



Peningkatan Akurasi Perhitungan IEEE C37.114 Double Ended Dengan Metode Selective Mode

Nidya Ayu Gusti Anggreani ^{1*}, Hamdani ², Reza Juliangga ³

¹⁻³ Prodi Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Pembangunan Panca Budi, Medan, Sumatera Utara, Indonesia

*Penulis Korespondensi: nidyaayu0204@gmail.com

Abstract. Rapid and precise handling in determining fault locations is essential to accelerate post-fault recovery and minimize economic losses caused by power outages. Several methods employed to identify fault locations include Single Ended and Double Ended analysis. This paper discusses the Selective Mode Double Ended Fault Locator Method, an enhancement of the IEEE C37.114 Double Ended method. This approach involves selecting maximum fault data values for Near Side (NS) and Far Side (FS) calculations, taking into account the differential or angle difference of the sequence between the two sides. The Double Ended calculation results from the total sample values are used to determine the mode, which serves as the final output of this Fault Locator method. This method is designed to identify faults and their locations with high accuracy and speed. Based on the research findings, the Selective Mode Double Ended (SMDE) method provides more accurate fault locator analysis compared to the Single Ended and Double Ended methods. The accuracy achieved with the Single Ended method is 90.9%, with the Double Ended method reaching 94.9%, and with the Selective Mode Double Ended (SMDE) method achieving 99.9%.

Keywords: Accelerate; Double Ended; Fault Locator; Mode; Selective

Abstrak. Penanganan yang cepat dan akurat dalam menentukan lokasi gangguan ini sangat penting untuk mempercepat *recovery* pasca-gangguan, serta untuk meminimalkan kerugian ekonomi yang diakibatkan oleh pemadaman listrik. Beberapa metode yang digunakan untuk menentukan lokasi gangguan adalah analisis *Single Ended* dan *Double Ended*. Jurnal ini menjelaskan tentang Metode *Selective Mode Double Ended Fault Locator* sebagai pengembangan dari metode *IEEE C37.114 Double Ended* meliputi pemilihan data nilai *Max Fault* untuk perhitungan *Near Side* (NS) dan *Far Side* (FS) dengan mempertimbangkan *differensial* atau selisih sudut urutan antara kedua sisi. Hasil perhitungan *Double Ended* pada total keseluruhan nilai *sample value* akan diambil nilai modusnya yang menjadi hasil akhir perhitungan metode *Fault Locator* ini. Metode ini dibuat dengan tujuan untuk mengidentifikasi gangguan dan lokasi gangguan dengan akurasi dan kecepatan yang tinggi. Berdasarkan hasil penelitian didapatkan hasil Metode *Selective Mode Double Ended* (SMDE) memberikan hasil analisis *fault locator* yang lebih akurat dibandingkan dengan metode *Single Ended* dan *Double Ended*. Akurasi dengan metode *Single Ended* mencapai 90.9%, dengan metode *Double Ended* mencapai 94.9% dan dengan metode *Selective Mode Double Ended* (SMDE) mencapai 99.9%.

Kata kunci: Double Ended; Lokasi Gangguan; Modus; Percepatan; Selektif

1. LATAR BELAKANG

Keberadaan *fault* atau gangguan pada jaringan transmisi merupakan hal yang dapat mengganggu keandalan penyaluran listrik, pada beberapa kasus gangguan pada ruas transmisi *backbone*, outlet pembangkit, dan radial ujung dapat menyebabkan padam konsumen karena gangguan permanen. Penanganan yang cepat dan akurat dalam menentukan lokasi gangguan ini sangat penting untuk mempercepat *recovery* pasca-gangguan, serta untuk meminimalkan kerugian ekonomi yang diakibatkan oleh pemadaman listrik. Beberapa metode yang digunakan untuk menentukan lokasi gangguan adalah analisis *Single Ended* dan *Double Ended* yang berasal dari relai. Analisis *Double Ended* memerlukan pengukuran dua ujung saluran transmisi

di waktu yang bersamaan pada saat terjadi gangguan. Relai dengan fasilitas waktu sinkron GPS akan memberikan hasil yang lebih akurat, namun kondisi di lapangan terdapat beberapa relai terpasang belum dilengkapi dengan fasilitas waktu sinkron GPS sehingga pada saat melakukan analisis *Double Ended* mendapatkan hasil yang kurang akurat. Dengan demikian dibutuhkan suatu pendekatan atau metode untuk meningkatkan akurasi analisis *Double Ended* tanpa memerlukan sinkron waktu GPS. Didalam penelitian ini akan menjelaskan metode baru untuk meningkatkan percepatan evaluasi dan penormalan kondisi gangguan. Metode ini mengoptimalkan akurasi analisis *Double Ended* dengan mengkombinasikan selektivitas data gangguan dan nilai modus hasil perhitungan *Double Ended* pada setiap titik *Sample Value* (RMS & *angle*). Metode ini disebut *Selective Mode Double Ended Fault Locator*. Melalui penelitian ini, dilakukan analisis terhadap efektivitas perhitungan *Double Ended* menggunakan metode *Selective Mode*. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi masukan teknis dalam optimalisasi sistem transmisi dalam aspek percepatan penentuan lokasi gangguan.

2. KAJIAN TEORITIS

Sistem Proteksi Tenaga Listrik

Sistem Proteksi adalah serangkaian perangkat, metode, dan prosedur yang dirancang untuk mendeteksi, mencegah, dan mengatasi gangguan atau kerusakan pada sistem tenaga listrik. Tujuan utama dari sistem proteksi adalah untuk mengidentifikasi gangguan dan memisahkan bagian yang terganggu serta untuk menjaga keselamatan personel dan keandalan pasokan listrik. Untuk efektifitas dan efisiensi maka setiap peralatan proteksi yang dipasang harus disesuaikan dengan kebutuhan dan ancaman gangguan (Agustina, Anisah, & Tarigan, 2025). Komponen utama pada sistem proteksi tenaga listrik, yaitu instrument transformer (CT dan VT) yang berfungsi untuk menurunkan arus atau tegangan ke level pengukuran pada relai, relai proteksi, *Circuit Breaker*, media komunikasi seperti *ethernet* dan IEC 61850 (Aminifar, et al., 2021).

Dalam operasi sistem tenaga listrik sering terjadi gangguan yang dapat mengakibatkan terganggunya penyaluran tenaga listrik ke konsumen. Gangguan adalah penghalang dari suatu sistem yang sedang beroperasi atau suatu keadaan dari sistem penyaluran tenaga listrik yang menyimpang dari kondisi normal. Suatu gangguan didalam peralatan listrik didefinisikan sebagai terjadinya suatu kerusakan didalam jaringan listrik yang menyebabkan aliran arus listrik keluar dari saluran yang seharusnya (Adekayanti, Adiasa, & Mashabai, 2021).

Untuk mencegah kemungkinan terjadinya gangguan pada sistem penyaluran tenaga listrik, maka perlu dilakukan proteksi pada suatu sistem berupa relai proteksi. Relai adalah

perangkat yang bertindak sebagai pendeteksi atau penerima besaran tertentu, kemudian memberikan perintah sebagai respon terhadap besaran yang dideteksi oleh relai. Besaran tersebut berupa gangguan, kemudian relai memerintahkan PMT untuk memutus saluran pada titik gangguan tersebut (Afrizal, Anisah, & Wibowo, 2025). Salah satu proteksi utama pada sistem proteksi jaringan transmisi Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150Kv adalah relai jarak (*relay distance*). Sistem kerja *relay distance* yaitu dengan menggunakan pengukuran tegangan dan arus untuk mendapatkan impedansi *setting relay* (Nasution, Anisah, & Alam, 2024). Relay mengestimasi impedansi ke titik gangguan digambarkan sebagai presentase panjang saluran (*zone 1, zone 2, dan zone 3*). *Relay distance* ini tidak memerlukan komunikasi antara ujung dengan keterbatasan yaitu sensitif terhadap resistansi *fault* tinggi, arus *infeed* dari ujung lain, dan parameter saluran yang tidak akurat (Hoq, Wang, & Taylor, 2021).

