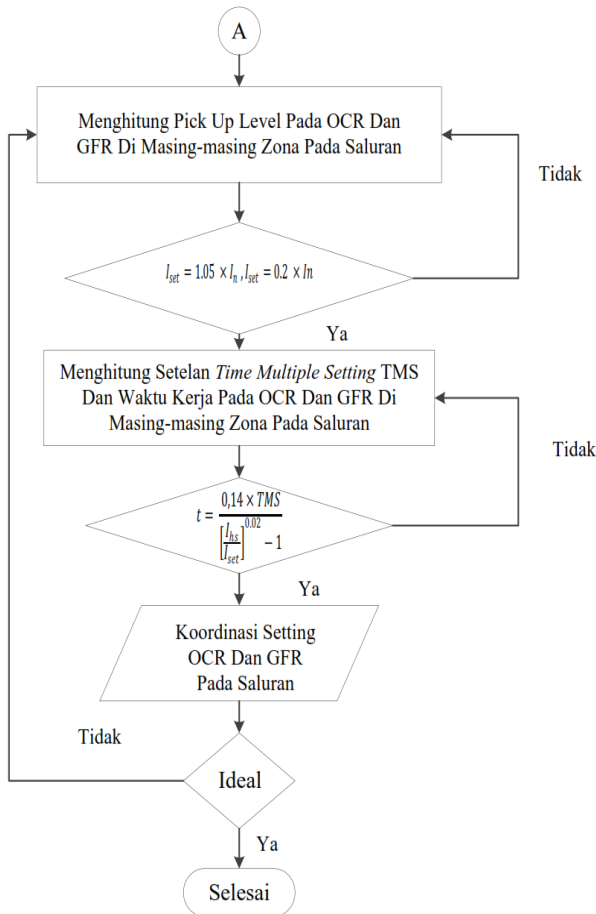
Untuk memperoleh hasil yang baik dalam proses penulisan laporan skripsi, penulis menggunakan bebrapa metode pengumpulan data, di antaranya:

1. Observasi
Teknik observasi merupakan teknik yang dilakukan dengan cara mengamati secara langsung maupun tidak langsung suatu keadaan ataupun situasi dari sebuah objek penelitian.
2. Wawancara
Teknik wawancara merupakan teknik yang dilakukan dengan cara mengajukan pertanyaan baik secara langsung maupun melalui media komunikasi kepada subjek penelitian itu sendiri.
3. Studi Pustaka
Studi pustaka merupakan suatu teknik yang dilakukan dengan mencari sumber sumber referensi baik berupa karya tulis maupun catatan lainnya, agar peneliti dapat melakukan analisis pada topik permasalahan yang ingin diteliti oleh peneliti

D. Diagram Alur Penelitian



Gambar 2. Diagram alur penelitian



Gambar 2. Diagram alur penelitian (lanjutan)

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Impedansi Sumber GI Karang Joang

Daya hubung singkat di bus sisi primer transformator (150 kV) di Gardu Induk Karang Joang adalah sebesar 3195,633 MVA. Maka impedansi sumber (X_s) yang dibangkitkan adalah $7,040 \Omega$, impedansi sumber pada sisi sekunder transformator yaitu pada sisi bus 20kV adalah 0.1251Ω .

B. Impedansi Trafo

Besarnya nilai impedansi pada transformator 1 di Gardu Induk Karang Joang adalah 12,10%, Maka nilai reaktansi transformator urutan positif dan negatif adalah $0,806 \Omega$, transformator yang digunakan untuk mensuplai penyulang J4 dan J5 mempunyai hubungan YNyn0+d yang mana memiliki belitan delta didalamnya, maka besarnya X_{t0} 3 kali dari X_{t1} , jadi nilai reaktansi transformator urutan nol 2,418 Ω .

C. Impedansi Jaringan Distribusi

Dari data yang di peroleh diketahui bahwa penyulang J4 dan J5 menggunakan penghantar jenis AAAC dengan ukuran 150mm^2 . Dengan panjang penyulang J4 = 21Km dan penyulang J5 = 50 Km. Dengan asumsi lokasi gangguan berada pada jarak 0%, 20%, 40%, 60%, 80%, serta 100% panjang penyulang, maka nilai impedansi penyulang J4 dan J5 untuk lokasi gangguan pada jarak 0%, 20%, 40%, 60%, 80%,

serta 100% panjang penyulang ditunjukkan pada [Tabel 1](#) hingga [Tabel 4](#) berikut.

TABEL 1
IMPEDANSI PENYULANG J4 URUTAN POSITIF DAN NEGATIF

Panjang saluran (%)	Impedansi Saluran Z1 & Z2
0%	$0\% \times (4.5402+6.9405i) = 0$
20%	$20\% \times (4.5402+6.9405i) = 0.90804+1.3881i$
40%	$40\% \times (4.5402+6.9405i) = 1.81608+2.7762i$
60%	$60\% \times (4.5402+6.9405i) = 2.72412+4.1643i$
80%	$80\% \times (4.5402+6.9405i) = 3.63216+5.5524i$
100%	$100\% \times (4.5402+6.9405i) = 4.5402+6.9405i$

TABEL 2
IMPEDANSI PENYULANG J5 URUTAN POSITIF DAN NEGATIF

Panjang saluran (%)	Impedansi Saluran Z1 & Z2
0%	$0\% \times (4.5402+6.9405i) = 0$
20%	$20\% \times (4.5402+6.9405i) = 2.162+3.305i$
40%	$40\% \times (4.5402+6.9405i) = 4.324+6.61i$
60%	$60\% \times (4.5402+6.9405i) = 6.486+9.915i$
80%	$80\% \times (4.5402+6.9405i) = 8.648+13.22i$
100%	$100\% \times (4.5402+6.9405i) = 10.81+16.525i$

TABEL 3
IMPEDANSI PENYULANG J4 URUTAN NOL

Panjang saluran (%)	Impedansi Saluran Z0
0%	$0\% \times (7.6251+33.978i) = 0$
20%	$20\% \times (7.6251+33.978i) = 1.52502+6.7956i$
40%	$40\% \times (7.6251+33.978i) = 3.05004+13.5912i$
60%	$60\% \times (7.6251+33.978i) = 4.57506+20.3868i$
80%	$80\% \times (7.6251+33.978i) = 6.10008+27.1824i$
100%	$100\% \times (7.6251+33.978i) = 7.6251+33.978i$

TABEL 4
IMPEDANSI PENYULANG J5 URUTAN NOL

Panjang saluran (%)	Impedansi Saluran Z0
0%	$0\% \times (7.6251+33.978i) = 0$
20%	$20\% \times (7.6251+33.978i) = 3.631+16.18i$
40%	$40\% \times (7.6251+33.978i) = 7.262+32.36i$
60%	$60\% \times (7.6251+33.978i) = 10.893+48.54i$
80%	$80\% \times (7.6251+33.978i) = 14.524+64.72i$
100%	$100\% \times (7.6251+33.978i) = 18.155+80.9i$

D. Impedansi Equivalen Penyulang

Impedansi ekivalen yang akan digunakan dalam analisis ini adalah impedansi ekivalen urutan positif (Z_{1eq}), Impedansi urutan negatif (Z_{2eq}) dan impedansi urutan nol (Z_{0eq}). Masing-masing jenis impedansi ekivalen yang perlu dihitung adalah pada titik 0%, 20%, 40%, 60%, 80%, 100% panjang penyulang. Hal tersebut tertuang pada [Tabel 5](#) hingga [Tabel 8](#) berikut.

TABEL 5
IMPEDANSI EQUIVALEN Z_1 & Z_2 PENYULANG J4

Panjang saluran (%)	Impedansi Equivalen Z_{1eq} & Z_{2eq}
0%	$0.125i + 0.806i + \% Z_1 \text{ penyulang} = 0 + 0.9311i$
20%	$0.125i + 0.806i + \% Z_1 \text{ penyulang} = 0.90804 + 2.3192i$
40%	$0.125i + 0.806i + \% Z_1 \text{ penyulang} = 1.81608 + 3.7073i$
60%	$0.125i + 0.806i + \% Z_1 \text{ penyulang} = 2.72412 + 5.0954i$
80%	$0.125i + 0.806i + \% Z_1 \text{ penyulang} = 3.63216 + 6.4835i$
100%	$0.125i + 0.806i + \% Z_1 \text{ penyulang} = 4.5402 + 7.8716i$

TABEL 6
IMPEDANSI EQUIVALEN Z_1 & Z_2 PENYULANG J5

Panjang saluran (%)	Impedansi Equivalen Z_{1eq} & Z_{2eq}
0%	$0.125i + 0.806i + \% Z_1 \text{ penyulang} = 0 + 0.9311i$
20%	$0.125i + 0.806i + \% Z_1 \text{ penyulang} = 2.162 + 4.2361i$
40%	$0.125i + 0.806i + \% Z_1 \text{ penyulang} = 4.324 + 7.5411i$
60%	$0.125i + 0.806i + \% Z_1 \text{ penyulang} = 6.486 + 10.8461i$
80%	$0.125i + 0.806i + \% Z_1 \text{ penyulang} = 8.648 + 14.1511i$
100%	$0.125i + 0.806i + \% Z_1 \text{ penyulang} = 10.81 + 17.4561i$

TABEL 7
IMPEDANSI EQUIVALEN Z_0 PENYULANG J4

Panjang saluran (%)	Impedansi equivalen Z_{0eq}
0%	$2.418i + 3 \times 30 + \% Z_1 \text{ penyulang} = 90 + 2.4181i$
20%	$2.418i + 3 \times 30 + \% Z_1 \text{ penyulang} = 91.52502 + 9.2137i$

40%	$2.418i + 3 \times 30 + \% Z_1 \text{ penyulang} = 93.05004 + 16.0093i$
60%	$2.418i + 3 \times 30 + \% Z_1 \text{ penyulang} = 94.57506 + 22.8049i$
80%	$2.418i + 3 \times 30 + \% Z_1 \text{ penyulang} = 96.10008 + 29.6005i$
100%	$2.418i + 3 \times 30 + \% Z_1 \text{ penyulang} = 97.6251 + 36.3961i$

TABEL 8
IMPEDANSI EQUIVALEN Z_0 PENYULANG J4

Panjang saluran	Impedansi equivalen Z_{0eq}
0%	$2.418i + 3 \times 30 + \% Z_1 \text{ penyulang} = 90 + 2.4181i$
20%	$2.418i + 3 \times 30 + \% Z_1 \text{ penyulang} = 93.631 + 18.5981i$
40%	$2.418i + 3 \times 30 + \% Z_1 \text{ penyulang} = 97.262 + 34.7781i$
60%	$2.418i + 3 \times 30 + \% Z_1 \text{ penyulang} = 100.893 + 50.9581i$
80%	$2.418i + 3 \times 30 + \% Z_1 \text{ penyulang} = 104.524 + 67.1381i$
100%	$2.418i + 3 \times 30 + \% Z_1 \text{ penyulang} = 108.155 + 83.3181i$

E. Perhitungan Arus Hubung Singkat

Arus gangguan hubung singkat sendiri dapat dihitung menggunakan hukum ohm, hanya saja nilai impedansi equivalen mana yang muncul pada gangguan tersebut tergantung dari jenis gangguan hubung singkatnya. Jenis gangguan hubung singkat tersebut adalah gangguan hubung singkat 3 *Phase*, gangguan hubung singkat 2 *Phase*, serta gangguan hubung singkat 1 *Phase* ke tanah. Hasil perhitungan arus hubung singkat penyulang J4 dan J5 dapat dilihat pada [Tabel 9](#) dan [Tabel 10](#).