Proteksi transmisi tenaga listrik diterapkan pada transmisi tenaga listrik agar jika terjadi gangguan peralatan yang berhubungan dengan transmisi tidak akan mengalami kerusakan (Tharo, Syahputra, Hamdani, & Sugiono, 2020). Pentingnya sistem proteksi di Gardu Induk untuk meminimalisir dampak dari gangguan yang tidak terprediksi, khususnya gangguan non teknis yang banyak disebabkan oleh faktor eksternal seperti alam (petir, angin, pohon, dan hewan) (Ridho, Siagian, & Tharo, 2024).

IEEE C37.114 Single Ended

Single Ended Fault Locator adalah suatu metode yang menggunakan data tegangan dan arus yang hanya dari satu ujung saluran saja. Metode ini menggunakan impedansi saluran yang diukur oleh *relay distance* pada satu sisi saja. Impedansi saluran kemudian dikonversi menjadi jarak gangguan. Metode ini menggunakan algoritma sederhana dan tidak memerlukan saluran komunikasi maupun data dari ujung saluran lainnya, kecuali jika diperlukan untuk mengirimkan hasil estimasi lokasi gangguan kepada operator sistem. Metode ini memiliki kelemahan dalam memisahkan antara impedansi gangguan dan impedansi saluran sehingga tidak akurat.

$$d = \frac{Z_{Measured}}{Z_{Line}} \times L$$

Dimana:

d : jarak lokasi gangguan dari titik pengukuran (km)

Z_{measured} : impedansi terukur saat gangguan

Z_{line} : impedansi saluran per unit panjang (Ω/km)

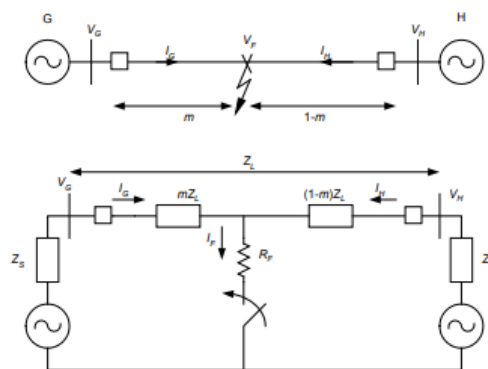
L : panjang total saluran (km)

Dari persamaan ini dapat dihitung manual jarak lokasi gangguan menggunakan metode *Single Ended* menggunakan data impedansi gangguan dan saluran serta panjang total saluran. Metode *Single Ended* ini lebih ekonomis dan bebas dari ketergantungan komunikasi antar terminal saluran, meskipun menghadapi tantangan dalam mendeteksi dan membedakan gelombang pantul (R.L.A, et al., 2021).

Beberapa hal menyebabkan penurunan akurasi metode *Single Ended* ini adalah adanya pengaruh gabungan tahanan gangguan dan arus beban, kesalahan pemodelan impedansi urutan nol, beban tap (*tapped load*) yang memiliki sumber urutan nol, dan kesalahan pengukuran pada *relay*, transformator instrumen, atau parameter saluran. Kelebihan dari metode IEEE C37.114 *Single Ended* adalah tidak diperlukannya komunikasi antar ujung karena hanya satu sisi yang digunakan, tidak bergantung pada pengiriman data dari ujung jauh, sehingga lebih sederhana dalam implementasi *real-time*, tidak diperlukannya sinkronisasi waktu antar terminal, biaya infrastruktur yang lebih rendah karena hanya satu relai atau alat ukur yang diperlukan dan tidak memerlukan jaringan komunikasi khusus antara relai ujung saluran dan metode ini cocok digunakan di jenis saluran yang pendek (Li, et al., 2021).

IEEE C37.114 Double Ended

Metode IEEE C37.114 *Double Ended* atau metode dua ujung adalah teknik penentuan lokasi gangguan (*fault*) pada suatu saluran transmisi yang menggunakan data pengukuran dari kedua ujung jalur tersebut (baik arus maupun tegangan atau transien) secara sinkron, kemudian membandingkan atau mengolah data itu untuk menentukan posisi gangguan (Jahanger, Thomas, & Sumner, 2023). Gelombang transien muncul pada titik gangguan yang bergerak ke kedua ujung. Relai di kedua ujung saluran mencatat waktu kedatangan gelombang dengan stempel waktu yang sinkron, lokasi gangguan dapat dihitung (Corton, et al., 2022).



Sumber: Fault and Disturbance Conference

Gambar 1 Rangkaian Ekivalen Gangguan Pada Jaringan Transmisi dengan Dua Sumber.

Nilai untuk tegangan dan arus pada *Near Side* dan *Far Side* diketahui karena dapat dihitung dari rekaman data gangguan yang tersedia dari kedua sisi. Nilai impedansi saluran juga diketahui karena merupakan kuantitas yang terukur dan tercatat dengan baik. Beberapa variabel yang tidak diketahui adalah lokasi gangguan “m” dan tegangan gangguan (V_F), yang berarti bahwa rangkaian diatas dapat disederhanakan, menggunakan hukum tegangan *Kirchhoff*, menjadi sistem sederhana dari dua persamaan yang tidak diketahui yaitu “m” dan “ V_F ” (Makki, Rothweiler, Orndorff, & Starling, 2013).

$$V_{NS} = mZ_L I_{NS} + V_F$$

$$V_{FS} = (1 - m)Z_L I_{FS} + V_F$$

Lokasi gangguan “m” dapat dihitung dengan mensubstitusikan variabel V_F sehingga didapatkan persamaan

$$m = \frac{(V_{NS} - V_{FS} + Z_L I_{FS})}{Z_L (I_{NS} + I_{FS})}$$

Dari persamaan, dapat dihitung variabel m dengan menggunakan data arus dan tegangan yang terukur pada masing-masing ujung transmisi dalam waktu yang bersamaan serta impedansi saluran transmisi.

Jenis-jenis gangguan pada sistem tenaga dapat dikategorikan menjadi dua kelompok, yaitu gangguan tidak seimbang (*unbalanced faults*) dan gangguan seimbang (*balanced faults*). Gangguan tidak seimbang meliputi gangguan satu fasa ke tanah, dua fasa ke tanah, dan tiga fasa ke tanah. Sedangkan, gangguan seimbang meliputi gangguan antar fasa dan gangguan tiga fasa. Secara umum, kondisi gangguan ini menghasilkan komponen urutan negatif dan nol, sedangkan komponen urutan positif dihasilkan oleh sumber sistem tenaga (Zimmerman & Costello, 2006). Klasifikasi gangguan ini adalah langkah awal dalam algoritma proteksi dan lokasi gangguan dan sistem proteksi jarak biasanya memilih rumus berdasarkan jenis gangguan yang terdeteksi (Ozdemir, Koker, & Pamuk, 2025).

Relai proteksi menggunakan komponen urutan (arus atau tegangan urutan positif, negatif dan nol) sebagai indikator spesifik jenis gangguan. Ketika sistem tiga fasa terjadi gangguan tak seimbang (*asymmetrical*), sinyal arus atau tegangan dapat dipisahkan ke dalam campuran ketiga urutan ini, yang kemudian dianalisis terpisah untuk memahami perilaku sistem urutan negatif muncul karena ketidakseimbangan situasi fasa-fasa tidak sama. Arus dalam fasa mengalami distorsi yang tidak sama, sehingga sistem dapat diuraikan menjadi komponen urutan balik (*invert*). Urutan nol muncul ketika ada jalur netral atau tanah (*ground return path*). Apabila gangguan melibatkan tanah (FG, FFG, dan FFFG), sebagian arus mengalir melalui tanah sehingga arus ketiga fasa dapat memiliki komponen yang searah bersama dalam kondisi

normal (tanpa gangguan), hanya urutan positif yang ada karena semua fasa simetris (tidak ada ketidakseimbangan). Pada saat terjadi gangguan, meskipun muncul urutan negatif dan nol, urutan positif tetap muncul karena sistem masih memiliki bagian yang mengikuti keseimbangan normal (arus dari sumber utama) (Samal & Samantaray, 2024).

Tabel 1. Hubungan Antara Jenis Gangguan dan Keberadaan Komponen Urutan.

Jenis Gangguan	Urutan	Urutan	Urutan
	Positif	Negatif	Nol
Tiga Fasa Seimbang	✓	✗	✗
Antar Fasa Seimbang	✓	✓	✗
Gangguan Tidak Seimbang	✓	✓	✓

Metode ini tidak memiliki ketergantungan terhadap parameter saluran karena metode ini menghitung sendiri R, L, C dari data *pre fault*, metode ini hanya membutuhkan IED modern dan komunikasi standar 2 Mbps yang mana telah diimplementasikan dengan sukses di India dan Swedia (D, Zubic, A, & N, 2022). Pada metode ini dengan menggunakan pengukuran penuh (tegangan dan arus) di kedua ujung saluran transmisi, akurasi lokasi gangguan dapat mencapai tingkat sangat tinggi yaitu hingga 99%, tetapi dengan pengukuran terbatas, akurasi memang sedikit menurun terutama ketika gangguan berada dekat dengan ujung sensor minim, tetapi hal ini tetap dalam batas yang dapat diterima (Jahanger, Robson, Haddad, & Sumner, 2024).

Gangguan juga terdapat dua jenis berdasarkan impedansi nya yaitu *high impedance* dan *low impedance*. *Low impedance fault* (gangguan impedansi rendah) adalah kondisi gangguan di mana nilai impedansi jalur gangguan sangat kecil (hampir mendekati hubung singkat / *bolted fault*), sehingga arus gangguan yang mengalir besar dan mudah terdeteksi oleh perangkat proteksi konvensional. Sebaliknya, *high impedance fault* (gangguan impedansi tinggi) adalah kondisi di mana jalur gangguan memiliki impedansi yang cukup besar, misalnya konduktor kontak dengan permukaan tanah yang kurang konduktif (beton, tanah kering, aspal, pohon, dsb.). Akibatnya, arus fault menjadi kecil, bisa berada dalam rentang arus beban normal, sehingga sulit terdeteksi oleh proteksi konvensional (P, et al., 2025)

Pada gangguan *low impedance* biasanya terjadi pada saluran transmisi atau distribusi, ketika fase dan netral atau tanah tersentuh langsung (misalnya konduktor patah dan menyentuh konduktor lain atau kawat tanah). Karena impedansi sangat rendah, arus gangguan bisa sangat besar jauh lebih besar daripada arus beban sehingga proteksi seperti *overcurrent*, proteksi jarak

(*distance relay*) bisa langsung bereaksi. Sedangkan pada gangguan *high impedance* biasanya terjadi pada kawat fasa roboh dan menyentuh dahan pohon, atau menyentuh permukaan jalan aspal atau beton. Permukaan tersebut memiliki resistansi tinggi, sehingga arus yang mengalir sangat terbatas. Pada gangguan ini sering menghasilkan *arcing* (medan listrik memecah udara sebagian), fluktuatif, serta sinyal campuran harmonik dan nonlinier (Baharozu, Ilhan, & Soykan, 2023).

Semudah Itu

Semudah Itu adalah suatu metode yang digunakan dengan menggunakan pembacaan *fault locator* dari relai proteksi penghantar yang diimplementasikan lagi menggunakan sebuah persamaan Semudah Itu. Pada metode Semudah Itu dibutuhkan beberapa langkah agar mendapatkan hasilnya (Andrianto, Fathurrohman, & Permatasari, 2023).

Pada tahap awal, dipastikan bahwa data impedansi primer yang digunakan oleh kedua sisi *relay distance* adalah sama. Selanjutnya, total panjang saluran transmisi dari kedua sisi yang terlihat dalam penunjukan *fault locator* dihitung. Dalam hal ini, diperlukan untuk mengkonversikan hasil penunjukan *fault locator* menjadi presentase. Konversi ini dilakukan dengan menggunakan persamaan (2) untuk GI A dan persamaan (3) untuk GI B

$$\% \text{ dari GI A} = \frac{FL \text{ GI A}}{FL \text{ GI A} + FL \text{ GI B}} \times 100\%$$

$$\% \text{ dari GI B} = \frac{FL \text{ GI B}}{FL \text{ GI A} + FL \text{ GI B}} \times 100\%$$

Presentase yang telah dihitung dari persamaan 2 dan 3 kemudian digunakan untuk menghitung jarak titik gangguan dari kedua ujung saluran, dengan menggunakan panjang saluran transmisi yang didapat dari jarak antara koordinat tower. Perhitungan jarak ini dilakukan dengan menggunakan persamaan 2 dan 3.

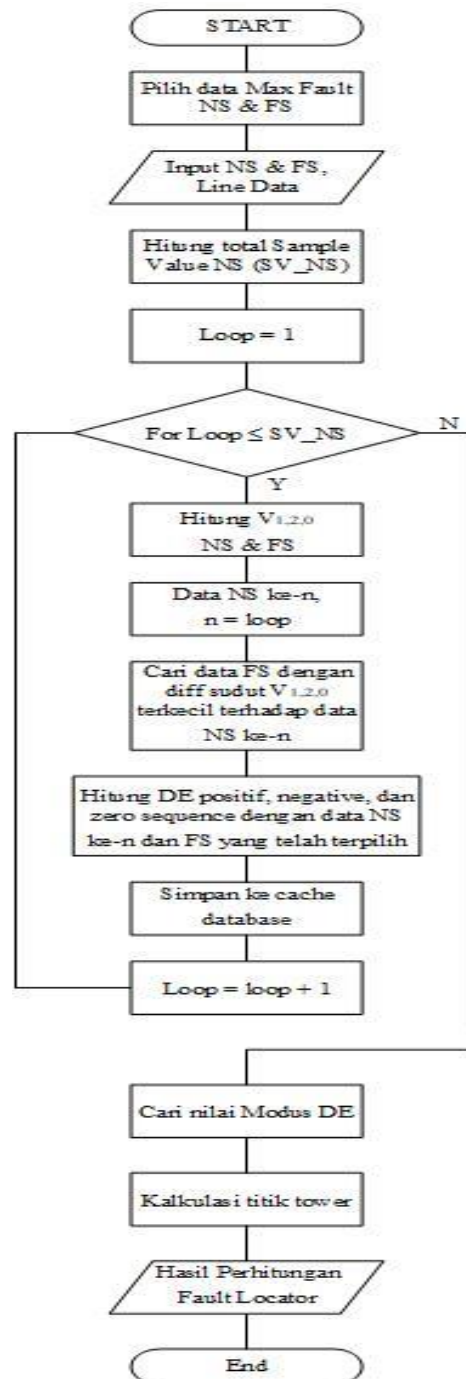
$$\text{Jarak dari GI A} = \text{Persamaan 2} \times \text{panjang saluran}$$

$$\text{Jarak dari GI B} = \text{Persamaan 3} \times \text{panjang saluran}$$

Pada metode ini terdapat beberapa hal yang dapat menyebabkan metode ini kurang akurat, antara lain nilai impedansi yang dimasukkan dalam parameter *setting relay* di kedua sisi GI tidak sesuai, perbedaan pabrikan *relay* proteksi penghantar dikedua sisi, dan jaringan transmisi yang merupakan jaringan *hybrid* (kombinasi antara SUTT dengan SKTT).