TABEL 9
HASIL PERHITUNGAN ARUS GANGGUAN HUBUNG SINGKAT PENYULANG J4

Panjang penyulang (%)	Jarak (Km)	Arus Hubung Singkat (A)		
		3 phase	2 phase	1 phase
0	0	12401.466	6200.73321	384.4656
20	4.2	4636.183	2318.091614	367.1024
40	8.4	2797.089	1398.544504	348.2234
60	12.6	1998.484	999.2418989	328.8961
80	16.8	1553.776	776.8878062	309.8858
100	21	1270.702	635.3510614	291.6827

TABEL 10
HASIL PERHITUNGAN ARUS GANGGUAN HUBUNG SINGKAT PENYULANG J4

Panjang penyulang (%)	Jarak (Km)	Arus Hubung Singkat (A)		
		3 phase	2 phase	1 phase
0	0	12401.466	6200.733	384.466
20	10	2427.922	1213.961	340.865
40	20	1328.338	664.169	295.926
60	30	913.711	456.855	256.471
0	40	696.258	348.129	223.845
100	50	562.385	281.193	197.322

F. Perhitungan Setting OCR dan GFR

Diketahui pada penyulang J4 dan J5 Gardu Induk Karang Joang transformator arus yang terpasang mempunyai rasio 300:5 ampere. Dengan demikian dapat dilakukan perhitungan *pick up level* serta *time multiple setting*. Pada [Tabel 11](#) dan [Tabel 12](#) ditunjukkan hasil *setting* dari OCR dan GFR pada penyulang J4 dan J5, terlihat bahwa penyulang J4 dengan total beban 5.1 MW dan panjang saluran sepanjang 21Km menghasilkan setelan arus OCR untuk sisi penyulang sebesar 181.865 A dan TMS 0.188 detik, pada sisi *incoming* setelan arusnya sebesar 1818.652 A dan TMS 0.195 detik. Sedangkan untuk penyulang J5 dengan total beban hampir 2 kali lebih banyak dari penyulang J4 yakni sebesar 9MW dengan panjang

saluran 50 Km menghasilkan setelan arus OCR pada sisi penyulang sebesar 320.938 A dan TMS sebesar 0.162 detik. Namun untuk setelan arus dan TMS penyulang J5 sisi *incoming* sama besar dengan penyulang J4 hal ini dikarenakan penyulang J4 dan J5 menggunakan transformator induk yang sama yakni transformator 1, sehingga arus nominal disisi *incoming* keduanya sama besar.

TABEL 11
HASIL PENYETELAN OCR DAN GFR PENYULANG J4

Jenis Rele	Lokasi Rele	Iset (primer) (A)	TMS	Waktu (detik)	Grading Time/ selisih waktu
Rele Arus lebih	<i>Incoming</i>	1818.652	0.195	0.6998	0.4007
	Penyulang	181.865	0.188	0.2991	
Rele Gangguan Tanah	<i>Incoming</i>	58.3365	0.1921	0.6997	0.3998
	Penyulang	29.1682	0.1134	0.2999	

TABEL 12
HASIL PENYETELAN OCR DAN GFR PENYULANG J5

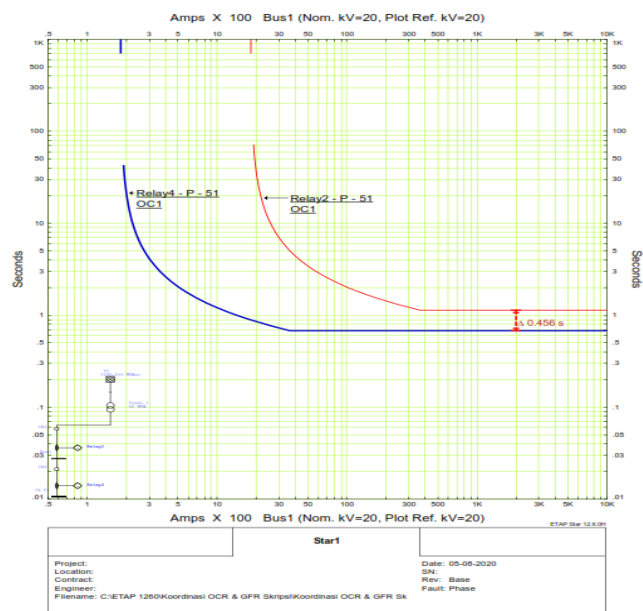
Jenis Rele	Lokasi Rele	Iset (primer) (A)	TMS	Waktu (detik)	Grading Time/ selisih waktu
Rele Arus lebih	<i>Incoming</i>	1818.652	0.195	0.6974	0.3983
	Penyulang	320.938	0.162	0.2991	
Rele Gangguan Tanah	<i>Incoming</i>	39.4644	0.2329	0.6999	0.4
	Penyulang	19.7322	0.1311	0.2999	

Untuk setelan GFR pada penyulang J4 sisi *incoming* memiliki setelan arus sebesar 58.336 A dan TMS sebesar 0.192 detik untuk sisi penyulang setelan arus sebesar 20.168 A dan TMS sebesar 0.113 detik, sedangkan untuk penyulang J5 setelan arus sisi *incoming* sebesar 39.364 A dan TMS sebesar 0.232 detik dan untuk sisi penyulang setelan arus sebesar 19.732 A dan TMS sebesar 0.131 detik.

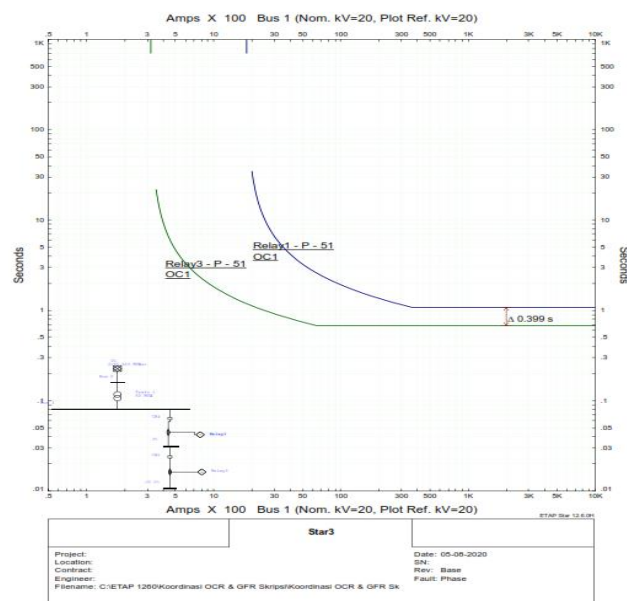
GFR pada penyulang J5 jika dilihat dari setelan arusnya maka dapat dikatakan bahwa GFR tersebut lebih sensitif daripada GFR pada penyulang J4, hal ini dikarenakan pada penyulang J5 memiliki arus hubung singkat minimum yang lebih kecil yakni sebesar 197.322 A dibandingkan dengan penyulang J4 yang lebih besar yakni sebesar 291.69 A, karena sesuai dengan fungsi GFR yakni rele gangguan tanah harus mampu merespon terhadap gangguan tanah terkecil.

G. Koordinasi OCR dan GFR

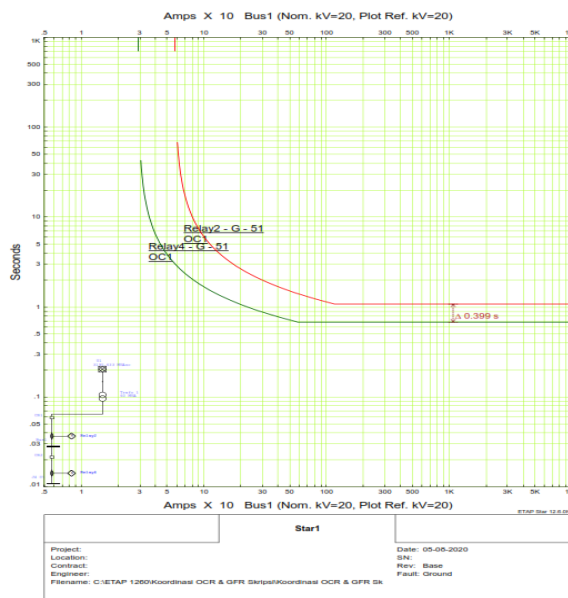
Setelah melakukan perhitungan setelan rele arus lebih dan rele gangguan tanah, tahap selanjutnya yakni menganalisis kinerja koordinasi rele arus lebih dan rele gangguan tanah pada tiap penyulang. Koordinasi akan dilakukan menggunakan software ETAP 12.6.



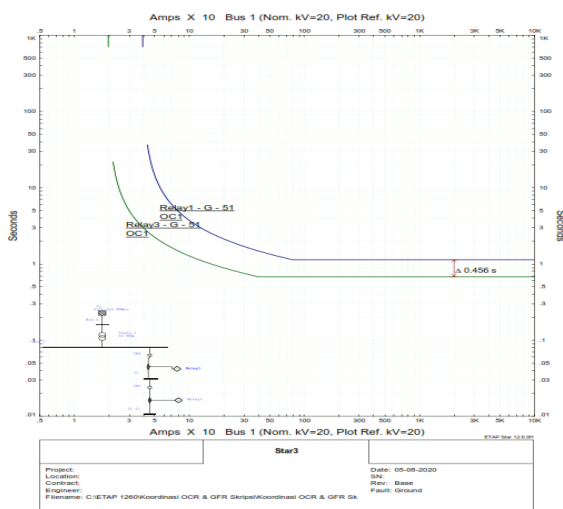
Gambar 3 Plot koordinasi OCR berdasar perhitungan di penyulang J4



Gambar 4 Plot koordinasi OCR berdasar perhitungan di penyulang J5



Gambar 5 Plot koordinasi GFR berdasar perhitungan di penyulang J4



Gambar 6 Plot koordinasi GFR berdasar perhitungan di penyulang J5

Pada [Gambar 5](#) terlihat kurva koordinasi rele arus lebih di penyulang J4 menunjukkan *grading time* atau selisih waktu kerja antara rele sisi *incoming* dan rele sisi penyulang sebesar 0.456 detik. Hasil ini sedikit berbeda dari hasil perhitungan yang telah dilakukan sebelumnya di mana didapatkan hasil *grading time* sebesar 0.4007 detik. Perbedaan ini diperoleh karena jumlah digit angka yang digunakan dalam penyetelan rele pada ETAP tidak sama dengan jumlah digit angka yang di hasilkan dari perhitungan. Namun hasil koordinasi rele arus lebih pada penyulang J4 dapat dikatakan sesuai dengan IEEE std 242-1986, di mana selisih waktu koordinasi dapat dicapai dengan ideal bila *grading time* kedua rele tidak kurang dari 0.3 – 0.4 detik. Sedangkan pada kurva koordinasi rele arus lebih di penyulang J5 yang ditampilkan oleh [Gambar 6](#), diperoleh *grading time* sebesar 0.399 detik. Hal ini dapat dikatakan sama dengan hasil perhitungan di mana *grading time* menunjukkan nilai sebesar 0.3983 detik. Koordinasi tersebut dapat dikatakan ideal karena *grading time* yang terbentuk tidak kurang dari 0.3 – 0.4 detik.

Selanjutnya, pada [Gambar 5](#) terlihat kurva koordinasi rele gangguan tanah pada penyulang J4 menunjukkan *grading time* atau selisih waktu kerja antara rele sisi *incoming* dan rele sisi penyulang sebesar 0.399 detik. Hasil ini sama dengan hasil perhitungan yang telah dilakukan, di mana didapatkan *grading time* sebesar 0.3997 detik. Hasil koordinasi rele arus lebih pada penyulang J4 dapat dikatakan sesuai dengan IEEE std 242-1986 [6], di mana selisih waktu koordinasi dapat dicapai dengan ideal bila *grading time* kedua rele tidak kurang dari 0.3 – 0.4 detik. Sementara itu, pada kurva koordinasi rele arus lebih pada penyulang J5, yang ditunjukkan [Gambar 6](#), diperoleh *grading time* sebesar 0.456 detik. Hal ini sedikit berbeda dengan hasil perhitungan *grading time* yang menunjukkan nilai sebesar 0.4 detik. Namun koordinasi tersebut dapat dikatakan ideal karena *grading time* yang terbentuk tidak kurang dari 0.3 – 0.4 detik.

V. KESIMPULAN

Koordinasi OCR pada penyulang J4 antara rele sisi *incoming* dengan sisi penyulang pada perhitungan menghasilkan *grading time* sebesar 0.4007 detik, sedangkan untuk GFR menghasilkan *grading time* sebesar 0.3998. Kedua hasil *grading time* tersebut dapat dikatakan ideal karena berdasarkan IEEE std 242-1986 batas waktu operasi rele *inverse* adalah 0.3 – 0.4 detik.

Koordinasi OCR pada penyulang J5 antara rele sisi *incoming* dengan sisi penyulang pada perhitungan menghasilkan *grading time* sebesar 0.3983 detik, sedangkan untuk GFR menghasilkan *grading time* sebesar 0.4. Kedua hasil *grading time* tersebut dapat dikatakan ideal karena berdasarkan IEEE std 242-1986 batas waktu operasi rele *inverse* adalah 0.3 – 0.4 detik.

VI. REFERENSI

- [1] P. M. Anderson, *Power System Protection*. New Jersey: Wiley - IEEE Press, 1999.
- [2] T. Gönen, *Electric Power Distribution Engineering*, 3rd ed. Boca Raton: CRC Press, 2014.
- [3] C. R. Mason, *The Art & Science of Protective Relaying*, GE Grid Solutions LLC, 2024.
- [4] L. Hewitson, M. Brown, dan B. Ramesh, *Practical Power Systems Protection*, Burlington: Newnes-Elsevier, 2004.
- [5] *Protection Application Handbook*, 6th ed., Vasteras, Sweden: ABB BU Transmission Systems and Substations
- [6] IEEE 242-1986: *IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems*, IEEE Industry Application Society, vol., no., pp.1-592, 9 Sept. 1986. DOI: 10.1109/IEEESTD.1986.81071.

Rancang Bangun Relai Arus Lebih Tipe *Inverse Time* Dengan Time Multiplier Berbasis Arduino

Becky Arya Wijaya¹, Arief Ihsandi², Onglan Nainggolan³, Prihadi Murdiyat⁴

^{1,2,3,4} Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Samarinda

beckyaryawijaya216421002s1a@gmail.com

Abstrak- Relai arus lebih adalah perangkat yang penting dalam sistem proteksi untuk melindungi peralatan listrik dari kerusakan akibat arus lebih yang berlebihan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk merancang dan mengimplementasikan sebuah sistem relai arus lebih yang dapat mendeteksi dan menanggulangi arus lebih dengan prinsip proteksi *inverse time*, serta dikembangkan menggunakan platform Arduino yang populer dan mudah diakses. Metode yang digunakan dalam penelitian ini meliputi analisis kebutuhan sistem, perancangan *hardware* dan *software*, serta pengujian performa sistem dengan cara melakukan percobaan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan mampu mendeteksi arus lebih dan mengaktifkan relai dalam waktu yang hampir sesuai dengan karakteristik tipe *inverse time* yang ditunjukkan pada simulasi *software* ETAP. Setelah diambil lima puluh lima sampel data pengujian jika dibandingkan dengan simulasi ETAP didapatkan nilai rata-rata *error* 2,07244%.

Kata kunci: Arduino, relai arus lebih, *inverse time*

I. PENDAHULUAN

Sistem proteksi listrik adalah bagian penting dalam infrastruktur listrik yang bertanggung jawab untuk melindungi peralatan dan jaringan listrik dari kerusakan yang diakibatkan oleh gangguan khususnya gangguan arus lebih (*over current*). Arus lebih merupakan sebuah kondisi dimana arus melebihi nilai yang diizinkan atau dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan listrik, bahkan dapat menyebabkan panas dan dapat menyebabkan kebakaran jika tidak ditangani dengan efektif. Relai arus lebih bertugas untuk mendeteksi kelebihan arus kemudian memutuskan aliran listrik ketika terjadi gangguan arus lebih. Salah satu tipe proteksi yang umum digunakan adalah proteksi tipe *Inverse Time*, di mana waktu respons proteksi berbanding terbalik dengan besarnya arus lebih. Dengan kata lain, semakin besar arus lebih, semakin cepat proteksi harus bertindak.

Meskipun relai arus lebih dengan proteksi tipe *Inverse Time* telah banyak digunakan, namun masih terdapat tantangan dalam hal kemudahan pengembangan dan biaya implementasi. Seringkali, perangkat proteksi listrik yang tersedia di pasaran cenderung mahal dan sulit untuk dimodifikasi sesuai kebutuhan pengguna. Selain itu, kebanyakan perangkat tersebut menggunakan teknologi tertutup yang membatasi akses dan modifikasi oleh pengguna. Oleh karena itu, pengembangan sebuah sistem relai arus lebih yang lebih terjangkau, fleksibel, dan dapat diakses oleh pengguna menjadi penting. Penggunaan platform mikrokontroler yang populer dan terbuka seperti Arduino dapat menjadi solusi yang menarik, karena

memungkinkan pengembangan sistem proteksi yang lebih terbuka, murah, dan mudah diadaptasi sesuai kebutuhan spesifik. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sebuah sistem relai arus lebih tipe *Inverse Time* berbasis Arduino, dengan harapan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan sistem proteksi listrik yang lebih efektif dan terjangkau. Relai arus lebih yang akan dirancang memiliki setting arus 2 Ampere dan setting *Time Multiplier Setting* (TMS)-nya 0.05 detik. Dan juga merancang sebuah sistem relai arus lebih yang memiliki akurasi tinggi berdasarkan tipe *inverse time*, dengan nilai persentase *error* sekecil mungkin.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Penelitian atau Proyek yang Sudah Ada Sebelumnya

Terdapat beberapa referensi yang digunakan pada proses perencanaan Rancang Bangun Relai Arus Lebih Tipe *Inverse Time* Berbasis Arduino. Dari penelitian yang dilakukan oleh Aria Kharisma dan Galang Nazharullah dengan judul “Relay Proteksi Arus Lebih Berbasis Mikrokontroler Arduino” pada penelitian tersebut relai proteksi arus lebih dirancang menggunakan sensor arus dari resistor shunt dan Op-Amp dan diuji dengan cara dibandingkan dengan ampere meter. Hasilnya alat dapat bekerja dengan baik dalam memproteksi arus lebih [1]. Dari penelitian yang dilakukan oleh Verdiano Frandhiyawan dkk yang berjudul “Rancang Bangun Relai Arus Lebih Berbasis Monitoring *Internet of Things* (IoT) dan Arduino Sebagai Proteksi Elektronik 1 Fasa” pada penelitian tersebut *overcurrent relay* dioperasikan dengan 3 karakteristik yaitu *standard inverse*, *very inverse* dan *extremely inverse*, yang dapat sebagai acuan dalam penelitian khususnya pada karakteristik *standard inverse* [2]. Dari penelitian yang dilakukan oleh Alfi Syahri dan Andik Bintoro yang berjudul “Monitoring dan Controlling Daya Berbasis Arduino Uno Menggunakan Sensor PZEM-004T” pada penelitian ini menggunakan sensor PZEM-004T yang sama juga digunakan pada penelitian yang dilakukan oleh penulis [3]. Dari penelitian yang dilakukan oleh Ali Abdulsattar Hameed dkk yang berjudul “Design and Implementation a New Real Time Overcurrent Relay Based on Arduino” pada penelitian ini menggunakan Arduino Nano sebagai mikrokontroler sensor arus ACS712 sebagai sensor utama untuk mengukur arus pada rangkaian dan diuji secara *real time* [4]. Dari penelitian yang dilakukan oleh Muhammad Fahreza yang berjudul “Desain Controlling Pengaman Arus Lebih Berbasis Arduino” pada penelitian tersebut menggunakan Modem Modul GSM SIM800A untuk

Submitted: 04/06/2024; Revised: 08/06/2024;

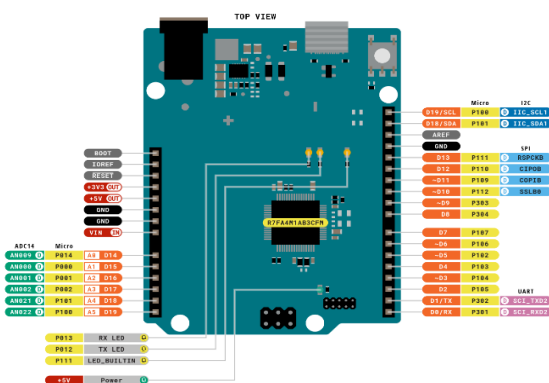
Accepted: 26/06/2024; Online first: 29/06/2024

<https://doi.org/10.46964/poligrid.v5i1.38>

mengirim peringatan sebelumnya terjadi arus lebih dan indikator ketika terjadi arus lebih [5]. Pada beberapa referensi diatas menunjukkan bahwa rata rata penelitian hanya berfokus pada pengendalian untuk memutuskan aliran listrik saja tetapi kurang membahas kaidah proteksinya. Penelitian yang dilakukan penulis akan lebih membahas kaidah proteksinya yaitu tipe *inverse time*.

B. Arduino Uno

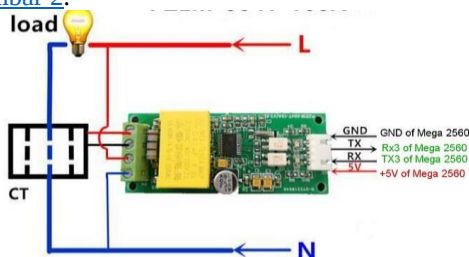
Arduino Uno merupakan papan rangkaian elektronik bersifat *open-source*, papan ini bekerja menggunakan chip mikrokontroler AVR. Papan ini dapat diprogram dengan bantuan bahasa pemrograman Arduino dan IDE (*Integrated Development Environment*). Papan ini dapat mendeteksi kondisi melalui *input* seperti sensor dan melakukan tindakan kontrol terhadap perangkat-perangkat seperti LED, ataupun pada perangkat aktuator. Bentuk fisik dan pin Arduino Uno dapat dilihat pada [Gambar 1](#).