3. METODE PENELITIAN

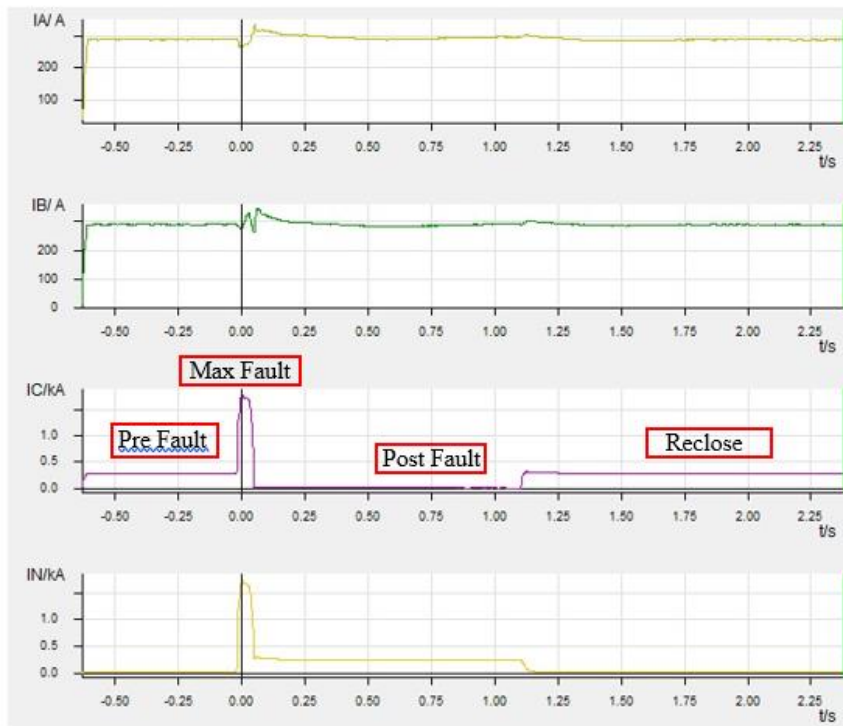
Berikut merupakan *flowchart* atau diagram alir dalam melakukan penelitian ini atau *Selective Mode Double Ended*



Gambar 2. Metode Selective Mode Double Ended.

A. Pemilihan Data *Max Fault* NS dan FS

Pada gambar 2 terdapat serangkaian kondisi sistem pada saat terjadi gangguan, yang meliputi *pre fault*, *max fault*, *post fault*, dan *reclose*. *Pre fault* adalah kondisi sebelum terjadinya gangguan yang ditandai dengan kondisi *balance* (*RMS & angle*).



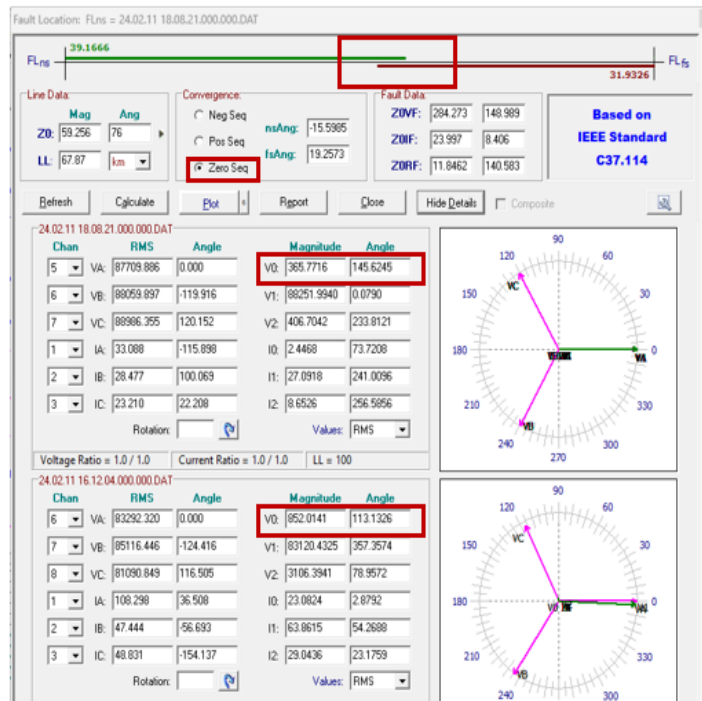
Gambar 3. Rekaman Gangguan.

Nilai *Max Fault* merupakan nilai arus dan tegangan pada saat terjadi gangguan yang ditandai dengan perubahan *magnitude* secara signifikan serta munculnya kondisi *unbalance* pada sistem tiga fasa. Nilai *Max Fault* inilah yang kemudian digunakan sebagai perhitungan didalam metode ini. Hal ini bertujuan untuk mereduksi *error* perhitungan *Double Ended* dikarenakan pengambilan *sample value Near Side* dan *Far Side* pada saat kondisi *pre fault* atau *post fault*.

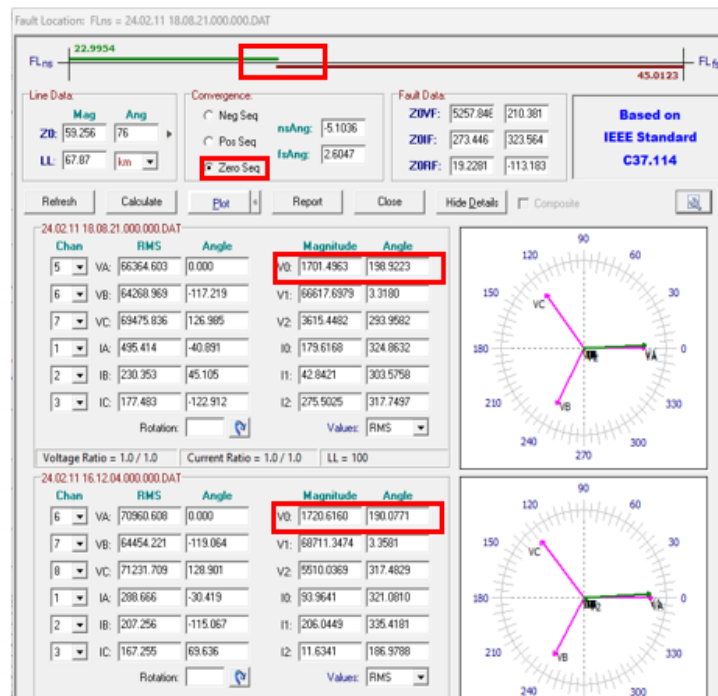
Penentuan data *Near Side* dan *Far Side* ditetapkan dengan metode *conditional selection*, metode ini menentukan data *Far Side* berdasarkan nilai sudut urutan *Near Side* yang digunakan sebagai pembanding untuk mencari selisih terkecil terhadap nilai sudut urutan *Far Side* pada keseluruhan data *sample value Max Fault Far Side*. Dengan demikian penambahan metode *conditional selection* dapat meningkatkan akurasi dan konsistensi perhitungan

IEEE C37.114 Calculation

Pemilihan FS dilakukan berdasarkan metode *conditional selection* dengan kriteria mencari perbedaan sudut terkecil ($\Delta\theta$ atau *Diff Sudut*) antara tegangan urutan simetris (V_1 , V_2 , V_0) dari FS terhadap NS. Perhitungan Double Ended IEEE C37.114 dengan data NS ke- n dan FS yang telah terpilih.



Gambar 4. Hasil Perhitungan *Double Ended* dengan Selisih Sudut yang Besar.

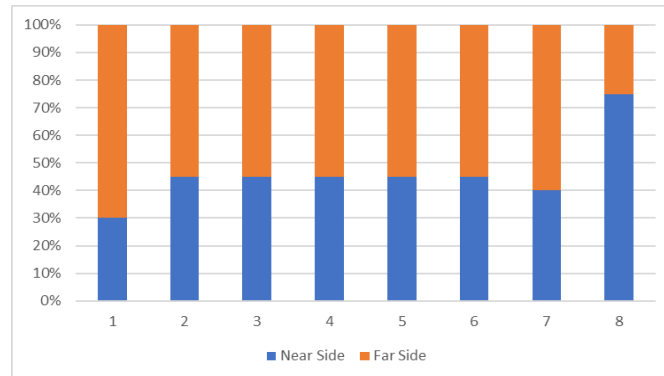


Gambar 5. Hasil Perhitungan *Double Ended* dengan Selisih Sudut yang Kecil.

Selisih sudut urutan mempengaruhi hasil perhitungan, semakin besar selisih sudut urutan menyebabkan hasil perhitungan yang tidak konsisten pada masing-masing sisi seperti pada gambar 5, sehingga data *Near Side* dan *Far Side* yang dipilih harus memiliki selisih sudut antara urutan yang mendekati 0.

Loop Scanning Sample Value Calculation

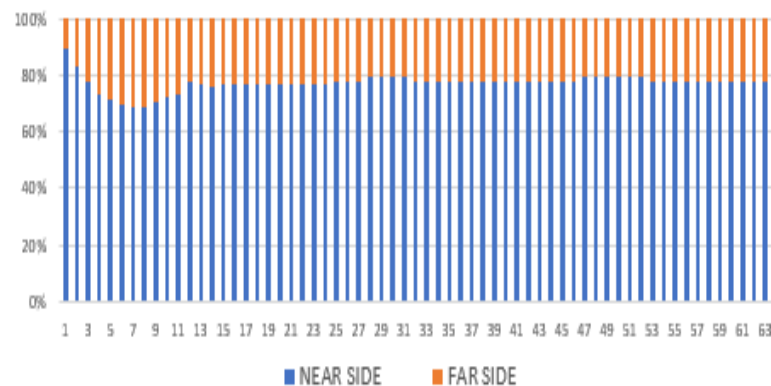
Pada tahap ini dilakukan perhitungan mengulang untuk setiap data NS ke-N yang tersedia pada data yang sudah diambil untuk dalam perhitungan. Seperti pada gambar... ini merupakan visualisasi perhitungan data NS terhadap FS.



Gambar 6. Hasil Perhitungan *Double Ended*.

Pengambilan Data Modus

Berdasarkan *flow chart* bahwa metode ini melakukan perhitungan *Double Ended* pada semua sample value *Near Side* dengan masing-masing nilai *Far Side* yang sudah terseleksi dengan metode *conditional selection*. Semua hasil yang didapat akan diseleksi kembali untuk dicari nilai yang paling sering muncul atau nilai modus nya.



Gambar 7. Hasil Perhitungan *Double Ended*.

Pada gambar 7, merupakan visualisasi dari hasil perhitungan *Double Ended* pada semua sample value, dari hasil perhitungan tersebut didapatkan kemiripan pada beberapa hasil perhitungan sample value, yang kemudian disebut dengan nilai modus. Hasil perhitungan yang masuk kedalam nilai modus merupakan hasil perhitungan *Double Ended* yang konsisten, sehingga menjadi hasil akhir dari SMDE.

Tot Tower	236	KM	85.97
Metode	ZERO SEQ	POSITIVE SEQ	NEGATIVE SEQ
Persen	52.33%	55.81%	54.65%
KM	44.984	47.983	46.984
Tower	123.4883721	131.7209302	128.9767442
Bay Line	Line 1 Kasongan - SKS		
Data NS	141	Data FS	143

Gambar 8. Tampilan Hasil Perhitungan *Selective Mode Double Ended*.

Data Yang Digunakan

Pada analisa ini diambil beberapa data yang terdapat di arsip proteksi ULTG Palangkaraya PT.PLN (Persero). Data yang diambil yaitu 22 gangguan, terdiri dari 13 gangguan petir, 5 gangguan hewan, 3 gangguan vegetasi, dan 1 gangguan peralatan dengan periode gangguan nya yaitu tahun 2024 sampai 2025 dengan keterangan gangguan *autoreclose*

Tabel 2. Data gangguan ULTG Palangkaraya.

Sirkuti	Tanggal	Penyebab
PKY-KSG-L1	25 Maret 2024	Petir
KSG-SDN	27 Maret 2024	Petir
PKY-KSG-L1	28 Maret 2024	Petir
KSG-SKS-L1	3 April 2024	Petir
KSG-SKS-L2	3 April 2024	Petir
KSG-SKS-L1	28 April 2025	Petir
PKY-KSG-L1	13 Mei 2024	Vegetasi
KSG-SKS-L2	14 Juni 2024	Hewan
KSG-SKS-L1	26 Juni 2024	Hewan
KSG-SKS-L2	29 Juni 2024	Hewan
KSG-SKS-L2	23 Juli 2024	Hewan
KSG-SDN	23 Juli 2024	Peralatan
Sirkuit	Tanggal	Temuan
KSG-SDN	7 Agustus 2024	Petir
BTK-TWH-L1	16 Agustus 2024	Vegetasi
BTK-TWH-L1	19 Agustus 2024	Vegetasi
KSG-SKS-L1	9 Oktober 2024	Petir

KSG-SKS-L1	10 November 2024	Petir
KSG-SKS-L2	10 November 2024	Petir
PKY-KSG-L1	15 November 2024	Petir
PKY-KSG-L1	5 Desember 2024	Petir
KSG-SKS-L1	26 Juli 2025	Hewan
KSG-SKS-L1	9 Agustus 2025	Petir

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian akurasi metode *Selective Mode Double Ended* (SMDE) dilakukan dengan membandingkan hasil analisis *Fault Locator* dengan metode *Single Ended*, *Double Ended*, Secepat Itu pada 22 kali gangguan pada tahun 2024 sampai 2025. Pada 22 kali gangguan tersebut terdapat 13 kali gangguan petir, 5 kali gangguan hewan, 1 kali gangguan peralatan, dan 3 kali gangguan vegetasi dengan keadaan *autoreclose*.