Gambar 1. Board dan pinout Arduino Uno [6]

C. PZEM-004T

PZEM-004T adalah sebuah modul elektronik yang berfungsi untuk mengukur tegangan, arus, daya, frekuensi, energi dan faktor daya. Modul PZEM-004T diproduksi oleh sebuah perusahaan bernama Peacefair [7]. Pada penelitian ini sensor PZEM-004T digunakan khususnya untuk mengukur arus. Dengan kemampuannya untuk mengukur dan memantau berbagai parameter daya listrik dengan akurasi tinggi, PZEM-004T dapat memberikan data yang berharga untuk analisis dan penelitian. Bentuk dan konfigurasi PZEM-004T dapat dilihat pada [Gambar 2](#).



Gambar 2. PZEM-004T [8]

D. Relay

Relay dapat digunakan sebagai saklar untuk mengendalikan *ON/OFF* berbagai peralatan elektronik. Kendali *ON/OFF* switch, ditentukan dari nilai *output* sensor yang digunakan, setelah selesai diproses Mikrokontroler akan

memberikan instruksi kepada *relay* agar melakukan perintah *ON/OFF*. Modul *relay* ialah saklar elektronik yang digerakkan oleh arus listrik. Secara prinsipnya, relay merupakan tuas saklar dengan lilitan kawat pada batang besi (solenoid) di dekatnya, ketika solenoid dialiri arus listrik, tuas akan tertarik karena adanya gaya magnet yang terjadi pada solenoid sehingga kontak saklar akan menutup. Pada saat arus dihentikan, gaya magnet akan hilang, tuas akan kembali keposisi semula dan kontak saklar kembali terbuka. Bentuk fisik dari *relay* dapat dilihat pada [Gambar 3](#).



Gambar 3. Relay [5]

E. Liquid Crystall Display (LCD) I2C 16x2

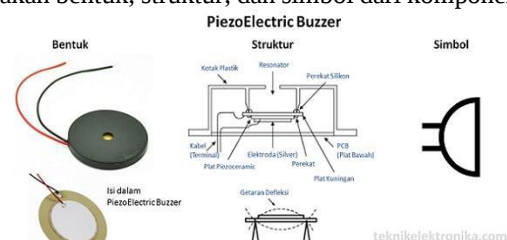
Dinamakan LCD I2C 16x2 karena LCD ini memiliki 16 karakter dengan dua baris. Lcd ini menggunakan koneksi data I2C untuk membuat pengkabelan menjadi lebih ringkas, LCD terhubung ke arduino hanya dengan menggunakan 4 kabel yaitu 2 kabel untuk *power*, satu untuk *clock* dan satu untuk data. LCD digunakan untuk menampilkan besaran nilai arus, tipe persamaan dan waktu trip. [Gambar 4](#). Menunjukkan bentuk dari LCD 16x2 dan I2C.



Gambar 4. LCD 16x2 dan I2C [9]

F. Buzzer

Buzzer adalah sebuah komponen elektronika yang dapat mengubah sinyal listrik menjadi getaran suara. Seperti namanya *Piezoelectric Buzzer* adalah jenis *Buzzer* yang menggunakan efek *Piezoelectric* untuk menghasilkan suara atau bunyinya. Tegangan listrik yang diberikan ke bahan *Piezoelectric* akan menyebabkan gerakan mekanis, gerakan tersebut kemudian diubah menjadi suara atau bunyi yang dapat didengar oleh telinga manusia dengan menggunakan diafragma dan resonator [10]. *piezo buzzer* akan digunakan sebagai indikator saat *overcurrent relay* bekerja memutuskan aliran listrik. [Gambar 5](#). Merupakan bentuk, struktur, dan simbol dari komponen *buzzer*.



Gambar 5. Buzzer [11]

G. Push Button

Push button adalah saklar elektronik yang dioperasikan dengan menekan tombol atau aktuatur mekanis lainnya. Ketika tombol ditekan, kontak *internal* saklar akan terhubung dan memungkinkan arus listrik mengalir. Saat tombol dilepaskan, kontak akan kembali ke posisi semula dan arus akan terputus. *Push button* digunakan untuk mereset *overcurrent* yang telah bekerja sehingga aliran listrik yang sudah tidak mengalami gangguan dapat terhubung kembali. Bentuk fisik dari *push button* dapat dilihat pada [Gambar 6](#).



Gambar 6. *Push button* [11]

H. Perhitungan Waktu Kerja Relai Proteksi

Relai arus lebih dengan karakteristik waktu terbalik (*inverse*) ialah relai ini bekerja dengan waktu operasi berbanding terbalik terhadap besar arus yang terukur oleh relai. Relai ini mempunyai karakteristik kerja yang dipengaruhi waktu dan arus. Semakin besar arus gangguan maka relai akan beroperasi dalam waktu yang semakin cepat, dan juga sebaliknya jika arus gangguan semakin kecil maka waktu tunda operasi relai akan semakin lama. Hubungan antara arus terhadap waktu ditunjukkan oleh persamaan berikut.

$$TMS = \frac{\left(\frac{I}{I_s}\right)^{\alpha} - 1}{\beta} \quad (1)$$

$$t = \beta \frac{TMS}{\left(\frac{I}{I_s}\right)^{\alpha} - 1} \quad (2)$$

Keterangan :

TMS = *Time Multiplier Setting*

I = Arus Gangguan (A)

I_s = Arus Setting (A)

t = Waktu Tripnya Relai (s)

Standard karakteristik *inverse* sesuai IEC 60255, pada [Tabel 1](#), menunjukkan besar karakteristik pada faktor *alpha* dan *beta* [12].

TABEL 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

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Waktu dan Lokasi

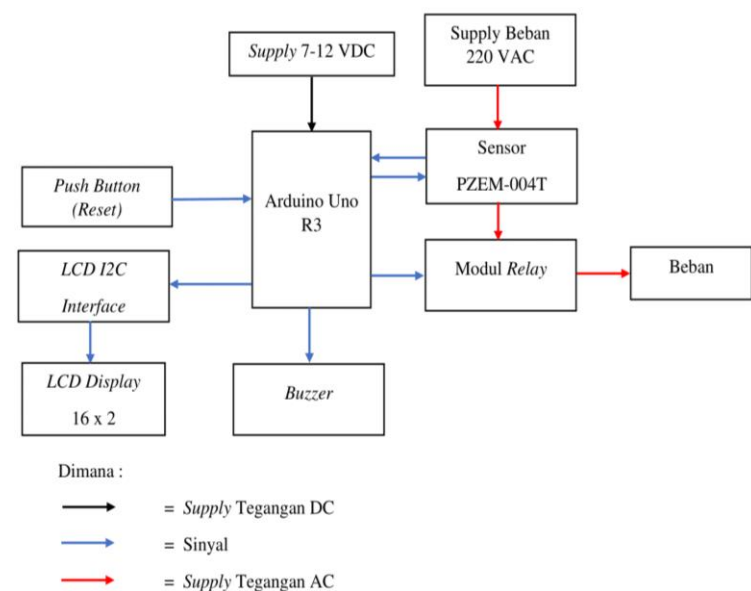
Waktu yang digunakan untuk penelitian ini adalah 4 bulan, yang dilaksanakan mulai bulan Februari 2024 sampai dengan bulan Mei 2024 yang dilakukan di Laboratorium Sistem Proteksi dan Laboratorium Mikroprosesor Teknik Elektro Politeknik Negeri Samarinda.

B. Jenis Data dan Sumber Data

Pada penelitian ini dibagi menjadi tiga tahap yaitu perencanaan, pengerjaan dan pengujian. sumber data yang digunakan pada saat perencanaan dan pengerjaan didapatkan dari jurnal ilmiah, buku, situs web resmi arduino, laporan penelitian terkait, dan juga *datasheet* dari peralatan peralatan yang digunakan serta menggunakan juga *software* seperti ETAP dan Proteus untuk melakukan simulasi dari alat yang akan dikerjakan. Pada saat pengujian data diambil langsung dari hasil pengujian relai arus lebih di laboratorium politeknik negeri samarinda.

C. Gambaran Umum Sistem

[Gambar 7](#), menunjukkan gambaran umum sistem dari relai arus lebih tipe *inverse time* berbasis arduino. Arduino uno mendapatkan sumber tegangan dari adaptor 5 v sedangkan beban mendapatkan sumber AC 220V yang telah melewati modul *relay* yang akan dikendalikan oleh sistem mikroprosesor. Pada arduino terdapat 2 input yaitu PZEM-004T yang merupakan sensor dan push button untuk reset serta memiliki 3 output yaitu *relay*, *buzzer* dan lcd, untuk penjelasan pin input dan output yang digunakan dapat dilihat pada [Tabel 1](#).



Gambar 7. Gambaran umum sistem relai arus lebih tipe *inverse time* berbasis Arduino

Berdasarkan gambaran umum sistem pada [Gambar 7](#), proses pembuatan *Prototype Overcurrent Relay* berbasis Arduino dapat dijelaskan sebagai berikut. Sistem Arduino Uno R3 diaktifkan menggunakan catu daya 7-12 VDC, sedangkan

supply beban 220 VAC digunakan untuk mengaktifkan beban. Tegangan output dari Arduino Uno R3 dihubungkan ke papan PCB yang menyediakan supply tegangan 5 VDC untuk relai dan current sensor PZEM-004T. Saat sensor PZEM-004T mendeteksi arus yang melebihi setting arus yang ditentukan, sensor tersebut akan mengirimkan sinyal ke Arduino Uno R3. Setelah Arduino Uno R3 menerima sinyal dari sensor PZEM-004T, sinyal ini diproses dan dikirim ke relai, yang kemudian memutuskan arus listrik. Adapun push button digunakan untuk melakukan reset pada sistem ketika relai bekerja.

Adapun Tabel 2. menunjukan komponen yang digunakan beserta fungsinya.