Tabel 3. Titik Lokasi Gangguan.

Sirkuit	Tanggal	Temuan	
		Lokasi Tower	Penyebab
PKY-KSG-L1	25 Maret 2024	169	Petir
KSG-SDN	27 Maret 2024	269	Petir
PKY-KSG-L1	28 Maret 2024	13	Petir
KSG-SKS-L1	3 April 2024	162	Petir
KSG-SKS-L2	3 April 2024	162	Petir
KSG-SKS-L1	28 April 2025	102	Petir
PKY-KSG-L1	13 Mei 2024	103	Vegetasi
KSG-SKS-L2	14 Juni 2024	155	Hewan
KSG-SKS-L1	26 Juni 2024	33	Hewan
KSG-SKS-L2	29 Juni 2024	155	Hewan
KSG-SKS-L2	23 Juli 2024	122	Hewan
KSG-SDN	23 Juli 2024	204	Peralatan
KSG-SDN	7 Agustus 2024	345	Petir

Sirkuit	Tanggal	Temuan	
		Lokasi Tower	Penyebab

BTK-TWH-L1	16 Agustus 2024	265	Vegetasi
BTK-TWH-L1	19 Agustus 2024	265	Vegetasi
KSG-SKS-L1	9 Oktober 2024	121	Petir
KSG-SKS-L1	10 November 2024	186	Petir
KSG-SKS-L2	10 November 2024	186	Petir
PKY-KSG-L1	15 November 2024	185.5	Petir
PKY-KSG-L1	5 Desember 2024	72	Petir
KSG-SKS-L1	26 Juli 2025	47	Hewan
KSG-SKS-L1	9 Agustus 2025	39	Petir

Pada tabel 4, merupakan hasil analisa menggunakan metode *Single Ended* dengan data *Near Side* dan *Far Side* pada setiap sirkuitnya. Pada metode *Single Ended* ini presentase akurasi terbesar yaitu 95.94% sedangkan presentasi akurasi terendah yaitu 50.30%. Dengan nilai tersebut, dapat diketahui bahwa menggunakan metode *Single Ended* tidak memberikan akurasi yang tepat. Selain itu, pada perhitungan *Single Ended* memberikan dua hasil yang berbeda pada *Near Side* dan *Far Side* dan dengan perbedaan tower yang cukup signifikan. Berdasarkan 22 sample gangguan yang diambil terdapat 14 gangguan yang presentase akurasinya dibawah 90% dan 8 gangguan yang presentase akurasinya diatas 90%.

Tabel 4. . Hasil Analisa Akurasi *Single Ended*.

Sirkuit	Tanggal	<i>Single Ended</i>		Temuan	Akurasi
		Near Side	Far Side		
PKY-KSG-L1	25 Maret 2024	206	160	169	88.23%
KSG-SDN	27 Maret 2024	189	156	269	50.30%
PKY-KSG-L1	28 Maret 2024	19	193	13	89.95%
KSG-SKS-L1	3 April 2024	214	143	162	85.47%
KSG-SKS-L2	3 April 2024	208	144	162	86.90%
KSG-SKS-L1	28 April 2025	80	132	102	89.47%
PKY-KSG-L1	13 Mei 2024	98	87	103	94.68%
KSG-SKS-L2	14 Juni 2024	129	177	155	90.23%
KSG-SKS-L1	26 Juni 2024	35	73	33	91.50%
Sirkuit	Tanggal	<i>Single Ended</i>		Temuan	Akurasi

		Near Side		Far Side	
KSG-SKS-L2	29 Juni 2024	129	172	155	91.20%
KSG-SKS-L2	23 Juli 2024	99	146	122	90.60%
KSG-SDN	23 Juli 2024	193	163	204	86.53%
KSG-SDN	7 Agustus 2024	337	335	345	95.40%
BTK-TWH-L1	16 Agustus 2024	327	295	265	85.26%
BTK-TWH-L1	19 Agustus 2024	344	303	265	81.37%
KSG-SKS-L1	9 Oktober 2024	136	102	121	92.96%
KSG-SKS-L1	10 November 2024	221	144	186	84.185%
KSG-SKS-L2	10 November 2024	255	145	186	77.56%
PKY-KSG-L1	15 November 2024	232	176	185.5	84.14%
PKY-KSG-L1	5 Desember 2024	167	92	72	70.36%
KSG-SKS-L1	26 Juli 2025	37	73	47	92.64%
KSG-SKS-L1	9 Agustus 2025	50	-4	39	88.93%

Hasil perhitungan menggunakan Secepat Itu dapat dilihat pada Tabel 5, yang mana dari 22 gangguan terdapat 15 gangguan yang presentase akurasi nya dibawah 90% dan terdapat 7 gangguan yang presentase akurasi nya diatas 90% yang didominasi dengan gangguan petir. Berdasarkan hasil analisa ini, presentase akurasi dari metode Secepat Itu paling besar yaitu 99% atau pada gangguan PKY-KSG-L1 pada 13 Mei 2024 yang gangguannya diakibatkan oleh vegetasi, sedangkan presentase akurasi terendah sebesar 39.07% atau pada gangguan KSG-SKS-L1 tanggal 26 Juli 2025 yang gangguannya diakibatkan oleh hewan.

Tabel 5. Hasil Analisa Akurasi Metode Secepat Itu.

		Secepat Itu		Temuan	Akurasi
Sirkuit	Tanggal	Near Side	Far Side		
PKY-KSG-L1	25 Maret 2024	109	84	169	68.6%
KSG-SDN	27 Maret 2024	99	82	269	95.4%
PKY-KSG-L1	28 Maret 2024	50	143	13	94.48%
KSG-SKS-L1	3 April 2024	147	98	162	93.9%
KSG-SKS-L2	3 April 2024	145	100	162	93.1%
KSG-SKS-L1	28 April 2025	92	152	102	95.9%

Sirkuit	Tanggal	Secepat Itu		Temuan	Akurasi
		<i>Near Side</i>	<i>Far Side</i>		
PKY-KSG-L1	13 Mei 2024	102	91	103	99%
KSG-SKS-L2	14 Juni 2024	103	142	155	78.8%
KSG-SKS-L1	26 Juni 2024	82	163	33	81.2%
KSG-SKS-L2	29 Juni 2024	105	140	155	79.6
KSG-SKS-L2	23 Juli 2024	99	146	122	90.6%
KSG-SDN	23 Juli 2024	98	83	204	62.4%
KSG-SDN	7 Agustus 2024	91	90	345	61.3%
BTK-TWH-L1	16 Agustus 2024	57	183	265	73.4%
BTK-TWH-L1	19 Agustus 2024	57	185	265	74%
KSG-SKS-L1	9 Oktober 2024	140	105	121	81.37%
KSG-SKS-L1	10 November 2024	33	148	186	84.78%
	10 November 2024	31	156	186	88.2%
KSG-SKS-L2	15 November 2024	110	83	185.5	84.38%
PKY-KSG-L1	5 Desember 2024	125	68	72	42.77%
KSG-SKS-L1	26 Juli 2025	82	163	47	39.07%
KSG-SKS-L1	9 Agustus 2025	41	204	39	93.44%

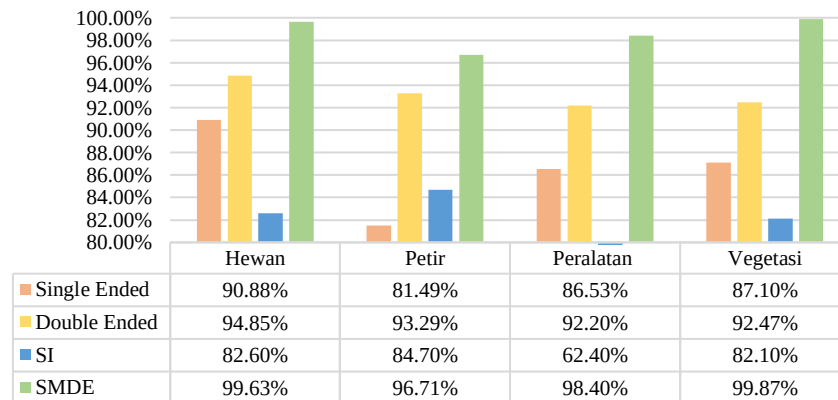
Hasil perhitungan *Double Ended* dan *Selective Mode Double Ended* (SMDE) dapat dilihat pada tabel 6. Pada metode *Double Ended*, akurasi tertinggi yang didapat sebesar 99.48% pada gangguan petir dan akurasi terendah yang didapat sebesar 85% pada gangguan petir juga dengan 22 data gangguan yang dipakai, sedangkan dengan metode *Selective Mode Double Ended* (SMDE), akurasi tertinggi yang didapat sebesar 100% pada gangguan petir dan vegetasi dan akurasi terendah yang didapat sebesar 91.7% pada data gangguan petir di *baylien* KSG-SDN.

Konsistensi akurasi analisis pada *Double Ended* terdapat pada 90–95%, sedangkan konsistensi akurasi menggunakan analisis *Selective Mode Double Ended* (SMDE) terdapat pada 95%–100% pada beberapa tipe jenis gangguan. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa metode *Selective Mode Double Ended* (SMDE) memiliki akurasi yang tinggi dengan hasil yang konsisten pada berbagai jenis tipe gangguan pada data yang telah digunakan.

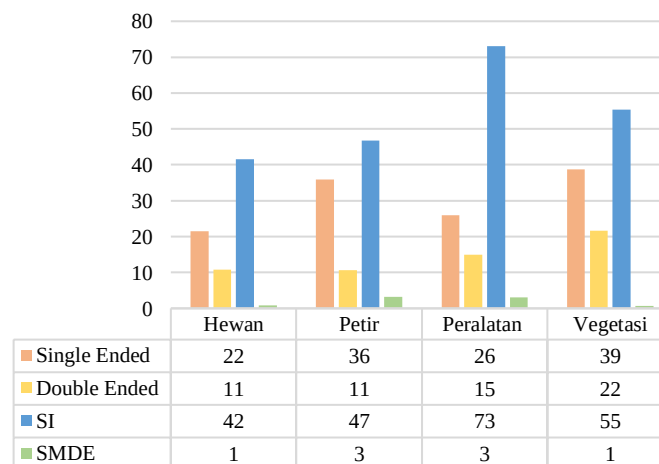
Tabel 6. Hasil Analisa *Double Ended* dan *Selective Mode Double Ended*.

Sirkuit	Tanggal	Temuan	DE	SMDE	DE ACC	SMDE ACC
PKY-KSG-L1	25 Maret 2024	169	185	171	91.75%	98.97%
KSG-SDN	27 Maret 2024	269	270	298	85%	91.70%
PKY-KSG-L1	28 Maret 2024	13	12	13	99.48%	100%
KSG-SKS-L1	3 April 2024	162	150	170	95.10%	96.70%
KSG-SKS-L2	3 April 2024	162	156	173	97.50%	95.50%
KSG-SKS-L1	28 April 2025	102	95	102	97.10%	100%
PKY-KSG-L1	13 Mei 2024	103	95	103	95.80%	100%
KSG-SKS-L2	14 Juni 2024	155	153	156	99.10%	99.50%
KSG-SKS-L1	26 Juni 2024	33	56	34	90.60%	99.50%
KSG-SKS-L2	29 Juni 2024	155	158	156	98.70%	99.50%
KSG-SKS-L2	23 Juli 2024	122	100	122	91%	100%
KSG-SDN	23 Juli 2024	204	219	207	92.20%	98.40%
KSG-SDN	7 Agustus 2024	345	332	350	93.30%	97.40%
BTK-TWH-L1	16 Agustus 2024	265	305	265	87.10%	100%
BTK-TWH-L1	19 Agustus 2024	265	282	263	94.50%	99.60%
KSG-SKS-L1	9 Oktober 2024	121	93	121	88.57%	100%
KSG-SKS-L1	10 November 2024	186	194	186	96.73%	100%
KSG-SKS-L2	10 November 2024	186	184	186	99.18%	100%
PKY-KSG-L1	15 November 2024	185.5	179	185.5	96.65%	100%
PKY-KSG-L1	5 Desember 2024	72	72	71	100%	99.48%
KSG-SKS-L1	26 Juli 2025	47	42	46	97.69%	99.59%
KSG-SKS-L1	9 Agustus 2025	39	30	39	96.33%	100%

Gambar 9 menampilkan perbandingan akurasi perhitungan empat metode *Fault Locator* yang berbeda. Pada keseluruhan hasil perhitungan, metode *Selective Mode Double Ended* (SMDE) memiliki akurasi yang tinggi dibandingkan tiga metode lainnya pada keempat tipe gangguan yang berbeda. Pada hasil analisa ini metode SMDE memiliki akurasi yang paling tinggi dari metode lainnya. Dengan menggunakan klasifikasi berdasarkan jenis gangguan, akurasi pada SMDE mencapai 99.8% pada tipe gangguan vegetasi, lalu diikuti dengan tipe gangguan hewan, peralatan, dan petir.



Gambar 9. Grafik Perbandingan Akurasi Perhitungan *Fault Locator*.



Gambar 10. Selisih Perhitungan *Fault Locator* dan Hasil Temuan Lapangan.

Pada gambar 10, menampilkan selisih perhitungan dari keempat metode *Fault Locator* serta hasil temuan dilapangan dalam jumlah tower pada setiap masing-masing tipe gangguan. Pada analisa ini, didapati perhitungan *Single Ended* memiliki selisih mencapai 36 tower atau sekitar 12.6 kilometer, hasil perhitungan *Double Ended* memiliki selisih mencapai 22 tower atau sekitar 7.7 kilometer, hasil perhitungan Secepat itu mencapai selisih 73 tower atau 25.55 kilometer, dan hasil perhitungan SMDE mencapai 3 tower atau 1.05 kilometer.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Akurasi hasil perhitungan metode IEEE C37.114 *Double Ended* sangat bergantung pada pengambilan nilai *Near Side* (NS) dan *Far Side* (FS) sehingga dibutuhkan suatu pendekatan untuk menentukan nilai NS dan FS. Metode *Selective Mode Double Ended* (SMDE) mengoptimalkan akurasi analisis *Double Ended* dengan mengombinasikan selektivitas data gangguan dan nilai modus hasil perhitungan *Double Ended* pada setiap titik *Sample Value* (RMS & angle)

Metode *Selective Mode Double Ended* (SMDE) memberikan hasil analisis *fault locator* yang lebih akurat dibandingkan dengan metode *Single Ended* dan *Double Ended*. Akurasi yang dengan metode *Single Ended* mencapai 95.4%, metode *Double Ended* mencapai 99.48%, metode Secepat Itu mencapai 95.4% dan dengan metode *Selective Mode Double Ended* (SMDE) mencapai 100%.