TABEL 2.
PIN INPUT DAN OUTPUT YANG DIGUNAKAN

Pin Mode	No. Pin	Nama Pin	Deskripsi
Input	8 (RX) dan 9 (TX)	Sensor	berfungsi mengukur arus pada jaringan yang diamankan kemudian dikirimkan ke Arduino
Input	5	Tombol Reset	berfungsi sebagai tombol reset ketika relai proteksi telah bekerja
Output	6	Relay	Berfungsi untuk memutuskan aliran listrik ketika terjadi gangguan arus lebih yang melebihi batas setting arus yang telah ditentukan
Output	7	Buzzer	Berfungsi sebagai indikator ketika relay bekerja dengan cara menghasilkan suara
Output	SDA dan SCL	LCD	Berfungsi sebagai penampil informasi informasi yang dibutuhkan seperti nilai arus, nilai tegangan, daya dan indikator ketika relay bekerja

D. Peralatan dan Material

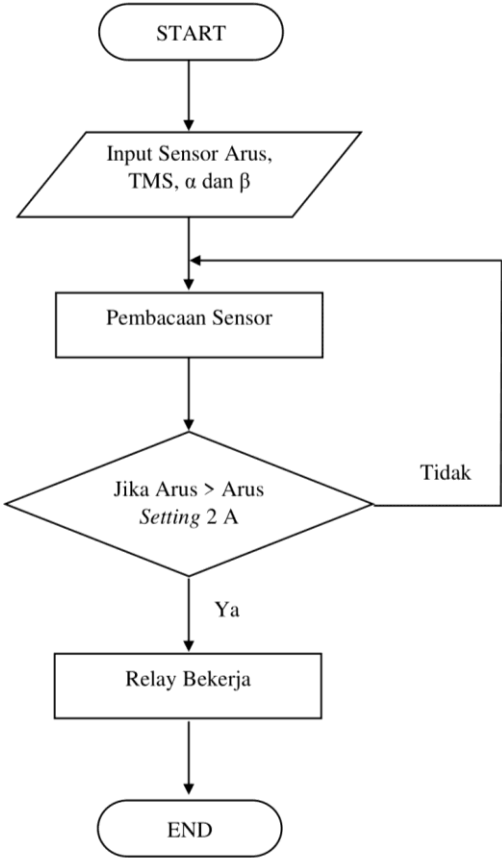
Tabel 3. menunjukan peralatan dan material yang digunakan untuk membuat dan sarana dalam membuat relai proteksi arus lebih.

TABEL 3.
DAFTAR ALAT DAN MATERIAL YANG DIGUNAKAN

Peralatan	Material
Power Supply AC 220	Arduino Uno R3
Ampere Meter	Modul Relay 5V Active LOW
Adaptor 7-12 V	PZEM-004T
Laptop	Push Button
Gerinda	Piezoelectric Buzzer
Bor	Papan PCB

Solder	Akrilik
Power Supply DC 7-25 V	Mur
Variable Reistor	Spacer
	Kabel (Female-Female), (Male-Male), (Female-Male) dan Kabel 1,5 mm
	Banana Plug
	Skun Ring

E. Flowchart Sistem Over Current Relay (OCR)
Pada Gambar 8. menunjukkan Flowchart sistem over current relay

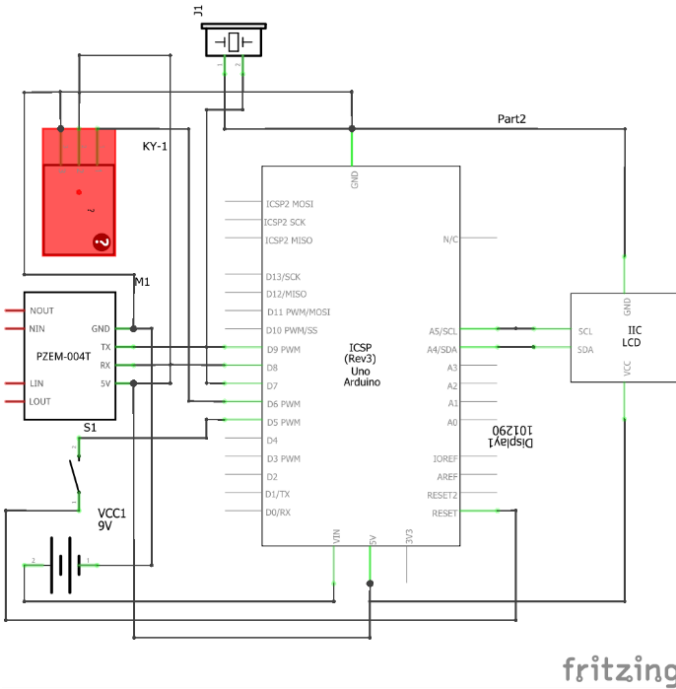


Gambar 8. Flowchart sistem over current relay

Dari flowchart pada Gambar 8. dapat memudahkan proses pemahaman terhadap cara kerja relay yang. Proses dimulai sistem memasukan data untuk kebutuhan perhitungan waktu kerja relay, dilanjutkan dengan sensor melakukan pembacaan arus pada rangkaian. Alat akan menghitung waktu kerja relay dari nilai pembacaan nilai arus dan nilai TMS, α & β. Jika nilai arus yang dibaca oleh sensor melebihi nilai arus setting yaitu 2 Ampere maka proses akan lanjut pada proses berikutnya, relay akan bekerja setelah menunggu waktu yang telah didapat dari perhitungan pada proses 4 dan proses berakhir. Jika arus tak melebihi arus setting terpenuhi maka sistem akan kembali menghitung waktu kerja relay.

F. Perencanaan Over Current Relay (OCR)

Sebelum melakukan perakitan terlebih dahulu melakukan perancangan pada *software* Fritzing, seperti yang ditunjukkan pada [Gambar 9](#). menentukan jalur pemasangan komponen dan menentukan pin pada kaki komponen yang akan dipasang.



Gambar 9. Schematic sistem over current relay

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Akurasi Sensor PZEM-004T

Pada proses pengujian ini menggunakan alat ukur *ampere meter* dan *volt meter* sebagai pembanding nilai arus dan tegangan yang diberikan oleh sensor PZEM-004T. Proses pengujian ini dilakukan sebanyak enam kali dengan arus yang berbeda-beda. [Gambar 10](#), menunjukan hasil pengukuran arus dan tegangan oleh sensor PZEM-004T pada salah satu sampel.



Gambar 10. Hasil pengukuran arus dan tegangan menggunakan PZEM-004T

Setelah itu pada [Gambar 11](#). merupakan pengukuran arus menggunakan *ampere meter digital* dan pengukuran tegangan menggunakan *volt meter digital*.



Gambar 11. Hasil pengukuran arus dengan *ampere meter digital* dan hasil pengukuran tegangan dengan *volt meter digital*

Hasil perbandingan pengukuran menggunakan sensor dengan menggunakan alat ukur dapat dilihat pada [Tabel 4](#).

TABEL 4.
PERBANDINGAN PENGUKURAN SENSOR DENGAN ALAT UKUR

No.	Pengukuran Sensor		Pengukuran Alat Ukur		Error (%)	
	I	V	I	V	I	V
1	0,46	68,00	0,466	68,2	1.304	0.294
2	0,51	80,80	0,509	80,9	-0.196	0.123
3	0,55	93,20	0,548	93,3	-0.363	0.107
4	0,60	110,70	0,599	110,6	-0.167	-0.090
5	0,65	129,80	0,653	129,7	0.461	-0.077
6	0,71	152,60	0,711	152,1	0.140	-0.327
Rata-Rata Error					0,196	0,005

Dari hasil pengukuran nilai arus dan tegangan pada [Tabel 4](#). didapat hasil pengukuran sensor PZEM-004T tidak jauh berbeda dengan yang didapat pada alat ukur sehingga memiliki nilai rata-rata *error* yang sangat kecil.

B. Pengujian Relay

Pengujian yang dilakukan adalah dengan memberikan sinyal atau data ke *relay*, untuk dilihat apakah *relay* dapat bekerja seperti pada [Gambar 12](#)., atau tidak seperti pada [Gambar 13](#)., hasil respon *relay* ketika diberi sinyal *LOW* dan *HIGH* ditunjukkan pada [Tabel 5](#).



Gambar 12. Relay bekerja



Gambar 13. Relay tidak bekerja

TABEL 5.
HASIL RESPON RELAI

No.	Sinyal Perintah	LED Merah	Terminal NC	Terminal NO
1	LOW	Hidup	Terbuka	Tertutup
2	HIGH	Mati	Tertutup	Terbuka

Dari hasil respon *relay* yang didapat pada Tabel 5. *relay* bekerja sesuai dengan informasi yang diberikan modul *relay* yakni akan aktif apabila diberi sinyal *LOW*, dimana terminal *normally closed* akan terbuka dan terminal *normally open* (NO) akan tertutup.

C. Pengujian Akurasi Relai Arus Lebih

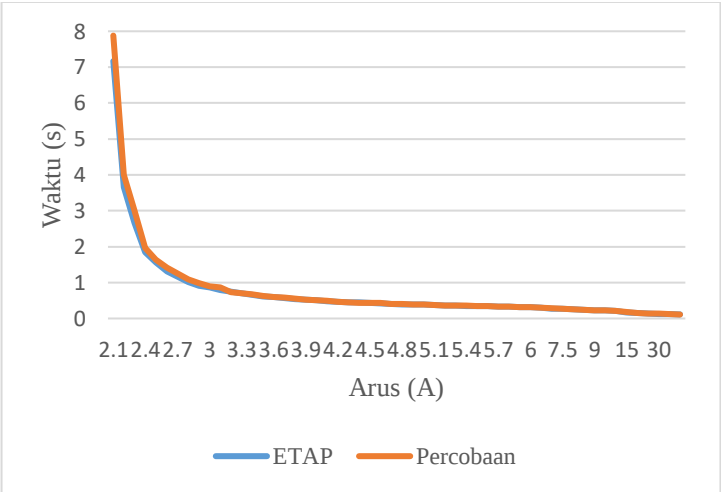
Sebelum dilakukan pengujian pada alat terlebih dahulu dibuat simulasi relai arus lebih dengan tipe inverse time menggunakan software etap untuk mengetahui bentuk kurva dan besaran besaran pada tipe inverse time. Pengujian akurasi relai arus lebih ini berdasarkan perbandingan antara hasil simulasi pada software etap yang dibandingkan langsung dengan hasil pengujian yang dilakukan. Pengujian ini dilakukan sebanyak 55 kali pada level arus yang berbeda beda, hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 6.

TABEL 6.
PERBANDINGAN ANTARA HASIL SIMULASI ETAP DAN HASIL PENGUJIAN

Nilai Arus (A)	Waktu Percobaan (s)	Waktu Pada ETAP (s)	Error (%)
2	702,29	700	-0,32608
2,1	7,88	7,17	-9,01015
2,2	4	3,66	-8,5
2,3	3,15	3	-11
2,4	1,97	1,85	-6,09137
2,5	1,64	1,56	-4,87805
2,6	1,42	1,31	-7,74648
2,7	1,25	1,17	-6,4
2,8	1,09	1,01	-7,33945
2,9	0,99	0,915	-7,57576
3	0,89	0,871	-2,13483
3,1	0,86	0,788	-8,37209
3,2	0,73	0,741	1,506849
3,3	0,7	0,7	0
3,4	0,67	0,654	-2,38806
3,5	0,63	0,615	-2,38095
3,6	0,6	0,6	0
3,7	0,59	0,57	-3,38983
3,8	0,56	0,543	-3,03571
3,9	0,53	0,523	-1,32075

4	0,51	0,504	-1,17647
4,1	0,49	0,485	-1,02041
4,2	0,47	0,47	0
4,3	0,45	0,456	1,333333
4,4	0,44	0,442	0,454545
4,5	0,44	0,431	-2,04545
4,6	0,43	0,418	-2,7907
4,7	0,41	0,407	-0,73171
4,8	0,4	0,395	-1,25
4,9	0,39	0,39	0
5	0,39	0,383	-1,79487
5,1	0,37	0,371	0,27027
5,2	0,36	0,365	1,388889
5,3	0,36	0,355	-1,38889
5,4	0,36	0,351	-2,5
5,5	0,34	0,342	0,588235
5,6	0,34	0,34	0
5,7	0,33	0,332	0,606061
5,8	0,33	0,324	-1,81818
5,9	0,32	0,322	0,625
6	0,32	0,314	-1,875
6,5	0,3	0,298	-0,66667
7	0,28	0,277	-1,07143
7,5	0,27	0,264	-2,22222
8	0,25	0,25	0
8,5	0,24	0,239	-0,41667
9	0,23	0,232	0,869565
9,5	0,22	0,22	0
10	0,21	0,214	1,904762
15	0,18	0,171	-5
20	0,15	0,149	-0,66667
25	0,14	0,136	-2,85714
30	0,13	0,126	-3,07692
35	0,12	0,12	0
40	0,11	0,113	2,727273
Rata- Rata Error (%)			-2,07244

Gambar 14. menunjukkan grafik perbandingan dari simulasi yang dilakukan pada ETAP dengan data hasil percobaan. Dari grafik dapat dilihat bahwa perbedaan dari simulasi dan dari data yang didapat pada Tabel 6. data hasil percobaan waktu kerja *relay* sangatlah kecil dengan nilai *error* rata-rata hanya 2,07244%. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa alat yang telah dirancang dapat bekerja dengan baik.



Gambar 14. Grafik perbandingan hasil percobaan dengan hasil simulasi ETAP

Dapat dilihat pada Gambar 14, semakin besar arus maka semakin cepat waktu kerja *relay*. Serta perbedaan antara waktu kerja *relay* yang didapatkan dari simulasi *software* ETAP

dengan waktu kerja *relay* dari hasil percobaan sangatlah kecil. Kemudian dapat dilihat juga bahwa semakin besar arus yang diberikan maka akan semakin cepat waktu *relay* untuk bekerja.

V. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian tentang rancang bangun Relai Arus Lebih Tipe *Inverse Time* Berbasis Arduino Di Laboratorium Sistem Proteksi dan Laboratorium Sistem Mikroprosesor, dapat diambil kesimpulan:

1. Berdasarkan hasil pengujian alat ini bekerja dengan baik dalam memproteksi arus lebih dan karakteristik waktu kerja *inverse time* terpenuhi berdasarkan simulasi pada *software* ETAP.
2. Grafik pada [Gambar 14](#), menunjukkan nilai arus (A) pada sumbu horizontal (x). Grafik menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai arus maka waktu pengoperasian rele semakin cepat, seperti yang ditunjukkan oleh dua hasil pengujian (ETAP dan percobaan).
3. Waktu kerja relai ditampilkan pada sumbu vertikal (y). Grafik tersebut menunjukkan bahwa untuk nilai arus yang sama, waktu kerja relai yang ditentukan dari hasil percobaan lebih lama dibandingkan dengan hasil simulasi ETAP.
4. Waktu relai dari simulasi ETAP menunjukkan garis yang lebih rendah dan lebih konsisten, sedangkan hasil percobaan menunjukkan tren serupa, meskipun dengan garis yang sedikit lebih tinggi.
5. Alat ini memiliki akurasi yang baik, dan menghasilkan rata-rata *error* yang cukup rendah yaitu 2,07244%.
6. Hasil pengujian gangguan beban lebih menunjukkan bahwa semakin besar arus gangguan mengakibatkan semakin cepat waktu trip, maka prototipe OCR dengan karakteristik inverse pada penelitian ini dinilai responsif.

REFERENSI

- [1] G. Nazhrullah dan A. Kharisma, "Relay proteksi arus lebih berbasis mikrokontroler Arduino," *PoliGrid*, vol. 4, no. 1, Nov. 2023, doi: 10.46964/poligrid.v4i1.9.
- [2] V. Frandhiyawan, I. Winarno, dan D. Rahmatullah, "Rancang bangun rele arus lebih berbasis monitoring internet of things (IoT) dan Arduino sebagai proteksi elektronik 1 fasa," *SNST*, vol. 1, no. 1, pp. 1–6, 2019, doi: <http://dx.doi.org/10.36499/psnst.v1i1.2894>.
- [3] A. Syhari dan A. Bintoro, "Monitoring dan controlling daya berbasis Arduino Uno menggunakan sensor PZEM-004T," *JEE*, vol. 12, no. 1, p. 43, Apr. 2023, doi: 10.29103/jee.v12i1.9836.
- [4] A. A. Hameed, A. J. Sultan, dan M. F. Booneya, "Design dan implementation a new real time overcurrent relay based on Arduino Mega," *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, vol. 881, no. 1, p. 012142, Jul. 2020, doi: 10.1088/1757-899X/881/1/012142.
- [5] M. Fahreza, "Desain controlling pengaman arus lebih berbasis Arduino," *J.mesil*, vol. 2, no. 1, pp. 47–53, Jun. 2021, doi: 10.53695/jm.v2i1.248.
- [6] E. A. Prastyo, "Pinout Arduino UNO R4 Minima," *Arduino Indonesia | Tutorial Lengkap Arduino Bahasa Indonesia*, Jan. 30, 2024. [Online] <https://www.arduinoindonesia.id/2023/07/pinout-arduino-uno-r4-minima.html> (accessed Apr. 22, 2024).
- [7] R. Riza Ibrahim dan B. Yulianti, "Rancang bangun monitoring pemakaian arus listrik PLN berbasis IoT," *Jurnal Teknologi Industri*, vol. 11, no. 2, pp. 43–51, 2022, doi: <https://doi.org/10.35968/jti.v11i2.953.g926>.
- [8] "New PZEM004T v3.00 and power flow direction," *Arduino Forum*, Jun. 17, 2019. [Online]

- [9] <https://forum.arduino.cc/t/new-pzem004t-v3-00-and-power-flow-direction/597264/3> (accessed Apr. 22, 2024).
"LCD 16x2 1602 alphanumeric display and IIC/I2C serial interface adapte," *Robotbanao.com*, 2024. [Online] <https://www.robotbanao.com/products/arduino-uno-r3-with-jumper-wires-female-to-female-breadboard-jumper-wires-ff-40> (accessed Apr. 22, 2024).
- [10] A. Rohmanu dan D. Widiyanto, "Sistem sensor jarak aman pada mobil berbasis mikrokontroler Arduino ATMEGA328," *Jurnal Informatika SIMANTIK*, vol. 3, no. 1, pp. 7–14, Mar. 2018.
- [11] "Push to on - circular - momentary switch - non locking - 250V / 3A," *indiamart.com*, 2024. [Online] <https://www.indiamart.com/proddetail/push-to-on-circular-momentary-switch-non-locking-250v-3a-19701455091.html> (accessed Jun. 02, 2024).
- [12] A. K. Amrulloh, "Rancang bangun prototipe relai arus lebih dengan karakteristik inverse berbasis Arduino pada Laboratorium Sistem Daya Elektrik," Skripsi, Teknik Elektro Konsentrasi Teknik Energi Elektrik, Universitas Brawijaya, Malang, 2018.

Unjuk Kerja LoRa Untuk Media Komunikasi *Smart Farming* di Area Persawahan Desa Manunggal Jaya Kabupaten Kutai Kartanegara

Faizal Rahmansyah¹, Prihadi Murdiyat², Rusda³
^{1,2,3} Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Samarinda
 pmurdiyat@polnes.ac.id

Abstrak- *Smart farming*, sebagai pendekatan modern dalam sektor pertanian, menawarkan solusi inovatif untuk meningkatkan produktivitas dan efisiensi. Untuk peningkatan produktivitas sektor pertanian di Desa Manunggal Jaya, Kutai Kartanegara, maka diperlukan solusi yang inovatif dan efisien, salah satunya pemanfaatan LoRa (*Long Range*). Teknologi LoRa, yang memiliki karakteristik sesuai untuk area pertanian, dapat menjadi media komunikasi yang andal untuk *smart farming*. Artikel ini membahas unjuk kerja LoRa yang beroperasi pada frekuensi kerja 920 MHz sebagai kandidat media komunikasi *smart farming*. Pengujian unjuk kerja dilakukan dengan mengukur RSSI dan SNR yang dibaca oleh LoRa receiver ketika mendapat data yang dikirim oleh LoRa sender. Pada pengujian jarak 9 hingga 128 meter, diperoleh hasil pengukuran RSSI antara -67,80 hingga -91,70 dBm dan SNR antara 9,45 hingga 9,63 dB. Hasil ini menunjukkan bahwa LoRa dapat memberikan kinerja komunikasi yang baik, serta memiliki jangkauan yang cukup luas dan stabil, meskipun penurunan nilai RSSI dan SNR pada jarak yang lebih jauh perlu diperhatikan, sehingga sesuai untuk diterapkan di area pertanian Desa Manunggal Jaya.

Kata kunci: unjuk kerja, LoRa, area pertanian, *smart farming*, RSSI dan SNR.

I. PENDAHULUAN

Desa Manunggal Jaya, yang terletak di Kabupaten Kutai Kartanegara, 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. Kurangnya 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.

Dalam upaya meningkatkan produktivitas dan efisiensi sektor pertanian di Desa Manunggal Jaya, modernisasi sistem pertanian melalui penerapan teknologi *smart farming* sangatlah penting karena *smart farming* atau pertanian pintar telah muncul sebagai solusi inovatif untuk meningkatkan produktivitas dan efisiensi di sektor ini. Dengan memanfaatkan teknologi modern, *smart farming* memungkinkan pemantauan dan pengelolaan yang lebih baik terhadap lahan pertanian, sumber daya air, pupuk, dan kondisi tanaman.

Salah satu komponen penting dalam implementasi *smart farming* adalah ketersediaan jaringan komunikasi yang andal

dan hemat untuk menghubungkan perangkat sensor dan aktuator di lapangan. Untuk area pertaniannya yang cukup luas, salah satu tantangan yang dihadapi dalam implementasi *smart farming* di Desa Manunggal Jaya adalah keterbatasan infrastruktur jaringan. Cakupan infrastruktur komunikasi public (*base transceiver station/BTS*) tidak mencakup seluruh area pertanian, sementara teknologi nirkabel seperti WiFi memiliki jangkauan yang terbatas dan konsumsi daya yang tinggi, sehingga kurang cocok untuk digunakan di area persawahan yang luas dan terpencil. Maka, teknologi LoRa (*Long Range*) dapat hadir sebagai solusi potensial yang menjanjikan untuk mengatasi tantangan tersebut.

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 menguji kemampuan kerja LoRa sebagai media komunikasi dalam sistem *smart farming* di area persawahan Desa Manunggal Jaya. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan wawasan tentang potensi dan keterbatasan teknologi LoRa dalam mendukung implementasi *smart farming* yang lebih luas di wilayah lain dengan kondisi serupa, serta mendukung peningkatan produktivitas dan keberlanjutan sektor pertanian.