DAFTAR REFERENSI

- Adekayanti, Y., Adiasa, I., & Mashabai, I. (2021). Analisis Gangguan Pada kWh Meter Pelanggan di PT.PLN (Persero) UP3 Sumbawa Menggunakan Fishbone dan PDCA (Plan, Do, Check, Action). *Jurnal Industri & Teknologi Samawa*, 2(1), 22-31. From <http://doi.org/10.36761/jitsa.v2i1.1020>
<https://doi.org/10.36761/jitsa.v2i1.1020>
- Afrizal, M., Anisah, S., & Wibowo, P. (2025). Over Current Relay Protection System Coordination Analysis and Ground Fault Relay on 20 KV Feeder Substation at Muara Tebo Substation. *International Conference of Digital Sciences and Engineering Technology* (pp. 131-147). Universitas Pembangunan Panca Budi. From <https://proceeding.pancabudi.ac.id/index.php/ICDSET/article/view/386>
- Agustina, G., Anisah, S., & Tarigan, A. S. (2025). Analisa Hasil Pemeliharaan Shutdown Testing Dengan Alat Uji Omicron CMC 356 Pada Relay Distance Bay Line 150kV Jantho di GI Sigli. *JESCE: Journal of Electrical and System Control Engineering*, 8(2), 271-279. From <https://doi.org/10.31289/jesce.v6i2.8198>
- Aminifar, F., Abedini, M., Amraee, T., Jafarian, P., Samimi, M. H., & Shahidehpour, M. (2021). A Review of Power System Protection and Asset Management With Machine Learning Techniques. *Energy System*, 13(7). From <http://doi.org/10.1007/s12667-021-00448-6>
<https://doi.org/10.1007/s12667-021-00448-6>
- Andrianto, B. P., Fathurrohman, M. Y., & Permatasari, P. D. (2023). Semudah Itu (Segera Temukan Daerah Titik Gangguan). *Forum Proteksi Nasional* (pp. 1-4). PT.PLN (Persero).

- Baharozu, E., Ilhan, S., & Soykan, G. (2023). High Impedance Fault Localization: A Comprehensive Review. *Electric Power System Research*, 214(A), 1-11. From <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2022.108892>
<https://doi.org/10.1016/j.epsr.2022.108892>
- Corton, D. L., Melado, J. V., Cruz, J., Kirby, R., Korkmaz, Y. Z., Pati, G., & Smelich, G. (2022). Field Experience Using Double-Ended Traveling-Wave Fault Locating Without Relay-to-Relay Communications. *16th International Conference on Developments in Power System Protection Hybrid Format*. IEEE Xplore. From <http://doi.org/10.1049/icp.2022.0928>
<https://doi.org/10.1049/icp.2022.0928>
- D, N. O., Zubic, S., A, S. V., & N, P. A. (2022). Economical Setting-Free Double-Ended Fault Locator for Transmission Lines: Experiences From Recent Pilot Installations. *IEEE Access*, 10, 96805-96820. From <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3205020>
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3205020>
- Hoq, M. T., Wang, J., & Taylor, N. (2021). Review of Recent Developments in Distance Protection of Series Capacitor Compensated Lines. *Electric Power System Research*, 190(106831), 1-8. From <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2020.106831>
<https://doi.org/10.1016/j.epsr.2020.106831>
- Jahanger, H. K., Thomas, D. W., & Sumner, M. (2023). An Investigation Into The Robustness of A Double-Ended Wideband Impedance-Based Fault Location Technique. *Scientific Reports*, 13(10001), 1-15. From <https://doi.org/10.1038/s41598-023-36541-2>
<https://doi.org/10.1038/s41598-023-36541-2>
- Jahanger, H., Robson, S., Haddad, A., & Sumner, M. (2024). Double-Ended Fault Location Method with Reduced Measurements. *Cardiff University Engineering Research Conference 2023* (pp. 153-157). Cardiff University Press. From <http://doi.org/10.18573/conf1.a>
<https://doi.org/10.18573/conf1.ai>
- Li, B., Shi, L., Wen, W., Li, B., Chen, X., & Su, J. (2021). Research On a New Single-End Fault Location Method for Single-Phase Grounding Faults of Transmission Lines Through Transition Resistance. *Frontiers in Energy Research*, 9(772345), 1-8. From <http://doi.org/10.3389/fenrg.2021.772345>
<https://doi.org/10.3389/fenrg.2021.772345>
- Makki, A., Rothweiler, M., Orndorff, R., & Starling, J. B. (2013). Double Ended Fault Location Application Using IEEE Standard C37.114. *Georgia Tech Fault & Disturbance Analysis Conference* (pp. 1-10). Softstuf Inc.
- Nasution, M. A., Anisah, S., & Alam, H. (2024). Analisis Kinerja Relai Distance Sebagai Penghantar 150kV GI Paya Geli. *Journal of Information Technology and Computer Science (INTECOMS)*, 7(1), 260-267. From <https://doi.org/10.31539/intecom.v7i1.9437>
<https://doi.org/10.31539/intecom.v7i1.9437>
- Ozdemir, O., Koker, R., & Pamuk, N. (2025). Fault Classification and Precise Fault Location Detection in 400kV High-Voltage Power Transmission Lines Using Machine Learning

- Algorithms. *Processes MDPI*, 13(527), 1-20. From <https://doi.org/10.3390/pr13020527>
<https://doi.org/10.3390/pr13020527>
- P, R. V., Subathra, M. S., George, S. T., Peter, G., Stonier, A. A., N, S., . . . Ganji, V. (2025). High-Impedance Fault Detection in Electric Power Distribution Network Using Local Pattern Transformation Methods and Bidirectional Long Short-Term Memory. *Journal of Electrical and Computer Engineering*, 2025(1), 1-14. From <https://doi.org/10.1155/jece/3310174>
<https://doi.org/10.1155/jece/3310174>
- R.L.A, R., F.V, L., W.L.A, N., D, F., C.M.S, R., & G.A, C. (2021). An Improved Single-Ended Correlation-Based Fault Location Technique Using Traveling Waves. *International Journal of Electrical Power and Energy System*, 132, 1-10. From <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2021.107167>
<https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2021.107167>
- Ridho, M., Siagian, P., & Tharo, Z. (2024). Analisis Frekuensi Gangguan Terhadap Kinerja Sistem Proteksi Gardu Induk 150kV Siempat Rube. *JITET (Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan)*, 12(3), 4345-4353. From <https://doi.org/10.23960/jitet.v12i3S1.5321>
<https://doi.org/10.23960/jitet.v12i3S1.5321>
- Samal, S., & Samantaray, S. R. (2024). A Novel Sequence Component Based Fault Detection Index For Microgrid Protection. *Electric Power System Research*, 232(1), 1-13. From <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2024.110380>
<https://doi.org/10.1016/j.epsr.2024.110380>
- Tharo, Z., Syahputra, M. R., Hamdani, & Sugiono, B. (2020). Analisis Sistem Proteksi Jaringan Tegangan Menengah Menggunakan Aplikasi Etap di Bandar Udara Internasional Kualanamu. *Journal of Electrical and System Control Engineering*, 4(1). From <http://doi.org/10.31289/jesce.v4i1.3979>
- Zimmerman, K., & Costello, D. (2006). Impedance-Based Fault Location Experience. *IEEE Rural Electric Power Conference* (pp. 1-16). IEEE. From <https://doi.org/10.1109/REPCON.2006.1649060>
<https://doi.org/10.1109/REPCON.2006.1649060>