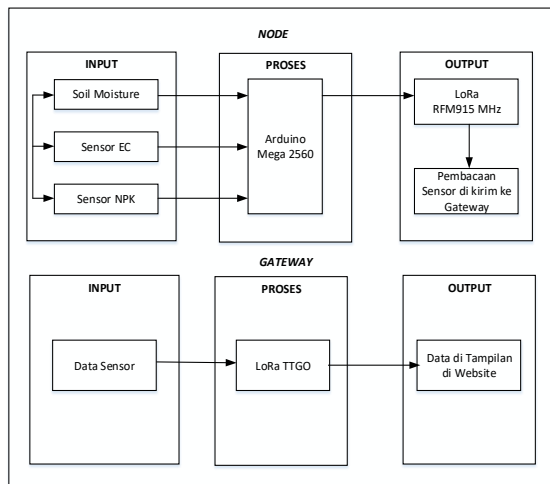
II. TINJAUAN PUSTAKA

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.al* 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 al.* 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 pendekan 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

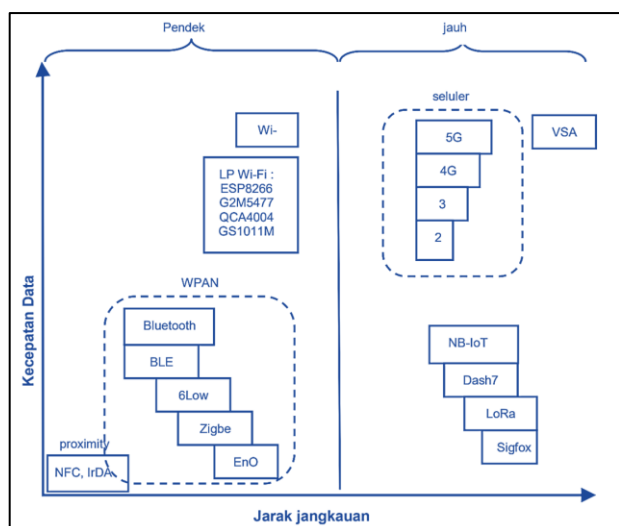
jangkauan. Namun, jangkauan LoRa sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan termasuk *noise* dan penghalang (*obstacle*) di lokasi [4].

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 *bandwidth* yang digunakan, maka ukuran data yang dapat dikirimkan akan semakin besar, hal ini berpengaruh terhadap *delay* yang dihasilkan, sehingga data akan lebih cepat sampai apabila nilai *bandwidth* yang digunakan besar [5].

Spreading 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, terutama 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 1, 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 performa LoRa di Indonesia. Terdapat penelitian oleh Asma Yanziah *et al.*, 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 stabil 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 indicator* (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]. Untuk

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.

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 (<i>receiver mode</i>) 120 mA (<i>transmitter mode</i>), 200 nA (<i>sleep</i>)
Kecepatan Transfer Data	1.2 - 300 Kbps
Modulasi	Lora, FSK, GFSK & OOK
Proteksi	Dilengkapi Built-in ESD Protection
Range RSSI	127 dB <i>Dynamic Range</i> 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.

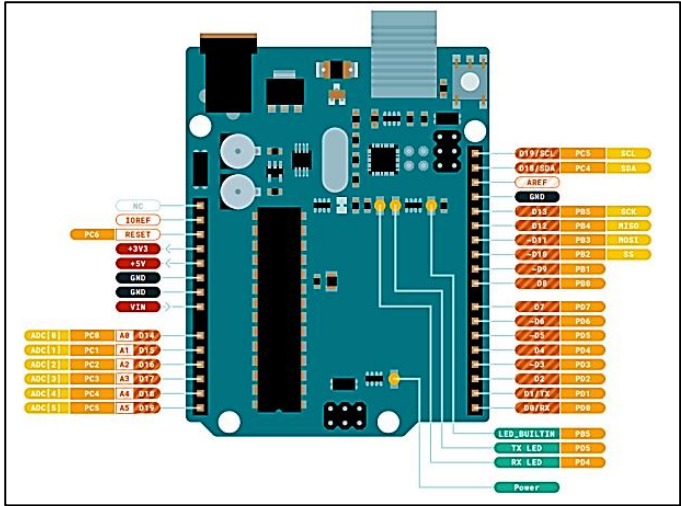
TABEL 2
LOW POWER WIDE AREA NETWORK (LPWAN)

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/ Subscriber Station: 100 mW (20 dBm)	250 kHz	Downlink 1% Uplink 1 %
2400 – 2483,5 MHz	1 Watt (30 dBm)	1 MHz	Tidak diatur

Berdasar 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 2 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. Sensor Kelembapan Tanah

Sensor kelembapan ini dapat membaca tingkat kelembapan tanah di sekitarnya [12]. 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 3. Sensor kelembapan tanah [14]

Konstruksi dari sensor kelembapan tanah ini seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3 menunjukkan sensor kelembapan tanah. 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.

H. 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.



Gambar 4. Bentuk modul ESP32 [15]



Gambar 5. 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 seperti pada [Gambar 6](#), di mana daerah tersebut memiliki luas lahan yaitu 389,477.77 m² dan area lahan yang digunakan untuk dilakukannya pengambilan data memiliki luas lahan sebesar 10,978.53 m².



Gambar 6. Lokasi pertanian Desa Manunggal Jaya, Tenggarong Seberang

TABEL 4
SPESIFIKASI MODUL ESP32 [15]

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)

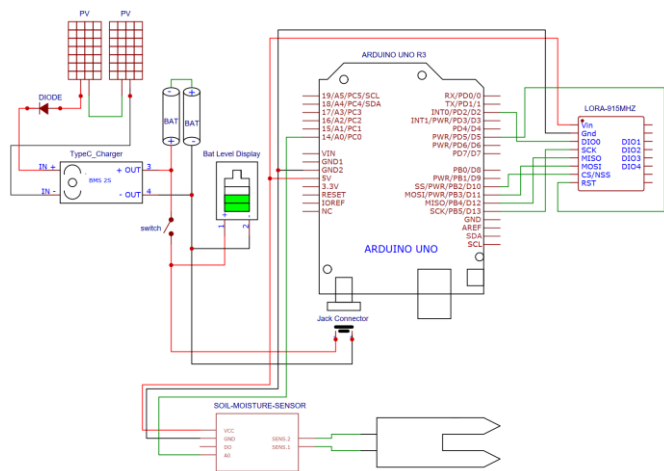
III. METODE PENELITIAN

A. Gambaran Umum Sistem

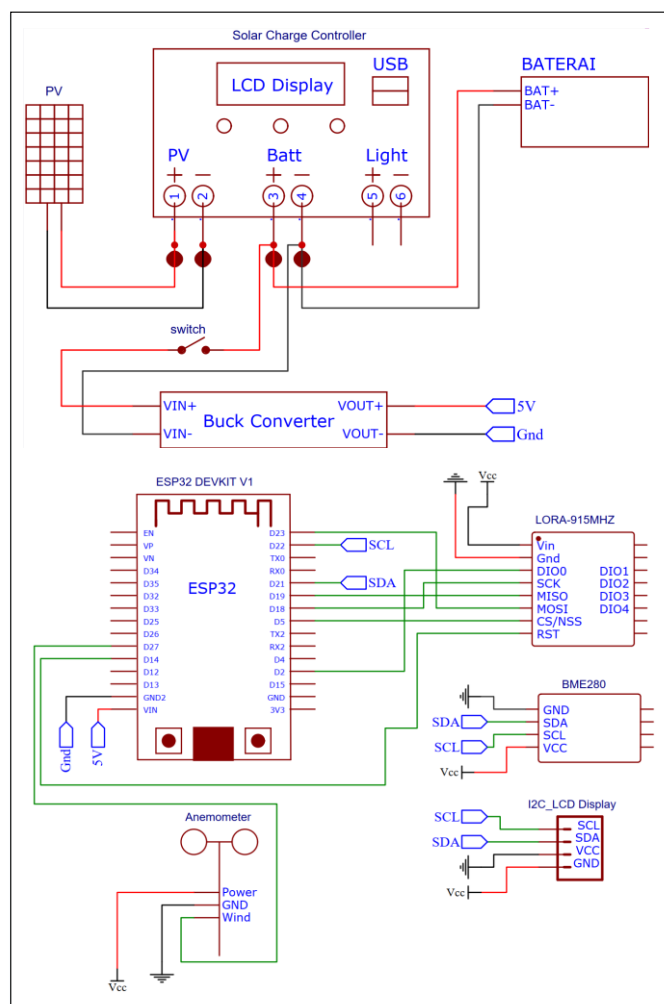
Pada penelitian ini, diagram blok rangkaian yang digunakan untuk melakukan pengujian kemampuan LoRa ditunjukkan dalam [Gambar 5](#). Terdapat modul LoRa – sender yang berfungsi sebagai *data sender* atau pengirim data berupa pengukuran sensor kelembapan tanah. Kemudian data tersebut, akan diterima oleh modul LoRa – receiver. Oleh *transmitter* LoRa pada unit *sender*, paket data yang diterima mengalami proses modulasi dan akan dipancarkan melalui antena *sender*. Ketika data diterima oleh unit *receiver*, parameter RSSI, SNR, dan PL akan dihitung oleh program dalam Arduino Uno dan ditampilkan pada serial monitor. Perangkat yang diperlukan untuk melakukan pengujian adalah modul LoRa (*sender* dan *receiver*), Arduino Uno, baterai, dan sensor kelembapan tanah.

C. Rangkaian LoRa Sender dan Receiver

Untuk keperluan pengujian, dibuatlah rangkaian LoRa *sender* dan *receiver* yang rangkaian lengkapnya berturut-turut ditunjukkan oleh [Gambar 7](#) dan [Gambar 8](#). Pada implementasi rangkaian komunikasi *smart farming*, Rangkaian LoRa *sender* menjadi *sensor node/end node*, sementara rangkaian LoRa *receiver* menjadi *gateway/base station*. Keduanya sudah dilengkapi dengan perangkat lain seperti panel dan sel surya, *solar charge controller*, serta baterai.



Gambar 7. Rangkaian LoRa sender



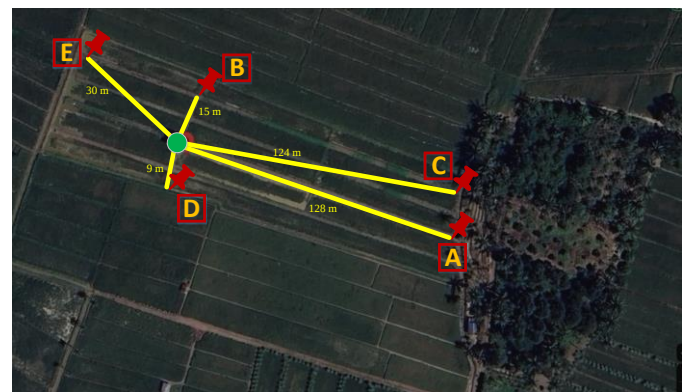
Gambar 8. Rangkaian LoRa receiver

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebelum dilakukan pengujian, ditentukan lima tempat di mana LoRa sender akan diletakkan dan satu tempat untuk penempatan LoRa receiver, posisi pengujian seperti yang ditunjukkan pada [Gambar 9](#). Penentuan posisi tersebut

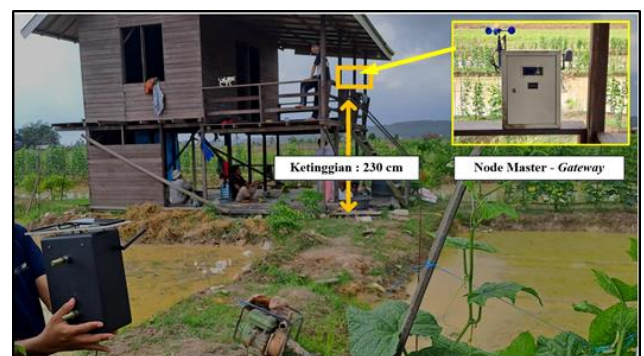
didasarkan pada beberapa faktor utama, seperti distribusi areal pertanian menjadi pertimbangan utama untuk memastikan cakupan area yang luas dan beragam pada area persawahan Desa Manunggal Jaya. Posisi ditandai dengan huruf A, B, C, D, dan E yang dipilih agar dapat mengukur performa LoRa dalam berbagai kondisi medan yang mungkin dihadapi dalam area pertanian.

Jarak yang divariasikan antara 9 meter hingga 128 meter dari receiver digunakan untuk mengevaluasi jangkauan efektif dan kualitas sinyal LoRa pada jarak yang berbeda – beda. Hal ini penting untuk mengetahui sejauh mana teknologi LoRa dapat diandalkan dalam komunikasi data di area persawahan. Beberapa posisi sender dipilih dengan mempertimbangan adanya potensi hambatan fisik, seperti pepohonan atau bangunan, untuk menilai pengaruhnya terhadap kualitas sinyal. Lokasi receiver diletakkan pada sebuah rumah ladang (ditandai dengan lingkaran hijau pada [Gambar 9](#)), yang juga berfungsi sebagai pusat kendali dan pemantauan.



Gambar 9. Lokasi LoRa sender dan receiver

Lebih rinci, peletakan LoRa receiver di rumah ladang ditunjukkan pada [Gambar 10](#). Ketinggian LoRa sender dari atas tanah, termasuk antenanya adalah sekitar 230 cm.



Gambar 10. Penempatan LoRa receiver di rumah ladang

Lebih rinci, peletakan LoRa receiver di rumah ladang ditunjukkan pada [Gambar 10](#), dengan ketinggian dari atas tanah sekitar 230 cm. Sementara itu, LoRa sender, yang mempunyai ukuran box lebih kecil dibawa ke titik A hingga E, dan ditempatkan pada ketinggian 135 cm seperti yang ditampilkan pada [Gambar 11](#).



Gambar 11. Penempatan LoRa sender di lokasi A

Pada setiap lokasi LoRa sender, pengukuran dilakukan sebanyak sepuluh kali. Selanjutnya, rata-rata dari sepuluh hasil pengukuran tersebut dihitung. Hasil pengukuran RSSI dan SNR ditunjukkan pada Tabel 5. Pengukuran dilakukan pada lima lokasi berbeda dengan jarak bervariasi antara 9 hingga 128 meter.

Pengukuran RSSI (*Received Signal Strength Indikator*) dan SNR (*Signal-to-Noise Ratio*) dilakukan karena kedua parameter ini merupakan suatu indikator utama dalam penilaian kualitas jaringan nirkabel seperti pada LoRa. Pengukuran RSSI akan memberikan informasi tentang kekuatan dari sinyal yang diterima, hal ini penting untuk mengetahui sejauh mana sinyal dapat dijangkau dan tetap dapat diterima oleh receiver. Artinya, semakin tinggi nilai RSSI maka semakin kuat sinyal yang diterima, yang biasanya menunjukkan konektivitas yang lebih baik.

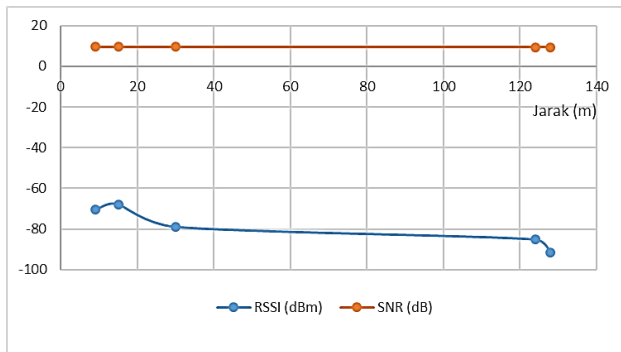
Di sisi lain, SNR akan memberikan informasi tentang seberapa jelas sinyal di atas tingkat kebisingan (*noise*) dari komunikasi tersebut. SNR yang tinggi menunjukkan bahwa sinyal yang diterima lebih jelas dan dapat dideteksi di atas kebisingan, penting untuk memastikan data yang ditransmisikan dapat diterima dengan benar dan diinterpretasikan dengan benar oleh receiver.

TABEL 5
DATA HASIL PENGUKURAN PENERIMAAN SINYAL LORA
PADA FREKUENSI 920 MHz

No	Lokasi Pengujian	Jarak Node Master dan Node Sensor	RSSI dBm	SNR dB	Hasil Uji Rata – rata	
					RSSI [dBm]	SNR [dB]
1	A	128 meter	-99	9,00	-91,70	9,45
			-94	9,00		
			-96	9,50		
			-90	9,25		
			-90	9,00		
			-91	9,00		
			-91	9,25		
			-89	10,50		
			-89	10,50		
			-88	9,50		
2	B	15 meter	-67	9,50	-67,80	9,68
			-68	9,75		
			-70	9,75		
			-64	9,25		
			-69	9,50		
			-66	9,50		
			-68	9,50		
			-70	10,25		
			-67	9,50		
			-67	9,50		

3	C	124 meter	-69	9,75	-85,10	9,45
			-67	10,00		
			-83	9,75		
			-84	9,75		
			-81	9,50		
			-82	9,50		
			-83	9,25		
			-83	9,50		
			-87	9,50		
			-90	9,25		
4	D	9 meter	-88	9,25	-70,50	9,60
			-90	9,25		
			-75	10,00		
			-70	9,75		
			-70	9,50		
			-69	9,50		
			-70	9,25		
			-70	9,50		
			-70	9,75		
			-71	9,50		
5	E	30 meter	-70	9,50	-78,90	9,63
			-77	9,50		
			-78	10,25		
			-78	9,25		
			-80	9,25		
			-79	9,25		
			-79	9,50		
			-81	9,75		
			-82	10,00		
			-78	9,50		

Jika nilai RSSI rata-rata dan SNR rata-rata dibandingkan dengan jarak antara Node Master / LoRa receiver dengan Node Sensor / LoRa sender maka dapat diperoleh grafik yang ditampilkan pada Gambar 12. Tampak bahwa semakin jauh jarak antara sender dan receiver, nilai RSSI semakin berkurang. Tetapi dengan perubahan jarak yang signifikan, penurunan RSSI tidak berbanding lurus. Bahkan, karena nilai RSSI terkecil sekalipun (-91,70 dBm) masih berada di atas nilai sensitifitas minimum modul LoRa (-139 dBm), dapat diperkirakan bahwa jarak yang dapat ditempuh LoRa di area pertanian tersebut dapat mencapai belasan kilometer. Hal ini berbeda dengan apa yang diperoleh dari pengukuran kemampuan LoRa dalam kampus [2], di mana untuk tinggi antenna LoRa receiver mencapai 6 m di atas tanah saja, dengan jarak LoRa sender sejauh 132 m, sudah diperoleh RSSI sebesar -117 dBm. Tingginya nilai RSSI di lahan pertanian dibanding area kampus karena lahan pertanian merupakan area terbuka, sehingga komunikasi antara loRa sender dan receiver terjadi pada kondisi *line of sight* (LoS) yang merupakan kondisi ideal untuk komunikasi radio pada frekuensi 920 Mhz. Sementara di area kampus Politeknik Negeri Samarinda terdapat banyak gedung tinggi dan dataran tinggi.



Gambar 12. Grafik perbandingan RSSI dan SNR rata-rata terhadap jarak antara LoRa receiver dengan LoRa sender.

Nilai SNR di lahan pertanian Desa Manunggal Jaya cukup baik dan cenderung sama, di mana nilai tertinggi mencapai 9,68 dB pada jarak 15 meter dan terendah sebesar 9,45 dB pada jarak 128 meter. Hal ini wajar karena di lahan pertanian hampir tidak terdapat sumber *noise*. Jika dibandingkan dengan pengujian kemampuan LoRa di kampus [2], adanya sumber *noise* seperti: AC, komputer, monitor, *mobile phone*, *access point* WiFi menyebabkan nilai SNR mencapai tertinggi sebesar 8,58 dB pada jarak 30 meter dan -0,25 dB pada jarak 132 meter.

V. KESIMPULAN

Berdasar data yang diperoleh dari hasil pengujian di area pertanian Desa Manunggal Jaya dan analisisnya, dapat disimpulkan bahwa penurunan RSSI tidak signifikan dibanding peningkatan jarak antara LoRa sender dan LoRa receiver. Nilai RSSI terendah (-91 dBm) yang diperoleh pada jarak 128 meter masih terpaut jauh dari sensitifitas modul LoRa yang digunakan, sehingga dapat diestimasi bahwa jarak yang dijangkau oleh LoRa pada lahan pertanian tersebut masih dapat lebih jauh. Selain itu, nilai SNR relatif tetap pada jarak terdekat sebesar 9 meter dan terjauh sebesar 128 meter, yang menandakan bahwa di lahan pertanian hampir tidak ada sumber *noise*.

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," *2020 International Conference on Omni-layer Intelligent Systems (COINS)*, Barcelona, Spain, 2020, pp. 1-6, doi: 10.1109/COINS49042.2020.9191387.
- [4] A. R. Batong, P. Murdiyat, dan A. H. Kurniawan, "Analisis kelayakan LoRa untuk jaringan komunikasi sistem monitoring listrik Di Politeknik Negeri Samarinda," *PoliGrid*, vol. 1, no. 2, p. 55, Dec. 2020, doi: 10.46964/poligrid.v1i2.602.v
- [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 Technology 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," *Dinamika Rekayasa*, vol. 15, no. 1, pp. 47-56, Apr. 2019, doi: 10.20884/1.dr.2019.15.1.239.
- [8] A. Yanziah, S. Soim, dan M. M. Rose, "Analisis jarak jangkauan LoRa dengan parameter RSSI dan packet loss pada area urban," *Jurnal Teknologi Technoscience*, vol. 13, no. 1, p. Agustus 2020.
- [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, pp. 895-899, Desember 2023, doi: <https://doi.org/10.14710/transient.v2i4.895-899>.
- [10] *Semtech Datasheet - LoRa SX1276/77/78/79*, Semtech Corporation, 2015.
- [11] E. D. Widiyanto, A. A. Faizal, D. Eridani, R. D. O. Augustinus, dan M. S. Pakpahan, "Simple LoRa Protocol: Protokol komunikasi LoRa untuk sistem pemantauan multisensor," *TELKA*, vol. 5, no. 2, pp. 83-92, Nov. 2019, doi: 10.15575/telka.v5n2.83-92.
- [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] *Moisture Sensor (SKU:SEN0114)*, DFRobot, 2017.
- [15] *ESP32 Series Datasheet*, Espressif Systems, 2023.